



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

**CARACTERIZAÇÃO SINÓTICA DE EPISÓDIOS DE ZONA DE
CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL ASSOCIADOS À
OCORRÊNCIA DE EVENTOS DE CHUVA INTENSA NO
MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

Ana Clara de Almeida Marques

Orientadores: D. Sc. Claudine Pereira Dereczynski

D. Sc. Gustavo Carlos Juan Escobar

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

Rio de Janeiro, RJ

Agosto, 2019

CARACTERIZAÇÃO SINÓTICA DE EPISÓDIOS DE ZONA DE
CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL ASSOCIADOS À OCORRÊNCIA
DE EVENTOS DE CHUVA INTENSA NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Ana Clara de Almeida Marques

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

Avaliada por:

Prof.^a D. Sc. Claudine Pereira Dereczynski

D. Sc. Gustavo Carlos Juan Escobar

Prof. D. Sc. Edilson Marton

Prof. D. Sc. Wallace Figueiredo Menezes

Rio de Janeiro, RJ

Agosto, 2019

CARACTERIZAÇÃO SINÓTICA DE EPISÓDIOS DE ZONA DE CONVERGÊNCIA
DO ATLÂNTICO SUL ASSOCIADOS À OCORRÊNCIA DE EVENTOS DE CHUVA
INTENSA NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

MARQUES, ANA CLARA DE A.

CARACTERIZAÇÃO SINÓTICA DE EPISÓDIOS DE ZONA DE CONVERGÊNCIA
DO ATLÂNTICO SUL ASSOCIADAS À OCORRÊNCIA DE EVENTOS DE CHUVA
INTENSA NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO [Rio de Janeiro], 2019

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Meteorologia.

1. Zona de Convergência do Atlântico Sul
2. Eventos de Chuva Intensa
3. Rio de Janeiro

“O verdadeiro revolucionário é guiado por grandes sentimentos de amor.”

(Che Guevara)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir passar por mais esta etapa.

Aos meus pais, Magda e Alexandre, por não terem medido esforços para que eu pudesse ter uma educação de excelência.

Ao meu namorado Marcolino, por todo amor e cuidado, por ter sido mais que um companheiro nessa jornada, um ouvinte paciente, um ombro amigo e um apoio incansável. Você tornou tudo mais fácil.

Aos meus amigos de faculdade Lucas Henrique, Marcelý, Victor, Larissa, Judith, Suellen, Natasha, Pedro, Pristo, Jonatha, Lucas Cesar, Renan e Talássia. Vocês tornaram esses anos mais leves com todas as risadas, conselhos, almoços e reuniões no corredor. Obrigada por tudo.

Aos meus orientadores Claudine Dereczynski e Gustavo Escobar, obrigada pela paciência e pelo tempo dispensado a mim, por todos os ensinamentos dentro e fora de sala.

Aos meus amigos que estão comigo desde antes da faculdade, Mayara, Wellington, Lucas, Marta, Raquel, Gabriela e Bruna e meus irmãos André, Airton e Alexandre. Vocês também contribuíram para a realização desse sonho, obrigada!

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo identificar e caracterizar padrões atmosféricos associados a episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que provocam eventos de chuva intensa (ECIs) no Município do Rio de Janeiro (MRJ). Entre outubro e abril (anos de 2006 a 2016) foram identificados subjetivamente 95 (77) casos de ZCAS sobre o Brasil (MRJ), utilizando-se imagens de satélite e cartas sinóticas de superfície e altitude. Para o mesmo período, dados de precipitação do sistema Alerta Rio foram utilizados para selecionar ECIs sobre o MRJ, resultando num total de 150 dias, sendo 56 deles associados à ZCAS. Ademais, 48% dos eventos de ZCAS que atingem o MRJ provocam ECIs e na maior parte dos casos (89%) a chuva atinge o limiar de ECI no primeiro e/ou segundo dia de estabelecimento da ZCAS. A partir da comparação entre os compostos de casos de ZCAS associados a ECIs (ZECI) e os demais casos (ZDCA), foi possível observar que para os casos de ZECI: i) As anomalias negativas de pressão ao nível médio do mar são mais intensas na região da ZCAS, principalmente sobre o oceano; ii) O Cavado do Nordeste do Brasil, em altos níveis, estende-se de forma mais alongada meridionalmente e iii) Em altos níveis, a Alta da Bolívia, é deslocada para oeste e com maior extensão longitudinal da crista, em relação à climatologia.

ABSTRACT

This work aims to identify and characterize atmospheric patterns associated with episodes of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) that cause heavy rainfall events (HRE) in the Municipality of Rio de Janeiro (MRJ). Between October and April (2006–2016), 95(77) SACZ cases were subjectively identified over Brazil(MRJ) using satellite images and synoptic surface and altitude charts. Precipitation data from the “Alerta Rio” System were used to select HRE on the MRJ, resulting in a total of 150 days, 56 of them associated with SACZ. In addition, 48% of SACZ events that reach MRJ cause HREs and in most cases (89%) rainfall reaches the HRE threshold on the first and/or second day of establishment of the SACZ. Comparing compounds for SACZ cases associated to HREs (SHRE) and other cases (SOCA), we can observe that in SHRE: i) There are more intense negative pressure anomalies at the mean sea level in the SACZ region, mainly in the ocean; ii) Presence of the Trough of the Northeast of Brazil, in the high levels, extending meridionally, in a more elongated way and iii) Bolivian high, shifted to the west and with greater longitudinal extension of the ridge, in relation to climatology.

ÍNDICE

1	Introdução.....	1
2	Revisão Bibliográfica.....	4
2.1	Zona de Convergência do Atlântico Sul.....	4
2.2	Eventos de Chuva Intensa.....	7
3	Dados e Metodologia.....	11
3.1	Dados.....	11
3.2	Metodologia.....	14
4	Resultados e Discussões.....	16
4.1	Climatologia de ZCAS e ECIs.....	16
4.2	Compostos para ZECI e ZDCA.....	22
5	Sumário e Conclusões.....	31
	Referências Bibliográficas.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Climatologia do total pluviométrico anual (mm/ano) para o período 1997-2016, a partir de 32 postos pluviométricos do Alerta Rio. Fonte: Pristo <i>et al.</i> (2018).....	1
Figura 2.1: Padrão médio dos campos de Divergência de Umidade (e^7s^{-1}) e linhas de corrente em 850 hPa (a) e Divergência de Massa (e^7s^{-1}) e linhas de corrente em 200 hPa (b) dos episódios de ZCAS selecionados pelo Boletim Climanálise entre os anos de 1996 e 2013. Fonte: Quadro <i>et al.</i> (2016).....	7
Figura 3.1: Mapa de topografia (m) do Município do Rio de Janeiro - RJ, com a localização dos 26 postos pluviométricos do Sistema Alerta Rio utilizados neste trabalho.	13
Figura 4.1: Número de eventos de ZCAS por duração (em dias) estabelecidos sobre o Brasil entre 1° de outubro de 2006 e 30 de abril de 2016.....	18
Figura 4.2: Número de casos de ZECIs (azul), ZDCAs (roxo) e ECIs (preto) que ocorreram no MRJ e número total de eventos de ZCAS em todo Brasil (ZECI+ZDCA) por mês para o período de outubro de 2006 a abril de 2016.	21
Figura 4.3: Compostos de umidade específica (g/kg) em sombreado e de linha de corrente em 850 hPa para os 37 eventos de ZECIs e para os 58 casos de ZDCA no período 2006-2016: a) Climatologia (2006-2016) de outubro-março; b)D-2 ZECI; c) D-1 ZECI; d) D0 ZECI; e) mesmo que em (a); f) D-2 ZDCA; g) D-1 ZDCA e h) D0 ZDCA.	23
Figura 4.4: Compostos de anomalia umidade específica (g/kg) em sombreado e de linha de corrente em 850 hPa para os 37 eventos de ZECIs e para os 58 casos de ZDCA no período 2006-2016: a) D-2 ZECI; b) D-1 ZECI; c) D0 ZECI; d) D-2 ZDCA; e) D-1 ZDCA e f) D0 ZDCA.	24
Figura 4.5: Compostos de altura geopotencial (m $g^*0,1$) em sombreado e de PNMM (hPa) em contorno para os 37 eventos de ZECIs e para os 58 casos de ZDCA no período 2006-2016: a) Climatologia (2006-2016) de outubro-março; b)D-2 ZECI; c) D-1 ZECI; d) D0 ZECI; e) mesmo que em (a); f) D-2 ZDCA; g) D-1 ZDCA e h) D0 ZDCA.	26
Figura 4.6: Compostos de anomalia de pressão ao nível médio do mar (hPa - linha) e de altura geopotencial (m $g^*0,1$ - sombreado) em 500 hPa para os 37 eventos de ZECIs e para os 58 casos de ZDCA no período 2006-2016: a) D-2 ZECI; b) D-1 ZECI; c) D0 ZECI; d) D-2 ZDCA; e) D-1 ZDCA e f) D0 ZDCA.	27

Figura 4.7: Compostos de linha de corrente e de altura geopotencial (sombreado, em mgp) em 200 hPa para os 37 eventos de ZECIs e para os 58 casos de ZDCA no período 2006-2016: a) Climatologia (2006-2016) de outubro-março; b) D-2 ZECI; c) D-1 ZECI; d) D0 ZECI; e) mesmo que em (a); f) D-2 ZDCA; g) D-1 ZDCA e h) D0 ZDCA. 29

Figura 4.8: Compostos de anomalia de linha de corrente e de altura geopotencial (sombreado, em mgp) em 200 hPa para os 37 eventos de ZECIs e para os 58 casos de ZDCA no período 2006-2016: a) D-2 ZECI; b) D-1 ZECI; c) D0 ZECI; d) D-2 ZDCA; e) D-1 ZDCA e f) D0 ZDCA. 30

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Variáveis atmosféricas, suas respectivas unidades de medida e níveis extraídos das duas versões do CFSR.	12
Tabela 4.1: Datas de início e final dos 95 episódios de ZCAS que ocorreram entre 1º de outubro de 2006 e 30 de abril de 2016 sobre o Brasil. Em cinza aparecem destacados os 37 episódios de ZCAS associados a eventos de chuva intensa no MRJ (ZECI). Os demais casos (58) são denominados ZDCA neste trabalho.....	17
Tabela 4.2: Número de eventos de ZCAS associados a episódios de chuva intensa (ZECI) no MRJ e os Demais Eventos de ZCAS (ZDCA); número de ECIs no MRJ; média de duração de um evento de ZCAS (dias) considerando todo o Brasil; número total de dias em que a ZCAS esteve configurada em todo Brasil para o período entre 1º de outubro de 2006 e 30 de abril de 2016.....	20
Tabela 4.3: Número de ventos de ZCAS associados a eventos de chuva intensa (ZECI) e demais casos de ZCAS (ZDCA), número total de dias em que a ZCAS está configurada e número de eventos totais de ECI no MRJ por ano entre 2006 e 2016.....	22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS – América do Sul

ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

BC – Baixa do Chaco

PIB – Produto Interno Bruto

CFSR–*Climate Forecast System Reanalysis*

COMDEC–Coordenadoria Municipal de Defesa Civil

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CT – Convecção tropical

DAEE–Departamento de Águas e Energia Elétrica

DJF–Dezembro, Janeiro e Fevereiro

DSA –Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais

ECI – Eventos de Chuva Intensa

ECMWF –*European Centre for Medium-Range WeatherForecasts*

GOES –*GeostationaryOperational Environmental Satellite*

IBGE–Instituto Brasileiro de Geografia Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

Lat– Latitude

Lon– Longitude

MRJ – Município do Rio de Janeiro

NASA –*National Aeronautics and Space Administration*

NCAR –*National Center for Atmospheric Research*

NCEP – *National Centers for Enviromental Prediction*

NE –Nordeste

NOAA –*National Oceanic and Atmospheric Administration*

NW– Noroeste

PNMM – Pressão atmosférica ao Nível Médio do Mar

ROL – Radiação de Onda Longa

SE– Sudeste

SF – Sistemas Frontais

SMAM –Sistema de Monção da América do Sul

SP – São Paulo

TRMM – *Tropical Rainfall Measuring Mission*

UNESCO – *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

UTC – *Universal Time Coordinated*

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

ZECI – ZCAS associado a Eventos de Chuva Intensa

ZDCA – Demais Casos de ZCAS

1 Introdução

O Município do Rio de Janeiro (MRJ), capital do Estado do Rio de Janeiro, situado na região Sudeste do Brasil, é um importante centro econômico, cultural e turístico do país. A cidade é considerada Patrimônio Cultural da Humanidade pela *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) e é a segunda maior metrópole brasileira, responsável pelo segundo maior Produto Interno Bruto (PIB) do país (IBGE, 2016).

