



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/02.02.17.50-TDI

DESEMPENHO DE UM MÉTODO AUTOMÁTICO DE DETECÇÃO DE EPISÓDIOS DE ZCAS

Eliana Bertol Rosa

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada
pelos Drs. Luciano Ponzi Pezzi, e
Mario Francisco Leal de Quadro,
aprovada em 16 de fevereiro de
2017.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3NAANGP>>

INPE
São José dos Campos
2017

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/02.02.17.50-TDI

DESEMPENHO DE UM MÉTODO AUTOMÁTICO DE DETECÇÃO DE EPISÓDIOS DE ZCAS

Eliana Bertol Rosa

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada
pelos Drs. Luciano Ponzi Pezzi, e
Mario Francisco Leal de Quadro,
aprovada em 16 de fevereiro de
2017.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3NAANGP>>

INPE
São José dos Campos
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Rosa, Eliana Bertol.

R71d Desempenho de um método automático de detecção de episódios de ZCAS / Eliana Bertol Rosa. – São José dos Campos : INPE, 2017.

xxii + 109 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/02.02.17.50-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

Orientadores : Drs. Luciano Ponzi Pezzi, e Mario Francisco Leal de Quadro.

1. ZCAS. 2. OLR. 3. Interação oceano-atmosfera. I.Título.

CDU 528.8:551.581.2



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

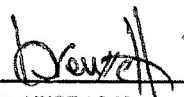
This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): *Ellana Bertol Rosa*

"DESEMPENHO DE UM MÉTODO AUTOMÁTICO DE DETECÇÃO DE EPISÓDIOS DE ZCAS"

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em
Sensoriamento Remoto

Dr. João Antonio Lorenzetti



Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Luciano Ponzi Pezzi



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Mario Francisco Leal de Quadro



Orientador(a) / IFSC / Florianópolis - SC

Dr. Pedro Leite Silva Dias



Convidado(a) / USP / Petrópolis - RJ

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

São José dos Campos, 16 de fevereiro de 2017

A minha família, em especial aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, João Augusto e Helenides, minhas irmãs, Gisele e Giane, ao Anderson, tia Marisa e tio Jonas, agradeço pelo amor e carinho, apoio e paciência que tiveram comigo.

Aos orientadores, Luciano e Mário, pela oportunidade, discussões e sugestões, que foram essenciais no desenvolvimento do trabalho, mas principalmente, pela confiança e constante motivação.

Aos colegas de laboratório do INPE, pela amizade e troca de conhecimentos, Camila, Carlos G., Isabel, Leilane, Léo, Mainara, Marcelo, Nelson, Paula, Regiane e Ueslei, agradeço por terem feito parte destes dois anos de mestrado, não teriam sido tão proveitosos sem a presença de vocês. Também aos amigos Pétala, Renato, Vivian e Lia, pela amizade que construímos.

Aos professores do curso de Sensoriamento Remoto e aos funcionários do INPE. Em especial ao prof. Camilo e à Gabi, pelas sugestões e discussões que foram de grande valia para o trabalho.

À banca avaliadora, João A. Lorenzetti e Pedro Leite Silva Dias.

Ao INPE pela oportunidade e infraestrutura e à CAPES pelo apoio financeiro.

Por fim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido um algoritmo de classificação de imagens orbitais de Radiação de Onda Longa (ROL) para identificação de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). O algoritmo considera, no campo diário de ROL, o padrão espacial da banda de nebulosidade associada à ZCAS e a permanência deste padrão por, no mínimo, quatro dias consecutivos. Os episódios de ZCAS detectados pelo algoritmo (classe CZCAS) apresentam uma banda de nebulosidade bem configurada e extensa em direção ao Atlântico Sudoeste, ocorrem concomitantemente ao Sistema de Monções da América do Sul (SMAS) e a Baixa do Chaco. A média de ocorrência foi de aproximadamente 8 dias de ZCAS por mês, com duração média de 5,75 dias, sendo que, do total, 65% ocorreram durante o pico do verão austral (dezembro a fevereiro) e 35% nos meses de novembro e março. Em relação aos episódios de ZCAS observados pelo CPTEC, a concordância entre os métodos foi de 56%. Através da classificação visual dos verões de 1997/98 e 2006/07, concluiu-se que ambas as metodologias apresentam erros inerentes aos processos de classificação. As principais diferenças entre os métodos são que, o algoritmo tende a detectar episódios de ZCAS bem definidos e mais boreais em relação aos observados, consequência da utilização de um método determinístico em restrição à análise visual. Também foi desenvolvida uma metodologia de identificação dos casos de ZCAS oceânica (ZCASOCN), que apresentam intensa atividade convectiva sobre o Atlântico Sudoeste. A ZCASOCN ocorre ao norte da posição média, com permanência de 6,6 dias. O resfriamento observado no oceano Atlântico Sudoeste uma semana antes da ZCASOCN favorece a entrada de ventos de sudeste no sul da América do Sul, bloqueando a ZCAS ao norte. Também foi observado um resfriamento (aquecimento) abaixo da banda de nebulosidade da ZCAS (ao sul da ZCAS) uma semana após a passagem do sistema convectivo, que possivelmente está associada com a retroalimentação ZCAS-nuvem-TSM. Durante a ZCASOCN também há uma tendência de circulação ciclônica nas correntes oceânicas superficiais, que segue o padrão dos ventos à 10 m da superfície. Os resultados sugerem que a alteração do escoamento superficial oceânico pode afetar a ressurgência costeira ao longo do litoral brasileiro

Palavras-chave: ZCAS. ROL. Interação Oceano-Atmosfera.

**PERFORMANCE OF AN AUTOMATIC METHOD FOR
DETECTION OF SOUTH ATLANTIC CONVERGENCE ZONE**

EPISODES

ABSTRACT

In this work, an OLR orbital image classification algorithm was developed to identify episodes of South Atlantic Convergence Zone (SACZ). The algorithm considers in the OLR daily field, the spatial pattern of the cloud band associated to the SACZ, and the permanence of this pattern for at least four consecutive days. The SACZ episodes detected by the algorithm (class CZCAS) present an extensive and well-configured cloud band towards the Southwest Atlantic, occurring simultaneously with the South American Monsoon System (SMAS) and Baixo do Chaco. The mean frequency of occurrence was about 1.4 episodes per month, lasting 5.75 days. 65% of the active SACZ occurred during peak summer in the southern hemisphere (December to February) and 35% in November and March. Regarding the SACZ episodes observed by the CPTEC, the agreement was 56%, however, through the visual classification of the summers of 1997/98 and 2006/07, it was concluded that both methodologies present errors inherent to the classification processes. The main differences between the methods are that the algorithm tends to capture episodes of SACZ that was well defined and more boreal in relation to those observed by CPTEC, as a consequence of the use of a deterministic method in restriction to the visual analysis. It was also developed a methodology to identify oceanic SACZ episodes (ZCASOCN), which have intense convective activity on the Southwest Atlantic. The ZCASOCN occurs to the north of the average position, with permanence of 6.6 days. The cooling observed in the Southwest Atlantic Ocean a week before ZCASOCN favored the entry of southeast winds in South America, blocking the SACS to the north. A cooling (heating) was also observed below the SACZ cloudiness range (south of SACZ) one week after the convective system pass, which is possibly associated with the SACZ-cloud-SST feedback. During the ZCASOCN there is also a tendency for cyclonic circulation in the surface ocean currents, which follows the pattern of winds at 10 m from the surface. The results suggest that the alteration of ocean surface runoff can affect the coastal upwelling along the Brazilian coast.

Keywords: SACZ. OLR. Ocean-Atmosphere Interaction.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1: Episódio de ZCAS ocorrido entre 26 e 31 de janeiro de 2013.	6
Figura 2.2: Dipolo do Atlântico Sul.....	13
Figura 2.3: Circulação de larga e meso escala no Atlântico Sudoeste.....	15
Figura 3.1: Inter calibração entre os sensores HIRS e Imageador.....	18
Figura 3.2: Representação do ciclo anual de precipitação na AS.....	19
Figura 3.3: Área de ocorrência da ZCAS e calculo da EXC.....	26
Figura 4.1: Configuração final do fluxograma do algoritmo de classificação dos episódios de ZCAS.....	36
Figura 4.2: Distribuição anual (a) e mensal (b) dos dias ativos de ZCAS selecionados pelo método objetivo.	39
Figura 4.3: ROL e Theta-e em 500 hPa para as classes CZCAS.....	42
Figura 4.4: Composto de DU e LC em 850 hPa e DV e LC em 200 hPa para a classe CZCAS.....	45
Figura 4.4: Composto de DU e LC em 850 hPa e DV e LC em 200 hPa para a classe CZCAS.....	45
Figura 4.5: Tar em 900 hPa e VV e Z em 500 hPa para a classe CZCAS.....	49
Figura 4.6: Diferença entre dias de ZCAS observados (selecionado pelo método (subjeto) e detectados (selecionados pelo método objetivo).....	56
Figura 4.7: Casos de ZCAOCN.....	58
Figura 4.8: ROL, DU e LC em 850 durante a ZCASOCN.....	60
Figura 4.9: TSM e UV na ZCASOCN e SZCAS	61
Figura 4.10: SW e UV 10 m na ZCASOCN e SZCAS.....	62
Figura 4.11: Diferença de Lags para TSM e UV durante a ZCASOCN.....	63
Figura 4.12: Diferença de TSM e UV entre a ZCASOCN e SZCAS.....	67
Figura 4.13: Diferença de SW e UV 10 m entre a ZCASOCN e SZCAS.....	68
Figura A.1: Episódio de ZCAS ocorrido entre 15 e 18/12/1997.....	82
Figura A.2: Campo diário de ROL ($W m^{-2}$) para os dias 16, 17, 18 e 19/01/1998.....	83
Figura A.3: Episódio de ZCAS ocorrido entre 16 e 21/02/1998.....	84
Figura A.4: Episódio de ZCAS ocorrido entre 27/12/2006 e 02/01/2007.....	85
Figura A.5: Sistema frontal associado à ZCAS entre 03 e 05/01/2007.....	86
Figura A.6: Episódio de ZCAS ocorrido entre 06 e 10/01/2007.....	87
Figura A.7: Sistema frontal associado a ZCAS entre 11 e 12/01/2007.....	88
Figura A.8: Episódio de ZCAS ocorrido entre 13 e 16/01/2007.....	89
.....	89
Figura A.9: Campo diário de ROL ($W m^{-2}$) entre 07 e 10/01/1998.....	90

Figura A.10: Campo diário de ROL e SEG < 230 W m ⁻²	91
Figura A.11: Campo diário de ROL e SEGs < 230 W m ⁻²	92
Figura B.1: Exemplo de um segmento de ROL da classe CZCAS.....	93

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1 - Modelo da tabela de contingência relacionando as classes CZCAS e SZCAS para os dados observados (Io) e detectados pelo algoritmo (Id).....	29
Tabela 4.1 – Testes de sensibilidade do algoritmo de classificação.....	33
Tabela 4.2: Tabela de contingência entre os dados observacionais (Io) e detectados pelo algoritmo (Id) para as classes de ocorrência de ZCAS (CZCAS) e não ocorrência (SZCAS).....	52
Tabela A.1: Classificação visual dos episódios de ZCAS no verão 1996/97....	80
Tabela A.2: Classificação visual dos episódios de ZCAS no verão 2006/07....	81
Tabela B.1: Data dos episódios de ZCAS detectados pelo algoritmo de classificação de imagens desenvolvido no presente trabalho. A média, variância e área da ZCAS (ZCASOCN) leva em conta os pixels que pertencem ao SEG (SEGO CN). Os casos oceânicos estão destacados na cor azul.....	94

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB – Alta da Bolívia.

ABr – Altiplano do Brasil.

AS – América do Sul.

ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul.

BC – Boletim Climanálise.

BiCSE – Bifurcação da Corrente Sul Equatorial.

CB – Corrente do Brail.

CBM – Confluência Brasil-Malvinas.

CCO – Corrente de Contorno Oeste.

CFSR - *Climate Forecast System Reanalysis.*

CFSv2 - *Climate Forecast System Version 2.*

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Clima.

CSE – Corrente Sul equatorial.

CZCAS – Com ZCAS.

Daily OLR CDR - *Daily Outgoing Longwave Radiation Climate Data Record.*

DAS – Dipolo do Atlântico Sul.

DJF – Dezembro-Janeiro-Fevereiro.

DU – Divergência do fluxo de umidade.

DV – Divergência dos ventos horizontais.

EFF – Elimina Frente Fria.

ESP – Coeficiente de especificidade.

EXC – Excentricidade.

FP – Falso Positivo.

HIRS – High Resolution Infrared Sounder.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
JBN – Jato de Baixos Níveis.
JBNAS – Jato de Baixos Níveis da América do Sul.
LC – Linha de Corrente.
LiC - Linha de Costa.
LSR – Limite Superior de ROL.
NCDC – *National Climate Data Center*.
NCEP/NCAR – *National Center for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research*.
NDJFM – Novembro-Dezembro-Janeiro-Fevereiro-Março.
NO-SE – Noroeste-Sudeste.
NOAA – *National Oceanic-Atmospheric Administration*.
OLR – *Outgoing Longwave Radiation*.
OMJ – Oscilação Madden Jullian.
PAS – Pacífico-América do Sul.
ROL – Radiação de Onda Longa.
SEG – Segmento de ROL.
SEN – Coeficiente de sensibilidade.
SESA – *Southeastern South America*.
SMAS – Sistema de Monção da América do Sul.
SZCAS – Sem ZCAS.
Tar – Temperatur do ar.
Theta-e – Temperatura potencial equivalente.
TSM – Temperatura da Superfície do Mar.
UV – Correntes oceânicas de superfície.
UV 10 m – Ventos horizontais à 10 m da superfície.
VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis.

VP – Verdadeiro Positivo.

VV - Velocidade Vertical ω .

Z – Altura Geopotencial.

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Contexto e justificativa.....	1
1.2 Hipótese do trabalho.....	3
1.3 Objetivo geral.....	3
1.4 Objetivos específicos.....	3
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1 Zona de Convergência do Atlântico Sul.....	5
2.2 Variabilidade temporal da ZCAS.....	9
2.3 Relação da TSM com a ZCAS.....	10
2.4 Circulação oceânica do Atlântico Sudoeste	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1 Descrição dos dados.....	17
3.1.1 Radiação de Onda Longa.....	17
3.1.2 Reanálise atmosférica	18
3.1.3 Reanálise oceânica	21
3.1.4 Dados observados.....	22
3.2 Classificação de imagens.....	24
3.2.1 Medidas de desempenho da classificação.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1 Teste de sensibilidade do algoritmo de detecção.....	33
4.2 Padrão espaço-temporal da ZCAS.....	37
4.3 Comparação entre os métodos objetivo e subjetivo	52
4.4 Processos de interação oceano-atmosfera durante a ZCASOCN.....	58
5 CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
APÊNDICE A – CLASSIFICAÇÃO VISUAL DOS EPISÓDIOS DE ZCAS NOS VERÕES DE 1997-98 E 2006-07.....	81
APÊNDICE B – DATAS E CARACTERÍSTICAS DOS EPISÓDIOS DE ZCAS.....	95
APÊNDICE C – REVISÃO DE CONCEITOS ATMOSFÉRICOS E OCEÂNICOS.....	101

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto e justificativa

Durante o verão austral a região tropical da América do Sul é caracterizada por uma estação chuvosa devido a atuação do Sistema de Monções da América do Sul (SMAS; GAN et al., 2004; REBOITA et al., 2010). A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) faz parte do SMAS e é caracterizada por uma banda de nebulosidade em sentido NO-SE, que se estende desde a Amazônia até o oceano Atlântico Sudoeste (KODAMA, 1992; 1993). Combinados, o SMAS e a ZCAS são responsáveis por grande parte da precipitação sobre a Amazônia, Centro-Oeste e Sudeste brasileiro durante o verão austral.

Nos últimos anos, estudos têm mostrado que a ZCAS está associada a extremos positivos de precipitação (CARVALHO et al., 2002), podendo causar danos sociais e econômicos através, por exemplo, de deslizamentos e enchentes. Por outro lado, no verão de 2014 foi verificada uma das secas mais severas já registradas no sudeste brasileiro, afetando a quantidade de água disponível para consumo, a agricultura e a produção de energia elétrica por hidrelétricas. Coelho et al. (2015 b) sugeriram que a redução de precipitação no verão de 2014 está associada com a escassa formação da ZCAS.

A distribuição espacial da precipitação associada a ZCAS está relacionada ao posicionamento da banda de nebulosidade. Carvalho et al. (2002) sugerem quatro padrões de ocorrência de ZCAS de acordo com a localização e intensidade da atividade convectiva, são eles: (1) ZCAS fraca e oceânica; (2) intensa e oceânica; (3) fraca e continental e; (4) intensa e continental.

Nos últimos 30 anos o Boletim Climanálise do Centro de Previsão do Tempo e Clima (CPTEC) tem contribuído tanto para a descrição dos episódios de ZCAS que se formam no verão austral, como também para a compreensão deste sistema meteorológico através da análise de seus parâmetros troposféricos (QUADRO et al., 2016). Porém, apesar da atuação da ZCAS ser de interesse direto à população, ainda não é possível prevê-la em todas as suas escalas espaciais e temporais. Estudos realizados com modelos numéricos resultaram em simulações que divergem da situação observada (JORGETTI, 2008; TOMAZIELLO e GANDU, 2013). Também há desacordo quanto ao reconhecimento dos eventos, uma vez que diferentes estudos utilizam diferentes critérios para identificá-los (AMBRIZZI; FERRAZ, 2015; CARVALHO et al., 2002, 2004; QUADRO, 1994). Além disso, poucos estudos foram realizados no sentido de compreender a influência da ZCAS no oceano Atlântico Sudoeste, restritos geralmente à influência da temperatura superficial do mar (BARREIRO et al., 2002; ROBERTSON et al., 2003).

Neste sentido, no presente estudo foram utilizados dados satelitais de Radiação de Onda Longa (ROL) emergente para o desenvolvimento de um algoritmo de classificação de imagens, que objetiva separar os dias ativos de ZCAS em uma classe, e inativos em outra, levando em consideração o padrão espacial de nebulosidade associado à ZCAS e a permanência deste padrão por, no mínimo, quatro dias consecutivos. Os casos de ZCAS detectados pelo algoritmo foram comparados aos casos observados pelo CPTEC, a fim de verificar a concordância, vantagens e desvantagens dos métodos objetivo e subjetivo de classificação. Reanálises atmosféricas foram utilizadas para avaliar o comportamento espaço-temporal da ZCAS e uma reanálise oceânica foi utilizada para analisar processos de interação

oceano-atmosfera em casos cuja atividade convectiva é intensa sobre o oceano Atlântico Sudoeste, levando em consideração a TSM e as correntes oceânicas superficiais.

1.2 Hipótese do trabalho

A ROL é comumente utilizada como indicativo de atividade convectiva na América do Sul Tropical (JONES e HOREL, 1990; CARVALHO et al., 2002; CHAVES; SATYAMURTY, 2006). A ZCAS apresenta um padrão espacial característico, com uma banda de nebulosidade orientada na direção NO-SE desde a Amazônia até o Atlântico Sudoeste, dentro da qual a atividade convectiva é intensa. A hipótese do presente trabalho é que a detecção de episódios de ZCAS, bem como a identificação dos eventos oceânicos, pode ser realizada por meio de uma única variável, a ROL.

1.3 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver e analisar o desempenho de um método objetivo de identificação de episódios de ZCAS por meio da classificação de imagens orbitais de ROL.

