



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA



**UMA AVALIAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS CHUVOSOS E SECOS
OCORRIDOS NO MUNICÍPIO DE DUQUE DE CAXIAS-RJ: ANÁLISE DOS
EVENTOS DE ZCAS NO PERÍODO DE 2008 A 2016**

CAMILA DE ASSIS MAGALHÃES

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
JUNHO 2018

UMA AVALIAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS CHUVOSOS E SECOS
OCORRIDOS NO MUNICÍPIO DE DUQUE DE CAXIAS-RJ: ANÁLISE DOS
EVENTOS DE ZCAS NO PERÍODO DE 2008 A 2016

CAMILA DE ASSIS MAGALHÃES

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia do Instituto de Geociências do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientadores: Wallace Figueiredo Menezes
Edilson Marton

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
JUNHO 2018
ANÁLISE DOS EVENTOS DE ZCAS NO PERÍODO DE 2008 A 2016: UMA
AVALIAÇÃO DOS EVENTOS DE EXTREMOS CHUVOSOS E SECOS
OCORRIDOS NO MUNICÍPIO DE DUQUE DE CAXIAS-RJ

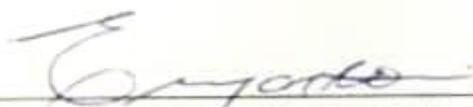
UMA AVALIAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS CHUVOSOS E SECOS
OCORRIDOS NO MUNICÍPIO DE DUQUE DE CAXIAS - RJ: ANÁLISE DOS
EVENTOS DE ZCAS NO PERÍODO DE 2008 A 2016.

CAMILA DE ASSIS MAGALHÃES

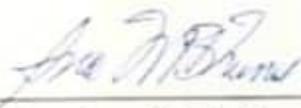
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DO CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ)
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (ÁREA: METEOROLOGIA).



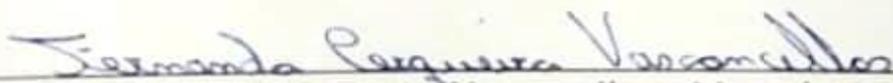
Prof. Dr. Wallace Figueiredo Menezes (Orientador) - PPGM-IGEO-UFRJ



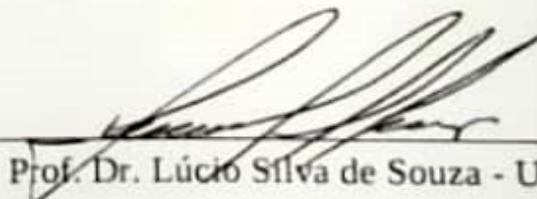
Prof. Dr. Edilson Marton (Orientador) - PPGM-IGEO-UFRJ



Profa. Dra. Ana Maria Bueno Nunes - PPGM-IGEO-UFRJ



Profa. Dra. Fernanda Cerqueira Vasconcellos - Meteorologia UFRJ



Prof. Dr. Lúcio Silva de Souza - UERJ

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2018

“Prefiram a minha instrução à prata,
e o conhecimento ao ouro puro, pois a
sabedoria é mais preciosa do que rubis;
nada do que vocês possam desejar
compara-se a ela.” (Provérbios 8:10-11)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força e sabedoria para realizar este trabalho. Em segundo lugar, agradeço à minha família por toda ajuda, compreensão e carinho ao longo desta jornada.

Agradeço também ao meu namorado por me apoiar nos momentos mais difíceis, por ter dado todo o incentivo para que eu concluísse o mestrado.

Aos meus amigos, meu agradecimento por todo o companheirismo, incentivo e ajuda nesse longo período em que estive na UFRJ, especialmente a Nathália da Silva Henrique de Moura, Alessandra Carbonel, William Cossich, Fernanda Vissirini e Tatyane Paz.

Agradeço ao Cel BM Silva Costa e a Priscila Luz pela primeira oportunidade de estágio e emprego na área de meteorologia.

Agradeço imensamente ao Ten Cel BM Ribeiro Lopes pela confiança e oportunidade oferecida permitindo meu aperfeiçoamento profissional na área. Não poderia deixar de agradecer ao Ten Cel Wilson Santos, ao Cel Sousa Filho e a Fernanda Vissirini que também fazem parte desta conquista.

Por fim, agradeço imensamente aos meus orientadores Dr. Edilson Marton e Dr. Wallace Menezes pela orientação exemplar e por toda paciência, ajuda, dedicação e sabedoria. Não esquecendo, é claro, de todos os meus professores que me ajudaram nesta caminhada, sem eles, este trabalho não seria possível.

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

UMA AVALIAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS CHUVOSOS E SECOS OCORRIDOS NO MUNICÍPIO DE DUQUE DE CAXIAS-RJ: ANÁLISE DOS EVENTOS DE ZCAS NO PERÍODO DE 2008 A 2016

Camila de Assis Magalhães

Junho/2018

Orientadores: Wallace Figueiredo Menezes

Edilson Marton

Programa de Pós-graduação em Meteorologia

No presente estudo são identificados os eventos de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) ocorridos no período de 2008 a 2016, com objetivo de avaliar os indicadores dinâmicos e termodinâmicos dos eventos de ZCAS, buscando encontrar padrões nos casos selecionados como extremos chuvosos e extremos secos ocorridos na cidade de Duque de Caxias. A seleção dos eventos de ZCAS foi feita através do Boletim Climanálise onde foram catalogados 62 eventos no período estudado. Através dos acumulados pluviométricos registrados nas três estações pluviométricas do Instituto Estadual do Ambiente – INEA localizadas na cidade de Duque de Caxias e do emprego da técnica de percentil foram obtidos seis casos denominados como extremos chuvosos e seis casos denominados como extremos secos que ocasionaram elevado acumulado pluviométrico sobre a cidade e baixo acumulado respectivamente. Foram analisados os compostos de anomalia dos extremos obtidos através dos dados da reanálise ERA-Interim. Os resultados indicam a presença de um prolongamento médio de sistemas de baixa pressão orientado para o sudeste brasileiro, apresentando elevada anomalia negativa nos extremos chuvosos; a presença do VCAN em ambos os extremos e da Alta da

Bolívia (AB) nos eventos de extremos chuvosos; anomalias negativas de ômega (movimento vertical) no nível de 500hPa sobre a região de atuação da ZCAS e principalmente sobre o Estado do Rio de Janeiro nos extremos chuvosos; maiores valores de umidade específica em 1000hPa nos extremos chuvosos; divergência positiva na Região Sudeste, sendo o núcleo de divergência mais intenso sobre o Sudeste brasileiro principalmente nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro nos extremos chuvosos. Assim, acredita-se que a busca de uma análise diferenciada dos eventos de ZCAS colaborará para a tomada de decisão dos meteorologistas que estão no meio operacional, auxiliando na identificação de eventos de ZCAS capazes de gerar altos acumulados de precipitação sobre a região de estudo.

Abstract of Dissertation presented to PPGM/IGEO/CCMN/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

AN EVALUATION ABOUT THE EVENTS OF RAINY AND DRY EXTREME OCCURRED IN THE MUNICIPALITY OF DUQUE DE CAXIAS-RJ: ANALYSIS OF SACZ EVENTS IN THE PERIOD BETWEEN 2008 AND 2016

Camila de Assis Magalhães

June/2018

Advisors: Wallace Figueiredo Menezes

Edilson Marton

Department: Meteorology

In the present study are identified the events of South Atlantic Convergence Zone (SACZ) occurred between 2008 and 2016, with the aim of to evaluate dynamic and thermodynamic indicators of the SACZ events, seeking find patterns in both selected cases – rainy and dry extremes, in Duque de Caxias city. The SACZ events selection was done through the INPE'S technical report about monitoring and climate analysis - Boletim Climanálise, where 62 events were catalogued in the studied period. Using the dataset of accumulated precipitation recorded in the three pluviometric stations managed by the Institute of the Environment – INEA, located in the Duque de Caxias city and the percentile technique were obtained six cases denominated as rainy extremes and six cases denominated as dry extremes, responsible for the highest and lowest values of accumulated precipitation in the city, respectively. Then were analysed for both extremes the anomaly compounds of some meteorological variables obtained through the ERA-Interim reanalysis data.

The results indicate an average prolongation of low pressure systems oriented to the Brazilian southeast, with high negative anomaly in the rainy extremes; the UTCV presence in both extremes and the "Bolivian High's" presence only in the rainy

extreme events; Omega's (Vertical Movement) negative anomalies at 500 hPa level in the SACZ region highlighted mainly over Rio de Janeiro state in the rainy extreme cases; higher values of specific humidity at 1000 hPa at rainy extremes; and positive divergence anomalies in the Brazilian southeast, where the most intense divergence anomaly nucleus is over Minas Gerais and Rio de Janeiro states in the rainy extremes.

Thus, it is believed that the search for a differentiated analysis of the SACZ events will contribute to the decision-making of the meteorologists who are working in the operational environment, helping to identify SACZ events capable of generating high values of accumulated precipitation over the studied region.

Sumário

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO INTENSA	3
CAPÍTULO 3 – AREA DE ESTUDO, DADOS E METODOLOGIA.....	15
3.1- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
3.2 – DADOS E METODOLOGIA	21
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS.....	33
4.1 - EVENTOS DE ZCAS	33
4.2 - EXTREMOS CHUVOSOS E SECOS	35
4.3 – ANÁLISE DOS COMPOSTOS DE ANOMALIA	37
4.3.1 – PRESSÃO AO NÍVEL MÉDIO DO MAR (PNMM)	37
4.3.2 – LINHAS DE CORRENTE E MAGNITUDE DO VENTO EM 200, 500 E 850hPa.....	38
4.3.3 – ALTURA GEOPOTENCIAL.....	41
4.3.4 – VELOCIDADE VERTICAL (ÔMEGA).....	42
4.3.5 – DIVERGÊNCIA.....	43
4.3.7 – INDICE DE INSTABILIDADE - K e TT	47
4.6 – ESTUDOS DE CASOS	49
4.6.1 – EXTREMO CHUVOSO (EVENTO DO DIA 15 DE JANEIRO DE 2016)	49
4.6.1 EXTREMO SECO – EVENTO DO DIA 26 DE JANEIRO DE 2012.....	65
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES	72
CAPÍTULO 6: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Localização de estações de monitoramento, do INEA, em Duque de Caxias-RJ.

Tabela 3.2 – Localização de estações de monitoramento, do CEMADEN, em Duque de Caxias-RJ.

Tabela 3.3 – Localização das sirenes do município de Duque de Caxias-RJ.

Tabela 3.4 – Informações gerais sobre os dados da reanálise global do modelo ERA-Interim utilizados na análise dinâmica e termodinâmica do presente estudo.

Tabela 3.5 – Informações gerais sobre as variáveis meteorológicas obtidas através da reanálise global do modelo ERA-Interim.

Tabela 3.6 – Informações extraídas das variáveis meteorológicas obtidas através da reanálise global do modelo ERA-Interim.

Tabela 4.1 – Eventos de ZCAS ocorridos no período de 2008 a 2017

Tabela 4.2 – Quantitativo de eventos de ZCAS ocorridos nos anos analisados.

Tabela 4.3 – Quantitativo de eventos de ZCAS ocorridos nos meses analisados no presente estudo.

Tabela 4.4 – Eventos selecionados

Tabela 4.5 – Eventos selecionados

Tabela 4.6 – Eventos classificados em extremo seco e seus respectivos acumulados pluviométricos.

Tabela 4.7 – Precipitação acumulada máxima em 1 hora de postos pluviométricos.

Tabela 4.8 – Precipitação acumulada de 24 horas de postos pluviométricos.

Tabela 4.10 – Precipitação acumulada de 24 horas de postos pluviométricos.

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Mapa de risco adaptado do PMRR na cidade de Duque de Caxias-RJ baseado nas ocorrências da defesa civil. Fonte: Vissirini et al., 2016.

Figura 3.1 – Localização do município de Duque de Caxias e sua subdivisão em distritos.

Figura 3.2 – Bacias hidrográficas da cidade de Duque de Caxias. Fonte: INEA

Figura 3.3 – Relevo e Hidrografia da cidade de Duque de Caxias

Figura 3.4 – Etapas sobre as quais se desenvolve o presente estudo.

Figura 3.5 – Estações Pluviométricas da Cidade de Duque de Caxias (INEA).

Figura 3.6 – Processos e mapas desenvolvidos sobre os dados obtidos através da reanálise global do modelo ERA-Interim.

Figura 3.7 – Distribuição t de *Student* bicaudal com 5 graus de liberdade e nível de significância de 90%. Fonte: Calculadora para a distribuição t de *Student*, disponível no endereço: <http://www.bertolo.pro.br/FinEst/Estatistica/DistribuicaoProbabilidades2/t/index.html>

Figura 3.8 – Distribuição t de *Student* unicaudal, com cauda à direita, com 5 graus de liberdade e nível de significância de 90%. Fonte: Calculadora para a distribuição t de *Student*, disponível no endereço: <http://www.bertolo.pro.br/FinEst/Estatistica/DistribuicaoProbabilidades2/t/index.html>

Figura 4.1 – Compostos de anomalia da PNMM (hPa), para os extremos chuvosos (a) e extremos secos (b) e teste t-student para os extremos chuvosos (c) e extremos secos (d). Contorno em linha sólida (vermelha) indicam valores positivos e contorno em linha tracejada (azul) valores negativos e as áreas sombreadas (cinza) apresentam 90% de significância.

Figura 4.2 – Compostos de anomalia do Vento (m/s) para os extremos chuvosos em 200 hPa (a) , 500 hPa (b) e 850 hPa (c) e para os extremos secos em 200 hPa (d) , 500 hPa (e) e 850 hPa (f).

Figura 4.3 – Compostos de anomalia do Vento (m/s) para os extremos chuvosos em 200 hPa (a) , 500 hPa (b) e 850 hPa (c) e para os extremos secos em 200 hPa (d) , 500 hPa (e) e 850 hPa (f). Áreas sombreadas (cinza) representam a componente u e áreas hachuradas em cinza a componente v, ambas as áreas apresentam 90% de significância.

Figura 4.4 – Compostos de anomalia da Altura Geopotencial (m) em 500 hPa, para os extremos chuvosos (a) e extremos secos (b) e teste t-student para os extremos chuvosos (c) e extremos secos (d). Contorno em linha sólida (vermelha) indicam valores positivos e contorno em linha tracejada (azul) valores negativos e as áreas sombreadas (cinza) apresentam 90% de significância.

Figura 4.5 – Compostos de anomalia de Velocidade Vertical em 500 hPa para os extremos chuvosos (a) e extremos secos (b) e teste t-student para os extremos chuvosos (c) e extremos secos (d). Contorno em linha sólida (vermelha) indicam valores positivos e contorno em linha tracejada (azul) valores negativos e as áreas sombreadas (cinza) apresentam 90% de significância.

Figura 4.6 – Compostos de divergência (1/s) em 200 hPa para os extremos chuvosos (a) e extremos secos (b) e teste t-student para os extremos chuvosos (c) e extremos secos (d). Contorno em linha sólida (vermelha) indicam valores positivos e contorno em linha tracejada (azul) valores negativos e as áreas sombreadas (cinza) apresentam 90% de significância.

Figura 4.7 – Compostos de anomalia de Umidade Específica (g/kg) em 1000 hPa para os extremos chuvosos (a) e extremos secos (b) e teste t-student para os extremos chuvosos (c) e extremos secos (d). Contorno em linha sólida (vermelha) indicam valores positivos e contorno em linha tracejada (azul) valores negativos e as áreas sombreadas (cinza) apresentam 90% de significância.

Figura 4.8 – Compostos de anomalia dos extremos chuvosos do Índice K (°C) (a), TT (°C) (b) e teste t-student do índice K (c) e índice TT (d). Contorno em linha sólida (vermelha) indicam valores positivos e contorno em linha tracejada (azul) valores negativos e as áreas sombreadas (cinza) apresentam 90% de significância.

Figura 4.9 – Compostos de anomalia dos extremos secos do Índice K (°C) (a), TT (°C) (b) e teste t-student do índice K (c) e índice TT (d). Contorno em linha sólida (vermelha) indicam valores positivos e contorno em linha tracejada (azul) valores negativos e as áreas sombreadas (cinza) apresentam 90% de significância.

Figura 4.10 – Análise da situação meteorológica do dia referente ao caso (15 de janeiro de 2016). Carta sinótica mostrando a posição da ZCAS (a). Imagem realçada de satélite (GOES) indicando a nebulosidade na região de estudo (b) do dia 15 de janeiro de 20016 as 18Z. Fonte: CPTEC.

Figura 4.11 – Imagem realçada de satélite (GOES 12), demonstrando o posicionamento da ZCAS no dia 15 de janeiro as 12Z (a), 16 de janeiro as 12Z (b) 17 de janeiro as 12Z (c) 18 de janeiro as 12Z (d), 19 de janeiro as 12Z (e), 20 de janeiro as 12Z (f) 21 de janeiro as 12Z (g) 22 de janeiro as 12Z (h), 23 de janeiro as 12Z (i), e sua dissipação no dia 24 de janeiro as 12Z (j). Fonte: CPTEC.

Figura 4.12 – Análise da situação meteorológica do dia referente ao caso (15 de janeiro de 2016). Imagem realçada de satélite (GOES 12) do dia 15 de janeiro indicando a nebulosidade na região de estudo as 18Z (a), 22Z (b) e no dia 16 de janeiro as 02Z (c) e 06Z (d). Fonte: CPTEC.

Figura 4.13 – Análise da situação meteorológica do dia referente ao caso (15 de janeiro de 2016). Imagem do radar Sumaré do dia 15 de janeiro às 17Z (a), 18Z (b), 19Z (c), 20Z (d), 21Z (e) e 22Z (f). Fonte: Sistema Alerta Rio.

Figura 4.14 – Nível e precipitação no rio Capivari

Figura 4.15 – Nível e precipitação no rio Saracuruna.

Figura 4.16 – Campos de Pressão ao Nível Médio do Mar (hPa) nos dias 14 de janeiro as 00Z (a), 12Z (b), 15 de janeiro as 00Z (c) 12Z (d) e 16 de janeiro as 00Z (e) e 12Z (f).

Figura 4.17 – Campos de Pressão ao Nível Médio do Mar (hPa) e vento (m/s) em 850 hPa nas datas: 15 de janeiro as 00Z (a), 06Z (b) 12Z (c) 18Z (d) e 16 de janeiro as 00Z (e), 06Z (f) 12Z (g) 18Z (h).

Figura 4.18 – PNMM (hPa) e vento (m/s) em 850 hPa no dia 15 de janeiro de 2016 as 12Z. A área delimitada em (a) representa a faixa latitudinal onde foi realizado o corte vertical de vorticidade relativa (sombreado, 10^{-5} s^{-1}), umidade específica (linha contínua, g/kg) e velocidade vertical (linha tracejada, $\text{Pa} \cdot \text{S}^{-1}$), apresentado em (b).

Figura 4.19 – PNMM (hPa) e vento (m/s) em 850 hPa no dia 16 de janeiro de 2016 as 00Z. A área delimitada em (a) representa a faixa latitudinal onde foi realizado o corte vertical de vorticidade relativa (sombreado, 10^{-5} s^{-1}), umidade específica (linha contínua, g/kg) e velocidade vertical (linha tracejada, $\text{Pa} \cdot \text{S}^{-1}$), apresentado em (b).

Figura 4.20 – Linhas de Corrente e Magnitude do Vento em 850 hPa (a), 500 hPa (b) e 200 hPa (c) do dia 15 de janeiro de 2016 às 18Z.

Figura 4.21 – Linhas de Corrente e Umidade Especifica (g/kg) em 1000 hPa e 850 hPa

Figura 4.22 – Perfil de Umidade Especifica (g/kg) as 18Z do dia 15 de janeiro (a) e as 00Z do dia 16 de janeiro (b) e Perfil de Umidade Relativa as 18Z do dia 15 de janeiro (c) e as 00Z do dia 16 de janeiro (d).

Figura 4.23 – Altura Geopotencial (m) e Velocidade Vertical Omega (Pa/s) em 500 hPa (a) as 18Z de 15 janeiro e (b) as 00Z de 16 janeiro.

Figura 4.24 – Índices de instabilidade K (a) e TT (b) as 18Z do dia 15 de janeiro.

Figura 4.25 – Índices de instabilidade K (a) e TT (b) as 18Z do dia 15 de janeiro.

Figura 4.26 – Diagrama Skew- t as 12Z do dia 15 de janeiro. Fonte: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

Figura 4.27 – Análise da situação meteorológica do dia referente ao caso (26 de janeiro de 2012). Carta sinótica mostrando a posição da ZCAS (a). Imagem realçada de satélite (GOES) indicando a nebulosidade (b) no dia 27 de janeiro de 2012 as 00Z. Fonte: CPTEC

Figura 4.28 – Imagem realçada de satélite (GOES 13), demonstrando o posicionamento da ZCAS no dia 25 de janeiro as 00Z (a), 26 de janeiro as 00Z (b) 26 de janeiro as 12Z (c) 27 de janeiro as 00Z (d), 28 de janeiro as 00Z (e), 29 de janeiro as 00Z (f) 30 de janeiro as 00Z (g) 30 de janeiro as 12Z (h). Fonte: CPTEC

Figura 4.29 – Campos de Pressão ao Nível Médio do Mar (hPa) nos dias 14 de janeiro as 00Z (a), 12Z (b) , 15 de janeiro as 00Z (c) 12Z (d) e 16 de janeiro as 00Z (e) e 12Z (f).

Figura 4.30 – Linhas de Corrente e Magnitude do Vento em 850 hpa (a), 500 hpa (b) e 200 hpa (c) do dia 15 de janeiro de 2016 às 18Z

Figura 4.31 – Divergencia (1/s) em 200 hPa no dia 26 de janeiro as 18 Z (a) e 27 de janeiro as 00Z(b).

Figura 4.32 – Linhas de Corrente e Umidade Especifica (g/kg) em 1000 hpa e 850 hpa

Figura 4.33 – Variação vertical da vorticidade relativa (sombreado), umidade especifica (Kg/Kg) (linhas sólidas), velocidade vertical ômega (Pa/s) (linhas tracejadas) e vento horizontal (m/s).

Figura 4.34 – Índices de instabilidade K (a) e TT (b) as 00Z do dia 27 de janeiro de 2012.

Figura 4.26 – Diagrama Skew- t as 00Z do dia 27 de janeiro. Fonte: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

LISTA DE SIGLAS

AB	Alta da Bolívia
AO	Oceano Atlântico
AS	América do Sul
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
CEMADEN	Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CFSR	Climate Forecast System Reanalysis
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DGDEC	Departamento Geral de Defesa Civil
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EEC	Eventos Extremos de Chuva
EM	El Niño
FF	Frentes Frias
GrADS	Grid Analysis and Display System
HS	Hemisferio Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
LN	La niña
NCAR	Nation Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NE	Nordeste
NO	Noroeste
OMJ	Oscilação Madden Julian
OP	Oceano Pacífico
PB	Planalto Brasileiro
PMDC	Prefeitura Municipal de Duque de Caxias
PMRR	Plano Municipal de Redução de Risco
PNMM	Pressão a Nível Médio do Mar
REDUC	Refinaria de Duque de Caxias
ROLE	Radiação de Onda Longa Emergente
RSRJ	Região Serrana do Rio de Janeiro
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
SE	Sudeste
TT	Total Tolts
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCAS	ZCAS Continental Amazônica
ZCC	ZCAS Continental Costeira
ZCPS	Zona de Convergência do Pacífico Sul
ZFB	Zona Frontal de Baixo
ZOC	ZCAS Oceanica

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

A compreensão dos fenômenos meteorológicos que originam elevados acumulados de precipitação tem adquirido grande importância nos últimos anos, tanto no âmbito acadêmico como no operacional, sendo alvo de frequentes estudos com a finalidade de aprimorar a previsibilidade de futuros episódios e mitigar seus impactos.

No Brasil, mais de 80% dos desastres naturais são desencadeados por fenômenos meteorológicos (Pielke e Carbone, 2002). Apenas entre 2000 e 2015 ocorreram no Brasil 72 desastres naturais relacionados às chuvas intensas, deixando um total de 2642 mortos, mais de 7 milhões de afetados com prejuízos de mais de 5 trilhões de dólares. (EM- DAT, 2015).

Especificamente no Estado do Rio de Janeiro, a ocorrência de fortes chuvas tem estado associada a tempestades embebidas em sistemas de grande escala como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Estudos regionalizados da estrutura e dos mecanismos dinâmicos e termodinâmicos associados a estes sistemas torna-se uma ferramenta de grande utilidade para seu entendimento e previsão. (Polifke, 2014)

Dentre as medidas voltadas para redução dos riscos de desastres, os sistemas de previsão e monitoramento da precipitação são fundamentais para a identificação de condições favoráveis à ocorrência de potenciais eventos causadores de desastre e essenciais para veiculação adequada de avisos e adoção antecipada de estratégias em prol da minimização e mitigação dos impactos negativos destes fenômenos.

A cidade de Duque de Caxias, localizada no Estado do Rio de Janeiro, possui uma população aproximada de 882.729 habitantes (IBGE, 2015) e apresenta características fisiográficas de baixada bastante suscetíveis aos desastres naturais, com áreas bem planas e alto risco às inundações em períodos chuvosos. Tais características são intensificadas com a questão do mau uso do solo e o desordenamento de ocupações territoriais. Normalmente ocupam-se áreas ribeirinhas, sendo estas mais suscetíveis aos desastres, refletindo em uma população mais vulnerável.

Luz Barcellos et al., (2016) identificaram 35 eventos de precipitação intensa que ocasionaram transtornos na cidade de Duque de Caxias no período compreendido entre 1996 a 2015. Através do estudo realizado, concluiu-se que a ZCAS foi responsável por 57% do total de eventos estudados na cidade sendo o fenômeno meteorológico responsável por grande parte dos eventos de precipitação intensa na região, ressaltando assim, a importância de estudos de ZCAS que ocasionaram transtornos e desastres no município.

Assim, o objetivo geral que norteia esse trabalho é avaliar os indicadores dinâmicos e termodinâmicos dos eventos de ZCAS ocorridos no período de 2008 a 2016, buscando encontrar padrões nos casos que originaram elevados acumulados pluviométricos sobre a cidade de Duque de Caxias, como nos casos em que não houve registro de chuvas intensas sobre a cidade. Acredita-se que a busca de uma análise diferenciada dos eventos de ZCAS no período analisado colaborará para o entendimento e identificação de eventos capazes de gerar altos acumulados de precipitação sobre a região de estudo.

Desta forma o presente estudo está organizado da seguinte maneira: no Capítulo 2, elabora-se a revisão da literatura desta dissertação, dividida em duas seções, onde a primeira trata dos resultados de pesquisas de eventos extremos de precipitação, enquanto que a segunda seção trata de uma abordagem geral sobre a ZCAS. O Capítulo 3 apresenta a metodologia proposta neste trabalho, isto é, os métodos utilizados para a caracterização dos eventos de ZCAS em extremos chuvosos e eventos de extremos secos assim, como análises comparativas para os casos de extremos chuvosos e secos selecionados. No Capítulo 4, são mostrados os resultados encontrados nesta pesquisa e no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões deste estudo.

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO INTENSA

No Brasil, principalmente a partir da década de 70, as Regiões Sul e Sudeste têm sido severamente impactadas por desastres ambientais, resultando em grandes prejuízos econômicos e em um elevado número de vítimas fatais. (MARENGO, 2010 e SAUSEN et al., 2009).

Inserido nesse contexto, TEIXEIRA e SATYAMURTY (2006) sugerem que variáveis presentes na estrutura termodinâmica e dinâmica da atmosfera devem ser analisadas a fim de se detectar eventos de chuva forte. Desta forma, estas variáveis seriam úteis no diagnóstico dos meteorologistas inseridos no meio operacional, sendo estes capazes de decidir se um forte episódio de chuva está ou não prestes a acontecer a partir da análise do comportamento destas variáveis.

De acordo com ROCKWOOD e MADDOX (1988), as condições locais podem favorecer a formação de convecção, porém se não existirem mecanismos de grande escala nas proximidades, esta convecção não se desenvolverá a ponto de formar um grande sistema de tempestades.

CERQUEIRA (2006) realizou o cálculo dos índices de instabilidade a partir de integrações com o modelo regional ETA, como um auxílio na previsão da localização e intensidade dos núcleos de precipitação mais intensa em um episódio de ZCAS ocorrido entre 27/12/2002 e 07/01/2003. Segundo a autora, o modelo apresentou bom desempenho na previsão da localização da faixa de precipitação associada à ZCAS, contudo não foi capaz de prever os máximos isolados de precipitação embebidos neste cinturão. Neste trabalho, verificou-se que os índices K e os índices CK e CITT, mostraram-se eficientes na previsão das chuvas intensas que ocorreram durante este evento, enquanto que os demais índices testados (Conv, Convw, ILEV, ITT e CILEV) não indicaram bons resultados, o que pode, de acordo com a autora, estar relacionado à resolução do modelo, que é baixa (40 km) para detectar condições mais intensas de instabilidade.

MOURÃO e MENEZES (2006) analisaram dois casos de tempestades com precipitação elevada e ventos fortes que atingiram o Rio de Janeiro nos dias

31/01/2000 e 21/03/2003. Desta forma, através do estudo dos índices de instabilidade (K, TT, Gradiente Vertical da Temperatura e CK) os autores mostram semelhanças entre valores quantitativos dos índices simulados e os lugares de desenvolvimento de tempestades convectivas. Ainda de acordo com os autores, a compreensão do comportamento dos índices pode ajudar muito na previsão do tempo de eventos de pequena escala.