No MRJ a presença de três maciços, a proximidade do oceano Atlântico, da Baía de Guanabara e da Baía de Sepetiba, promovem uma grande variabilidade espacial da precipitação. De acordo com Pristo *et al.* (2018), os totais pluviométricos anuais variam entre 912 mm na Zona Norte da cidade e 2546 mm sobre o maciço da Tijuca (Figura 1.1). O trimestre mais chuvoso (seco) ocorre em novembro-janeiro (junho-agosto), sendo que o número de dias chuvosos (quando total pluviométrico diário é superior a 1 mm) oscila entre 86 dias na Zona Norte e 119 dias no maciço da Tijuca (Dereczynski *et al.*, 2009). Cerca de 70% dos eventos de chuva intensa (ECIs) na cidade são observados entre os meses de dezembro e abril (Pristo *et al.*, 2018). Os ECIs que ocorrem nessa região deflagram uma série de transtornos para a população, como enchentes, enxurradas e até deslizamentos (Dereczynski *et al.*, 2017).

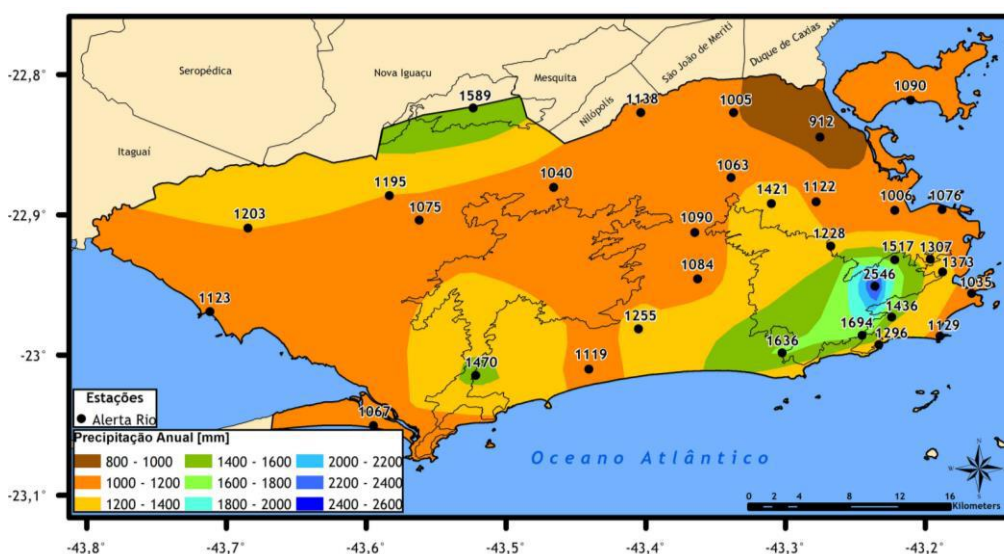


Figura 1.1: Climatologia do total pluviométrico anual (mm/ano) para o período 1997-2016, a partir de 32 postos pluviométricos do Alerta Rio. Fonte: Pristo *et al.* (2018).

Tendo em vista os transtornos causados pelos ECIs no MRJ, o conhecimento do comportamento desses episódios é fundamental para o planejamento das atividades desenvolvidas na cidade, de forma a mitigar os impactos associados a esses eventos. Portanto, pesquisas dedicadas à melhoria da previsão de ECIs se mostram de grande utilidade.

Um dos principais sistemas que modulam o tempo e o clima no Brasil durante o verão é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), um sistema meteorológico caracterizado por uma banda de nebulosidade com orientação noroeste-sudeste que se estende desde a região Amazônica até o Atlântico Sul, englobando as regiões central e Sudeste do Brasil, norte do estado do Paraná e sul da Bahia (Kousky, 1988; Kodama, 1992; Quadro, 1994).

A ZCAS está associada com 13% dos ECIs que ocorrem no MRJ, enquanto os sistemas frontais (SFs) são responsáveis por 77% dos casos, já que esses ocorrem durante todo o ano (Dereczynski *et al.*, 2009). Considerando apenas o período chuvoso (novembro a março) na Região Sudeste do Brasil, Lima *et al.* (2010) encontraram um total de 157 ECIs, dos quais 83 casos (53%) associados a SFs e 74 casos (47%) associados a ZCAS. Apesar da menor frequência de ZCAS associada a ECIs no MRJ, mesmo durante a estação chuvosa, a ZCAS apresenta potencial para promover maiores totais pluviométricos, comparativamente aos eventos de SFs, devido à estacionariedade do sistema.

Tendo em vista que o verão e outono são as estações preferenciais para ocorrência de ECIs no MRJ (Pristo *et al.*, 2018) e levando em consideração a importância que representam os eventos de ZCAS na modulação da precipitação desta região durante a estação chuvosa, neste trabalho investiga-se a relação entre os casos de ZCAS e os ECIs na cidade. As características dinâmicas e termodinâmicas associadas a tais eventos, são exploradas neste trabalho. O objetivo principal é compreender quais mecanismos físicos diferenciam eventos de ZCAS associados a ECIs (ZECI) dos demais casos de ZCAS (ZDCA), a fim de contribuir para a melhoria da previsão de ECIs no MRJ.

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma: Além desta introdução, no Capítulo 2 apresenta-se a revisão da literatura, com resultados de trabalhos de chuvas intensas na Região Sudeste do Brasil e também sobre eventos de ZCAS. No Capítulo 3

estão descritos os dados e métodos utilizados no estudo. Os resultados são apresentados no Capítulo 4. Finalmente no Capítulo 5 estão as conclusões e considerações finais.

2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo apresenta-se uma revisão dos estudos sobre as principais características e mecanismos de formação da ZCAS. Ademais elabora-se uma revisão sobre ECIs na região Sudeste do Brasil.

2.1 Zona de Convergência do Atlântico Sul

Na década de 70, Taljaard (1972), Stretten (1973) e Yassunari (1977) desenvolveram os primeiros estudos observando a persistência de uma banda de nebulosidade com natureza convectiva sobre a AS. A partir da década de 80 os estudos de Calheiros e Silva Dias (1988) e Satyamurti e Rao (1988), concentraram-se no diagnóstico desse sistema, elaborando caracterizações físicas do fenômeno (Quadro *et al.*, 2016). As primeiras simulações físicas foram realizadas por Silva Dias *et al.* (1987) para tentar representar a atuação da ZCAS sobre a AS. Na década de 90, Kodama (1992 e 1993) realizou estudos sobre as três Zonas de Convergência (ZCs) com características semelhantes ao redor do planeta: a ZCAS, a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS), e a Zona Frontal Baiu, que atua na costa leste do continente asiático. Os estudos revelaram características comuns a essas ZCs, tais como: o transporte de umidade em baixos níveis, a manutenção da convecção pela convergência de umidade na baixa e na média troposfera e o alto contraste de umidade.

Oliveira e Nobre (1986) utilizaram imagens de satélite do GOES-EAST no período de 1975 a 1984 para elaborar análises de forma subjetiva do número de SFs que atingiram o Brasil e quantos desses interagiram com a convecção tropical (CT) por pelo menos 4 dias. Através das análises elaboradas foi possível concluir que a interação entre os SF e a CT ocorre preferencialmente nos meses de outubro a março, com uma média de 9 dias por mês dessa interação caracterizada. Tal interação apresenta-se como uma faixa de nebulosidade com orientação noroeste-sudeste que se estende da Amazônia até o Atlântico Sul.

Kousky (1988) utilizou dados de Radiação de Onda Longa (ROL) emergente na AS para o período 1979–1987 para elaborar climatologias de pântadas (média de 5 dias) e constatou que os meses da primavera, verão e início do outono são preferenciais para o desenvolvimento da ZCAS.

Quadro (1994) elaborou um estudo sobre eventos de ZCAS sobre a AS utilizando imagens de satélite do acervo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), cartas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e campos de análises de diversas variáveis fornecidas pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro no período de 1980 a 1989. Primeiramente a escolha dos casos foi feita mediante verificação visual de imagens de satélite, selecionando casos onde havia a presença uma faixa de nebulosidade de caráter semi-estacionário configurada por pelo menos 4 dias consecutivos e juntamente com a análise da persistência e intensidade da precipitação na região. Após a seleção dos casos foram utilizados os seguintes critérios para caracterização de um evento de ZCAS:

- a) Convergência de umidade na baixa e média troposfera na região da banda de nebulosidade convectiva;
- b) Faixa de movimento ascendente do ar, com orientação noroeste-sudeste (NW-SE), acompanhada de um cavado semi-estacionário sobre a América do Sul em 500 hPa;
- c) Gradiente de temperatura potencial equivalente ao sul da região da ZCAS na média troposfera;
- d) Ocorrência de precipitação associada a zona de convergência;
- e) Faixa de vorticidade anticiclônica em altos níveis.

Analisando os 10 anos de dados o autor encontrou 28 casos de ZCAS que atendiam aos critérios estabelecidos, em média 3 casos por ano. Através da análise visual das imagens de satélite o autor destaca as principais características das ZCAS:

- a) A presença do vórtice ciclônico, em altos níveis, sobre o NE brasileiro e oceano Atlântico Tropical em alguns casos.
- b) A penetração de sistemas frontais oriundos do sul do continente e sua consequente associação com a convecção tropical.

c) Orientação NW-SE da faixa de nebulosidade desde a região Amazônica até o Atlântico Sul cobrindo geralmente as regiões Sudeste, Brasil central, norte do Paraná e sul da Bahia.

d) Deslocamento da convecção tropical para regiões mais a oeste de sua posição climatológica em anos de El Niño.

Drumond *et al.* (2008) e Durán-Quesada *et al.* (2009) mostraram que durante o verão austral há um aumento no transporte de umidade do Atlântico Tropical para a Amazônia através da intensificação dos alísios de nordeste. Lenters e Cook (1995) utilizaram um modelo de circulação geral do *Climate Dynamics Group at National Oceanic and Atmospheric Administration's Geophysical* para elaborar simulação da climatologia de precipitação na AS e observaram que parte da umidade que chega a Amazônia, é transportada até os subtrópicos pelo flanco oeste da Baixa do Chaco (BC) podendo convergir com um escoamento de nordeste induzido pela Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), resultando na banda de nebulosidade e precipitação característica da ZCAS.

A ZCAS está diretamente ligada ao Sistema de Monção da América do Sul (SMAS - Grimm, 2011), tendo um importante papel para o transporte de umidade para a região Central da AS (Gan *et al.*, 2004; Reboita *et al.*, 2010; Grimm, 2011). Nogués-Peagle *et al.* (2002) mostraram que o SMAS, e, portanto, a ZCAS, estão associados à migração da convecção para a região central da Amazônia, começando a desenvolver-se nos meses da primavera e atingindo seu máximo nos meses do verão. Durante o outono ocorre o período de dissipação da ZCAS e o máximo de convecção retorna para o extremo norte da AS.

Reboita *et al.* (2010) revisitaram diversos estudos sobre os regimes de precipitação na AS e mostraram que durante o verão, a principal zona de aquecimento radiativo da superfície migra para os subtrópicos, permitindo o desenvolvimento de mais atividade convectiva nessa região. A forçante térmica durante o verão na AS é um fator dominante (Vianello, 1981) e se mostra eficaz na geração de ondas estacionárias (Kalnay *et al.*, 1986; Figueiroa e Silva Dias, 1990). Satyamurty *et al.* (1980), utilizando um modelo barotrópico de equações primitivas e a topografia, observaram a presença de um cavado com orientação NW-SE sobre o leste da AS em 500 hPa. Segundo Satyamurty e Rao (1988) este cavado semi-permanente de grande escala pode servir como recipiente dos sistemas

de baixa pressão e vórtices de mesoescala por longos períodos, desencadeando a formação da ZCAS.

Quadro *et al.* (2016) elaboraram uma revisão mostrando os avanços no estudo da ZCAS nos últimos 30 anos e também um estudo sobre os eventos de ZCAS selecionados nos boletins mensais do Climanálise. A Figura 2.1 apresenta o padrão médio dos eventos de ZCAS ocorridos entre os anos de 1996 e 2013. A Figura 2.1a apresenta divergência de umidade e linha de corrente em baixos níveis, mostrando uma circulação ciclônica associada a uma faixa de convergência de umidade sobre a parte sul da Amazônia, região central do Brasil e parte do Sudeste. A Figura 2.1b apresenta divergência de massa e linha de corrente em altos níveis, onde se observa uma faixa de divergência de massa com orientação NW-SE sobre o Brasil, posicionada entre a Alta da Bolívia e o cavado do Nordeste.

