



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

DISSERTAÇÃO

**ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL: UM ESTUDO
OBSERVACIONAL E NUMÉRICO**

HERIKA PEREIRA RODRIGUES

**Campina Grande – PB
Fevereiro de 2012**

ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL: UM ESTUDO OBSERVACIONAL E NUMÉRICO

**Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala
Subárea: Modelagem Numérica da Atmosfera**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós – Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Mestre em Meteorologia

Herika Pereira Rodrigues

Orientador: Prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti

HERIKA PEREIRA RODRIGUES

ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL: UM ESTUDO
OBSERVACIONAL E NUMÉRICO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/02/2012

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Dra. CLÊNIA RODRIGUES ALCÂNTARA
Programa Nacional de Pós-Doutorado
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

R696z Rodrigues, Herika Pereira
Zona de convergência do Atlântico Sul : um estudo observacional e numérico
/ Herika Pereira Rodrigues. – Campina Grande, 2012.
67 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti.
Referências.

1. ZCAS. 2. El Niño. 3. La Niña.
4. BRAMS. I. Título.

CDU 551.5(043)

*Aos meus pais,
Kátia Regina e
Eivaldo Rodrigues
que me incentivaram
sempre e que continuam
acreditando em meus esforços.
À meus avós Dena e Naldo
Por todo amor e carinho.*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus,

por ter dado a oportunidade de viver e por toda força para prosseguir nesta caminhada.

A meus pais,

Eivaldo Rodrigues e Kátia Regina

Pelo amor e carinho, por acreditarem nos meus esforços e por todo apoio.

A meus avós,

Oldenice, Arnaldo, M^a das Neves e Edeval

Por todo o amor e carinho e por todo apoio.

A David Douglas,

Por todo carinho e companheirismo.

A meu orientador,

Enilson Palmeira Cavalcanti,

Pela paciência, incentivo, dedicação e por sua valiosa orientação.

Aos professores da banca,

Vicente de Paula e Clénia Rodrigues

Pela honra em participar da banca e de examinar esse trabalho.

Ao Inmet, em especial Fabricio Daniel

Pela gentileza de ter me concedido os dados para realização do trabalho.

Aos professores do DCA

Com os quais aprendi grandes lições para a minha vida profissional.

A UFG e ao CNPq,

Pela oportunidade de ter realizar o curso.

A todos os amigos,

Edvânia, Rafaela, Danilo, Leydson, Rafaella Vilar, Everson, Fernanda, Alan,

Roni, Juliana, Diego, Danielson, Paula, Fábio, Carlos e Claudio,

por bons momentos e por estarem presentes.

Enfim,

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

“Quem acredita sempre alcança!”

Renato Russo

My Way

*“I’ve lived a life that’s full
I traveled each and every highway
And more, much more than this
I did it my way”*

*“Eu vivi uma vida que foi cheia
Eu viajei por cada e todas as estradas
É mais, muito mais que isso
Eu fiz do meu jeito”*

Frank Sinatra

RESUMO

O objetivo principal do presente trabalho foi analisar a ocorrência de sistemas Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS, com a finalidade de observar o comportamento do fenômeno e sua interação com a escala interanual. Foram selecionados dois eventos de ZCAS: de 02 a 06 de dezembro de 2009 (durante a fase El Niño) e de 27 a 31 de dezembro de 2010 (durante a fase La Niña). Para análise da grande escala, foram selecionadas três áreas principais de atuação dos sistemas, com o objetivo de perceber variações no decorrer do tempo para determinadas variáveis. Foram feitas comparações entre os dados de reanálises do NCEP/NCAR com os dados observados disponíveis nas estações meteorológicas do INMET. A análise em grande escala apresenta coerência para os dois casos e as variáveis mostram diferenças que confirmam a presença do sistema de ZCAS sobre as 3 regiões analisadas. A análise da mesoescala revela importantes variações dinâmicas relacionadas à ZCAS para ambos os casos. Todas as variáveis apresentam coerência e o BRAMS conseguiu simular bem a área principal de atuação da ZCAS, tanto para o caso de El Niño (2009) quanto para o caso de La Niña (2010).

Palavras-chave: ZCAS, El Niño, La Niña, BRAMS

ABSTRACT

The main objective of this study was to analyze the occurrence of systems Convergence Zone of the South Atlantic - SACZ, with the purpose to observe their behavior and interaction with the interannual scale. Were selected two SACZ events: from 02 to 06 December 2009 (during the El Niño) and 27 to 31 December 2010 (during the La Niña). For a large scale analysis, were selected three main areas of activity systems with the aim of perceive variations over time for certain variables. Comparisons were made between the reanalysis data of NCEP / NCAR with the data observed at meteorological stations available INMET. The analysis shows consistency on a large scale for both cases and the variables show differences which confirm the presence of the SACZ system on three regions analyzed. The Mesoscale analysis reveals important dynamic variations related to SACZ in both cases. All variables show coherence and BRAMS could simulate well the main area of activity of the SACZ, both for the case of El Niño (2009) as to the case of La Niña (2010).

Key words: SACZ, El Niño, La Niña, BRAMS

LISTA DE SIGLAS

AB – Alta da Bolívia

ACP – Análise de Componentes Principais

BRAMS – *Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System*

CAM 2.01 – *Community Atmosphere Model*

CIRES – *Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences*

CLP – Camada Limite Planetária

COADS – *Comprehensive Ocean-Atmosphere Data*

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

ENOS – El Niño/Oscilação Sul

GPCP – *Global Precipitation Climatology Project*

GrADS – *Grid Analysis and Display System*

MCGA – Modelo de Circulação Atmosférico Geral

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

JBN – Jato de Baixos Níveis

MCG – Modelo Climático Global

N-NW – Norte-Noroeste

NCAR – *National Center for Atmospheric Research*

NCEP – *National Centers for Environmental Prediction*

NOAA – *National Oceanic and atmospheric Administration*

NW-SE – Noroeste-Sudeste

RAMS – *Regional Atmospheric Modeling System*

ROL – Radiação de Onda Longa

S-SE – Sul-Sudeste

SMAS – Sistemas de Monções da América do Sul

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

ZCPS – Zona de Convergência do Pacífico Sul

ZPS – Zonas de Precipitação Subtropicais

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da Circulação Geral da Atmosfera. (Disponível em: http://pt.encydia.com)	19
Figura 2 – Circulação no Oceano Pacífico Equatorial em anos normais. (Disponível em: www.cptec.inpe.br)	20
Figura 3 – Circulação durante a fase El Niño na região do Pacífico Equatorial. (Disponível em: www.cptec.inpe.br)	22
Figura 4 – Circulação durante a fase La Niña na região do Pacífico Equatorial. (Disponível em: www.cptec.inpe.br)	22
Figura 5 – Esquema do escoamento na América do Sul durante o verão (Disponível em: www.master.iag.usp.br)	24
Figura 6 – (a) Área de atuação da ZCAS; (b) Área de atuação da ZCAS dividida em três regiões.....	35
Figura 7 – (a) distribuição espacial das estações convencionais na faixa da ZCAS; (b) distribuição espacial das estações automáticas na faixa das ZCAS	36
Figura 8 – (a) Carta sinótica e (b) imagem de satélite para o dia 04 de dezembro de 2009 durante a atuação da ZCAS, as 18 Z.....	40
Figura 9 – Anomalia de (a) precipitação (b) temperatura máxima e (c) temperatura mínima para a primeira quinzena de dezembro de 2009. (Fonte: CPTEC/Síntese Sinótica Mensal)	40
Figura 10 – (a) Carta sinótica e (b) imagem de satélite, as 18 Z para o dia 29 de dezembro de 2010 durante a atuação da ZCAS.....	41
Figura 11 – Anomalia de (a) precipitação (b) temperatura máxima e (c) temperatura mínima para a segunda quinzena de dezembro de 2010. (Fonte: CPTEC/Síntese Sinótica Mensal)	42
Figura 12 – (a) Temperatura do ar em 850 hPa(b) Umidade relativa em 850 hPa (c) Radiação de onda longa e (d) água precipitável para as 3 regiões de atuação das ZCAS, durante a 1ª quinzena de dezembro de 2009	44

Figura 13 – Comparação entre os dados do modelo e os dados observados para: (a) Temperatura do ar na região 1; (b) Temperatura do ar na região 2; (c) Umidade relativa do ar na região 1 e (d) Umidade relativa do ar na região 2	45
Figura 14 – (a) Temperatura do ar em 850 hPa (b) Umidade relativa em 850 hPa (c) Radiação de onda longa e (d) água precipitável para as 3 regiões de atuação das ZCAS, durante a 2ª quinzena de dezembro de 2010	47
Figura 15 – Comparação entre os dados do modelo e os dados observados para: (a) Temperatura do ar na região 1; (b) Temperatura do ar na região 2; (c) Umidade relativa do ar na região 1 e (d) Umidade relativa do ar na região 2	48
Figura 16 – Temperatura do ar em 850 hPa para os dias: (a) 02 de dezembro; (b) 03 de dezembro; (c) 04 de dezembro e (d) 05 de dezembro de 2009.....	49
Figura 17 – Umidade relativa do ar em 850 hPa para as 18 UTC dos dias: (a) 02 de dezembro; (b) 03 de dezembro; (c) 04 de dezembro e (d) 05 de dezembro de 2009.....	50
Figura 18 – Precipitação total para os dias: (a) 02 de dezembro; (b) 03 de dezembro; (c) 04 de dezembro; (d) 05 de dezembro de 2009.....	51
Figura 19 – Velocidade vertical (W) e altura geopotencial em 500 hPa para os dias: (a) 02 de dezembro; (b) 03 de dezembro; (b) 04 de dezembro e (b) 05 de dezembro de 2009.....	52
Figura 20 – Água precipitável para os dias: (a) 02 de dezembro; (b) 03 de dezembro; (c) 04 de dezembro e (d) 05 de dezembro de 2009.	53
Figura 21 – Fluxo de vapor d'água na atmosfera para os dias: (a) 02 de dezembro; (b) 03 de dezembro; (c) 04 de dezembro; (b) 05 de dezembro de 2009.....	54
Figura 22 – Temperatura do ar em 850 hPa para os dias: (a) 27 de dezembro; (b) 28 de dezembro; (c) 29 de dezembro e (d) 30 de dezembro de 2010.....	55
Figura 23 – Umidade relativa do ar em 850 hPa para as 18 UTC dos dias: (a) 27 de dezembro; (b) 28 de dezembro; (c) 29 de dezembro e (d) 30 de dezembro de 2010.....	56
Figura 24 – Precipitação total para os dias: (a) 27 de dezembro; (b) 28 de dezembro; (c) 29 de dezembro e (d) 30 de dezembro de 2010.....	57
Figura 25 – Velocidade vertical (W) e altura geopotencial em 500 hPa para os dias: (a) 27 de dezembro; (b) 28 de dezembro; (c) 29 de dezembro e (d) 30 de dezembro de 2010	

..... 58

Figura 26 – Água precipitável para os dias: (a) 27 de dezembro; (b) 28 de dezembro; (c) 29 de dezembro e (d) 30 de dezembro de 2010..... 59

Figura 27 – Fluxo de vapor d'água na atmosfera para os dias: (a) 27 de dezembro; (b) 28 de dezembro; (c) 29 de dezembro e (d) 30 de dezembro de 2010..... 60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. ASPECTOS TEÓRICOS E ÁREA DE ATUAÇÃO DA ZCAS.....	19
2.1 Circulação Geral da Atmosfera	19
2.2 El Niño e La Niña	21
2.3 Características Dinâmicas da ZCAS	23
2.4 Características das Regiões de Ocorrência das ZCAS	25
2.4.1 Região Norte do Brasil	25
2.4.2 Região Centro-Oeste do Brasil	26
2.4.3 Região Sudeste do Brasil.....	26
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1 Dados e Meteorologia	34
4.2 Características das Simulações Utilizando o Modelo BRAMS	36
4.3 Caracterização do Ambiente Sinótico	39
4.3.1 Caso de ZCAS entre 02 e 06 de dezembro de 2009	39
4.3.2 Caso de ZCAS entre 27 e 31 de dezembro de 2010	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 Análises dos dados de reanálises para o caso de ZCAS em 2009	43
5.2 Análises dos dados de reanálises para o caso de ZCAS em 2010	46
5.3 Análise das Simulações com o BRAMS para o caso de 2009	48
5.4 Análise das Simulações com o BRAMS para o caso de 2010	55
6. CONCLUSÕES	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

1. INTRODUÇÃO

O clima do Planeta Terra é controlado principalmente por dois fluidos, o ar e a água, tendo ambos dinâmica própria, podendo interagir entre si, com a terra, ou com os ecossistemas. Os movimentos do ar dão origem à circulação geral da atmosfera e os movimentos da água dão origem às correntes marítimas. Segundo Silva Dias & Silva (2009):

“A região tropical tem excesso de energia, ao passo que as regiões polares têm déficit de energia. Os fluidos, ar e água encarregam-se de redistribuir o calor das regiões com excesso para as regiões com déficit de energia. A maneira como a atmosfera faz essa redistribuição é por meio de movimentos horizontais – os ventos – e de movimentos verticais. O excesso de energia nos trópicos, especificamente nas regiões equatoriais, faz o ar aquecido se elevar, induzindo a formação de nuvens profundas que chegam até a tropopausa”.

Existem diferentes condições climáticas em uma mesma latitude. Além disso, diversos fatores definem o clima de uma região, como por exemplo, a proximidade com o oceano, a altitude, o regime de ventos – definidos por orografia e rugosidade – e o regime de chuvas do local – modulado por sistemas de diferentes escalas temporais e espaciais.

É na faixa tropical onde ocorre elevada atividade convectiva que pode ser modulada por sistemas meteorológicos de diferentes escalas. Por estarem localizadas nessa faixa, as regiões Norte e Nordeste do Brasil são bastante afetadas por esses sistemas e possuem clima chuvoso e semiárido, respectivamente.

Na região Norte, as chuvas são causadas principalmente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), mas existe ainda um fluxo de umidade que escoia paralelo à Cordilheira dos Andes, em direção ao sul, chamado de Jato de Baixos Níveis (JBN) que faz uma conexão entre o ciclo hidrológico da Bacia Amazônica com as Bacias dos rios Paraná e Prata, mantendo a precipitação também em outras regiões (Silva Dias & Silva, 2009).

As regiões Centro-Oeste e Sudeste são definidas por duas estações bem marcadas: uma seca e outra chuvosa. Na estação chuvosa, essas regiões apresentam circulação caracterizada por monção, que consiste em reversões sazonais na direção do vento que causam invernos secos e verões chuvosos (Moran & Morgan, 1986). É frequente a presença

de Sistemas Frontais nessas regiões e durante a estação chuvosa, as chuvas são causadas principalmente pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

O sistema meteorológico de escala sinótica ZCAS é um evento de precipitação extrema de grande influência no Brasil. É caracterizado por uma banda de nebulosidade com elevada atividade convectiva, que se estende na direção Noroeste-Sudeste (NW-SE) da América do Sul, partindo da região Amazônica, podendo estender-se até o Oceano Atlântico (Kousky, 1988). Carvalho et al. (2004) mostraram em alguns artigos que os eventos de precipitação extrema apresentam uma variabilidade interanual que está associada ao El Niño e à La Niña, apontando também a ligação entre variações intrasazonais que são relacionadas à atividade da ZCAS e ao JBN na América do Sul.

O uso da modelagem numérica tem sido aplicado em diversos estudos, visto que sua resolução horizontal e vertical serve para diagnosticar fenômenos meteorológicos de diferentes escalas. O *Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System – BRAMS* (Freitas et al., 2003) é um modelo numérico computacional importante para compreensão de fenômenos meteorológicos ocorridos no Brasil e muitos estudos tem sido feito com uso do BRAMS, destacando-se testes para analisar a sensibilidade do modelo em simular eventos que ocorrem em várias regiões, fazendo-se uso de diferentes parametrizações encontradas em sua codificação. Na literatura existem vários trabalhos tendo como foco o sistema sinótico ZCAS, mas dentre eles poucos tem sido feito utilizando o modelo numérico BRAMS.

O objetivo do presente trabalho será analisar dois casos de ZCAS, um durante o mês de dezembro de 2009 e o outro durante o mês de dezembro de 2010, visando observar o comportamento do fenômeno e sua interação com a escala interanual.

A primeira parte do estudo visa analisar os eventos em relação à grande escala, a partir dos dados de reanálises do *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)/ National Center for Atmospheric Research (NCAR)*, (Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov>) selecionando três áreas principais de atuação do evento, com o objetivo de perceber variações no decorrer do tempo para as seguintes variáveis: temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), radiação de onda longa ($W.m^{-2}$) e água precipitável (mm). Dessas, foram escolhidas duas regiões (a região amazônica e costeira) e as variáveis temperatura do ar (°C) e umidade

relativa (%) para serem comparadas com os dados diários observados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (Disponível em: www.inmet.gov.br).

A segunda parte do estudo visa analisar os eventos considerando-se a mesoescala, através da utilização do modelo *Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS)*. As variáveis observadas foram: temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%), precipitação total (mm), velocidade vertical ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) e altura geopotencial (m), com destaque para outras variáveis como a água precipitável (mm) e fluxo de vapor ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$) que foram implementadas no pós processamento do modelo para observar se estas apresentam bons resultados.

2. ASPECTOS TEÓRICOS E ÁREA DE ATUAÇÃO DA ZCAS

2.1 Circulação Geral da Atmosfera

A circulação geral da atmosfera consiste em um conjunto de movimentos atmosféricos que determina as zonas climáticas na escala planetária, além de definir diversos estados temporais em diferentes lugares do planeta (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007).

Existem quatro células de transferência de energia, associadas a movimentos verticais e horizontais na atmosfera (Figura 1). Essas células são chamadas de células de circulação meridiana na direção norte-sul (célula de Hadley nas baixas latitudes, de Ferrel e Polar nas altas latitudes) e na direção leste-oeste (ventos alísios e trocas horizontais de latitudes polares) e a célula de circulação zonal (célula de Walker). (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007).

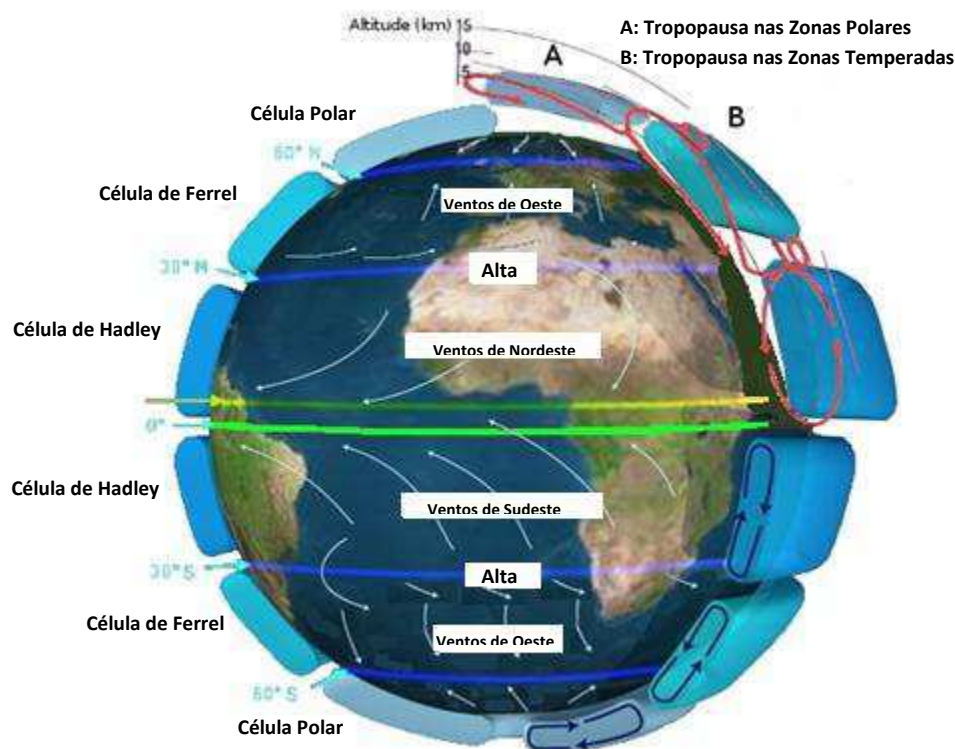


Figura 1 – Esquema da Circulação Geral da Atmosfera. (Disponível em: <http://pt.encydia.com>)

A célula de Hadley vai de 0° a 30° de latitude e distribui energia a partir de uma corrente de ar ascendente que se forma nas proximidades do equador e desce na latitude de 30° nas regiões subtropicais. O ramo descendente dessa célula dá origem aos anticiclones subtropicais devido ao movimento de subsidência do ar. Em altitude o ramo ascendente dá origem aos jatos subtropicais que são formados a partir de uma zona de convergência em altos níveis. Próximo à latitude de 60° , onde existe um cinturão de baixas pressões, se formam as frentes que são definidas pelo encontro entre massas de ar quente dos trópicos e ar frio dos polos. Geralmente, o encontro entre essas massas de ar resulta no levantamento do ar que vai descer nos subtrópicos e nos polos.