NETO (2012) utilizando dados dos 32 pluviômetros da rede de precipitação da Fundação Instituto de Geotécnica do município do Rio de Janeiro (GEORIO) fez um levantamento de Eventos Extremos de Chuva (EEC) que ocorreram no município do Rio de Janeiro no período entre janeiro de 2000 e dezembro de 2010. Segundo NETO (2012), para um episódio de chuva ser considerado como um EEC era necessário que fosse produzida uma precipitação média (nos 32 pluviômetros) e acumulada em 24h maior do que 50 mm. Assim, com este critério foram identificados 32 EEC's, sendo que do total obtido, 15 (47%) estavam associados a frentes frias (FF), 12 (37%) com a ZCAS e para 5 (16%) não foi possível identificar nenhum sistema de escala sinótica associado.

A identificação de eventos extremos de chuva tem sido feita nos últimos anos, utilizando-se diferentes técnicas estatísticas. Destacam-se os trabalhos desenvolvidos por Xavier et al. (2002), Souza (2011) e Farias, Alves e Nóbrega (2012) que utilizaram as técnicas dos quantis para análise dos extremos.

Carvalho et al. (2004) investigaram a importância da ZCAS em modular as características espaciais da precipitação extrema sobre o Brasil. Conforme definido pelos autores, eventos extremos de precipitação são aqueles em que o total diário está acima do percentil 95, calculados a partir da precipitação de séries temporais em cada ponto de grade. Desta forma, o percentil 95 do verão (DJF) é de 21 mm/dia, seguindo aproximadamente as características espaciais da precipitação média com o máximo sobre a Amazônia central, diminuindo em direção nordeste do Brasil. Os autores ressaltam que o aumento da razão entre as categorias oceânica e continental da ZCAS certamente tem uma importante implicação para a precipitação sazonal sobre o sudeste da América do Sul e Brasil central. A ZCAS oceânica aumenta a precipitação em DJF sobre o sudeste do Brasil, particularmente sobre o Rio de Janeiro, sudeste de Minas Gerais e nordeste de São Paulo e quando

estacionária provoca frequentemente enchentes e inundações, particularmente em áreas de topografia acentuada e alta concentração de habitantes.

A cidade de Duque de Caxias, região de estudo do presente trabalho, possui particularidades ambientais, intensificadas por fatores antrópicos, que favorecem a ocorrência de desastres naturais, sobretudo de ordem geológica e hidrológica. Os elevados acumulados pluviométricos obtidos nas partes altas das bacias ocasionam mudanças significativas no regime de escoamento, especialmente no encontro com as áreas de planícies de modo que se tornam mais frequentes a ocorrência de movimentos de massa, processos erosivos, inundações, enxurradas e alagamentos. (Vissirini et.al, 2016)

Em janeiro de 2013, a cidade decretou Situação de Emergência, para o evento caracterizado como enxurrada, de acordo com a codificação brasileira de desastres (COBRADE) ocorrido em Xerém, na bacia hidrográfica do rio Capivari, contribuinte da bacia do rio Iguaçu, afetando cerca de 100 mil pessoas, com mais de 1400 desalojados e desabrigados, 60 feridos e 2 mortos (CARVALHO e DOMINGUES, 2013).

Após o evento de janeiro de 2013 alguns estudos de planejamento foram desenvolvidos para o município de Duque de Caxias, no âmbito da Gestão de Risco:

- i) O Plano Municipal de Redução de Risco – PMRR (CIDADES, 2013);
- ii) Plano de Emergência Municipal de Duque de Caxias (PMDC, 2016).

O PMRR teve como objetivo principal o mapeamento das áreas de risco, o que permitiu a implantação das sirenes nas regiões que apresentam ocupações urbanas, com alta densidade populacional e com maior suscetibilidade aos desastres, potencializando a política pública municipal de gestão de risco de desastres. Os setores de risco foram delimitados em campo e sobre mapas a partir de imagens de satélite e classificados em graus de risco: Baixo (R1); Médio (R2); Alto (R3); Muito Alto (R4).

Vissirini et al. (2016) atualizou o mapeamento das áreas apresentadas no PMRR, incluindo os boletins de ocorrência da Defesa Civil, a mancha de urbanização da cidade e a altimetria, de modo a definir em conjunto aquelas áreas

mais propensas a sofrer danos por inundação e indicar no período de monitoramento em tempo real, as áreas mais afetadas pelas chuvas intensas (Figura 2.1).

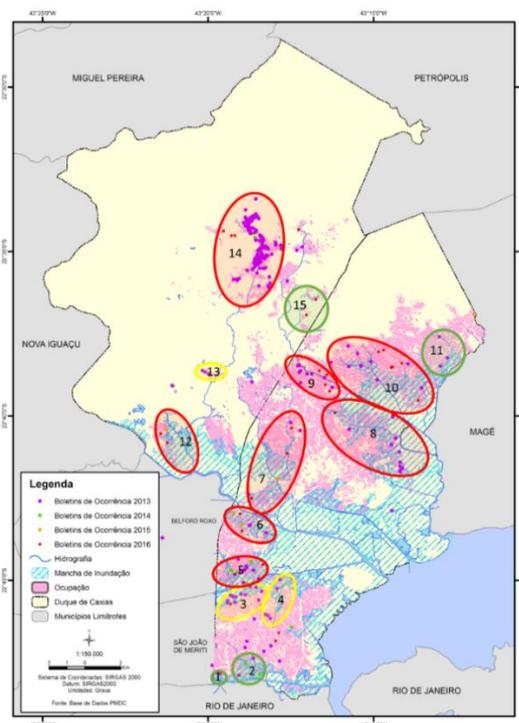


Figura 2.1 – Mapa de risco adaptado do PMRR na cidade de Duque de Caxias-RJ baseado nas ocorrências da defesa civil. Fonte: Vissirini et al., 2016.

De acordo com Luz Barcellos et al. (2016), no período de 1996 até 2015, foram identificados 35 eventos adversos relevantes, que não necessariamente tiveram um número significativo de afetados, porém em sua totalidade causaram transtornos a cidade.

Destaca-se, segundo os autores, que aproximadamente 75% dos eventos estudados ocorreram entre os meses de novembro a fevereiro, representando os meses com maiores acumulados de chuva e de maiores intensidades. Na distribuição anual, os anos de 2008 e 2009 apresentaram o maior número de desastres naturais na cidade, totalizando 31,4% das ocorrências, seguidos pelo ano de 2013, com um total 8,6%.

Relacionando o perigo potencial dos sistemas meteorológicos com os 35 desastres naturais ocorridos os autores destacaram que o fenômeno ZCAS foi o

que mais originou desastres naturais na cidade de Duque de Caxias (20 casos) sendo responsável por 57% deles, enquanto que 29% estavam associados à passagem de frentes frias e 14% a áreas de instabilidade.

Ainda de acordo com Luz Barcellos et. al. (2016), através das características típicas da ZCAS, destaca-se que a geração e manutenção dos altos acumulados de chuva por dias consecutivos, somado aos problemas sociais e de infraestrutura da cidade de Duque de Caxias, torna o fenômeno como o mais contribuinte para a formação de desastres naturais na região. Os resultados mostraram que, para eventos de ZCAS, a faixa de maior frequência de acumulados diários de chuva variou entre 10 e 50 mm nas 24 h antecedentes ao desastre, e entre 60 e 110 mm no dia do desastre.

Verifica-se que a ocorrência de eventos extremos de chuva, variável desencadeadora de desastres, está estreitamente ligada a sistemas meteorológicos de grande escala e, portanto, estudos regionalizados da estrutura e dos mecanismos dinâmicos e termodinâmicos associados a estes sistemas torna-se uma ferramenta de grande utilidade para seu entendimento e previsão. Especificamente no estado do Rio de Janeiro, verificou-se que a ocorrência de fortes chuvas tem estado associada a tempestades embebidas em sistemas de grande escala como frentes frias e ZCAS (MENEZES et al., 2000; GUIA et al., 2006, DEREZYNSKI et al. 2008, BARCELLOS, 2009; SILVA e REBELLO, 2010; KOUSKY e SILVA, 2011 e POLIFKE DA SILVA, 2011).

Observa-se que diversos sistemas e fenômenos atmosféricos são capazes de influenciar significativamente as condições de tempo na região de Duque de Caxias e que o principal sistema atmosférico causador de precipitação, de acordo com Luz Barcellos et. al. (2016) seria a ZCAS, assim pelo fato de modular de forma significativa a precipitação da região, deve-se dar uma atenção especial ao entendimento da sua formação e ao seu desenvolvimento sobre a área estudada. A seguir são descritas as principais características da ZCAS.

2.2 ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL (ZCAS)

A ZCAS é caracterizada pela permanência de uma banda de nebulosidade por no mínimo quatro dias com orientação noroeste-sudeste (NO-SE), que se

estende desde o sul e leste da Amazônia até o Sudeste do Brasil e, frequentemente, sobre o Oceano Atlântico Subtropical, sendo responsável pelo regime de chuvas sobre as Regiões Sul e Sudeste do Brasil durante os meses de verão. (Kodama 1992, 1993; Satyamurty et al, 1998; Carvalho et al, 2002).

Ressalta-se que diversos estudos consideram apenas os meses de verão para analisar a ZCAS. Porém, Ambrizi e Ferraz (2015) mostraram que, de 48 eventos de ZCAS analisados entre 1995 e 2005, 30% ocorreram em novembro e março, o que ressalta a importância de estudos que contemplem todos os fenômenos de ZCAS ocorridos ao longo dos anos.

Carvalho et al. (2002) ressaltam que as propriedades estruturais e características da ZCAS variam de acordo com sua intensidade e localização, oceano ou continente. Dentro de uma mesma estação, a ZCAS pode apresentar variações na sua localização, posicionando-se em regiões mais ao norte do continente durante o mês de dezembro e tendo um avanço mais ao sul até o fim do verão, sendo sua posição predominante sobre a Região Sudeste, Brasil Central, norte do Paraná e o sul do estado da Bahia (Quadro, 1994).

Segundo Grimm (1992), a climatologia da circulação de grande escala sobre a América do Sul (AS) no verão austral e durante a atuação de um evento de ZCAS evidencia intensa atividade convectiva, em especial na Amazônia. Diversos estudos têm demonstrado que associado a esta região de intensa convecção e precipitação, existe um anticiclone em altos níveis, denominado de Alta da Bolívia (AB) (Virji, 1981; Jones e Horel, 1990a; Satyamurty et al., 1998), além da presença de um cavado ou Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) sobre o Nordeste (NE) do Brasil e oceano adjacente (Virji, 1981; Jones e Horel, 1990; Brambila et al., 2004).

Quadro (1994) acredita que variações na localização do centro da AB, do vórtice (ou cavado) sobre o NE brasileiro e do cavado a sotavento dos Andes na média troposfera podem influenciar na caracterização da ZCAS. Segundo o autor, através de um estudo de 10 anos de episódios de ZCAS ocorridos durante o verão no Hemisfério Sul (HS), verificou-se a convergência de umidade em baixos e médios níveis na região da ZCAS; a presença de um cavado sobre a costa leste da AS orientado na mesma direção que a ZCAS em 500 hPa, associado a uma faixa de movimento vertical ascendente também com orientação NO-SE e uma faixa de

movimento anticiclônico em altos níveis caracterizando as regiões típicas para a manifestação do fenômeno.

Na baixa troposfera, os ventos alísios, oriundos do Atlântico equatorial, penetram na região Amazônica e tendem a girar anticiclonicamente a leste da Cordilheira dos Andes e, assim, propagam-se para o sul ou sudeste fornecendo umidade para as regiões subtropicais e tropicais do Brasil (Satyamurty e Rao, 1988; Figueroa et al., 1995). De acordo com Kodama (1992), destaca-se durante a atuação da ZCAS, a convergência de umidade na baixa troposfera e a presença de um cavado a leste da Cordilheira dos Andes, orientado na direção NO-SE em 850 hPa.

Kodama (1992, 1993) examinou as características comuns entre a ZCAS, a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e a Zona Frontal de Baixo (ZFB) -Zona de Convergência localizada no leste Asiático- e verificou que todas essas zonas de precipitação subtropicais se estendem em direção aos polos e para leste da convecção tropical, localizada próximo da linha do equador, além de se formarem ao longo de jatos subtropicais de altos níveis associados com cavados que penetram nos subtropicais. Em superfície, estas zonas de convergência estão, geralmente, localizadas em direção aos polos e ao oeste das altas subtropicais. Os resultados de Kodama sugerem que a posição média da ZCAS poderia ser atribuída à convecção profunda da Amazônia.

O posicionamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) também pode contribuir para a formação e manutenção da ZCAS, através da convergência do ar tropical com o extratropical gerando instabilidade entre as duas massas de ar (Satyamurty e Rao, 1988). Todas estas características de circulação, entre outros fatores, estão inter-relacionadas e dependem diretamente da atividade convectiva da Amazônia e Brasil central. Estes aspectos podem fornecer condições favoráveis para a formação de um evento de ZCAS.

Estudos observacionais e numéricos indicam que a ZCAS sofre influências tanto de fatores remotos quanto locais. Aparentemente as influências remotas modulam o início, duração e localização, enquanto os fatores locais são determinantes para a ocorrência desse fenômeno, ou seja, sem eles o sistema provavelmente não existiria (CPTEC, 1996).

A respeito dos fatores remotos, Casarim e Kousky (1986) mostraram que a convecção na região centro-oeste do Pacífico, especificamente na ZCPS, implicava numa posterior intensificação da ZCAS, sugerindo um mecanismo de propagação do tipo oscilação de 30-60 dias.

Sabendo que as oscilações intrasazonais são significantes contribuintes para as variações da atividade convectiva nos trópicos, salienta-se a importância destas sobre a AS, em especial sobre a região de atuação da ZCAS (Kayano e Kousky, 1992). Diversos estudos têm evidenciado a atuação dessas flutuações na modulação da ZCAS (Casarin e Kousky, 1986; Liebmann et al., 1999; Marton, 2000; Carvalho et al., 2004; Cunningham e Cavalcanti, 2006).

Carvalho et al. (2004) encontraram uma relação entre a atividade convectiva intrasazonal da Oscilação Madden Jullian (OMJ) e o sinal de Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE) na AS tropical. Eles observaram que quando a inibição da convecção permanece sobre a Indonésia, existe uma possível influência na modulação da intensidade e do posicionamento da atividade convectiva de um evento de ZCAS, além da ocorrência de extrema precipitação sobre o Brasil. Por outro lado, a fase da OMJ caracterizada por um aumento da convecção na Indonésia e inibição sobre o Pacífico central, evidenciou uma redução da precipitação sobre o leste e sudeste do Brasil.

Ferreira et al. (2004) analisaram os padrões atmosféricos dominantes em situações de ZCAS durante anos de El Niño (EN) e La Niña (LN) a partir de uma técnica de composição. O estudo foi realizado utilizando-se as reanálises do *National Centers for Environmental Prediction-National - Center for Atmospheric Research* (NCEP-NCAR) para os meses de verão no período de 1980 a 2000, bem como dados diários de ROLE.

Assim, os resultados obtidos pelos autores evidenciam: i) Maior variabilidade de ocorrência de episódios de ZCAS em anos de La Niña e uma tendência de ocorrer 3 episódios em anos de El Niño; ii) Maior intensificação da convecção sobre o oceano Atlântico Sudoeste para anos de El Niño e maior sobre o continente em anos de La Niña; iii) A circulação de grande escala em altos níveis não evidencia a presença da ZCAS; iv) Em altos níveis, em anos de EN o campo de anomalias de geopotencial mostra um prolongamento para o oceano da ZCAS e uma extensa área

de anomalias negativas de vorticidade relativa ao norte desta. Além disso, em anos de LN, observa-se que anomalias negativas de vorticidade ao sul da ZCAS estendem-se para o continente, modulando a atividade convectiva tanto na parte oceânica quanto sobre o continente.

Em relação à forçante topográfica, Satyamurty et al. (1980) simularam através de equações primitivas de um modelo barotrópico, uma suave topografia e verificaram a presença de um cavado semi-estacionário na média troposfera, próximo ao sudeste do Brasil, variando meridionalmente em um escoamento zonal.

Quanto ao efeito local dos Andes sobre a ZCAS, Figueroa et al. (1995) mostraram, por experimentos numéricos, que o posicionamento adequado desse sistema depende da inclusão da topografia nas simulações. Entretanto, segundo os autores, um aspecto interessante é que, simulações sem a inclusão da topografia, conseguem reproduzir um padrão de divergência alongada em altos níveis e convergência alongada em baixos níveis, com orientação semelhante à da ZCAS. Desta forma, embora os Andes não tenham um papel preponderante na gênese da ZCAS, aparentemente intensificam o escoamento em baixos níveis, auxiliando assim a alimentação da convergência com o ar úmido da região Amazônica.

Kodama (2012) estudou o papel do Planalto Brasileiro (PB) na manutenção da ZCAS, através de análises de estatísticas e simulações numéricas, mostrando que a ZCAS é mais intensa quando se localiza sobre o PB devido à circulação ciclônica de mesoescala nos baixos níveis, que aparece sobre a parte sudoeste do planalto, por eles denominada de circulação ciclônica do PB. Nos experimentos onde a chuva é interrompida em torno do PB enquanto a topografia é mantida, nota-se que a circulação ciclônica desaparece e a ZCAS é deslocada para sul da sua posição original. Por outro lado, nos experimentos onde o PB é removido e a topografia é suavizada, a precipitação sobre o PB é enfraquecida, mas a ZCAS permanece deslocada para sul de sua posição. Por fim, os autores concluem que a precipitação é intensificada devido à topografia acidentada do PB.

Outros mecanismos são sugeridos para explicar a ocorrência da ZCAS, como por exemplo, a interação oceano-atmosfera na zona de confluência entre a Corrente das Malvinas e a Corrente do Brasil (Nobre, 1988), e as interações não lineares

entre as diversas escalas de fenômenos atmosféricos. No entanto, estes mecanismos ainda não foram confirmados em estudos.

Carvalho et al. (2002) mostraram que a ocorrência de eventos extremos de precipitação no sudeste do Brasil está aproximadamente relacionada com a atividade convectiva na ZCAS. Eles demonstraram que a variabilidade espacial da precipitação extrema depende tanto da intensidade quanto da forma desse sistema atmosférico e sugeriram que mecanismos dinâmicos distintos podem modular a intensidade, a forma, a persistência e os aspectos regionais de extrema precipitação.

Estudos sobre a ZFB mostram que os Vórtices Ciclônicos de Mesoescala (VCMs) geralmente se formam associados à SCM embebidos na zona de convergência e provocam intensa precipitação nas regiões onde atuam (Ninomiya, 2007; Chen et al., 1998). Quadro (2012) mostra a importância da atuação deste sistema de mesoescala, que se origina na região estratiforme da ZCAS e é responsável por intensos índices pluviométricos nas áreas onde atua.

Os VCMs influenciam o início, a organização e a evolução da convecção profunda e úmida. Segundo Bosart e Sanders (1998) estes vórtices possuem circulação ciclônica, são quase estacionários, e se formam na média troposfera nas regiões dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) e muitas vezes persistem após a dissipação do sistema convectivo.

Chen et al., (1998) analisaram a influência da forçante orográfica na formação de um VCM sobre o Platô do Tibet, assim, mostraram que as correntes ascendentes são muito sensíveis à forçante mecânica e que desempenham um importante papel na formação e localização dos VCMs. Os autores concluem que o modelo com uma representação correta da orografia mostra-se capaz de prever a formação do vórtice e a precipitação intensa associada.

Quadro (2012) analisou o comportamento de VCMs embebidos na ZCAS, buscando identificar as características básicas da formação destes, avaliando sua atuação nas regiões afetadas, em termos de variabilidade da posição, intensidade e frequência destes sistemas.

Com base nos dados da reanálise do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) fornecidos pelo NCEP o autor desenvolveu um sistema objetivo de detecção da formação dos VCMs a partir dos seguintes critérios: i) regiões com mínimo de

vorticidade relativa em determinado nível de pressão na região da banda de nebulosidade associada à ZCAS; ii) circulação do vento no sentido horário em torno do ponto central de mínimo de vorticidade relativa e iii) presença de nebulosidade na região de formação do vórtice.

Através desse sistema automático de detecção de vórtices embebidos na ZCAS, Quadro (2012) elabora uma estatística de ocorrência de tais vórtices para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro dos anos de 2000 a 2009, visando encontrar semelhanças na formação e atuação dos mesmos, considerando assim, a região da ZCAS dividida em três sub-regiões: ZCAS Continental Amazônica (ZCA), ZCAS Continental Costeira (ZCC) e ZCAS Oceânica (ZOC).

Assim, o autor verificou que a maioria dos VCMs se localiza nos níveis médios da troposfera, evidenciando que eles ocorrem com mais frequência sobre o continente (nas regiões ZCA e ZCC), fato este que pode estar associado à presença da topografia. Ressalta-se que na ZCA, os VCMs são mais presentes na média e alta troposfera enquanto que a região costeira (ZCC), apresenta uma distribuição uniforme na troposfera.

Com relação à precipitação, o autor afirma que os vórtices confinados entre 1000 hPa até o nível de 700 hPa são os que estão associados a um maior índice pluviométrico (Vórtices Úmidos). Segundo o autor, verifica-se uma maior quantidade de vórtices associados a baixos índices pluviométricos (Vórtices Secos) formados nos médios e altos níveis. Desta forma, verificou-se uma concordância entre as regiões de máxima vorticidade ciclônica em baixos níveis e os extremos de precipitação.

Ainda de acordo com Quadro (2012) os vórtices úmidos continentais são caracterizados pela vorticidade ciclônica até a média troposfera, com máximos entre 875 e 850 hPa. A estrutura térmica desses vórtices apresenta núcleo frio abaixo do máximo de vorticidade e uma taxa de aquecimento em direção à média e alta troposfera. Já os vórtices sobre o oceano apresentam valores de vorticidade relativa e anomalia de temperatura potencial aproximadamente uma ordem de grandeza menor que os vórtices continentais.

Segundo o autor é possível observar principalmente nos baixos níveis ao longo da ZCAS e na região ZCC nos altos níveis uma menor quantidade de vórtices

atuando no período vespertino (18UTC). Nos altos níveis sobre as regiões ZCA e ZOC verifica-se um comportamento diferente na distribuição dos vórtices. Enquanto na ZCA há uma frequência um pouco maior de casos no período diurno, sobre o oceano em altos níveis os VCMs atuam predominantemente durante a madrugada. Assim, o autor salienta que estes resultados revelam fortes evidências para a estreita associação destes vórtices com os sistemas convectivos de mesoescala, onde a redução dos casos no período da tarde está fortemente associada ao ciclo diurno.

Finalmente, nos dois casos analisados pelo autor, nota-se que os mesovórtices apresentam características como: i) ciclo de vida inferior a 24 horas; ii) intensa precipitação; iii) deslocamento no mesmo sentido do escoamento na baixa troposfera; iv) núcleo quente acima do nível de máxima intensidade e v) rápido crescimento do centro de vorticidade ciclônica principalmente nos baixos níveis.

Nascimento et al. (2012), com o objetivo de analisar um caso de formação do VCM associado a ZCAS na madrugada do dia 12 de janeiro de 2011 na Região Serrana do Rio de Janeiro (RSRJ), aplicaram a metodologia de detecção destes mesovórtices, desenvolvida no trabalho de Quadro (2012). Os autores analisaram os padrões dinâmicos e termodinâmicos, em termos de localização e profundidade do sistema, associados à configuração do vórtice na região da ZCAS.

Para tal, os autores utilizaram dados de precipitação total e convectiva, topografia, vorticidade relativa, nebulosidade, fluxos de calor latente e sensível na superfície, ROLE e energia potencial convectiva disponível da reanálise CFSR.

Segundo os autores, destaca-se a presença de vários núcleos convectivos sobre o Rio de Janeiro que provocaram a intensa precipitação observada na RSRJ, sendo possível observar um maior índice de precipitação associado a um VCM no litoral norte do Rio de Janeiro, que ainda de acordo com Nascimento et al. (2012) formou-se associado aos sistemas convectivos atuantes nesta região fortalecendo assim os índices pluviométricos e que através da reanálise CFSR pode-se observar a precipitação associada ao sistema deslocada para nordeste das áreas atingidas.

CAPÍTULO 3 – AREA DE ESTUDO, DADOS E METODOLOGIA

3.1- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Com área limítrofe de 467,6 km², o equivalente a cerca de 6,8% da área da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro e, aproximadamente, a 35% da área da Baixada Fluminense, o município de Duque de Caxias-RJ com cerca de 882.729 habitantes, possui cerca de 99% da população residente em área urbana (IBGE, 2015).

Duque de Caxias possui um parque industrial significativo, abrigando além da 2ª maior refinaria do país, a Refinaria de Duque de Caxias (REDUC), outros segmentos industriais como o metalúrgico, mobiliário e têxtil. Administrativamente, está dividido em quatro Distritos: 1º Distrito – Duque de Caxias; 2º Distrito - Campos Elíseos; 3º Distrito – Imbariê; e 4º Distrito – Xerém (Figura 3.1). A população caxiense se concentra no primeiro distrito do município, esta maior densidade na região é devido a maior proximidade com o município do Rio de Janeiro, estando Duque de Caxias a uma distância aproximada de 20Km da capital do Estado do Rio de Janeiro.

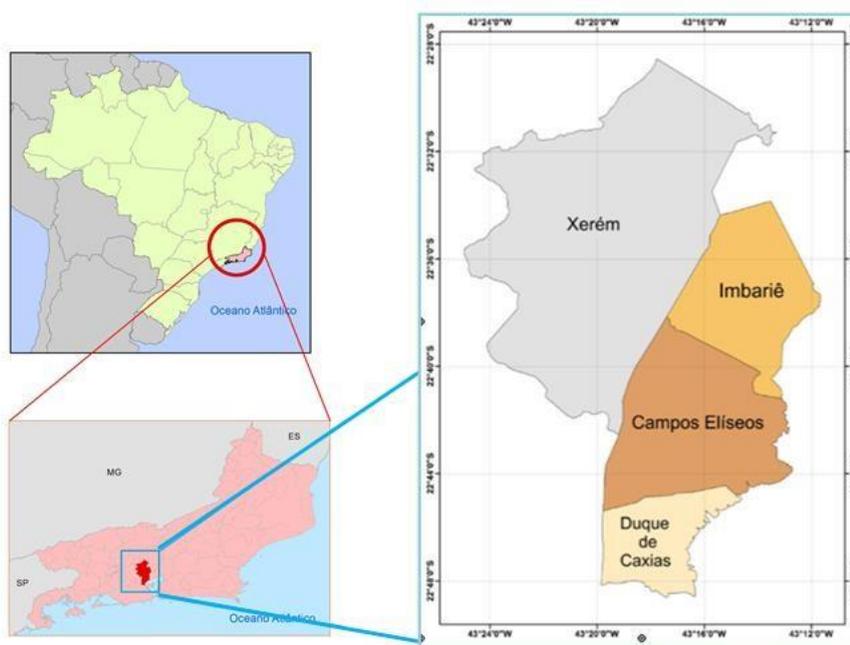


Figura 3.1 – Localização do município de Duque de Caxias e sua subdivisão em distritos. Fonte: SEMDECPS

A região possui características topográficas contrastantes, com relevo acentuado por zonas de montanhas e áreas planas de baixadas, de modo que se acentuam os processos hidrológicos na bacia, sobretudo dos elevados volumes de escoamento superficial nessas áreas. Os reflexos desses processos são originados também pelas curvas de remanso nos perfis d'água de determinados canais do município, influenciados pela maré devido à região se situar na porção noroeste da Baía de Guanabara. (Vissirini et. al., 2015)

As principais bacias da cidade são a bacia do rio São João de Meriti, bacia do rio Iguçu e bacia do rio Estrela, sendo o deságue das mesmas na baía de Guanabara, como pode-se observar na Figura 3.2 (SEA/INEA, 2013). A bacia do rio Capivari é afluente do rio Iguçu pela margem esquerda e pertence integralmente ao quarto distrito – Xerém –, com aproximadamente 105 km², a bacia representa 23% da área total do município. Vale ressaltar que as três bacias de Duque de Caxias também abrangem os demais municípios que fazem fronteira com a cidade evidenciando a importância do monitoramento hidrometeorológico dos demais municípios ao seu redor devido ao impacto que são observados na vazão dos rios da cidade quando elevados índices pluviométricos são observados nos municípios de Belford Roxo, São João de Meriti, Nova Iguaçu, Petrópolis e principalmente Magé.

De maneira sucinta, a bacia do rio Capivari abrange as unidades geomorfológicas o Sistema de Relevo de Escarpas das Serras do Couto e dos Órgãos, representado por serras e escarpas, com formação de vales bem encaixados, com altitudes superiores a 400 metros e com isso, um padrão de drenagem favorável às inundações bruscas. Parte da bacia pode ser inserida também às regiões de planície, correspondente a Unidade das Baixadas da baía de Guanabara e Sepetiba, não ultrapassando cotas acima de 100 metros, representando uma região com acúmulo de escoamento, responsável pelas inundações graduais, visto as baixas declividades (Adaptado PMRR, 2013 e CPRM, 2000). O relevo da cidade de Duque de Caxias pode ser observado na Figura 3.3.