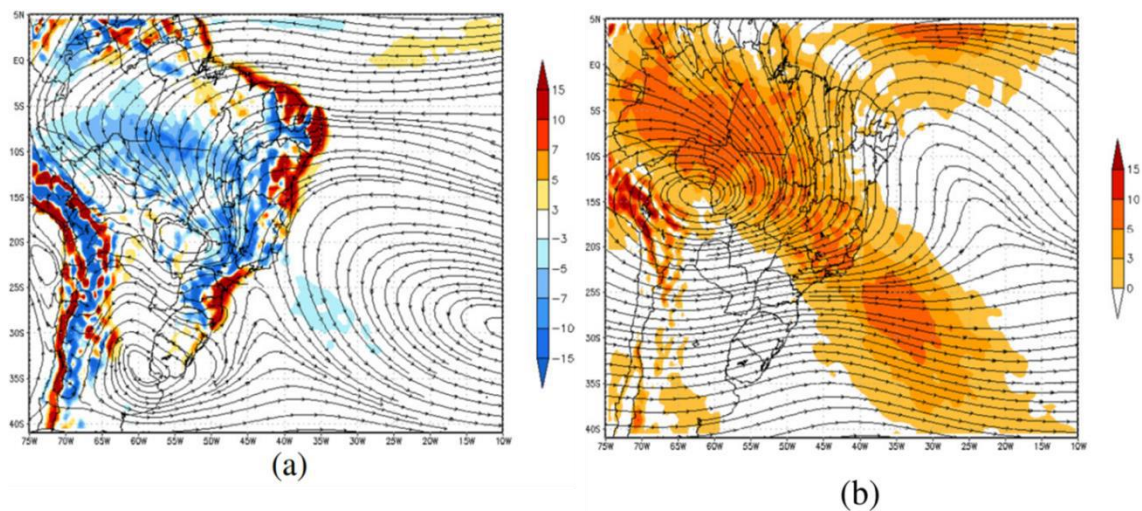


Figura 2.1: Padrão médio dos campos de divergência de umidade ($\times 10^{-7} \text{s}^{-1}$) e linhas de corrente em 850 hPa (a) e divergência de massa ($\times 10^{-7} \text{s}^{-1}$) e linhas de corrente em 200 hPa (b) dos episódios de ZCAS selecionados pelo Boletim Climanálise entre os anos de 1996 e 2013. Fonte: Quadro *et al.* (2016).

2.2 Eventos de Chuva Intensa

Dentre os desastres naturais, aqueles relacionados à eventos de precipitação intensa são responsáveis pelos maiores impactos econômicos e sociais no Brasil. De acordo com o Banco de Dados Internacional de Desastres da Bélgica (*The International Disasters Database* - <https://www.emdat.be/>), entre 2000 e 2018 do total de 97 desastres ocorridos

no Brasil, 79 deles, ou seja, 81% estiveram relacionados à chuvas e ventos intensos. Esses 79 desastres naturais deixaram 2716 mortos e quase 8 milhões de pessoas afetadas, com prejuízos estimados em quase US\$ 6 bilhões. Segundo Marcelino (2008) a maioria dos desastres no Brasil está associada às instabilidades atmosféricas severas que desencadeiam inundações, vendavais, tornados, granizos e escorregamentos.

Cabral *et al.* (2000) sugeriram que fatores como ilha de calor, rugosidade e quantidade de material particulado em suspensão devido à poluição nas grandes cidades, como Rio de Janeiro e São Paulo, podem estar associados ao aumento da intensidade e frequência de acumulados pluviométricos nessas regiões. Esse resultado concorda com o relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC – Solomon *et al.*, 2007) que apontou um aumento da precipitação extrema nas regiões Sul e Sudeste do Brasil durante o século XX.

Seluchi e Chou (2009) elaboraram uma climatologia dos padrões sinóticos associados a eventos de chuva intensa que provocaram deslizamentos de terra na Serra do Mar, no estado de São Paulo, registrados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, utilizando dados do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) com resolução de 2,5° lat x 2,5° lon para o período de novembro a abril entre os anos de 1995 e 2005. Durante os 11 anos de dados foram caracterizados 39 casos de deslizamentos, dos quais 6 foram descartados por serem associados à convecção isolada, restando 33 casos estudados. Os autores elaboraram compostos de anomalias de pressão ao nível médio do mar (PNMM) e espessura da camada entre 1000 e 500 hPa e de divergência de massa e linha de corrente em 250 hPa para caracterizar sinoticamente os eventos. Os deslizamentos de terra foram divididos em 2 grupos: os associados a eventos de ZCAS e os associados à passagem de SFs. Os compostos foram elaborados para 3 dias antes, 2 dias antes e 1 dia antes dos deslizamentos, com o intuito de compreender os padrões sinóticos que os causaram e então contribuir para a melhora da sua previsão. Os resultados dos compostos mostraram um máximo de umidade específica na região do cavado em baixos níveis, nas áreas central e sudeste do continente. Além disso, também foi observada uma circulação anticiclônica em 250 hPa sobre a região da Serra do Mar, indicando grande divergência de massa em altos níveis. Os autores puderam concluir que cerca de 55% (18) dos casos de deslizamentos estavam associados à passagem de SFs e 45% a eventos de ZCAS.

Carvalho *et al.* (2002) relacionaram a ocorrência de eventos extremos de precipitação em São Paulo (SP) com a intensidade e extensão da ZCAS. Para tal foram utilizados dados de precipitação de 234 postos pluviométricos do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) de SP e de ROL, temperatura do ar, umidade e vento da Reanálise do NCEP para o período de 1979 a 1996 (18 anos). Os autores encontraram 146 eventos extremos de precipitação utilizando como critério um limiar para o acumulado diário de precipitação referente à 20% do esperado para o período de DJF, estipulado pela climatologia de chuva para uma determinada localidade. Como critério para seleção dos episódios de ZCAS foi utilizado o campo de ROL para a caracterização das áreas convectivas, procurando por valores de $ROL \leq 200 \text{ W/m}^2$ levando em consideração a extensão da nebulosidade e a máxima variação sazonal. Cerca de 65% dos eventos extremos de precipitação estavam associadas a eventos de ZCAS intensas e extensas. Os autores também destacaram alguns aspectos dinâmicos importantes relacionados à atividade convectiva da ZCAS e as condições para ocorrência de precipitação extrema em SP, sendo eles:

- a) Anomalias de vento em baixos níveis sobre a região central do Brasil, São Paulo e o oeste do Atlântico;
- b) Anomalias de ventos em altos níveis sobre o Atlântico subtropical;
- c) Enfraquecimento da Alta da Bolívia;
- d) Aumento da atividade convectiva na ZCIT.

Ide (2004) investigou a relação entre a ocorrência de escorregamentos na cidade de Campinas e a atuação de fenômenos meteorológicos. Para tal foram utilizados registros de 30 escorregamentos do Banco de Ocorrências da Coordenadoria Municipal de Defesa Civil entre os anos de 1997 e 2004, imagens do *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES) e METEOSAT, dados da revista Climanálise do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), além de campos médios diários de diversas variáveis em variados níveis da atmosfera obtidos da Reanálise do NCEP. A análise dos resultados mostrou que 60% dos casos de escorregamento estavam ligados à episódios de ZCAS.

Satyamurty *et al.* (2000) utilizaram análises do NCEP para estudar um evento de chuva intensa que ocorreu na região de Campos do Jordão no início do ano 2000,

causando grandes transtornos econômicos e dezenas de perdas de vidas humanas. Esse evento foi considerado uma das maiores calamidades já ocorridas na região, onde foi registrado um acumulado de 400 mm de precipitação no período de 4 a 5 dias. O estudo do padrão atmosférico atuante na região durante o evento revelou que um episódio de ZCAS com forte convergência e vortacidade ciclônica em baixos níveis e divergência e vortacidade anticiclônica em altos níveis foi o responsável pelo grande acumulado pluviométrico, com instabilidade estática e valores elevados do Índice K durante o episódio. Brasiliense *et al.* (2018) também estudaram o mesmo evento de ZCAS de janeiro de 2000, utilizando dados de precipitação do INMET e do DAEE e a reanálise *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) para elaborar diversos campos de variáveis meteorológicas. Os autores encontraram um bloqueio do tipo dipolo sobre o Rio Grande do Sul e Uruguai, responsável pelo bloqueio do escoamento de oeste na média troposfera, possibilitando que a ZCAS se mantivesse estacionária por oito dias. Outra importante característica deste evento foi o desenvolvimento de um ciclone próximo à costa do Atlântico Sul, intensificando a convergência de umidade e o movimento vertical, provocando a intensa precipitação observada durante o período.

Pristo *et al.* (2018) elaboraram uma climatologia de ECIs no MRJ para o período de 1997-2016. Os autores consideram um ECI quando a chuva diária é igual ou maior do que seu percentil 95 e além disso o total pluviométrico em 15 minutos também ultrapassa seu percentil 95. Como resultado os autores encontram que a maior frequência de ocorrência de ECIs no MRJ ocorre no verão (43,7%), seguido pelo outono (30,9%), primavera (18,2%) e inverno (7,2%). A estatística dos eventos mostrou que ocorrem em média $30,1 \pm 6,6$ dias de ECIs por ano em toda a cidade.

3 Dados e Metodologia

Neste capítulo, apresenta-se os dados utilizados e o método empregado para: i) a caracterização dos eventos de ZCAS; ii) a caracterização dos ECIs e iii) a elaboração dos compostos de ZCAS associadas a ECIs (ZECIs) e para os demais casos de ZCAS (ZDCAs).

3.1 Dados

Para elaboração deste trabalho foram utilizados os conjuntos de dados listados a seguir:

a) Imagens do satélite GOES-13 obtidas através da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA/INPE) no canal infravermelho e visível para o período de 2006 a 2016.

b) Cartas sinóticas de diversos níveis (superfície, 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa e 250 hPa) elaboradas a cada 6 horas pelo do Grupo de Previsão do Tempo (GPT-CPTEC/INPE) referentes ao período de 2006 a 2016.

c) Dados de Reanálise do NCEP, versão 1, denominada CFSR, para o período de 2006 a 2010, que se encerra em 31/12/2010. Para complementar, foram utilizados dados da versão 2 do CFSR, no período 2011 a 2016. A resolução espacial dos dados dessas reanálises é de 0,5° de latitude por 0,5° de longitude e a resolução temporal é de 6 horas. As variáveis meteorológicas extraídas dessas reanálises estão listadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Variáveis atmosféricas, suas respectivas unidades de medida e níveis extraídos das duas versões do CFSR.

Variável Atmosférica	Unidade	Níveis
Pressão atmosférica	Pa	Nível médio do mar
Altura Geopotencial	mgp	1000, 700, 500 e 200 hPa
Umidade específica	g/kg	1000, 850 e 500 hPa
Componentes zonal e meridional do vento	m/s	1000, 850, 700, 500 e 200 hPa

d) Dados de precipitação com resolução de 0,2° de latitude por 0,2° de longitude, gerados por Rozante *et al.* (2010), através de uma combinação de chuva observada e chuva estimada por satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), para o período de 2006 a 2015. Tal produto é denominado de MERGE pelos autores.

e) Dados de precipitação observada do Sistema Alerta Rio (<http://alertario.rio.rj.gov.br/>) da Prefeitura do Rio de Janeiro, com 26 estações pluviométricas no MRJ (Figura 3.1) com precipitação registrada a cada 15 minutos disponibilizada para o período de 2006 a 2016.

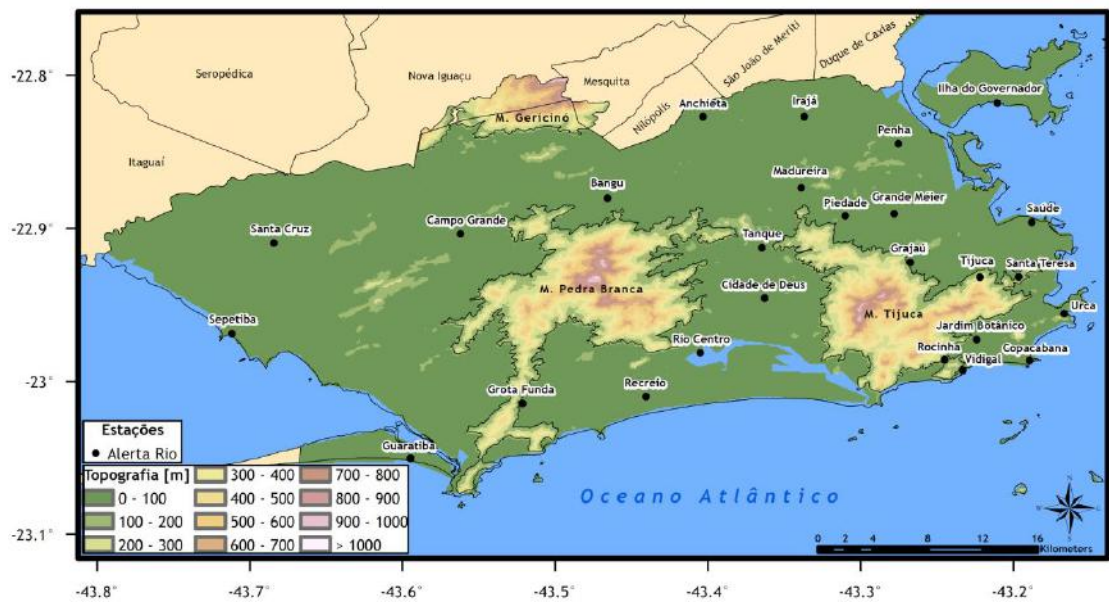


Figura 3.1: Mapa de topografia (m) do Município do Rio de Janeiro - RJ, com a localização dos 26 postos pluviométricos do Sistema Alerta Rio utilizados neste trabalho.