A célula de Walker consiste na variação de pressão atmosférica nos setores de sentido leste-oeste do oceano Pacífico. Em condições normais, a circulação apresenta atividade convectiva próxima à região da Austrália e Indonésia sobre o Pacífico Ocidental e essa convecção resulta em movimentos descendentes no oeste da América do Sul. Os alísios são identificados em baixos níveis se deslocando sobre o oceano Pacífico Equatorial, de leste para oeste enquanto em altos níveis troposféricos os ventos tem direção de oeste para leste. A região do Pacífico Ocidental possui valores de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) elevados e a termoclina encontra-se mais profunda, ao contrário do que ocorre na costa oeste da América do Sul (Figura 2).

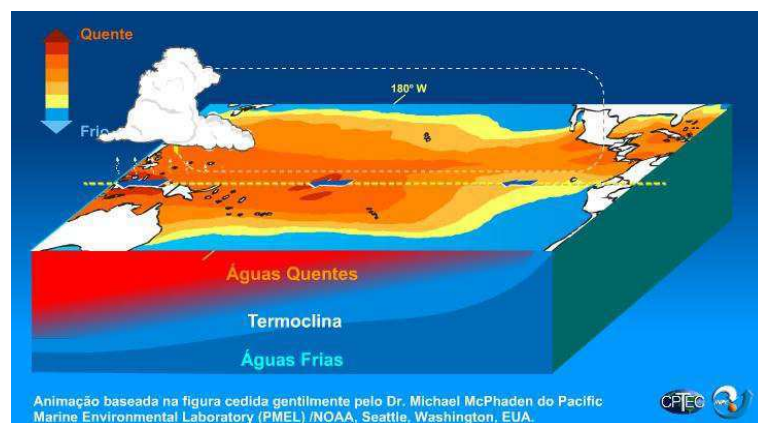


Figura 2 – Circulação no Oceano Pacífico Equatorial em anos normais. (Disponível em: www.cptec.inpe.br)

As variações dessa célula no campo de pressão sobre o oceano Pacífico associada à variação térmica da superfície oceânica, dão origem aos fenômenos de escala interanuais El Niño e La Niña. A mesma célula existe também no Atlântico, mas no Pacífico há uma

interação com a região dos Andes na costa oeste da América do Sul e também com a grande Floresta Amazônica.

2.2 El Niño e La Niña

Por ser um fenômeno climático tendo constante interação oceano-atmosfera, o El Niño é comumente chamado de El Niño/Oscilação Sul (ENOS). As águas superficiais do Pacífico interagem com a atmosfera gerando uma gangorra barométrica entre as regiões do Taiti e Polinésia Francesa (a leste do oceano Pacífico) e a região de Darwin na Austrália (a oeste do oceano Pacífico). Caracterizado por um aquecimento anômalo das águas superficiais no oceano Pacífico Equatorial, pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento e variando os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007).

As principais características durante a fase de El Niño são:

- Enfraquecimento dos alísios ao longo do Oceano Pacífico Equatorial acarretando na diminuição da precipitação nas regiões da Indonésia e Austrália;
- A TSM torna-se mais quente no Oceano Pacífico Central e próximo à costa oeste da América do Sul;
- Ocorre uma diminuição da termoclina ficando mais profunda no Pacífico Leste e mais rasa no Pacífico Oeste. O enfraquecimento dos ventos alísios induz a diminuição da ressurgência próximo à costa oeste da América do Sul;
- O aquecimento das águas do Pacífico Central desloca a célula de Walker para leste, forçando o ramo de ar descendente a posicionar-se sobre o continente sul-americano, provocando condições favoráveis de estiagem sobre a Amazônia (Figura 3).

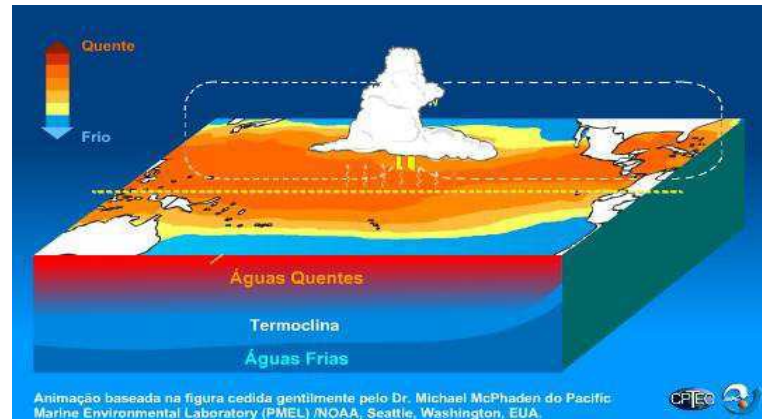


Figura 3 – Circulação durante a fase El Niño na região do Pacífico Equatorial. (Disponível em: www.cptec.inpe.br)

A La Niña representa um fenômeno oceânico-atmosférico e se caracteriza por um resfriamento anômalo nas águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial. Pode ser explicada segundo as características abaixo:

- Os ventos alísios são mais intensos, resultando num acúmulo maior de águas mais quentes no norte da Austrália e região da Indonésia;
- A TSM do Pacífico diminui bastante próximo à costa oeste da América do Sul;
- A termoclina fica mais profunda ao longo do oceano Pacífico Equatorial oeste aumentando a ressurgência próximo à costa oeste da América do Sul;
- A célula de Walker continua com o ramo ascendente sobre a Austrália e a Indonésia, e o ramo descendente próximo à costa oeste da América do Sul encontra-se bem mais intenso quando comparado com anos normais (Figura 4).

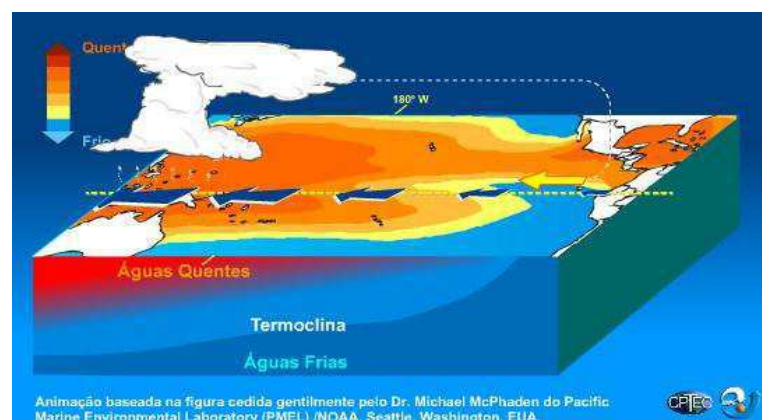


Figura 4 – Circulação durante a fase La Niña na região do Pacífico Equatorial. (Disponível em: www.cptec.inpe.br)

Eventos de El Niño e La Niña têm uma tendência a se alternar a cada 3-7 anos. Além do mais, os episódios de La Niña têm períodos de aproximadamente 9 a 12 meses, e somente alguns episódios persistem por mais de 2 anos. Outro ponto interessante é que os valores das anomalias de TSM em anos de La Niña têm desvios menores que em anos de El Niño, ou seja, enquanto observam-se anomalias de até 4,5° C acima da média em alguns anos de El Niño, em anos de La Niña as maiores anomalias observadas não chegam a 4° C abaixo da média.

2.3 Características Dinâmicas da ZCAS

A previsão do tempo e do clima em regiões tropicais sofre influência de sistemas nos quais a liberação de calor latente é energeticamente importante. A Zona de Convergência do Atlântico Sul consiste em uma faixa de nebulosidade que se estende de NW-SE do Brasil e é um dos principais sistemas atmosféricos de precipitação extrema nessa área. Estando associada a grande liberação de calor latente e a um escoamento convergente de umidade na baixa troposfera, a ZCAS tem bastante atividade convectiva e pode durar vários dias (Kousky, 1988).

Sua configuração apresenta um escoamento em baixos níveis de Norte-Noroeste (N-NW) que começa junto à encosta leste dos Andes e se prolonga até a região Sudeste do Brasil em forma de jato, sendo muito importante para o transporte de umidade da região Amazônica para as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Em altos níveis observa-se uma circulação anticiclônica – Alta da Bolívia (AB) – e um cavado semi estacionário sobre o Nordeste.

De acordo com Silva Dias e Kasahara (1987) o aquecimento na superfície continental age como uma forçante de calor que induz a formação de um cavado na baixa troposfera na direção da ZCAS além da formação de um anticiclone em ar superior. Este processo dá início à convecção organizada em forma de banda. A escala convectiva fornece o aquecimento da atmosfera via liberação de calor latente e a dinâmica permite a diminuição da pressão contribuindo para a manutenção e intensificação da convergência de massa e vapor d'água que sustenta a própria convecção.

Figuroa et al. (1995) apresenta um estudo numérico com um modelo em coordenada Eta mostrando que a influência dos Andes e a presença de uma fonte transiente de calor parecem ser decisivas no posicionamento do campo de pressão na baixa troposfera em

resposta à liberação de calor latente na Amazônia e Centro-Oeste do Brasil. A baixa do Chaco, que corresponde a AB em baixos níveis, deve seu confinamento à existência da barreira orográfica imposta pelos Andes. A boa definição desta baixa e a barreira dos Andes implicam numa significativa deflexão do escoamento dos alísios, o que estabelece a chamada esteira transportadora que alimenta a convecção ao longo da ZCAS. (Figura 5)

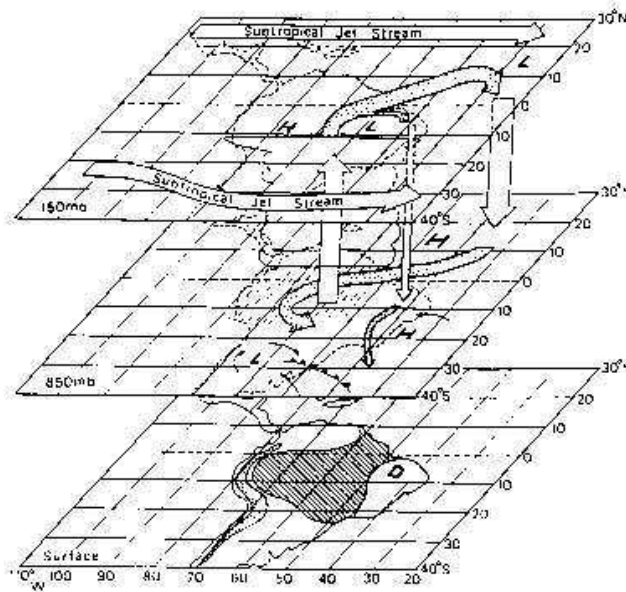


Figura 5 – Esquema do escoamento na América do Sul durante o verão (Disponível em: www.master.iag.usp.br)

Em geral, a ZCAS localiza-se mais a leste de sua posição climatológica em dezembro associada com a alta precipitação sobre o Brasil, com o escoamento de nordeste sobre a parte leste da Bolívia e a baixa precipitação sobre o Altiplano. Vários estudos verificam a importância da circulação induzida pela presença dos Andes sobre os Sistemas de Monções da América do Sul (SMAS).

Com relação à variabilidade temporal da ZCAS, é atuante de novembro a abril e está diretamente associada à estação chuvosa de importantes regiões do Brasil e praticamente desaparece por períodos de vários dias a semanas, sendo inexistente no período de inverno (Nobre, 1988). A persistência da ZCAS está associada a fatores de diversas escalas espaço-temporais e fases quentes do ENOS contribuem para a persistência da ZCAS por mais de quatro dias e o contrário ocorre em anos marcados por fases neutras e frias (Carvalho & Jones, 2009).

2.4 Características das Regiões de Ocorrência das ZCAS

2.4.1 Região Norte do Brasil

A região Norte do Brasil possui uma área de 3.659.637,9 km², que corresponde a 42,27% do território brasileiro, sendo a maior região brasileira em superfície. A Amazônia representa 60% de toda a floresta Amazônica que se estende até outros países, como Peru, Colômbia e Venezuela. A floresta Amazônica tem papel importante para a região, pois mantém o equilíbrio dinâmico entre o clima e a vegetação, fatores vitais na realimentação do vapor d'água (Salati & Marques, 1984). Além disso, a floresta Amazônica é um importante regulador dos balanços de energia e hídrico.

Tem o clima influenciado por diversos tipos de sistemas atmosféricos. Durante o verão a ZCAS é bastante ativa e intensa e fortemente influenciada pela baixa do Chaco. Sua configuração associada a uma máxima nebulosidade sobre a Amazônia central e o Altiplano da Bolívia, pelas frentes frias vindas do sul, está relacionada diretamente com elevada atividade convectiva, chuvas fortes sobre o sul e o oeste da Amazônia e pelo fluxo intenso de umidade que flui da Amazônia para latitudes maiores na América do Sul, sendo este canalizado pelos Andes.

Durante o inverno, há uma forte influência da ZCIT que se desloca mais ao norte, associada com entrada de massas de ar frio e seco de latitudes mais altas do Hemisfério Sul que afetam a parte oeste da Amazônia produzindo as friagens (Marengo & Nobre, 2009).

A estação chuvosa na Amazônia ocidental equatorial e norte começa em março e termina em setembro, enquanto que na parte sul da Amazônia começa em setembro e início do verão, terminando somente em abril (Liebmann & Marengo, 2001).

Sendo assim a região Amazônica apresenta maior total pluviométrico anual e valores elevados de temperatura, em torno de 24° a 26 ° C. Os fluxos de vapor d'água do Atlântico Equatorial que são associados aos ventos alísios são as principais fontes de umidade da bacia Amazônica e a Amazônia é a principal fonte de umidade para o Brasil Central durante os meses de setembro a fevereiro.

2.4.2 Região Centro-Oeste do Brasil

Com uma área de aproximadamente 1.607.000 km², a região Centro-Oeste é a segunda maior em superfície territorial. É bem caracterizada quanto à diversidade vegetativa e biodiversidade. A climatologia da região é marcada pela presença de fatores como o relevo, latitude, vegetação, além do regime de chuva, tendo como características principais a presença de um verão chuvoso – entre os meses de outubro a março – e um inverno seco – entre os meses de abril a setembro. Além disso, a região sofre influência de sistemas atmosféricos tropicais e extratropicais.

As variações de temperatura da região são definidas pelo relevo e posição geográfica. Na primavera e verão, os valores máximos são em torno de 33° C. No inverno, os valores de temperatura podem baixar bastante, principalmente pela entrada de massas de ar frio (friações), mas geralmente variam entre 20° e 25° C (Alves, 2009).

A precipitação é muito variável, devido à interação entre diversos fenômenos atmosféricos que vão desde a escala planetária até a escala local, sendo a média em torno de 1500 mm/ano a 1800 mm/ano em algumas áreas. As chuvas mais significativas na região são associadas aos sistemas frontais que interagem com a convecção local e penetram no setor sul, tendo início basicamente na primeira quinzena de outubro estendendo-se até março (Alves et al., 2005).

2.4.3 Região Sudeste do Brasil

A região Sudeste não é muito extensa e abrange uma área de 11% do território brasileiro. Por outro lado apresenta elevada densidade demográfica, com uma população de 78.472.017 habitantes. O clima varia de tropical a subtropical e essa variação é decorrente do relevo, topografia, da latitude e da proximidade com o oceano. Isso é marcante para mudanças de temperatura e precipitação sobre a região.

Por apresentar características transicionais – nos trópicos e subtropicais – a região está à mercê da influência tanto de sistemas tropicais quanto de sistemas extratropicais, e os mecanismos da circulação estão sob efeito da dinâmica da frente polar (Nunes et al., 2009).

Um dos sistemas de bastante influência para a região Sudeste, a ZCAS se estende numa faixa de nebulosidade orientada de NW-SE e é bem definida durante o verão. Apresenta grandes amplitudes térmicas e ainda sofre a influência do oceano como regulador térmico.

A pluviosidade é bem variada para cada local, dependendo de fatores como relevo, posição em relação ao mar, assim como a dinâmica dos sistemas atmosféricos como, por exemplo, a passagem das frentes. Outro fator marcante na pluviosidade da região é a variação interanual. As massas polares causam maiores totais pluviais, e em contrapartida, anos com menor incidência de massas polares resultam no domínio de sistemas intertropicais sobre a região. Além disso, as ZCAS e a posição da corrente de jato podem dificultar a penetração de massas polares na região sudeste.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Muitos estudos têm contribuído para o entendimento dos processos físicos e dinâmicos associados ao sistema de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Um exemplo disso consta do estudo feito por Kodama (1992a) que confirma a presença de três zonas frontais quase estacionárias subtropicais: no leste da Ásia (chamada Baiu Front), nas porções subtropicais da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Essas zonas já haviam sido estudadas por Ninomiya (1984) denominando-as de Zonas de Precipitação Subtropicais (ZPS).

Segundo Kodama (1992a), todas essas zonas possuem características semelhantes, tais como:

- Formação ao longo dos jatos subtropicais a leste do cavado quase permanente situado a nordeste (no HN) e sudeste (no HS) da banda de convecção associada à monção tropical;
- São caracterizadas por zonas de convergência de umidade e por zonas baroclínicas com um cavado subtropical de altos níveis;
- Apresentam total de precipitação em torno de 400 mm/mês que pode ser explicada pela convergência de dois tipos de fluxos de umidade: um na direção leste, ao longo da ZPS, e outro em sua direção, ao longo da periferia sudoeste (noroeste no Hemisfério Norte) da alta subtropical;
- Sua manutenção é devido aos jatos subtropicais que fluem nas latitudes subtropicais (30° - 35°) e ao fluxo de baixos níveis em direção ao pólo, a oeste das altas subtropicais;

Ao contrário de alguns trabalhos na literatura que afirmam que a ZCAS são formadas principalmente pela presença orográfica dos Andes. Figueroa et al. (1995) usaram modelagem para mostrar que forte aquecimento adiabático sobre a bacia Amazônica é fator indispensável para a formação da ZCAS, e não a presença dos Andes.

Chaves (1999) avaliou em seu trabalho alguns padrões atmosféricos associados à precipitação no sul do Nordeste, utilizando técnicas como Análise de Componentes Principais (ACP), análise de Cluster, correlação linear, etc. Para isso foram utilizados dados diários de precipitação das estações meteorológicas, dados de reanálises disponíveis no *National Centers*

for *Environmental Prediction (NCEP)*, de 1979 a 1997, dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do *Comprehensive Ocean – Atmosphere Data (COADS)* e dados de Radiação de Onda Longa (ROL) do *National Center for Atmospheric Research (NCAR)*, de novembro a janeiro de 1984 a 1995. Os resultados mostram que existem anomalias (relacionadas ao ENOS) associadas à convecção no pacífico leste com sinal contrário sobre o nordeste, norte e no local de atuação da ZCPS, e com mesmo sinal no sul do Brasil. Além disso, foi observada uma relação entre a ZCAS e a ZCPS da qual as anomalias positivas (negativas) coincidem com intensificação (desintensificação) da ZCPS e deslocamento para leste e posição das ZCAS para norte (sul). O escoamento para sul (leste) vindo da Amazônia influencia positivamente (negativamente) na intensificação (desintensificação) das ZCAS.

Quadro (1999) fez um estudo sobre a ZCAS através do uso de parâmetros para observar características comuns durante sua passagem na América do Sul. Foram selecionados dados de 28 episódios de ZCAS, para os verões no Hemisfério Sul, durante os anos de 1980 a 1989. O autor mostra que a intensidade e manutenção das ZCAS estão ligadas a fatores como: convergência de umidade em baixos níveis, cavado semi-estacionário a leste dos Andes, movimento vertical ascendente na direção NW-SE a leste do cavado, forte gradiente de temperatura potencial equivalente em 500 hPa, faixa de vorticidade relativa positiva na direção das ZCAS em 200 hPa.