1.4 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Analisar o padrão espaço-temporal associado a ocorrência da ZCAS.
- b) Verificar as principais semelhanças e diferenças entre os episódios detectados através dos métodos objetivo (algoritmo de classificação) e subjetivo (dados observados) de identificação da ZCAS.
- c) Identificar episódios de ZCAS oceânica, cuja atividade convectiva é mais intensa sobre o oceano Atlântico Sudoeste.

d) Inferir sobre os processos de interação oceano-atmosfera durante a ocorrência de episódios de ZCAS oceânica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

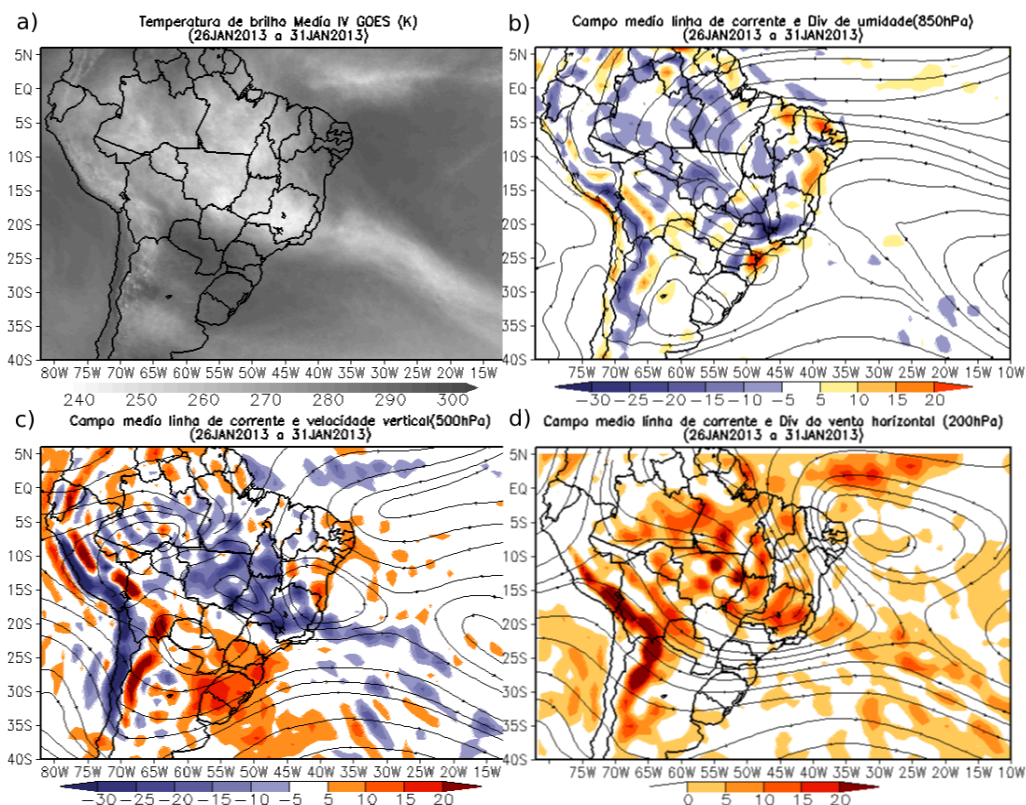
2.1 Zona de Convergência do Atlântico Sul

A sazonalidade do regime de precipitação na região Tropical da América do Sul é marcada pelo SMAS. Pela definição clássica, a monção é a reversão sazonal da circulação de larga escala em baixos níveis devido ao aquecimento diferenciado entre o continente e o oceano. No entanto, a média climatológica do campo de ventos em baixos níveis sobre a AS não apresenta este padrão. Porém, Zhou e Lau (1998) mostraram que ao considerar as anomalias mensais de circulação de verão (janeiro) e inverno (julho) a reversão fica evidente, atrelada ao aquecimento diferenciado. O estudo de Jones e Carvalho (2002) mostrou que as fases ativa e inativa do SMAS duram 4 e 5 dias, respectivamente. Elas são moduladas pela variação intrasazonal da circulação de baixos níveis, onde anomalias de vento de oeste (leste) na AS Tropical marcam a fase ativa (inativa).

Um dos fenômenos meteorológicos mais importantes que faz parte do SMAS é a ZCAS, banda de nebulosidade em sentido Noroeste-Sudeste (NO-SE) que se estende desde a Amazônia até o Atlântico Sudoeste e é responsável por grande parte dos índices pluviométricos registrados nesta área. Quadro (1994) definiu que a ZCAS é estabelecida quando as seguintes condições são satisfeitas por pelo menos quatro dias: (1) convergência de umidade em 850 hPa na região da ZCAS; (2) cavado em 500 hPa na costa leste da AS, com orientação NO-SE e associado a movimento vertical ascendente na região da ZCAS; (3) presença de uma crista e intenso gradiente de temperatura potencial equivalente em 500 hPa na região da ZCAS, que separa a massa de ar quente e úmida vinda dos trópicos do ar frio e seco vindo do sul e (4) vorticidade relativa positiva (anti-horária) em 200 hPa, relacionada a atuação da Alta da Bolívia (AB).

A Figura 2.1 ilustra um evento de ZCAS que ocorreu entre os dias 26 e 31 de janeiro de 2013. A Figura 2.1a mostra a posição média da banda de nebulosidade associada à ZCAS pelos menores valores de temperatura de brilho médio. Neste episódio, em baixos níveis formou-se uma circulação ciclônica associada a região de máxima convergência do fluxo de umidade (Fig. 2.1b) e de movimento vertical ascendente (Fig. 2.1c). Em altos níveis a Alta da Bolívia se posicionou no centro da América do Sul e um cavado esteve presente em 30 °O (Fig. 2.1d). A presença do cavado a leste dos Andes incita a divergência em altos níveis e é a configuração mais favorável à manutenção da banda de nebulosidade associada a ZCAS (JORGETTI, 2008).

Figura 2.1: Episódio de ZCAS ocorrido entre 26 e 31 de janeiro de 2013.



Fonte: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0113.shtml>

A ZCAS apresenta alta variabilidade espacial, podendo estender-se mais ou menos em direção ao oceano (ZCAS oceânica e continental, respectivamente), também pode ser intensa ou fraca, dependendo da intensidade da convecção. Sobre os mecanismos de formação e permanência, quatro fatores têm sido apontados como causa principal, são eles: (1) liberação de calor latente na AS; (2) efeitos remotos na permanência do cavado à leste da AS; (3) ancoramento da convergência em baixos níveis pela presença da cordilheira dos Andes e; (4) efeito da temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico (JORGETTI, 2008).

Figueroa et al. (1995), através de experimentos numéricos, encontraram que o aquecimento diabático (liberação de calor latente) sobre a Amazônia e o ancoramento da convergência em baixos níveis pelos Andes são os principais responsáveis pela formação da ZCAS, enquanto a circulação geral da atmosfera modifica o posicionamento da mesma. Lenters e Cook (1995) mostraram ainda a importância do contraste entre terra e mar (continentalidade) no estabelecimento da ZCAS, onde a formação de uma baixa continental durante o verão austral aumenta a convergência dos ventos em baixos níveis e a advecção de umidade entre a baixa e a ASAS, provocando os máximos de precipitação associados a ZCAS. Posteriormente, Barreiro et al. (2002) verificaram que apenas 30% da variância total da precipitação na região da ZCAS pode estar relacionada com a resposta à forçante de anomalia de TSM, sendo a maior parte (60%) devido a variabilidade interna da própria atmosfera. Outro resultado interessante dos autores é a independência da atividade convectiva sobre o continente à mudança na TSM. A ZCAS também pode se formar concomitantemente ou não ao SMAS. Quando ocorre em conjunto com ventos anômalos de oeste sobre a América do Sul Tropical, o SMAS está ativo, quando os ventos são de

leste, o SMAS está inativo (CARVALHO et al., 2004; JORGETTI et al., 2014).

Ainda sobre o processo de formação, tem sido discutido o papel de processos sinóticos, no espectro de frequência entre 2 e 10 dias. Siqueira e Machado (2004) analisaram três mecanismos de interação entre a convecção tropical e subtropical (Tipo 1, 2 e 3) sobre a América do Sul (AS). Os eventos Tipo 1 caracterizam-se pela entrada de sistemas frontais dos subtrópicos, ou de médias latitudes, para a região tropical, onde organizam a convecção e movem-se em direção ao norte até as baixas latitudes. Ocorrem principalmente nas estações de primavera e verão entre as latitudes de 36 à 6 °S. Os eventos do Tipo 2 são caracterizados pela organização da convecção tropical devido à presença de sistemas frontais nos subtrópicos, associados à intensificação gradativa da convecção tropical em direção ao SE/S do Brasil. Ocorrem principalmente no verão austral entre as latitudes de 6 à 26 °S. Devido ao fato de que 60% dos eventos Tipo 2 ocorreram concomitantemente à ZCAS (comparado aos dados observacionais do CPTEC), os autores sugerem que a interação Tipo 2 é o mecanismo sinótico necessário para a formação da mesma, embora nem sempre obedeça ao critério da permanência mínima de quatro dias. Por fim, os eventos Tipo 3 são aqueles em que quase não há interação entre a convecção tropical e subtropical, e permanecem quase estacionários nas médias latitudes.

Diversos estudos consideram apenas os meses de Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF) para analisar a ZCAS (JUNQUAS et al., 2015; KODAMA 2012; NOBRE et al., 2012). Porém, Ambrizzi e Ferraz (2015) mostraram que dos 48 eventos classificados pelo CPTEC entre 1995 e 2005, 30% ocorreram em novembro (14%) e março (16%), mostrando que uma parcela significativa dos casos é perdida quando se consideram apenas os meses

de DJF.

2.2 Variabilidade temporal da ZCAS

Sabe-se que a variabilidade da ZCAS depende de fatores externos e da variabilidade interna da própria atmosfera, apresentando variações desde a escala submensal até interdecadal (ROBERTSON; MECHOSO, 2000; BARREIRO; CHANG, 2002; ALMEIDA, 2007).

Em escala intrasazonal o Jato de Baixos Níveis da América do Sul (JBNAS) exerce papel crucial na intensidade e localização da ZCAS, através da gangorra de precipitação. Esta ocorre quando há atenuação (intensificação) do JBNAS e intensificação (atenuação) da ZCAS (NOGUÉS-PEAGLE; MO, 1997), sendo caracterizada por um padrão dipolo de atividade convectiva, com núcleos de sinais opostos no sul e sudeste brasileiro. Por outro lado, Carvalho et al. (2004) demonstraram que a modulação da variabilidade intrasazonal é diferente para cada tipo de evento. As principais diferenças são: (1) nos casos de ZCAS intensa, sem considerar a porção oceânica, a variabilidade é modulada pelo regime de ventos de oeste sobre a América do Sul (SMAS ativo); (2) eventos fracos ocorrem em regime de ventos de leste (SMAS inativo) e o padrão gangorra é estabelecido; (3) em ZCAS oceânicas a modulação seria por propagação de ondas de Rossby de médias latitudes e o padrão gangorra também é estabelecido e (4) a ZCAS continental é modulada por ondas de Rossby, exceto com sinal oposto ao da oceânica e ausência do padrão gangorra de precipitação.

Robertson e Mechoso (2000) encontraram que a variabilidade interanual da ZCAS está relacionada com um vórtice estacionário em 200 hPa, onde anomalias ciclônicas (anticiclônicas) estão associadas a eventos intensos (fracos) e maior (menor) subsidência do ar em direção ao sudoeste. Esta

variabilidade é bastante independente do El Niño Oscilação Sul (ENOS) devido a falta de correlação com a TSM do Pacífico Tropical. Ainda na escala interanual e associada ao ENOS, Carvalho et al. (2004) mostrou que a variabilidade da ZCAS oceânica (continental) parece ser modulada pela fase positiva (fria e neutra) do ENOS, enquanto outros casos (intensos e fracos) não parecem ser associada às anomalias de TSM do Pacífico. Além disto, Robertson e Mechoso (2000) também encontraram uma componente interdecadal (15-17 anos) através da correlação do vento em 200 hPa e a TSM sobre o Atlântico Sudoeste na faixa zonal entre 20-30°S.

2.3 Relação da TSM com a ZCAS

O acoplamento oceano-atmosfera se dá principalmente devido as trocas de calor, momentum e vapor de água na interface destes sistemas. O oceano transfere para a atmosfera vapor d'água e energia, que influenciam o ciclo hidrológico e o balanço energético da atmosfera. Ao mesmo tempo a atmosfera fornece para o oceano água doce, momentum e energia calorífica, que afeta a origem das massas d'água, força as ondas, as correntes geradas pelo vento e a circulação termohalina global (PEZZI et al., 2016).

Existem basicamente dois mecanismos pelos quais a TSM pode afetar o vento sobrejacente nas regiões tropicais (PEZZI et al., 2005). O primeiro é descrito por Lindzen e Nigam (1987) e associado à estabilidade hidrostática devido a variação na pressão ao nível do mar. Regiões com maior (menor) valor de TSM aquecem (resfriam) o ar sobrejacente, gerando zonas de baixa (alta) pressão, que induzem o movimento vertical ascendente (descendente). Uma célula de circulação onde o ar quente ascende e o a frio descende é dita termicamente direta, enquanto a situação contrária é denominada

termicamente indireta. O segundo mecanismo é relacionado a estabilidade estática. Este mecanismo propõe que a atmosfera próxima à superfície instabiliza (estabiliza) sobre águas mais quente (mais fria), o que proporciona (inibe) a transferência de *momentum* através da mistura vertical, favorecendo uma redução (aumento) do cisalhamento do vento em superfície (WALLACE et al., 1989).

Foi sugerido por Barreiro et al. (2002) que aproximadamente 60% da variabilidade da precipitação abaixo da ZCAS é explicada pela variabilidade interna da atmosfera, enquanto a TSM estaria relacionada à variabilidade remanescente da precipitação. Outros estudos indicam que a formação do sistema é independente da TSM, mas que a posição e a intensidade são afetadas por ela (CHAVES; SATYAMURTY, 2006; LENTERS; COOK, 1995). Ao mesmo tempo, Jorgetti et al. (2014) sugeriram que, em alguns casos específicos existe uma forçante do oceano para a atmosfera que favorece a formação e a manutenção da convecção, enquanto em outros casos a forçante é da atmosfera para o oceano.

Robertson e Mechoso (2000) mostraram evidências observacionais de que anomalias positivas (negativas) de TSM no Atlântico Sudoeste são associadas com o enfraquecimento (intensificação) da ZCAS. Por outro lado, experimentos com modelos de circulação global atmosférica demonstram que a precipitação na porção oceânica é intensa sobre águas quentes (BARREIRO et al., 2002). Chaves e Nobre (2004) e Almeida et al. (2007) sugeriram que a ocorrência de anomalia negativa de TSM abaixo da ZCAS é resultado de uma retroalimentação negativa entre ZCAS-nuvem-TSM, com a atmosfera forçando o oceano. A convecção sobre o Atlântico Sudoeste aumenta a quantidade de nuvens. Estas, por sua vez, impedem a radiação solar de atingir a superfície oceânica, resfriando-a. A convecção sobre águas

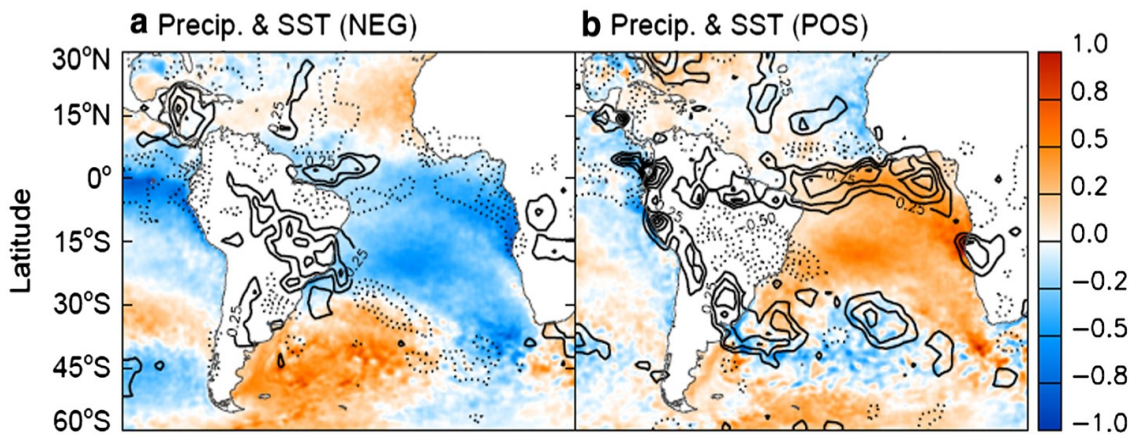
frias tende a cessar, dissipando a porção oceânica da ZCAS.

Nobre et al. (2012) demonstraram que o fato do modelo de circulação geral da atmosfera subestimar a precipitação sobre águas frias é uma consequência da falta de acoplamento termodinâmico na superfície, pois ao utilizarem um modelo acoplado oceano-atmosfera, a precipitação e os fluxos de calor tiveram valores semelhantes às observações na região da ZCAS. Desta forma os autores propuseram que a parte oceânica da ZCAS é uma célula de circulação termicamente indireta, com convecção intensa ocorrendo sobre baixa TSM.

Além dos processos termodinâmicos supracitados, Kalnay et al. (1986) observou que em um caso de ZCAS as anomalias negativas de TSM no Atlântico Sul foram forçadas pela atmosfera. A forçante seria devido a vortacidade ciclônica em baixos níveis, que induz o movimento vertical ascendente no oceano subjacente (bombeamento de Ekman), trazendo águas frias do fundo para a superfície. Ao mesmo tempo, a retroalimentação negativa ZCAS-nuvem-TSM intensifica a ATSM negativa, e o movimento ciclônico tende a cessar devido ao aumento do cisalhamento do vento. A retroalimentação dinâmica ZCAS-bombeamento de Ekman-TSM foi proposta também por Chaves e Nobre (2004), porém apenas para eventos de ZCAS intensa, sendo uma ordem de magnitude menor que a retroalimentação termodinâmica ZCAS-nuvem-TSM.

O principal modo de variabilidade de TSM do Atlântico Sul de acordo com Venegas et al. (1997), o Dipolo do Atlântico Sul (DAS), também apresentou correlações com a ZCAS. De acordo com Bombardi et al. (2014), durante o DAS negativo o JBNAS é enfraquecido e anomalias positivas de precipitação ocorrem sobre a região da ZCAS (Figura 2.2). A situação é inversa para o DAS positivo.

Figura 2.2: Dipolo do Atlântico Sul



Dipolo do Atlântico Sul na fase negativa (a) e positiva (b). As cores são anomalias de TSM e os contornos anomalias de precipitação positivas (contínuo) e negativa (pontilhado).

Fonte: Bombardi et al. (2014).

Recentemente o trabalho de Coelho et al. (2015 b) mostrou que uma situação desfavorável a formação da ZCAS está relacionada a anomalias de circulação atmosférica e TSM no Atlântico Sudoeste, geradas remotamente. Anomalias positivas de TSM próximas à Austrália teriam forçado o movimento convectivo, que se propagou zonalmente via célula de Walker e meridionalmente via célula de Hadley. Em altos níveis, a convergência e subsidência associadas à anomalia na célula de Hadley formaram um padrão de teleconexão trópico/extra-trópico entre o Pacífico sudeste e o Atlântico, via propagação de ondas Rossby. Um centro de alta pressão barotrópico se estabelece sobre o Atlântico sudoeste desencadeando: (1) bloqueio da migração para norte dos sistemas convectivos causadores de chuva (frentes frias); (2) anomalia positiva de TSM no Atlântico sudoeste; (3) entrada de ar quente e seco no sudeste brasileiro e (4) intensificação do fluxo de ar úmido da Amazônia em direção ao sul brasileiro.

2.4 Circulação oceânica do Atlântico Sudoeste

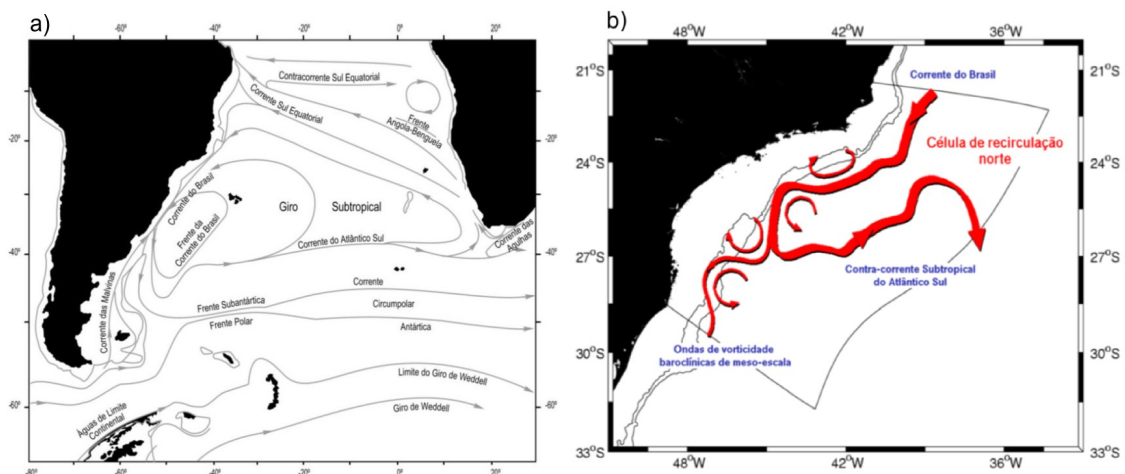
A circulação de larga escala do oceano superficial é caracterizada por um giro anticiclônico forçado pelo sistema de ventos sobrejacentes (Figura 2.3 a). De acordo com Stramma e England (1999), o giro subtropical do Atlântico Sul é limitado ao sul pela Corrente do Atlântico Sul (CAS), à leste pela Corrente de Benguela, à norte pelo ramo sul Corrente Sul Equatorial (CSE) e fecha-se na porção oeste através da Corrente do Brasil (CB), a Corrente de Contorno Oeste (CCO) deste giro. A CB forma-se a partir da Bifurcação da Corrente Sul Equatorial (BiCSE). Rodrigues et al. (2007) demonstraram que a região da BiCSE na termoclina superior (acima de 200 m) varia sazonalmente. Devido a mudanças sazonais na faixa do rotacional nulo da tensão de cisalhamento do vento de grande escala, a BiCSE varia de ~13°S em novembro à ~17°S em julho. Ainda, a mudança do padrão de ventos altera o transporte da CSE e, conseqüentemente a intensidade do escoamento da CB.