3.2 Metodologia

As cartas sinóticas de superfície e altitude do GPT e as imagens de satélite foram utilizadas na elaboração de uma lista de casos de ZCAS dentro os meses de outubro a abril de 2006 a 2016, através de uma identificação subjetiva, ou seja, analisando o quadro sinótico e identificando visualmente a presença da zona de convergência, utilizando como critério características de ZCAS descritas por Escobar (2019):

- a) Presença do Jato Subtropical contornando um cavado e dando suporte ao sistema que atua na superfície (cavado ou frente subtropical);
- b) Ramo norte do Jato Polar Norte em algumas ocasiões acoplado ao Jato Subtropical nos casos onde aparece a presença de uma frente fria no oceano;
- c) Fluxo de umidade em 850 hPa bem estabelecido desde a região Amazônica até o oceano Atlântico passando pela região Centro-Oeste e Sudeste do país;
- d) O campo de velocidade vertical (ω) ascendente (valores negativos) em 500 hPa em fase com o fluxo convergente em 850 hPa;
- e) A Alta da Bolívia e o cavado do Nordeste, geralmente aparecem bem definidos nos casos de ZCAS;
- f) Zona de convergência em baixos níveis e a presença de nebulosidade persistindo por pelo menos 3 dias consecutivos.

Após a identificação dos casos de ZCAS, foram construídos mapas de precipitação diária com dados do MERGE. Tais mapas de precipitação foram elaborados para identificar os casos de ZCAS em que a banda de nebulosidade esteve sobre o MRJ, para dessa forma filtrar os eventos que provocaram chuva sobre o MRJ.

Os dados de precipitação do Sistema Alerta Rio foram acumulados em totais diários, utilizando dados a cada 15 min entre 12:15 UTC do dia anterior até 12:00 UTC do dia em questão, para cada um dos 26 postos pluviométricos. Os ECIs foram definidos utilizando o critério adaptado de Deroczynski *et al.* (2009), onde considera-se um evento de ECI quando a chuva acumulada em 24 h atinge o limiar de 30 mm em pelo menos 4 dos 26 postos considerados neste estudo.

Os dados das reanálises foram utilizados de forma conjunta para elaboração de compostos de diversas variáveis em diferentes níveis da troposfera, para os casos de ZCAS ocorridos entre 2006 e 2016. Esses compostos foram divididos em dois conjuntos: o primeiro referente a média dos casos de ZCAS onde a precipitação ultrapassou o limiar de chuva intensa no MRJ (ZECI) e o segundo referente a média dos casos de ZCAS em que não houve chuva intensa no MRJ (demais casos de ZCAS - ZDCAs). Os compostos foram elaborados para o horário de 12 UTC do dia em que a ZCAS se estabeleceu, chamado de dia D0, e também para 12 UTC do dia anterior (D-1) e 12 UTC de dois dias anteriores (D-2) ao estabelecimento da ZCAS.

Levando em consideração que o período em que a ZCAS se estabelece varia predominantemente entre outubro e março, para fins de comparação foi elaborado um campo médio com os dados dos horários de 0, 6, 12 e 18 UTC, para o período de outubro a março entre os anos de 2006 e 2016, chamado de CLIMA, para ser utilizado como período base para o cálculo das anomalias.

Foram elaborados campos médios e campos de anomalias dos casos de ZECI e de ZDCA para o dia de estabelecimento do sistema, o dia anterior e dois dias anteriores, para as seguintes variáveis: linha de corrente e umidade específica em 850 hPa, altura geopotencial em 500 hPa e pressão atmosférica ao nível médio do mar e de altura geopotencial e linha de corrente em 200 hPa.

4 Resultados e Discussões

Neste capítulo, apresenta-se inicialmente na Seção 4.1 uma climatologia de eventos de ZCAS sobre o Brasil e de ECIs relacionados à ZCAS no MRJ. Na Seção 4.2 são elaboradas comparações visuais entre os casos ZECI e ZDCA.

4.1 Climatologia de ZCAS e ECIs

Através de análises de cartas sinóticas de superfície e de altitude do GPT foram identificados episódios de ZCAS em todo Brasil, considerando apenas os meses de outubro a abril, num período de 10 anos, entre 1º de outubro de 2006 e 30 de abril de 2016. As datas desses casos encontram-se listadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Datas de início e final dos 95 episódios de ZCAS que ocorreram entre 1º de outubro de 2006 e 30 de abril de 2016 sobre o Brasil. Em cinza aparecem destacados os 37 episódios de ZCAS associados a eventos de chuva intensa no MRJ (ZECI). Os demais casos (58) são denominados ZDCA neste trabalho.

Dia inicial	Dia final	Dia inicial	Dia final	Dia inicial	Dia final
17/10/2006	20/10/2006	28/10/2009	01/11/2009	09/01/2013	17/01/2013
10/11/2006	12/11/2006	04/12/2009	09/12/2009	26/01/2013	30/01/2013
29/11/2006	01/12/2006	13/12/2009	15/12/2009	04/02/2013	10/02/2013
08/12/2006	16/12/2006	21/01/2010	23/01/2010	27/02/2013	04/03/2013
27/12/2006	29/12/2006	01/03/2010	12/03/2010	27/03/2013	30/03/2013
21/01/2007	25/01/2007	28/03/2010	31/03/2010	18/10/2013	20/10/2013
30/01/2007	05/02/2007	27/10/2010	29/10/2010	05/11/2013	09/11/2013
12/02/2007	16/02/2007	01/11/2010	04/11/2010	12/12/2013	26/12/2013
19/03/2007	22/03/2007	01/12/2010	04/12/2010	17/01/2014	20/01/2014
23/10/2007	25/10/2007	14/12/2010	18/12/2010	15/02/2014	19/02/2014
04/11/2007	06/11/2007	27/12/2010	07/01/2011	28/02/2014	02/03/2014
27/11/2007	02/12/2007	11/01/2011	20/01/2011	06/03/2014	10/03/2014
12/12/2007	15/12/2007	15/02/2011	17/02/2011	22/03/2014	24/03/2014
19/12/2007	23/12/2007	28/02/2011	10/03/2011	26/10/2014	29/10/2014
06/01/2008	11/01/2008	04/04/2011	07/04/2011	15/11/2014	19/11/2014
20/01/2008	23/01/2008	02/10/2011	07/10/2011	27/11/2014	30/11/2014
30/01/2008	02/02/2008	16/10/2011	20/10/2011	14/12/2014	17/12/2014
03/02/2008	08/02/2008	01/11/2011	04/11/2011	24/12/2014	26/12/2014
24/02/2008	08/03/2008	23/11/2011	05/12/2011	05/02/2015	09/02/2015
13/03/2008	18/03/2008	09/12/2011	12/12/2011	16/02/2015	19/02/2015
13/11/2008	24/11/2008	15/12/2011	22/12/2011	27/02/2015	01/03/2015
03/12/2008	06/12/2008	26/12/2011	30/12/2011	09/03/2015	14/03/2015
12/12/2008	21/12/2008	01/01/2012	09/01/2012	17/03/2015	20/03/2015
25/12/2008	31/12/2008	15/01/2012	21/01/2012	22/03/2015	25/03/2015
04/01/2009	09/01/2009	26/01/2012	31/01/2012	06/04/2015	08/04/2015
21/01/2009	23/01/2009	11/02/2012	13/02/2012	28/10/2015	30/10/2015
29/01/2009	31/01/2009	16/03/2012	21/03/2012	14/01/2016	19/01/2016
12/02/2009	15/02/2009	24/03/2012	26/03/2012	20/01/2016	23/01/2016
13/03/2009	17/03/2009	04/11/2012	08/11/2012	29/02/2016	05/03/2016
25/03/2009	02/04/2009	14/11/2012	22/11/2012	10/03/2016	14/03/2016
08/04/2009	11/04/2009	26/11/2012	28/11/2012	24/03/2016	27/03/2016
08/10/2009	12/10/2009	15/12/2012	17/12/2012		

Um total de 95 episódios de ZCAS foi observado nesses 10 anos, portanto em média ocorreram 9,5 eventos por ano (desvio padrão de 2,1 eventos). Com relação à duração, nota-se que 24,2% dos eventos atuaram por apenas 3 dias, 25,3% duraram apenas 4 dias,

16,8% duraram apenas 5 dias, 13,7% duraram apenas 6 dias e 20% duraram mais do que 7 dias (Figura 4.1). Neste estudo o caso mais longo de ZCAS ocorreu em dezembro de 2013 e teve duração de 15 dias. É importante ressaltar que nem sempre os eventos mais duradouros apresentam maior total pluviométrico. Os eventos ZECI mais longos (todos com 12 dias de duração) ocorreram nos períodos 13/11/2008 a 24/11/2008; 01/03/2010 a 12/03/2010 e 27/12/2010 a 07/01/2011, contudo o caso de ZECI com maiores acumulados sobre o MRJ ocorreu no período de 23/10/2007 a 25/10/2007, ou seja, com duração de apenas 3 dias. Nesse evento de outubro de 2017, 13 estações registraram acumulados de precipitação superiores a 90 mm em apenas 24 horas.

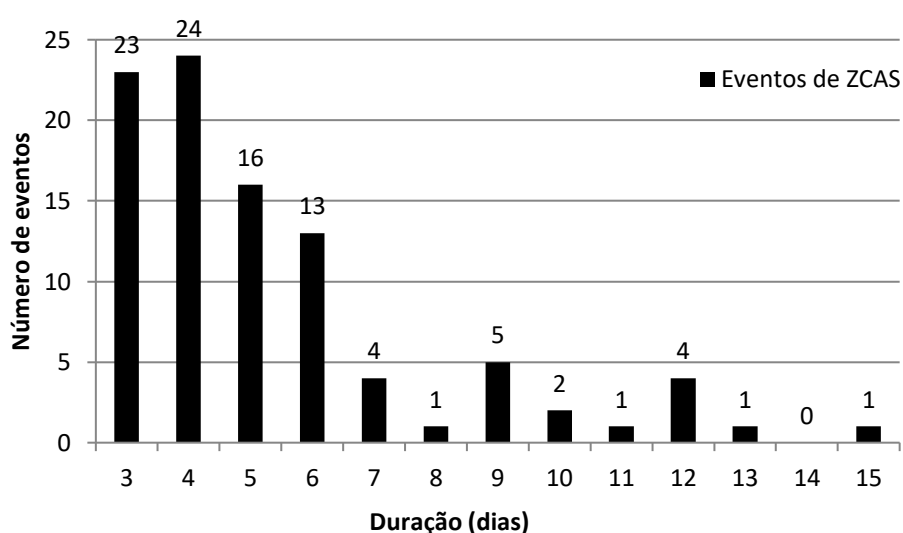


Figura 4.1: Número de eventos de ZCAS por duração (em dias) estabelecidos sobre o Brasil entre 1º de outubro de 2006 e 30 de abril de 2016.

Através de análises visuais utilizando os mapas de precipitação elaborados com MERGE foram selecionados os eventos de ZCAS cuja faixa de precipitação localizava-se sobre o MRJ. Do total de 95 casos apresentados na Tabela 4.1, em 77 casos a banda de precipitação associada à ZCAS esteve configurada sobre o MRJ, ou seja, em 81% dos casos a ZCAS atuou sobre o MRJ.