A TSM modula a variabilidade dos padrões de circulação e precipitação nos Sistemas de Monções da América do Sul (SMAS), e isso pode ser averiguado em vários estudos. Barros et al (2000) mostram que no nordeste da Argentina, Uruguai e Sul do Brasil, uma diminuição (aumento) da precipitação está associada a fortes (fracas) manifestações da ZCAS e deslocamento para o norte de sua posição climatológica, além de anomalias de TSM quentes (frias) na região de 20°- 40° S e oeste de 30° W estarem associadas a um deslocamento para sul (norte) da ZCAS.

Calderon e Gandu (2000) estudaram um evento de ZCAS através de simulações numéricas, utilizando dados do modelo *Regional Atmospheric Modeling System (RAMS)*, para toda a região central do continente sul-americano, dados de reanálise do NCEP e médias semanais de TSM, do *Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (CIRES)/ National Oceanic and atmospheric Administration (NOAA)*. Foram realizados três experimentos, simulando o período do mês de Janeiro de 1996. Para o experimento A utilizo-se o padrão de TSM climatológico para Janeiro e parametrização convectiva; para o

experimento B utilizou-se o padrão de TSM médio e convecção acionada; e para o experimento C utilizou-se o padrão de TSM e a parametrização convectiva foi desativada. Os resultados mostram que o modelo simulou a presença de uma banda convectiva com mesma orientação da ZCAS, a magnitude da precipitação simulada foi subestimada ao longo da banda convectiva, sobretudo nas Regiões Sul e Sudeste e também no Centro-Oeste. Entretanto sobre a costa leste da Região Nordeste, a precipitação parece ter sido superestimada.

Nobre et al. (2002) observaram em seu trabalho a influência das anomalias de TSM sobre o Atlântico Sudoeste na intensificação e posicionamento da ZCAS. Utilizaram a versão operacional do Modelo Climático Global (MCG) do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), para sete dias a partir de um conjunto de dez condições iniciais, com análises do NCEP para as zero hora GMT dos dias 1 a 5 e 13 a 17 de novembro de 1999 (período de ocorrência do evento de ZCAS). Os resultados mostram que anomalias positivas de TSM favorecem o aumento da convecção e movimento vertical ascendente sobre as águas aquecidas, aumentando a subsidência compensatória principalmente ao norte da banda de nebulosidade mais intensa associada à ZCAS. Ou seja, o aumento da convergência de massa em baixos níveis e de movimento vertical ascendente sobre as regiões mais aquecidas favorecem mais intensamente o desenvolvimento da ZCAS do que a presença de águas mais frias sobre o Atlântico Sudeste.

Carvalho et al. (2004) apresentam uma metodologia para caracterizar as propriedades estruturais da ZCAS, considerando que as regiões com Radiação de Onda Longa ($ROL \leq 200 \text{ W.m}^{-2}$) estão bem relacionadas com padrões de elevada precipitação. Confirmam que a atividade convectiva varia em cada região, apresentando 3 regiões com máxima atividade convectiva e mínima variabilidade sazonal (região amazônica) e máxima variância sazonal (regiões costeira e oceânica). Foram observados dados diários de ROL para 21 casos de verões, a partir de dezembro a fevereiro durante os anos de 1979-2000. Esses dados foram separados segundo $ROL \leq 200 \text{ W.m}^{-2}$ para as regiões. Os autores identificam características associadas aos mecanismos relacionados à intensidade e forma da ZCAS, que pode ser considerada independente de sua extensão sobre o oceano, ou seja, a atividade convectiva pode ser intensa e persistente sobre o continente sem que haja ligação com a intensificação sobre o oceano e vice-versa. Além disso, a atividade convectiva sobre o oceano está associada com a propagação de um trem de ondas de latitudes médias ligados a distúrbios intrasazonais tropicais. As atividades intensas sobre o continente desacopladas com as atividades oceânicas tem interação com outros fatores, locais ou remotos nos trópicos.

Chaves & Nobre (2004) através de experimentos numéricos apontam que anomalias de TSM quentes (frias) sobre o Atlântico Sul tendem a intensificar (enfraquecer) a ZCAS, e uma intensificação da ZCAS tende a causar um esfriamento das águas superficiais, reduzindo a radiação solar incidente, e isso traz um surgimento de anomalias frias de TSM ou enfraquecimento de anomalias quentes de TSM.

Ferreira et al. (2004) caracterizaram a ZCAS através da circulação atmosférica e da atividade convectiva em anos de El Niño e La Niña e puderam concluir que ocorre maior intensificação da convecção sobre o Oceano Atlântico Sudoeste para anos de El Niño e maior convecção sobre o continente em anos de La Niña.

Liebmann et al. (2004) estudaram as relações entre as variações do Jato de Baixos Níveis (JBN) a leste dos Andes e a ZCAS, confirmando que quando o fluxo de umidade na América do Sul central é alto, transportado pelo JBN, a convecção sobre a ZCAS é fraca, e quando o fluxo de umidade na América do Sul central é baixo, a convecção sobre a ZCAS é forte.

Candido et al. (2006) observaram o impacto de condições hídricas do solo na precipitação e na circulação atmosférica durante o evento de ZCAS. O período em que ocorreu o evento estudado por eles foi desde o dia 18 até o dia 28 de janeiro de 1997 utilizando o modelo regional ETA-SSiB. Para avaliar o impacto da umidade do solo na circulação e transporte de umidade associado à ZCAS foram realizadas 3 simulações: controle (CON) – correspondente a inicialização da umidade do solo na condição climática, úmido (UMI) e seco (SEC) – com condições iniciais definidas respectivamente como o valor de umidade do solo representativo de capacidade de campo e de ponto de murcha permanente. Os resultados mostram que a influência da umidade do solo na simulação foi bem caracterizada. A simulação do evento de ZCAS apresentou algumas diferenças marcantes na intensidade e posicionamento da atividade convectiva. As alterações nas condições hídricas do solo apresentam-se muito importantes, principalmente em relação ao transporte de umidade da Amazônia para outras áreas, em eventos de ZCAS e ocorrência dos JBN. A variação da temperatura, da umidade específica, à superfície e na CLP, foi fortemente correlacionada à mudança na umidade do solo, através da alteração dos fluxos de calor latente e sensível, sendo como um mecanismo de feedback positivo entre a precipitação associada à ZCAS e ao conteúdo de água no solo.

Muza e Carvalho (2006) estudaram a interação entre fenômenos de escala intrasazonal e interanual em modular os eventos de precipitação e estiagem sobre o centro-sul da Amazônia. Utilizou-se dados de médias de 5 dias (pêntadas) para o período de 1979 a 2002, sendo estes: precipitação do *Global Precipitation Climatology Project (GPCP)*, circulação atmosférica em altos e baixos níveis e TSM global obtidas a partir dos dados de reanálises do *National Center for Environmental Prediction (NCEP)*; radiação de onda longa emergente – ROLE. Os resultados discutidos pelos autores mostram que os eventos extremos intrasazonais de chuva (seca) foram associados a uma intensificação da componente zonal de oeste (leste) em 200 hPa ligados à propagação de um trem de ondas de latitudes. Além disso, durante o verão, a troposfera superior e em baixos níveis a leste da América do Sul é responsável pela gangorra de precipitação entre as planícies no Sul do Brasil e as regiões afetadas pela ZCAS, devido às anomalias intrasazonais ciclônicas ou anticiclônicas das circulações sobre o Sudeste e Sul.

Mendonça e Bonatti (2008) estudaram 7 episódios de ZCAS fazendo uma análise da partição da energia global entre os modos verticais e horizontais, buscando enfatizar quais modos são dominantes para a formação, manutenção e dissipação das ZCAS e sua estrutura dinâmica. Utilizaram-se dados do NCEP para a análise diagnóstica da energética. Os períodos estudados foram: janeiro, novembro e dezembro de 2001, e fevereiro de 2002. Os resultados são importantes para a previsão climática, pois a resolução vertical é representada corretamente nos modelos de padrões de teleconexões associados à ZCAS.

Na segunda parte do estudo feito por Mendonça e Bonatti (2008), buscou-se avaliar o desempenho do MCGA-CPTEC no cálculo da energética modal para episódios de ZCAS, utilizando a parametrização de convecção profunda (KUO, RAS e GRELL). Foram utilizados dados do NCEP para o estudo de 7 episódios de ZCAS ocorridos na parte 1 do trabalho do autor. O autor mostra que apesar dos resultados para os 3 tipos de parametrização serem semelhantes, o modelo com o esquema GRELL teve melhor desempenho nas previsões para os modos verticais 8 a 12, além de apresentar, local ou regionalmente, um melhor detalhamento dos padrões observados. Portanto o aumento da resolução vertical na modelagem representa melhor as características de grande escala da ZCAS.

Cataldi et al. (2010) fez um estudo da influência das anomalias de TSM para a região do Oceano Atlântico Sul extratropical, onde ocorre a confluência das correntes das Malvinas e do Brasil – CBM. Para o estudo foi utilizado o modelo climático numérico *Community*

Atmosphere Model (CAM 2.01), desenvolvido pelo *NCAR*, para reproduzir o episódio de verão de 2005, observando-se principalmente o regime hidrometeorológico para as regiões Sudeste e Sul do Brasil. Os resultados da simulação das anomalias de TSM apresentaram negatividade, não só para a precipitação, mas também para a vazão das bacias hidrográficas do Sul. Houve alterações no padrão ondulatorio da circulação vertical observados, levando à diminuição das chuvas no sul do Brasil, influenciando na formação da ZCAS sobre o norte da região Sudeste. Os processos físicos e dinâmicos da atmosfera foram bem simulados no modelo, mostrando-se assim satisfatórios.

Tomaziello e Gandu (2010) estudaram a influência das resoluções espacial e temporal dos dados de TSM na precipitação associada a um evento de ZCAS através do modelo BRAMS. Analisou-se tanto no continente quanto no Oceano Atlântico, verificando o desempenho do modelo nas simulações de precipitação com uso de índices estatísticos. Foram realizados três experimentos numéricos para o período entre 12 e 16 de fevereiro de 1998. Resultados mostram que os maiores impactos ocorrem em áreas oceânicas, mas a TSM também influencia no interior do continente. O uso de dados de TSM com resoluções espacial e temporal mais refinadas apresentaram melhores resultados quanto a simulação de precipitação associada à ZCAS.

O estudo do evento de ZCAS é muito importante para o Brasil, uma vez que durante sua passagem ocorre grande destruição associada à precipitação extrema. Existem vários trabalhos feitos sobre as ZCAS, cada qual buscando analisar características diferentes, tais como, formação, energética, período de atuação, frequência, além da interação com outros eventos meteorológicos de escala interanual. Entretanto são poucos os trabalhos que utilizam a modelagem numérica, principalmente o modelo BRAMS para análise da ZCAS, fazendo-se necessário obter maiores investigações acerca da sensibilidade do modelo BRAMS em simular esses eventos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Dados e Metodologia

Para o estudo foram escolhidos dois casos de ZCAS:

- Caso 1: de 02 a 06 de dezembro de 2009 (durante a fase El Niño);
- Caso 2: de 27 a 31 de dezembro de 2010 (durante a fase La Niña).

Os casos foram escolhidos levando em consideração um período mínimo de quatro dias de permanência da ZCAS. Os eventos foram selecionados no mês de dezembro devido às mudanças na escala sazonal, marcando o início do verão no Hemisfério Sul e um aumento da intensidade dos eventos meteorológicos na América do Sul e os anos selecionados sofrem influência de eventos El Niño (caso 1) e La Niña (caso 2), visando observar as interações da ZCAS com a escala interanual.

Utilizaram-se os dados de reanálises do NCEP/NCAR que consistem em um levantamento numérico de mais de 50 anos de dados de escala global, disponibilizados desde 1948 até os dias atuais em intervalos de 6 horas, com a resolução espacial de $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, área de latitude compreendida entre 0° e $357,5^\circ$ E, área longitudinal compreendida entre 90° N e 90° S, com 17 níveis de pressão a partir do nível de 1000 hPa e término em 10 hPa, com exceção dos dados de umidade relativa que só possuem informações até o nível de 300 hPa (disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov>).

Para a análise em grande escala, elaborou-se um *script* que interpola os dados em pontos de grades, calculando a média para quatro pontos de grades de $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, sendo detectada uma faixa de posição média do fenômeno ZCAS (Figura 6a). Essa faixa estende-se desde o leste da Amazônia até o oceano Atlântico Sul e corresponde a faixa diagonal que se encontra na área retangular compreendida entre as latitude de 0° a 40° S e longitude de 30° a 60° W. A partir da faixa diagonal (em tons cinza escuro), foram definidas três regiões com características diferentes para facilitar a observação acerca do comportamento do fenômeno (Figura 6b):

- Região Amazônica (R1): compreende a área com 5 colunas verticais contidas na faixa diagonal de posição média da ZCAS;

- Região Costeira (R2): compreende a área com 4 colunas verticais contidas na faixa diagonal de posição média da ZCAS;
- Região Oceânica (R3): compreende a área com 5 colunas verticais contidas na faixa diagonal de posição média da ZCAS.

Para cada região foi calculada a média dos valores sobre a faixa diagonal. As variáveis escolhidas para análise foram: temperatura do ar em 850 hPa ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa em 850 hPa (%), radiação de onda longa na superfície ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) e água precipitável (mm) na coluna atmosférica. A variação temporal é feita para a quinzena correspondente ao período em que ocorreram os casos de ZCAS.

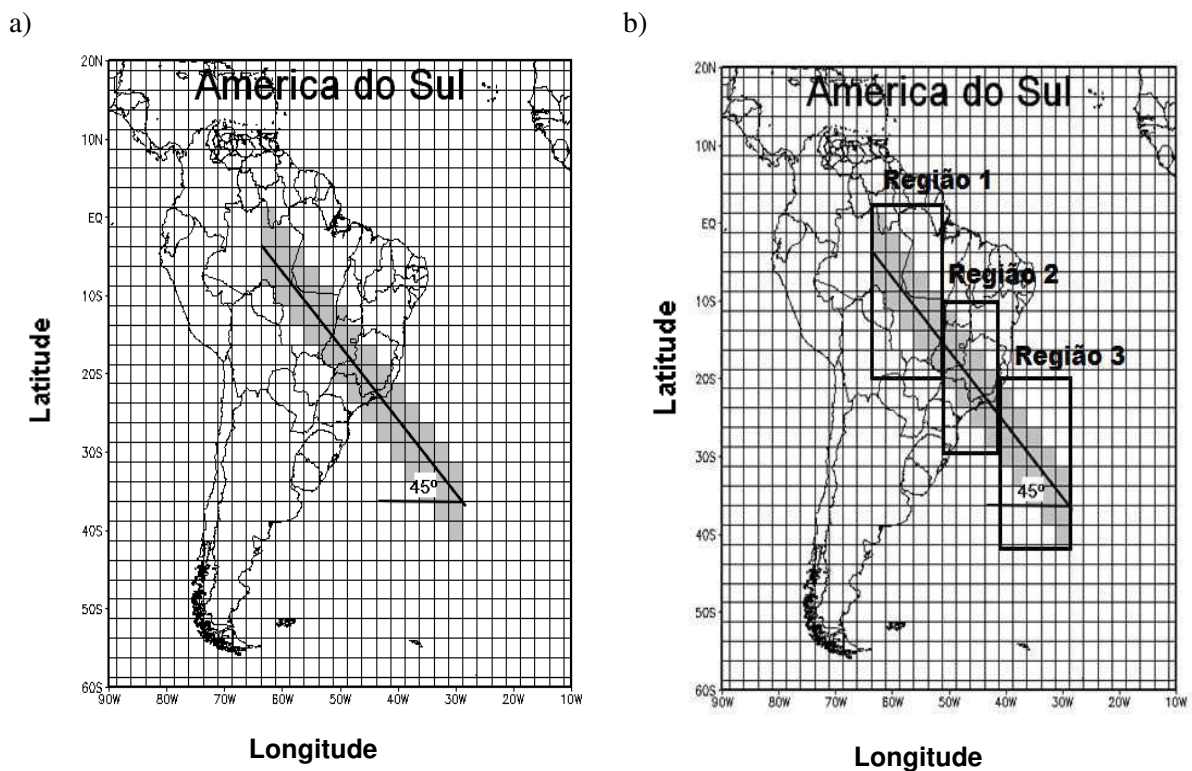


Figura 6 – (a) Área de atuação da ZCAS; (b) Área de atuação da ZCAS dividida em três regiões.

Para avaliar a confiabilidade dos dados de reanálises do NCEP/NCAR, foi feita uma comparação com os dados observados das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), escolhendo-se apenas as regiões Amazônica e Costeira tendo em vista que não há dados observados sobre a região oceânica. Utilizaram-se os dados diários do NCEP/NCAR e os dados diários do INMET correspondentes às estações convencionais

(Figura 7a) e as automáticas (Figura 7b) contidas na faixa da área de posição média da ZCAS. As variáveis escolhidas foram temperatura do ar em superfície ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa (%) e a variação temporal corresponde à quinzena referente ao evento ocorrido de ZCAS.

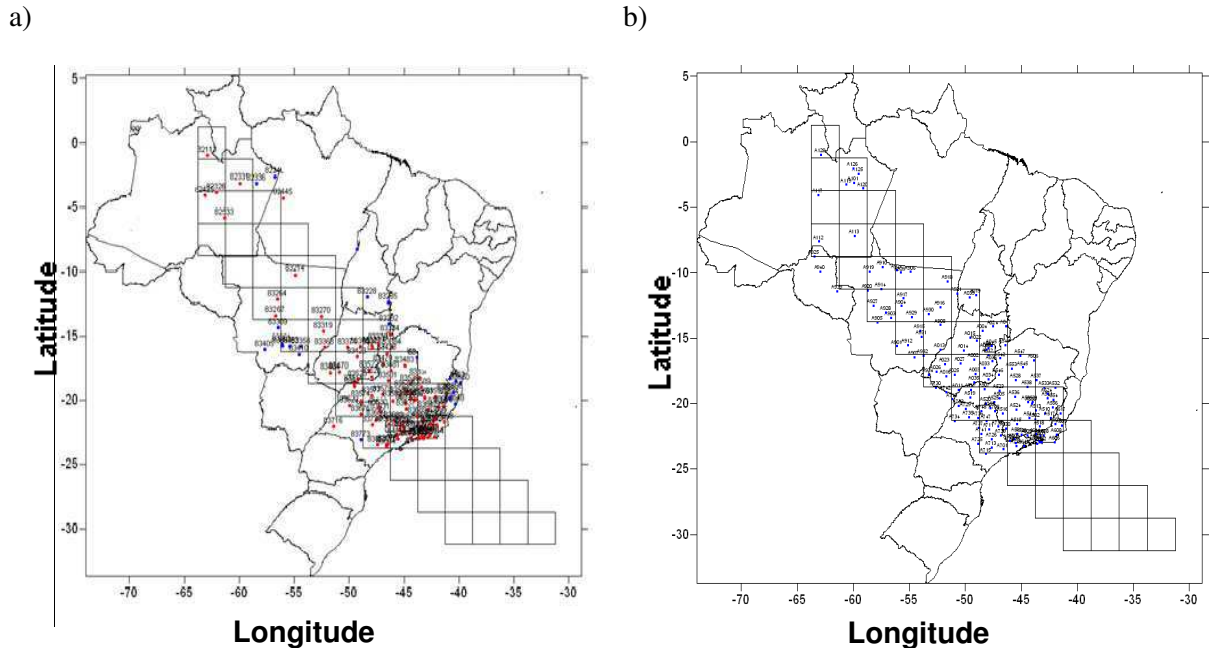


Figura 7 – (a) distribuição espacial das estações convencionais na faixa da ZCAS; (b) distribuição espacial das estações automáticas na faixa das ZCAS.