Mattos (2006) fez uma descrição do cenário oceânico quase sinótico no Atlântico Sudoeste. De maneira geral, demonstrou o padrão de meandros e vórtices que se formam ao longo da CB e o surgimento da Célula de Recirculação Norte (CRNCB) a partir do afastamento de parte da CB em direção à *offshore*. A CRNCB dá origem à Contra-Corrente Subtropical do Atlântico Sul, que se separa parcialmente do escoamento médio.

Outro fenômeno oceanográfico importante no Atlântico Sudoeste é a ressurgência costeira. Este processo ocorre principalmente entre Vitória-ES, até Cabo Frio-RJ, onde a linha de costa inverte o sentido da orientação. A ressurgência é modulada pela variabilidade sazonal do padrão de ventos e ocorre durante o verão austral, quando os ventos de nordeste, dependendo da intensidade e persistência, favorecem o

transporte de água na camada de Ekman em direção ao oceano aberto. Por continuidade a água abaixo desta camada tende a ascender, podendo ocorrer afloramento da Água Central do Atlântico Sul em superfície, fria e menos salina que a Água Tropical (AT). Desta forma a TSM é alterada em função de processos dinâmicos de interação oceano-atmosfera.

Figura 2.3: Circulação de larga e meso escala no Atlântico Sudoeste.



Sistema de correntes do giro subtropical do Atlântico Sul (a) e resumo esquemático do cenário quase-sinótico no sudeste brasileiro.

Fonte: (a) Peterson e Stramma (1991), (b) Mattos (2006).

Em aproximadamente 38 °S encontra-se a Confluência Brasil-Malvinas (CBM). Esta é uma zona frontal oceânica caracterizada por forte gradiente meridional de TSM devido ao encontro da CB, quente e salina, com a Corrente das Malvinas (CM) vinda de sul, fria e menos salina. Estudos oceanográficos mostram que a estabilidade da Camada Limite Atmosférica Marinha (CLAM) apresenta variabilidade interanual devido ao deslocamento norte-sul da CBM (TOKINAGA; TANIMOTO 2005). Pezzi et al. (2005, 2009) mostraram que na CBM a CLAM é modulada pelo forte gradiente de TSM em ocasiões em que a atmosfera não é perturbada por sistemas de grande escala, como sistemas frontais e ciclones extra-tropicais.

Sobre águas quentes (norte de 39°S) a estabilidade estática da CLAM diminui e induz a intensificação dos ventos. Uma vez que a CLAM está instável e turbulenta, o cisalhamento vertical é reduzido, o que aumenta a transferência de momentum da atmosfera para o oceano. A situação é inversa ao sul da frente oceanográfica, sobre as águas frias da CM.

Por fim, os efeitos da variabilidade climática e de mesoescala do Oceano Atlântico no tempo e clima da América do Sul ainda não são completamente entendidos. No entanto, é sugerido que esta região tem um papel importante para o tempo e clima do Brasil, especialmente suas regiões Sul e Sudeste, pois vários fenômenos atmosféricos que afetam o continente sul-americano surgem ou passam pelas regiões costeiras do Oceano Atlântico Sudoeste (PEZZI et al., 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição dos dados

3.1.1 Radiação de Onda Longa

O dado de ROL utilizado é o *Daily Outgoing Longwave Radiation Climate Data Record* (Daily OLR CDR) versão v01r02, do *Climate data Record Program* (CDR) da *National Oceanic-Atmospheric Administration* (NOAA). Os dados são de média diária e estão disponíveis no site <https://www.ncdc.noaa.gov/cdr/atmospheric/outgoing-longwave-radiation-daily>. Para estimar a ROL a partir da radiância de bandas espectrais estreitas dos sensores *High Resolution Infrared Radiation Sounder* (HIRS), um algoritmo multiespectral foi desenvolvido por Ellingston et al. (1989). Posteriormente a técnica foi aplicada aos sensores Imageadores do *Geostationary Operational Environmental Satellites* (GOES) por Lee et al. (2004).

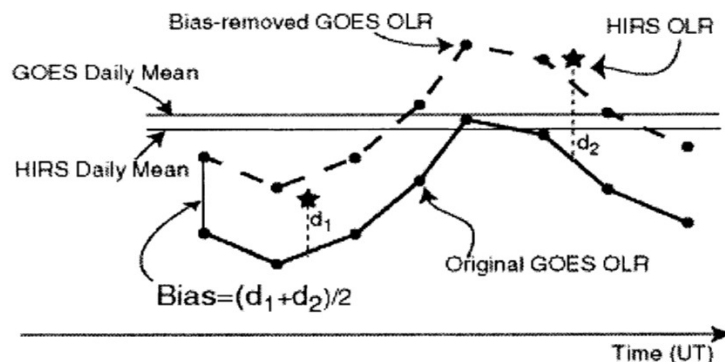
A base do algoritmo é a mesma para ambos os instrumentos e consiste em uma soma ponderada da radiância dos canais espectrais sensíveis à: (1) temperatura próxima à superfície; (2) temperatura da alta troposfera; (3) temperatura de topo de nuvem; (4) e (5) conteúdo de vapor de água na troposfera e alta troposfera, respectivamente. A fórmula base do algoritmo é $ROL = a_0(\theta) + \sum_i a_i(\theta) N_i(\theta)$, onde $a_0(\theta)$ é um coeficiente de regressão fixo, $a_i(\theta)$, o coeficiente referente ao i-ésimo canal, $N_i(\theta)$ a radiância observada pelo sensor no i-ésimo canal e theta é o ângulo zenital do satélite (ELLINGSON et al., 1989).

Devido ao maior número de canais e precisão das medidas, o sondador HIRS fornece informações mais completas sobre as condições da superfície e

atmosfera em relação aos Imageadores. Por outro lado, o HIRS está a bordo de satélites com órbita polar, captando a radiância local apenas duas vezes por dia, o que é uma desvantagem na estimação do ciclo diurno da ROL. Os Imageadores, por estarem a bordo de satélites geoestacionários detectam a radiância com alta resolução temporal. A limitação destes é a baixa acurácia da medida devido a limitação dos canais disponíveis (LEE et al., 2004).

No produto Daily OLR CDR, Lee et al. (2004) combinou a acurácia do HIRS com a resolução temporal do Imageador. O desvio (*bias*) da estimativa da ROL ao longo do dia obtida pelo Imageador é removido com base nos dois valores de ROL obtidos pelo HIRS no mesmo dia.

Figura 3.1: Inter calibração entre os sensores HIRS e Imageador.



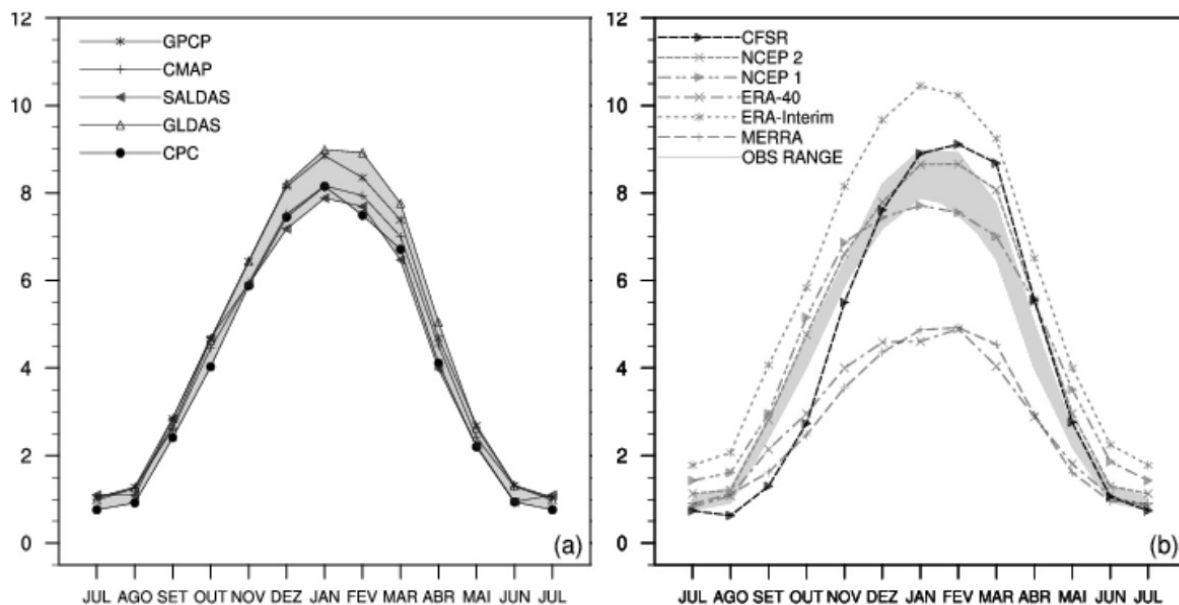
Fonte: Lee et al. (2004)

3.1.2 Reanálise atmosférica

Para análise dos campos atmosféricos foram utilizadas as reanálises *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR; SAHA et al., 2010), que cobre o período de 1979 à 2010, e a sua extensão pelo modelo operacional *Climate Forecast System Version 2* (CFSv2; SAHA et al., 2014), disponível no período entre 2011 e 2017. Os dados estão disponíveis no site <http://rda.ucar.edu/>. As principais vantagens do CFSR em relação a maioria das demais reanálises

atmosféricas são o sistema de modelos numéricos com acoplamento atmosfera-oceano-terra-gelo, assimilação dos dados satelitais de radiância e alta resolução vertical (64 níveis) e horizontal (~ 38 km). Além disto, Quadro et al. (2012) verificaram a eficiência de um conjunto de seis reanálises na representação do ciclo anual de precipitação na região da ZCAS (Figura 3.2), comparadas com dados observacionais. Os autores concluem que o CFSR apresenta o menor viés para todo o continente da AS e tem uma boa representação do ciclo anual de precipitação climatológica na área da ZCAS (Fig. 3.2). Também destacam que a precipitação acumulada é uma variável que reflete tanto os dados observados inseridos na reanálise, como a física do modelo e o padrão geral de circulação atmosférica. Pelos motivos supracitados, considerou-se prudente a utilização do CFSR para análise dos campos médios associados à ZCAS.

Figura 3.2: Representação do ciclo anual de precipitação na AS.



Precipitação climatológica (mm/dia) dos produtos de observação (a) e das reanálises (b) para a média da região de atuação da ZCAS sobre o continente.

Fonte: Quadro et al. (2012).

Os modelos oceânicos e de gelo marinho são idênticos no CFSR e no CFSv2. Já os modelos atmosférico e de terra diferem. Entre as diferenças estão a melhoria na resolução superficial de $\sim 0,3^\circ$ para $\sim 0,2^\circ$ e algumas configurações, descritas em Saha et al. (2014). Os autores mostram ainda que o CFSv2 apresenta melhorias significativas na previsão intrasazonal, na temperatura superficial sobre os Estados Unidos da América e na TSM global, e não indicam nenhum tipo de perda em relação ao CFSR.

A série temporal utilizada é a mesma para os dados de ROL e engloba os meses de NDFJM de 1996 à 2015. Ressalta-se que os dados são do CFSR até dezembro de 2010 e do CFSv2 de janeiro de 2011 à dezembro de 2015. As variáveis utilizadas são: (1) componentes zonal e meridional do vento à 10 metros da superfície; (2) temperatura do ar em 900 hPa; (3) ventos horizontais em 850 hPa; (4) umidade específica em 850 hPa; (5) temperatura do ar em 500 hPa; (6) umidade relativa em 500 hPa; (7) velocidade vertical em coordenadas de pressão (ω) em 500 hPa; (8) altura geopotencial em 500 hPa; (9) componentes zonal e meridional para 200 hPa. Todos estes dados são do tipo análise e possuem resolução espacial de $0,5^\circ$. A resolução temporal é de 6 horas, ou seja quatro medidas por dia, dos quais calculou-se a média diária. Foi utilizado ainda um décimo dado, de radiação de ondas curtas incidente na superfície (SW). Este, porém, é do tipo “6-hour Average”, ou seja, é a média das 6 horas anteriores ao horário disponível, com resolução espacial também de $0,5^\circ$. Como o objetivo é analisar o fluxo de SW incidente abaixo da ZCAS, foi selecionado apenas o período das 18h em *Universal Time Coordinated* (UTC), que corresponde em horário local à média do período entre as 10h e as 16h, quando há incidência de radiação solar sobre a AS.

3.1.3 Reanálise oceânica

A reanálise Glorys2v4 é produzida pelo centro Francês de previsão e análise do oceano global, Mercator Ocean, e faz parte do programa COPERNICUS no contexto do monitoramento marinho. O objetivo é prover simulações numéricas do tipo *eddy permitting* associadas a assimilação de dados observacionais, assim descrevendo a evolução espaço-temporal das variáveis: (1) altura da superfície do mar acima do geóide; (2) temperatura potencial; (3) salinidade; (4) velocidade zonal e meridional; (5) área da fração de gelo; (6) espessura da camada de gelo; (7) velocidade zonal e meridional do gelo.

No presente trabalho serão utilizadas as variáveis (2) e (4) no primeiro nível vertical, que corresponde a profundidade de 50 cm. O período utilizado é de NDJFM de 1996 à 2015. A seguir são feitas algumas considerações relevantes a respeito do modelo e das variáveis utilizadas. Todas as informações foram retiradas do Manual do Usuário, (<http://cmems-resources.cls.fr/documents/PUM/CMEMS-GLO-PUM-001-025-011-017.pdf>) e do Documento de Informação de Qualidade (<http://cmems-resources.cls.fr/documents/QUID/CMEMS-GLO-QUID-001-025-011-017.pdf>).

O modelo oceânico é baseado na versão 3.1 do NEMO (*Nucleus for European Models of the Ocean*) na configuração ORCA025, com 75 z-níveis verticais, sendo 24 nos primeiros 100 m. Os produtos são disponibilizados em saídas diárias, com grade regular de $\frac{1}{4}^\circ$. As forçantes atmosféricas são da reanálise ERA-Interim, porém correções baseadas em dados satelitais são feitas nos campos de precipitação e fluxos radiativos em superfície, além de correções específicas para altas latitudes.

O grande diferencial da reanálise Glorys2v4 é a assimilação de dados de altimetria, medidos por satélite desde 1993, após o lançamento do TOPEX POSEIDON e do ERS-1. Além destes, também assimila: (1) dados diários de

TSM do produto Reynolds 1/4° AVHRR-only daily SST version 2 (<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/sst/oi-daily.php>); (2) perfis in situ de temperatura e salinidade do banco de dados CORA 4.1 (<http://www.coriolis.eu.org/Science/Data-and-Products>) e (3) concentração do gelo marinho dos produtos do IFREMER/CERSAT.

A temperatura do Glorys2v4 apresenta um desvio médio menor que 0,4 °C, comparado à climatologia Levitus (2009) e aos dados in situ, sendo que os maiores erros estão nas camadas entre 50-100 m de profundidade e nos oceanos Atlântico Norte e Sul. O Erro Quadrático Médio (EQM) das correntes oceânicas é em média menor que 0,25 m s⁻¹ na coluna de água, com máximo ocorrendo no núcleo da Equatorial Under Current. Ressalta-se que o EQM decai consideravelmente em todas as variáveis após o lançamento das boias ARGO, em 2002. Os dados estão disponíveis no site <http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>.

3.1.4 Dados observados

Os dados observacionais foram retirados das edições do Boletim Climanálise (BC) que estão disponíveis *online* no site: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>. O BC é desenvolvido pelo Centro de Previsão de Tempo e Clima (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dias de ZCAS descritos pelo BC (dias observados) serão utilizados como meio de comparação às datas encontradas pelo método objetivo. É importante ressaltar que existem algumas inconsistências inerentes ao processo subjetivo de classificação que devem ser levadas em consideração. Entre elas, pode-se citar que a análise visual de imagens orbitais (ou subjetiva) depende, entre outros, de três fatores: (1) a imagem a ser interpretada (faixa espectral, resolução espacial, etc...), (2)

conhecimento prévio do analista e (3) sistemática (regra de decisão) que será utilizada para a identificação dos alvos. Além disso, existem dois períodos distintos nas edições do BC. Entre 1996 e 2005 as análises são baseadas, principalmente, nas imagens orbitais de temperatura de brilho, onde se observa a banda de nebulosidade associada a ZCAS. Em cada caso as informações disponíveis são diferentes. Alguns são descritos com auxílio dos campos de divergência do vento, outros com precipitação e/ou linhas de corrente, ou apenas com a imagem de satélite. Os níveis verticais atmosféricos variam e a mudança na qualidade das imagens de satélite ao longo do tempo é nítida.

Por outro lado, entre 2005 e 2015 as descrições passam a ser sistemáticas, disponibilizando para a grande maioria dos casos: (1) imagem de satélite da temperatura de brilho; (2) mapa de linha de corrente e divergência do fluxo de umidade em 850 hPa; (3) mapa de linha de corrente e velocidade vertical (ômega) em 500 hPa; (4) mapa de linha de corrente e divergência horizontal do vento em 200 hPa e; (5) mapa de precipitação acumulada sobre a superfície do continente. Ressalta-se que pelo menos dois critérios da definição de ZCAS sempre foram respeitados: o formato e permanência mínima de quatro dias da banda de nebulosidade, embora a definição desta não seja clara (limitares geográfico, de intensidade, dias inicial e final em que a nebulosidade passa a ser considerada uma ZCAS). Ocorrem duas exceções de dois casos de ZCAS com duração de 3 dias no BC, mas estes foram excluídos da análise.

Tendo em mente o supracitado, tratou-se com ressalva a comparação entre métodos, pois parte da inconsistência pode não estar associada à ocorrência ou não da ZCAS, mas com inconsistências nos processos de classificação. Em função disso, os dias observados não serão tratados como

verdade absoluta (ou seja, todos os dias observados são, necessariamente, dias de ZCAS), mas sim como um guia para verificar se, em média, o algoritmo é capaz de identificar a ZCAS de forma satisfatória.

3.2 Classificação de imagens

O algoritmo desenvolvido neste trabalho objetiva identificar eventos de ZCAS, entre os meses de novembro a março de 1996 a 2015, analisando no campo diário de ROL ($W m^{-2}$), a forma - mínimo de ROL com orientação de NO para SE na região da ZCAS - e a permanência por no mínimo 4 (quatro) dias consecutivos deste padrão. Para isto, este algoritmo baseia-se na segmentação e classificação das imagens orbitais de ROL. O conjunto total de imagens para o período de estudo (N) é definido na Equação (3.1).

$$Id = \sum_{n=1}^N Id_{n,j} \quad (3.1)$$

onde $n=\{1, 2, 3, \dots, N\}$ é o índice do dia da imagem; N é o número total de imagens (3025); $j=\{1, 2\}$ é a classe a qual a imagem pertence. Cada imagem pertencerá somente a uma classe, sendo que $j=1$ é a ocorrência da ZCAS (denominada CZCAS) e $j=2$ a não-ocorrência (denominada SZCAS). Portanto, $Id_{(j1)}$ é o conjunto de dias em que a ZCAS está ativa e $Id_{(j2)}$ é conjunto dos dias com a ZCAS inativa.

De acordo com o objetivo proposto, o algoritmo é dividido em três partes (etapas executadas em sequência). Na primeira etapa a imagem é recortada para a área de ocorrência da ZCAS (Fig. 3.3a) e visa eliminar a influência de outros sistemas convectivos de verão austral que possam interferir no processo de classificação da ZCAS, como, por exemplo, a Baixa do Chaco e a ZCIT. Na segunda etapa são definidos os limiares de ROL e de três condicionantes que definirão à qual classe (CZCAS ou

SZCAS) a imagem pertence. Por último é analisada a permanência temporal da classe $Id_{(j)}$. As condicionais definidas para ocorrência da ZCAS são:

1) LSR - Limite superior de ROL: define que pixels acima do valor estabelecido serão excluídos.