Analisando os dados de precipitação diária do Sistema Alerta Rio e utilizando como critério para chuva intensa quando a chuva diária ultrapassa o limiar de 30 mm/dia, foram observados 190 dias de ECIs no MRJ durante todo o período de outubro/2006 a abril/2016, incluindo todos os meses do ano e 150 (79%) apenas entre os meses de

outubro e abril de 2006 a 2016. Investigando-se apenas as datas dos 77 casos de ZCAS sobre o MRJ, foram observados 56 dias de ECIs na cidade do total de 190 dias de ECIs em 10 anos, mostrando que aproximadamente 30% dos dias de ECIs na cidade (56 dias/190 dias) foram provocados por eventos de ZCAS. Em diversos episódios de ZCAS o critério para ECI foi atingido em mais de um dia, tendo em vista que um evento de ZCAS dura no mínimo 3 dias. Para contabilização de ZECIs exige-se que ocorra pelo menos 1 dia de ECI no período de duração da ZCAS, resultando num total de 37 casos de ZECI, dentre os 77 casos de ZCAS no MRJ para o período 2006 a 2016 (ZECIs - destacados em cinza na Tabela 4.1). Isso indica que quase metade ($37\text{dias}/77\text{dias} = 48\%$) do total dos eventos de ZCAS que atuam sobre o MRJ provocam ECIs na cidade.

Em 24 dos 37 casos de ZECI (65%) a chuva atingiu o limiar de ECI logo no primeiro dia de caracterização da ZCAS e em 89% dos casos (33 dos 37 casos) a chuva atingiu o limiar de ECI no primeiro e/ou segundo dia. Esse resultado é interessante e indica que o início de um evento de ZCAS é mais propenso a causar chuvas intensas no MRJ, em relação aos demais dias do evento.

Uma estatística mensal da frequência de ocorrência de ZCAS sobre o MRJ e sobre o Brasil e da sua duração média é apresentada na Tabela 4.2. O mês de cada evento é considerado a partir da data de início da ZCAS. Por exemplo, para o evento iniciado em 30/01/2007, considera-se um caso de ZCAS de janeiro. A partir das datas dos eventos de ZCAS, foram contabilizados os dias em que a ZCAS esteve configurada, no período dos 10 anos analisados, para obter a quantidade total de dias de ZCAS. Analisando os dados de ZCAS sobre o Brasil (509 dias) e também a contabilização a cada mês, obtém-se como resultado que o dezembro (abril) é o mês com maior (menor) frequência de ocorrência de ZCAS sobre o Brasil, com total de 19 episódios (3 episódios). O número médio de dias de ZCAS por mês foi calculado dividindo-se a quantidade total de dias de ZCAS configurada a cada mês pelo número total de eventos de ZCAS no mesmo mês. Por exemplo, o mês de março teve um total de 16 episódios de ZCAS sobre o Brasil e 106 dias em que a ZCAS esteve configurada, então a média de eventos de ZCAS para o mês março é de 6,6 dias. Os eventos mais duradouros de ZCAS sobre o Brasil ocorreram em média no mês de março (6,6 dias) e os eventos mais curtos ocorreram em fevereiro (média de 4,1 dias).

Tabela 4.2: Número de eventos de ZCAS associados a episódios de chuva intensa (ZECI) no MRJ e os Demais Eventos de ZCAS (ZDCA); número de ECIs no MRJ; média de duração de um evento de ZCAS (dias) considerando todo o Brasil; número total de dias em que a ZCAS esteve configurada em todo Brasil para o período entre 1º de outubro de 2006 e 30 de abril de 2016.

	MRJ		Total (Brasil)			
	ECI no MRJ	ZECI	ZDCA	Total (ZECI+ZDCA)	Média (dias) da duração de ZCAS	Nº dias de ZCAS
Janeiro	26	8	10	18	5,6	101
Fevereiro	15	6	9	15	4,1	62
Março	30	9	7	16	6,6	106
Abril	21	0	3	3	4,3	13
Maió	10	-	-	-	-	-
Junho	8	-	-	-	-	-
Julho	13	-	-	-	-	-
Agosto	2	-	-	-	-	-
Setembro	7	-	-	-	-	-
Outubro	12	2	7	9	4,4	40
Novembro	18	4	11	15	4,8	72
Dezembro	28	8	11	19	6,0	115
Total	190	37	62	95	5,4	509

Se levarmos em consideração neste trabalho apenas os meses de DJF para o período estudado de 10 anos, teríamos em média 1,7 ZCAS por mês, enquanto Quadros (1994) encontrou em média 1 evento de ZCAS por mês, analisando o mesmo trimestre (DJF) no período de 1980 a 1989. A diferença encontrada se deve em parte ao critério utilizado para caracterização do fenômeno, já que neste trabalho foi considerada a duração mínima de 3 dias enquanto Quadros considerou apenas casos acima de 4 dias.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o número de eventos de ZECI, de ZDCA, o total de ZCAS (ZECI+ZDCA) e o número de dias de ECIs no MRJ a cada mês. É possível observar que entre maio e setembro não há nenhum evento de ZCAS registrado pois a pesquisa se restringiu aos meses de outubro a abril. Nos meses de

dezembro, janeiro e março ocorrem os picos de ECIs no MRJ e a maioria dos casos de ZCAS registrados, indicando uma clara relação entre os casos de ECI no MRJ e os eventos de ZCAS. Em todos os meses podemos observar que há mais eventos de ZDCA do que de ZECI, exceto no mês de março, onde essa relação se inverte.

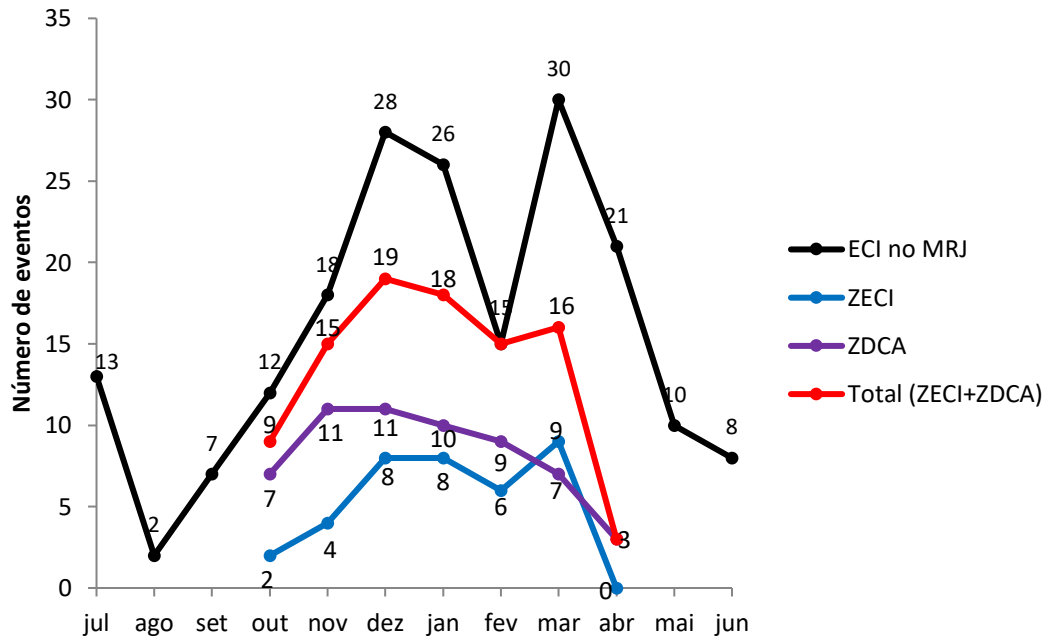


Figura 4.2: Número de casos de ZECIs (azul), ZDCAs (roxo) e ECIs (preto) que ocorreram no MRJ e número total de eventos de ZCAS em todo Brasil (ZECI+ZDCA) por mês para o período de outubro de 2006 a abril de 2016.

Ainda na Figura 4.2, analisando o ciclo anual de ECIs no MRJ, podemos constatar que os meses de dezembro, janeiro e março são aqueles com maior número de ECIs no MRJ e de maio a outubro são os meses com menos ECIs. Analisando a proporção de ECIs para ZECIs podemos constatar que entre outubro e março cerca de 25% dos ECIs são relacionados a eventos de ZCAS. Se analisarmos apenas os meses de DJF, temos em média 2,3 ECIs por mês no MRJ. Carvalho *et al.* (2002) encontraram um resultado parecido para SP, uma média 2,7 eventos extremos de precipitação por mês considerando-se os mesmos meses do ano (DJF).

Na Tabela 4.3 encontra-se a distribuição anual dos eventos de ZCAS para o período 2006/2007 a 2015/2016, de forma análoga a Tabela 4.2, mas analisando a distribuição anual no lugar da distribuição mensal. Nota-se que 2011/2012 foi o período com mais eventos de ZCAS registrados (13 eventos) e também o com maior número de

dias de ZCAS (79 dias). O mesmo vale para 2015/2016, com os menores registros de eventos de ZCAS (6 eventos) e também com menor número de dias com ZCAS (28 dias).

Tabela 4.3: Número de ventos de ZCAS associados a eventos de chuva intensa (ZECI) e demais casos de ZCAS (ZDCA), número total de dias em que a ZCAS está configurada e número de eventos totais de ECI no MRJ por ano entre 2006 e 2016.

	MRJ		Total (Brasil)			
	ECI no MRJ (out-abr)	ECI no MRJ (total anual)	ZECI	ZDCA	Total (ZECI+ZDCA)	Nº dias de ZCAS
2006/2007	8	12	2	7	9	43
2007/2008	21	25	7	4	11	61
2008/2009	14	19	5	6	11	67
2009/2010	30	34	4	3	7	38
2010/2011	10	13	2	7	9	56
2011/2012	13	19	5	8	13	79
2012/2013	17	23	3	6	9	51
2013/2014	12	17	4	4	8	43
2014/2015	10	13	2	10	12	43
2015/2016	15	15	3	3	6	28
Total	150	190	37	58	95	509

4.2 Compostos para ZECI e ZDCA

Compostos para os 37 casos de ZECI e para os 58 casos de ZDCA foram elaborados utilizando as Reanálises do CFSR versões 1 e 2. As figuras foram geradas para a média dos dias em que a ZCAS se formou, chamado de D0, para o dia anterior a sua formação, chamado de D-1, e para dois dias antes de sua formação, D-2.

A Figura 4.3 apresenta compostos de umidade específica (sombreado, em g/kg) e de linha de corrente em 850 hPa para os casos ZECI, ZDCA e também uma climatologia de 10 anos (2006/2007– 2015/2016) elaborada com os dados de outubro a março para melhor comparação entre os campos. Em todos os campos é possível observar um

máximo de umidade específica sobre o continente, principalmente sobre a região norte da América do Sul e também um segundo máximo sobre a região equatorial do oceano Atlântico, referente a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Além disso, há a presença da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e de uma circulação anticiclônica em 850 hPa sobre a região central da Argentina em todos os campos, separadas por um cavado no oceano Atlântico que se estende em direção ao litoral brasileiro. As diferenças entre os campos da Figura 4.3 são bastante sutis, o máximo de umidade específica no continente se estende sobre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro e chega ao Atlântico nos compostos ZECI.

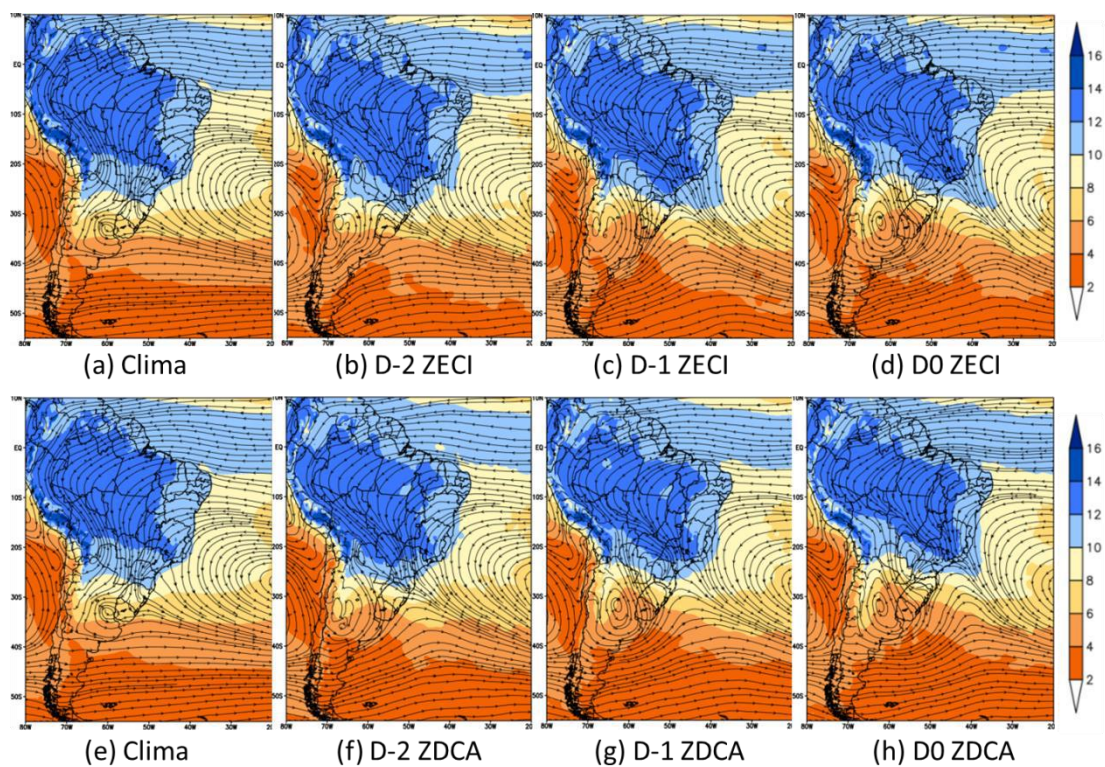


Figura 4.3: Compostos de umidade específica (g/kg) em sombreado e de linha de corrente em 850 hPa para os 37 eventos de ZECIs e para os 58 casos de ZDCA no período 2006-2016: a) Climatologia (2006-2016) de outubro-março; b) D-2 ZECI; c) D-1 ZECI; d) D0 ZECI; e) mesmo que em (a); f) D-2 ZDCA; g) D-1 ZDCA e h) D0 ZDCA.