4.2 Características das Simulações Utilizando o Modelo BRAMS

O uso de modelos numéricos vem sendo cada vez mais comum tanto para a análise de fenômenos que ocorrem na atmosfera quanto para a previsão de tempo e clima. O *Brazilian Developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS)* é um modelo regional de mesoescala, integrado na versão não hidrostática, tendo sua principal utilização na representação de fenômenos de mesoescala e constitui uma versão brasileira desenvolvida a partir do *Regional Atmospheric Modeling System (RAMS)*, cuja estrutura básica é descrita por Pielke et al. (1992).

Para analisar o efeito do fenômeno levando em consideração a mesoescala, foram feitas duas simulações, uma da 00Z do dia 02 até a 00Z do dia 06 de dezembro de 2009, e outra da 00Z do dia 27 até a 00Z do dia 31 de dezembro de 2010 através do modelo numérico BRAMS. A resolução utilizada foi a mesma em todos os experimentos, de 40 km, com 100 pontos na direção x e 100 pontos na direção y e a grade foi centrada em 20°S e 50°W . A área

de domínio para as simulações corresponde à latitude de 0° a 40° S e longitude de 30° a 70° W.

As parametrizações físicas utilizadas para o presente trabalho através do modelo BRAMS são:

- A parametrização de radiação de acordo com Chen e Cotton (1983), que leva em consideração a interação da atmosfera com a camada de nuvens;
- A parametrização de turbulência na Camada Limite Planetária (CLP) calculada segundo Mellor e Yamada (1986), que é usado para determinação do coeficiente de mistura turbulento.
- A parametrização convectiva do tipo Grell (Grell e Dévényi, 2002);
- A parametrização de microfísica de nuvens segue o esquema descrito por Walko et al. (1995), a interação superfície-atmosfera, feita através do modelo descrito por Walko et al. (2000).

Tendo em vista que durante a passagem do evento ZCAS a atmosfera apresenta bastante umidade, implementou-se no pós processamento do modelo os parâmetros de balanço e transporte d'água na atmosfera, segundo a formulação de Peixoto (1973) e Peixoto & Oort (1992) (apud Cavalcanti, 2001) descritos abaixo.

O balanço de água na fase de vapor na atmosfera é dado pela seguinte fórmula:

$$\frac{Dq}{Dt} = S(q) \quad (1)$$

em que:

- q é a umidade específica para o vapor d'água;
- $S(q)$ é a taxa de formação (fonte) ou destruição (sumidouro) de vapor d'água por unidade de massa;

O termo $S(q) = e - c$ em que “e” representa a taxa de evaporação e “c” é a taxa de condensação por unidade de massa. Reescrevendo (1) tem-se:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \nabla_h \cdot q\vec{V} + \frac{\partial q\omega}{\partial p} = e - c \quad (2)$$

Na fase condensada uma equação pode ser descrita levando em conta que a taxa de formação (fonte) ou destruição (sumidouro) de água é $S(q_c) = -S(q)$ e $S(q_c) = -(e - c)$, logo:

$$\frac{\partial q_c}{\partial t} + \nabla_h \cdot q_c \vec{V} + \frac{\partial q_c \omega}{\partial p} = -(e - c) \quad (3)$$

A equação para o balanço total em determinado nível de pressão P, é resultado da soma das equações (2) e (3):

$$\left(\frac{\partial q}{\partial t} + \nabla \cdot q \vec{V} + \frac{\partial q \omega}{\partial p} \right) + \left(\frac{\partial q_c}{\partial t} + \nabla \cdot q_c \vec{V} + \frac{\partial q_c \omega}{\partial p} \right) = 0 \quad (4)$$

A equação acima pode ser integrada ao longo da vertical em relação à pressão, da superfície P_s até um nível P_{topo} , resultando na equação para o conteúdo total de água nas três fases (sólido, líquido e vapor), em toda a coluna atmosférica, dada por:

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{Q} - ET = - \frac{\partial W_c}{\partial t} - \nabla \cdot \vec{Q}_c - P \quad (5)$$

em que:

- $W = \frac{1}{g} \int_{P_{topo}}^{P_s} q dp$ – é o conteúdo de água na forma de vapor;
- $W_c = \frac{1}{g} \int_{P_{topo}}^{P_s} q_c dp$ – é o conteúdo de água na forma condensada;
- $\vec{Q} = Q_\lambda \vec{i} + Q_\emptyset \vec{j}$ onde $Q_\lambda = \frac{1}{g} \int_{P_{topo}}^{P_s} q u dp$ e $Q_\emptyset = \frac{1}{g} \int_{P_{topo}}^{P_s} q v dp$
– é o fluxo horizontal de água na forma de vapor;
- $\vec{Q}_c = Q_{c\lambda} \vec{i} + Q_{c\emptyset} \vec{j}$ onde $Q_{c\lambda} = \frac{1}{g} \int_{P_{topo}}^{P_s} q_c u dp$ e $Q_{c\emptyset} = \frac{1}{g} \int_{P_{topo}}^{P_s} q_c v dp$
– é o fluxo horizontal de água na forma condensada.
- $ET = - \frac{1}{g} (q \omega)_{P_s}$ – é a evapotranspiração;

- $P = \frac{1}{g} (q_c \omega)_{P_s}$ – é a precipitação.

Pode-se notar que o termo $\nabla \cdot \vec{Q}_c$ é muito importante apenas em pequenas áreas pois representa o transporte de água condensada nas partículas de nuvens. Portanto tem sido desprezado em estudos em grande escala.

Enfim, os parâmetros de água precipitável (W) e fluxos zonal (Q_λ) e meridional (Q_ϕ) de vapor d'água na atmosfera são formulados da seguinte forma:

$$W = \frac{1}{g} \sum_{n=1}^N \frac{[(q)_{n+1} + (q)_n]}{2} \cdot [(P)_n - (P)_{n+1}] \quad (6)$$

$$Q_\lambda = \frac{1}{g} \sum_{n=1}^N \frac{[(uq)_{n+1} + (uq)_n]}{2} \cdot [(P)_n - (P)_{n+1}] \quad (7)$$

$$Q_\phi = \frac{1}{g} \sum_{n=1}^N \frac{[(vq)_{n+1} + (vq)_n]}{2} \cdot [(P)_n - (P)_{n+1}] \quad (8)$$

em que N é o número de camadas do modelo.

4.3 Caracterização do Ambiente Sinótico

4.3.1 Caso de ZCAS entre 02 e 06 de dezembro de 2009

De acordo com o prognóstico climático para dezembro de 2009 (CPTEC/INPE) o fenômeno El Niño permaneceu com águas anormalmente quentes (em torno de 2° C), na região do Pacífico Equatorial, assim como nas camadas sub-superficiais próximo à costa oeste da América do Sul.

A síntese sinótica mensal (CPTEC/INPE) mostra que uma frente fria atuou entre Argentina e Brasil, entre os dias 03 e 05, chegando ao litoral do Rio de Janeiro (RJ). Uma onda frontal, com características subtropicais formou-se a leste da Região Sul do Brasil dia 3, alinhando o canal de umidade entre Bolívia, Centro-Oeste, Paraná (PR) e São Paulo (SP)

dando início ao processo de formação de uma Zona de Convergência do Atlântico Sul. O período de maior intensidade do sistema ocorreu entre os dias 04 e 05 (Figura 8).

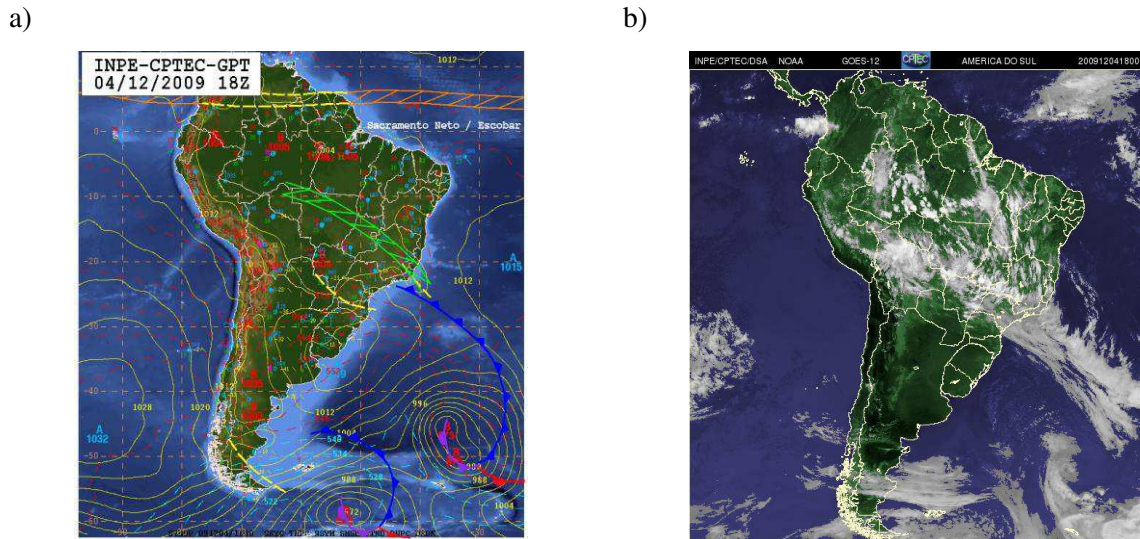


Figura 8 – (a) Carta sinótica e (b) imagem de satélite, as 18 Z para o dia 04 de dezembro de 2009 durante a atuação da ZCAS.

A análise para a primeira quinzena do mês de dezembro das anomalias de precipitação (Figura 9a) aponta que as chuvas significativas sobre os estados de Mato Grosso (MT) e Tocantins (TO), de São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ) associadas a ZCAS. A distribuição espacial das anomalias de temperaturas máximas e mínimas ao longo do mês de dezembro (Figura 9b e 9c) apresenta um predomínio de anomalias positivas sobre a maior parte do Brasil, principalmente nas Regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste.

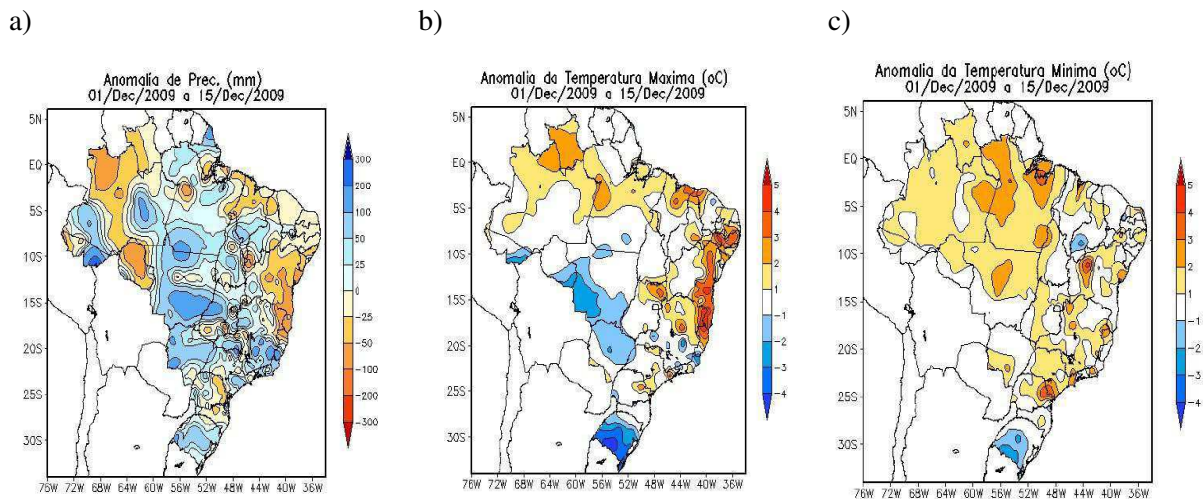


Figura 9 – Anomalia de (a) precipitação (b) temperatura máxima e (c) temperatura mínima para a

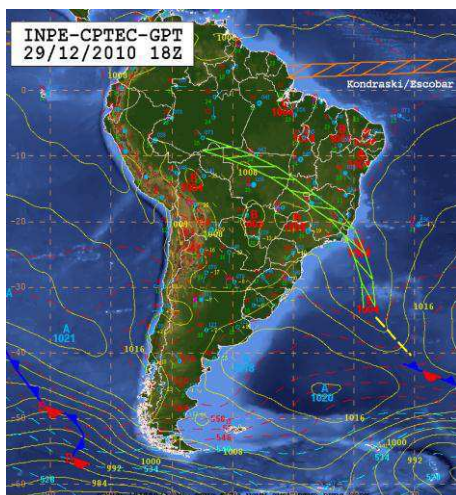
primeira quinzena de dezembro de 2009. (Fonte: CPTEC/Síntese Sinótica Mensal)

4.3.2 Caso de ZCAS entre 27 e 31 de dezembro de 2010

Segundo o prognóstico climático do CPTEC, o fenômeno La Niña manteve-se estável na região equatorial do Pacífico Leste, porém notou-se o aumento do Índice de Oscilação Sul (IOS) em comparação com o mês anterior. Valores positivos do IOS indicam episódios de La Niña, com pressão atmosférica acima do normal em Tahiti (Polinésia Francesa) e abaixo do normal em Darwin (norte da Austrália). No Atlântico Norte, as águas superficiais ficaram ainda mais aquecidas se comparadas ao mês anterior.

Entre os dias 27 e 31 houve a formação de um episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) entre Rondônia (RO), Goiás (GO), MG, RJ, ES e MT. Esse sistema contribuiu para acumulados de chuva significativos em MG e no ES e região serrana do RJ, causando deslizamentos de terra e alagamentos, desalojando e desabrigando moradores, além de causar várias mortes. Além disso, o acumulado de chuva na zona da mata mineira esteve em torno de um terço da média climatológica da região (Figura 10).

a)



b)

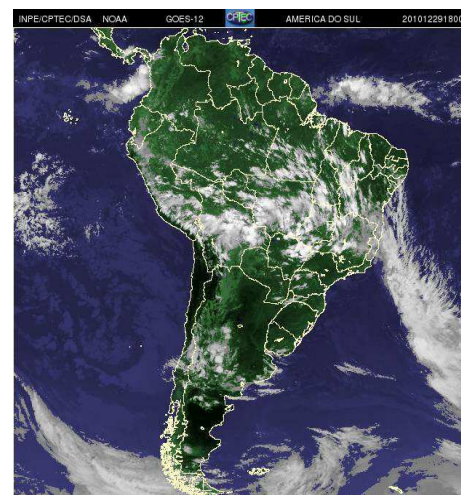


Figura 10 – (a) Carta sinótica e (b) imagem de satélite, as 18 Z para o dia 29 de dezembro de 2010 durante a atuação da ZCAS.

A Anomalia de precipitação para a segunda quinzena de dezembro de 2010 (Figura 11a) aponta chuvas entre o Sudeste e sobre parte do Mato Grosso do Sul (MS), de GO e do

sul da Amazônia (AM), mesmo esparsa, marcando assim a presença de um canal de umidade (ZCOU) que começou a se formar e que permaneceu até meados de janeiro de 2011. Observaram-se anomalias positivas de temperaturas máximas e mínimas (Figura 11b e 11c) no Sul e Sudeste do Brasil. Neste período o padrão de bloqueio sobre o Atlântico inibiu o deslocamento de sistemas frontais que carregam em sua retaguarda um ar mais frio e que pode ter colaborado para as anomalias positivas sobre esta parte do Brasil.

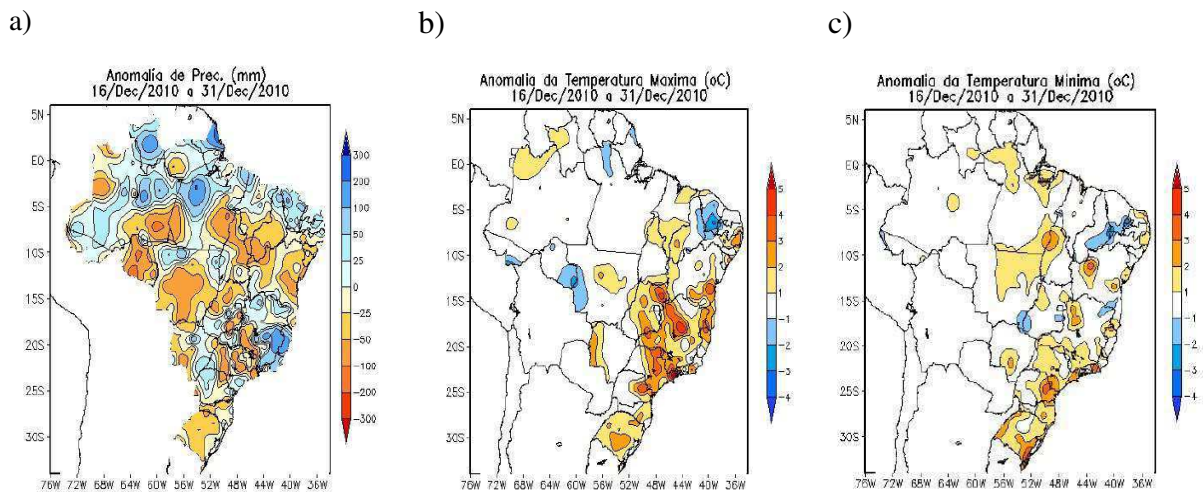


Figura 11 – Anomalia de (a) precipitação (b) temperatura máxima e (c) temperatura mínima para a segunda quinzena de dezembro de 2010. (Fonte: CPTEC/Síntese Sinótica Mensal)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises dos dados de reanálises para o caso de ZCAS em 2009

A seguir são apresentados os resultados feitos para o caso de ZCAS entre os dias 02 e 06 de dezembro de 2009. Esses resultados consistem na variação temporal dos dados de reanálises para as 3 regiões de atuação da ZCAS (região 1 – curva azul; região 2 – curva em vermelho; região 3 – curva verde). A variação temporal é feita para a quinzena referente ao caso, mas será considerado apenas para análise o período entre os dias 02 e 06 de dezembro.

A temperatura do ar (Figura 12a) basicamente não apresenta variações significativas para a região 1 (em torno de 20° C) enquanto a região 2 mostra uma pequena diminuição (em torno de 17°C). Já a região 3 apresenta uma diminuição significativa entre os seus valores a partir do dia 3 ao dia 5 (em torno de 7° C) caracterizando um oceano mais frio. A umidade relativa (Figura 12b) tem valores aproximados para as regiões 1 e 2 (em torno de 70%) apresentando um aumento do dia 3 até o dia 5 mais notável para a região 2. Para a região 3 ocorre um pico no dia 3 (com valores em torno de 70%) e a partir desse dia há um decaimento até dia 5 (valores em torno de 50%) mostrando uma maior variação para a região oceânica.

Comparando-se as figuras 12a e 12b, podemos notar que enquanto os valores de temperatura diminuem, os valores de umidade relativa aumentam. Pode-se perceber que entre os dias 3 e 5 quando ocorre a formação da ZCAS e intensificação ao longo dos dias há uma notável diminuição de valores de temperatura e aumento dos valores de umidade relativa, bem mais significativa para a região 2. Apenas para a região oceânica observa-se o contrário, enquanto há um resfriamento no oceano, observa-se uma diminuição para a umidade relativa. Isso pode ser explicado devido ao fato que a análise para a temperatura do ar e umidade relativa foram feitas para o nível de 850 hPa, levando a esse comportamento oceânico. Além disso, pode-se inferir que a umidade advinda do oceano possivelmente foi advectada para o interior do continente, a partir do dia 3 quando o sistema intensifica-se.

A radiação de onda longa (Figura 12c) apresenta valores menores para as regiões 1 e 2 e ambas as curvas diminuem até o dia 4 (em torno de 180 W.m⁻²). Para a região 3 os valores são superiores (de 250 a 300 W.m⁻²) com um mínimo para o dia 3 (de 240 W.m⁻²). A radiação de onda longa mostrou-se muito sensível apresentando uma diminuição para as curvas e isso pode ter ocorrido devido ao fato que quando tem-se convecção profunda na atmosfera a ROL

apresenta valores mais baixos, pois as nuvens apresentam topos mais frios causando essa diminuição.

A água precipitável (Figura 12d) apresenta maiores valores para a região 1 (em torno de 55 mm) e pouca variação, tendo em vista que a região é fortemente influenciada pela alta umidade da bacia amazônica e pela evapotranspiração da área florestada durante o ano todo. A região 2 apresenta um suave aumento entre os dias 2 e 4 (em torno de 50 mm) enquanto a região 3 tem valores menores, é um pouco mais variável, apresentando um pico para o dia 3 (em torno de 35 mm) decrescendo a partir desse dia até o dia 5 (mínimos em torno de 20 mm). Por estar localizada em latitudes tropicais a região 1 apresenta um alto teor de umidade e a região 2 mostra uma atmosfera bem úmida devido a presença do sistema sobre o continente.