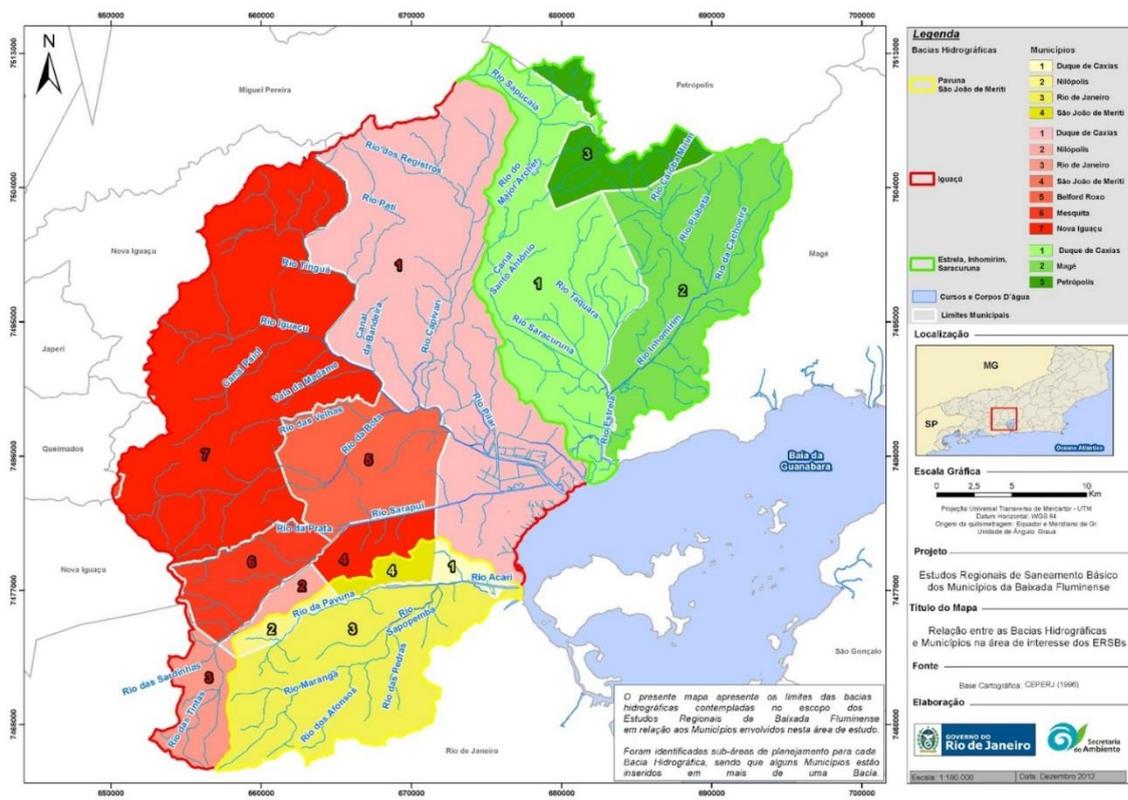


Figura 3.2 – Bacias hidrográficas da cidade de Duque de Caxias. Fonte: INEA

Relevo de Duque de Caxias

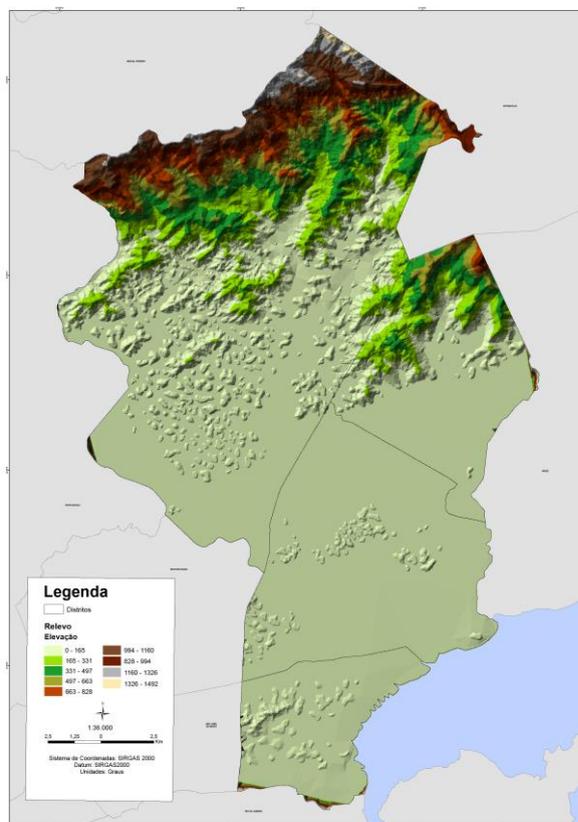


Figura 3.3 – Relevo e Hidrografia da cidade de Duque de Caxias.
Fonte: SEMDECPS

O município de Duque de Caxias conta com um total de vinte e três pluviômetros, sendo três do Instituto Estadual do Ambiente (INEA): Ponte Ferro Capivari, na bacia do Rio Capivari, Santa Cruz da Serra, situado na bacia do rio Saracuruna e Xerém – Mantiquira, na bacia do Rio Capivari (Tabela 3.1), quatorze do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e seis pluviômetros do Departamento Geral de Defesa Civil (DGDEC) do estado do Rio de Janeiro que são acoplados em seis das dezoito sirenes instaladas no município.

Os dados pluviométricos são obtidos em tempo real a partir do sistema de monitoramento do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) e do Sistema de Alerta de Cheias do Rio de Janeiro (INEA-RJ).

Tabela 3.1 – Localização de estações de monitoramento, do INEA, em Duque de Caxias-RJ.

Estação	Bacia	Medição	Latitude	Longitude
Ponte Ferro Capivari	Rio Capivari	Nível e Chuva	22°40'S	43°20'W
Santa Cruz da Serra	Rio Saracuruna	Nível e Chuva	22°38'S	43°17'W
Xerém - Mantiquira	Rio Capivari	Chuva	22°33'S	43°18'W

Na Tabela 3.2 observamos a relação dos quatorze pluviômetros automáticos do CEMADEN Nacional e sua respectiva localização. Como complemento, algumas sirenes implantadas pelo CEMADEN-RJ possuem pluviômetros acoplados a elas, permitindo o monitoramento através da plataforma do CEMADEN Nacional, a relação das sirenes localizadas na cidade, assim como aquelas que possuem pluviômetros automáticos acoplados, está disposta na Tabela 3.3, totalizando 18 sirenes, em que seis apresentam pluviômetros.

Tabela 3.2 – Localização dos pluviômetros do CEMADEN, em Duque de Caxias-RJ.

Pluviômetros	Bacia	Latitude	Longitude
Xerém	Rio Capivari	22°34'S	43°18'W
Xerém 2	Rio Capivari	22°35'S	43°17'W
Xerém 3	Rio Capivari	22°34'S	43°18'W
Jardim Mariana	Rio Capivari	22°41'S	43°21'W
Santa Cruz da Serra	Rio Saracuruna	22°38'S	43°16'W
Jardim Anhangá	Rio Saracuruna	22°38'S	43°14'W
Taquara	Rio Taquara	22°37'S	43°14'W
São Judas Tadeu	Rio Iguaçu	22°39'S	43°17'W
Pilar	Rio Iguaçu	22°41'S	43°17'W
Cidade dos Meninos	Rio Iguaçu	22°42'S	43°17'W
São Bento	Rio Iguaçu	22°43'S	43°18'W
Sarapuí	Rio Sarapuí	22°45'S	43°18'W
Jardim Olavo Bilac	Rio Sarapuí	22°47'S	43°19'W
Parque Duque	Rio São João de Meriti	22°48'S	43°17'W

Tabela 3.3 – Localização das sirenes do município de Duque de Caxias-RJ.

Estação	Bacia	Medição	Latitude	Longitude
Xerém	Rio Capivari	Sirene e Chuva	22°34'S	43°18'W
Pocilga	Rio Capivari	Sirene	22°34'S	43°17'W
Estrada do Garrão	Rio Capivari	Sirene	22°35'S	43°18'W
Xerém 2	Rio Capivari	Sirene	22°36'S	43°17'W
Amapá	Rio Capivari	Sirene	22°41'S	43°21'W
Santo Antônio	Rio Saracuruna	Sirene e Chuva	22°36'S	43°16'W
Jardim Anhangará	Rio Saracuruna	Sirene	22°38'S	43°14'W
Parque Paulista	Rio Saracuruna	Sirene	22°39'S	43°16'W
Vila Urussaí	Rio Saracuruna	Sirene e Chuva	22°40'S	43°15'W
Parque Uruguaiana	Rio Iguaçu	Sirene e Chuva	22°41'S	43°16'W
Jardim Primavera	Rio Iguaçu	Sirene	22°41'S	43°16'W
Pilar	Rio Iguaçu	Sirene	22°42'S	43°17'W
Parque Fluminense	Rio Iguaçu	Sirene	22°43'S	43°19'W
Pantanal	Rio Sarapuí	Sirene e Chuva	22°44'S	43°19'W
Jardim Gramacho	Rio Sarapuí	Sirene	22°45'S	43°16'W
Jardim Gramacho	Rio Sarapuí	Sirene e Chuva	22°45'S	43°17'W
Centenário	Rio Meriti	Sirene	22°46'S	43°19'W
Corte Oito	Rio Meriti	Sirene	22°46'S	43°18'W

3.2 – DADOS E METODOLOGIA

O presente estudo se desenvolve acerca de uma metodologia cujo conjunto de dados utilizados se distingue em suas qualidades e objetivos, simultaneamente aos objetivos de cada etapa da metodologia proposta (Figura 3.4).

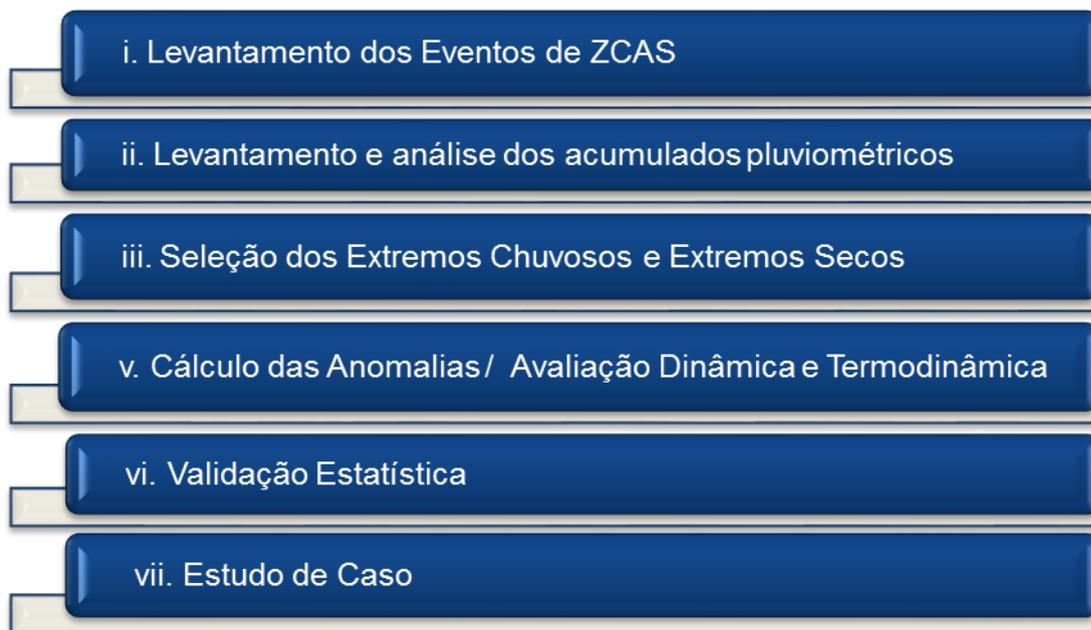


Figura 3.4 – Etapas sobre as quais se desenvolve o presente estudo.

Em uma primeira etapa, verificam-se as ocorrências de eventos de ZCAS, no período de 2008 a 2016 durante os meses de novembro a março. Posteriormente, através do levantamento dos dados pluviométricos das três estações pertencentes ao INEA localizadas na cidade de Duque de Caxias e do cálculo dos acumulados em 24h para cada dia de ZCAS definidos anteriormente, são identificados os eventos de ZCAS a serem avaliados de acordo com os acumulados pluviométricos registrados na cidade.

Desta forma, com base em medidas estatísticas de posição relativa, aplicadas aos dados pluviométricos registrados na região são selecionados os eventos de ZCAS que proporcionaram os maiores e menores acumulados pluviométricos na cidade de Duque de Caxias, definidos no presente trabalho como Extremos Chuvosos e Extremos Secos respectivamente.

Após a seleção dos eventos caracterizados como Extremos Chuvosos e Extremos Secos e através dos dados da reanálise ERA-Interim (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF*) disponível na página http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/ são realizados os cálculos por meio do software *Grid Analysis and Display System – GrADS* da climatologia de cada dia selecionado como extremo. Após o cálculo da climatologia realiza-se a anomalia para cada dia selecionado e posteriormente o composto de anomalia dos eventos de extremos chuvosos e a anomalia média dos extremos secos.

São avaliados em escala sinótica, em sua estrutura dinâmica e termodinâmica, os casos de maiores e menores acumulados pluviométricos em decorrência dos eventos de ZCAS sobre a cidade de Duque de Caxias e por fim, com a finalidade de estimar a significância estatística dos resultados foi aplicado o Teste T- student (Wilks, 2005) nas anomalias médias dos extremos chuvosos e secos buscando encontrar a localização das regiões estatisticamente significativas.

Desse modo, os dados utilizados em cada etapa do desenvolvimento deste estudo, bem como os conceitos e metodologias propostas, são apresentados e discutidos com maiores detalhes nas seções dispostas a seguir.

i. Levantamento dos Eventos de ZCAS:

Realizou-se o levantamento dos episódios de ZCAS ocorridos nos meses de novembro a março para o período de 2008 a 2016. Vale ressaltar que o intervalo delimitado para este estudo se inicia em 2008 devido à carência de dados pluviométricos na cidade de Duque de Caxias para um período anterior a este.

Dessa forma, os eventos de ZCAS foram classificados através das Informações dispostas sobre o Boletim de Monitoramento e Análise Climática (Boletim Climanálise), elaborado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC e para os anos em que o Boletim não estava disponível foram utilizadas as cartas sinóticas em conjunção com as imagens de satélite, disponibilizadas pelo CPTEC.

ii. Levantamento e análise dos acumulados pluviométricos

Como mencionado na Seção anterior, o banco de dados pluviométricos da cidade de Duque de Caxias passou a ser confeccionado a partir de 2008, ano em que se iniciou a operação dos três pluviômetros do INEA localizados na região de estudo (Figura 3.5). Assim, buscando um período de dados homogêneo e contínuo, foi consultado o banco de dados do INEA para aquisição de todos os dados pluviométricos e de nível dos rios disponíveis nos dias de evento de ZCAS levantados. Ressalta-se, que os demais pluviômetros da cidade não foram utilizados devido ao curto período de dados disponível e a sua não homogeneidade.

Utilizando-se as informações obtidas sobre os períodos de ocorrência de eventos de ZCAS, foram aplicados filtros sobre os dados pluviométricos provenientes das estações da rede de monitoramento da cidade de Duque de Caxias (operada pelo órgão INEA), sendo possível selecionar os dados pluviométricos durante os dias em que se verificou a ocorrência de precipitação associada ao fenômeno de ZCAS na cidade.

Com isso, para cada dia em que se configurou o fenômeno de ZCAS, foram calculados os acumulados pluviométricos dentro de um período de 24 horas, a partir dos quais foram avaliados os eventos que apresentaram os maiores e menores índices pluviométricos sobre a cidade de Duque de Caxias.



Figura 3.5 – Estações Pluviométricas da Cidade de Duque de Caxias (INEA).

iii. Seleção dos Extremos Chuvosos e Extremos Secos:

Considerando as ferramentas estatísticas relacionadas às medidas de posição relativa, onde se podem destacar os quartis e percentis como medidas usualmente empregadas para descrever um conjunto de dados em seus valores médios e extremos, foram utilizados cálculos de percentis aplicados aos conjuntos de dados pluviométricos (precipitação acumulada em 24 horas) obtidos durante os eventos de ZCAS, de modo a estabelecer os eventos com maiores e menores índices pluviométricos na cidade de Duque de Caxias, sendo estes, por sua vez, chamados de eventos extremos chuvosos e extremos secos, respectivamente.

De modo geral, define-se um quantil de ordem p , indicado por $q(p)$, onde p representa uma proporção qualquer do conjunto de dados, tal que $0 < p < 1$. Sendo assim, ao considerar determinado valor de p tem-se um percentual, equivalente a este, em que se define o valor de uma variável em uma posição relativa do conjunto de dados.

Para o presente estudo foram utilizados os valores de $p=0.1$ e $p=0.9$, definindo-se os percentis de 10% e 90% sobre os acumulados pluviométricos de 24 horas durante os eventos de ZCAS observados.

Neste caso, $p=0.1$, define um valor da variável (precipitação acumulada em 24 horas) abaixo do qual estão contidos 10% do conjunto de dados, ou seja, os casos definidos como os extremos secos dos eventos observados de ZCAS.

Por outro lado, o valor estabelecido de $p=0.9$, define o valor do acumulado pluviométrico em 24 horas abaixo do qual estão contidos 90% do conjunto de dados e acima do qual estão contidos 10% deste conjunto, sendo estes 10% definidos como os extremos chuvosos dos eventos observados de ZCAS.

iv. Cálculo das Anomalias e Avaliação Dinâmica e Termodinâmica:

Após estabelecerem-se os 10% dos extremos secos e extremos chuvosos dos eventos de ZCAS observados, são implementados e desenvolvidos cálculos e mapas através do software GrADS, sobre as variáveis meteorológicas obtidas por meio de saídas diárias da reanálise ERA-Interim que possui resolução espacial de

0,75° disponível na página http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/. Os dados foram obtidos em diversos níveis de pressão e ao nível médio do mar, sendo o período de dados utilizados de novembro de 1987 a março de 2016 (Tabela 3.5 e Tabela 3.6), tomando-se como resultado final os mapas bidimensionais regionalizados para a América do Sul com as variáveis meteorológicas expostas na Tabela 3.7.

Tabela 3.4 – Informações gerais sobre as saídas da reanálise global do modelo ERA-Interim utilizados na análise dinâmica e termodinâmica do presente estudo.

Saídas diárias da Reanálise do Modelo ERA-Interim (ECMWF)		
Resolução Temporal	06 Horas	00; 06; 12; 18 (Z)
Resolução Espacial	0.75 °	0.75 x 0.75
Área de Estudo	América do Sul	90 W 20 W 10 N 60 S
Período de Dados	30 Anos	1987 a 2017 (Nov/1987 a Mar/2017)

Fonte: <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-aily/levtype=pl/>

Tabela 3.5 – Informações gerais sobre as variáveis meteorológicas obtidas através da reanálise global do modelo ERA-Interim.

Dados diários de Reanálise do Modelo ERA-Interim (ECMWF)			
Variável	Unidade	Nível	Horário (Z)
Pressão	Pa	Nível Médio do Mar 850 hPa; 500 hPa; 200	00; 06; 12; 18
Geopotencial	m ² /s ²	hPa	00; 06; 12; 18
Componente Meridional do Vento	m/s	850 hPa; 500 hPa; 200 hPa	00; 06; 12; 18
Componente Zonal do Vento	m/s	850 hPa; 500 hPa; 200 hPa	00; 06; 12; 18
Umidade Específica	Kg/Kg	1000 hPa; 850 hPa	00; 06; 12; 18
Velocidade Vertical (Ômega)	Pa/s	500 hPa	00; 06; 12; 18
Divergência	1/s	200 hPa 850 hPa; 700 hPa; 500	00; 06; 12; 18
Temperatura	K	hPa	18
Umidade Relativa	%	850 hPa; 700 hPa	18

Tabela 3.6 – Informações extraídas das variáveis meteorológicas obtidas através da reanálise global do modelo ERA-Interim.

Variável	Unidade	Nível	Horários (Z)
Pressão	hPa	Nível Médio do Mar	00; 06; 12; 18
Geopotencial	mgp	850 hPa; 500 hPa; 200 hPa	00; 06; 12; 18
Vento	m/s	850 hPa; 500 hPa; 200 hPa	00; 06; 12; 18
Umidade Específica	g/Kg	1000 hPa; 850 hPa	00; 06; 12; 18
Velocidade Vertical (Ômega)	Pa/s	500 hPa	00; 06; 12; 18
Divergência	1/s	200 hPa	00; 06; 12; 18
Índice K	° C	-	18
Índice <i>Total Totals</i> (TT)	° C	-	18

No presente estudo serão utilizados os índices K e *Total Totals* (TT) obtidos através das variáveis temperatura e umidade relativa do ar, uma vez que os dados de temperatura do ponto de orvalho provenientes da Era Interim não se encontravam disponíveis para os níveis de pressão desejados.

Desta forma, tornou-se necessária a utilização da variável umidade relativa do ar nos níveis de 850 hPa e 700 hPa, combinadas à temperatura do ar e aplicadas aos cálculos termodinâmicos descritos nas Equações de 1 a 7, de modo a calcular a temperatura do ponto de orvalho e posteriormente os índices termodinâmicos K e TT.

Nas Equações 1 e 2 a seguir, apresentam-se as equações de Clausius-Clapeyron para o cálculo da pressão de vapor de saturação (e_s) e pressão de vapor parcial (e), onde as constantes utilizadas são descritas nas Equações 3, 4 e 5.

$$e_s = e_0 * \exp\left(\frac{L}{R_v}\right) * \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right) \quad (1)$$

$$e = e_0 * \exp\left(\frac{L}{R_v}\right) * \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_d}\right) \quad (2)$$

$$e_0 = 611.2 \quad [\text{Pa}] \quad (3)$$

$$\frac{L}{R_v} = 5423 \quad [\text{K}] \quad (4)$$

$$T_0 = 273 \quad \text{[K]} \quad (5)$$

Invertendo-se a Equação 2, de modo a isolar o termo da temperatura do ponto de orvalho, obtém-se um meio de calcular esta variável – descrito a partir da equação 6, onde considera-se ainda com base na definição da umidade relativa do ar o cálculo da pressão de vapor a partir da Equação 7.

$$T_d = \left(\frac{1}{\frac{1}{T_0} - \frac{R_v}{L} * \ln \left(\frac{e}{e_0} \right)} \right) \quad (6)$$

$$e = \frac{UR}{100} * e_s \quad (7)$$

Desse modo, ao se obter a temperatura do ponto de orvalho nos níveis de 850 hPa e 700 hPa, se torna possível o cálculo dos índices termodinâmicos K e TT, utilizados no presente estudo para avaliar as condições de estabilidade/instabilidade atmosférica, com foco principalmente na atuação das ZCAS sobre a região de estudo.

Portanto, utilizando-se a temperatura do ar nos níveis de 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa e a temperatura do ponto de orvalho nos níveis de 850 hPa e 700 hPa, apenas no horário das 18 TMG, obtém-se a partir das Equações 8 e 9, os índices de instabilidade K e TT respectivamente.

$$K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d_{850}} - (T_{700} - T_{d_{700}}) \quad (8)$$

$$TT = T_{850} + T_{d_{850}} - 2 * T_{500} \quad (9)$$

Para cada variável meteorológica apresentada na Tabela 3.6 são elaborados os seguintes mapas (Figura 3.6), onde ressalta-se que todas as variáveis se apresentam em dados diários a cada 06 horas (00, 06, 12 e 18 TMG), exceto os índices termodinâmicos K e *Total Totals*, que são apresentados somente nas 18 Z, também de forma diária.

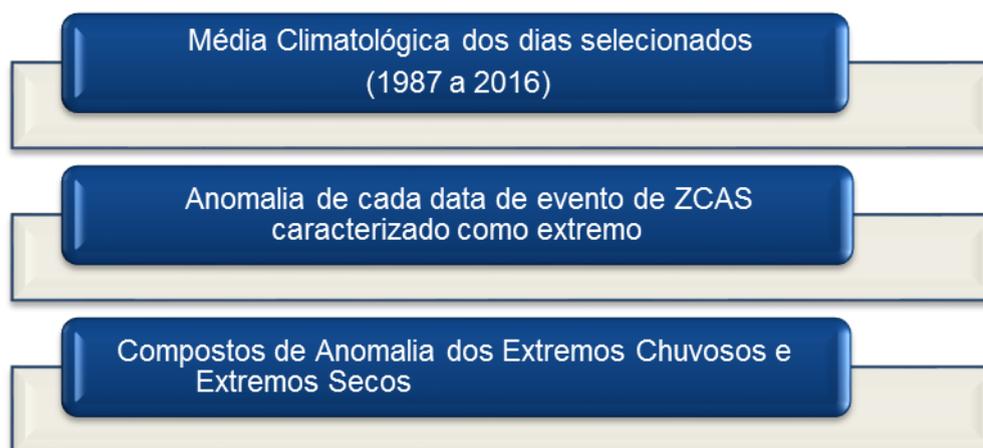


Figura 3.6 – Processos e mapas desenvolvidos sobre os dados obtidos através da reanálise global do modelo ERA-Interim.

Como descrito na figura anterior, primeiro realizou-se a média climatológica dos dias selecionados, exemplificando suponha que a data 01/01/2011 fosse caracterizada como extremo chuvoso, assim a média de todos os dias 1 de janeiro dos anos de 1987 a 2016 seria realizada. Posteriormente foram calculadas as anomalias para cada dia em questão, ou seja, ainda de acordo com o exemplo dado seria feita a seguinte subtração: 01//01/2011 menos a média calculada anteriormente.

Finalmente são realizados os compostos das anomalias que consistem na média das anomalias de todos os eventos caracterizados como extremos chuvosos e para os eventos de extremos secos também, calculadas anteriormente.

Assim, visando atingir de forma objetiva a finalidade do presente estudo, optou-se somente pela análise dos mapas dos compostos médios da anomalia para os extremos chuvosos e extremos secos, aplicando os conceitos dinâmicos e termodinâmicos na análise.

v. Validação Estatística:

A distribuição t de *Student* é uma distribuição de probabilidade teórica com forma simétrica e semelhante à distribuição normal (em forma de sino), porém, com caudas mais alongadas que indicam que uma simulação desta distribuição alcança valores mais extremos em relação à distribuição normal, o que normalmente ocorre quando as amostras coletadas consistem em pequenos conjuntos de dados.

O parâmetro que define a forma da distribuição t de *Student* é o número de graus de liberdade $\nu = n - 1$, onde n é o número de dados da amostra considerada para tal aplicação. Sendo assim, a curva da distribuição t de *Student* terá maior semelhança com a curva da distribuição normal quanto maior for o valor de ν , de modo que se $\nu \rightarrow \infty$ a distribuição t de *Student* tende a forma da distribuição normal.

Considerando as estatísticas de uma determinada amostra, como a sua média \bar{X} e variância σ^2 , é possível calcular o t-value ou t-valor relativo à distribuição t de *Student* a partir da equação 10.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\left[\frac{\sigma^2}{n}\right]^{1/2}} \quad (10)$$

Onde n é o número de dados da amostra e μ_0 é o valor médio de referência da variável considerada.

Além disso, para a análise da distribuição t de *Student* define-se um valor de significância $\alpha = 1 - p$, onde p é conhecido como p-value ou p-valor, de modo que a média de dada amostra pode ser considerada representativa com o determinado nível de significância sempre que o t-valor obtido para tal amostra esteja compreendido neste intervalo de confiança.

As Figuras 3.7 e 3.8 apresentam simulações da distribuição t de Student para $\nu = 5$ graus de liberdade, considerando um p-valor de 0.1 ou um nível de significância $\alpha = 0.9$ ou 90%. A Figura 3.7 consiste em uma distribuição t de *Student* bicaudal, onde o t-valor é dado como 2.015, enquanto que a Figura 3.8 apresenta

uma distribuição t de *Student* unicaudal, com a cauda à direita, de modo que o t-valor é dado como 1.476.