2) SEG - Tamanho mínimo do segmento: após a exclusão dos pixels na condição (1) ocorre a segmentação da imagem. Os segmentos poderão se formar da seguinte forma: (i) um pixel isolado ou (ii) um conjunto de pixels adjacentes em, pelo menos, uma das oito extremidades do entorno do pixel central. Ressalta-se que todos os segmentos terão como característica comum que o valor dos pixels adjacentes é inferior ao limiar estabelecido em (1). Os segmentos com tamanho inferior ao tamanho mínimo serão excluídos. Se restar mais de um SEG maior que o tamanho mínimo o dia é considerado de SZCAS (classe $j=2$).

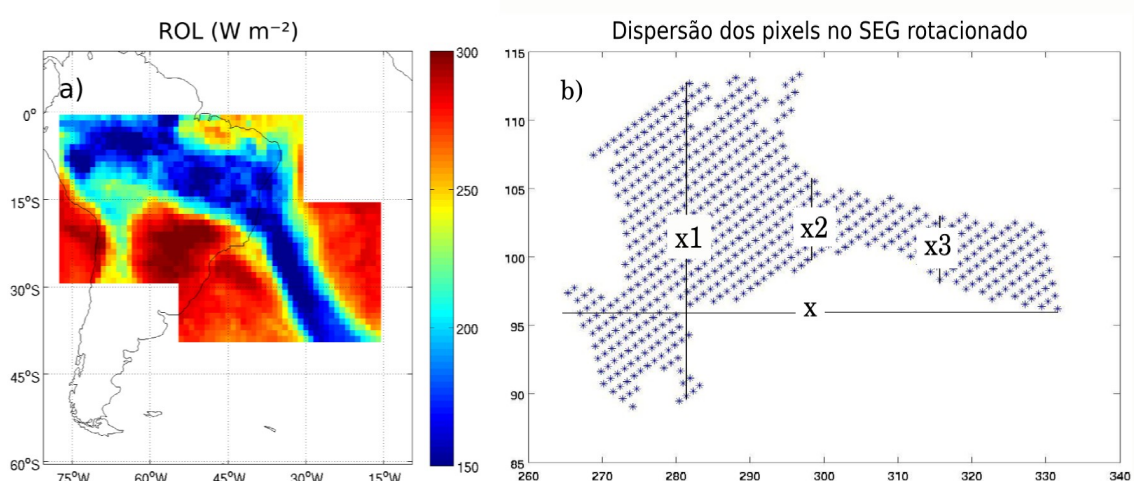
3) LiC - Linha de costa: definida como a quantidade mínima de pixels que o SEG deve cruzar a linha de costa. Se o SEG não cruzar a LiC o dia é considerado de SZCAS (classe $j=2$).

4) EXC - Excentricidade: medida relacionada ao formato do SEG. O SEG é rotacionado na direção de menor variância e, posteriormente, calcula-se a razão entre a altura nas posições x_1 , x_2 , x_3 e o comprimento total x (Fig. 3.3b). Considerando x igual a um, x_1 localiza-se em $x=0,25$, x_2 em $x=0,5$ e x_3 em $x=0,75$. A condicional EXC é, portanto, o vetor $[EXC_{(x_1)}, EXC_{(x_2)}, EXC_{(x_3)}]$. Para pertencer a classe $Id_{(j)}$ o SEG deve ter EXC maior que o limiar estabelecido em x_1 e x_3 , e menor em x_2 . Este parâmetro indica o formato do SEG nas porções amazônica (AMZ) em x_1 , costeira (COS) em x_2 e oceânica (OCN) em x_3 da ZCAS, sendo que quanto maior seu valor,

mais o formato assemelha-se ao de um círculo. Os testes de sensibilidade de sensibilidade do algoritmo, com os valores das condicionais para cada rodada e a configuração final do algoritmo, são mostrados na seção 4.4.

O campo de ROL é comumente utilizado como indicativo de convecção e considera-se que quanto menor seu valor, menor a quantidade de radiação de onda longa está sendo emitida para o espaço e, conseqüentemente, maior a atividade convectiva em determinada região (CARVALHO et al., 2002; CHAVES; SATYAMURTY, 2006). Áreas convectivas pequenas não podem ser relacionadas a atuação da ZCAS (tamanho e número dos SEG's), por que a convecção é extensa, desde a Amazônia até o Atlântico Sudoeste, e organizada. Em função disso, o SEG deve cruzar a LiC para que a convecção se estenda ao oceano Atlântico Sudoeste. Nas imagens satelitais de temperatura de brilho a ZCAS aparece como uma banda de nuvens alongada (baixa excentricidade), o que pode ser inferido pela EXC, que visa eliminar sistemas convectivos de mesoescala, cujo formato não se assemelha ao da ZCAS.

Figura 3.3: Área de ocorrência da ZCAS e calculo da EXC



Exemplo da área de ocorrência da ZCAS (a) e segmento de ROL < 230 W/m² rotacionado na direção de maior variância, onde x é o comprimento total do SEG, x1, x2 e x3, a localização das regiões amazônica, costeira e oceânica,

respectivamente.

Fonte: Produção da autora.

Por fim, é analisada a permanência temporal da classe $Id_{(j1)}$. Alguns autores definem que a ZCAS deve permanecer por quatro dias consecutivos ou mais (QUADRO, 1994). Desta forma, os dias classificados como CZCAS que não formam uma sequência de quatro ou mais dias consecutivos, são reclassificados e passam a pertencer à classe SZCAS. A partir de agora os dias que pertencem a $Id_{(j1)}$ podem ser separados em eventos de ZCAS. Um evento começa no primeiro dia em que $Id_{(n, j1)}$ até o último dia consecutivo em que $Id_{(n, j1)}$. A metodologia desenvolvida para identificação dos episódios de ZCAS tem como base o trabalho de Carvalho et al. (2002). Os autores utilizaram a ROL para identificação de dias com extremos convectivos na AS, selecionando os dias entre DJF de 1979-96 em que os pixels de ROL abaixo de 200 W m^{-2} formavam uma área contínua e que cruzasse a linha de costa (ROL200). Para relacionar estes extremos convectivos com a ZCAS, selecionaram apenas os dias de ROL200 que interceptaram as regiões amazônica, costeira e oceânica da ZCAS (Figs. 3 e 4 em CARVALHO et al., 2002). As principais diferenças entre os trabalhos são que, neste, para que o dia seja selecionado: (1) foi definido um limiar mínimo para a área de convecção associada a ZCAS; (2) o formato espacial da mesma deve ser alongado e; (3) a permanência temporal da convecção deve ser de, no mínimo, 4 dias consecutivos.

A partir dos episódios de ZCAS identificados pelo algoritmo de classificação de imagens, foram isolados os casos cuja convecção é intensa sobre o oceano Atlântico Sudoeste. Para isto foram selecionados somente os pixels do segmento de ROL que estiveram sobre o oceano Atlântico Sudoeste (Fig. B.1). Posteriormente foi calculada a média destes pixels para cada episódio

de ZCAS. Aqueles episódios em que a média da ROL na porção oceânica da ZCAS esteve abaixo da média menos um desvio padrão, foram considerados eventos oceânicos (ZCASOCN).

Ressalta-se que o algoritmo desenvolvido não sofre interferência do analista no processo de classificação e é, portanto, um método objetivo. Os dias de ocorrência de ZCAS encontrados ($Id_{(j1)}$) serão tratados a partir de agora como dias detectados.

3.2.1 Medidas de desempenho da classificação

Para verificar a concordância entre os métodos foi utilizada a tabela de contingência (WILKS, 1995). Esta relaciona as $Id \times Io$ possibilidades do evento ocorrer ou não, como comentado anteriormente, $Id = Id_{(j1)} + Id_{(j2)}$ é o conjunto de dias classificados pelo método objetivo, $Id_{(j1)}$ e $Id_{(j2)}$ representam as classes CZCAS e SZCAS, respectivamente. Da mesma forma, $Io = Io_{(j1)} + Io_{(j2)}$ é o conjunto de dias classificados pelo método subjetivo (dados observacionais do CPTEC), $Io_{(j1)}$ e $Io_{(j2)}$ também representam as classes CZCAS e SZCAS, respectivamente. Neste caso $Id \times Io$ é igual a quatro, pois existem duas possibilidades para cada método ($j=1$ ou $j=2$). Na Tabela 3.1, ***a*** (***d***) é a concordância dos métodos para a classe CZCAS ($Io_{(j1)} \cap Id_{(j1)}$) (SZCAS ($Io_{(j2)} \cap Id_{(j2)}$)). Ao mesmo tempo ***b*** (***c***) é a incoerência dos métodos, quando $Io_{(j2)}$ e $Id_{(j1)}$ ($Io_{(j1)}$ e $Id_{(j2)}$). A partir desta tabela foram calculados dois coeficientes de sensibilidade (SEN) e especificidade (ESP), definidos pelas Equações 3.2 e 3.3, respectivamente.

$$SEN = \left(\frac{a}{a + c} \right) \quad (3.2)$$

$$ESP = \left(\frac{d}{b + d} \right) \quad (3.3)$$

A SEN é a frequência de dias que foram observados ($I_{o(j_1)}$) e detectados ($I_{d(j_1)}$) ao mesmo tempo em relação ao total observado, chamados Verdadeiros Positivos (VP). Quanto maior o valor da SEN, maior a concordância entre os métodos para a classe CZCAS. A ESP é a frequência de dias que não foram observados ($I_{o(j_2)}$), mas foram detectados ($I_{d(j_1)}$), em relação ao total não observado. Estes dias são chamados Falsos Positivos (FP), pois indicam o erro da classificação objetiva em relação a subjetiva. O complementar da especificidade (1-ESP) indica que quanto menor seu valor, menos FPs existem na classificação objetiva. O gráfico de dispersão (Fig. 3.4) mostra que quanto mais próxima a classificação estiver do canto superior esquerdo, maior o número de VP's e menor de FP's, ou seja, é a classificação que concorda 100% com os dados observacionais. As classificações abaixo da linha bissetriz (linha pontilhada) representam classificações aleatórias.

Tabela 3.1 - Modelo da tabela de contingência relacionando as classes CZCAS e SZCAS para os dados observados (I_o) e detectados pelo algoritmo (I_d).

		I_o		
		CZCAS	SZCAS	
I_d	CZCAS	a	b	a+b
	SZCAS	c	d	c+d
		a+c	b+d	$n=a+b+c+d$

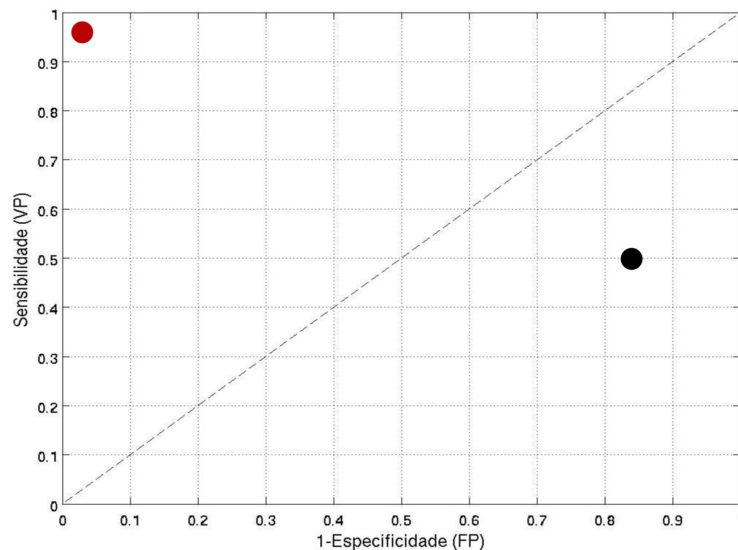
Fonte: Produção da autora.

Visando atender o objetivo de identificação de episódios de ZCAS através dos campos diários de ROL, foram realizadas 20 rodadas do algoritmo de detecção, divididas em dois grupos de seis e dois grupos de quatro rodadas.

No primeiro grupo de rodadas do algoritmo testou-se os valores distintos do LSR, no segundo do SEG e os dois subsequentes avaliaram os limiares de LiC e EXC, respectivamente. Para seleccionar a melhor rodada em cada grupo, calculou-se a distância euclidiana (Equação 3.4) da rodada em relação ao canto superior esquerdo do gráfico de dispersão (Fig. 3.4), onde os VPs (FPs) representam 100% (0%) dos observados. Desta forma foi possível avaliar de forma objetiva qual o melhor valor de limiar para cada condicional do algoritmo.

$$D = \sqrt{(1 - SEN)^2 + (1 - ESP)^2} \quad (3.4)$$

Figura 3.4: Gráfico de dispersão SEN x 1-ESP



Dispersão da classificação em relação ao coeficiente de SEN e ao complementar da ESP, destacando a classificação com 100% de concordância com os dados observados (ponto vermelho) e uma classificação aleatória (ponto preto), abaixo da linha bissetriz (pontilhada).

Fonte: Produção da autora.

Para testar a diferença entre duas classes, ou conjunto de casos de ZCAS, foi utilizado o teste t-Student (Equação 3.5) para a média de duas amostras.

Neste teste, o tamanho das amostras é diferente e as variâncias consideradas iguais. O valor t bicaudal para os níveis de confiança de 99% e 95% é igual a 2,576 e 1,96, respectivamente.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{x1x2} \cdot \sqrt{\frac{1}{n1} + \frac{1}{n2}}} \quad (3.5)$$

$$S_{x1x2} = \frac{\sqrt{(n_1 - 1) S_{x1}^2 + (n_2 - 1) S_{x2}^2}}{n_1 + n_2 - 2} \quad (3.6)$$

\bar{x}_1 e \bar{x}_2 são as médias das amostras, n_1 e n_2 o N-amostral para cada amostra e S_{x1x2} o desvio padrão dos eventos, calculado pela Equação 3.6.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados do presente trabalho. A primeira seção dedica-se aos testes de sensibilidade, onde verifica-se a concordância da classificação visual com a objetiva para diferentes rodadas do algoritmo, até a configuração final. Considerando que o objetivo geral do trabalho é a criação de um método objetivo de identificação da ZCAS, entende-se que os testes de sensibilidade constituem parte dos resultados e, não da metodologia. Na seção 4.2 será discutido o resultado da classificação em termos da distribuição temporal da classe CZCAS (dias ativos) e dos padrões atmosféricos associados a ela. A seção 4.3 mostra as diferenças entre os métodos subjetivo e objetivo de classificação, onde são apresentadas as vantagens e deficiências de cada metodologia de identificação da ZCAS. Por fim, a seção 4.4 dedica-se ao estudo dos casos de ZCAS oceânica e aos processos de interação oceano-atmosfera que podem ocorrer durante estes eventos.

4.1 Teste de sensibilidade do algoritmo de detecção

A fim de verificar a sensibilidade do algoritmo de detecção em relação aos parâmetros descritos na Seção 3.2, foram realizadas 20 rodadas do algoritmo, nas quais alterou-se o valor dos parâmetros (Tabela 4.1). Inicialmente os parâmetros foram setados em: (1) tamanho do SEG maior que 85 pixels ($\sim 1,0 \times 10^6 \text{ km}^2$); (2) deve cruzar a LiC em pelo menos 3 pixels; (3) $\text{EXC} = [0,3 \ 0,7 \ 0,3]$, ou seja, deve ser maior ou igual a 0,3 nas regiões amazônica e oceânica e menor ou igual que 0,7 na região costeira da ZCAS. No primeiro grupo de rodadas, o LSR variou de 200 a 250 W m^{-2} , com intervalo de 10 W m^{-2} . A melhor concordância com os dados observacionais (menor distância euclidiana) ocorreu na rodada C4, com

LSR igual a 230 W m^{-2} e, portanto, o parâmetro SEG será testado com o LSR setado neste valor. O limiar SEG com a menor distância euclidiana foi de 70 pixels, (rodada C10), a LiC igual a 5 pixels (rodada C14), e, finalmente, a EXC = [0,4 0,6 0,4]. A configuração selecionada é, portanto, a C17, cujo coeficiente de SEN é 0,709 e o complementar da ESP igual a 0,290.

Tabela 4.1 – Testes de sensibilidade do algoritmo de classificação.

TESTES DE SENSIBILIDADE						
Configuração inicial: LSR = Limiar; SEG = 85; LiC = 3; EXC = [0,3, 0,7, 0,3]						
Etapa	Parâmetro	Limiar (W m^{-2})	Rodada	SEN	1-ESP	Dist. Euc.
1	LSR	200	C1	0,253	0,067	0,750
		210	C2	0,360	0,139	0,655
		220	C3	0,572	0,223	0,483
		230	C4	0,770	0,362	0,429*
		240	C5	0,847	0,503	0,526
		250	C6	0,821	0,604	0,630
Configuração inicial: LSR = 230; SEG = Limiar; LiC = 3; EXC = [0,3, 0,7, 0,3]						
Etapa	Parâmetro	Limiar (pixels)	Rodada	SEN	1-ESP	Dist. Euc.
2	SEG	100	C7	0,808	0,394	0,438
		115	C8	0,821	0,435	0,470
		130	C9	0,848	0,473	0,497
		70	C10	0,727	0,316	0,417*
		55	C11	0,671	0,258	0,418
		40	C12	0,546	0,200	0,496
Configuração inicial: LSR = 230; SEG = 70; LiC = Limiar; EXC = [0,3, 0,7, 0,3]						
Etapa	Parâmetro	Limiar (pixels)	Rodada	SEN	1-ESP	Dist. Euc.
3	LiC	1	C13	0,741	0,329	0,419
		5	C14	0,709	0,293	0,413*
		7	C15	0,671	0,257	0,418
		9	C16	0,625	0,223	0,436
Configuração inicial: LSR = 230; SEG = 70; LiC = 5; EXC = Limiar						
Etapa	Parâmetro	Limiar	Rodada	SEN	1-ESP	Dist. Euc.
4	EXC	[0,4, 0,6, 0,4]	C17	0,709	0,290	0,410*
		[0,5, 0,5, 0,5]	C18	0,667	0,241	0,411
		[0,6, 0,4, 0,6]	C19	0,533	0,170	0,498
		[0,7, 0,3, 0,7]	C20	0,292	0,088	0,714

Os testes de sensibilidade foram divididos em quatro etapas. Na primeira testase o limiar do LSR (rodada C1 a C6), na segunda do SEG (C7 a C12), na terceira da LiC (C13 a C16) e na quarta da EXC (C17 a C20). A configuração inicial das etapas está descrita na primeira linha e a melhor rodada destacada com um asterisco na coluna de distância Euclidiana (Dist. Euc.).

Fonte: Produção da autora.