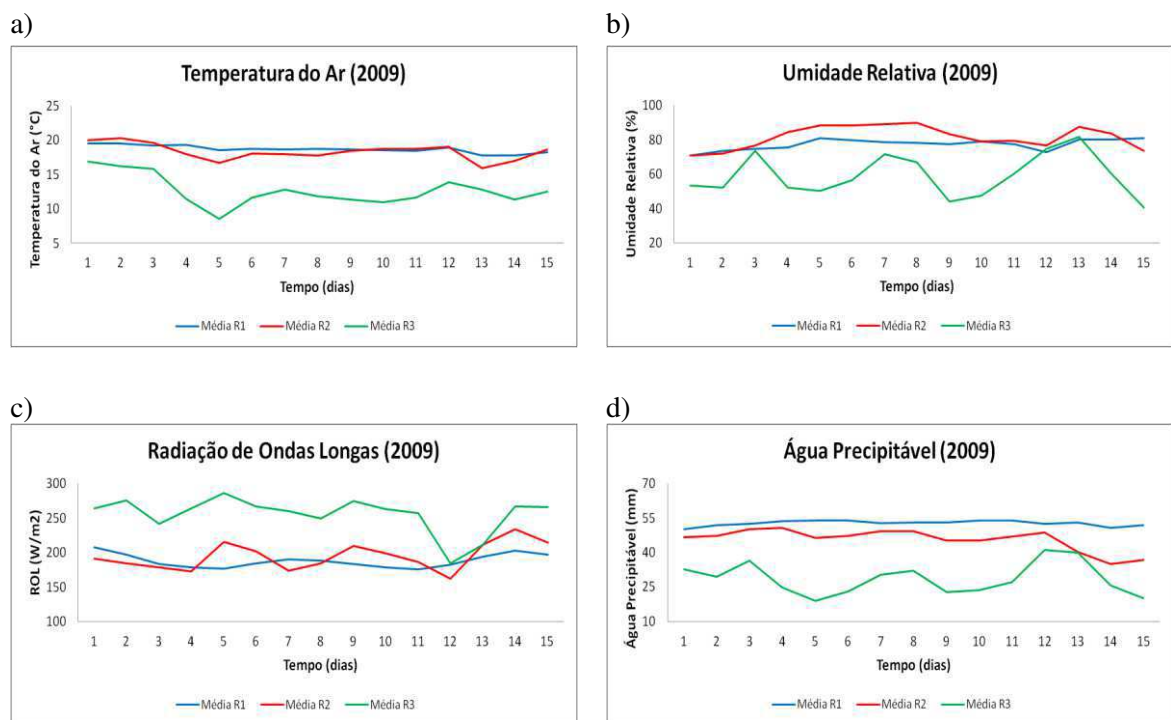


Figura 12 – (a) Temperatura do ar (b) umidade relativa (c) Radiação de onda longa e (d) água precipitável para as 3 regiões de atuação das ZCAS, durante a 1ª quinzena de dezembro de 2009.

A seguir foram feitas comparações para as variáveis temperatura do ar e umidade relativa entre os dados observados e os dados de reanálises do NCEP/NCAR para as regiões Amazônica e Costeira.

Para a temperatura do ar na região 1 (Figura 13a), os dados de reanálises subestimam os dados observados ao contrário do que ocorre para a região 2 (Figura 13b) durante o período em que ocorreu a ZCAS. As curvas para ambas as figuras apresentam uma diminuição entre os valores durante os dias em que ocorre a ZCAS, sendo que a região 2 apresenta valores menores que a região 1, mostrando uma área aparentemente mais fria. Vale ressaltar que na região 2 o número de estações é bem maior que na região 1, aumentando assim a densidade dos dados, tornando os valores observados mais realísticos.

Para a umidade relativa nas regiões 1 e 2 (Figuras 13c e 13d) pode-se notar que os dados das reanálises superestimam os valores observados em ambas as figuras. Os valores observados para ambas as regiões concentram-se em torno de 80% e os valores das reanálises em torno de 90%. Podemos perceber que há um aumento para ambas as figuras ao contrário do que ocorre com os gráficos de temperatura do ar, apresentando coerência entre os dados. Os dados de umidade do NCEP apresentam valores altos em altos níveis (300 hPa) que podem explicar esse comportamento.

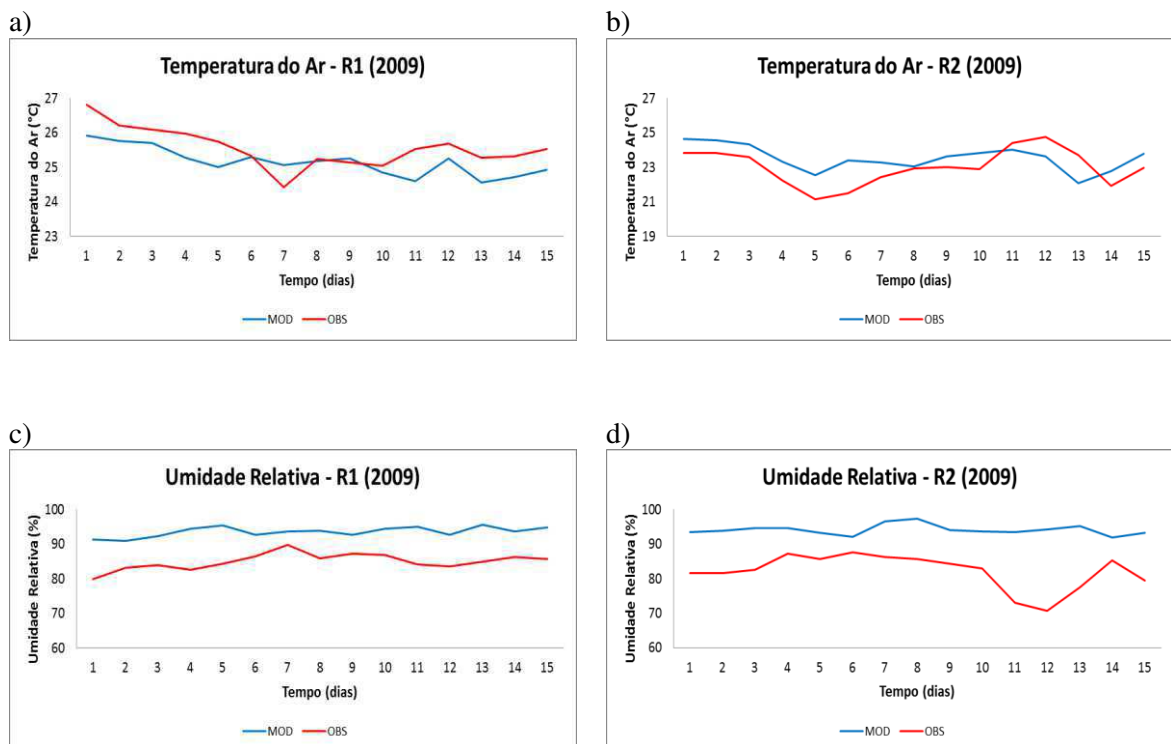


Figura 13 – Comparação entre os dados de reanálises e os dados observados para: (a) Temperatura do ar na região 1; (b) Temperatura do ar na região 2; (c) Umidade relativa do ar na região 1 e (d) Umidade relativa do ar na região 2.

5.2 Análises dos dados de reanálises para o caso de ZCAS em 2010

A seguir são apresentados os resultados feitos para o caso de ZCAS entre os dias 27 e 31 de dezembro de 2009. Esses resultados consistem na variação temporal dos dados de reanálises para as 3 regiões de atuação da ZCAS (região 1 – curva azul; região 2 – curva em vermelho; região 3 – curva verde). A variação temporal é feita para a quinzena referente ao caso, mas será considerado apenas para análise o período entre os dias 27 e 31 de dezembro.

A temperatura do ar (Figura 14a) apresenta maiores valores para as regiões 1 e 2, com uma suave diminuição durante o período de ocorrência da ZCAS (em torno de 18° C). Para a região 3 a curva apresenta valores menores (em torno de 15° C) podendo chegar a 12°C no último dia. A umidade relativa (Figura 14b) apresenta valores bem próximos para as 3 curvas em torno de 70% para as regiões 1 e 2, em torno 80% para a região 3. Há uma pequena diminuição para a curva 2, e isso pode ter ocorrido devido a algum efeito local. A umidade sobre o oceano está mais elevada do que nas regiões sobre o continente mostrando que sobre o oceano o sistema apresentou-se mais intenso.

Para as regiões 1 e 2, a variável ROL (Figura 14c) apresenta valores mais baixos que a região 3 (entre 200 e 280 W.m⁻²). Enquanto a região 1 apresenta um declínio (em torno de 170 W.m⁻²), a região 2 apresenta um aumento de valores (em torno de 230 W.m⁻²) e isso pode ser explicado devido a influência de efeitos locais sobre o lugar, visto que a variação é pequena e os valores se mantêm em torno de 200 W.m⁻². Pode-se perceber também que a região 1 apresenta-se com mais umidade, o que pode ter causado essa diferença entre as duas regiões.

A água precipitável (Figura 14d) apresenta uma diminuição para as regiões 2 e 3 e um aumento para a região 1 (valores em torno de 55 mm). Nesse caso a região 1 apresenta-se mais sensível mantendo valores mais elevados, mostrando que a atmosfera esteve bem mais úmida, marcando a presença de precipitação principalmente para esta região devido à influência local da área florestada e da bacia amazônica.

É possível notar que a região 2 apresentou maiores mudanças como aumento da ROL, diminuição da água precipitável e da umidade relativa e isso pode ter sido causado devido a influência do sistema no oceano que esteve advectando a umidade dessa região para a região oceânica.

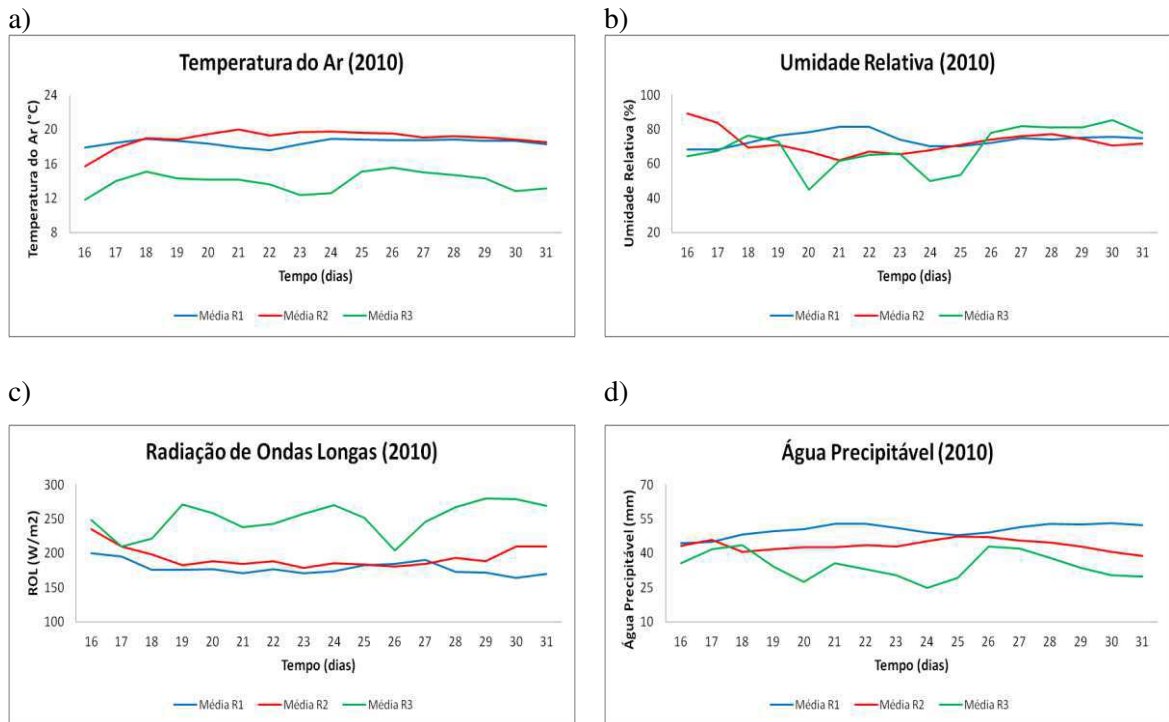


Figura 14 – (a) Temperatura do ar em 850 hPa (b) Umidade relativa em 850 hPa (c) Radiação de onda longa e (d) água precipitável para as 3 regiões de atuação das ZCAS, durante a 2ª quinzena de dezembro de 2010.

As Figuras 15a e 15b apresentam as comparações entre dados de reanálises e os observados para a variável temperatura do ar nas regiões 1 e 2, respectivamente. Os valores das reanálises subestimam os observados (Figura 15a), concentrando-se em entre 24° e 25° C. Do dia 27 a 28 ambas as curvas apresentam um decaimento (aproximadamente 0,5° C), quando teve início a formação do sistema de ZCAS. Para as região 2 (Figura 15b) os valores das reanálises (em torno de 24° C) superestimam os valores observados (em torno de 23° C) para a temperatura do ar. Ambas apresentam um decaimento durante todo o período de observação da ZCAS e as diferenças entre as regiões 1 e 2 pode ser devido a grande densidade de dados observados que há na região 2.

As Figuras 15c e 15d apresentam dados de reanálises e os dados observados para a umidade relativa nas regiões 1 e 2, respectivamente. Pode-se perceber que em ambas as figuras os valores das reanálises superestimam os valores observados. Para a região 1 (Figura 15c) os valores observados concentram-se em torno de 80% e os valores das reanálises em torno de 90% e estão de acordo com a queda de temperatura observada na figura 15a, visto que enquanto a temperatura diminui até dia 28, a umidade relativa aumenta. Já na região 2 (Figura 15d) os valores observados encontram-se bem mais baixos, entre 70% e 80% e os valores das reanálises em torno de 90%. As curvas apresentam um aumento até dia 28,

voltando a decrescer até dia 31. Praticamente não há variação significativa para a região 2, apresentando uma diminuição nos valores de umidade relativa dificultando o entendimento dos processos físicos que tenham se formado sobre o local, além da presença da ZCAS.

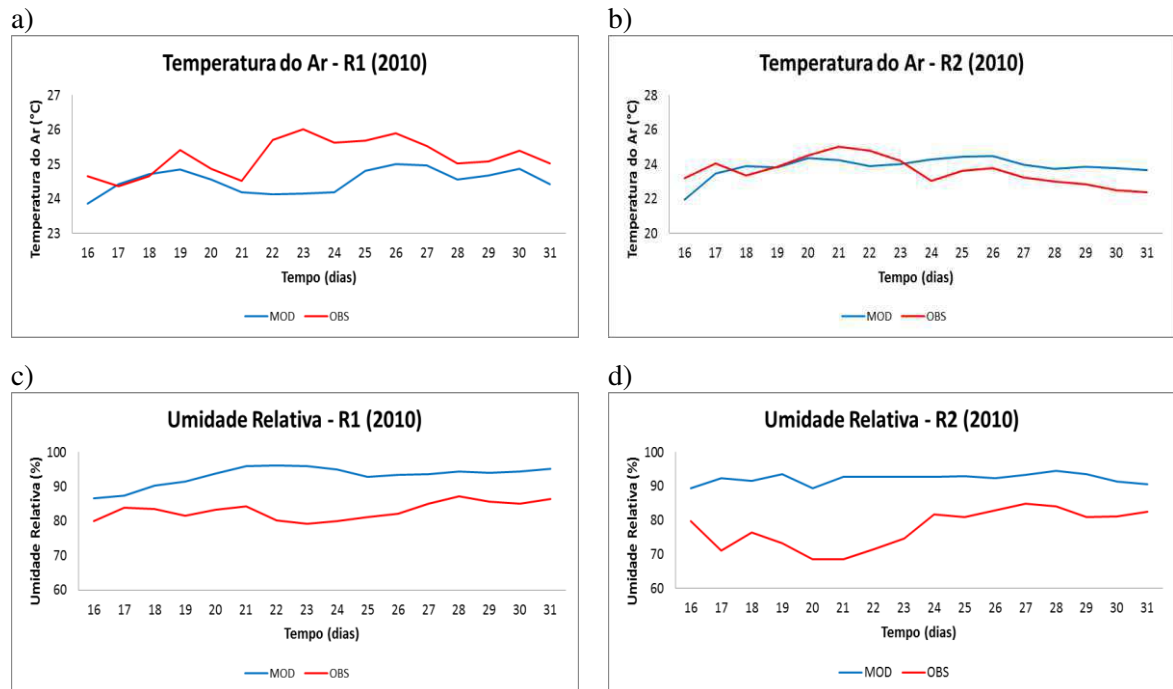


Figura 15 – Comparação entre os dados do modelo e os dados observados para: (a) Temperatura do ar na região 1; (b) Temperatura do ar na região 2; (c) Umidade relativa do ar na região 1 e (d) Umidade relativa do ar na região 2 .

5.3 Análise das Simulações com o BRAMS para o caso de 2009

As Figuras a seguir foram geradas para mostrar o único caso de ZCAS que ocorreu no mês de dezembro de 2009. As Figuras 16a a 16d apresentam os valores de temperatura do ar no nível de 850 hPa, para as 18 UTC, do dia 02 ao dia 05 de dezembro de 2009, durante a presença do evento de ZCAS. Os valores para a região de ocorrência da ZCAS estão em torno de 20° C a partir do dia 02 chegando a ser observados valores em torno de 18° C no dia 05 na área sobre a faixa continental que vai desde a região Norte até a região Sudeste. Sobre o oceano Atlântico também há uma diminuição significativa nos valores para a temperatura, (que eram em torno de 18° C a partir do dia 02) e esses abrangem uma área maior, próximos da costa leste das regiões Sul e Sudeste da América do Sul, obtendo no dia 05 valores abaixo de 14° C. Na costa leste de São Paulo há um núcleo com valores em torno de 14° C adentrando pelo continente e essa área parece ser influenciada pelos baixos valores de

temperatura do oceano Atlântico, devido à presença de um sistema frontal sobre o oceano Atlântico Sul.