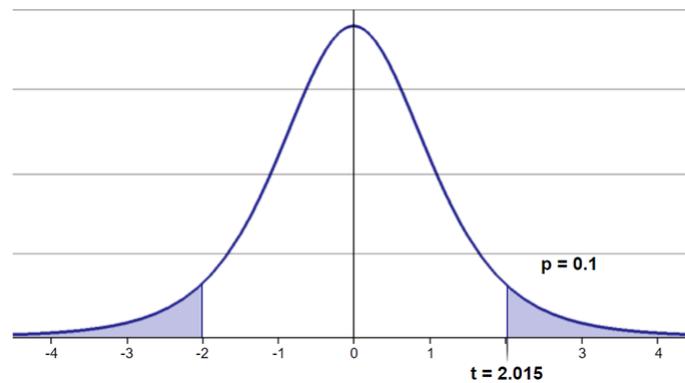


Figura 3.7 – Distribuição t de *Student* bicaudal com 5 graus de liberdade e nível de significância de 90%. Fonte: Calculadora para a distribuição t de *Student*, disponível no endereço:

<http://www.bertolo.pro.br/FinEst/Estatistica/DistribuicaoProbabilidades2/t/index.html>

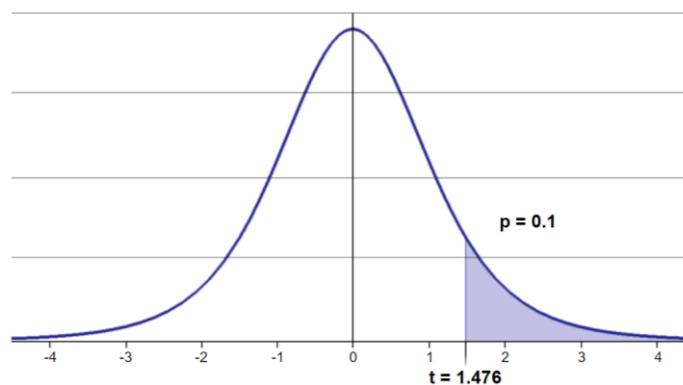


Figura 3.8 – Distribuição t de *Student* unicaudal, com cauda à direita, com 5 graus de liberdade e nível de significância de 90%. Fonte: Calculadora para a distribuição t de *Student*, disponível no endereço:

<http://www.bertolo.pro.br/FinEst/Estatistica/DistribuicaoProbabilidades2/t/index.html>

Com base nos t-valores calculados a partir da Equação 10 e os t-valores da distribuição t de *Student* definidos a partir do número de graus de liberdade e nível

de significância desejados – valores obtidos junto à tabela da distribuição t de *Student* (Wilks, 2005), pode-se avaliar a representatividade da amostra em relação às suas estatísticas básicas, como a sua média e variância.

Considerando o cálculo da distribuição t de *Student* com base na Equação 10 e seus valores tabelados para uma distribuição unicaudal à direita, aplica-se um teste estatístico capaz de verificar quando as anomalias das variáveis meteorológicas podem ser consideradas valores extremos com determinado nível de significância.

Considerando uma amostra que contém 6 casos ou ocorrências, onde se estabelece o valor de $\nu = 5$ graus de liberdade e onde são conhecidas as anomalias de cada caso individualmente em relação às suas respectivas climatologias, calcula-se o t valor desta amostra com base na média e variância de suas anomalias, considerando, portanto, o valor de referência $\mu_0 = 0$ como a média das anomalias de uma população.

Neste sentido, obtém-se o módulo do t-valor de modo que se possa aplicar o teste da t de *Student* a partir de uma distribuição unicaudal à direita, onde se compara o valor calculado a partir da Equação 10 com o valor tabelado para determinado nível de confiança e graus de liberdade. O teste é realizado através do cálculo da diferença $Dif = |t_{calculado}| - t_{tabelado}$, onde todos os valores positivos indicam que o t valor calculado supera o t valor tabelado para determinado nível de confiança, implicando que as anomalias meteorológicas da amostra considerada não são capazes de representar estatisticamente uma população, ou seja, consistem em valores extremos que se encontram na cauda da distribuição t de *Student*.

Elaboração dos estudos de casos

Posterior a análise dos compostos de anomalia inicia-se o estudo do ambiente atmosférico dos casos de ZCAS englobados nos grupos de extremos chuvosos e secos. De tal modo, busca-se analisar minuciosamente um evento de cada extremo a fim de avaliar as características peculiares de cada um e o comportamento do fenômeno em si sobre a região estudada.

Primeiramente, foram utilizadas as imagens do satélite geostacionário GOES-12 (vapor d'água e infravermelho realçado) disponível em <http://satelite.cptec.inpe.br/home/index.jsp> para a identificação da ZCAS, possibilitando a visualização da área de atuação do sistema e de casos de convecção profunda associados a esta. As radiossondagens realizadas diariamente nos horários sinóticos das 00 Z e 12 Z, no aeroporto Internacional do Rio de Janeiro-Galeão (situado na Ilha do Governador - Rio de Janeiro) também foram utilizadas a fim de analisar as variáveis termodinâmicas da atmosfera nos dias de atuação da ZCAS.

As demais variáveis estudadas e analisadas nos estudos de caso são as mesmas apresentadas anteriormente, utilizadas para os compostos de anomalias. Desta forma, os componentes necessários à formação de células convectivas tanto em escala sinótica quanto em mesoescala são avaliados.

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS

4.1 - EVENTOS DE ZCAS

Por meio da análise do Boletim Climanálise do CPTEC/INPE dos meses de novembro a março elaborados entre os anos de 2008 e 2016, foram identificados 62 eventos de ZCAS no período estudado (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Eventos de ZCAS ocorridos no período de 2008 a 2017

Eventos de ZCAS			
Data Selecionada	Duração (dias)	Data Selecionada	Duração (dias)
07/01/2008	4	23/11/2011	8
22/01/2008	5	02/12/2011	12
01/02/2008	10	15/12/2011	7
23/02/2008	4	27/12/2011	5
04/03/2008	6	02/01/2012	6
13/03/2008	6	17/01/2012	7
08/11/2008	5	26/01/2012	5
15/11/2008	12	16/03/2012	5
27/11/2008	5	04/11/2012	5
04/12/2008	5	13/11/2012	9
15/12/2008	9	15/12/2012	5
28/12/2008	4	11/01/2013	7
07/01/2009	7	22/01/2013	5
21/01/2009	4	26/01/2013	5
13/02/2009	5	01/03/2013	4
14/03/2009	5	26/03/2013	5
25/03/2009	10	05/11/2013	5
04/12/2009	4	11/12/2013	15
14/12/2009	4	16/02/2014	5
09/01/2010	4	27/02/2014	4
16/01/2010	4	06/03/2014	6
22/01/2010	5	14/11/2014	6
01/03/2010	13	26/11/2014	5
01/11/2010	5	15/12/2014	4
24/11/2010	6	23/12/2014	4
02/12/2010	6	25/01/2015	4
15/12/2010	5	05/02/2015	6
28/12/2010	11	10/03/2015	7
13/01/2011	12	15/01/2016	9
15/02/2011	9	02/03/2016	5
28/02/2011	11	11/03/2016	4

Fonte: CPTEC/INPE

Observa-se que a maioria dos eventos apresenta duração em torno de 4 a 6 dias e que apenas sete eventos de ZCAS tiveram mais de 10 dias de duração. Com relação à frequência, a maior quantidade de eventos de ZCAS foi observada nos anos de 2008 e de 2010, com respectivamente doze e nove casos catalogados, enquanto que os demais anos apresentam sete casos cada um, salvo os anos de 2015 e 2016 que possuem apenas três eventos de ZCAS (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Quantitativo de eventos de ZCAS ocorridos nos anos analisados.

Eventos de ZCAS	
Ano	Quantitativo
2008	12
2009	07
2010	09
2011	07
2012	07
2013	07
2014	07
2015	03
2016	03

No período estudado, fevereiro foi o mês que apresentou o menor número de ocorrência de ZCAS, apenas oito casos (Tabela 4.3). Os eventos de ZCAS ocorridos nos meses de dezembro e janeiro correspondem a 50% da totalidade de eventos encontrados. Ressalta-se que os meses de novembro e março correspondem a aproximadamente 37% dos casos de ZCAS levantados no presente estudo, o que evidencia a importância do estudo dos eventos de ZCAS ocorridos nesses meses e não somente nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro).

Tabela 4.3 – Quantitativo de eventos de ZCAS ocorridos nos meses analisados no presente estudo.

Eventos de ZCAS	
Mês	Quantitativo
Novembro	11
Dezembro	15
Janeiro	16
Fevereiro	08
Março	12

4.2 - EXTREMOS CHUVOSOS E SECOS

A partir dos eventos encontrados na Tabela 4.1 e conforme apresentado na Seção 3.2, os eventos classificados em extremos chuvosos e secos foram obtidos utilizando a técnica dos percentis aplicada a cada uma das três estações do INEA localizadas na cidade de Duque de Caxias. Ressalta-se que os eventos classificados em extremos chuvosos e secos se enquadraram dentro dos percentis estabelecidos em ambas as estações analisadas. A Tabela 4.4 apresenta cada um dos 12 eventos selecionados e sua respectiva classificação.

Tabela 4.4 – Eventos selecionados

EXTREMOS CHUVOSOS	EXTREMOS SECOS
21/01/2009	07/01/2009
04/12/2009	02/12/2011
01/03/2010	27/12/2011
26/01/2013	27/01/2012
11/12/2013	02/03/2016
15/01/2016	11/03/2016

Foram selecionados seis eventos de ZCAS que ocasionaram chuva intensa sobre a cidade de Duque de Caxias, denominados extremos chuvosos, e seis

eventos caracterizados como extremos secos que ocasionaram baixos índices pluviométricos sobre a região. A seguir são apresentados os respectivos acumulados pluviométricos obtidos em cada uma das três estações analisadas para os eventos caracterizados em extremos chuvosos (Tabela 4.5) e extremos secos (Tabela 4.6).

Ressalta-se que somente o evento ocorrido no dia 11 de dezembro de 2013 não apresenta o acumulado em 24h para a estação de Santa Cruz da Serra devido a descontinuidade da série de dados da estação neste período. Já os demais eventos selecionados, classificados em extremos chuvosos ou secos, se enquadraram dentro dos percentis estabelecidos em ambas as estações analisadas.

Tabela 4.5 – Eventos classificados em extremos chuvosos e seus respectivos acumulados pluviométricos.

EXTREMOS CHUVOSOS			
EVENTOS SELECIONADOS	ACUMULADO PLUVIOMÉTRICO EM 24 h (mm)		
	XERÉM	SANTA CRUZ DA SERRA	PONTE FERRO CAPIVARI
21/01/2009	47,8	57,2	31,4
04/12/2009	154,8	74,6	54,4
01/03/2010	40,4	36,8	42,0
26/01/2013	41,6	31,0	54,6
11/12/2013	58,2	48,2	ND*
15/01/2016	81,0	157,2	78,0

*ND - NÃO DISPONIVEL

Tabela 4.6 – Eventos classificados em extremos secos e seus respectivos acumulados pluviométricos.

EXTREMOS SECOS			
EVENTOS SELECIONADOS	ACUMULADO PLUVIOMÉTRICO EM 24h (mm)		
	XERÉM	SANTA CRUZ DA SERRA	PONTE FERRO CAPIVARI
07/01/2009	0,2	0,2	0,4
02/12/2011	0,4	3,2	2,6
27/12/2011	0,4	2,2	3,0
26/01/2012	3,2	4,6	5,8
02/03/2016	0,0	0,0	0,2
11/03/2016	1,0	0,8	2,4

4.3 – ANÁLISE DOS COMPOSTOS DE ANOMALIA

As imagens resultantes dos compostos de anomalias referentes aos extremos chuvosos e secos de cada variável apresentada na Tabela 3.6 - seção 3.2, são destacadas nas Seções 4.31 a 4.37, a seguir.

4.3.1 – PRESSÃO AO NÍVEL MÉDIO DO MAR (PNMM)

Na Figura 4.1 observam-se os compostos de anomalia da PNMM para os extremos chuvosos e secos, assim como o teste de significância para ambos os extremos. Destaca-se uma área de anomalia negativa de PNMM significativa sobre o Oceano Atlântico (OA) nos extremos chuvosos (Figura 4.1 a) que se estende até a Região Sudeste do Brasil.

Ressalta-se que em ambos os extremos estudados observam-se anomalias positivas na região sul da AS, abrangendo uma área do sul do Brasil e do Paraguai até o sul da Argentina e do Chile, incluindo a região adjacente sobre o Oceano Pacífico (OP). Além disso, na Figura 4.1 b, referente aos extremos secos, esta área de anomalia positiva mais significativa se expande também sobre o OA, onde se observa, porém, uma anomalia negativa nos extremos chuvosos – Figura 4.1 a.

Vale destacar que nos extremos chuvosos a sinalização da ASAS não é observada sobre o domínio da figura, sendo esperada a leste da anomalia negativa de pressão observada como verificada por Kodama (1992). Nos extremos secos observa-se uma anomalia positiva que sinaliza a presença da ASAS, desta forma a ZCAS estaria localizada a oeste dessa alta pressão sendo considerada uma ZCAS continental.

Por fim, através do teste T de *Student* demonstra-se que existe significância estatística para as anomalias observadas, onde as áreas em cor cinza indicam que os valores de anomalia podem ser considerados extremos com 90% de significância (Figura 4.1).

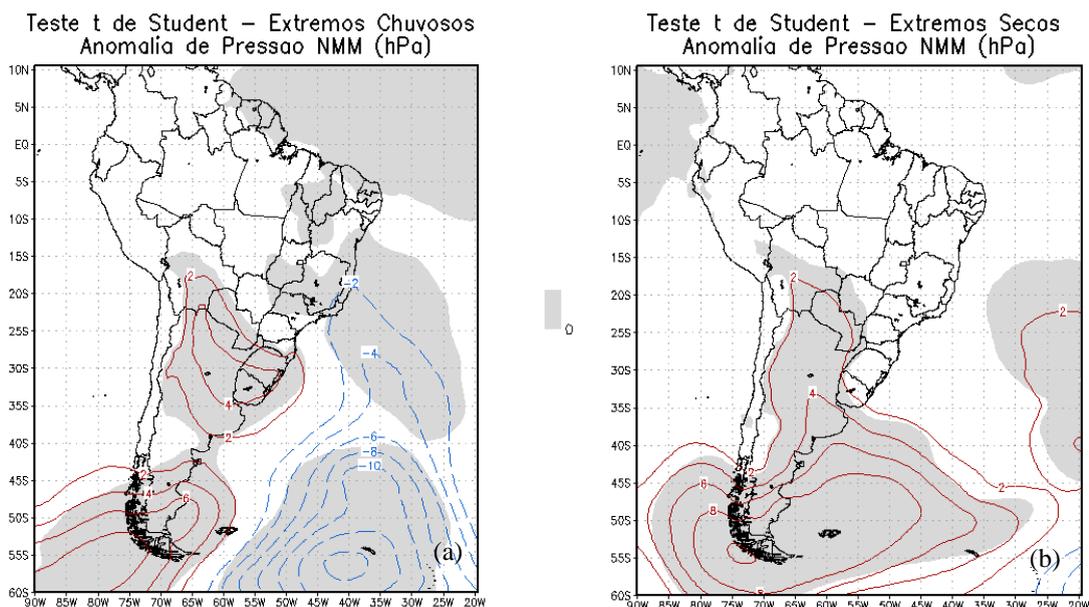


Figura 4.1 – Compostos de anomalia da PNMM (hPa) e teste t-student para os extremos chuvosos (a) e extremos secos (b). Contorno em linha sólida (vermelha) indicam valores positivos e contorno em linha tracejada (azul) valores negativos e as áreas sombreadas (cinza) apresentam 90% de significância.

4.3.2 – LINHAS DE CORRENTE E MAGNITUDE DO VENTO EM 200, 500 E 850hPa

As linhas de corrente e magnitude do vento em altos níveis (200 hPa), níveis médios (500 hPa) e baixos níveis (850 hPa) são observadas na Figura 4.2. Destaca-se em altos níveis, na figura referente aos extremos chuvosos (Figura 4.2a), a presença da AB e do VCAN que, de acordo com a literatura, são sistemas esperados em casos clássicos de ZCAS. Observa-se a presença do VCAN na vizinhança do NB em ambos os extremos, entretanto nos extremos secos (Figura 4.2 d) seu posicionamento está mais próximo ao continente quando comparado com o composto dos extremos chuvosos.

Nos extremos secos pode-se observar um VCAN sobre a Região Sul do Brasil (Figura 4.2 d), sendo os VCANs circulações ciclônicas em altos níveis da atmosfera, mas que em algum estágio do seu ciclo de vida podem se estender até a superfície influenciando a formação de ciclones também em superfície. Através da Figura 4.2, item d ao item f, são observadas circulações ciclônicas em todos os níveis analisados, localizadas sobre regiões ciclogênicas (favoráveis a formação de

ciclones) entre o Uruguai e o extremo sul do Brasil e na costa sul/sudeste do Brasil (Reboita et al. 2009).

Enquanto que nos eventos de extremos chuvosos (Figura 4.2 a) em altos níveis nota-se a presença da AB, nos eventos de extremos secos observa-se apenas a sinalização de uma circulação anticiclônica próxima à região Amazônica (Figura 4.2 d). Neste sentido, o padrão da AB favorece uma intensa crista sobre o Sudeste brasileiro e oceano adjacente. Observa-se ainda em altos níveis, nos eventos de extremos chuvosos, a atuação de um jato subtropical posicionado sobre o norte da Argentina e se estendendo para o OA.

Assim, o padrão verificado em altos níveis na presente análise é tido como típico de eventos de ZCAS, segundo Quadro (1994) e Kodama (1993). Segundo Ferreira et al. (2009) a região de transição entre o VCAN e a AB é uma zona de difluência de massa e por isso a intensificação da crista observada.

Em baixos níveis, na imagem referente a anomalia de extremos chuvosos (Figura 4.2 c), verifica-se a presença de uma circulação ciclônica sobre o OA e do prolongamento do sistema (cavado associado) em direção as regiões sul, sudeste e centro oeste do Brasil. Este cavado observado se estende até níveis médios, orientado no mesmo sentido que a ZCAS (Figura 4.2 b) concordando com os resultados obtidos por Quadro (1994).

A partir das análises realizadas pode-se perceber que os extremos chuvosos apresentam características compatíveis com o padrão de ZCAS oceânica ou mista enquanto que os extremos secos apresentam características compatíveis com padrão de ZCAS continental. Desta forma, as características observadas nos extremos chuvosos corroboram com a alta precipitação observada da cidade de Duque de Caxias, visto que, segundo Carvalho et al, (2004) as ZCAS oceânicas aumentam a precipitação sobre o sudeste do Brasil, particularmente sobre o Rio de Janeiro, sudeste de Minas Gerais e nordeste de São Paulo.

Na Figura 4.3 são apresentados os compostos de anomalia juntamente com o teste de significância estatística, onde as áreas sombreadas e hachuradas representam os valores de anomalia considerados extremos para as componentes zonal (u) e meridional (v) do vento, respectivamente, com significância estatística de 90% de acordo com a aplicação do teste T de *Student*. Assim, verifica-se que as

anomalias de vento, apresentadas através das linhas de corrente, podem ser consideradas anomalias extremas com significância de 90% sobre o Estado do Rio de Janeiro e sobre a maioria das regiões onde foram observados os padrões típicos de eventos de ZCAS.

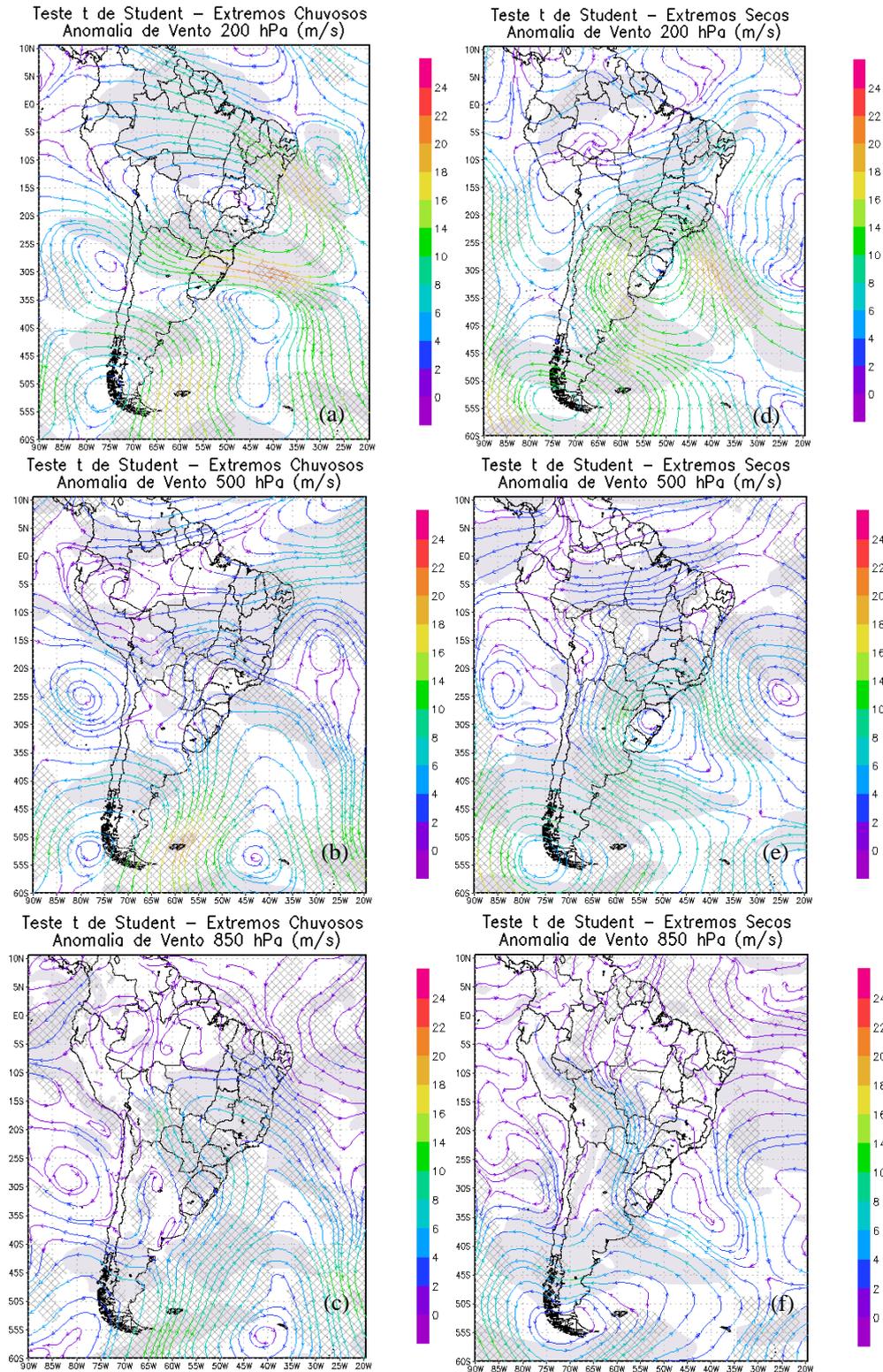


Figura 4.2 – Compostos de anomalia do Vento (m/s) para os extremos chuvosos em 200 hPa (a) , 500 hPa (b) e 850 hPa (c) e para os extremos secos em 200 hPa (d) , 500 hPa (e) e 850 hPa (f). Áreas sombreadas (cinza) representam a componente u e áreas hachuradas em cinza a componente v, ambas as áreas apresentam 90% de significância.

4.3.3 – ALTURA GEOPOTENCIAL

No composto dos extremos chuvosos (Figura 4.3 a), destaca-se um padrão de onda mais zonal, uma intensa anomalia negativa de altura geopotencial sobre o OA, enquanto que nos extremos secos (Figura 4.3 b), uma área de anomalia negativa de altura geopotencial é observada sobre parte do OA e do continente da AS, atuando sobre as Regiões Sul, parte do Sudeste do Brasil, parte da Argentina, Uruguai e Paraguai.

É evidenciada também uma anomalia positiva, referente ao posicionamento dos sistemas de alta pressão ao sul da América do Sul – sobre a região centro-sul da Argentina e do Chile. Na Figura 4.3 b nota-se um aumento dos valores de anomalia positiva não apenas sobre a região sul da AS, como também sobre os oceanos Atlântico e Pacífico adjacentes, enquanto que na Figura 4.3 a, esta anomalia estende-se apenas para o OP.

Além disso, observa-se no composto dos extremos chuvosos (Figura 4.3 a), pelas linhas de altura geopotencial, um cavado sobre o OA

Desta maneira, destaca-se novamente, através da análise dos compostos de anomalia de altura geopotencial, um padrão compatível com ZCAS oceânica para os eventos de extremos chuvosos e ZCAS continental para os eventos de extremos secos analisados no presente estudo.

E, por fim, constata-se que nas regiões de anomalias mais intensas - tanto positivas, quanto negativas, os valores observados consistem em valores extremos de anomalia com 90% de significância, tanto para os eventos de extremos chuvosos quanto para os extremos secos (Figura 4.3).

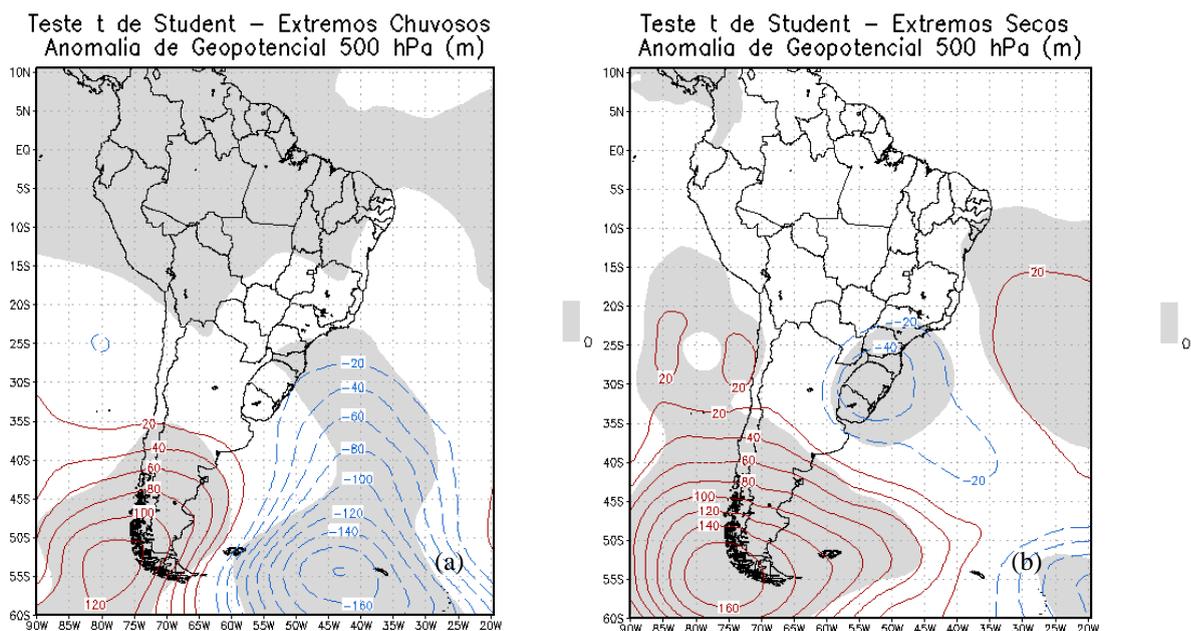


Figura 4.3 – Compostos de anomalia da Altura Geopotencial (m) em 500 hPa e teste t-student, para os extremos chuvosos (a) e extremos secos (b). Contorno em linha sólida (vermelha) indicam valores positivos e contorno em linha tracejada (azul) valores negativos e as áreas sombreadas (cinza) apresentam 90% de significância.

4.3.4 – VELOCIDADE VERTICAL (ÔMEGA)

A Figura 4.4 mostra os compostos de anomalia da velocidade vertical do vento em 500 hPa e a respectiva aplicação do teste estatístico T de *Student* para esta variável. Ressalta-se ainda que ao considerar a variável Ômega para analisar a componente vertical do vento, tem-se movimento vertical ascendente (descendente) sempre que o seu valor for negativo (positivo). Além disso, o nível de 500 hPa é considerado aproximadamente o nível de não divergência, onde, em teoria, espera-se os valores mais intensos para o movimento vertical na atmosfera.

Desta forma, observam-se anomalias negativas de ômega no nível de 500 hPa sobre a região de atuação da ZCAS, principalmente sobre o Estado do Rio de Janeiro nos eventos de extremos chuvosos (Figura 4.4 a), indicando uma intensificação dos movimentos verticais ascendentes nesta região.

Nota-se ainda a presença de valores negativos de anomalia de ômega coincidindo com a borda leste do cavado de anomalia de altura geopotencial, observado na Figura 4.3 a. Ressalta-se, então, que o movimento vertical,

ascendente e descendente, se torna mais intenso e melhor organizado na orientação da ZCAS nos extremos chuvosos.

Finalmente, quanto à análise do teste de significância estatística, destaca-se que todas as regiões com valores positivos de anomalia podem ser consideradas regiões de valores extremos de anomalia com 90% de significância. Por outro lado, as anomalias negativas de ômega para os extremos chuvosos, podem ser consideradas como valores extremos de anomalia, com 90% de significância, principalmente próximo à costa e em parte da região sudeste do Brasil e na região sul do OA. Por sua vez, em relação aos extremos secos, a anomalia negativa de ômega pode ser considerada como valor extremo de anomalia, com 90% de significância, sobre o núcleo que se destaca próximo à costa da região sudeste, porém, distante do continente.