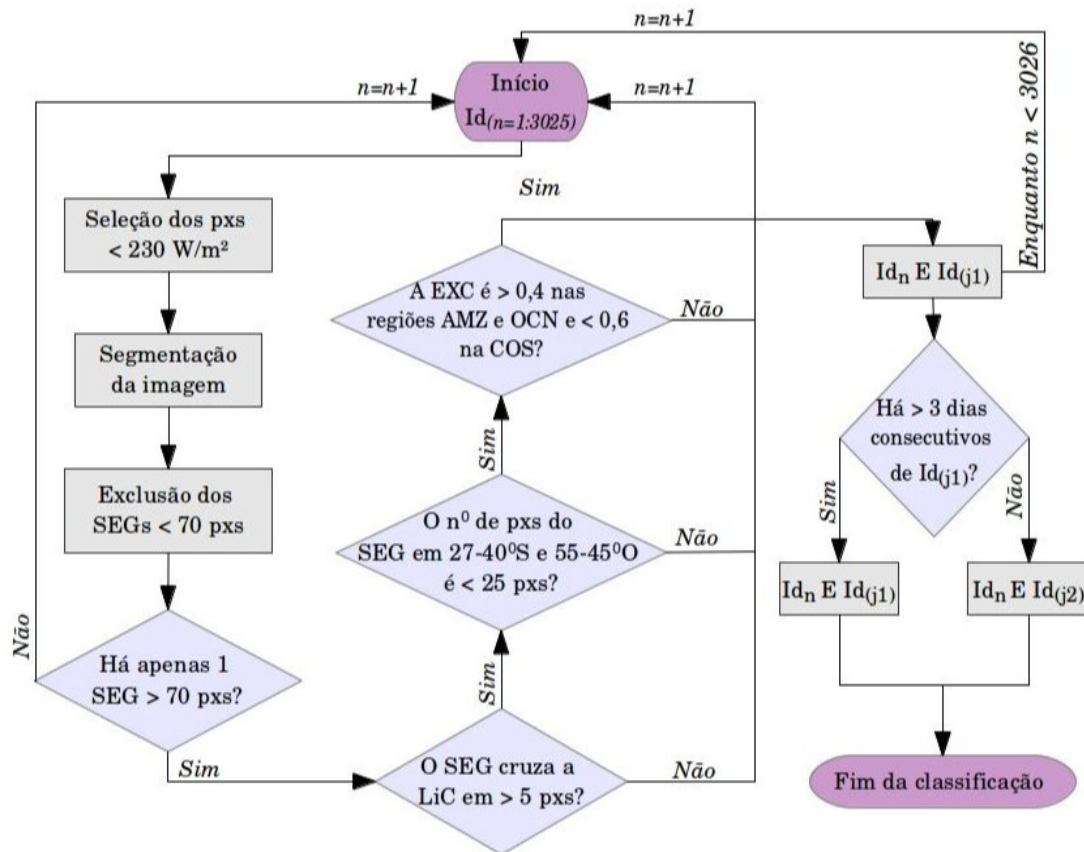
Através da análise visual dos campos diários de ROL observou-se que uma parcela significativa de dias FP's ocorreram devido a confusão do algoritmo entre sistemas convectivos do Tipo 1 e a ZCAS. Os sistemas Tipo 1 são associados a chegada de sistemas frontais oriundos das altas latitudes, que organizam a convecção tropical e movem-se para norte logo em seguida (SIQUEIRA; MACHADO, 2004). A fim de melhorar o processo de classificação, foi estabelecido que, quando o número de pixels ao sul de 27 °S e entre 55 e 45 °O for superior a 25, este dia deve pertencer à classe SZCAS pois, provavelmente, trata-se de um sistema frontal transiente. Este critério é denominado Elimina Frente Fria (EFF) e também visa preservar a interação da convecção trópico-extra trópico associada a ZCAS, Tipo 2, onde o sistema frontal organiza a convecção sobre o continente e permanece estacionário por alguns dias (SIQUEIRA; MACHADO, 2004). Entende-se que se o mecanismo de interação for do Tipo 2, o dia da passagem do sistema frontal ao sul de 27 °S é de ZCAS inativa. Apenas quando estiver conectado com a convecção tropical e permanecer por mais de três dias é que passa-se a considerar a ZCAS ativa.

Após inserir o critério EFF no algoritmo, a SEN decaiu para 0,568 e o complementar da ESP para 0,135. Em outras palavras, o acerto do algoritmo em relação ao total observado pelo CPTEC foi de aproximadamente 56% e o erro de 13%. Salienta-se que é importante para o presente trabalho que o número de FPs seja o menor possível, mesmo que nem todos os dias de

ZCAS observados sejam detectados.

A configuração final do algoritmo está descrita no fluxograma da Figura 4.1. Considerando a imagem inicial n : (1) selecionam-se os pixels menores que 230 W m^{-1} ; (2) a imagem é dividida em segmentos de pixels adjacentes cujo valor da ROL é menor que 230 W m^{-2} ; (3) excluem-se os segmentos cujo tamanho é menor que 70 pixels; (4) se restar mais de um segmento, passa-se a analisar a imagem “ $n+1$ ”, caso contrário, testa-se; (5) se o número de pixels do segmento entre 27 e 40°S e 55 - 45°O é inferior a 25. Caso não seja, passa-se ao dia “ $n+1$ ”, se for, verifica-se; (6) se a excentricidade é maior que 0,4 na região amazônica da ZCAS, menor que 0,6 na região costeira e maior que 0,4 na região oceânica. Se a condicionante for falsa, passa-se ao dia “ $n+1$ ”, se for verdadeira, a imagem n pertence a classe CZCAS. Esta sequência lógica é repetida para as 3025 imagens. Ao final do processo é verificado se os dias pertencentes a classe CZCAS formam uma sequência de quatro ou mais dias consecutivos. Se formarem, continuarão pertencendo a classe CZCAS. Caso haja apenas um, dois ou três dias consecutivos, serão reclassificados como SZCAS.

Figura 4.1: Configuração final do fluxograma do algoritmo de classificação dos episódios de ZCAS.



Fonte: Produção da autora.

4.2 Padrão espaço-temporal da ZCAS

Esta seção dedica-se ao estudo dos episódios de ZCAS selecionados pelo método objetivo (classe CZCAS). No período total de estudo, que contempla os meses de NDJFM de 1996 à 2015, totalizando 3025 dias analisados, foram detectados 141 episódios de ZCAS. O Apêndice B apresenta a lista contendo a data e as características principais dos casos selecionados pelo método objetivo (Tabela B.1). Os parâmetros de média, variância e área foram calculados para a área total (SEG) e para a porção oceânica da ZCAS (SEGOCN; Fig. B.1).

Considerando os 20 anos analisados, a média foi de 7 episódios de ZCAS detectados por estação (novembro a março), aproximadamente 1,4 por mês. Em relação a frequência diária, ocorreram 39,75 dias de ZCAS por ano, ou seja, a ZCAS esteve ativa em aproximadamente 8 dias por mês entre 1996 e 2015 (Fig. 4.2). Segundo Quadro et al. (2016, Figura 1), a frequência diária observada pelo CPTEC é de 44,6 dias de ZCAS por ano, aproximadamente 9 dias por mês (entre NDJFM de 1996 e 2013). Tendo em vista a proximidade dos resultados, considerou-se que o algoritmo foi capaz de reproduzir de forma eficiente o comportamento temporal médio de ocorrência da ZCAS.

Quadro et al. (2016) também ressaltam que há um aumento significativo na frequência de dias observados após o ano de 2006, mas que não há uma evidência clara que explique esse aumento. Apesar de não apresentar tendência positiva ou negativa na frequência de ocorrência da ZCAS (Fig. 4.2a), alguns anos se destacam com extremos de alta e baixa frequência, como os verões de 2004/2005 e 2009/2010, respectivamente. A fim de investigar se esta variabilidade interanual é associada com a situação real observada, ou se faz parte dos erros de classificação, buscou-se nas edições do Boletim Climanálise saber quais foram as principais características da atividade convectiva sobre a AS durante estes períodos, apresentadas a seguir.

Em todo o verão de 2004/2005 a atividade convectiva foi intensa sobre a América do Sul Tropical. A precipitação esteve acima da média no sudeste do Brasil nos meses de dezembro e janeiro, sendo que em dezembro houve uma banda de nebulosidade da Amazônia ao oceano Atlântico Sudoeste em todas as pântadas, exceto na terceira (http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0105/ativ_convectiva.html). No mês de dezembro o algoritmo detectou 18 dias de ZCAS ativa (Fig.

4.2b), bem acima da média mensal (8 dias), resultado que é coerente com a presença da banda de nebulosidade ao longo de quase todo o mês.

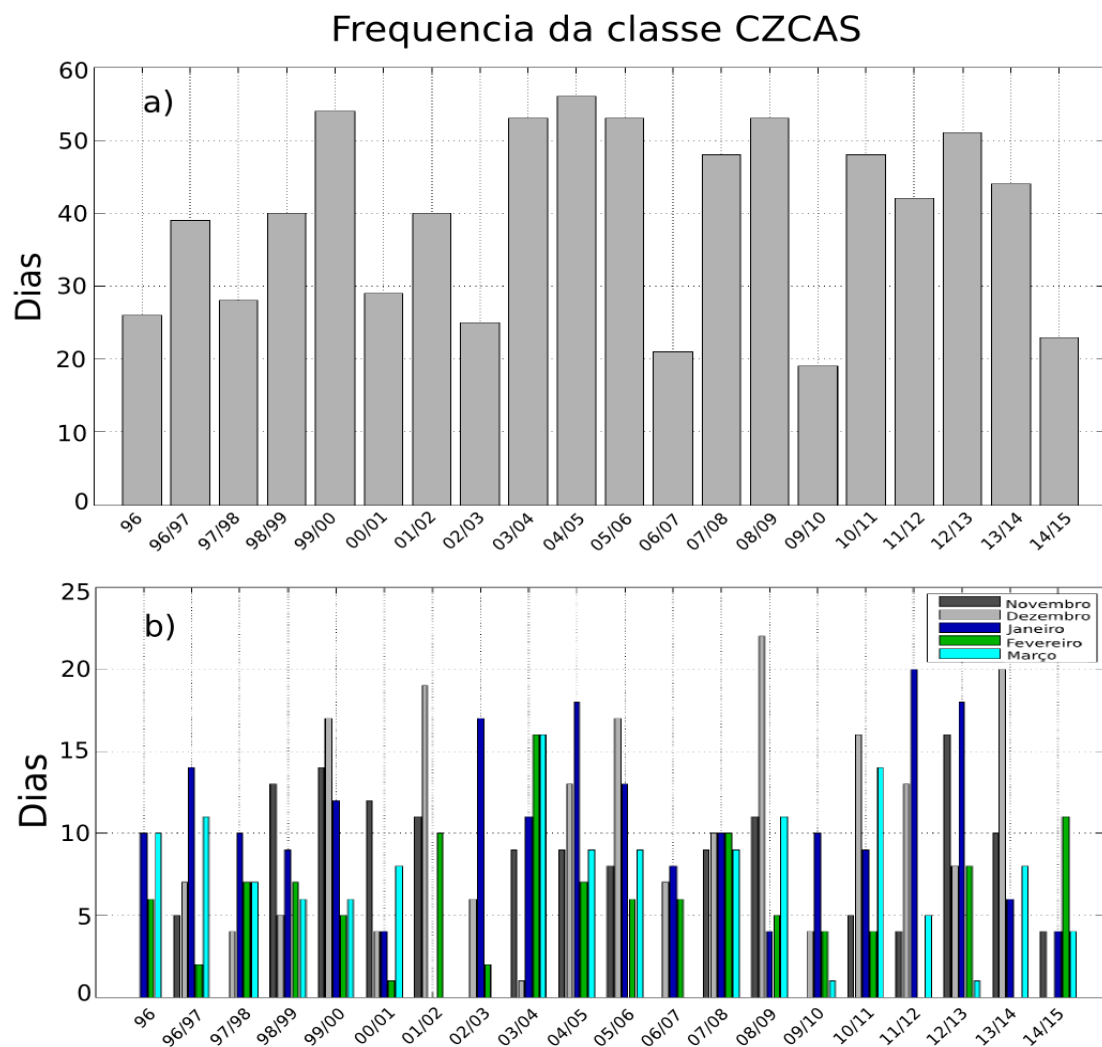
Em fevereiro e março esta situação se manteve, com atividade convectiva intensa no centro-oeste e sudeste do Brasil e fraca no sul. Observa-se na Figura 4.2a que a frequência de atuação da ZCAS foi acima da média entre os verões de 2004 a 2005, uma época marcada por estiagem no sul do Brasil (<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=5468>). Considerando as análises realizadas pelo CPTEC em 2005 e o padrão dipolo de convecção associado à ZCAS (Fig. 4.3a), onde maior atividade convectiva no sudeste está associada com supressão da mesma no sul do Brasil, considerou-se que o aumento da frequência de ZCAS nestes verões está de acordo com a situação real observada.

O verão de 2009/2010, por outro lado, foi marcado pela fase madura do fenômeno El Niño, com atuação do Jato de Baixos Níveis (JBN) transportando umidade para a região sul do Brasil, além da atuação acentuada do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), inibindo a precipitação nas regiões nordeste e sudeste do Brasil (<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0110.shtml>). Neste verão o algoritmo detectou apenas 20 dias de ZCAS ativa (Fig. 4.2a), bem abaixo da média (39,75) para o período entre 1996 a 2015, o que é coerente com o estado atmosférico descrito acima. Estas análises sugerem que o algoritmo também foi eficiente em reproduzir parte da variabilidade interanual de ocorrência da ZCAS.

Com relação a distribuição mensal, 17,5% dos dias detectados ocorreram em novembro, 24,25% em dezembro, 26% em janeiro, 14,75% em fevereiro e 17,5% em março (Fig. 4.2 b). Ressalta-se ainda que a maioria dos dias de ZCAS (65%) ocorreram em DJF, na fase madura do SMAS. Ambrizzi e

Ferraz (2015) fizeram uma análise semelhante, porém utilizando o número de casos, não de dias, selecionados pelo CPTEC. Os autores mostraram que apenas 10% dos casos ocorridos entre 1995 e 2005 ocorreram em março e 14% em novembro. No entanto, de acordo com o método objetivo, a duração dos eventos é bastante variável, (entre 4 à 16 dias), o que pode explicar as diferenças encontradas em relação ao trabalho de Ambrizzi e Ferraz (2015).

Figura 4.2: Distribuição anual (a) e mensal (b) dos dias ativos de ZCAS selecionados pelo método objetivo.



Fonte: Produção da autora.

A duração média dos casos detectados pelo algoritmo foi de 5,75 +/- 2,1 dias (média +/- desvio padrão). A duração mínima é de 4 dias, conforme estabelecido pelo algoritmo, e a máxima de 16 dias, episódio ocorrido entre 10 e 25/12/2013. É interessante notar que o evento de máxima duração tenha ocorrido em dezembro de 2013, ano de seca no sudeste brasileiro (COELHO et al. 2015 a). Este evento foi considerado oceânico pelo método de detecção, conjunto de casos que será explorado na seção 4.4 do trabalho, nos quais se observa um deslocamento da banda de nebulosidade da ZCAS para norte da posição média.

O valor médio de ROL na banda de nebulosidade associada à ZCAS é de 197,15 +/- 3,35 W m⁻², a variância de 404,5 +/- 68,82 W m⁻² e a área de 9,05 x 10⁶ +/- 1,15 x 10⁶ km². Na porção oceânica da ZCAS, a ROL foi, em média, de 201,2 W m⁻² e a variância de 337,95 W m⁻², o que mostra que a convecção é menos intensa sobre o oceano quando comparada a área total (amazônica + costeira + oceânica). Porém, os desvios padrões da média e variância foram maiores na porção oceânica (5,05 W m⁻², 99,25 W m⁻², respectivamente). O maior desvio padrão indica que a variabilidade da convecção é maior sobre o oceano, podendo ser intensa em alguns casos (187,23 W m⁻² em 11-16/02/2007) e fraca em outros (213,8 W m⁻² em 02-05/03/1998), como pode se observar na Tabela B.1. A maior variabilidade da porção oceânica da ZCAS pode ser explicada pelo fato de que esta depende, entre outros, da passagem de sistemas frontais e da conexão destes com a convecção tropical (SIQUEIRA; MACHADO 2004). A área da porção oceânica é em média de 2,45 x 10⁶ km², com desvio padrão 7,2 x 10⁵ km², ou seja representa aproximadamente 27,10% da área total da ZCAS.

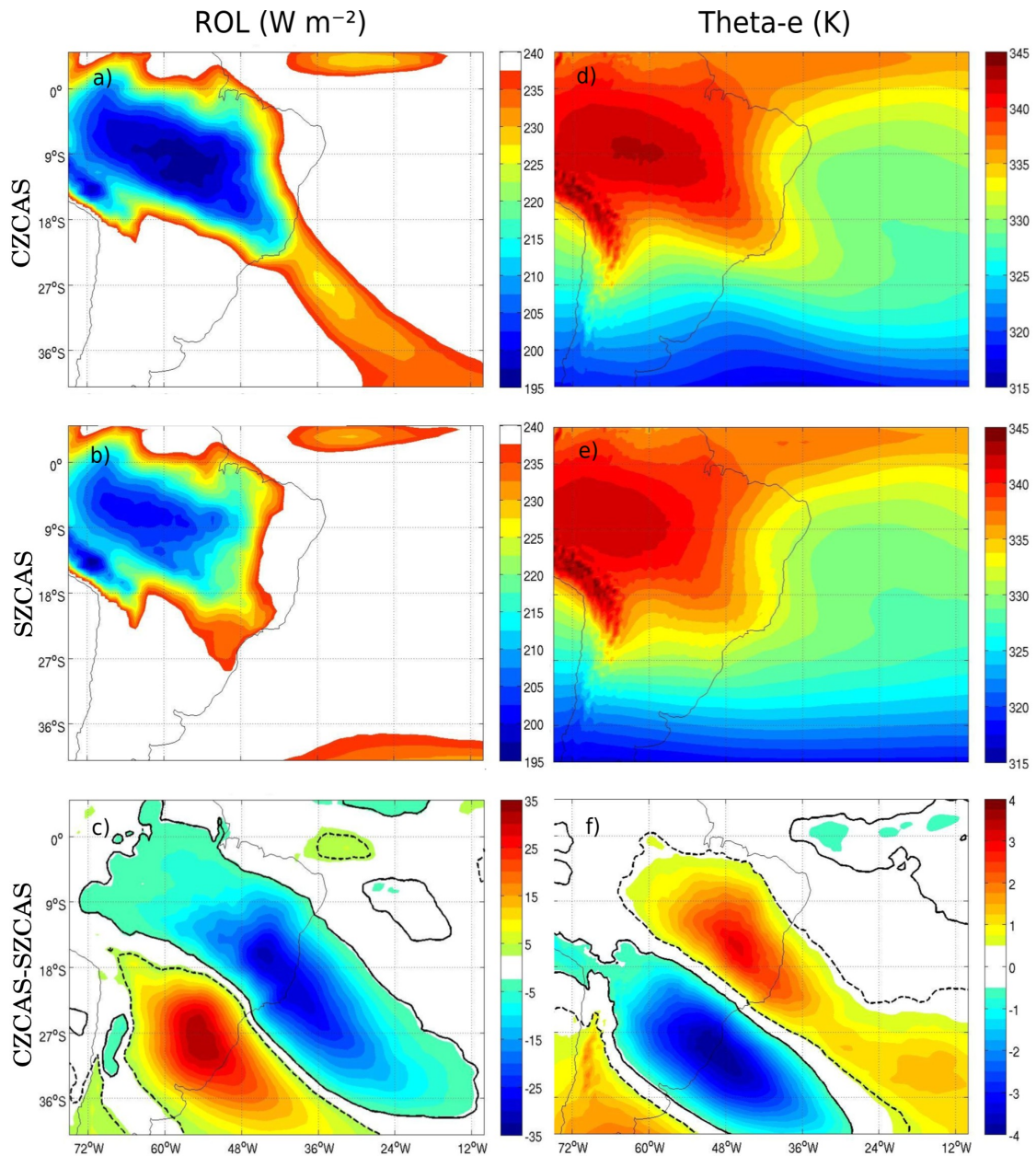
Na Figura 4.3 são mostrados as composições de ROL e Theta-e para as classes CZCAS (ativa), SZCAS (inativa) e a diferença entre elas com teste de

significância estatístico. Salienta-se que a ROL pode ser utilizada como um indicativo da atividade convectiva (quanto menor o valor maior a convecção) e a Theta-e como indicativo da quantidade de vapor d'água na parcela e ar (quanto maior a Theta-e maior conteúdo de $H_2O_{(v)}$). No presente trabalho considerou-se que a convecção associada a ZCAS ocorre quando a ROL é inferior a 230 W m^{-2} , assim como no trabalho de Chaves e Satyamurty (2006).

É possível verificar através das Figuras 4.3a,b que as principais diferenças dos dias ativos para os inativos são, a presença da atividade convectiva sobre o oceano Atlântico Sudoeste e a intensificação da convecção sobre a Amazônia central. A Figura 4.3b evidencia que nos períodos em que a ZCAS não está configurada, a atividade convectiva restringe-se a região Amazônica, associada a presença da Alta da Bolívia. O campo de diferença (Fig. 4.3c) indica que a ROL é significativamente menor ao longo de toda a extensão da ZCAS nos dias ativos, sendo que a maior diferença (-35 W m^{-2}) ocorre sobre o norte do estado da BA, em 15°S e 42°O . Já ao sul da ZCAS a atividade convectiva é significativamente reduzida em até 35 W m^{-2} nos dias ativos. O campo da diferença de Theta-e assemelha-se ao de ROL (Fig. 4.3c,f), porém com sinal inverso. Este resultado é coerente com o esperado, pois indica que na região da ZCAS (maior atividade convectiva) há maior conteúdo de vapor d'água em 500 hPa, e menor ao sul do sistema. A diferença de Theta-e entre os dias ativos e inativos varia entre -4 e 4 K. Destaca-se ainda a região do Atlântico Equatorial onde, embora o valor da diferença seja inferior a 0,5 K, é estatisticamente significativa. Este padrão sugere que a atmosfera em 500 hPa sobre o Atlântico Equatorial é menos úmida durante a atuação da ZCAS. Conforme será discutido posteriormente, Jorgetti et al. (2014) sugerem que, quando a ZCAS está na posição mais

boreal, o Atlântico Equatorial pode ser uma de suas fontes de umidade.