A Figura 4.4 apresenta compostos de anomalias de umidade específica (sombreado, em g/kg) e de linha de corrente em 850 hPa. Tais campos foram elaborados para melhor investigação das diferenças entre padrões ZECI e ZDCA. Nessa figura é possível observar um dipolo de anomalias de umidade específica sobre a América do Sul, com anomalias

negativas (cores quentes) sobre a região Sul do Brasil, Uruguai e norte da Argentina e anomalias positivas (cores frias) na parte mais ao norte da região Sul e parte das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Esse padrão com dipolo de anomalias é característico de eventos de ZCAS, onde há a supressão de convecção ao sul e amplificação da convecção ao norte, sobre a região onde o sistema se estabelece. Esse padrão também é semelhante ao de sistemas frontais, que se deslocam pela costa brasileira e estacionam sobre o Sudeste e Centro-Oeste, sendo realimentados pela convergência de umidade vinda da Amazônia e assim permanecendo estacionários, dando origem a ZCAS (Quadro, 1994).

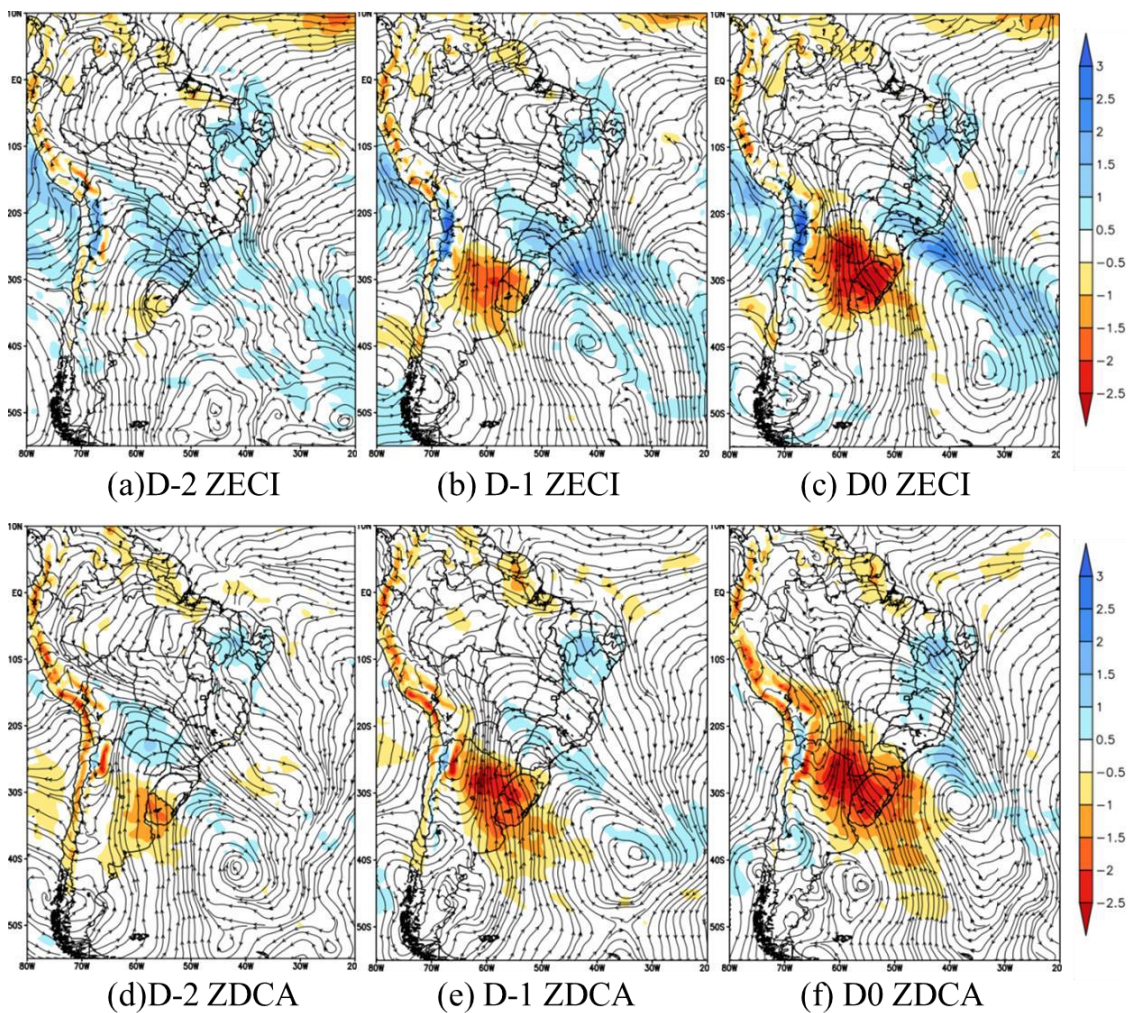


Figura 4.4: Compostos de anomalia umidade específica (g/kg) em sombreado e de linha de corrente em 850 hPa para os 37 eventos de ZECIs e para os 58 casos de ZDCA no período 2006-2016: a) D-2 ZECI; b) D-1 ZECI; c) D0 ZECI; d) D-2 ZDCA; e) D-1 ZDCA e f) D0 ZDCA.

Através dos compostos também é possível observar que o dipolo de anomalias de umidade específica se intensifica e se desloca para norte de D-2 para D0, tanto para os casos ZECI quanto para ZDCA. Nos casos de ZECI as anomalias positivas são mais intensas e extensas, chegando a valores de 2,5 g/kg enquanto as anomalias positivas nos casos ZDCA na mesma região chegam apenas a 1 g/kg, indicando que de forma geral há mais umidade disponível nos casos ZECI, não apenas sobre o MRJ, mas sim sobre as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste de forma geral.

Com relação às anomalias dos campos de linhas de corrente, pode-se observar o deslocamento para leste de anomalias de circulação ciclônica bem definidos em ambos os casos. Nos casos ZECI, em D-1 e D0 os centros das anomalias de linha de corrente se encontram em latitudes mais altas em relação aos casos ZDCA, mas com um cavado bem organizado se estendendo até a costa Sudeste do Brasil.

Na Figura 4.5 são apresentados os campos de altura geopotencial em 500 hPa e de PNMM (contorno). Assim como na Figura 4.3, os campos da Figura 4.5 são bastante similares entre si, sendo possível observar a ASAS e um cavado a oeste no oceano Atlântico para os compostos ZECI e ZDCA, tanto na altura geopotencial quanto na PNMM. Próximo à costa do Sudeste há a formação de uma região de baixa pressão, para todos os dias em ZECI e ZDCA (exceto D-1 ZECI).

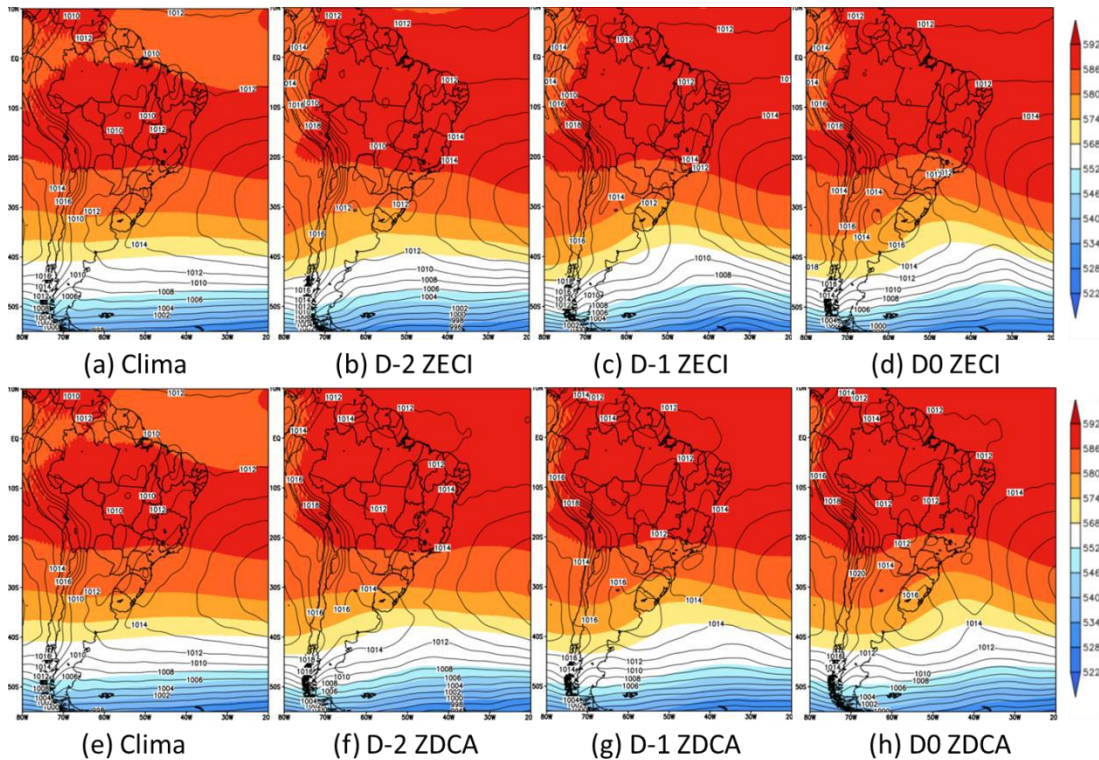


Figura 4.5: Compostos de altura geopotencial ($\text{mgp} \cdot 0,1$) em sombreado e de PNMM (hPa) em contorno para os 37 eventos de ZECIs e para os 58 casos de ZDCA no período 2006-2016: a) Climatologia (2006-2016) de outubro-março; b) D-2 ZECI; c) D-1 ZECI; d) D0 ZECI; e) mesmo que em (a); f) D-2 ZDCA; g) D-1 ZDCA e h) D0 ZDCA.

A Figura 4.6 apresenta os campos de anomalias de PNMM (contorno, em hPa) e de altura geopotencial em 500 hPa (sombreado). Em relação ao campo de PNMM, nos casos ZECI as anomalias negativas são mais profundas, principalmente no oceano chegando a -5 hPa, enquanto nos eventos ZDCA as anomalias chegam a apenas -2 hPa em D0. No campo de anomalia de altura geopotencial em 500 hPa é possível identificar em ambos os casos, em todos os dias, uma região com anomalias negativas (cores frias) sobre o Atlântico Sul, acompanhando e a oeste das anomalias negativas de PNMM, propiciando suporte dinâmico para o sistema, alimentando a convecção da ZCAS.