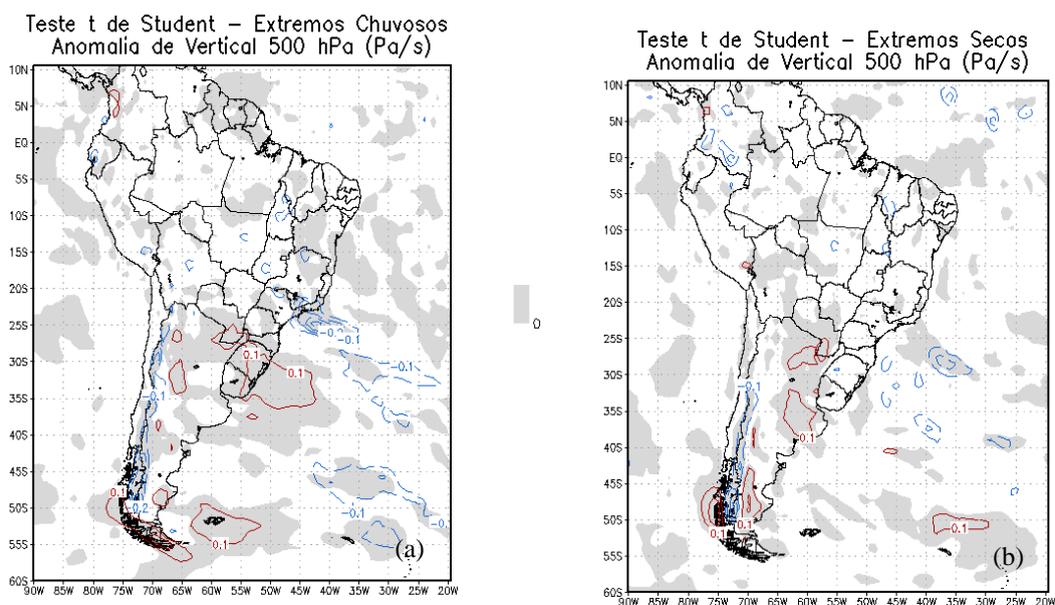


Figura 4.4 – Compostos de anomalia de Velocidade Vertical em 500 hPa para os extremos chuvosos (a) e extremos secos (b) e seus respectivos testes t-student. Contorno em linha sólida (vermelha) indicam valores positivos e contorno em linha tracejada (azul) valores negativos e as áreas sombreadas (cinza) apresentam 90% de significância.

4.3.5 – DIVERGÊNCIA

A divergência em nível superior pode ocasionalmente exceder a convergência na superfície, o que resulta na intensificação do movimento vertical. Desta forma,

espera-se que regiões de divergência positiva em altos níveis (200hPa), propiciem ou sejam uma consequência e assinatura de significativo movimento vertical ascendente, conseqüentemente de estímulo ao desenvolvimento convectivo.

Na Figura 4.5, observa-se que ambos os extremos (chuvoso e seco) apresentam anomalia de divergência positiva na Região Sudeste, com orientação NO-SE coincidindo com a orientação espacial das ZCAS. No entanto, nos extremos chuvosos, o núcleo de anomalia positiva de divergência é mais intenso sobre o sudeste brasileiro, principalmente entre os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo.

Assim, a partir da análise dos compostos de anomalia de divergência verifica-se mais uma das características de eventos de ZCAS, de acordo com a literatura, que consiste na presença de divergência em níveis superiores.

De acordo com a análise do teste estatístico T de *Student*, toda a região em destaque com anomalia positiva de divergência, posicionada na orientação NO-SE, apresenta valores extremos de anomalia com 90% de significância, bem como as anomalias negativas desta variável destacadas na dianteira e na retaguarda da região de convergência da ZCAS.

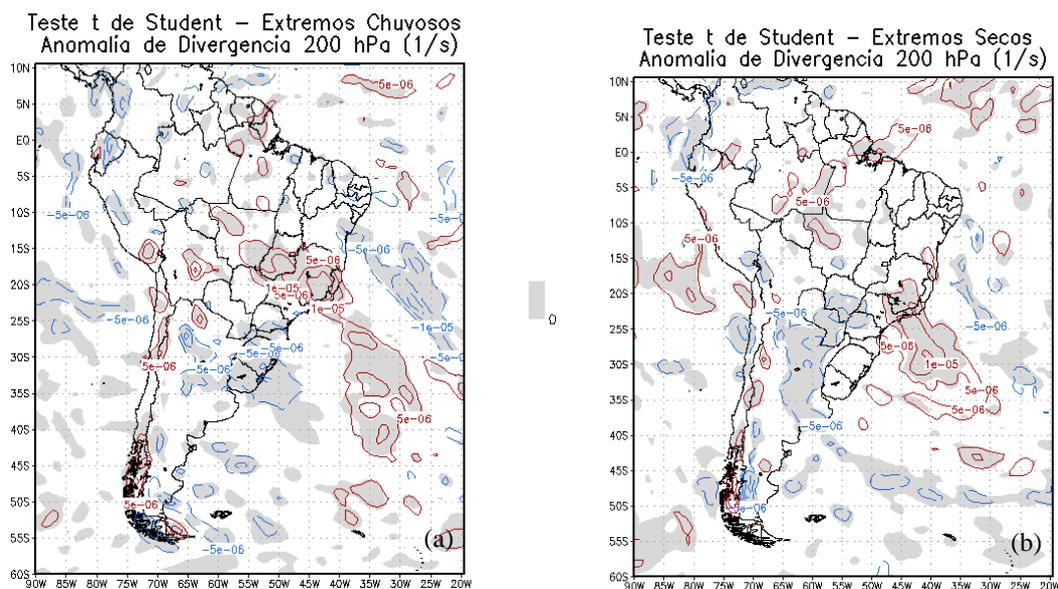


Figura 4.5 – Compostos de divergência (1/s) em 200 hPa e teste t-student para os extremos chuvosos (a) e extremos secos (b). Contorno em linha sólida (vermelha) indicam valores positivos e contorno em linha tracejada (azul) valores negativos e as áreas sombreadas (cinza) apresentam 90% de significância.

4.3.6 – UMIDADE ESPECÍFICA

Os eventos de extremos chuvosos apresentaram elevados valores de umidade específica ao longo da região de atuação da ZCAS. Observa-se na Figura 4.6 a, referente ao composto dos extremos chuvosos, uma anomalia positiva de umidade específica sobre a Região Sudeste, nordeste e parte do centro-oeste brasileiro, se expandindo também sobre o Oceano Atlântico Sul, sendo os maiores valores de anomalia positiva observados nos estados de Minas Gerais e Bahia.

Por outro lado, observa-se valores de anomalia negativa de umidade específica na retaguarda da configuração da ZCAS, indicando a presença de uma massa de ar relativamente seco, principalmente nas Regiões Sul do Brasil, norte da Argentina, Uruguai, Paraguai e Bolívia, tanto para os eventos de extremos chuvosos quanto para os extremos secos. Adicionalmente, destaca-se a presença das anomalias negativas também em parte da Região Centro-Oeste e Sudeste do Brasil durante os eventos de extremos secos.

De acordo com a análise do teste de significância estatística para as anomalias de umidade específica observadas, pode-se afirmar que em toda região destacada com anomalias positivas e negativas desta variável, os valores obtidos podem ser considerados como valores extremos de anomalia com 90% de significância.

Ou seja, eventos de ZCAS que originaram maior acumulado pluviométrico sobre a região de estudo tendem a apresentar maiores valores de umidade específica em 1000hPa. Destaca-se o prolongamento de anomalias positivas em direção ao interior do nordeste brasileiro para o caso de extremos chuvosos. Outro ramo em destaque é o oceano adjacente à porção sudeste, afim com regiões favoráveis à passagem ou trajetórias de frentes frias.

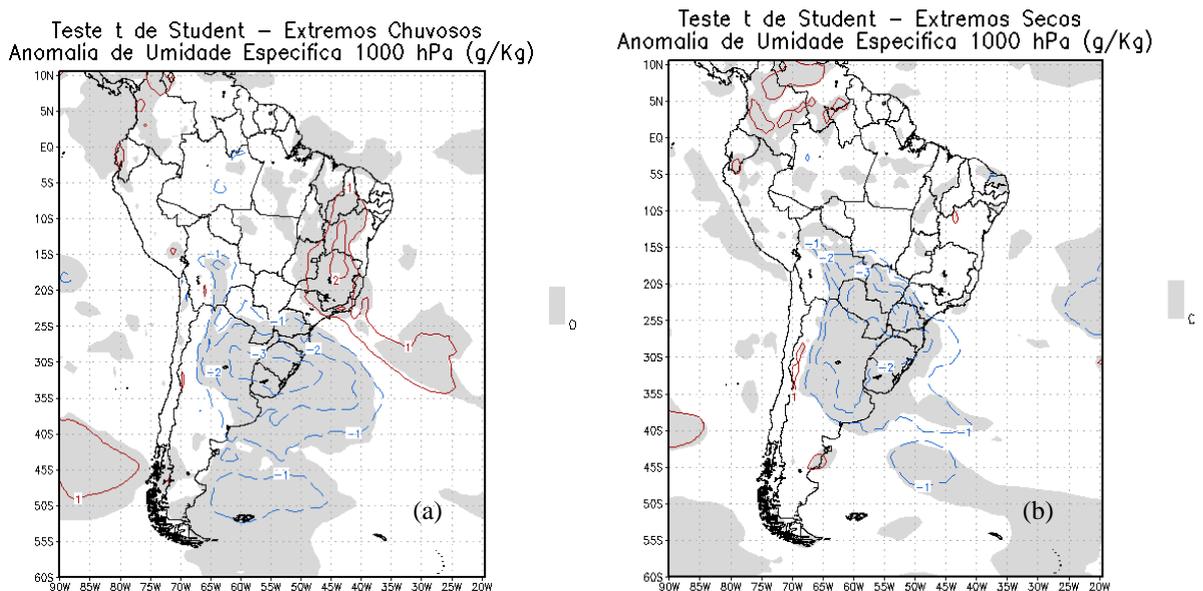


Figura 4.6 – Compostos de anomalia de Umidade Específica (g/kg) em 1000 hPa para os extremos chuvosos (a) e extremos secos (b) e teste t-student. Contorno em linha sólida (vermelha) indicam valores positivos e contorno em linha tracejada (azul) valores negativos e as áreas sombreadas (cinza) apresentam 90% de significância.

4.3.7 – INDICE DE INSTABILIDADE - K e TT

Destaca-se um padrão observado em ambos os índices de instabilidade estudados. Na figura referente aos extremos chuvosos (Figura 4.7) observam-se valores positivos de anomalia no OP, próximo à costa do Chile e Peru. Ressalta-se o fato de que no OA também são observados altos valores de anomalia positiva, tanto para K, como para TT, com uma orientação semelhante a da ZCAS, se estendendo desde o Oceano até a Região Sudeste do Brasil.

Assim, tal configuração mostra que, na região da ZCAS, além da existência de instabilidade termodinâmica acima da média, também existia uma camada úmida profunda na atmosfera, o que é consistente com um ambiente associado à convecção profunda e, conseqüentemente, chuvas de caráter mais intenso. Esse padrão confirma uma potencialidade maior de se encontrar sistemas convectivos em escala menor embebidos na ZCAS, que podem produzir eventos de chuvas fortes, como as observadas na região de Duque de Caxias.

No litoral do região Nordeste do Brasil e oceano adjacente também observa-se grandes núcleos de anomalia positiva dos índices K e TT, entretanto, apesar desse padrão termodinâmico favorável a ocorrência de sistemas convectivos, como mostrado anteriormente, essa região não se apresentou como dinamicamente muito favorável à convecção. As anomalias das variáveis dinâmicas, como PNMM (Figura 4.1) escoamento em 850 e 200hPa (Figura 4.2) e divergência em altos níveis (Figura 4.5) não caracterizavam um ambiente tipicamente favorável à ocorrência de sistemas convectivos, sendo assim, menos provável que tenha ocorrido fortes chuvas nessa região em comparação com a região da ZCAS, onde os fatores termodinâmicos e dinâmicos apresentaram-se favoráveis simultaneamente.

Nos extremos secos, (Figura 4.8) observa-se que ainda ocorrem anomalias positivas de K e TT na região da ZCAS, próximo à Região Sudeste, entretanto estas apresentam-se menos intensas, mostrando uma menor potencialidade para formação de sistemas convectivos que produzem chuvas intensas.

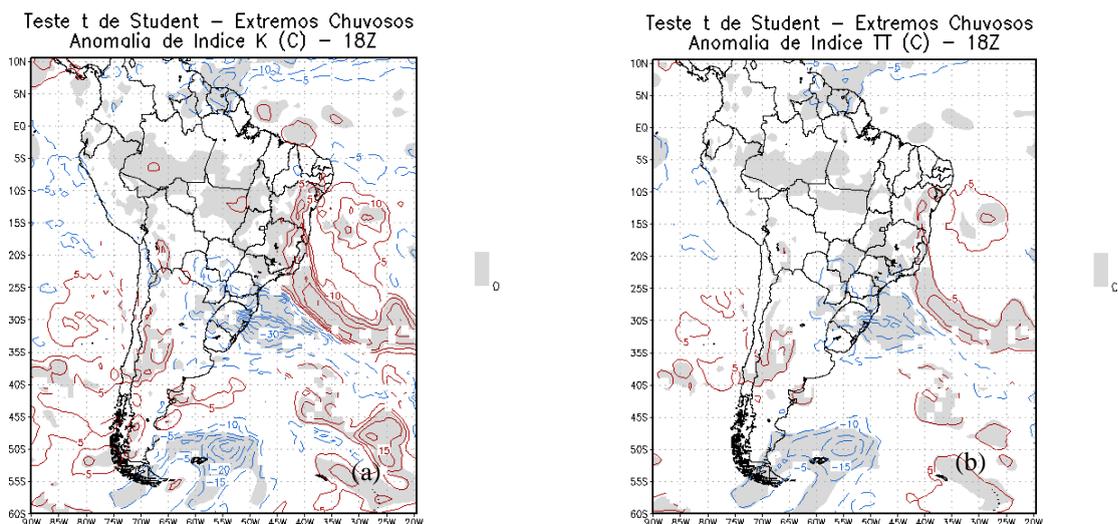


Figura 4.7 – Compostos de anomalia dos extremos chuvosos do Índice K (°C) (a), TT (°C) (b) e teste t-student. Contorno em linha sólida (vermelha) indicam valores positivos e contorno em linha tracejada (azul) valores negativos e as áreas sombreadas (cinza) apresentam 90% de significância.

Desta forma, percebe-se que os casos chuvosos foram aqueles que aliaram, na região da ZCAS, um maior potencial termodinâmico, aliado a um padrão dinâmico favorável, tendo esse efeito conjunto da termodinâmica com a dinâmica se apresentado como fundamental para a ocorrência das chuvas intensas nos extremos chuvosos.

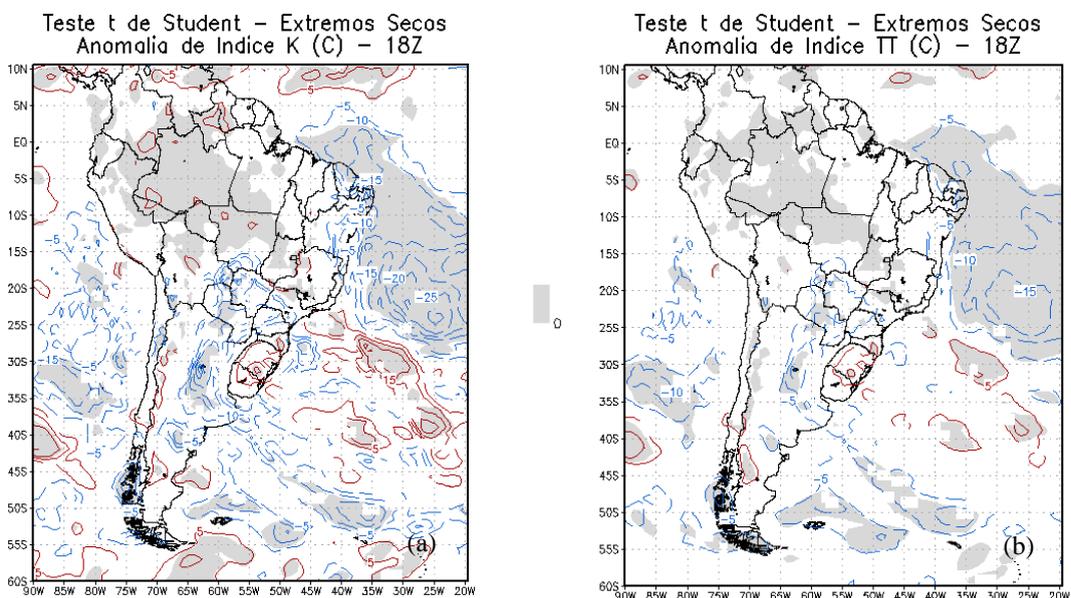


Figura 4.8 – Compostos de anomalia dos extremos secos do Índice K (°C) (a), TT (°C) (b) e teste t-student. Contorno em linha sólida (vermelha) indicam valores positivos e contorno em linha tracejada (azul) valores negativos e as áreas sombreadas (cinza) apresentam 90% de significância.

4.6 – ESTUDOS DE CASOS

4.6.1 – EXTREMO CHUVOSO (EVENTO DO DIA 15 DE JANEIRO DE 2016)

Na tarde do dia 15 de janeiro de 2016 uma precipitação intensa causou muitos transtornos no município de Duque de Caxias. Segundo a Secretaria de Defesa Civil e Políticas de Segurança da cidade um total de 58 ocorrências foram registradas, sendo 24 alagamentos, 15 deslizamentos, 11 desabamentos, 5 registros de inundações e 3 outras causas relacionadas. As ocorrências abrangeram os quatro distritos, no entanto, o distrito de Campos Elísios foi o mais atingido, principalmente por inundações, onde mais de 25 bairros foram afetados.

Na Figura 4.9 é mostrada a imagem realçada do dia 15 de janeiro no horário de 18Z, do satélite GOES-13 (Figura 4.9 a), e a respectiva carta sinótica em horário equivalente. A carta sinótica do CPTEC mostra a ZCAS representada por uma faixa contínua em verde (Figura 4.9 b), coincidindo com a banda de nebulosidade apresentada na imagem de satélite.

A banda de nebulosidade observada (Figura 4.1 a) se estende desde a Região Norte, passando pela Região Sudeste e alcançando o oceano. Verifica-se a presença de vários núcleos convectivos sobre o Estado do Rio de Janeiro, que provocaram chuva intensa na região.

Ressalta-se que a ZCAS se configurou a partir do dia 15 de janeiro, sendo apresentada nas cartas sinóticas do CPTEC a partir das 06Z (figura não exibida). O episódio de ZCAS perdurou por cerca de nove dias, deixando assim, de ser exibida nas cartas sinóticas a partir das 12Z do dia 24 de janeiro (figura não exibida).

Na Figura 4.10 mostra-se o deslocamento do sistema ao longo dos dias de atuação. Observa-se no dia 15 de janeiro (Figura 4.10 a), o canal de umidade desde a Amazônia estendendo-se sobre Brasil central e Região Sudeste, mais especificamente sobre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, até o oceano Atlântico. Posteriormente, o sistema apresenta deslocamento para Nordeste, atuando desde a Amazônia ao Espírito Santo, sul da Bahia e oceano Atlântico.

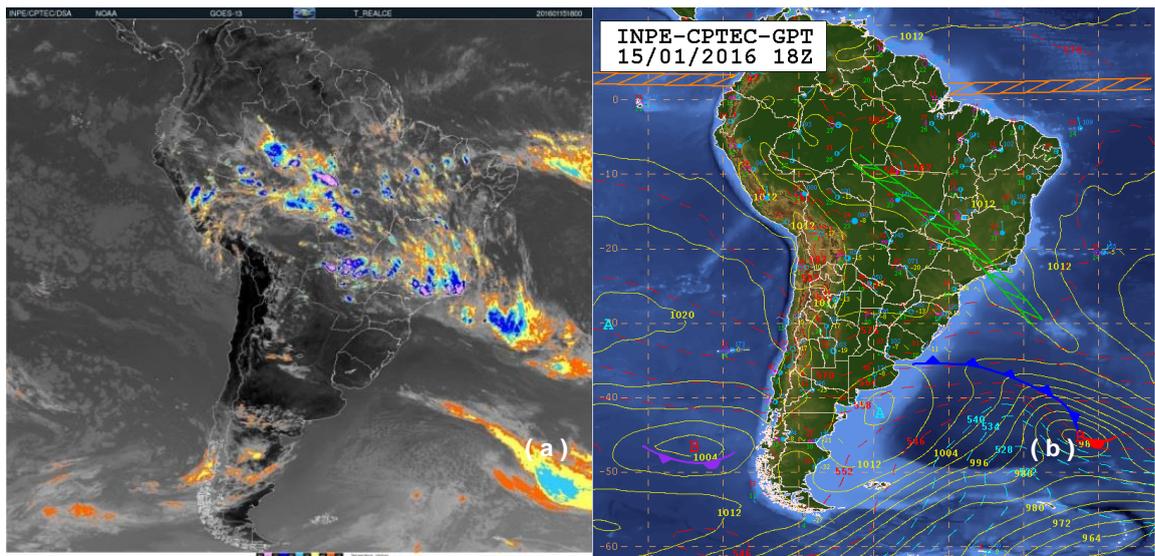


Figura 4.09 – Análise da situação meteorológica do dia referente ao caso (15 de janeiro de 2016). Carta sinótica mostrando a posição da ZCAS (a). Imagem realçada de satélite (GOES) indicando a nebulosidade na região de estudo (b) do dia 15 de janeiro de 20016 as 18Z. Fonte: CPTEC.

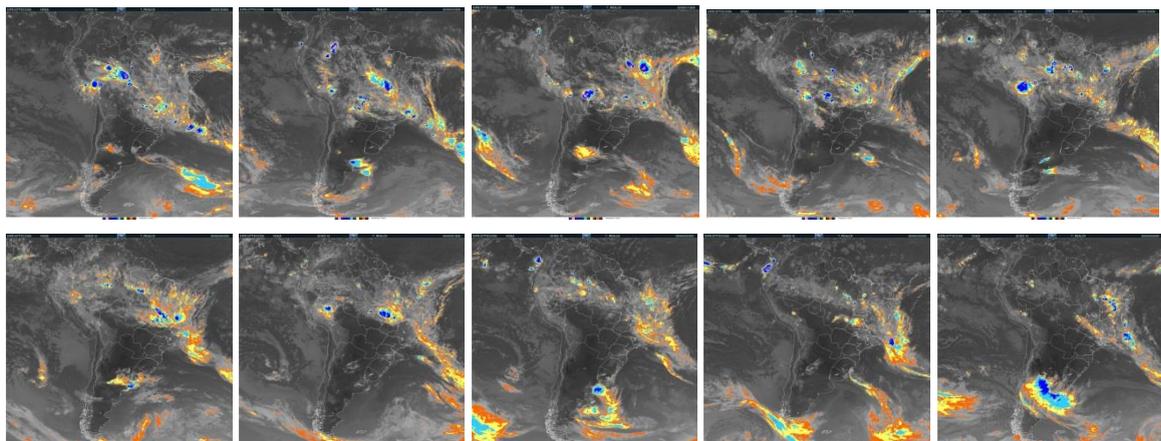


Figura 4.10 – Imagem realçada de satélite (GOES 12), demonstrando o posicionamento da ZCAS no dia 15 de janeiro as 12Z (a), 16 de janeiro as 12Z (b) 17 de janeiro as 12Z (c) 18 de janeiro as 12Z (d), 19 de janeiro as 12Z (e), 20 de janeiro as 12Z (f) 21 de janeiro as 12Z (g) 22 de janeiro as 12Z (h), 23 de janeiro as 12Z (i), e sua dissipação no dia 24 de janeiro as 12Z (j). Fonte: CPTEC.

Na Figura 4.11 são observadas as imagens realçadas do satélite GOES-12 que mostram núcleos convectivos sobre o estado do Rio de Janeiro abrangendo a cidade de Duque de Caxias, tais núcleos apresentaram, por aproximadamente 12 horas, elevados valores de refletividade do topo da nuvem indicando que a convecção era profunda, e com grande quantidade de gelo no interior destas.

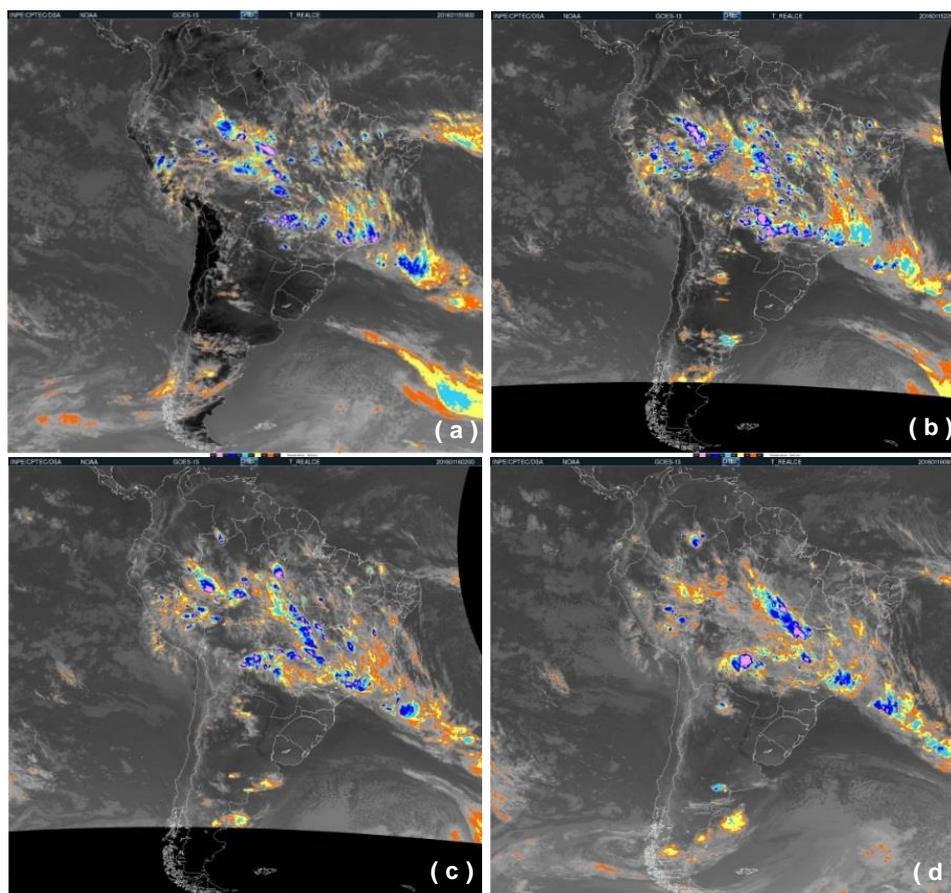


Figura 4.11 – Análise da situação meteorológica do dia referente ao caso (15 de janeiro de 2016). Imagem realçada de satélite (GOES 12) do dia 15 de janeiro indicando a nebulosidade na região de estudo as 18Z (a), 22Z (b) e no dia 16 de janeiro as 02Z (c) e 06Z (d). Fonte: CPTEC.

De acordo com as imagens do radar do Sumaré (Figura 4.12), operado pelo Sistema Alerta Rio, podemos observar que núcleos intensos, de elevada refletividade, atuaram sobre o município de Duque de Caxias (delimitado por um retângulo em preto) das 17Z (Figura 4.12 a) às 20Z (Figura 4.12 d). Observa-se na Figura 4.12 c a formação de novos núcleos de chuva na retarguarda do aglomerado de núcleos observados na Figura 4.12b, caracterizando a possível atuação de um Sistema Convectivo quase estacionário imerso na ZCAS, que refletiu nos elevados acumulados observados no decorrer deste período sobre a cidade de Duque de Caxias. Destaca-se que, apesar da diminuição da intensidade, a precipitação persistiu no decorrer da noite do dia 15 e madrugada do dia 16 de janeiro, o que agravou ainda mais a situação.

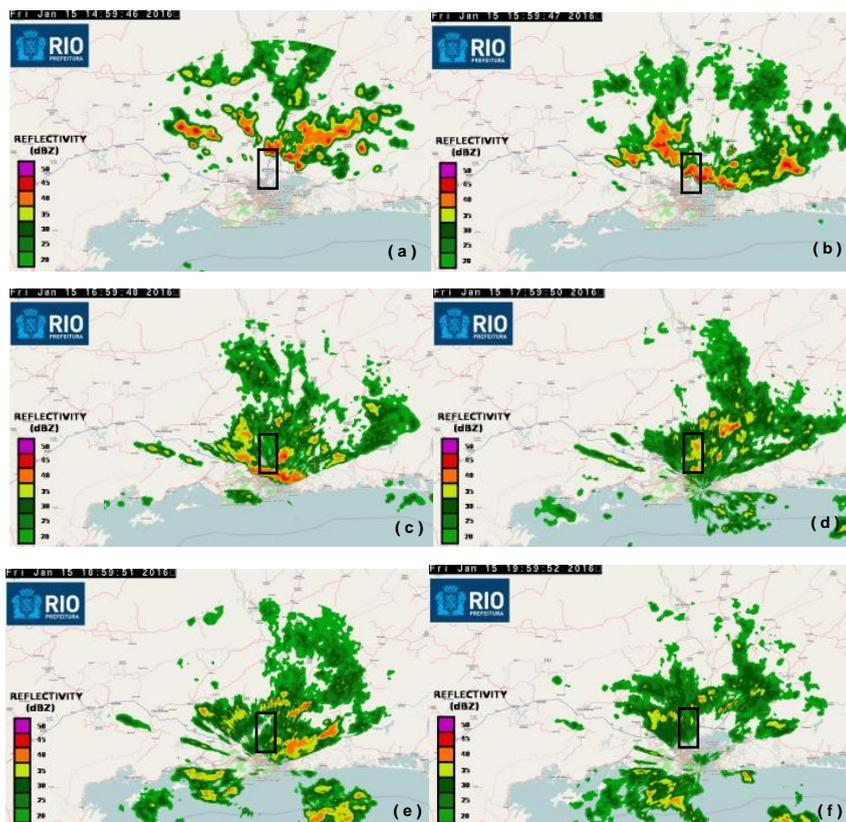


Figura 4.12 – Análise da situação meteorológica do dia referente ao caso (15 de janeiro de 2016). Imagem do radar Sumaré do dia 15 de janeiro às 17Z (a), 18Z (b), 19Z (c), 20Z (d), 21Z (e) e 22Z (f). Fonte: Sistema Alerta Rio.