Figura 4.3: ROL e Theta-e em 500 hPa para as classes CZCAS.



Composto de ROL e Theta-e em 500 hPa para as classes CZCAS (a,d, respectivamente), SZCAS (b,e, respectivamente) e a diferença entre as classes (c, f) com teste de significância t de Student para o nível de confiança de 99% para valores positivos (contorno contínuo) e negativos (pontilhado).

Fonte: Produção da autora.

Diversos autores encontraram o padrão dipolo de convecção entre o sudeste

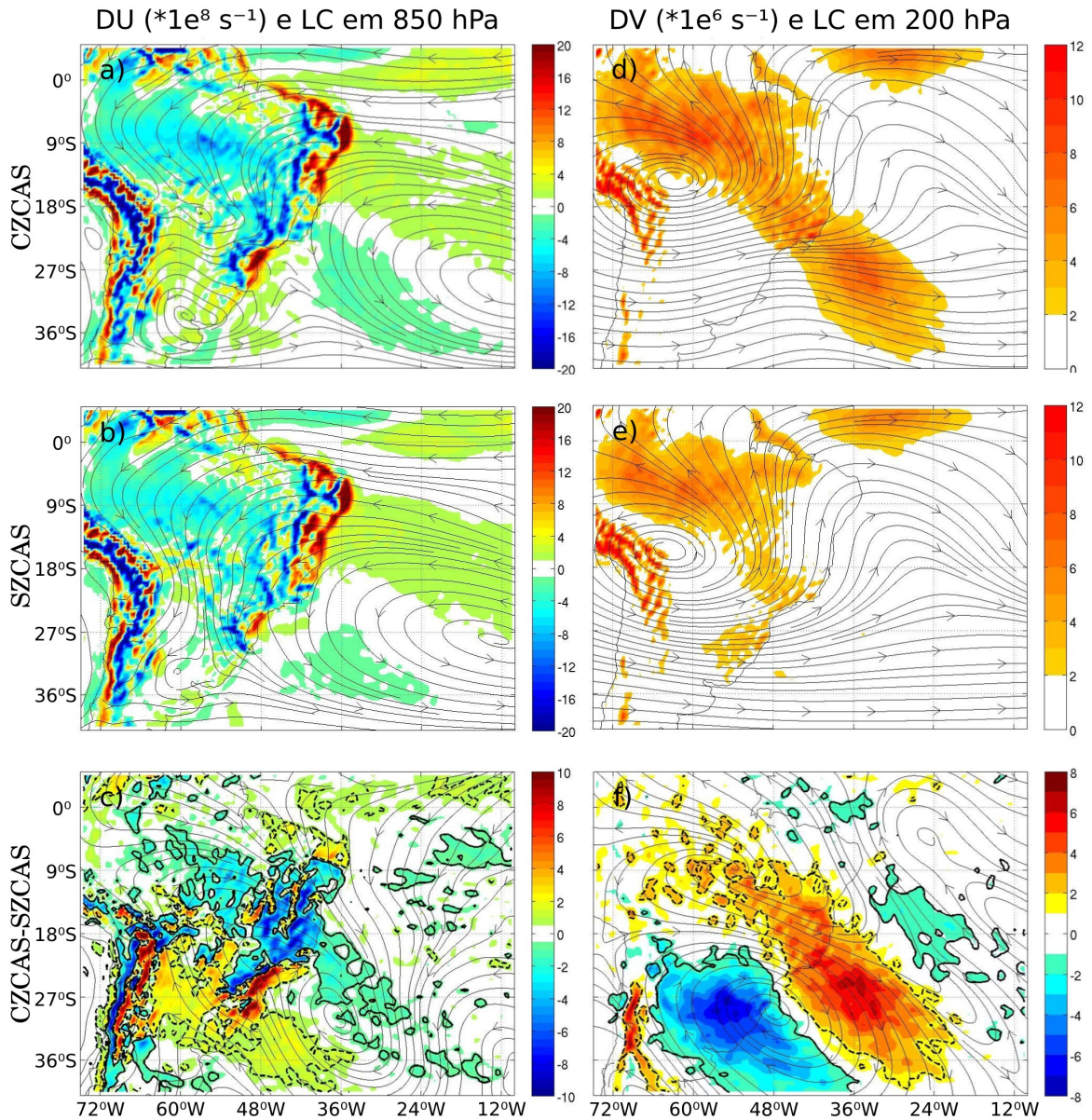
brasileiro e o sudeste da América do Sul (*Southeastern South America - SESA*) como parte da variabilidade da ZCAS (NÓGUES-PEAGLO; MO, 1997; BARROS et al., 2000; CARVALHO et al., 2004). Destaca-se, porém, o estudo de Cunningham e Cavalcanti (2008). Neste trabalho os autores mostram que o dipolo ocorre em duas escalas temporais distintas, influenciado por diferentes mecanismos. Na escala intrasazonal pode estar associado a dois padrões de teleconexões, a Oscilação Madden Jullian (OMJ) e o trem de ondas Pacífico-América do Sul (PAS). Já na banda de alta frequência (2-10 dias) é resultado da influência de sistemas frontais vindos das altas latitudes. Também identificam, assim como Siqueira e Machado (2004), que nem todos os sistemas frontais resultam em episódios de ZCAS se for considerado o critério da permanência mínima de quatro dias proposto por Quadro (1994). Desta forma, é proposto por Cunningham e Cavalcanti (2008) que para o evento ser permanente, deve haver uma sobreposição de escalas, onde: (1) a ocorrência do modo PAS sobre o continente, em conjunto com a passagem de um sistema frontal, pode desencadear um episódio de ZCAS cuja localização depende do cavado associado ao modo PAS e; (2) a ZCAS na posição mais equatorial é associada ainda à OMJ. Considerando que o algoritmo detecta apenas casos com duração superior a quatro dias, o padrão dipolo encontrado é, provavelmente, resultado desta interação de escalas.

A Figura 4.4 mostra os padrões atmosféricos da baixa e alta troposfera, através da análise dos compostos de divergência do fluxo de umidade (DU) e linhas de corrente (LC) em 850 hPa e divergência dos ventos horizontais (DV) e LC 200 hPa para as classes CZCAS, SZCAS e a diferença entre elas, com teste de significância nos campos de DU e DV. Durante a classe CZCAS, a convergência do fluxo de umidade em 850 hPa (Fig. 4.4a) estende-se desde

a Amazônia até o Atlântico Sudoeste, com direção preferencial NO-SE, cruzando a linha de costa em torno de 18 °S, acompanhando o padrão da ROL (Fig. 4.3 a). Nos dias inativos (Fig. 4.4b) a região de convergência de umidade sobre o oceano desconecta-se da porção continental, migrando para sul. Nas regiões Amazônica e Oceânica da ZCAS, verifica-se maior convergência de umidade (aproximadamente $2 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$) nos dias ativos em relação aos inativos (Fig. 4.4c), já na região costeira a diferença chega à $-10 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$. No litoral dos estados de SC, PR, SP e RJ, devido à presença da Serra do Mar, verifica-se um padrão de convergência (divergência) de umidade a barlavento (sotavento) da montanha. Ressalta-se que este padrão é mais intenso nos dias ativos da ZCAS, em função do fluxo de umidade estar direcionado para esta região. Já ao sul de 27 °S a divergência de umidade predomina, sendo significativamente maior (99%) em toda a faixa de sentido NO-SE ao sul da ZCAS.

Em escala regional destacam-se três diferenças importantes entre as classes CZCAS e SZCAS no que se refere ao padrão de circulação em 850 hPa (Fig. 4.4a,b): (1) formação de uma circulação ciclônica a oeste do Altiplano do Brasil (ABr); (2) intensificação do anti ciclone sobre o SESA e (3) formação de um cavado a leste da AS localizado entre 48-36 °O e 27-36 °S.

Figura 4.4: Composto de DU e LC em 850 hPa e DV e LC em 200 hPa para a classe CZCAS



Idem à Fig. 4.3, porém para os campos de divergência do fluxo de umidade e linhas de corrente em 850 hPa (a,b,c) e divergência de massa e linhas de corrente em 200 hPa (d,e,f). O teste de significância não é aplicado nas linhas de corrente.

Fonte: produção da autora.

O ciclone a oeste do ABr é uma feição característica da fase madura do SMAS, quando a principal atividade convectiva ocorre no centro-oeste do

Brasil e a ZCAS está completamente desenvolvida (JORGETTI, 2008). Grimm et al. (2007) através da análise de 41 anos de dados observacionais de precipitação propuseram que, quando há anomalia positiva de precipitação no sudeste brasileiro, o calor latente de condensação liberado na troposfera, em conjunto com o efeito orográfico de ascendência do ar (pela presença do ABr), colaboram com a manutenção da circulação ciclônica. Posteriormente, Kodama et al. (2012) mostrou, através da simulação numérica de casos de ZCAS que, quando a precipitação é suprimida, o ciclone não se forma e a circulação de baixos níveis flui em direção ao SESA, devido a entrada da ASAS no continente. Junquas et al. (2015) encontraram padrão semelhante, mostrando para uma climatologia de 30 verões simulados numericamente, que o ABr e a presença do ciclone têm papel fundamental no ancoramento da ZCAS na posição climatológica. Desta forma, os resultados encontrados corroboram com a hipótese de que: (1) a presença da ZCAS contribui para a formação do ciclone à oeste do ABr através da liberação de calor latente de precipitação; (2) o ciclone direciona os ventos da região Amazônica para o sudeste brasileiro e impede a entrada do flanco oeste da ASAS no continente (Fig. 4.4a), ajudando a manter a ZCAS ao norte do SESA.

Não foram encontrados na literatura estudos que descrevam a intensificação do anticiclone no SESA e do cavado em baixos níveis sobre o Atlântico Sul (Fig. 4.4a) associados ao padrão de baixos níveis da ZCAS. No entanto, esta circulação anticiclônica predominante, ao sul de 27 °S, possivelmente esteja associada a divergência de umidade (Fig. 4.4a), assim como a presença dos anticiclones migratórios que atravessam a Cordilheira dos Andes. O cavado no Atlântico parece ter uma estrutura barotrópica, presente também nos campos de altura geopotencial em 500 hPa (Fig. 4.5d) e nas linhas de

corrente em 200 hPa (Fig. 4.4d). Associado ao fato de que: (1) a convergência de umidade da porção oceânica da ZCAS em 850 hPa (Fig. 4.4a) está localizada no encontro entre o cavado e o flanco sudoeste da ASAS e; (2) na classe SZCAS esta convergência migra para sul, acompanhando a atenuação do cavado (Fig. 4.4b), pode-se inferir que este tem papel importante no ancoramento da porção oceânica da ZCAS.

Na diferença entre os dias ativos e inativos, a resultante das linhas de correntes forma uma circulação ciclônica sobre o Atlântico Sudoeste (Fig. 4.4c). Esta se forma pela entrada de ventos do Atlântico Sul (48 °O, 25 °S) no continente, associada ao cavado e ao anticiclone no SESA durante a ZCAS ativa. Em aproximadamente 9 °S os ventos invertem o sentido, conectando-se com os ventos de noroeste da região amazônica e de norte do Atlântico Equatorial, convergindo sobre a porção oceânica da ZCAS. Este padrão também indica enfraquecimento do Jato de Baixos Níveis (JBN) nos dias ativos. Liebmann et al. (1999) mostram que a anomalia ciclônica no Atlântico Sudoeste é característica da variabilidade submensal da ZCAS. Também foi relatada por Carvalho et al. (2004) na escala intrasazonal para as classes ZCAS intensa e ZCAS oceânica e por Jorgetti et al. (2014) para as classes ZCAS Norte Ativa e ZCAS Sul Inativa.

Em altos níveis observa-se que tanto nos dias ativos quanto inativos (Fig. 4.4d,e) a Alta da Bolívia (AB) e o Cavado do Nordeste estão bem configurados, porém nos dias ativos (Fig. 4.4d) há ainda um cavado a leste da AS. Este é o padrão típico de ocorrência da ZCAS em 200 hPa, segundo Kodama (1993) e Quadro (1994). A divergência dos ventos acompanha o padrão espacial da ROL (Fig. 4.3a) chegando à $12 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$. Na região oceânica da ZCAS observa-se na divergência dos ventos em 200 hPa o mesmo comportamento da DU em 850 hPa, com a porção oceânica da ZCAS

migrando para sul quando o cavado não se configura. É interessante notar ainda que o máximo da diferença encontra-se sobre a região oceânica da ZCAS, ao invés da região costeira, como ocorre com a DU (Fig. 4.4f, e). Em relação as diferenças no padrão de circulação, pode-se ver que a AB está intensificada e deslocada para nordeste, fechando uma circulação anticiclônica na região Amazônica da ZCAS (Fig. 4.5f). O Cavado do Nordeste orienta-se no sentido NO-SE e a crista que o separa da AB é intensificada. Segundo Ferreira et al. (2009), a região de transição entre a AB e o VCAN é uma zona de difluência de massa, portanto, a intensificação da crista na classe CZCAS é coerente com a intensificação da divergência dos ventos em relação a classe SZCAS.

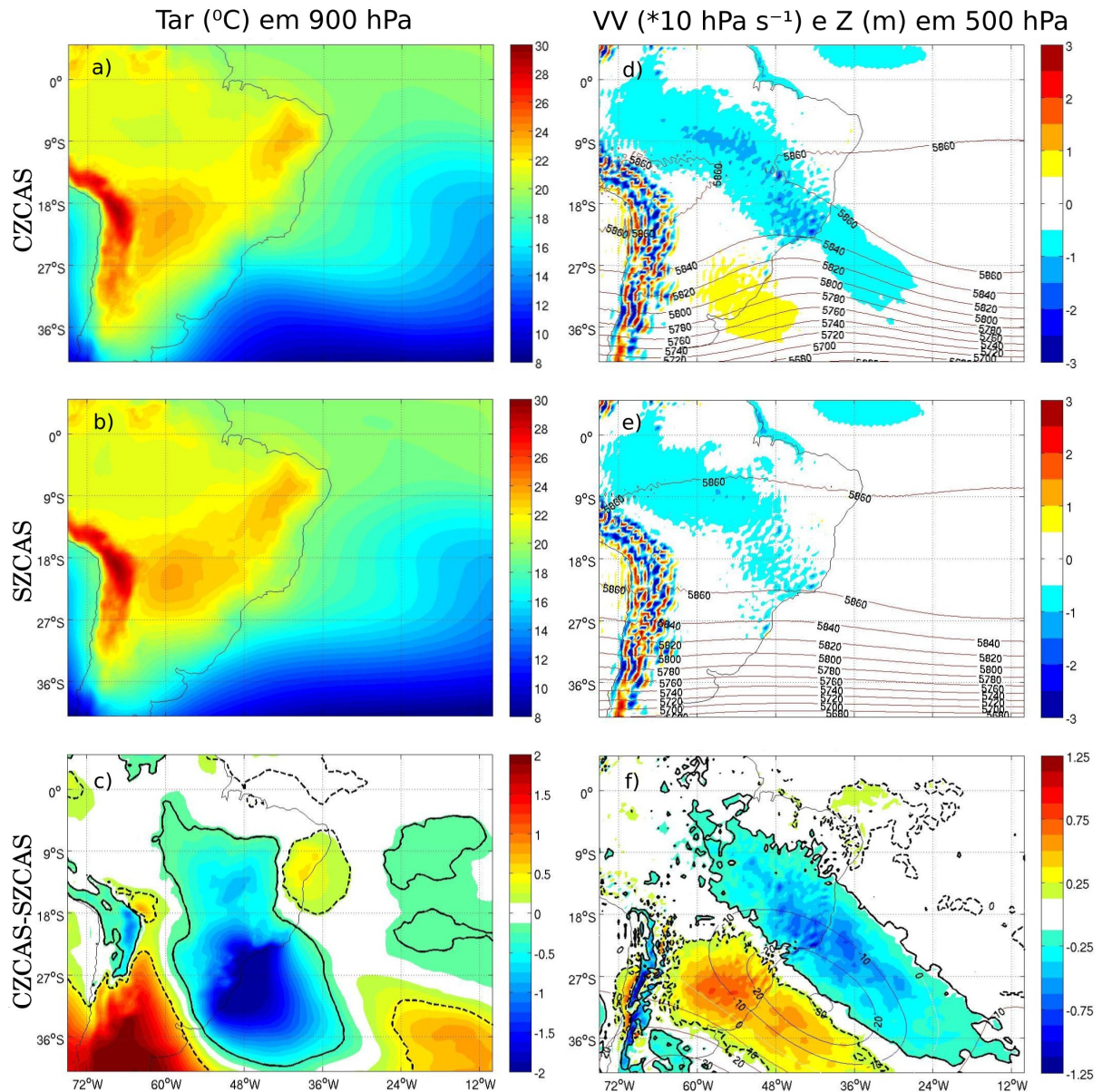
Comparado ao trabalho de Carvalho et al. (2004), em que a ZCAS foi separada em quatro classes distintas (intensa, fraca, oceânica e continental), os resultados encontrados no presente trabalho são semelhantes à classe ZCAS Oceânica, onde tanto o padrão dipolo de ROL quanto circulação ciclônica no Atlântico Sudoeste estão configurados.

Jorgetti et al. (2014) sugeriram que existem duas fontes de umidade para a ZCAS Norte Ativa, o Atlântico Equatorial e a região Amazônica. Já para a ZCAS Sul Inativa apenas a região Amazônica contribuiria. No presente trabalho não foi realizada a análise do transporte de umidade e, portanto, ambas as regiões podem estar contribuindo para manutenção da ZCAS. Os autores também encontraram que ambas as classes ocorrem em conjunto com a fase ativa do SMAS, devido às anomalias de vento de oeste na AS Tropical em baixos níveis, o que também se observa na Figura 4.4c.

Na média troposfera, em 500 hPa, o movimento vertical ascendente (valores negativos de ômega na Fig. 4.5d) tem o mesmo padrão ROL (alongado na direção NO-SE). Pelas linhas de altura geopotencial (Z) observa-se o cavado

sobre o Atlântico Sul. Também se observa a desconexão da porção oceânica da ZCAS nos dias inativos, acompanhando a atenuação do cavado.

Figura 4.5: Tar em 900 hPa e VV e Z em 500 hPa para a classe CZCAS



Idem à Fig. 4.4, porém para os campos de temperatura do ar em 900 hPa (a,b,c) e velocidade vertical omega e altura geopotencial em 500 hPa (d,e,f). O teste de significância não é aplicado ao campo de altura geopotencial.

Fonte: Produção da autora.

Próximo a superfície, a temperatura do ar (Tar) em 900 hPa na classe

CZCAS apresenta um padrão de dipolo com orientação SO-NE, com uma região de menor temperatura abaixo da banda de nebulosidade associada à ZCAS. Este padrão é esperado, uma vez que a banda nebulosidade impede a radiação de ondas curtas de chegar à superfície (Fig. 4.5a,b).

Porém, ao observar a diferença entre os dias ativos e inativos, porém, verifica-se que a diminuição da temperatura em dias ativos de ZCAS é estatisticamente significativa sobre toda a costa sul e sudeste do Brasil, chegando a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig. 4.5c). Possivelmente, a entrada de ventos provenientes do Atlântico Sul no SESA enquanto a ZCAS está ativa (Fig. 4.4c), é responsável por uma advecção de ar frio que diminui a temperatura nesta região, mesmo com a maior incidência de radiação solar. Esta advecção de ar frio já foi sugerida por Liebmann et al. (1999), que encontrou padrão similar para o campo de temperatura em 1000 hPa. A região da Patagônia, por sua vez, apresenta temperatura até $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ maior nos dias de ZCAS (Fig. 4.5c). Em 500 hPa observa-se uma crista de altura geopotencial nesta região (Fig. 4.5a,f), em conjunto com um aumento significativo da ROL (Fig. 4.3c). Desta forma, as maiores temperaturas podem estar associadas com aquecimento radiativo de ondas curtas, se este for maior do que a advecção fria vinda do Atlântico Sul. Ainda, na região nordeste do Brasil observa-se aumento significativo da temperatura em dias de ZCAS. Conforme foi mostrado na Figura 4.4f, o Cavado do Nordeste desloca-se sobre o continente em dias ativos. Quando este se fecha em uma circulação ciclônica, o que comumente ocorre em casos de ZCAS, se torna um VCAN. Segundo Ferreira et al. (2009), o centro de um VCAN é caracterizado por proporcionar transporte de ar frio e seco dos altos para os médios níveis troposféricos, devido ao movimento descendente do ar, o que impede a formação de nuvens. Sendo assim, o aquecimento anômalo em 900 hPa no

nordeste do Brasil também pode estar relacionado a maior incidência da radiação solar em dias ativos.