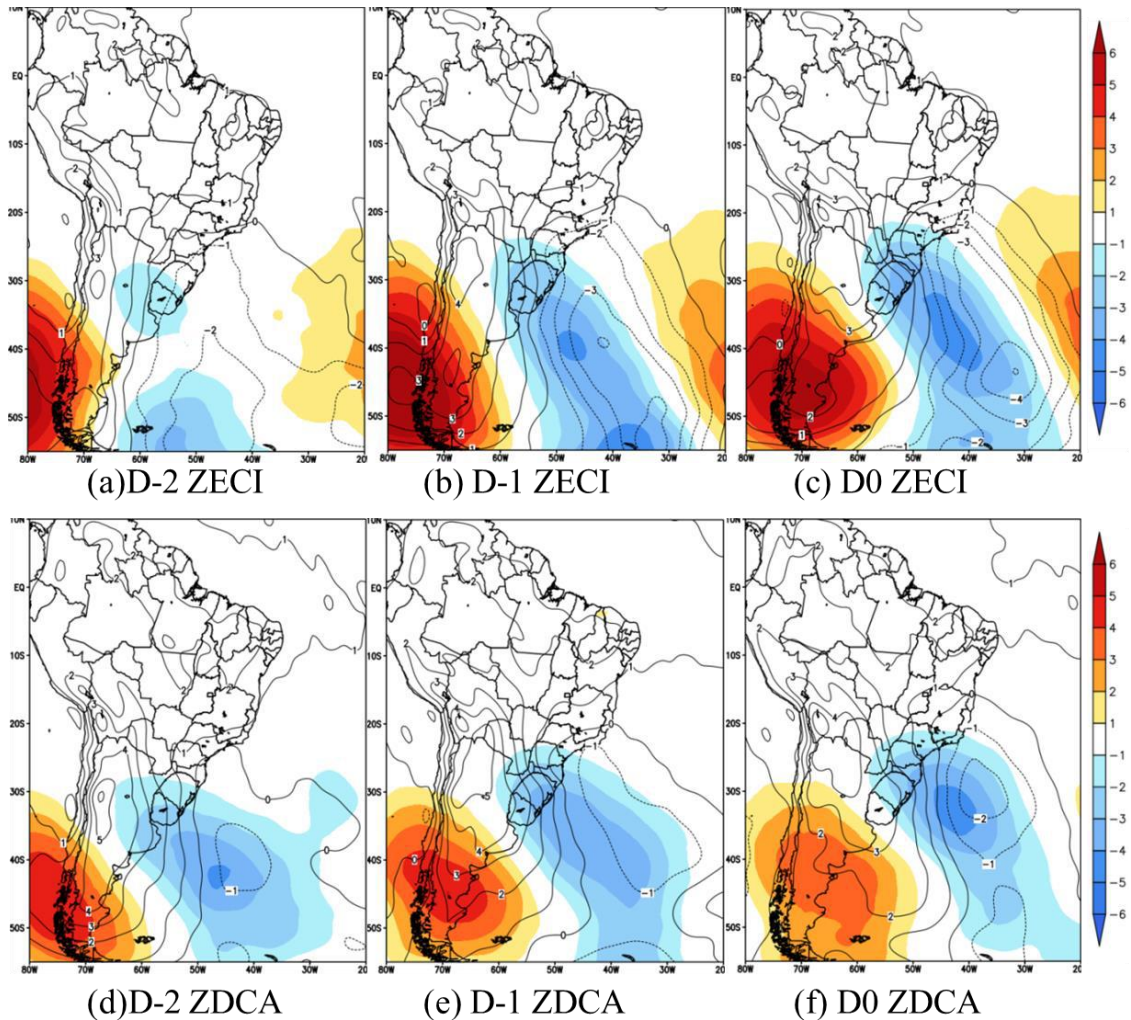


Figura 4.6: Compostos de anomalia de pressão ao nível médio do mar (hPa - linha) e de altura geopotencial ($\text{mgp} \cdot 0,1$ - sombreado) em 500 hPa para os 37 eventos de ZECIs e para os 58 casos de ZDCA no período 2006-2016: a) D-2 ZECI; b) D-1 ZECI; c) D0 ZECI; d) D-2 ZDCA; e) D-1 ZDCA e f) D0 ZDCA.

Na região mais ao sul da América do Sul, sobre a Argentina e Patagônia, há a presença de anomalias anticiclônicas no campo de altura geopotencial em 500 hPa, durante os três dias, tanto para ZECI quanto para ZDCA. Nos casos ZDCA a anomalia é menos intensa e se desloca para leste cerca de 10° de longitude por dia, seguindo o escoamento normal dos sistemas nesse nível da atmosfera. Já em ZECI, as anomalias positivas de altura geopotencial são maiores, mais intensas e apresentam deslocamento mais lento, exibindo um caráter mais estacionário, semelhante a um padrão do tipo escoamento bloqueado nesta região. Esse bloqueio do escoamento normal para leste

permite que a ZCAS se estabeleça e permaneça de forma estacionária sobre o Brasil por mais tempo.

A Figura 4.7 apresenta compostos de linha de corrente e de altura geopotencial em 200 hPa. Tanto no campo da climatologia quanto nos compostos para ZECI e ZDCA há a presença da Alta da Bolívia (Lenters e Cook, 1995) e do cavado do Nordeste (Kousky e Gan, 1981) bem caracterizados. De acordo com Jorgetti (2008) esse padrão troposférico favorece a manutenção da banda de nebulosidade associada à ZCAS. Para os casos ZECI e ZDCA é possível notar que de D-2 para D0 há uma amplificação do cavado sobre o Atlântico Sul subtropical, o que deve estar associado ao estabelecimento da ZCAS e seu suporte dinâmico em altos níveis. Quando se analisa a forma do cavado do Nordeste ficam claras as diferenças no comprimento de onda entre os casos ZECI e ZDCA, de forma que, em média para os casos de ZCAS em que ocorre chuva intensa no Rio de Janeiro, o cavado possui um comprimento de onda menor, principalmente no dia do estabelecimento do sistema (D0). Esse resultado concorda com Carvalho (1989) que sugere que os eventos de ZCAS mais intensos estão associados a um cavado do Nordeste também mais intenso.

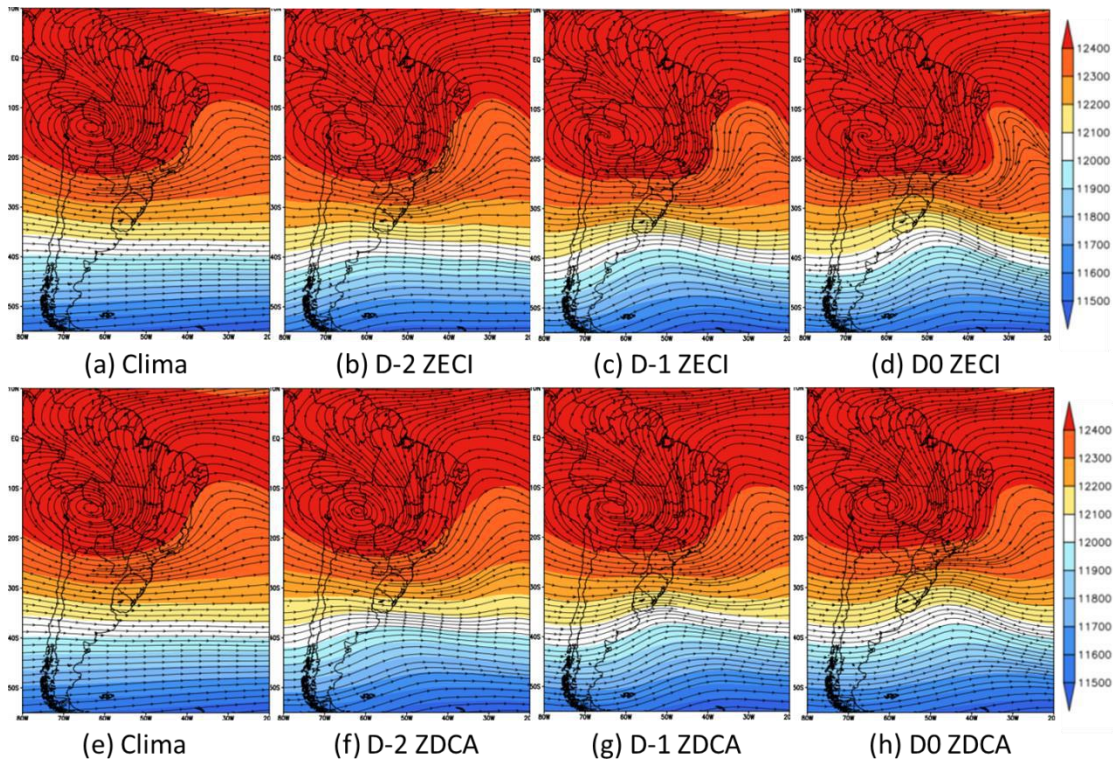


Figura 4.7: Compostos de linha de corrente e de altura geopotencial (sombreado, em mgs) em 200 hPa para os 37 eventos de ZECIs e para os 58 casos de ZDCA no período 2006-2016: a) Climatologia (2006-2016) de outubro-março; b) D-2 ZECI; c) D-1 ZECI; d) D0 ZECI; e) mesmo que em (a); f) D-2 ZDCA; g) D-1 ZDCA e h) D0 ZDCA.

Na Figura 4.8 encontram-se os campos de anomalias de linha de corrente e de altura geopotencial em 200 hPa (sombreado). As anomalias de altura geopotencial em 200 hPa indicam um padrão de trem de onda para os casos de ZECI, com anomalias intercaladas bem marcadas, enquanto nos casos ZDCA não há esse padrão tão bem definido. Outra diferença encontrada nesse campo entre ZDCA e ZECI está na intensidade da anomalia, onde as anomalias positivas são mais intensas em ZECI e as anomalias negativas são mais intensas em ZDCA. As anomalias de linha de corrente em 200 hPa indicam uma circulação anticiclônica anômala centrada sobre o MRJ em D-1 e já no oceano em D0 no caso ZECI, indicando grande divergência em altos níveis nessa região, associada a uma convergência mais acentuada em baixos níveis, coincidindo com a localização da banda de nebulosidade. Nos casos ZDCA as anomalias anticiclônicas estão centradas no continente, sobre a região Centro-Oeste do país, indicando uma intensificação da Alta da Bolívia, deslocando-a para leste de sua posição climatológica, enquanto os casos ZECI

as anomalias anticiclônicas se encontram sobre a Região Sudeste em D-1 e D0, o que não indica um fortalecimento da Alta da Bolívia para esses casos.

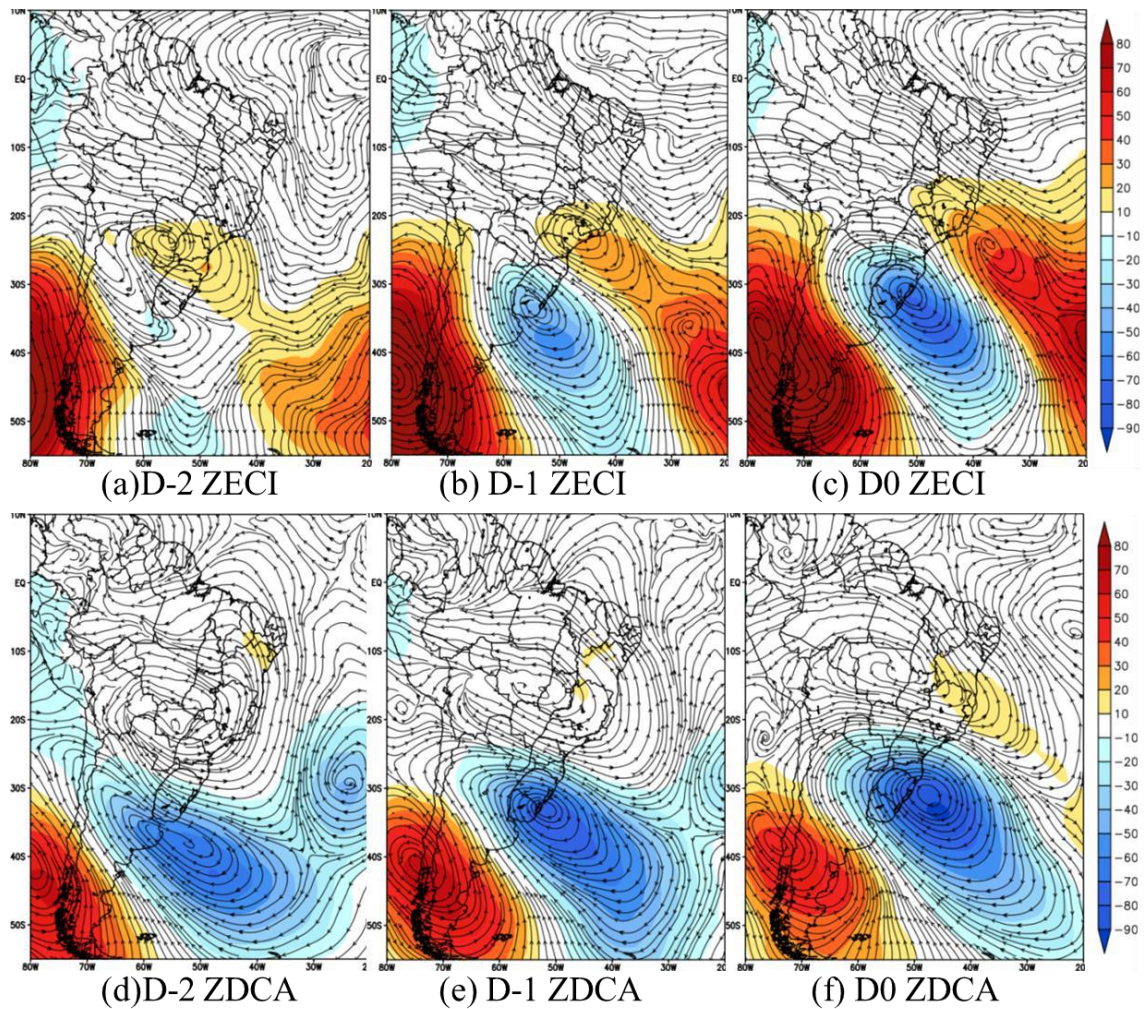


Figura 4.8: Compostos de anomalia de linha de corrente e de altura geopotencial (sombreado, em mgp) em 200 hPa para os 37 eventos de ZECIs e para os 58 casos de ZDCA no período 2006-2016: a) D-2 ZECI; b) D-1 ZECI; c) D0 ZECI; d) D-2 ZDCA; e) D-1 ZDCA e f) D0 ZDCA.