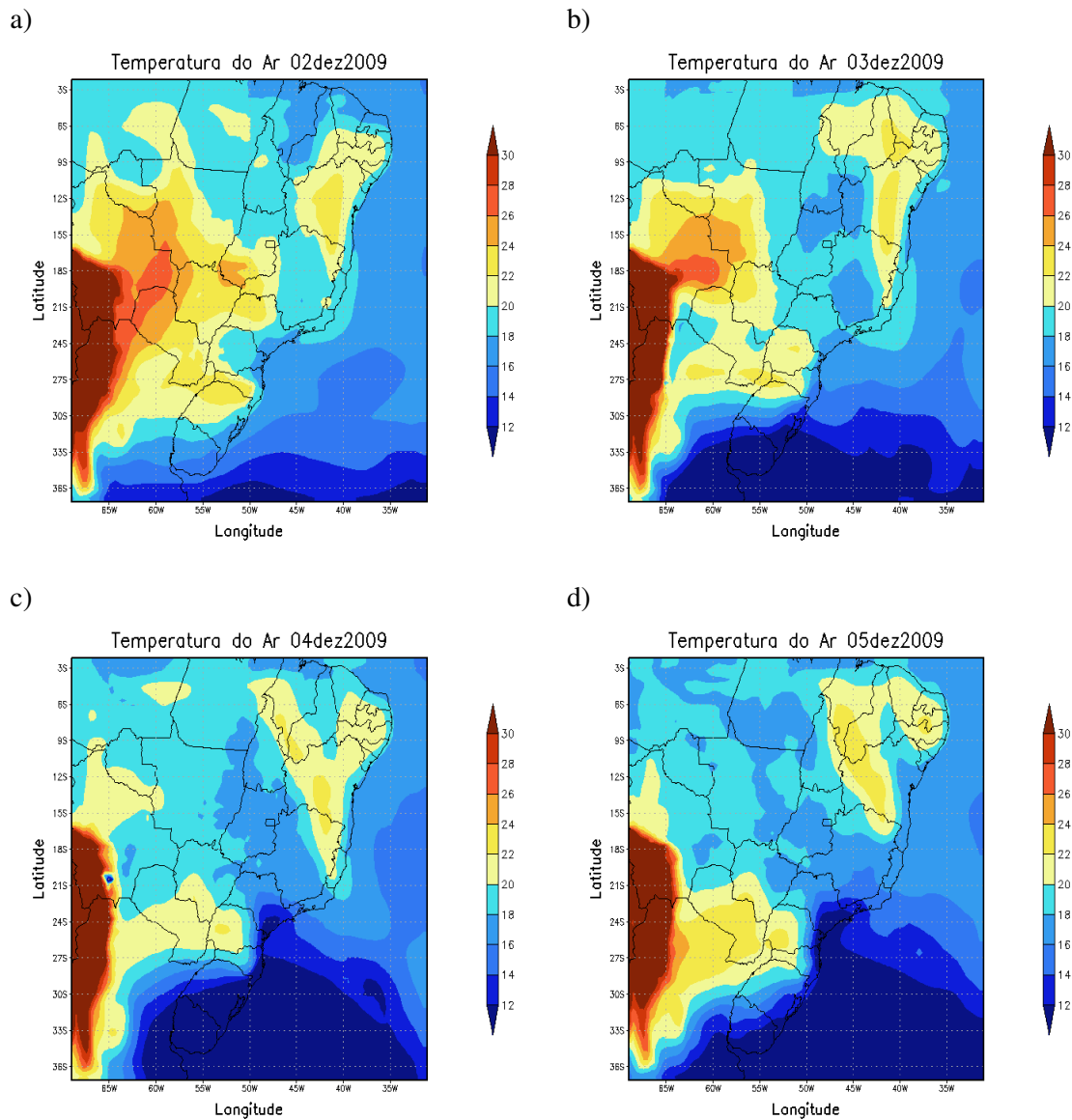


Figura 16 – Temperatura do ar em 850 hPa para as 18 UTC dos dias: (a) 02 de dezembro; (b) 03 de dezembro; (c) 04 de dezembro e (d) 05 de dezembro de 2009.

As Figuras 17a a 17d representam a umidade relativa do ar em 850 hPa, as 18 UTC, para os dias 02 a 05 de dezembro de 2009. Podemos notar que na faixa de ocorrência da ZCAS, a umidade relativa mantém valores bem elevados a partir do dia 02 até o dia 05. Ao longo dos dias esses valores aumentam significativamente estendendo-se até o oceano Atlântico. Os valores estão em torno de 90% de umidade para os primeiros dias e no dia 5 de dezembro, para a mesma área observada os valores estão em torno de 90 a 100% de umidade

relativa. A área com bastante umidade compreende a região Norte, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil e estão de acordo com as Figuras anteriores, pois enquanto a temperatura diminui, a umidade relativa aumenta ao passar dos dias. Há dois núcleos de valores mais baixos sobre o oceano Atlântico com valores em torno de 40% de umidade relativa, um mais ao norte e outro mais ao sul e a faixa de umidade elevada que se encontra entre esses núcleos é exatamente durante a passagem do sistema frontal.

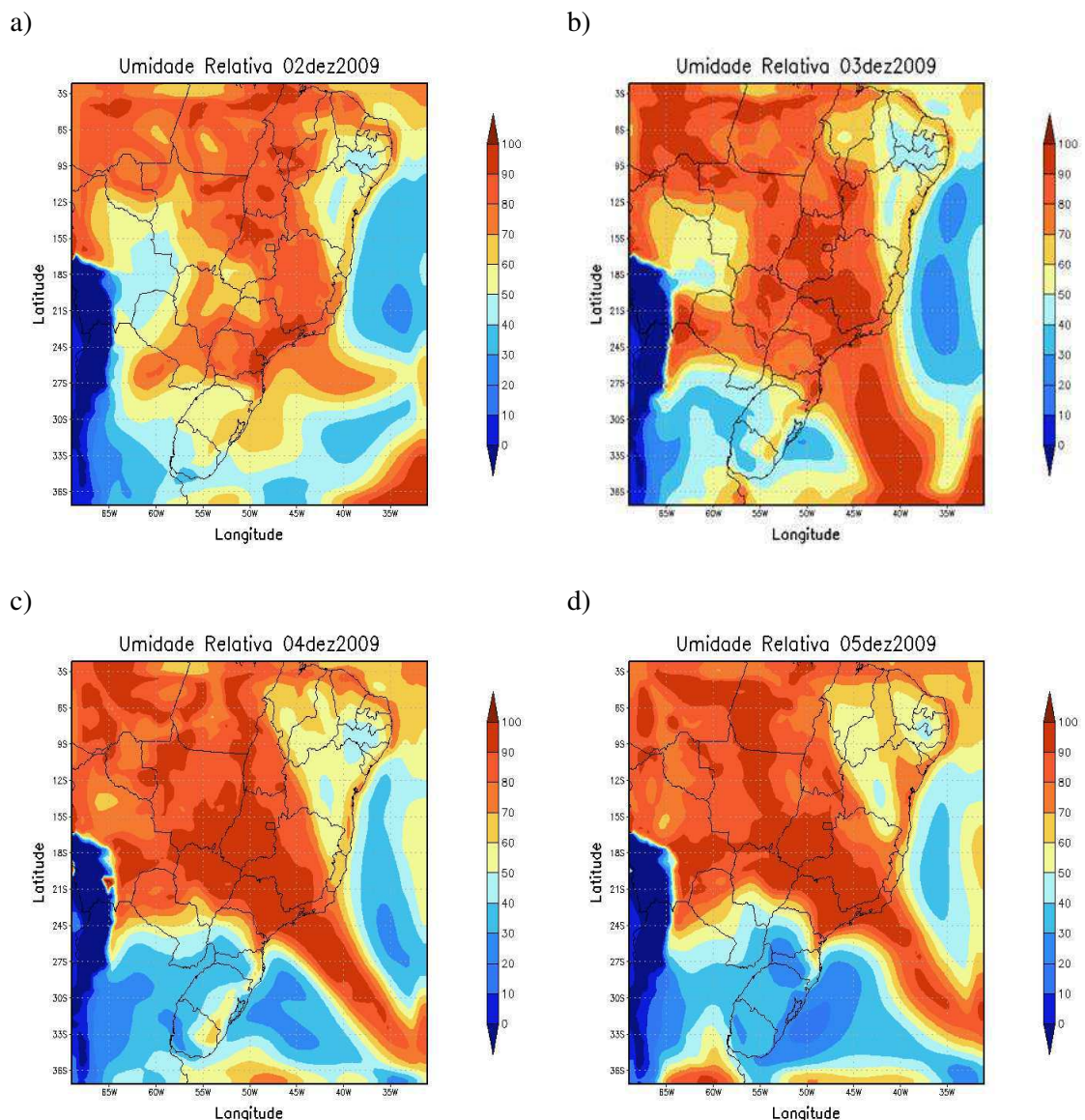


Figura 17 – Umidade relativa do ar em 850 hPa para as 18 UTC dos dias: (a) 02 de dezembro; (b) 03 de dezembro; (c) 04 de dezembro e (5) de dezembro de 2009.

As Figuras 18a a 18d apresentam valores de precipitação total para a área de influência da ZCAS entre os dias 2 e 5 de dezembro de 2009. Podemos perceber que o modelo detectou pouca chuva nessa área para o dia 2 e 3, enquanto nos dias 4 e 5 modelo simula uma grande

zona de precipitação que se estende desde o sul do Pará, abrangendo as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, estendendo-se até o oceano Atlântico Subtropical. Como a precipitação é acumulada, o ultimo dia obviamente apresenta maiores valores, mas podemos ver que praticamente não houve muita precipitação durante os 2 primeiros dias. Os maiores valores concentram-se na área sobre Minas Gerais e Goiás (entre 100 e 170 mm) chegando a obter núcleos de até 190 mm.

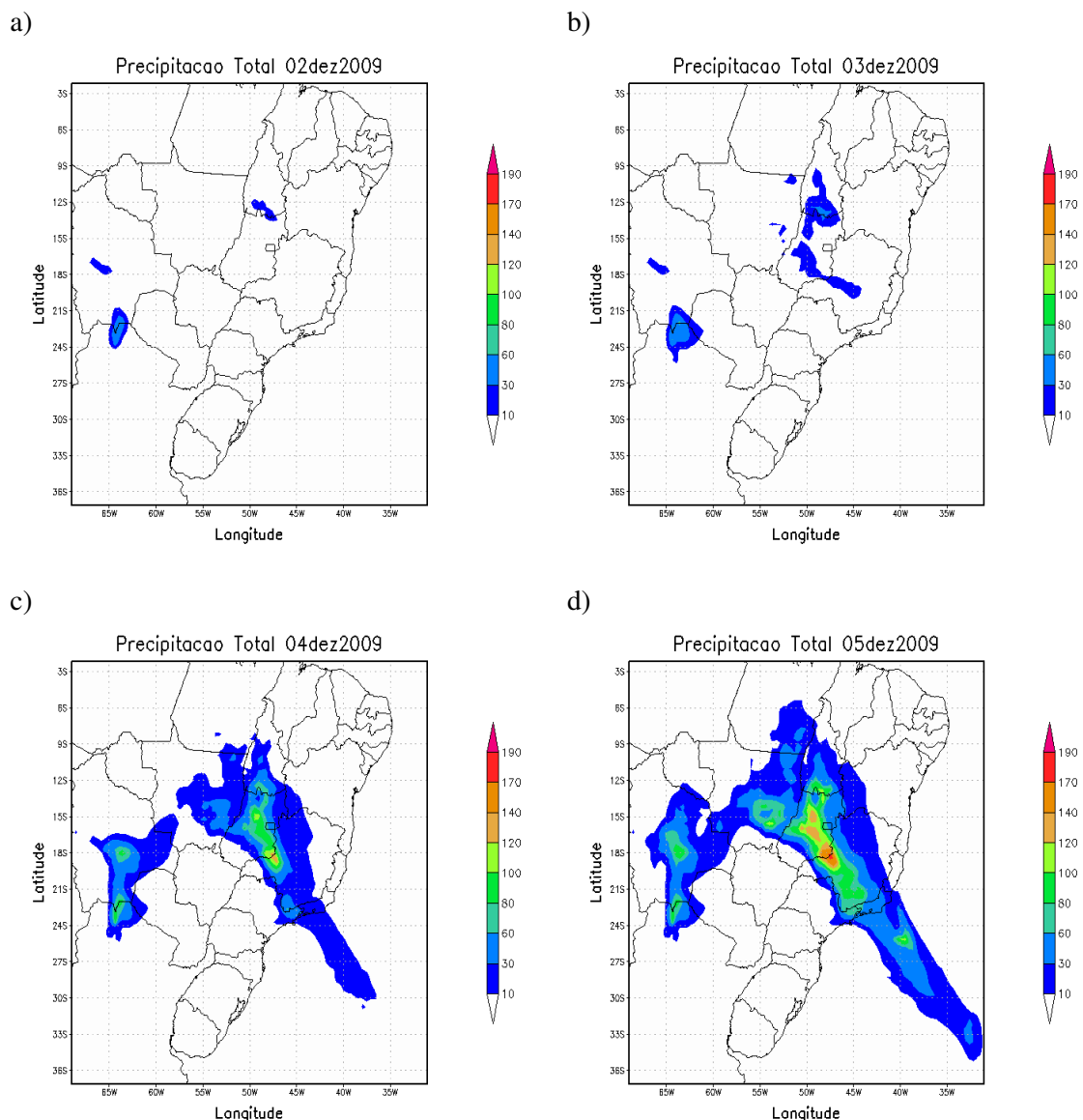


Figura 18 – Precipitação total para os dias: (a) 02 de dezembro; (b) 03 de dezembro; (c) 04 de dezembro e (d) 05 de dezembro de 2009.

As Figuras a seguir (19a – 19d) referem-se à velocidade vertical (W) e a altura geopotencial no nível de 500 hPa do dia 02 ao dia 05 de dezembro de 2009. Em todos os dias as áreas mais centrais do Brasil apresentam valores mais elevados de velocidade vertical. A

altura geopotencial no centro-sul do Brasil encontra-se com valores em torno de 5880 m e com o passar dos dias diminui, atingindo valores em torno de 5790 m. A velocidade vertical apresenta-se mais dispersa. Observa-se uma grande área com elevada atividade convectiva principalmente sobre as regiões Sudeste, Centro-Oeste e parte da região Norte, com a intensidade dos valores de velocidade vertical em torno de $0.5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ estando de acordo com a área de precipitação observada nas Figuras 18a – 18d. Observa-se ainda que há uma diminuição da altura geopotencial devido ao resfriamento sobre a área afetada pela intensa precipitação causada pela ZCAS e a velocidade vertical que se estende até o oceano Atlântico Sul coincide com a faixa onde há a presença do sistema frontal.

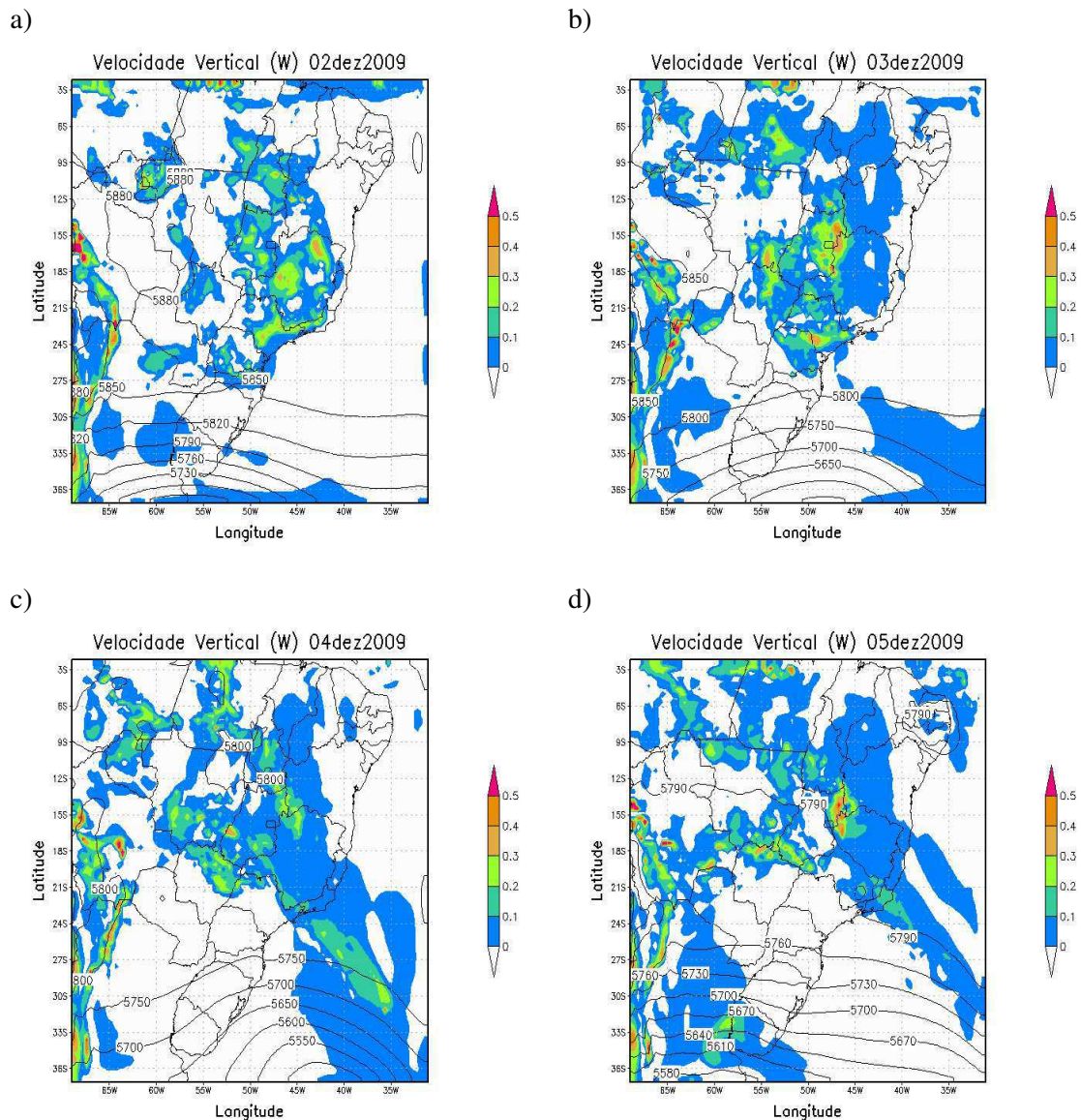


Figura 19 – Velocidade vertical (W) e altura geopotencial em 500 hPa para os dias: (a) 02 de dezembro; (b) 03 de dezembro; (c) 04 de dezembro e (d) 05 de dezembro de 2009.

A água precipitável (Figuras 20a – 20d) apresenta-se mais dispersa, mas é na faixa que se estende de NW-SE que apresenta valores mais elevados. No dia 02 (Figura 20a) os valores na maior parte do Brasil encontram-se em torno de 52 mm. Há alguns núcleos com valores mais elevados em parte do Centro-Oeste e com o passar dos dias há um aumento significativo nessa mesma área e parte do Sudeste, apresentando um canal de intensa atividade estendendo-se desde o sul da região Norte até o Atlântico Subtropical, com valores variando de 56 a 60 mm. Na costa oceânica do Atlântico Sul, na costa de SP e RJ, há um núcleo intenso com valores acima de 60 mm coincidindo com a área na qual está posicionada a frente.

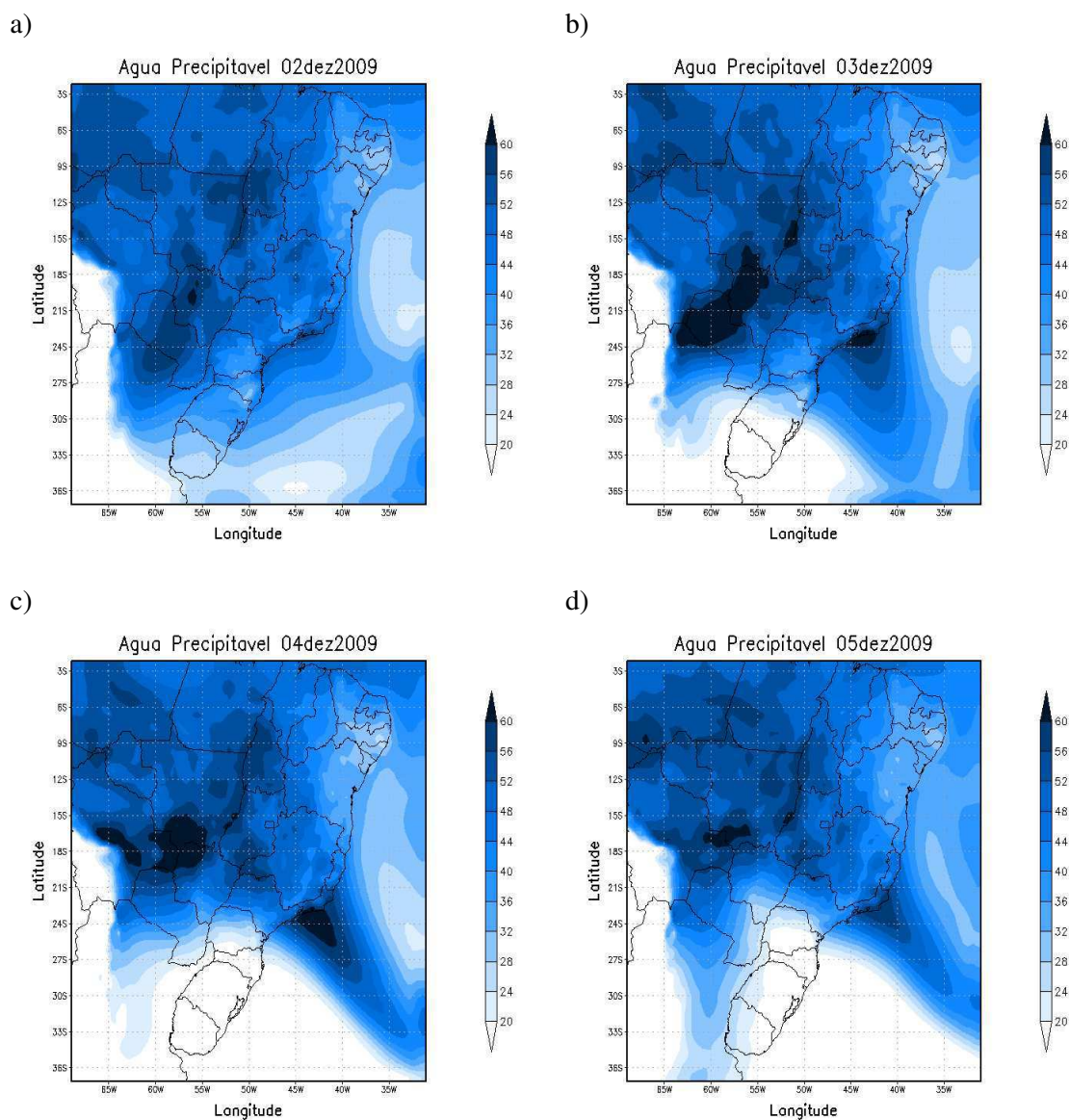


Figura 20 – Água precipitável para os dias: (a) 02 de dezembro; (b) 03 de dezembro; (c) 04 de dezembro e (d) 05 de dezembro de 2009.