4.3 Comparação entre os métodos objetivo e subjetivo

A seção anterior tratou do comportamento temporal e espacial dos dias ativos de ZCAS detectados pelo algoritmo, onde foi verificado que este é eficiente em capturar os padrões médios associados ao modelo conceitual de ocorrência da ZCAS. Nesta seção serão investigadas as diferenças entre os casos identificados pelos métodos subjetivo e objetivo de classificação. Destaca-se que não se trata de uma validação do algoritmo, pois, conforme foi esclarecido na seção 3.1.4, os dados observacionais não estão sendo tratados como verdade absoluta. O objetivo é verificar onde e porquê as diferenças existem.

Analisando a tabela de contingência (Tabela 4.2) em relação aos dias observados (ao longo das colunas), é possível ver que do total de 3025 dias entre 1996 e 2015, o CPTEC classificou 887 como dias ativos de ZCAS (classe CZCAS) e 2138 como inativos (classe SZCAS). Do total de 887 dias ativos, aproximadamente 57% foram detectados pelo algoritmo e 43% foram perdidos no processo objetivo de classificação. Já dos 2138 dias pertencentes a classe SZCAS, somente 13,5% foram considerados ativos pelo algoritmo. Conforme foi colocado na seção 4.1, é mais importante para o presente trabalho que casos de ZCAS bem definidos sejam detectados, de forma que a baixa porcentagem de dias erroneamente classificados (13%) é um resultado favorável, mesmo com a elevada porcentagem de dias perdidos pelo algoritmo (43%). Destaca-se ainda que, na diagonal principal da Tabela 4.2 estão os acertos da classificação (504 e 1847), e na outra diagonal estão os erros (383 e 291), de forma que a concordância entre os métodos foi

consideravelmente maior do que as discrepâncias.

Tabela 4.2: Tabela de contingência entre os dados observacionais (Io) e detectados pelo algoritmo (Id) para as classes de ocorrência de ZCAS (CZCAS) e não ocorrência (SZCAS).

		Io		
		CZCAS	SZCAS	
Id	CZCAS	504	291	795
	SZCAS	383	1847	2230
		887	2138	3025

Fonte: Produção da autora.

Para elucidar os motivos das principais incoerências entre métodos, foi feita a análise visual dos verões de 1997-98 e 2006-07. Estes anos foram escolhidos por que superestimam e subestimam os dias detectados em relação aos observados, respectivamente. As figuras e tabelas desta classificação estão no Apêndice A. Em geral, destaca-se que o principal motivo das diferenças encontradas são as incoerências entre as datas iniciais e finais dos eventos detectados/observados. No entanto, algumas deficiências em cada um dos métodos foram pontuadas e são descritas a seguir:

(A) Erros de classificação nos dados observados, que se dividem entre: (1) dias que deveriam ter sido observados, mas não foram e; (2) dias que não deveriam ter sido observados, mas foram. Como exemplo da primeira situação temos os casos de 15-18/12/1997, 16-21/01/1998 e 02-05/03/1998. Os compostos para o primeiro caso são mostrados na Figura A.1 a-d, onde se observam todas as características dinâmicas e termodinâmicas da formação da ZCAS descritas em Kodama (1992) e Quadro (1994). No segundo há uma reorganização da convecção entre os dias 17 e 18 na

porção oceânica, devido a passagem de um sistema frontal (Fig. A.2a-d), porém este não dissipa o sistema sobre o continente, que se mantém até dia 20. Também se observa o sinal da ZCAS em todos os níveis e variáveis analisadas (Fig. A.3a-d). O terceiro é um caso de ZCAS pouco intensa que atuou principalmente sobre os estados do Paraná e São Paulo (figuras não mostradas). Em relação ao segundo tipo de erro, este ocorre especialmente em casos muito longos, como o de 27/12/2006 à 16/01/2007, de 21 dias de duração. Pela análise dos campos diários de ROL e das variáveis dinâmicas e termodinâmicas, propõe-se que são três casos distintos de ZCAS. O primeiro de 27/12/2006 à 02/01/2007 (Fig. A.4a-f). Nos dias 3-5/01/2007 a ZCAS se descaracteriza pela chegada de um sistema frontal ao sul, que desorganiza a convecção sobre o continente e oceano, não sendo possível fazer distinção entre eles, principalmente nos campos de ROL e Theta-e em 500 hPa (Fig. A.5a-f). O segundo evento teria ocorrido entre 06-10/02/2007, quando a convecção volta a se organizar em uma única banda em sentido NO-SE e as características dinâmicas e termodinâmicas se restabelecem (Fig. A.6a-f). Nos dias 11 e 12 outro sistema frontal se aproxima pelo sul da ZCAS e novamente a descaracteriza (Fig. A.7a-f). Por fim o terceiro evento ocorre quando este mesmo sistema frontal organiza a convecção e permanece estacionário entre os dias 13-16/02/2007 (Fig. A.8a-f). Propõe-se, portanto, que os dias 3-5 e 11-1e12/02/2007 não deveriam ter sido observados nem detectados.

(B) Confusão do algoritmo com outros sistemas convectivos, mesmo após a inserção do critério EFF. Este é o caso do evento entre e 07-10/01/1998. Pelos campos diários de ROL (Fig. A.9a-d) percebe-se que trata-se da passagem de um sistema frontal oriundo de altas latitudes, que conecta-se com a convecção tropical no dia 08 e com a convecção do VCAN sobre o

nordeste do Brasil nos dias 09 e 10, desconfigurando-se no dia 11 (não mostrado). O padrão de nebulosidade nos dias 09 e 10 forma um padrão espacial tipo Y (Ferreira et al., 2009), típico desta situação.

(C) Quebra de uma ou mais das condicionais impostas pelo algoritmo. O caso observado de 14-19/11/1997 não foi detectado devido a chegada da convecção ao sul de 27 °S em mais de 25 pixels no dia 17, infringindo a condição EFF. Os dias 14-15-16 e 18-19 não foram classificados devido à permanência inferior a quatro dias. Situação semelhante ocorreu no caso de 26/11-02/12/2006, devido a chegada de um sistema frontal que se associou à ZCAS nos dias 27 e 28 (Fig. A.10a-d). Devido a quebra da convecção em dois ou mais SEG's de ROL menor que 230 W m^{-2} , os casos de 10-14/11/2006 (Fig. A.11a-f) e 19-23/03/2007 não foram detectados. Situações mistas ocorreram em outros eventos, sendo que nos verões analisados nenhum evento foi eliminado por não cruzar a LiC ou estar fora dos limiares de EXC.

Em geral, a classificação visual dos verões de 1997-98 e 2006/07 mostra que o algoritmo tende a capturar eventos “clássicos” de ZCAS. No entanto, verifica-se que ambas as metodologias apresentam erros inerentes aos processos de classificação. Em relação ao padrão médio, em geral os campos troposféricos dos dias observados pelo CPTEC (QUADRO et al., 2016, Figuras 2 e 3), são semelhantes aos dias detectados pelo método objetivo, apresentados na seção 4.2. No entanto, ressaltam-se algumas diferenças significativas. Na Figura 4.6a é mostrado que, durante a ZCAS observada, a ROL nas regiões costeira e oceânica é até 8 W m^{-2} superior e, ao sul da ZCAS, até 8 W m^{-2} inferior. Este padrão espacial se repete para a VV em 500 hPa (Fig. 4.6e), onde o movimento ascendente é menos (mais) intenso nas regiões costeira e oceânica (ao sul) da ZCAS durante os casos

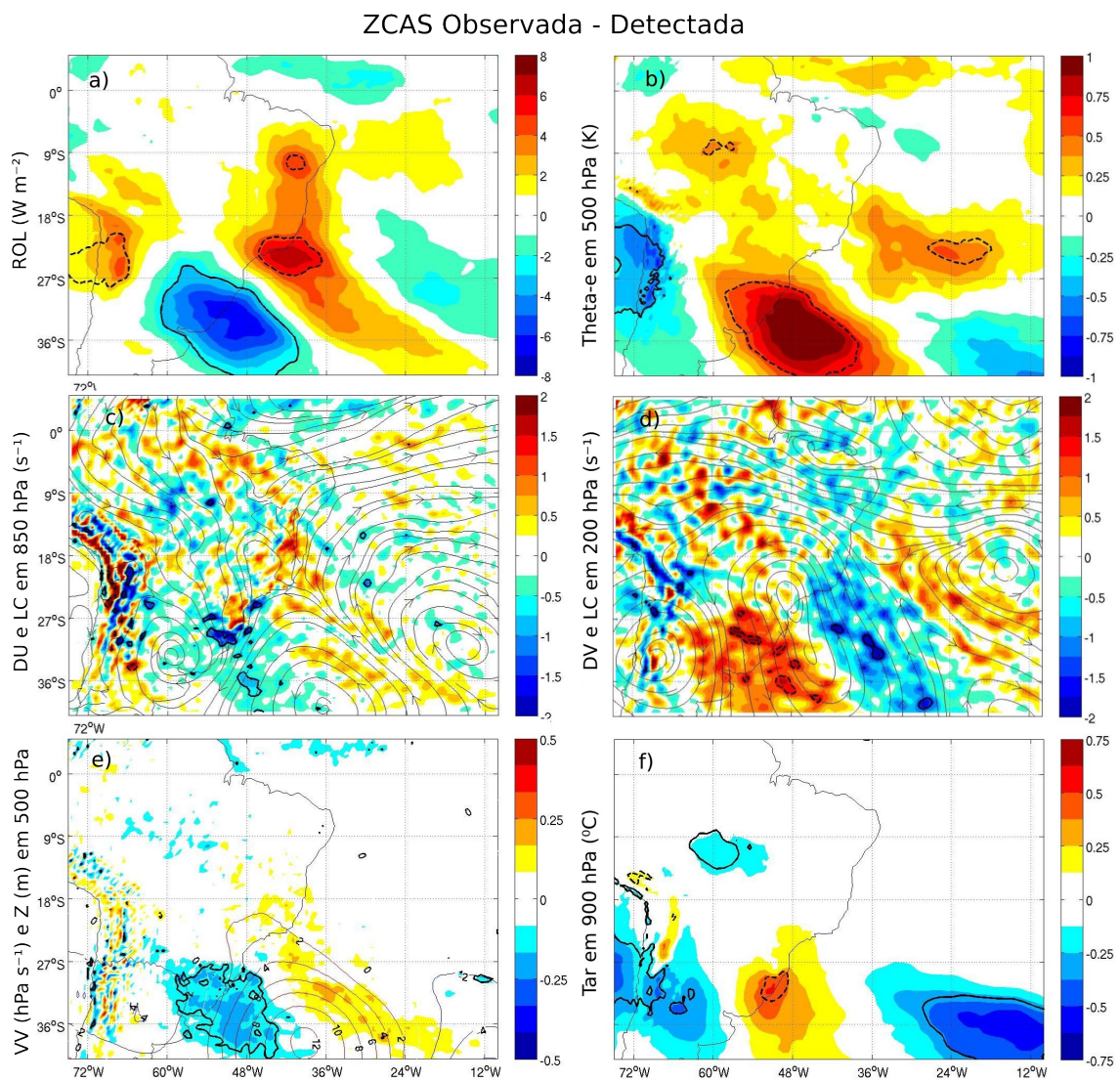
observados, sendo que a diferença só foi significativa sobre o SESA. No campo de Theta-e (Fig. 4.6b) também é possível observar uma diferença significativa no SESA, onde os casos observados apresentam, em média, temperatura até 1 K acima em relação aos detectados.

Nos campos de convergência do fluxo de umidade em 850 hPa e divergência de massa em 200 hPa não foram observadas diferenças significativas, exceto por algumas regiões ao sul da ZCAS. Ainda assim, os resultados indicam que na região costeira e oceânica da ZCAS os casos observados apresentam menor convergência de umidade (850 hPa) e divergência de massa (200 hPa), com situação oposta sobre o SESA. A diferença dos ventos em altos níveis (Fig. 4.6d) resulta em uma circulação anti ciclônica na região do cavado a leste da AS (27 °S, 45 °O), o que pode indicar uma intensificação do cavado nos casos detectados. Isto também pode ser observado no campo de altura geopotencial na média troposfera (Fig. 4.6e), pela diferença positiva de até 12 hPa na mesma região. Em baixos níveis (Fig. 4.6c), a diferença do escoamento mostra que o JBN durante a ZCAS observada flui, mais para sul, em direção ao sudeste da América do Sul, do que nos casos detectados. Ressalta-se que a significância da diferença dos campos de ventos e altura geopotencial não foi testada e, portanto, estes resultados são apenas indícios de como a circulação difere entre os casos observados e detectados.

É interessante notar ainda que a temperatura do ar é significativamente maior na costa do Uruguai e RS durante a ZCAS observada (Fig. 4.6f). Este parece ser um resultado contraditório, uma vez que, concomitantemente, ocorre maior atividade convectiva e movimento subsidente de ar da média troposfera (Fig. 4.6a,e). Porém, como foi discutido na seção 4.2, há uma diminuição da temperatura nesta região durante a ZCAS detectada que pode estar associado com uma advecção

fria do Atlântico Sul em baixos níveis (Figura 4.4a,c). O escoamento em baixos níveis nos casos observados em relação aos detectados é majoritariamente do continente para o oceano (Fig. 4.6c). Sendo assim, pode-se inferir que quando a ZCAS atua na posição mais austral (ZCAS observada), a advecção fria diminui e a temperatura sobre o SESA tende a ser maior do que nos casos mais boreais (ZCAS detectada).

Figura 4.6: Diferença entre dias de ZCAS observados (selecionado pelo método subjetivo) e detectados (selecionados pelo método objetivo).



Diferença para os campos de ROL (a), Theta-e (b), divergência do fluxo de umidade e linhas de corrente em 850 hPa (c), divergência de massa e linhas de corrente em

200 hPa (d), velocidade vertical omega e altura geopotencial em 500 hPa (e) e temperatura do ar em 900 hPa (f). O teste de significância (>99%) é mostrado nos contornos contínuo (positivo) e pontilhado (negativo), exceto para as linhas de corrente e altura geopotencial.

Fonte: Produção da autora.

Considerando os padrões atmosféricos encontrados, em resumo, as principais diferenças entre os métodos são: (1) a ZCAS detectada apresenta maior atividade convectiva nas regiões costeira e oceânica; (2) o cavado a leste da AS em 200 hPa é mais intenso nos casos detectados; (3) os casos observados ocorreram, em média, em posições mais austrais, enquanto os detectados são mais boreais.

O algoritmo utilizado neste trabalho só considera casos onde a ROL é contínua, com valores abaixo de 230 W m^{-2} e que cruza, necessariamente, a LiC. Em contrapartida, no método subjetivo (dias observados) ela pode apresentar valores acima deste limite, não ser contínua ou não estender-se em direção ao Atlântico Sudoeste. Neste caso, o conhecimento prévio do analista será decisivo para ponderar se representam, ainda assim, uma situação de ZCAS. Em relação à localização, o algoritmo tende a restringir os casos ao norte de 27°S , devido aos critérios LiC e EFF. Considerando que a ZCAS apresenta alta variabilidade espacial (KODAMA 1992; QUADRO 1994; CARVALHO et al., 2002), casos atípicos podem ser perdidos no processo objetivo de classificação. Esta é uma explicação possível para as diferenças encontradas entre os métodos.

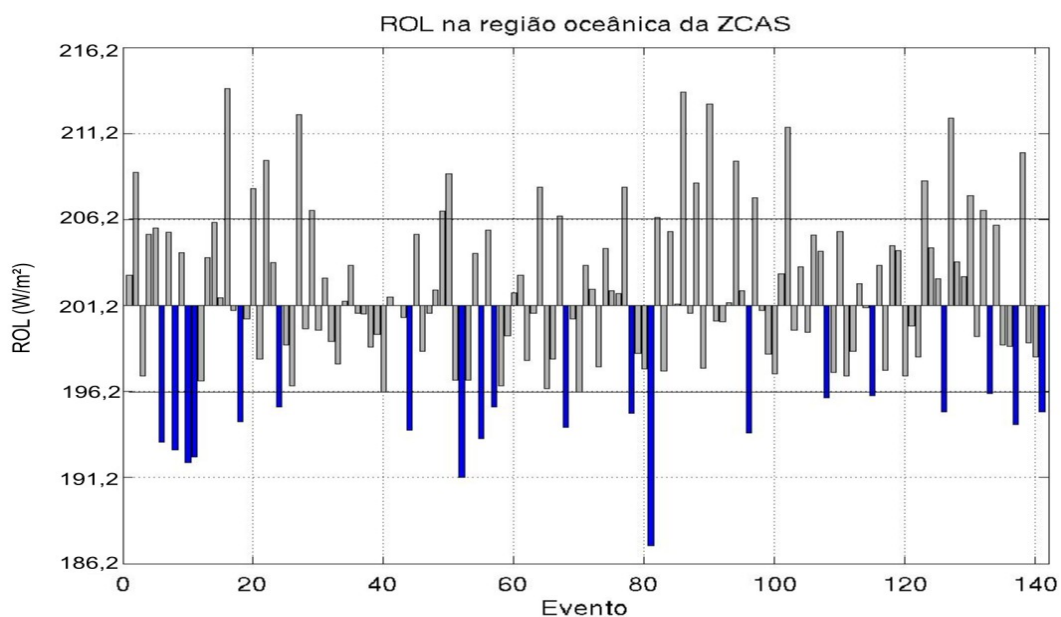
4.4 Processos de interação oceano-atmosfera durante a ZCASOCN

Nesta seção serão estudados os casos oceânicos dos eventos detectados pelo algoritmo de classificação. Considerou-se como um caso oceânico (ZACSO CN) aqueles em que, a média da ROL na porção oceânica da ZCAS,

manteve-se abaixo da média menos um desvio padrão (Fig. B.1). A média da ROL na porção oceânica foi de 201,2 W/m² e o desvio padrão de 5,05 W/m². Na Figura 4.7 as barras azuis representam os episódios de ZCASOcn, a data de ocorrência e as características de média e variância destes episódios estão na Tabela B.1, destacados em azul. Ressalta-se que o fato de o caso ter sido considerado oceânico não significa que ele não tenha sido intenso sobre o continente e/ou região costeira também. Os demais casos de ZCAS (que não são oceânicos) foram retirados da série temporal para avaliar a diferença entre os dias em que a ZCASOcn está ativa e inativa (SZCAS).

Dos 141 casos de ZCAS detectados, 20 foram considerados oceânicos, totalizando 132 dias. Nestes, observou-se além dos resultados esperados de diminuição da média (194 W m⁻²) e aumento da variância da ROL (460,5 W m⁻²) em relação aos demais casos, que a área total e a permanência dos eventos aumentam para 10,2 x 10⁶ km² e 6,6 dias, respectivamente (penúltima e última linhas da Tabela B.1).

Figura 4.7: Casos de ZCAOcn.



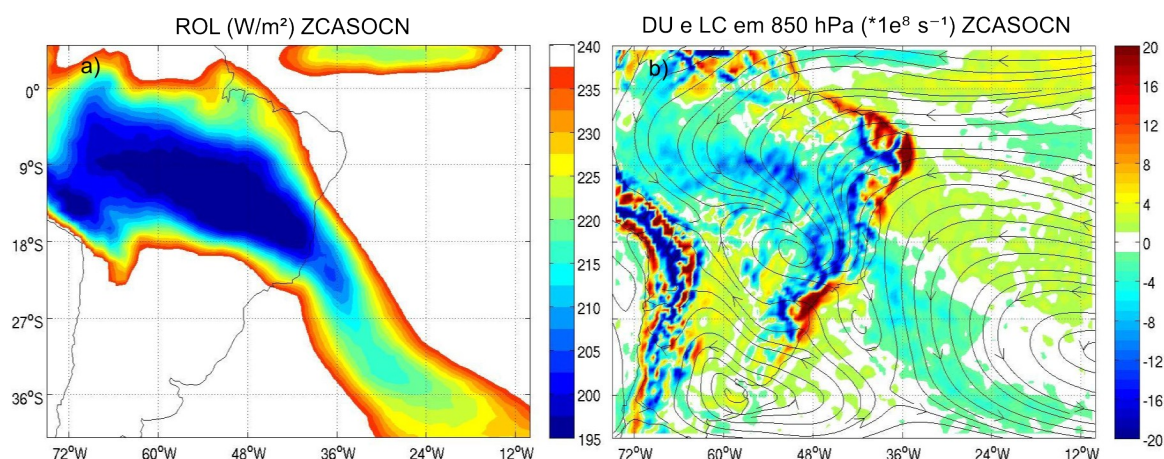
Média da ROL na porção oceânica da ZCAS (SEGOcn) por evento. O valor central

no eixo y é a média ($201,2 \text{ W/m}^2$) e as linhas pretas contínuas superior e inferior demarcam um desvio padrão acima e abaixo da média, respectivamente. O eventos oceânicos estão destacados em azul.