De acordo com os dados do DGDEC, entre as 17 Z do dia 15 de janeiro e 16 Z do dia 16 de janeiro, choveu aproximadamente 212 mm no município. Vale ressaltar que para o período de 24h, esse índice de precipitação é bastante elevado, pois a média mensal¹ de janeiro para esta região fica em torno de 267 mm. Esse índice causou a saturação do solo provocando inundações e muitos deslizamentos.

O pico de precipitação esteve concentrado no período das 18Z às 20Z do dia 15 de janeiro, sendo o acumulado pluviométrico de 73 mm o máximo registrado em um intervalo de 1 hora, observado no posto situado no Morro da Caixa D'água, de modo a determinar estágio de alerta/alarme na região. Os acumulados horários máximos observados nos demais postos pluviométricos operantes podem ser observados na Tabela 4.7.

¹ Média Mensal realizada a partir de 7 anos de dados do INEA.

Tabela 4.7 – Precipitação acumulada máxima em 1 hora de postos pluviométricos.

Posto pluviométrico	Horário (Z)	Precipitação acumulada (mm)
Xerém	18:00	22,2
Santa Cruz da Serra	18:30	47,8
Ponte Ferro Capivari	18:45	37,8
São Bento	19:20	4,9
Jardim Olavo Bilac	19:30	15,3
Parque Duque	19:30	18,1
Morro da Caixa D'Água	19:30	73,0

Dados observados registraram variações da precipitação acumulada em 24 horas (17 Z do dia 15 de janeiro a 16 Z do dia 16 de janeiro) entre os 7 postos pluviométricos, que encontravam-se operantes nos dias em questão. O posto localizado no Morro da Caixa d'Água obteve, dentre as regiões monitoradas, a maior precipitação acumulada no período de 24 horas, com cerca de 212 mm. Ressalta-se que todos os pluviômetros registraram mais de 100 mm de precipitação acumulada, sendo o pluviômetro do Parque Duque o que registrou o menor valor, 101 mm (Tabela 4.8).

Tabela 4.8 – Precipitação acumulada de 24 horas (17Z às 16Z).

Posto pluviométrico	Precipitação acumulada (mm)
Jardim Olavo Bilac	111,8
São Bento	135,1
Parque Duque	101,1
Morro da Caixa d'água	212,0
Santo Antônio	188,2
Ponte Ferro Capivari	123,0
Santa Cruz da Serra	157,2

Dados obtidos do INEA registraram o transbordo dos rios Capivari e Saracuruna. Na estação Ponte de Ferro Capivari (nível e chuva), o rio Capivari atingiu o pico em 5,03 metros, cerca de 1,20 metros acima da cota de 3,80 metros de transbordo para uma precipitação acumulada de 123 mm, em 24 horas (Figura 4.13). Na estação Santa Cruz da Serra (nível e chuva), o rio Saracuruna obteve pico de 3,94 metros, cerca de 0,14 metros acima de cota de 3,80 m de transbordo, considerado desastroso por indicar pontos de alagamento e inundação em determinados bairros, onde se registrou 157,20 mm em 24 horas (Figura 4.14).

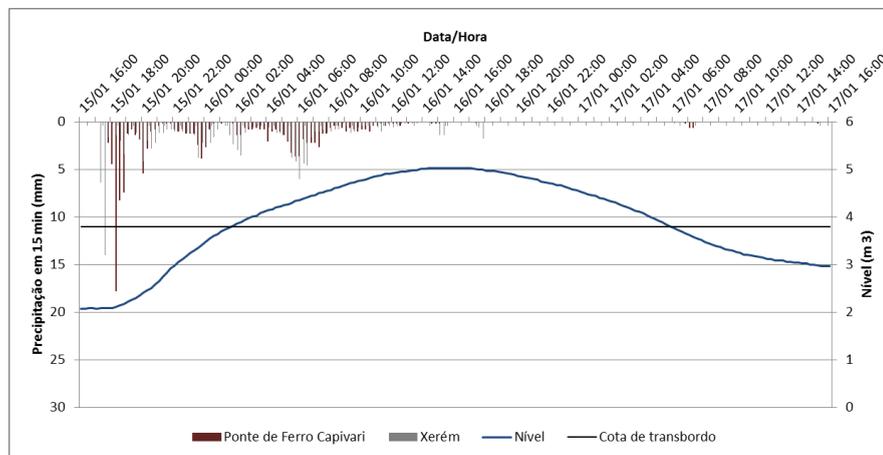


Figura 4.13 – Nível e precipitação no rio Capivari

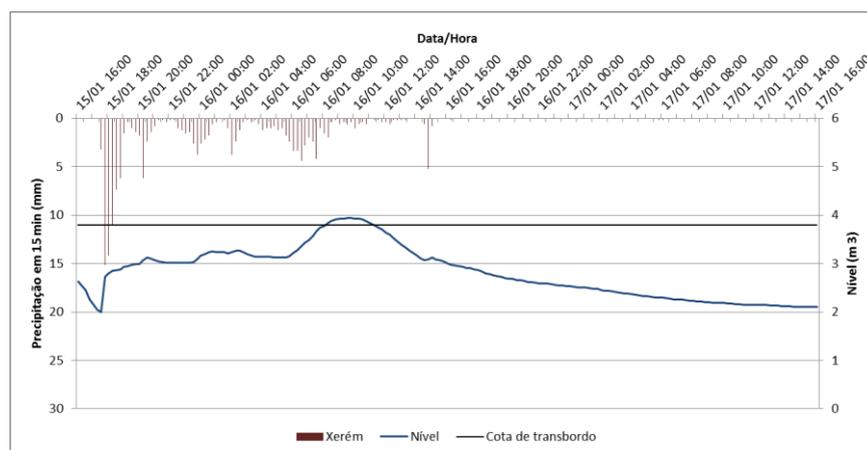


Figura 4.14 – Nível e precipitação no rio Saracuruna.

Com o intuito de uma melhor avaliação do evento causador da elevada precipitação observada na cidade, e de fenômenos de menor escala associados a este, buscou-se analisar os componentes necessários à formação de células convectivas, tanto em escala sinótica quanto em mesoescala.

Assim, a Figura 4.16 apresenta os campos de PNMM para o período de 14 a 16 de janeiro a cada 12 horas (00 e 12Z). Pode-se observar uma região de baixa pressão no interior do país, estendendo-se desde o oeste da Região Norte até a Região Sudeste, com orientação semelhante e coerente com a ZCAS (NO-SE). Na Figura 4.16b, nota-se a formação de um centro de baixa pressão sobre o Estado do Rio de Janeiro parte de São Paulo e do Oceano Atlântico originado a partir da região de baixa pressão sobre o continente.

Observa-se, em todas as imagens, a presença da ASAS, que não é apresentada totalmente no domínio da figura. Uma região de baixa pressão com valores entre 950 a 980 hPa pode ser observada no sudeste do domínio das imagens. A partir das 12Z do dia 15 de janeiro (Figura 4.16 d) ressalta-se a formação do centro de baixa pressão e o prolongamento do cavado associado a este sobre o Oceano Atlântico.

Pode-se notar que o centro de baixa pressão, verificado na Figura 4.16 b sobre o Estado do Rio de Janeiro, aprofunda à medida que se desloca para sudeste, se afastando da costa. Destaca-se o forte gradiente de pressão observado entre o centro de baixa pressão e a ASAS, intensificando o vento na região.

O centro de baixa pressão verificado atuou por cerca de quatro dias e seu diâmetro observado ultrapassou 500 km o que o caracterizaria como um sistema subsinótico. De acordo com a escala de Orlanski (1975), com escalas espacial entre 200 e 2000km e temporal entre 1 e 15 dias são considerados distúrbios na escala meso α .

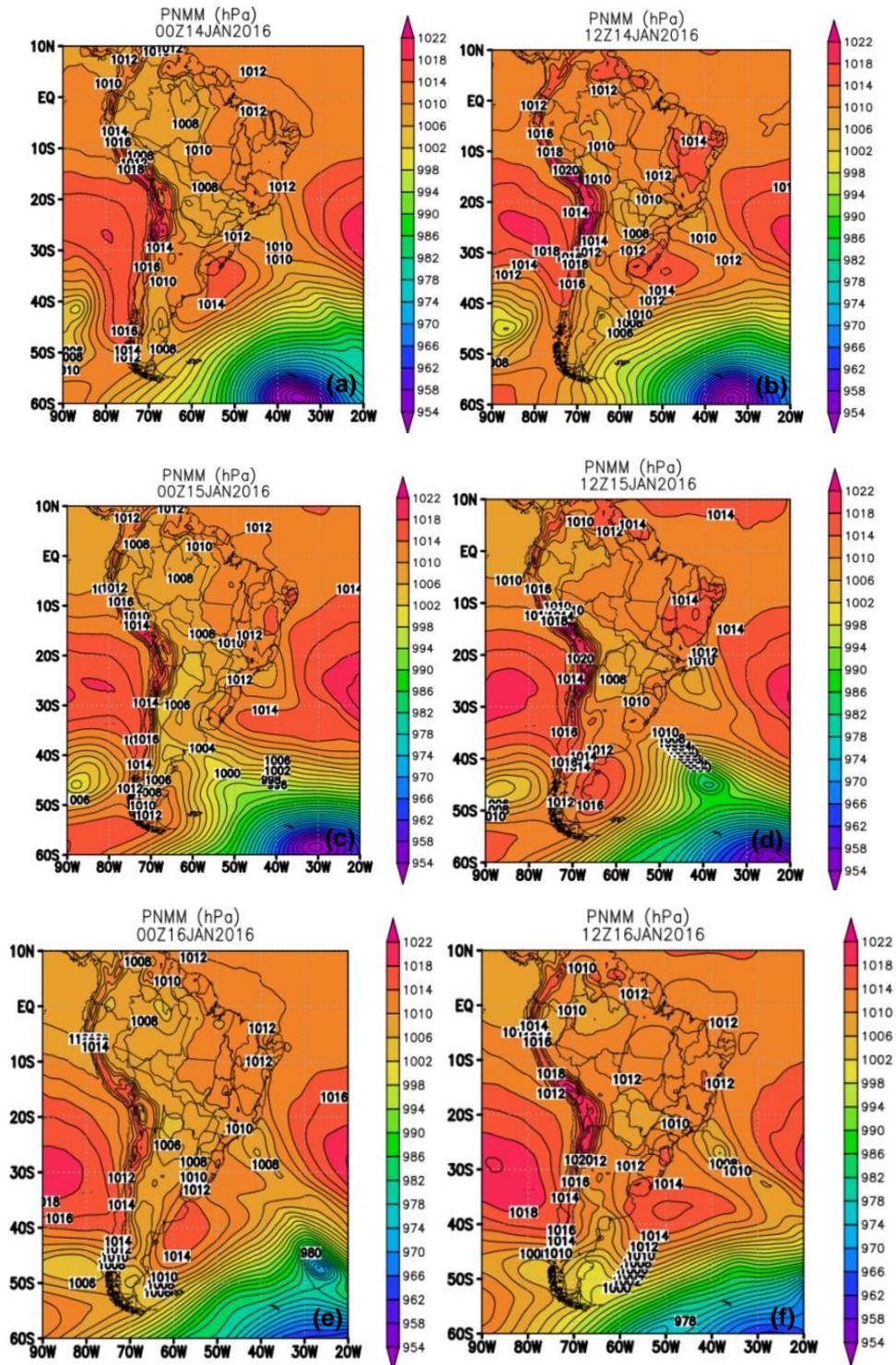
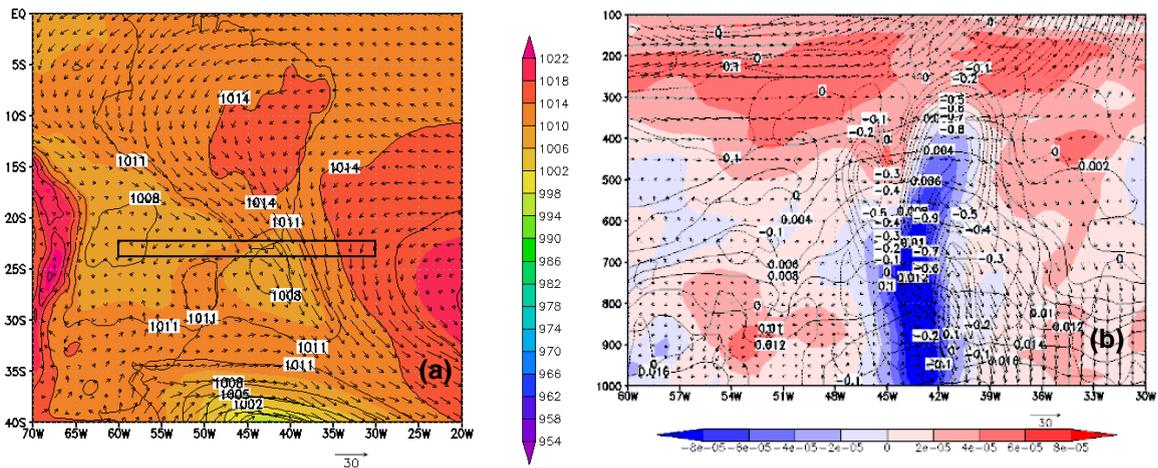


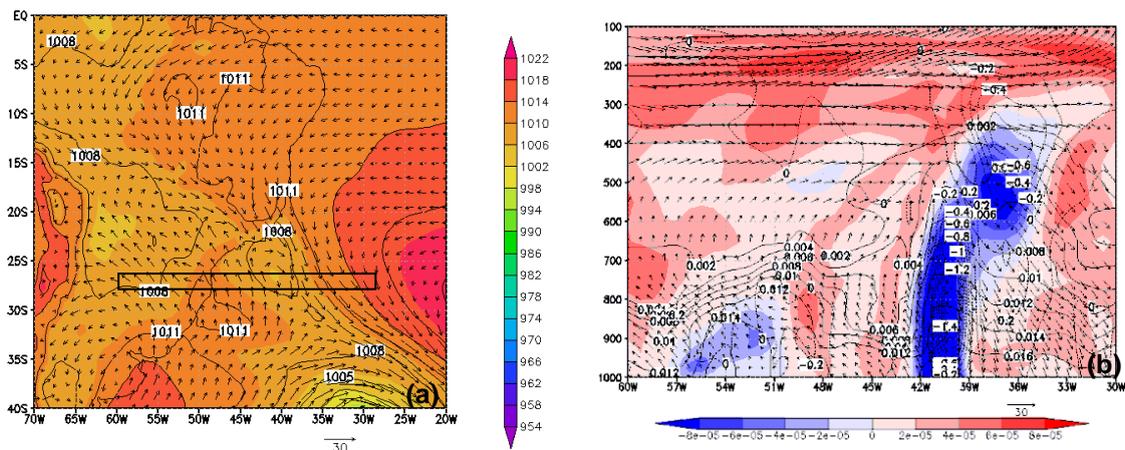
Figura 4.16 – Campos de Pressão ao Nível Médio do Mar (hPa) nos dias 14 de janeiro as 00Z (a), 12Z (b) , 15 de janeiro as 00Z (c) 12Z (d) e 16 de janeiro as 00Z (e) e 12Z (f).

A fim de analisar detalhadamente a estrutura vertical do sistema de baixa pressão indicado nas imagens anteriores (Figura 4.16), foram construídos perfis verticais de vorticidade relativa, umidade específica e velocidade vertical sobre o núcleo do sistema nos dias 15 e 16 de janeiro de 2016 para os horários de 12Z e 00Z respectivamente. A Figura 4.18 apresenta o corte vertical no dia 15 de janeiro de 2016 às 12Z, quando foi calculada a média da variáveis citadas anteriormente, entre as latitudes 25 e 26°S (Figura 4.17a, retângulo em preto). Observam-se entre 044 e 042°W, centro da baixa pressão observada em superfície, elevados valores de vorticidade ciclônica, movimento ascendente e um aumento dos valores de umidade específica. Percebe-se também que a região de vorticidade ciclônica estende-se até aproximadamente o nível de 300hPa que ressalta a profundidade do sistema.



4.17 – PNMM (hPa) e vento (m/s) em 850 hPa no dia 15 de janeiro de 2016 às 12Z. A área delimitada em (a) representa a faixa latitudinal onde foi realizado o corte vertical de vorticidade relativa (sombreado, 10^{-5} s^{-1}), umidade específica (linha contínua, g/kg) e velocidade vertical (linha tracejada, $\text{Pa} \cdot \text{S}^{-1}$), apresentado em (b).

A Figura 4.18 apresenta o corte vertical no dia 16 de janeiro de 2016 às 00Z, quando foi calculada a média da variáveis citadas anteriormente, entre as latitudes 26 e 27°S (Figura 4.18a, retângulo em preto). Observam-se entre 042 e 040°W, centro da baixa pressão observada em superfície, elevados valores de vorticidade ciclônica até o nível de 550 hPa, movimento ascendente e um aumento dos valores de umidade específica. Percebe-se que a região de vorticidade ciclônica apresenta deslocamento para leste no nível de 600 a 400 hPa indicando um forte indício de que o sistema está em decaimento, se dissipando nos demais horários (Figuras não mostradas).



4.18 – PNMM (hPa) e vento (m/s) em 850 hPa no dia 16 de janeiro de 2016 as 00Z. A área delimitada em (a) representa a faixa latitudinal onde foi realizado o corte vertical de vorticidade relativa (sombreado, 10^{-5} s^{-1}), umidade específica (linha contínua, g/kg) e velocidade vertical (linha tracejada, $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$), apresentado em (b).

Observam-se, através da Figura 4.19 as linhas de corrente e a magnitude do vento em baixos (850 hpa), médios (500 hpa) e altos níveis (200 hpa). A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), circulação importante para manter a convergência nos baixos níveis, pode ser visualizada no domínio da imagem (Figura 4.19a), transportando vapor d'água em direção à costa sudeste do Brasil, intensificando a convergência de umidade já existente, com seu movimento anticiclônico sobre o oceano. Nota-se também em baixos níveis a presença de um cavado de orientação NO-SE a leste da cordilheira dos Andes.

Em níveis médios (Figura 4.19 b) pode-se destacar a presença de um cavado à leste da Cordilheira dos Andes que dá suporte para a persistência da nebulosidade e da precipitação associada. Já nos altos níveis observa-se a presença da AB e do VCAN atuando sobre o oceano, o que corrobora com o que diversos estudos elucidam a respeito da associação entre a ZCAS, a AB e a presença de um cavado ou VCAN sobre o NE do Brasil e oceano adjacente (Figura 4.19c).

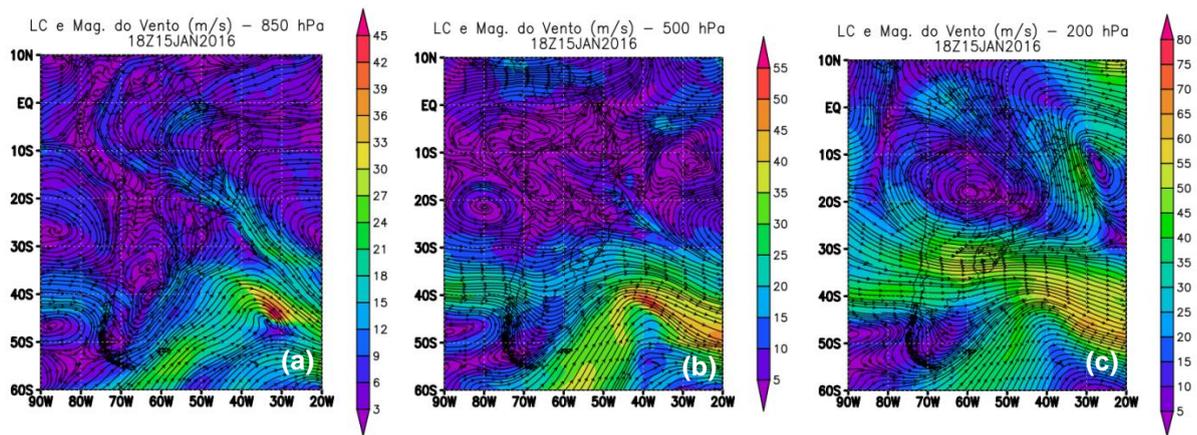


Figura 4.19 – Linhas de Corrente e Magnitude do Vento em 850 hpa (a), 500 hpa (b) e 200 hpa (c) do dia 15 de janeiro de 2016 às 18Z

Na Figura 4.20 observam-se valores positivos de divergência sobre todo o estado do Rio de Janeiro, favorecendo o desenvolvimento convectivo em toda a região, inclusive a cidade de Duque de Caxias.

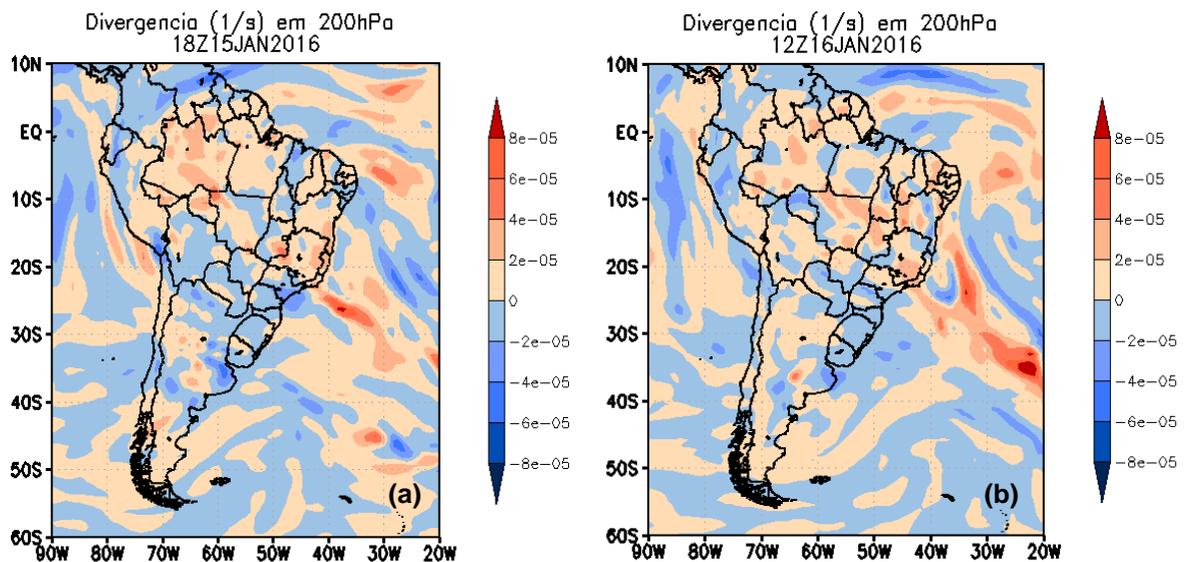


Figura 4.20 – Divergência (1/s) em 200 hPa no dia 15 de janeiro de 2016 às 18Z (a) e 16 de janeiro de 2016 às 12Z (b)

Em baixos níveis a ZCAS é caracterizada por convergência de umidade ao longo da orientação NO-SE. A Figura 4.21 mostra o campo de umidade específica e as linhas de corrente em 1000 hPa (Figura 4.21 a) e 850 hPa (Figura 4.21 b.) no dia 15 de janeiro às 18Z. Observa-se uma região com bastante umidade no interior do continente, com valores superiores a 18 g/kg em 1000 hPa e superiores a 15 g/kg

em 850 hPa. Essa região de valores elevados de umidade específica estende-se até o Oceano Atlântico ao longo da orientação NO-SE da ZCAS. Nota-se que toda a Região Metropolitana e Serrana do Estado do Rio de Janeiro apresenta valores elevados de umidade específica em superfície (> 18 g/kg) e em 850 hpa (>15 g/kg).

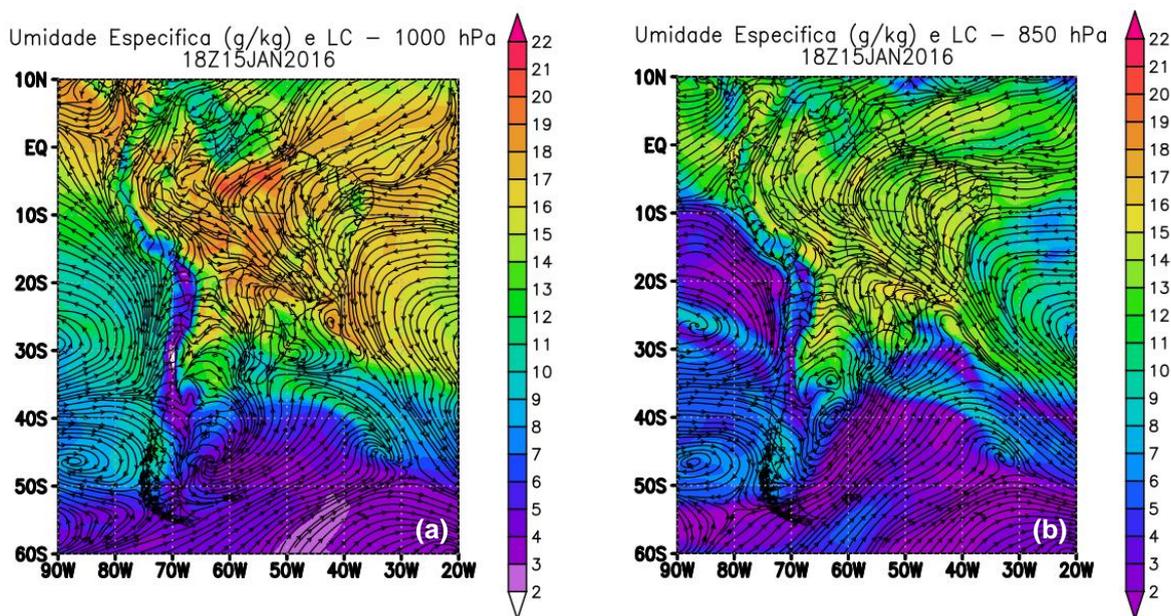


Figura 4.21 – Linhas de Corrente e Umidade Específica (g/kg) em 1000 hpa e 850 hpa

Com a finalidade de uma melhor avaliação do perfil de umidade específica assim, como de umidade relativa foi realizado um corte longitudinal entre 50W – 35W. Na Figura 4.22 observam-se altos valores de umidade específica em baixos níveis na região de Duque de Caxias (retângulo em preto) as 18Z, horário o qual normalmente a umidade é mais significativa porque já sofreu grande parte da evapotranspiração que acontece no decorrer do dia, umedecendo mais a atmosfera. Altos valores de umidade específica também são observadas as 00Z do dia 16 de janeiro de 2016. Com relação à umidade relativa, observa-se que o ambiente se encontra muito perto da saturação (entre 75 e 85%) as 18Z do dia 15 de janeiro, estando saturado as 00Z do dia 16 de janeiro na região de Duque de Caxias. Observa-se um perfil úmido em toda a troposfera.

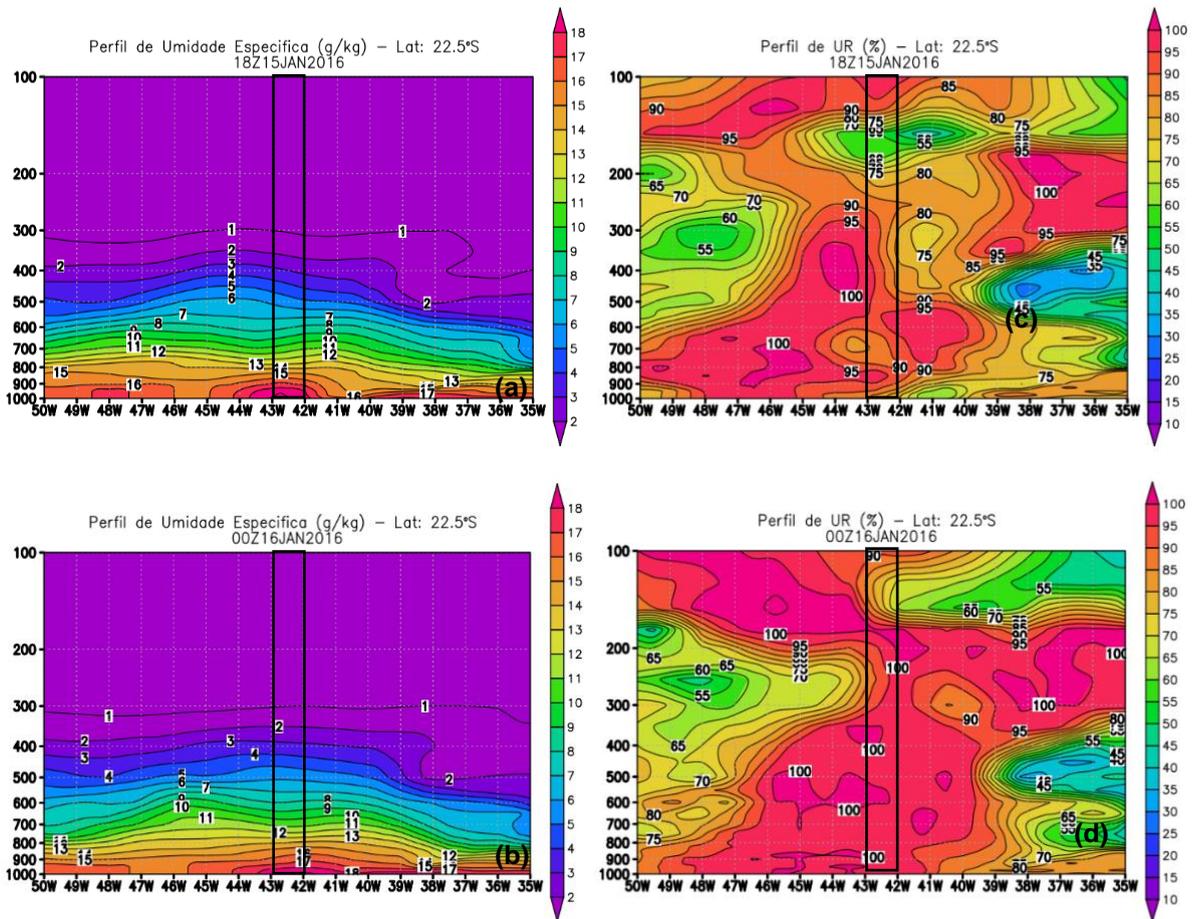


Figura 4.22 – Perfil de Umidade Específica (g/kg) as 18Z do dia 15 de janeiro (a) e as 00Z do dia 16 de janeiro (b) e Perfil de Umidade Relativa as 18Z do dia 15 de janeiro (c) e as 00Z do dia 16 de janeiro (d).