O fluxo de vapor pode ser observado nas Figuras 21a – 21d. Pode-se perceber que o fluxo de umidade vem do oceano Atlântico Equatorial, na mesma direção de atuação dos ventos alísios, se dirigindo em direção ao continente, contribuindo para o transporte de vapor. A leste da região Norte eles tendem a mudar de direção e provavelmente escoam de encontro ao canal de umidade que se forma na região Norte e escoam na direção NW-SE através dos jatos de baixos níveis, canalizados pelos Andes. Deve-se notar que há um intenso fluxo de umidade do oceano em direção ao continente, mais precisamente na costa da região Sudeste, com valores elevados em torno de 1400 kg/m.s, concordando com a faixa da ZCAS observada nas outras figuras. A fonte de alimentação para esse fluxo vem dos anticiclones, situados ao norte e ao sul dessa faixa de intensa atividade no oceano Atlântico Sul.

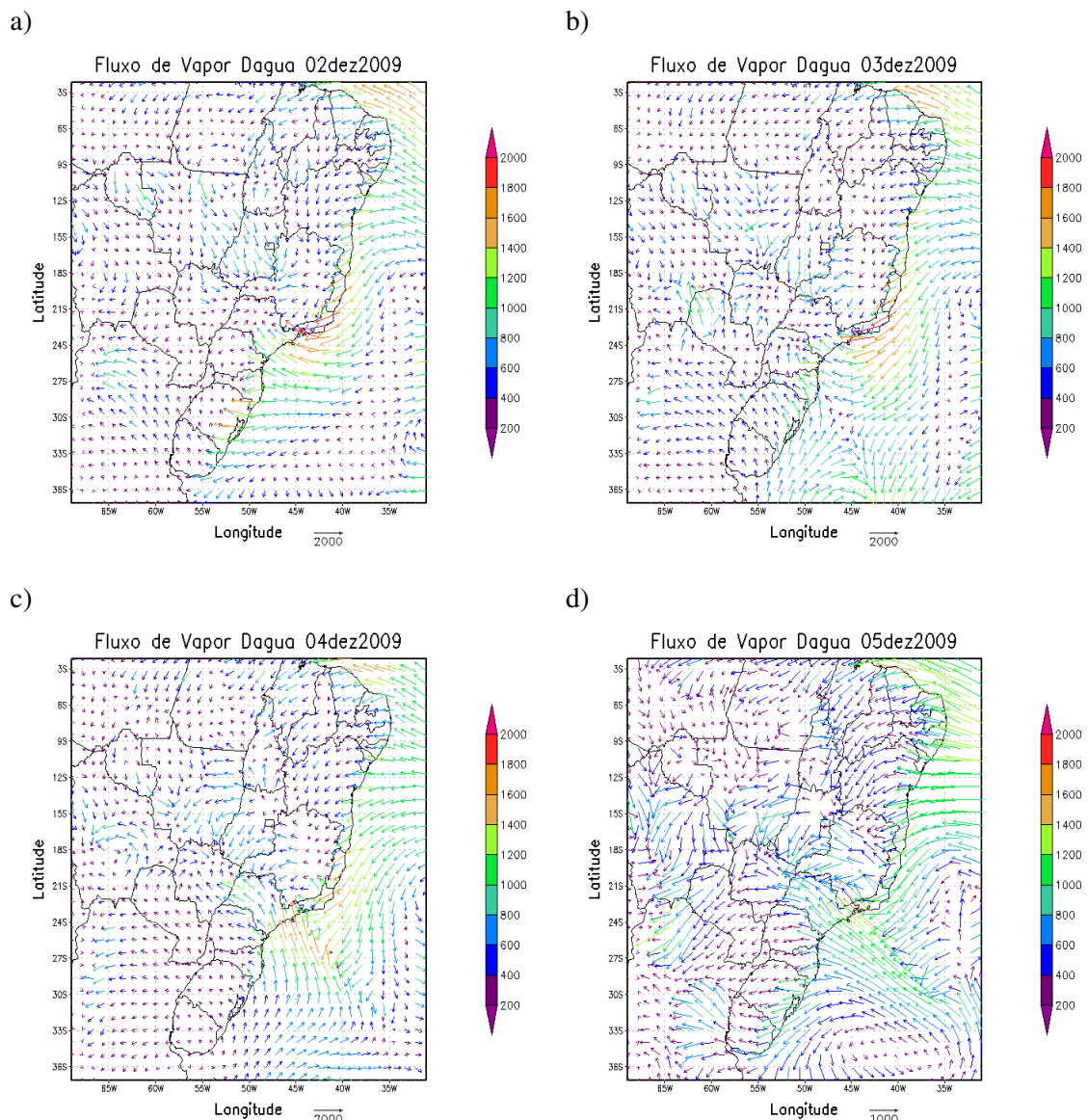


Figura 21 – Fluxo de vapor d'água na atmosfera para os dias: (a) 02 de dezembro; (b) 03 de dezembro; (c) 04 de dezembro; (b) 05 de dezembro de 2009.

5.4 Análise das Simulações com o BRAMS para o caso de 2010

As Figuras a seguir foram geradas para simulação do caso de ZCAS ocorrido entre os dias 27 e 31 de dezembro de 2010. Para o primeiro 27 (Figura 22a), na área NW-SE os valores se encontram em torno de 22° C na maior parte da região Norte e Centro-Oeste do Brasil. Há uma diminuição da temperatura a partir do oceano em direção ao continente, principalmente sobre a região Sudeste, com valores menores que 20° C. Para a região oceânica os valores são mais baixos, abaixo de 16° C. A faixa que se estende de NW-SE apresenta uma queda ao passar dos dias podendo ser observados valores entre 18° e 20° C.

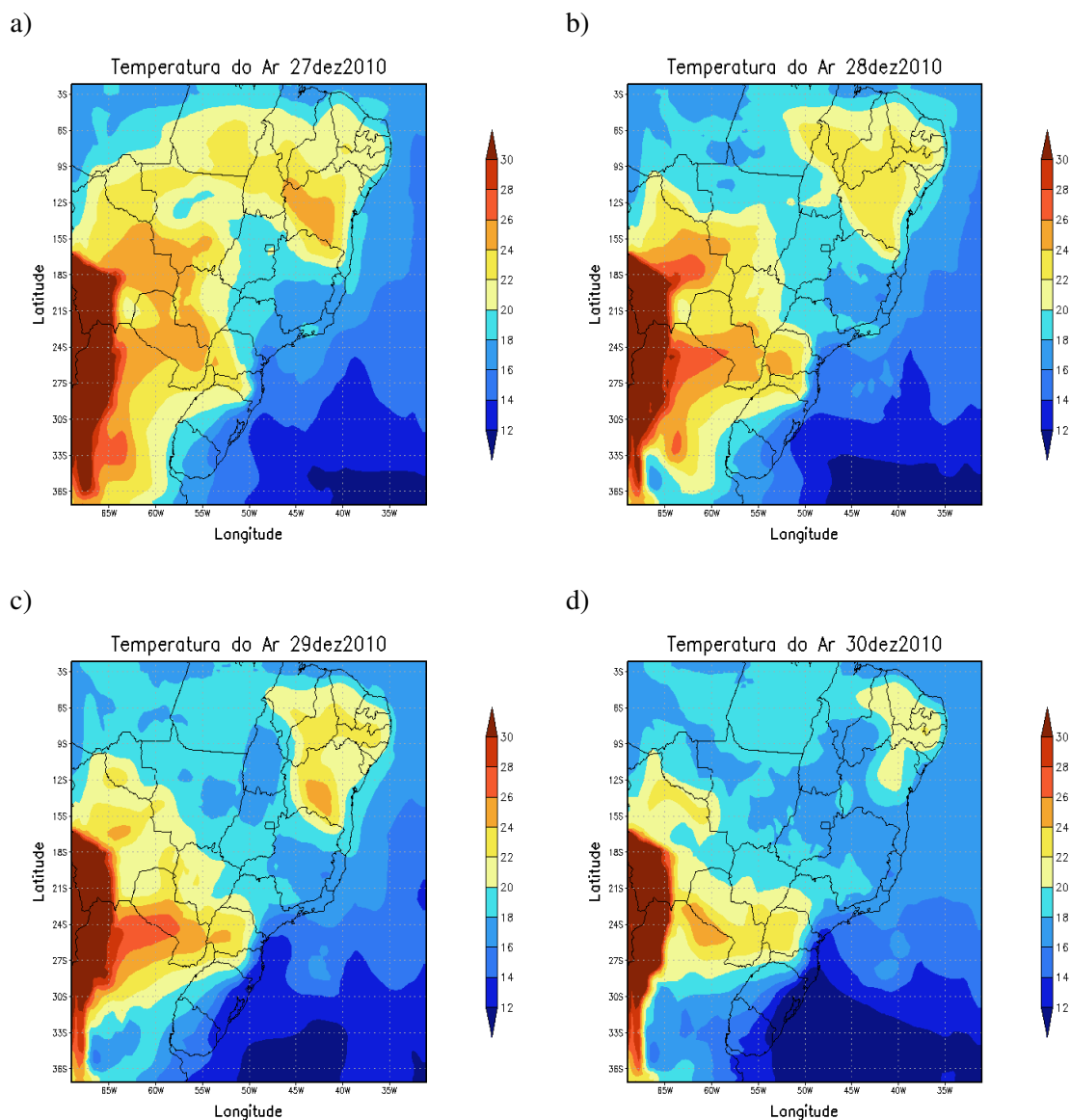


Figura 22 – Temperatura do ar em 850 hPa para os dias: (a) 27 de dezembro; (b) 28 de dezembro; (c) 29 de dezembro e (d) 30 de dezembro de 2010.

A umidade relativa (Figuras 23a-d) condiz com o esperado visto que é observado um aumento dos valores de umidade desde o oceano Atlântico Sul avançando pelo continente pela costa do Sudeste, chegando até o leste do Mato Grosso, com valores em torno de 90%. Nos outros dias o sistema de ZCAS começa a intensificar em toda essa faixa atingindo elevados valores de umidade relativa para o dia 30 de dezembro, em torno de 90% e alguns núcleos com 100% de umidade relativa. A extensão dessa faixa sobre o oceano Atlântico apresenta valores bem elevados chegando até 100% de umidade relativa.

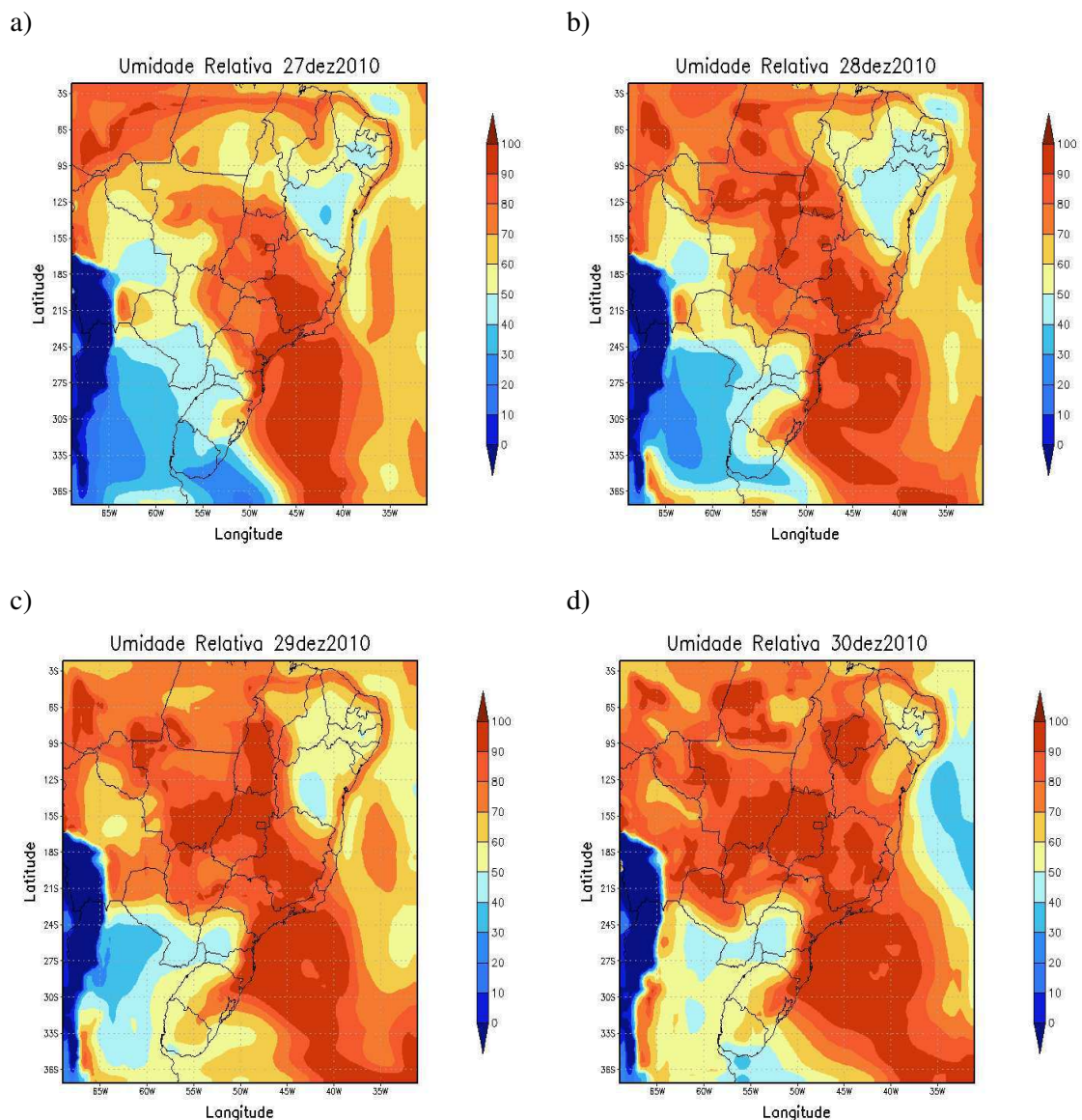


Figura 23 – Umidade relativa do ar em 850 hPa para as 18 UTC dos dias: (a) 27 de dezembro; (b) 28 de dezembro; (c) 29 de dezembro e (d) 30 de dezembro de 2010.

A precipitação total (Figura 24a e 24b) praticamente começa a ocorrer na região oceânica próxima à costa da região Sudeste, aumentando significativamente ao passar dos dias. Há um pequeno núcleo que começa sobre o leste do Mato Grosso e intensifica-se estendendo na direção NW-SE. Podemos perceber que a precipitação total tem valores em torno de 120 mm na região Centro-Oeste e na região oceânica apresenta máximos absolutos acima de 190 mm (Figura 24d). Nessa região oceânica as chuvas podem ter sido causadas devido a presença de um sistema frontal intenso.

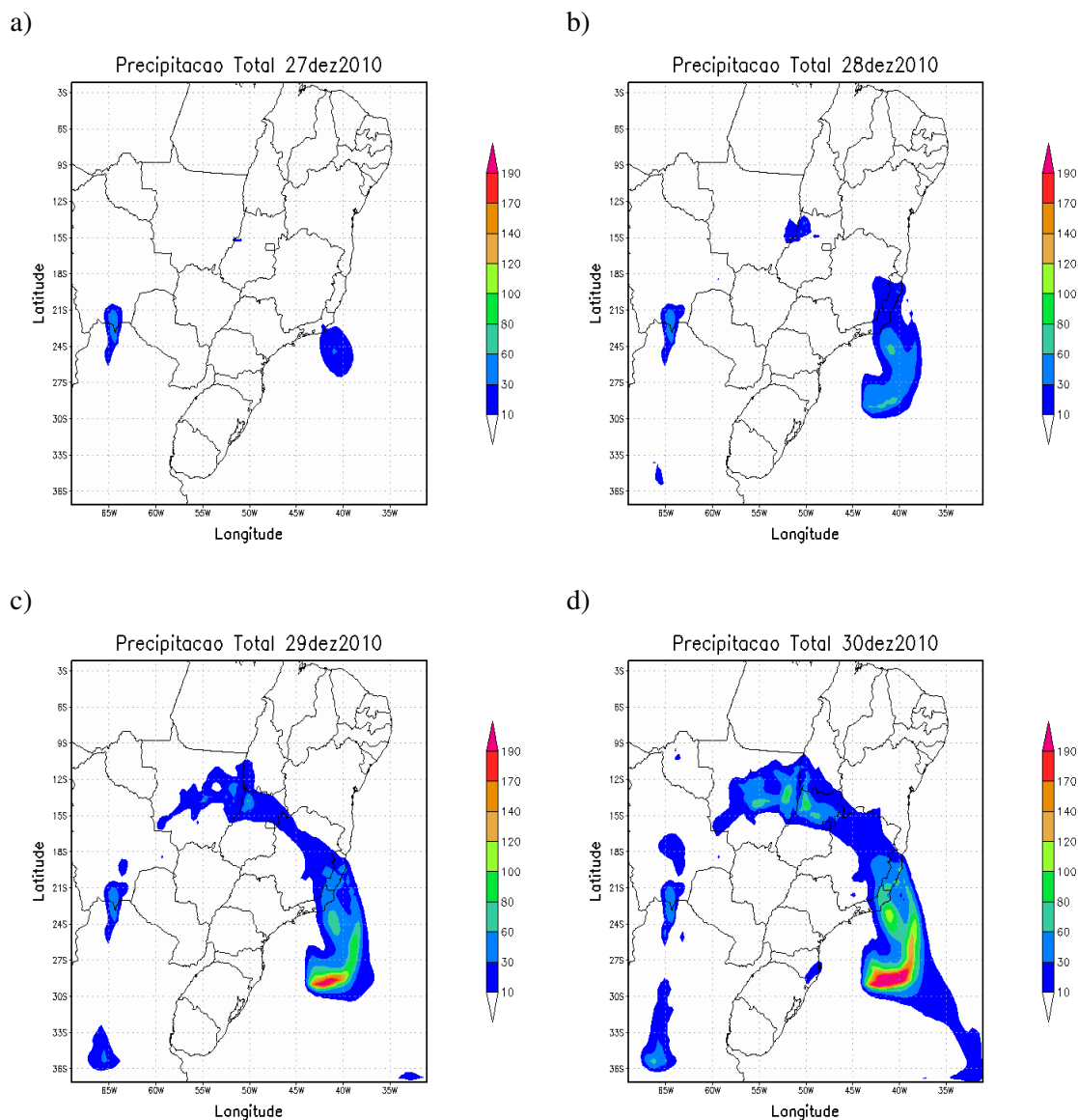


Figura 24 – Precipitação total para os dias: (a) 27 de dezembro; (b) 28 de dezembro; (c) 29 de dezembro e (d) 30 de dezembro de 2010.