5 Sumário e Conclusões

Neste trabalho elaborou-se uma estatística dos eventos de ZCAS que ocorreram entre os anos de 2006 e 2016 e uma comparação entre compostos de eventos de ZCAS que produziram chuva intensa sobre o MRJ (ZECI) e demais casos de ZCAS sobre o Brasil, com chuva normal ou sem chuva sobre o MRJ (ZDCA). Considerou-se um ECI quando o acumulado diário de precipitação é superior a 30 mm em pelo menos 4 dos 26 postos pluviométricos no MRJ.

Os resultados relacionados às estatísticas de ZCAS indicaram que durante o período de 10 anos estudados foram caracterizados 95 eventos de ZCAS em todo o Brasil, sendo 77 (81%) tendo atuado sobre o MRJ. No mesmo período foram caracterizados 190 dias de ECIs no MRJ. Em 56 dias de ECIs a ZCAS esteve configurada sobre o MRJ, portanto aproximadamente 30% dos ECIs no MRJ estão relacionados a eventos de ZCAS. Como um evento de ZCAS dura pelo menos 3 dias, em alguns eventos o critério de ECI foi atingido em mais de um dia, portanto, para esses casos considerou-se apenas o primeiro dia em que a chuva atingiu o limiar resultando num total de 37 eventos de ZCAS que provocaram chuva intensa no MRJ. Durante eventos de ZCAS, em 65% dos casos o limiar para caracterização de ECIs foi atingido logo no primeiro dia de estabelecimento do sistema e em 89% dos casos o limiar foi atingido no primeiro e/ou segundo dias, indicando que o início do fenômeno é mais propenso a causar chuvas intensas no MRJ em relação aos demais dias do evento. A maioria dos eventos de ZCAS teve duração de 4 dias, sendo dezembro e janeiro os meses com mais ocorrência de ZCAS.

Com relação aos resultados dos compostos observou-se que nos casos ZECI as anomalias positivas de umidade específica em 850 hPa são mais intensas e abrangem maior área do que nos casos ZDCA, indicando que os casos ZECI tem um aporte maior de umidade, tendo portanto maior potencialidade para gerar casos de chuva intensa. Em relação aos campos de anomalia de altura geopotencial em 500 hPa é possível observar anomalias negativas de altura geopotencial a oeste das anomalias de PNMM, o que gera um suporte dinâmico para o sistema, propiciando aumento de convecção na região da banda de nebulosidade. Também observou-se que as anomalias positivas no sul da América do Sul são mais intensas e estacionárias nos casos ZECI do que nos casos ZDCA, semelhante a um padrão do tipo escoamento bloqueado, resultado que concorda com o

encontrado por Seluchi e Chou (2009). Esse padrão mais estacionário do escoamento em médios níveis contribui para o estabelecimento da ZCAS, de forma que a banda de nebulosidade pode permanecer estacionária, sendo realimentada por mais tempo, sem ser destruída pelo escoamento normal.

Em relação aos campos de anomalia de altura geopotencial e linha de corrente em 200 hPa, nos casos ZECI ocorre um padrão de trem de onda bem definido, com anomalias positivas intercaladas por anomalias negativas. Nos casos ZDCA observa-se anomalias de linha de corrente com circulação anticiclônica sobre o Centro-Oeste brasileiro, indicando um fortalecimento da Alta da Bolívia, sistema típico de verão (Vera *et al.*, 2006), levemente deslocada para leste. É possível inferir, portanto, que essa intensificação e deslocamento para leste da Alta da Bolívia é um padrão ligado a eventos de ZCAS onde, no geral, não há chuva forte no MRJ. Já o padrão observado nos casos ZECI mostraram anomalias de linha de corrente com circulação anticiclônica próximos ao MRJ, principalmente em D-1, indicando muita divergência em altos níveis no Sudeste, atrelada a convergência em baixos níveis na mesma região, coincidindo com o posicionamento da ZCAS. Outra característica encontrada está na intensidade das anomalias de altura geopotencial em 200 hPa, onde para os casos ZECI as anomalias anticiclônicas são mais intensas e extensas, enquanto nos casos ZDCA as anomalias mais intensas e extensas são as negativas, ciclônicas. Também é possível observar o cavado do Nordeste sobre o Atlântico Tropical, outra característica comum a ZCAS. Nos casos associados a eventos de chuva intensa o cavado possui um comprimento de onda mais curto, sendo mais intenso, resultado que concorda com Carvalho (1989).

Referências Bibliográficas

BRASILIENSE, Camila Silva et al. Synoptic analysis of an intense rainfall event in Paraíba do Sul river basin in southeast Brazil. *Meteorological Applications*, v. 25, n. 1, p. 66-77, 2018.

CABRAL, E.; FUNARI, F. T.; SALUM, S. T. Análise da variação da precipitação diária no município de São Paulo segundo os dias da semana. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 2000. p. 768-772.

CALHEIROS, R. V.; SILVA DIAS, P. L. Como prever melhor. *Climanálise*, v. 3, p. 31-32, 1988.

CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. *Journal of Climate*, v. 15, n. 17, p. 2377-2394, 2002.

CARVALHO, A. M. G. Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul. São José dos Campos. 109p.(INPE-4923-TDL/383). Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989.

DERECZYNSKI, C. P., OLIVEIRA, J. S., MACHADO, C. O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 1, p. 24-38, 2009.

DERECZYNSKI, Claudine Pereira; CALADO, Renata Novaes; DE BARROS, Airton Bodstein. Chuvas extremas no Município do Rio de Janeiro: Histórico a partir do Século XIX. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 40, n. 2, p. 17-30, 2017.

DRUMOND, A.; NIETO, R.; GIMENO, L.; AMBRIZZI, T. A Lagrangian identification of major sources of moisture over Central Brazil and La Plata Basin. *Journal of Geophysical Research*, v. 113, D14128, doi:10.1029/2007JD009547, 2008.

DURÁN- QUESADA, A. M.; REBOITA, M. S.; GIMENO, L.; NIETO, R. The role of the tropics in the global water cycle: Precipitation and moisture transport in Tropical

America. In: ESA-ESRIN CONFERENCE: Earth Observation and Water Cycle Science: “towards a water cycle multi-mission strategy”, Frascati, Itália, 2009.

ESCOBAR, G C. J. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS): Critério de Detecção para Uso em Centros Operacionais de Previsão de Tempo. <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3SGMUDP>> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2019.

FIGUEIROA, S. N., SILVA DIAS, P. L. Influência dos Andes no escoamento associado à forçantes térmicas no continente sulamericano. Congresso Brasileiro de Meteorologia, Salvador, 19-23 Nov. Anais, Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1990.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROUPELEWSKI, C. F. The South America Monsoon Rainfall over West-Central Brazil. *Journal of Climate*, v. 17, n. 1, p. 47-66, 2004.

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events and possible effects of climate change. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. v. 25, n. 4, p. 537-554, DOI: 10.1007/s00477-010-0420-1, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, em parceria com os Órgãos Estaduais de Estatística, Secretarias Estaduais de Governo e Superintendência da Zona Franca de Manaus - SUFRAMA, 2016.

IDE, F. S., MACEDO, E. S. Sistemas meteorológicos associados a escorregamentos com vítimas fatais no Estado de São Paulo de 1996 a 2004. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. Anais. Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. P. 591-691.

IPCC AR4 WG1. SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K.B., TIGNOR, M., AND MILLER, H.L. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-88009-1 (pb: 978-0-521-70596-7).

KALNAY, E.; MO, K.C.; PEAGLE, J. Large-amplitude, short-scale stationary Rossby waves in the Southern Hemisphere: observations on mechanistic experiments to determine their origin. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 43(3):252-275, Feb. 1986.

KODAMA, Y. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, v. 70, n. 4, p. 813-836, 1992.

KODAMA, Y. Large-Scale Common Features of Sub-Tropical Convergence Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ) Part II : Conditions of the Circulations for Generating the STCZs. *Journal of the Meteorological Society of Japan* v. 71, n. 5, p. 581-610, 1993.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 3, n. 1, p. 217-231, 1988.

LENTERS, J. D.; COOK, K. H. Simulation and Diagnosis of the Regional Summertime Precipitation Climatology of South America. *Journal of Climate*, v. 8, p. 2988-3005, 1995.

LIMA, Kellen Carla; SATYAMURTY, Prakki; FERNÁNDEZ, Júlio Pablo Reyes. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 101, n. 1-2, p. 121-135, 2010.

MARCELINO, E. V. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. 40p. INPE, Santa Maria, Brasil. Disponível em: <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18>, v. 80, n. 2008, p. 07.02, 2008.

NOGUÉS-PAEGLE, J., MECHOSO, CARLOS R., FU, R., BERBERY, E. H., CHAO, W. C., CHEN, T. C., COOK, K., DIAZ A. F., ENFIELD, D., FERREIRA, R., GRIMM, A. M., KOUSKY, V., LIEBMANN, B., MARENGO, J., MO, K., NEELIN, J. D., PAEGLE, J., ROBERTSON, A. W., SETH, A., VERA, C. S., ZHOU, J. Progress in Pan American CLIVAR research: understanding the South American monsoon. *Meteorologica*, v. 27, n. 12, p. 1-30, 2002.

OLIVEIRA, AS DE; NOBRE, C. A. . Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção na Amazônia. Parte II: Estudo de casos selecionados. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia edição IV - Brasília - 1986.

PRISTO, M. V. D. J., DEREZYNSKI, C. P., Souza, P. R. D., Menezes, W. F. Climatologia de Chuvas Intensas no Município do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 33, n. 4, p. 615-630, 2018.

QUADRO, M. F. L.. Estudo de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. 1994. Dissertação de Mestrado em Meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1994.

QUADRO, M. F. L., PEZZI, L. P., ROSA, E. B. O Climanálise e o monitoramento da ZCAS nos últimos 30 anos. 2016.

REBOITA, M. S., GAN, M. A., ROCHA, R. P., AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, p. 185-204, 2010.

ROZANTE, J. R., MOREIRA, D. S., DE GONÇALVES, L. G. G., VILA, D. A. Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. Weather and forecasting, v. 25, n. 3, p. 885-894, 2010.

SAHA, S. et al. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. Bulletin of the American Meteorological Society, [s. l.], v. 91, n. 8, p. 1015–1058, 2010. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/2010BAMS3001.1>>

SAHA, S. et al. The NCEP Climate Forecast System Version 2. Journal of Climate, [s. l.], v. 27, n. 6, p. 2185–2208, 2014. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>>

SATYAMURTY, P., DOS SANTOS, R. P., LEMS, M. A. M. On the stationary trough generated by the Andes. **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 4, p. 510-520, 1980.

SATYAMURTY, P., GONÇALVES, G., MATTOS, L. F., CALBETE, N. O., & MACHADO, L. H. R. Campos diagnósticos associados ao episódio de chuvas fortes na

Região da Serra de Mantiqueira do começo do ano 2000. In: **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu**. 2002.

SATYAMURTI, P., RAO, V. B. Zona de Convergência do Atlântico Sul. *Climanálise*, v. 3, p. 31-35, 1988.

SELUCHI, M. E.; CHOU, S. C. Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 98, n. 1-2, p. 67-77, 2009.

SILVA DIAS, P. L.; BONATTI, J. P.; KOUSKY, V. E. Diurnally forced tropical tropospheric circulation over South America. *Monthly Weather Review*, v. 115, p. 1465-1478, 1987.

Sistema Alerta Rio. Disponível em <<http://alertario.rio.rj.gov.br/download/dados-pluviometricos/>> Acessado em 3 de outubro de 2017

STRETEN, N. A. Some characteristics of the satelliteobserved bands of persistent cloudiness over the Southern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, v. 101, n. 6, p. 486-495, 1973.

TALJAARD, J. J. The clouds bands of the South Pacific and Atlantic Oceans. *Meteorological Monographs*, v. 13, p. 189-192, 1972.

VIANELLO, R. L. Ondas estacionárias forçadas pela topografia e pelas forçantes e sumidouros de calor no Hemisfério Sul. Tese de Doutorado em Meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE, 1981.

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