A Figura 4.23 apresenta o campo de movimento vertical em 500 ha e altura geopotencial, observando-se uma extensa área com movimento ascendente a leste do cavado, no interior do continente e no oceano com orientação NO-SE, indicando as áreas convectivas associadas à ZCAS.

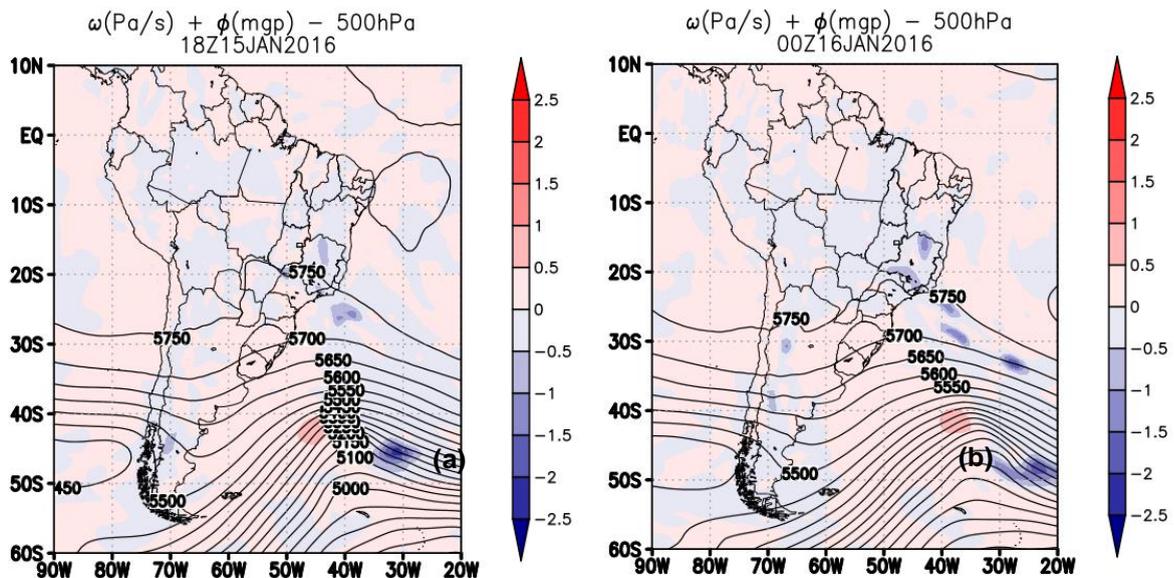


Figura 4.23 – Altura Geopotencial (mcp) e Velocidade Vertical Omega (Pa/s) em 500 hPa (a) as 18Z de 15 janeiro e (b) as 00Z de 16 janeiro.

De acordo com Nascimento (2005), o índice K é uma variável que capta as condições favoráveis à ocorrência de tempestades em ambientes úmidos em toda a troposfera e, portanto, quanto maiores os valores deste indicador, mais favoráveis são as condições atmosféricas para a ocorrência de fortes chuvas.

Segundo a literatura, uma limitação do índice Total Totals (TT) é a sua dependência com a umidade em 850 hPa, pois a umidade em baixos níveis pode estar mais abaixo dessa superfície. Mas verifica-se sua eficiência quando existe uma camada seca em 700 hPa, pois, diferentemente do índice K, o TT exige calor e umidade em 850hPa e ar mais frio em 500hPa, não dependendo assim da umidade em 500 hPa; portanto o índice TT não é afetado por uma “secura” nos níveis médios.

Se uma massa de ar é quente e úmida, os índices K e TT dão interpretações semelhantes, mas quando a massa de ar é mais fria e seca, o TT tem melhores resultados por dar um peso maior à presença de ar frio em níveis médios (SILVA DIAS, 2000).

Assim, ao analisar os índices de instabilidade no período estudado observam-se valores significativos dos índices K e TT sobre grande parte do território brasileiro se estendendo até o oceano, região de atuação da ZCAS (Figura 4.24). Observam-se elevados valores de K (acima de 37°C) e TT (acima de 42°C) em todo Estado do Rio de Janeiro, o que indica grande potencial para chuvas intensas.

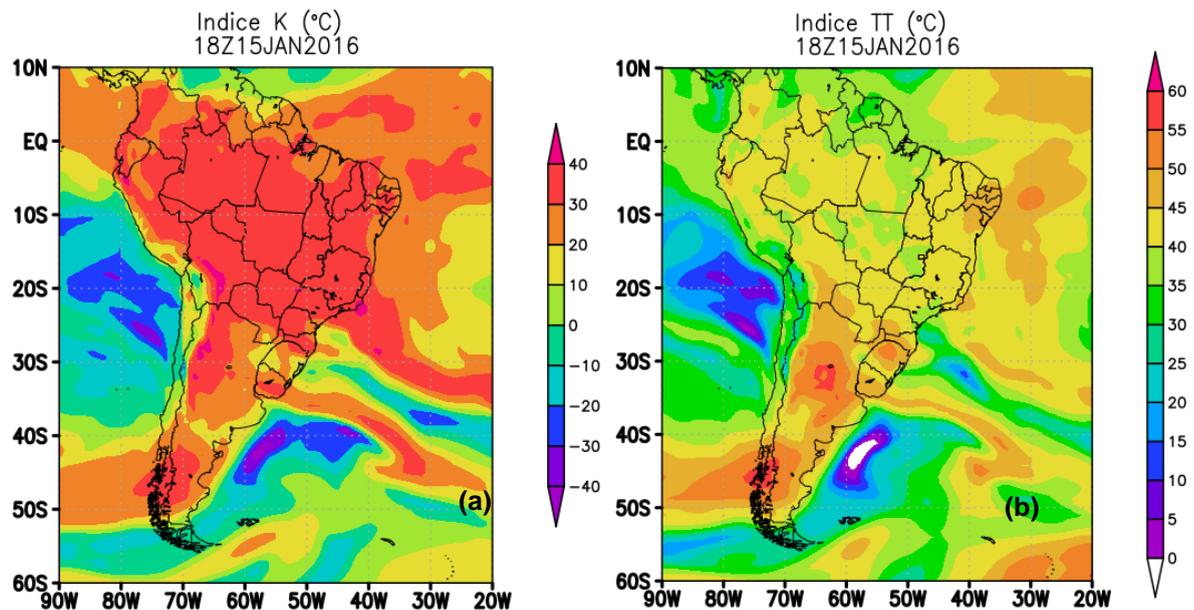


Figura 4.24 – Índices de instabilidade K (a) e TT (b) as 18Z do dia 15 de janeiro.

Na Figura 4.25 observa-se a sondagem obtida as 12Z do dia 15 de janeiro disponível em: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>. O perfil vertical já apresenta condições de saturação em diversos pontos, mais especificamente nos níveis de 950, 750 e aproximadamente 350 hPa, que caracteriza a passagem da sondagem pela nebulosidade da ZCAS. A sondagem apresenta valores altos dos índices de instabilidade avaliados nesse estudo. O índice de instabilidade K apresenta valor aproximado de 37°C e o índice TT valor de 42,4 °C considerados altos principalmente para esse horário da manhã, valores estes que persistiram no período vespertino como podemos observar nas imagens anteriores. A CAPE é de 1146, valor bastante considerável para o horário da sondagem, e valor este que provavelmente aumentou razoavelmente ao longo do dia com o aquecimento diurno visto que a temperatura máxima observada no dia da sondagem foi de 31 °C as 17Z no aeroporto do galeão, demonstrando um grande potencial para formação de nuvens convectivas.

83746 SBGL Galeao

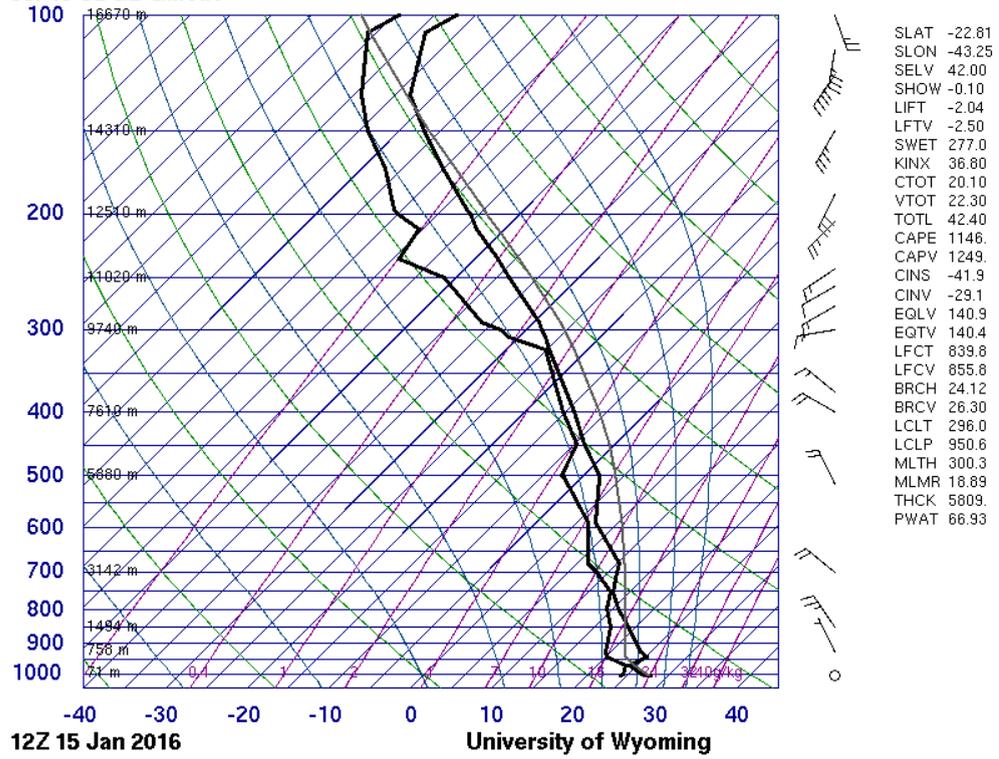


Figura 4.25 – Diagrama Skew- t as 12Z do dia 15 de janeiro.

Fonte: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

4.6.1 EXTREMO SECO – EVENTO DO DIA 26 DE JANEIRO DE 2012

No estudo de caso referente ao extremo seco optou-se por estudar um evento que ocorreu no mesmo mês que o estudo de caso de extremo chuvoso assim, o evento do dia 26 de janeiro de 2012 foi selecionado dentre os demais por apresentar o maior acumulado observado em todas as estações pluviométricas que encontravam em operação na data selecionada.

Foram observados, como era de se esperar em um caso de extremo seco, baixos índices pluviométricos sobre a cidade de Duque de Caxias, índices que são insuficientes para ocasionar algum tipo de transtorno à cidade, como alagamentos por exemplo (Tabela 4.10).

Tabela 4.10 – Precipitação acumulada de 24 horas de postos pluviométricos.

Posto pluviométrico	Precipitação acumulada (mm)
Xerém	3,2
Ponte Ferro Capivari	4,6
Santa Cruz da Serra	5,8

Na Figura 4.26 é mostrada a imagem realçada do satélite GOES-13 no dia 27 de janeiro no horário de 00Z (Figura 4.26 a), e a respectiva carta sinótica em horário equivalente. A carta sinótica do CPTEC mostra a ZCAS representada por uma faixa contínua em verde juntamente com uma frente fria sobre o oceano adentrando em uma porção do continente (Figura 4.26 b), coincidindo com a banda de nebulosidade apresentada na imagem de satélite. Não são observados núcleos convectivos sobre o Estado do Rio de Janeiro.

Ressalta-se que a ZCAS se configurou a partir do dia 26 de janeiro, sendo apresentada nas cartas sinóticas do CPTEC a partir das 00Z (figura não exibida). O episódio de ZCAS perdurou por cerca de cinco dias deixando de ser exibida nas cartas sinóticas a partir das 12Z do dia 30 de janeiro (figura não exibida).

Na Figura 4.27 mostra-se o deslocamento do sistema ao longo dos dias de atuação. Observa-se no dia 25 de janeiro (Figura 4.27 a), a presença de uma frente

fria sobre a região sobre o oceano, atuando sobre o sul do Brasil. Com a chegada desse sistema na região sudeste configura-se o episódio de ZCAS estudado. Posteriormente, o sistema apresenta deslocamento para Nordeste, atuando desde a Amazônia ao Espírito Santo, sul da Bahia e oceano Atlântico.

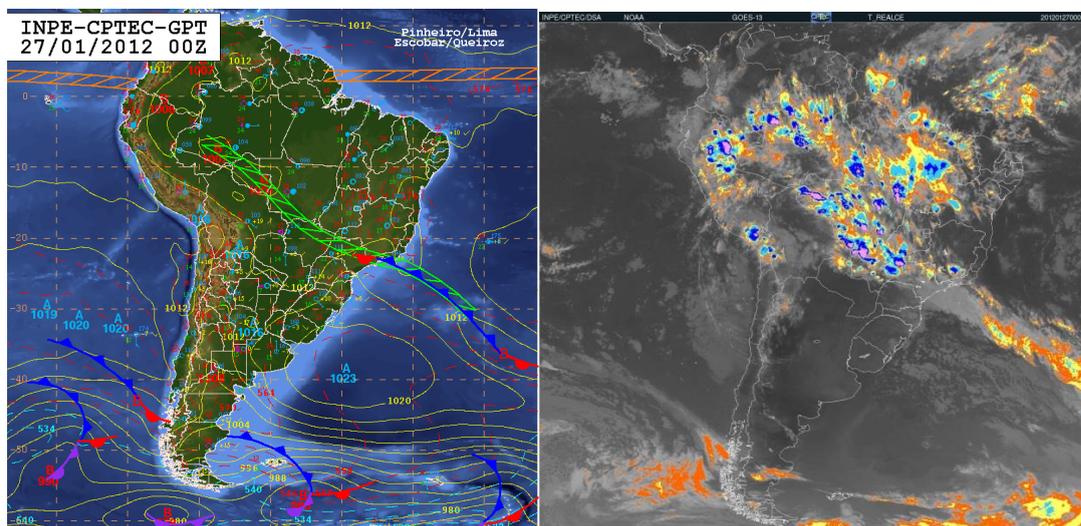


Figura 4.26- Análise da situação meteorológica do dia referente ao caso (26 de janeiro de 2012). Carta sinótica mostrando a posição da ZCAS (a). Imagem realçada de satélite (GOES) indicando a nebulosidade (b) no dia 27 de janeiro de 2012 as 00Z. Fonte: CPTEC

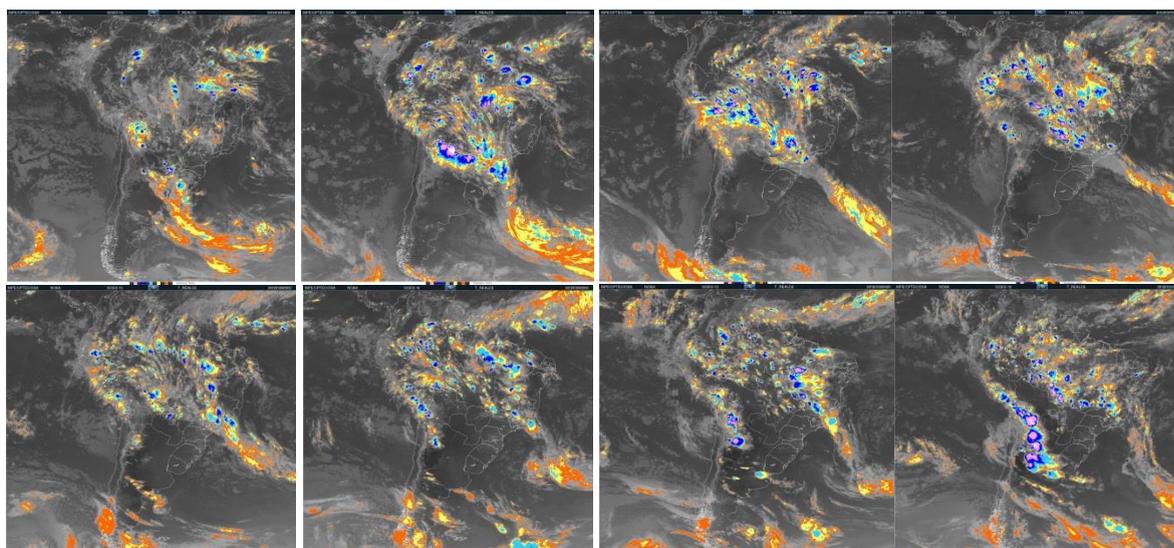


Figura 4.27- Imagem realçada de satélite (GOES 13), demonstrando o posicionamento da ZCAS no dia 25 de janeiro as 00Z (a), 26 de janeiro as 00Z (b) 26 de janeiro as 12Z (c) 27 de janeiro as 00Z (d), 28 de janeiro as 00Z (e), 29 de janeiro as 00Z (f) 30 de janeiro as 00Z (g) 30 de janeiro as 12Z (h). Fonte: CPTEC

Após a identificação do sistema através das imagens de satélite e cartas sinóticas foram analisados os componentes necessários à formação de células convectivas, tanto em escala sinótica quanto em mesoescala.

A Figura 4.29 apresenta os campos de PNMM para os dias 26 e 27 de janeiro a cada 12 horas (00 e 12Z). Pode-se observar uma região de baixa pressão no interior do país, estendendo-se desde o oeste da Região Norte até a Região Sudeste, com orientação semelhante e coerente com a ZCAS (NO-SE).

Na Figura 4.29a observa-se a presença de um cavado prolongado (Frente fria) sobre o oceano. Nota-se a presença da ASAS que não é apresentada totalmente no domínio da figura assim como do sistema de alta pressão transiente. Nota-se que a ASAS adentra ao continente em ambos os dias analisados no horário das 12Z.

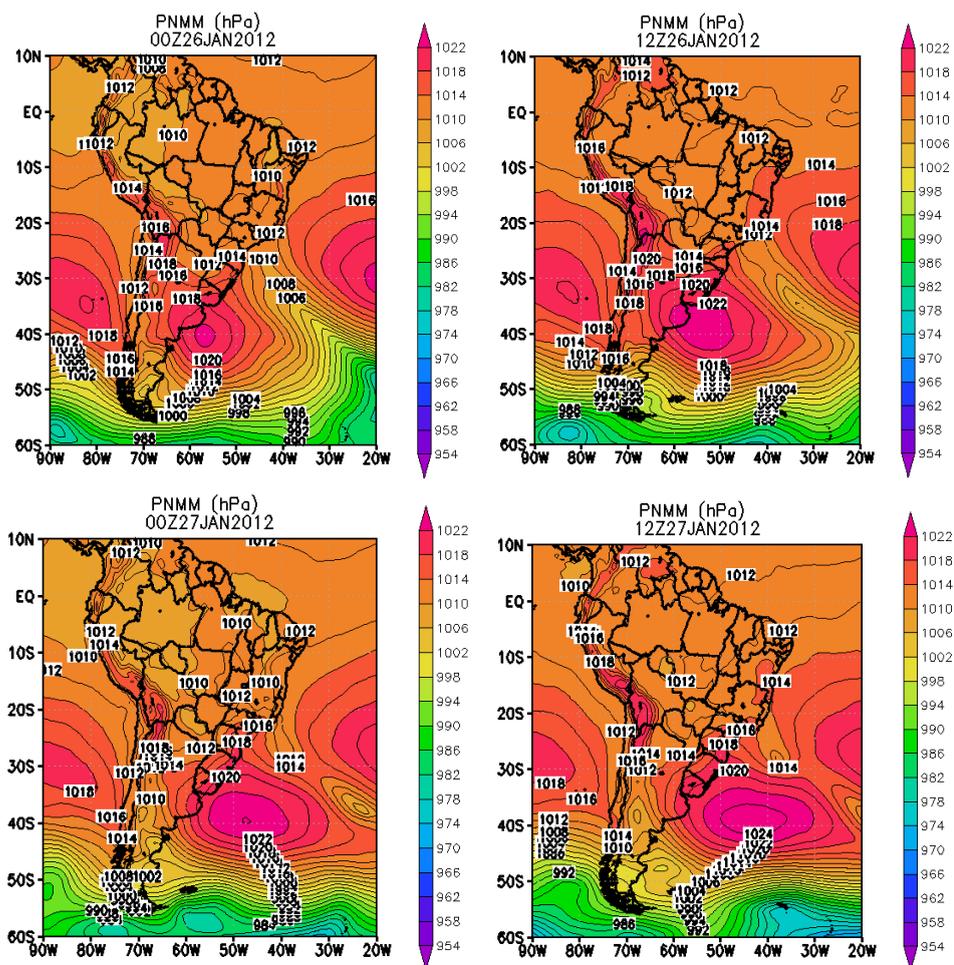


Figura 4.29 – Campos de Pressão ao Nível Médio do Mar (hPa) nos dias 14 de janeiro as 00Z (a), 12Z (b) , 15 de janeiro as 00Z (c) 12Z (d) e 16 de janeiro as 00Z (e) e 12Z (f).

A Figura 4.30 mostra as linhas de corrente e a magnitude do vento em baixos (850 hpa), médios (500 hpa) e altos níveis (200 hpa). Nos altos níveis observa-se a presença da AB e de um cavado sobre o NE brasileiro e oceano adjacente (Figura 4.30 a). Nota-se a presença do Jato Polar e do Jato Subtropical.

Em baixos níveis, pode-se visualizar a ASAS no domínio da imagem, indicando transporte de vapor d'água em direção à costa sudeste do Brasil. Nota-se a presença de uma baixa pressão próxima a costa do Rio de Janeiro (Figura 4.30 c).

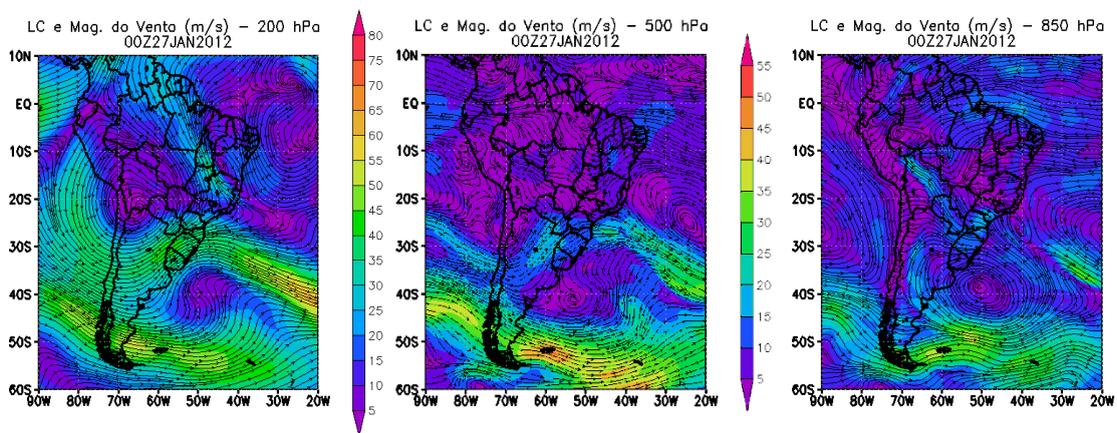


Figura 4.30 – Linhas de Corrente e Magnitude do Vento em 850 hpa (a), 500 hpa (b) e 200 hpa (c) do dia 15 de janeiro de 2016 às 18Z

Na Figura 4.31a observa-se valores positivos de divergência sobre a região de Duque de Caxias enquanto que na Figura 4.31 b são observados valores negativos de divergência não favorecendo o desenvolvimento convectivo na região.

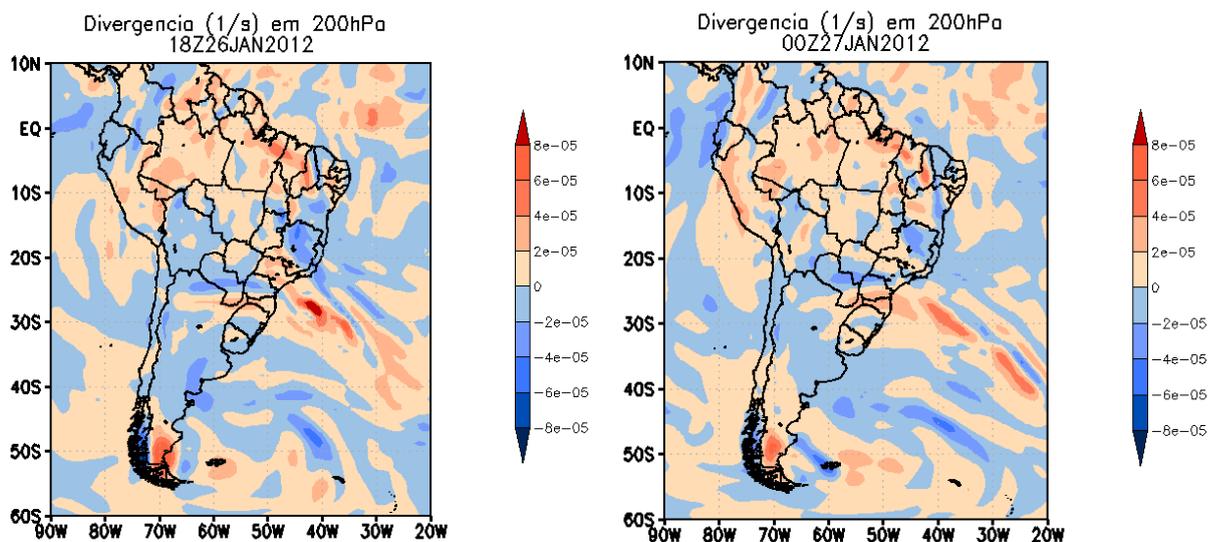


Figura 4.31 – Divergencia (1/s) em 200 hPa no dia 26 de janeiro as 18 Z (a) e 27 de janeiro as 00Z(b).

A Figura 4.32 mostra o campo de umidade específica e as linhas de corrente em 850 hPa no dia 26 de janeiro às 18Z e 27 de janeiro às 00Z. Observa-se no interior do continente, abrangendo o Estado do Rio de Janeiro, assim como a leste do cavado localizado sobre o oceano os maiores valores de umidade específica (em torno de 13 g/kg). Nota-se que apesar de apresentarem altos valores observados esse valor é menor que o encontrado no estudo de caso de extremo chuvoso (valores maiores que de 15 g/kg em 850 Hpa).