A água precipitável (Figura 26a) configura uma faixa de atuação da ZCAS estendendo-se de NW-SE até o Atlântico Subtropical, onde são observados valores elevados próximos à costa da região Sudeste. Há alguns núcleos com valores máximos em torno de 56 mm, principalmente sobre o leste do Mato Grosso. Para o último dia (Figura 26d) os valores de água precipitável na atmosfera foram bem mais elevados apresentando uma extensa faixa com valores máximos entre 56 e 60 mm de NW-SE. Os núcleos de máximos valores ocorrem sobre o leste do Mato Grosso, norte do Mato Grosso do Sul e parte da Bolívia e um segundo núcleo é observado no oceano Atlântico Subtropical em direção ao continente.

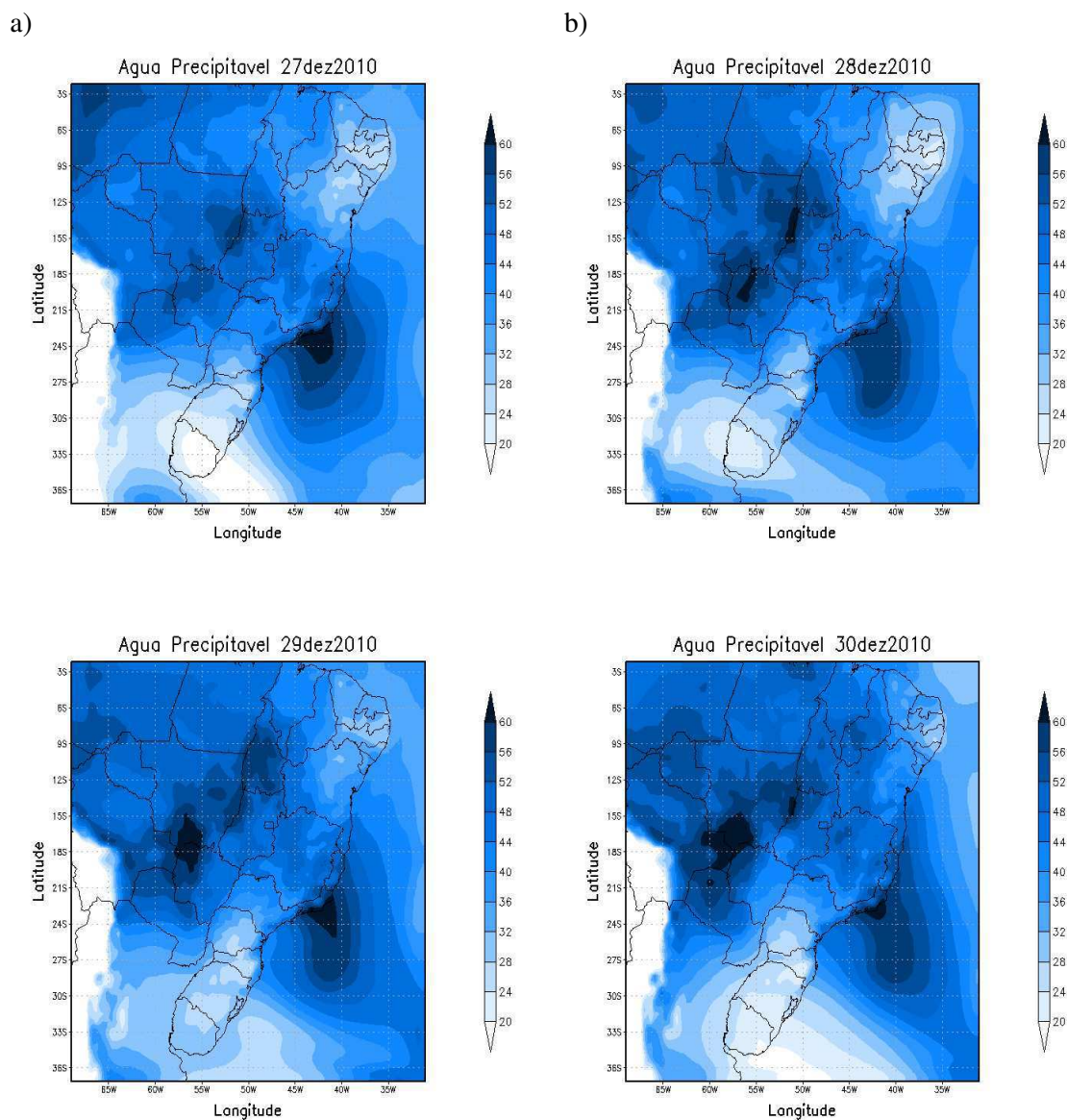


Figura 26 – Água precipitável para os dias: (a) 27 de dezembro; (b) 28 de dezembro; (c) 29 de dezembro e (d) 30 de dezembro de 2010.

A Figura 27a a 27d apresenta a direção dos fluxos que foram importantes para a configuração da ZCAS. Podemos observar que o escoamento principal ocorre vindo de leste pelo oceano Atlântico Equatorial, apresentando um desvio na direção sudoeste. Mais ao Sul há outro escoamento vindo do oceano Atlântico em torno da longitude de 40° W em direção ao continente atingindo valores elevados. Há uma configuração ciclônica na faixa onde os fluxos se encontram sobre a costa oceânica próximo da região Sudeste, (em torno de 27° S e 43° W) exatamente onde ocorreram elevados valores de água precipitável.

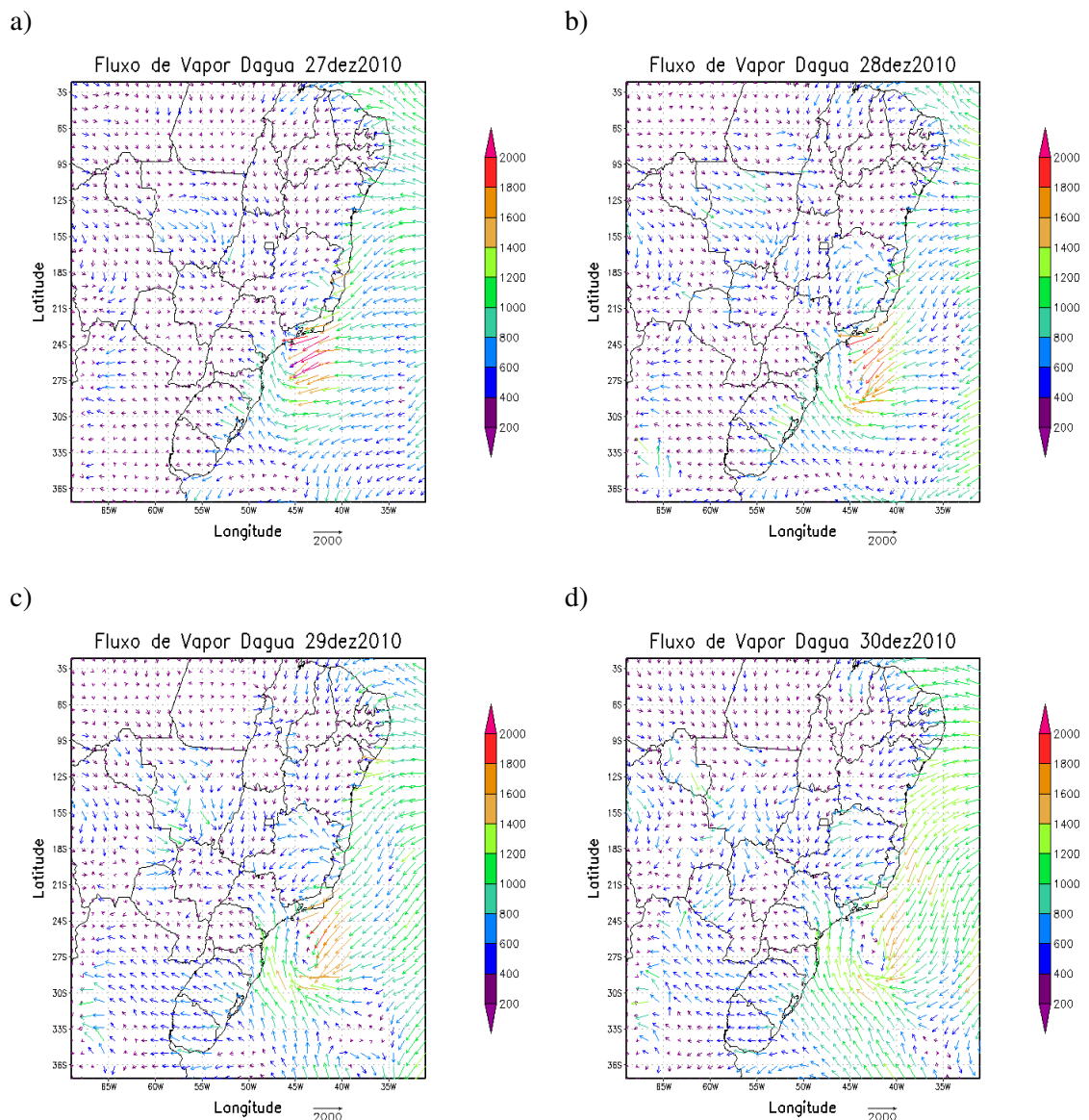


Figura 27 – Fluxo de vapor d'água na atmosfera para os dias: (a) 27 de dezembro; (b) 28 de dezembro; (c) 29 de dezembro; (d) 30 de dezembro de 2010.

6. CONCLUSÕES

A análise em grande escala apresenta coerência para os dois casos e as variáveis mostram diferenças que confirmam a presença do sistema de ZCAS sobre as 3 regiões analisadas. As variáveis (temperatura do ar, umidade relativa, ROL e água precipitável) representaram bem os casos de ZCAS.

A região amazônica apresenta uma atmosfera bem úmida, com elevação do teor de vapor durante os casos de ZCAS, tanto para o caso 1 (durante a presença do fenômeno El Niño) quanto para o caso 2 (durante a presença do fenômeno La Niña) e praticamente não houve variação significativa para essa região devido à influência da bacia Amazônica e da grande área de floresta que mantém uma atmosfera bastante úmida.

A região costeira apresenta variações diferentes durante os casos de ZCAS. Para o caso 1 essa região apresenta uma elevação de vapor d'água na atmosfera ao contrário do que ocorre no caso 2, que apresenta uma diminuição do teor de vapor. Isso mostra que a alimentação de vapor para essa região vem principalmente pelo oceano Atlântico e uma diminuição dos fluxos de vapor no oceano acarreta uma diminuição dos fluxos também para o continente de acordo com o observado para o ano de La Niña.

A região Oceânica apresenta-se com bastante umidade para o ano de El Niño (caso 1) e no ano de La Niña apresenta uma diminuição da umidade.

A análise da mesoescala revela importantes variações dinâmicas relacionadas à ZCAS para ambos os casos. Todas as variáveis apresentam coerência e o BRAMS conseguiu simular bem a área principal de atuação da ZCAS, tanto para o caso de El Niño (2009) quanto para o caso de La Niña (2010).

Tomando como foco as variáveis implementadas no pós-processamento do modelo BRAMS (água precipitável e fluxo de vapor d'água), em ambos os casos a água precipitável apresenta maiores valores para a área em que atua a ZCAS de NW-SE do Brasil. O fluxo de vapor d'água representa bem a direção dos fluxos, sendo esses principalmente em duas direções de importantes alimentação do sistema de ZCAS: de leste, na direção dos alíseos e na direção SE do Brasil.

Para o ano de El Niño, há interação entre a ZCAS e um sistema frontal. O fluxo de vapor d'água vem de sudeste pelo oceano Atlântico Sul, adentrando pelo continente, configurado sobre uma estreita faixa que faz conexão com a ZCAS. Esse escoamento é alimentado pelo anticiclone subtropical e outro mais ao sul associado ao sistema frontal. Já no ano para o caso de La Niña, o fluxo de vapor d'água sobre o oceano configura-se sobre um sistema intenso de baixa pressão próximo à costa da região Sudeste, onde os fluxos ficam confinados.

Em eventos de El Niño a ZCAS fica mais intensa e estende-se bem mais em direção ao oceano, enquanto que em eventos de La Niña a ZCAS fica menos intensa e situa-se mais ao sul de sua posição climatológica, além de ter uma fraca configuração sobre o oceano, comparada a configuração sobre o continente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CAMARGO JR., H.; CASTRO, C. **Início da estação chuvosa na região Sudeste do Brasil: Parte 1 – Estudos observacionais.** In: Rev. Brasileira de Meteorologia – RBMet, v. 20, n. 3, p. 385-394, 2005.

ALVES, L. M. Parte II – **Climas do Brasil: o clima da região centro-oeste do Brasil.** In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J.(Org.). Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, p. 235-241, 2009.

BARROS, V. R.; GONZÁLES, M.; LIEBMANN, B.; CAMILLONI, I. **Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in Southeastern South America.** In: Theor. Appl. Climatology, v. 67, p. 123-133, 2000.

CALDERON, D.; GANDU, A. W. **Simulações para a Zona de Convergência do Atlântico Sul.** In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro – RJ, 2000.

CANDIDO, L.; GAN, M. A.; MANZI, A. O. **Sensibilidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) à condição hídrica do solo: um estudo de caso.** In: Revista Brasileira de Meteorologia - RBMet, v. 21, n. 3b, 387-397, 2006.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. **The South Atlantic Convergence Zone: persistence, intensity, form, extreme precipitation and relationships with intraseasonal activity.** In: J. Climate, 17, p. 88-108, 2004.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. **Parte I: Sistemas Meteorológicos que Afetam o Tempo na América do Sul.** In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, p. 95-109, 2009.

CATALDI, M.; ASSAD, L. P. F.; TORRES JUNIOR, A. R.; ALVES, J. L. D. **Estudo da influência das anomalias da TSM do Atlântico Sul extratropical na região da**

confluência Brasil - Malvinas no regime hidrometeorológico de verão do sul e sudeste do Brasil. In: Revista Brasileira de Meteorologia – RBMet, v. 25, n. 4, p. 513-524, 2010.

CAVALCANTI, E. P. **Teor e transporte de umidade de vapor d'água na atmosfera do Nordeste do Brasil.** (Tese de Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba (UFPb). Campina Grande – PB, 115p., 2001.

CHAVES, R. R. **Variabilidade da precipitação na região sul do Nordeste e sua associação com padrões atmosféricos.** Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos - SP, 1999.

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

CHEN, C.; COTTON, E. W. R. **A one-dimensional simulation of the stratocumulus capped mixed layer.** In: Boundary-Layer Meteorology. v. 25, p. 289-321, 1983.

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

FIGUEROA, S. N., SATYAMURTY, P., SILVA DIAS, P. L. **Simulations of the summer circulation over the South American Region with an Eta coordinate model.** In: J. Atmos. Sci., v.52, p.1573-1584, 1995.

FREITAS, E. D. **Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de poluentes.** São Paulo: USP, 2003. (Tese de doutorado)

GRELL, G. A.; DÉVÉNYI, D. **A new approach to parameterizing convection using ensemble and data assimilation techniques.** In: Geophysical Research Letters, v. 29, p. 1693, 2002.

KALNAY,E; KANAMITSU,M; KISTLER,R; COLLINS,W; DEAVEN,D; GANDIN,L; IREDELL,M; SAHA,S; WHITE,G; WOOLLEN,J; ZHU,Y; CHELLIAH,M; EBISUZAKI,W;

HIGGINS,W; JANOWIAK,J; MO,K.C; ROPELEWSKI,C; WANG,J; LEETMAA,A; REYNOLDS,R; JENNE,ROY; JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. Bulletin of American Meteorological Society, v.77, n° 3, p. 437-471, Março 1996.

KODAMA, Y. **Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ).** Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. In: J. Meteor. Soc. Japan, v. 70, p. 813-836, 1992a.

KOUSKY, V. E. **Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector.** In: Revista Brasileira de Meteorologia - RBMet, v. 3, p. 217-231, 1988.

LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A. **Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin.** In: Journal of Climate, v. 14, p. 4308-4318, 2001.

LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; VERA, C. S.; SAULO, A. C.; CARVALHO, L. M. V. **Subseasonal variations of rainfall in South America in the vicinity of the low-level jet East of the Andes and comparison to those in the South Atlantic Convergence Zone.** In: Journal of Climate, v. 17, n. 19, p. 3829-3842, 2004.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. **Parte II - Climas do Brasil: clima da região amazônica.** In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, p. 197-212, 2009.

MELLOR, G. L.; YAMADA, T. **Development of a turbulence closure model geophysical fluid problems.** In: Reviews of Geophysics and Space Physics, v. 20, p. 851-857, 1986.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de texto, 2007. 206p.

MENDONÇA, R. W. B.; BONATTI, J. P. **Estudo da energética modal para episódios de ZCAS. Parte I: análise observacional.** In: Revista Brasileira de Meteorologia – RBMet, v. 23, n. 4, p. 360-380, 2008.

MENDONÇA, R. W. B.; BONATTI, J. P. **Estudo da energética modal para episódios de ZCAS. Parte II: impacto da resolução do modelo e da parametrização de convecção.** In: Revista Brasileira de Meteorologia – RBMet, v. 23, n. 4, p. 381-403, 2008.

MORAN, J. M.; MORGAN, M. D. **Meteorology: The atmosphere and the science of weather.** Minneapolis: Burgess Publishing, 1986.

MUZA, M. N.; CARVALHO, L. M. V. **Variabilidade intrasazonal e interanual de extremos na precipitação sobre o centro-sul da Amazônia durante o verão austral.** In: Revista Brasileira de Meteorologia - RBMet, v. 21, n.3a, 29-41, 2006.

NINOMIYA, K. **Characteristics of Baiu front as a predominant subtropical front in the summer northern hemisphere.** J. Meteor. Soc. Japan, v. 62, p. 880-894, 1984.

NOBRE, C. A. **Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: a importância do Oceano Atlântico.** Climanálise, v. 3, nº 4, p. 30-33, 1988.

NOBRE, P.; MALAGUTTI, M.; CHAVES, R. R. **Modulações da ZCAS pelas temperaturas da superfície do mar no Atlântico Sudoeste.** In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Foz do Iguaçu - PR, 2002.

NUNES, L. H.; VICENTE, A. K; CANDIDO, D. H. **Parte II - Climas do Brasil: clima da região sudeste do Brasil.** In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J.(Org.). Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, p. 243-258, 2009.

PEIXOTO, J. P. **Atmospheric vapor flux computations for hydrological purposes.** World Meteorological Organization. Geneve: WMO/IHD Report n. 20 WMO. 83p.,1973.

PEIXOTO, J. P.; OORT, A. H. **Physics of climate.** New York: American Institute of Physics, 520p. 1992.

PIELKE, R. A.; COTTON, W. R.; WALKO R. L.; TREMBACK,C. J.; LYONS, W. A.; GRASSO, L. D.; NICHOLS, M. E.; MORAN, M. D.; WESLEY, D. A.; LEE, T. J.; COPELAND, J. H. **A comprehensive meteorological modeling system-RAMS.** In: Meteorology and Atmospheric Physics. v. 49, p. 69-91, 1992.

QUADRO, M. F. L. **Estudo de Episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) Sobre a América do Sul. Dissertação (Mestrado)** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos - SP, 1999.

SALATI, E.; MARQUES, J. **Climatology of the Amazon region.** In: SIOLI, H. (Ed.). *The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.* Dordrecht: Dr. W. Junk Publishers, 1984.

SILVA DIAS, P. L.; KASAHARA, A. **Teleconnections and interactions among vertical modes.** International Conference on Geophysics Fluid Dynamics with Special Emphasis on El-Niño. São José dos Campos - SP, p. 278-295, 1987.

SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J. **Parte I: para entender tempo e clima.** In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A. J.(Org.). *Tempo e Clima no Brasil.* 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, p. 15-21, 2009.

TOMAZIELLO, A. C. N. ; GANDU, A. W. **Desempenho do modelo BRAMS na simulação da Zona de Convergência do Atlântico Sul com diferentes dados de TSM.** São Paulo, 2010.

WALKO, R. L.; BAND, L. E.; BARON, J.; KITTEL, T. G. F.; LAMMERS, R.; LEE, T. J.; OJIMA, D.; PIELKE, R.; TAYLOR, C.; TAGUE, C.; TREMBACK, C. J.; VIDALE, P. L. **Coupled atmosphere-biophysics-hydrology models for environmental modeling.** In: *Journal of Applied Meteorology*, v. 39, p. 931-944, 2000.

WALKO, R. L.; COTTON, W.R.; MEYERS, M. P.; HARRINGTON, J.Y. **New rams cloud microphysics parameterization.** In: *The Single-Moment Scheme. Atmospheric Research*, v. 38, p. 29-62, 1995.