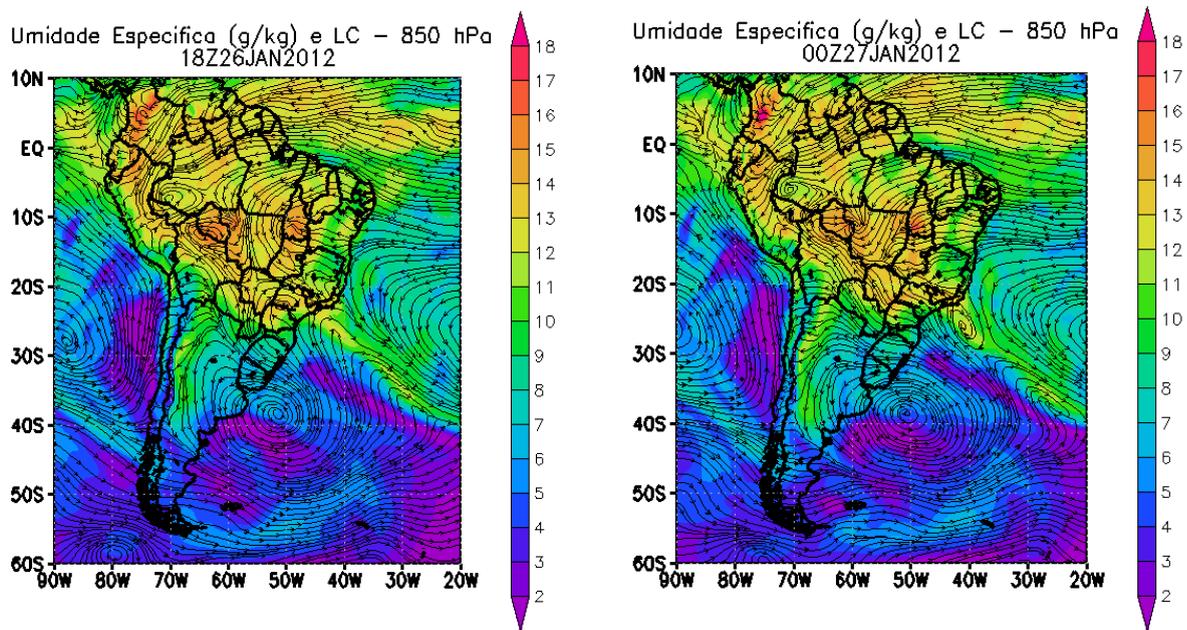
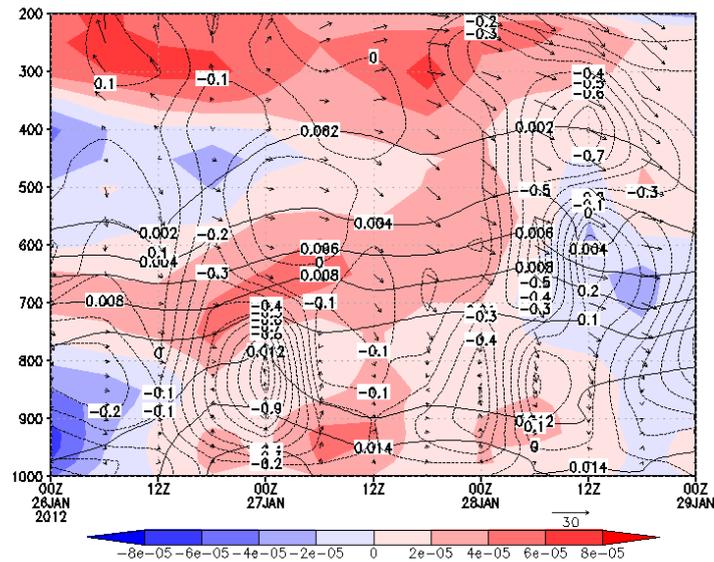


Figura 4.32 – Linhas de Corrente e Umidade Específica (g/kg) em 1000 hpa e 850 hpa

Na Figura 4.33 são observadas a variação vertical da vorticidade relativa, umidade específica, ômega e o vento horizontal na latitude e longitude referente a estação de Santa Cruz da Serra operada pelo INEA ao longo dos dias 26, 27 e 28 de janeiro de 2012. São observados valores de umidade relativa em superfície em torno de 14 kg/kg nos dias analisados. Nota-se no dia 26 de janeiro as 00z elevados valores de vorticidade ciclônica em baixos níveis enquanto que nos demais dias e no horário escolhido para a avaliação do evento de ZCAS (27 de janeiro as 00z) observa-se valores positivos de vorticidade indicando vorticidade anticiclônica na região de estudo.



4.33 – Variação vertical da vorticidade relativa (sombreado), umidade específica (Kg/Kg) (linhas sólidas), velocidade vertical ômega (Pa/s) (linhas tracejadas) e vento horizontal (m/s).

Ao analisar os índices de instabilidade no período estudado observam-se altos valores dos índices K e TT sobre grande parte do território brasileiro se estendendo até o oceano, região de atuação da ZCAS (Figura 4.34). Observam-se valores de TT em torno de 40°C e de K em torno de 30°C em todo Estado do Rio de Janeiro, valores estes que não são tão significativos.

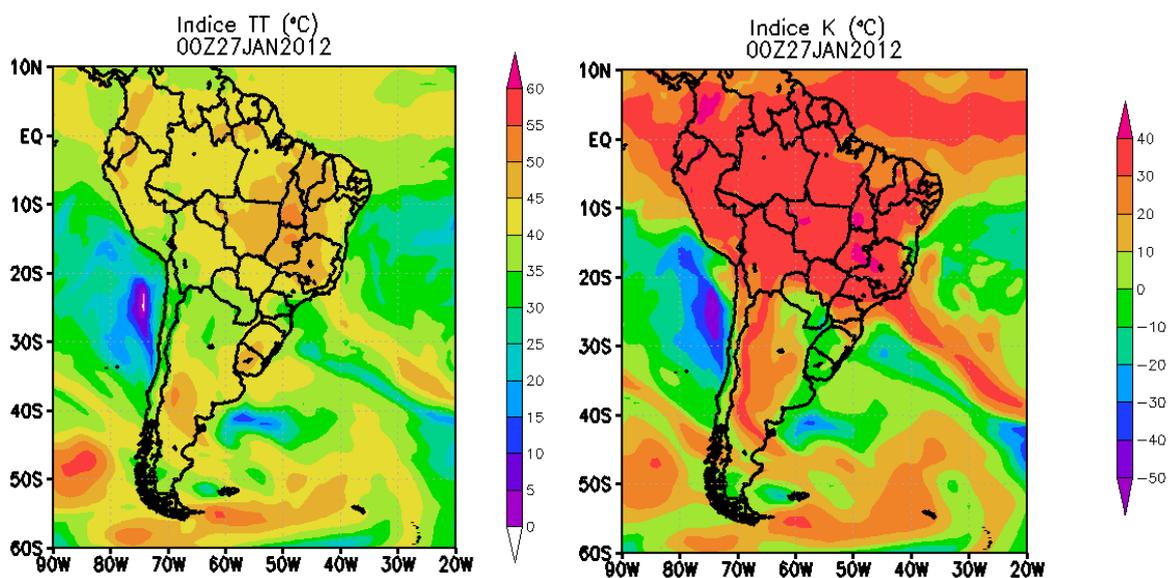


Figura 4.34 – Índices de instabilidade K (a) e TT (b) as 00Z do dia 27 de janeiro de 2012.

Na Figura 4.35 observa-se a sondagem obtida as 00Z do dia 27 de janeiro de 2012. O perfil vertical já apresenta condições de saturação em diversos pontos que caracteriza a passagem da sondagem pela nebulosidade da ZCAS. A sondagem apresenta altos valores dos índices de instabilidade avaliados nesse estudo. O índice de instabilidade K apresenta valor aproximado de 37°C e o índice TT valor aproximado de 45 °C. A CAPE é de 226 não demonstrando um grande potencial para formação de nuvens convectivas no horário analisado nem nos horários subsequentes visto que neste período não há aumento de temperatura e consequentemente não há um aumento considerável da CAPE.

Os altos valores observados dos índices indicam grande potencial para chuvas intensas, entretanto, apesar desse padrão termodinâmico favorável a ocorrência de sistemas convectivos essa região não se apresentou como dinamicamente muito favorável à convecção, como mostrado anteriormente,

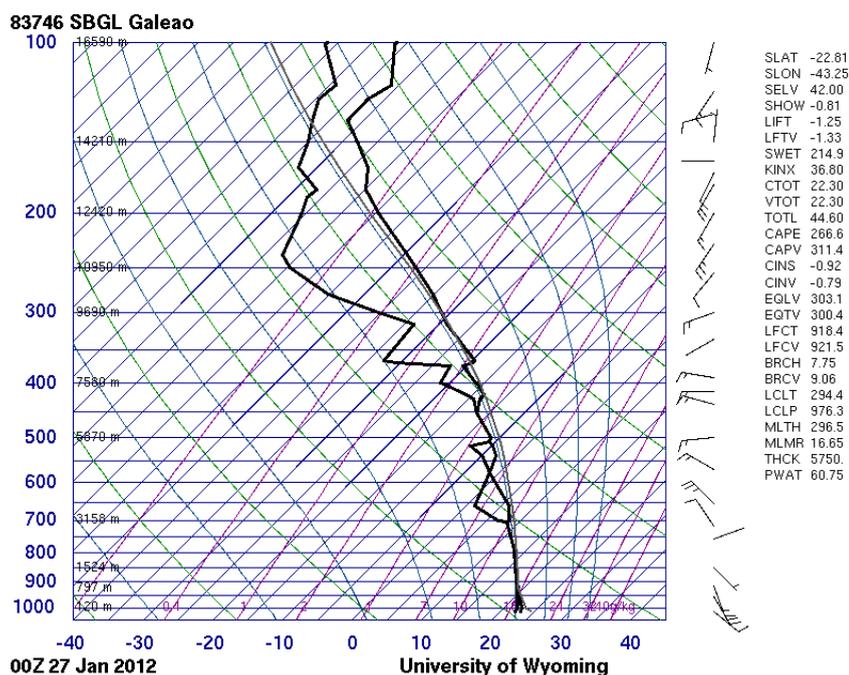


Figura 4.35 – Diagrama Skew- t as 00Z do dia 27 de janeiro.

Fonte: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES

O estudo de fenômenos meteorológicos que originam elevados acumulados de precipitação tem sido o foco de diversas pesquisas nas últimas décadas. O objetivo geral deste trabalho consistiu na avaliação dos indicadores dinâmicos e termodinâmicos dos eventos de ZCAS ocorridos no período de 2008 a 2016, buscando encontrar padrões nos casos selecionados como extremos chuvosos e extremos secos.

Foram analisados 62 casos de ZCAS compreendidos no período de janeiro de 2008 a março de 2016, a partir da análise dos dados pluviométricos referentes a cada caso levantado e através do emprego do percentil foram obtidos os 10% dos casos que originaram os menores acumulados pluviométricos, denominados extremos secos, e os 10% dos casos que registraram os maiores acumulados pluviométricos na área de estudo, denominados extremos chuvosos.

A partir da análise dos compostos de anomalia referente aos extremos foram obtidos os seguintes resultados:

- a). Em ambos os extremos estudados observam-se anomalias positivas de PNMM na região sul da AS. Nos extremos chuvosos observa-se uma área de anomalia positiva sobre o continente sul-americano abrangendo o sul do Brasil e elevada anomalia positiva sobre o OP enquanto que nos extremos secos esta anomalia é mais significativa e extensa sendo observada sobre parte do OP, OA, sul da Argentina e sul do Chile.
- b) Destaca-se uma anomalia negativa de PNMM significativa sobre o OA que se estende até o sudeste brasileiro.
- c) A presença do VCAN do NE em ambos os extremos e da AB bem configurada nos extremos chuvosos.
- d) Anomalias negativas de ômega no nível de 500hPa sobre a região de atuação da ZCAS e principalmente sobre o Estado do Rio de Janeiro nos extremos chuvosos, indicando valores mais intensos para movimento vertical na região indicando probabilidade de áreas de forte desenvolvimento convectivo associadas à ZCAS.

e) Eventos de ZCAS mais intensos tendem a apresentar maiores valores de umidade específica em 1000hPa, apresentam ainda um prolongamento de anomalias positivas em direção ao interior do nordeste brasileiro.

f) Ambos os extremos apresentam divergência positiva na Região Sudeste, sendo o núcleo de divergência mais intenso sobre o Sudeste brasileiro principalmente nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro nos extremos chuvosos.

e) Ambos os extremos apresentam anomalia de divergência positiva, com orientação NO-SE, na região de atuação da ZCAS. Entretanto, ressalta-se que nos extremos chuvosos o núcleo de divergência é mais intenso sobre o Sudeste e Centro-Oeste brasileiro, destacando-se os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro.

Importante ressaltar que os resultados obtidos nos compostos de extremos chuvosos são compatíveis com o padrão de ZCAS oceânica enquanto que os resultados referentes aos compostos de extremos secos são compatíveis com ZCAS continental de acordo com o estudo realizado por Carvalho et al. (2004).

Nos extremos chuvosos na região da ZCAS, fatores termodinâmicos e dinâmicos apresentaram-se favoráveis simultaneamente a ocorrência de fortes chuvas. Além da existência de instabilidade termodinâmica acima da média, também existia uma camada úmida profunda na atmosfera, o que é consistente com um ambiente associado à convecção profunda e, conseqüentemente, chuvas de caráter mais intenso. Esse padrão confirma uma potencialidade maior de se encontrar sistemas convectivos em escala menor embebidos na ZCAS, que podem produzir eventos de chuvas fortes, como as observadas na região de Duque de Caxias.

Com a finalidade de averiguar a significância estatística do estudo realizado utilizou-se o teste t de Student onde se observou que as anomalias meteorológicas da amostra considerada não são capazes de representar estatisticamente uma população, ou seja, consistem em valores extremos que se encontram na cauda da distribuição t de *Student* caracterizando a confirmação dos eventos extremos selecionados, ou seja, a significância estatística do presente estudo.

O evento de precipitação intensa ocorrido em 15 de janeiro de 2016 na cidade de Duque de Caxias foi escolhido como estudo de caso referente aos extremos chuvosos. Durante o período de atuação da ZCAS destaca-se a presença de um Sistema Convectivo Quase Estacionário, observado através das imagens de radar no dia em questão, sistema este que devido a sua persistência sobre a região possibilitou o alto acumulado pluviométrico observado na cidade. Também foram observadas as seguintes características:

- i) Nos altos níveis, a presença da Alta da Bolívia (AB), do Vórtice Ciclônico do Nordeste (VCAN) e do cavado da ZCAS, sistemas típicos de eventos de ZCAS;
- ii) Presença de um ciclone, caracterizado como um sistema subsinótico, sobre o Estado do Rio de Janeiro que nos dias subsequentes deslocou-se para sudeste se afastando da costa.
- iii) Nos baixos níveis, são observados altos valores de umidade específica na região de Duque de Caxias;
- iv) Elevados valores dos índices de instabilidade K e TT em todo o estado do Rio de Janeiro, o que indica grande potencial para chuvas intensas.
- v) Valor de CAPE bastante considerável para o horário da sondagem (12Z), demonstrando um grande potencial para formação de nuvens convectivas visto que ao longo do dia com o aquecimento diurno a temperatura máxima registrada foi de 32°C que indica que a CAPE observada na sondagem das 12Z aumentou consideravelmente no período da tarde.

O caso de ZCAS ocorrido no dia 26 de janeiro de 2012 foi escolhido como estudo de caso referente aos extremos secos, sendo observadas as seguintes características:

- i) Nos altos níveis observa-se a presença da AB e de um cavado sobre o NE brasileiro e oceano adjacente e a presença do Jato Polar e do Jato Subtropical.
- ii) Valores negativos de divergência sobre a cidade de Duque de Caxias no dia 27 de janeiro as 00Z, não favorecendo o desenvolvimento convectivo na região.

- iii) Valores de umidade específica em torno de 13 g/kg em todo Estado do Rio de Janeiro.
- iv) Valores positivos de vorticidade indicando vorticidade anticiclônica na região de estudo.
- v) O índice de instabilidade K apresentou valor aproximado de 37°C e o índice TT valor aproximado de 45 °C.
- vi) CAPE de 226 não demonstrando um grande potencial para formação de nuvens convectivas no horário analisado nem nos horários subsequentes visto que neste período não há aumento de temperatura e conseqüentemente não há um aumento considerável da CAPE.

Por meio dos estudos de casos analisados verificou-se que os indicadores mostram valores mais significativos para os eventos que ocasionaram elevados índices pluviométricos sobre a cidade de Duque de Caxias em relação aos eventos de chuva fraca. Tal característica mostra que a disponibilidade de energia atmosférica e os mecanismos dinâmicos e termodinâmicos presente nos eventos de extremos chuvosos tendem a ser mais intensos do que os encontrados nos eventos caracterizados como extremos secos.

A partir dos resultados apresentados, considera-se que a metodologia proposta apresentou bons resultados na identificação das condições atmosféricas que dão origem a eventos de ZCAS extremos sobre Duque de Caxias. Desta forma, o presente estudo colaborou para o entendimento do comportamento das variáveis meteorológicas analisadas em eventos de ZCAS extremos.

A fim de auxiliar os meteorologistas inseridos no ambiente operacional buscase, futuramente, aliar ao presente estudo a utilização de modelos atmosféricos e agregar diferentes índices de instabilidade que não foram contemplados no presente estudo.

CAPÍTULO 6: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBRIZZI, T., FERRAZ, S. E. T. An objective criterion for determining the South Atlantic Convergence Zone. *Frontiers in Environmental Science*, v. 3, artigo 23, 2015

BARCELLOS, P. C., 2009: Precipitações intensas na cidade do Rio de Janeiro: Probabilidade e Previsibilidade. Dissertação de Mestrado. COPPE. Rio de Janeiro.

BOLETIM CLIMANÁLISE ESPECIAL - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE, outubro, 1986).

BOSART, L. F., SANDERS, F., 1981: The Johnstown flood of July 1977: A long-lived convective system *J. Atmos. Sci.*, 38, 1616-1642.

BRAMBILA, M. C. V.; FERREIRA, N. J.; CAMPOS VELHO, H. F. Padrão de verão: ZCAS-VCAN atuando sobre a região sudeste do Brasil. Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMET), Fortaleza – Ceará, SBMET, 2004. Disponível em Anais de Congressos Brasileiros de Meteorologia: www.cbmet.com

CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. Extreme Precipitation Events in Southeaster South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, v. 15, p. 2377-2394, 2002.

CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal and Interannual Activity and Extreme Rainfall. *Journal of Climate*, v. 17, p. 88-108, 2004.

CARVALHO, P.R.B.; DOMINGUEZ, J.L.M. *Cartão de pagamento de Defesa Civil: da obtenção de recursos à prestação de contas*. Centro de Estudos Temáticos de Administração Pública. Santa Catarina. SC. Nov. 2013.

CASARIN, D. P.; KOUSKY, V. E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, n.1, 83-90, 1986.

CERQUEIRA, F. A., 2006: “Avaliação do modelo ETA durante episódios de ZCAS”. Rio de Janeiro, UFRJ. Defesa de Monografia.

CHEN, S.J; KUO, Y.H.; WANG, W.; TAO, Z.Y.; CUI, B. Modeling Case Study of Heavy Rainstorms along the Mei-Yu Front. *Monthly Weather Review*, v. 126, p. 2330-2351, 1998.

CPTEC, 1996. Climanálise: Especial - Edição Comemorativa de 10 anos. Disponível em: < <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman/boletim/cliesp10a/>>. Acesso em 3 de setembro de 2017.

CUNNINGHAM, C. A. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. *International Journal of Climatology*, UK, 26, n.9, 1165-1180, 2006.

DERECZYNSKI, C. P.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, C. O., 2008: Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro”. Aceito para publicação na *Revista Brasileira de Meteorologia*.

EM-DAT: Emergency Events Database. Disponível em: <<http://www.emdat.be/database>>. Acesso em 3 de setembro de 2017.

ESCOBAR, G.; ANDRADE, K., 2010 : Climatologia dos índices K e Total Totals (TT) para o Sul e Sudeste do Brasil. In *Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Belém – Pará.

FERREIRA, N. J., RAMÍREZ, M. V., GAN, M. A. Vórtices ciclônicos de altos níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil. In: *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 43.

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

FIGUEROA, S. N., SATYAMURTY, P., DIAS, P. L. S. Simulations of the Summer Circulations over the South American Region with an Eta Coordinate Model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 52, n. 10, p. 1573-1584, 1995.

GRIMM, A. M. Influência remota de fontes tropicais anômalas de calor. Tese de Doutorado. Departamento de Ciências Atmosféricas, IAG/USP, São Paulo (SP), 216p, 1992.

HART, R. E. A Cyclone Phase Space Derived from Thermal Wind and Thermal Asymmetry. *Monthly Weather Review*, v. 131, p. 585-616, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2015. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=330170>. Acesso em: 05 nov. 2015.

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

KALNAY, E., et al. Large-amplitude, Short-scale Stationary Rossby Waves in the Southern Hemisphere: Observations and Mechanistic Experiments to Determine their Origin. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 43, p. 252-275, 1986.

KAYANO, M. T.; KOUSKY, V. E. Sobre o monitoramento das oscilações intrasazonais. *Revista Brasileira de Meteorologia*. Vol.7, n.1, 593-602, 1992.

KODAMA, Y. Large-Scale Common Features of Subtropical convergence Zones (The Baiu Frontal Zone, The SPCZ, and the SCAZ). Part II: Conditions of

the circulation for generating the STCZs. *Journal of Meteorological Society of Japan*, v. 71, p. 581-610.1993.

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

KODAMA, Y., Roles of the Brazilian Plateau in the Formation of the SACZ. *Journal of Climate*, v. 25, p. 1745-1758, 2012.

KOUSKY, V. E e SILVA, V.B.S.; 2011: Extreme Precipitation events over eastern Brazil: Climatology and related synoptic features. in IV Simpósio Internacional de Climatologia, João Pessoa, Paraíba.

LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T. Submonthly convective variability over South America and South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, 12, 1877-1891, 1999.

Luz Barcellos, P.C.; Polifke da Silva, F.; Vissirini, F.S.B.; Magalhães, C.A.; Terra, J.M.; Dutra, M.R.F. & Amaral, I.C.F. 2016. Diagnóstico Meteorológico dos desastres naturais ocorridos nos últimos 20 anos na cidade de Duque de Caxias. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31 (3): 319 – 329. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631320150146>

MARENGO, J. A., 2010 : Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil” . In: FBDS (org) Mudanças Climáticas Eventos Extremos no Brasil. P: 05-19. FBDS & LLOYD’S.

MARTON, E. Oscilações intrasazonais associadas à Zona de Convergência do Atlântico Sul no sudeste brasileiro. Tese de Doutorado. Departamento de Ciências Atmosféricas, IAG/USP, São Paulo (SP), 204p, 2000.

MEIRELES, V. H. P e PALMEIRA, E. M. J., 2006 : Estudo de caso de chuvas intensas em Minas Gerais ocorrido durante período de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis - SC. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia.

MENEZES, W. F., PAIVA, L. M. S., JUSTI DA SILVA, M. G. A. e M, BELASSIANO, 2000: Estudo do ambiente favorável à propagação de sistemas convectivos de mesoescala sobre o Município do Rio de Janeiro. In Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro.

MOURA, R. C. W. e ESCOBAR, G. C. J., 2011: Climatologia sinótica de eventos extremos na região metropolitana do Rio de Janeiro. In: Anais IV Simpósio Internacional de Climatologia. 2011, João Pessoa, Paraíba.

MOURÃO, C. E. F. e MENEZES, W. F., 2006: “Estudo do comportamento de indicadores de tempo severo em casos de tempestades sobre o Rio de Janeiro”. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Florianópolis-SC.

MORETTIN, P. A., BUSSAB, W. O. Estatística Básica. 5ª Edição. São Paulo. Editora Saraiva, 2004

NASCIMENTO, A. E.; ROSNER, D. R.; FARIAS, R.; KUBALL, S. R. Estudo de casos de vórtices ciclônicos de mesoescala associados com a ZCAS. 2012.

NASCIMENTO, E. L., 2004: Identifying severe thunderstorm environments in Southern Brazil: analysis of severe weather parameters. In 22nd Conf. Severe Local Storms, Hyannis, EUA, Amer. Met. Soc.

NASCIMENTO, E. L., 2005: “Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil?”. Revista Brasileira de Meteorologia, vol. 20 (1), p. 121-140.

NASCIMENTO, M. X.; GROSSMAN, K. S., MENEZES, W. F., 2010: Aplicação de indicadores de tempo severo na caracterização de um ciclone intenso. In Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Bélem – Pará.

NINOMIYA, K., Similarity and difference between the South Atlantic Convergence Zone and the Baiu Frontal Zone simulated by na AGCM. J. Meteor. Soc. Jpn. V. 85, n.3, p.277-299, 2007.

NOBRE, C. Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: a importância do Oceano Atlântico. Climanálise, v. 3, n. 4, p. 30-35, abr. 1988.

ORLANSKI, I., 1975: A rational subdivision of scales for atmospheric processes. Bulletin of the American Meteorological Society, 56(5), p. 527-530.

PIELKE JR., R.A.; CARBONE, R. “Weather impacts, forecasts and policy: an integrated perspective”, Bulletin of the American Meteorological Society, v. 83, n.12,(Mar.), p. 393-402, 2002.

PMDC. *Plano de Emergência Municipal*. Secretaria Municipal de Defesa Civil e Políticas de Segurança. 2016.

PMDC. Programa: Apoio à prevenção e erradicação de riscos em assentamentos precários – *Plano Municipal de Redução de Risco. Município de Duque de Caxias*. Ministério das Cidades. 2013.

POLIFKE DA SILVA, F., 2011: Casos de Chuvas Extremas no Rio de Janeiro: Estabelecimento de Limiares para Indicadores Atmosféricos. Defesa de Monografia. Setembro de 2011. UFRJ – Departamento de Meteorologia - Rio de Janeiro.

QUADRO, M, F. L. Estudo de Vórtices Ciclônicos de Mesoescala Associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul. São Paulo: Tese de Doutorado em Meteorologia, Universidade de São Paulo, 2012.

QUADRO, M. F. L. SATYAMURTY, P.; RAO, V. B. Zona de Convergência do Atlântico Sul. Climanálise, Vol.3, 31-35, 1988.

QUADRO, M. F. L., 1994: Estudo de Episódios de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. Dissertação de Mestrado, INPE, S. J. Campos, SP, 123 p., 1994.

Reboita M.S., da Rocha R.P., Ambrizzi T., Sugahara S. 2009. South Atlantic Ocean Cyclogenesis Climatology Simulated by Regional Climate Model (RegCM3). *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-009-0668-7.

ROCKWOOD, T. A e MADDOX, R. A., 1998: Mesoscale and Synoptic leading to intense convection. The case of 7 June 1982. *Weather and Forecasting*, 3; 51-68.

SATTYAMURTY, P., L. F. MATTOS, 1989: Climatological lower tropospheric frontogenesis in midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 1355-1364.

SATYAMURTHY, P., NOBRE, C. A., SILVA DIAS, P. L., 1998, "Meteorology of the tropics: South America". In KAROLY, D. J., VINCENT, D. G. (eds), *Meteorology of Southern Hemisphere. Meteorological Monographs*, v. 27, n. 49, chapter 3A.

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

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. Tropics-South America. Chapter in *Meteorology of the Southern Hemisphere*. Ed. D.J.Karoly e D.G. Vincent. *Meteorological Monograph #49*, American Meteorology Society, 1998.

SATYAMURTY, P.; SANTOS, R. P.; LEMES, M. A. M. On the stationary trough generated by the Andes. *Monthly Weather Review*, 108, 510-519, 1980.

SAUSEN, T. M.; FERREIRA, C. C.; SOUSA JÚNIOR, M. A.; HANSEN, M. A. F.; PARDI LACRUZ, M. S.; SAITO, S. M.; MARCELINO, E., 2009: Projeto Cadernos Didáticos: Desastres Naturais e Geotecnologias. In: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2483-2490.

SERLA. Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí. Ênfase: Controle de Inundações. *Estudos Hidrológicos*. V.1. Governo do Estado do Rio de Janeiro. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Projetos Especiais. Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas. Convênio SERLA-2014

SILVA DIAS, M.A.F., 2000: "Índices de instabilidade para previsão de chuva e tempestades severas". Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo.

SILVA, J. F e REBELLO, E., 2010: Diagnósticos, Monitoramento e prognósticos das chuvas intensas no Rio de Janeiro: 06 a 09 de Abril de 2010. In: *Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 16., 2010, Belém, Pará. *Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010.

TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. , 2004: Episódios de chuvas intensas na região sul do Brasil. Parte I: configuração sinópticas associadas. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Fortaleza - Ceará. Anais.

TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. Dynamical and Synoptic Characteristics of Heavy Rainfall Episodes in Southern Brazil. *Monthly Weather Review*, v. 135, p.598-614, 2007.

TEIXEIRA, M.S.; SATYAMURTY, P. 2006: Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in southern Brazil. *Monthly Weather Review*.

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

VISSIRINI. F. S. B.; OHNUMA JR. A. A.; AREAS. I.; FERRELI. T. Plano Municipal de Redução de Risco de Desastres de Inundação para Duque de Caxias – Rio de Janeiro. Conferencia Internacional de Riscos Urbanos. Centro Europeu de Riscos Urbanos. Lisboa. 2016.

VISSIRNI F. S. B.; OHNUMA JR. A. A.; Ações de Defesa Civil Municipal para Prevenção de Desastres: Bacia do Rio Capivari – Duque de Caxias – RJ - Brasil. I Workshop Brasileiro para Avaliação de Ameaças, Vulnerabilidades, Exposição e Redução de Risco de Desastres. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. São José dos Campos. 2017.

VISSIRNI F. S. B.; OHNUMA JR. A. A.; Análise Pluviométrica na Bacia do Rio Capivari, Duque de Caxias – RJ. I Workshop Brasileiro para Avaliação de Ameaças, Vulnerabilidades, Exposição e Redução de Risco de Desastres. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. São José dos Campos. 2017.

WILKS, D. S., *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic Press, New York.,2006.

XAVIER, T. M. B. S., et al. *A Técnica dos Quantis e Suas Aplicações em Meteorologia, Climatologia e Hidrologia, com Ênfase para as Regiões Brasileiras*. Brasília: Thesaurus, 140 p., 2002.