Fonte: Produção da autora.

O padrão espacial da ROL, divergência do fluxo de umidade e linhas de corrente em 850 hPa para a ZCASOCN são mostrados na Figura 4.8. Para avaliar a diferença entre os demais casos de ZCAS (não oceânico) e a ZCASOCN, foi calculada a diferença entre os dois conjuntos de casos e aplicado o teste-t de significância (figuras não mostradas). De maneira geral os episódios de ZCASOCN cruzam a linha de costa ao norte da posição média (comparar Figs. 4.3a e 4.8a), estendendo-se sobre o oceano Atlântico Sudoeste com uma diferença de até -35 W m^{-2} em relação aos eventos não oceânicos. No noroeste da AS, sudeste do Brasil e Uruguai as diferenças são positivas (menor atividade convectiva) com valor máximo de 25 W m^{-2} no Sudeste brasileiro. Em outras palavras, a atividade da convectiva é mais intensa na região da ZCASOCN e menos intensa no sudeste da América do Sul. Pelas linhas de corrente em 850 hPa observa-se a intensificação do cavado no leste da América do Sul e da entrada de ar do Atlântico Sul no SESA. Esta característica se estende ao longo da troposfera e pode ser observada nos campos de altura geopotencial em 500 hPa e linhas de corrente em 200 hPa (figuras não mostradas). Tendo em vista que o objetivo é verificar a influência da ZCAS no oceano subjacente, considerou-se que a metodologia de detecção foi eficiente, pois além da intensificação da atividade convectiva sobre o Atlântico Sudoeste, a permanência do evento e a área na porção oceânica da ZCAS também aumentaram nos casos oceânicos.

Figura 4.8: ROL, DU e LC em 850 durante a ZCASO CN



Fonte: Produção da autora.

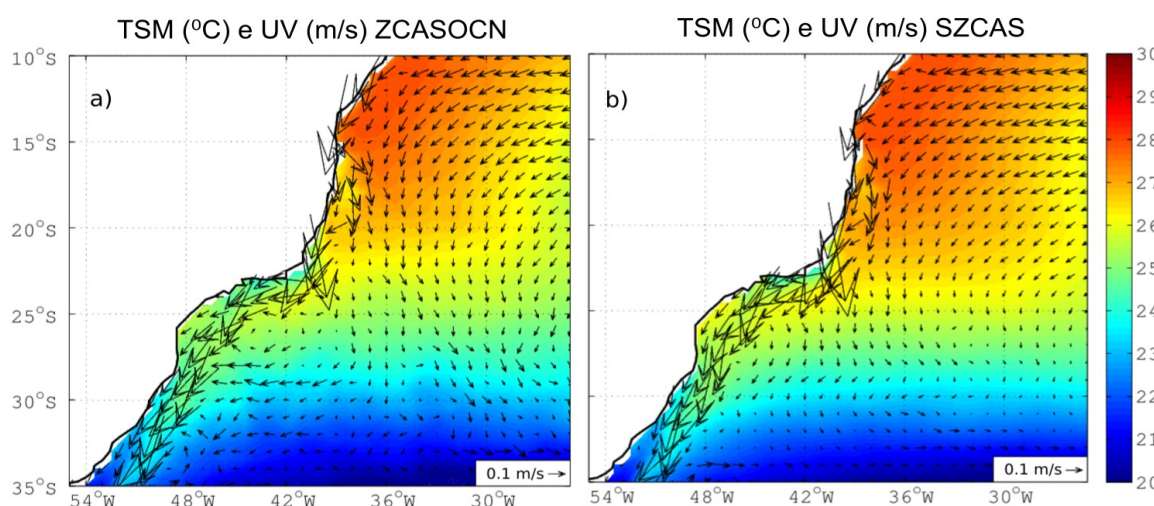
Segundo Coelho et al. (2015 a) o verão de 2013/2014 (dezembro à março) teve a maior anomalia negativa de precipitação na região de São Paulo (-479,7 mm) em relação à média climatológica de 1981-2010 (918,7 mm). Diversos estudos têm relacionado a não formação da ZCAS com a deficiência de precipitação nas regiões onde atua (Coelho et al., 2015 b; Carvalho et al., 2002 e 2004).

Segundo o CPTEC, durante o evento de 10-25/12/2013, o acumulado de precipitação excedeu 400 mm entre o norte de Minas Gerais e Espírito Santo (<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1213.shtml>). Indicando que a redução da precipitação em São Paulo em dezembro de 2013 esteve relacionada com a atuação da ZCAS ao norte da posição média ao longo do mês. Este resultado é coerente com o padrão espacial da ZCASO CN, onde a convecção é intensificada e deslocada para norte. Sendo assim, o evento de dezembro de 2013 pertence a um conjunto de episódios de ZCAS, denominado aqui de ZCASO CN. Ressalta-se a importância do estudo destes eventos, visto que podem ser responsáveis por prejuízos sócio

econômicos (COELHO et al. 2015 b).

Comparando o padrão médio de TSM e das correntes oceânicas superficiais (UV) durante a ZCASOCCN (Fig. 4.9a) e os dias inativos de ZCAS (Fig. 4.9b), observa-se que a TSM na faixa entre 15 e 20 °S é menor durante a ZCASOCCN. Também há um afastamento das correntes próximas da costa em 20 °S em direção a sudeste, que se estende até 30 °S - 36 °O, quando passam a fluir para oeste até encontrar novamente a CB, fechando um padrão de circulação ciclônica, que não é observado nos dias inativos.

Figura 4.9: TSM e UV na ZCASOCCN e SZCAS



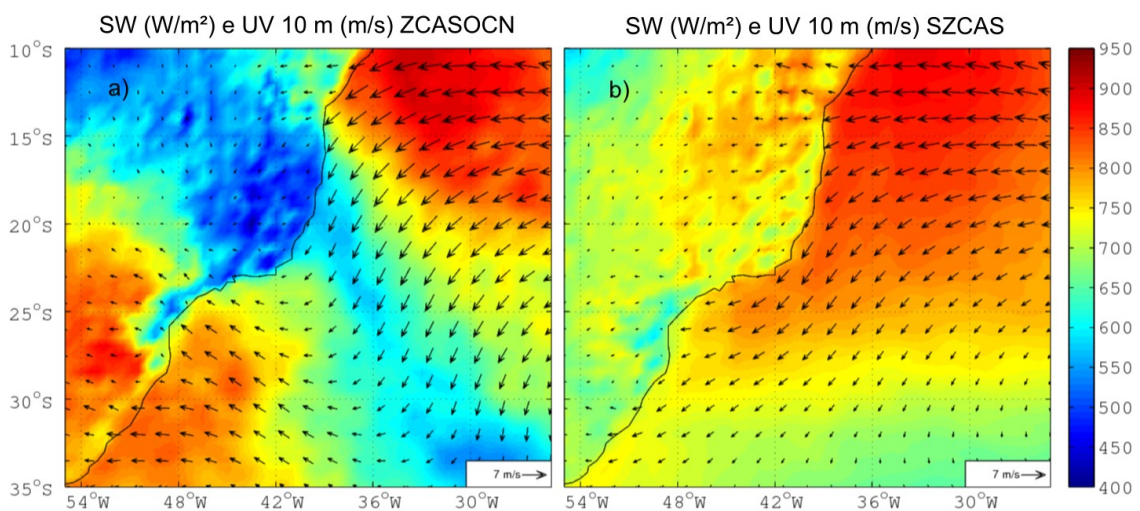
TSM e correntes oceânicas superficiais (UV) para dias ativos de ZCASOCCN (a) e dias inativos SZCAS (b).

Fonte: Produção da autora.

Na Figura 4.10 é possível ver a mudança no padrão dos ventos em 10 m entre os dias ativos (Fig. 4.10a) e inativos (Fig. 4.1b). A tendência de circulação ciclônica observada nas correntes oceânicas está presente na atmosfera sobrejacente ao longo da porção oceânica da ZCAS. Tendo em vista que o tempo médio de atuação da ZCASOCCN é de 6,6 dias, é possível que a alteração nas correntes seja devida a alteração no padrão dos ventos superficiais. Ainda na Figura 4.10 é mostrada a incidência de radiação de

ondas curtas na superfície (SW) para os dias ativos (Fig. 4.10a) e inativos (Fig. 4.10b). O sinal da banda de nebulosidade associado a ZCASOCCN é nítido nos dias ativos (Fig. 4.10a), com aumento da incidência da radiação solar nas adjacências da banda de convecção e restrição no interior da mesma.

Figura 4.10: SW e UV 10 m na ZCASOCCN e SZCAS

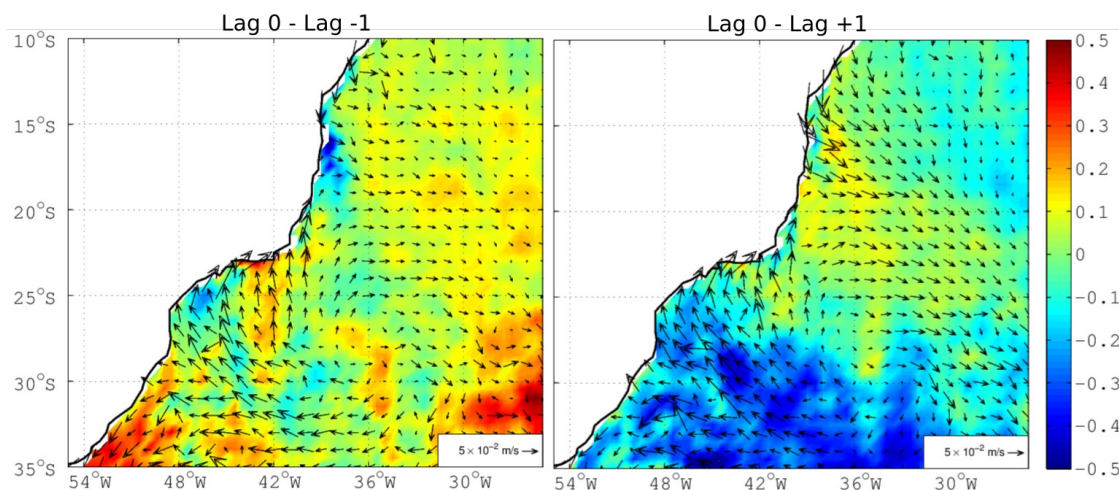


Radiação de onda curta incidente na superfície (SW) e vento em 10 m acima da superfície (UV 10 m) para dias ativos de ZCASOCCN (a) e inativos SZCAS (b).

Fonte: Produção da autora.

Para avaliar a evolução temporal dos padrões de TSM e UV, foi calculada a diferença entre a média dos dias ativos de ZCASOCCN (Lag0) e uma semana antes do evento acontecer (Lag-1; Fig. 4.10a), análise que evidencia as mudanças ocorridas no oceano entre a semana anterior e o período de atuação da ZCASOCCN. Também foi calculada a diferença entre o Lag0 e uma semana após do evento (Lag+1), que indica a resposta do oceano uma semana depois da atuação da ZCASOCCN (Fig. 4.10b).

Figura 4.11: Diferença de Lags para TSM e UV durante a ZCASOCN



Diferença dos campos de TSM ($^{\circ}\text{C}$) e correntes superficiais (m s^{-1}) entre: (a) uma semana antes e durante a ZCASOCN e; (b) durante a ZCASOCN e uma semana após a sua ocorrência.

Fonte: Produção da autora.

Antes da interpretação da diferença de TSM na Figura 4.11a, é importante lembrar que a região de Cabo Frio (23°S) é conhecida pela ocorrência da ressurgência costeira. Rodrigues e Lorenzetti (2001), através de um modelo numérico de duas camadas, mostraram que para um vento constante, soprando de NE com velocidade de 6 m s^{-1} , o efeito da reversão do sentido da linha de costa é determinante para ocorrência do afloramento das águas de sub superfície, que são mais frias que a água superficial. Na Figura 4.11a, é possível ver que a TSM era aproximadamente meio grau menor antes da ocorrência da ZCASOCN na região de Cabo Frio. O padrão dos ventos superficiais nos dias inativos (Fig. 4.10b) é semelhante ao utilizada por Rodrigues e Lorenzetti (2001; vento de NE de 6 m s^{-1}), enquanto que nos dias ativos (Fig. 4.10a) os ventos sopram de sudoeste ao sul de 20°S . Por fim, as correntes oceânicas superficiais durante a ZCASOCN propiciam o empilhamento da água na costa sudeste do Brasil (Fig. 4.11a),

provavelmente associado a uma desintensificação das correntes costeiras, situação contrário ao que se esperaria em um afloramento de água subsuperficial. Sendo assim, os resultados encontrados sugerem que a atuação da ZCASOCN pode inibir, ou pelo menos, enfraquecer a ressurgência costeira em Cabo Frio. Ressalta-se, porém, que uma análise mais detalhada é necessária para avaliar o efeito da ZCASOCN na ressurgência, tendo em vista que esta é uma situação média de 132 dias e os dados utilizados de reanálise oceânica, ou seja, deve-se levar em conta a física do modelo numérico. Sugere-se, por exemplo, o estudo de um único caso, onde dados observacionais e/ou de satélite estejam disponíveis e seja possível calcular com precisão o bombeamento de Ekman.

Outra explicação possível para as alterações da TSM na região supracitada é a diminuição na quantidade de radiação solar que chega à superfície do mar. Porém, a região de Cabo Frio está na borda da banda de nebulosidade associada à ZCAS (Fig. 4.10a). A inibição da SW pode, porém, explicar o sensível resfriamento observado no oceano aberto centrado em 36 °S e 25 °S durante a ZCASOCN (Fig. 4.11a). Já o aumento da SW ao sul da ZCAS (Fig. 4.10a) pode ser responsável pelo aquecimento da água entre 30 e 35 °S e a leste de 48 °S durante a ZCASOCN em relação a semana anterior (Fig. 4.11a).

Em relação a resposta do oceano uma semana após a passagem da ZCASOCN, há uma diminuição da temperatura superficial abaixo da banda de nebulosidade associada a ZCAS e um aumento da temperatura ao sul da mesma (Fig. 4.11a). Esta resposta possivelmente está associada com a variação na incidência de radiação solar que chega a superfície, com restrição da incidência abaixo, e aumento ao sul da ZCAS (Fig. 4.10a). Estes resultados estão de acordo com a hipótese de que o resfriamento da água do

mar abaixo da banda de nebulosidade associada a ZCAS pode ser uma resposta à retroalimentação ZCAS-nuvemTSM, proposta por Chaves e Nobre (2004) e Almeida et al. (2007).

Até aqui foi avaliada a evolução temporal dos campos oceânicos de UV e TSM em relação a semana anterior e posterior a passagem da ZCASOEN. A partir de agora será analisada a diferença entre os dias ativos de ZCASOEN e o total de dias inativos (SZCAS), lembrando que os casos não oceânicos foram excluídos. A diferença ZCASOEN menos SZCAS foi calculada para uma semana antes, durante e após a ocorrência da ZCASOEN.

A análise da figura 4.12 mostra que a TSM é até 0,8 °C menor uma semana antes e durante a ZCASOEN em relação ao dias inativos. Uma semana depois o resfriamento migra para norte, enquanto uma anomalia positiva começa a surgir ao sul de 30 °S (Figura 4.12a,b,c). Este é um resultado interessante, pois mostra que, apesar de haver um resfriamento da água do mar abaixo da ZCASOEN uma semana depois da sua ocorrência (Fig. 4.11b), a TSM em relação ao total de dias inativos (SZCAS) já se encontra mais fria em todo o Atlântico Sul. Ainda, a entrada de ventos de sudeste no SESA começa a ser significativa durante o evento (Fig. 4.13b,e). O aumento do gradiente de temperatura terra-mar devido ao resfriamento do Atlântico Sul uma semana anterior e durante a ZCASOEN pode favorecer este processo, confinando a banda de nebulosidade ao norte da posição média. Este resultado já foi sugerido por Jorgetti et al. (2014) para as classes ZCAS Norte Ativa e ZCAS Sul Inativa, cujos padrões de ROL, circulação em baixos níveis e TSM se assemelham ao encontrado no presente trabalho.

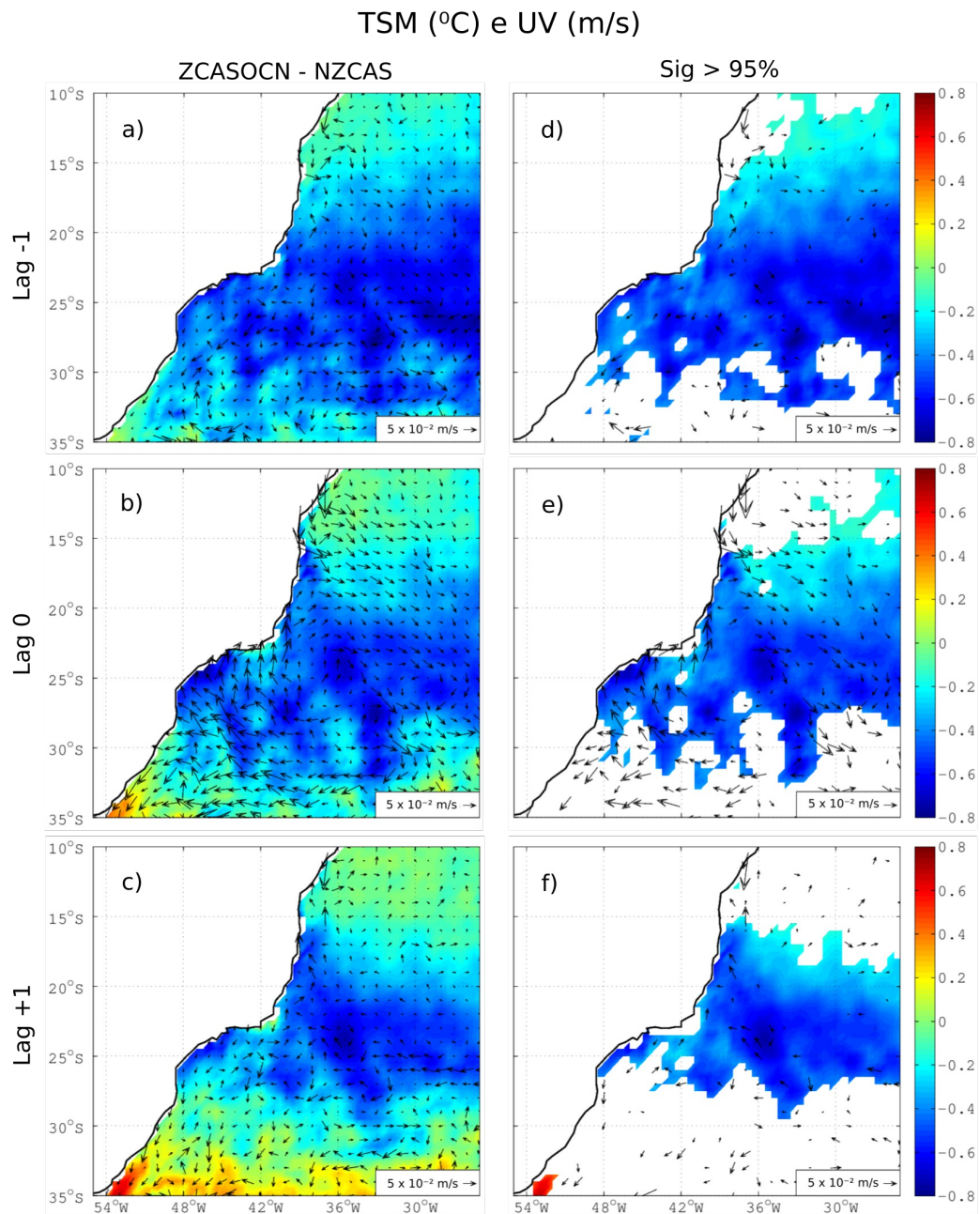
Comparando as Figuras 4.12b e 4.13b, é possível ver que ao norte da banda de nebulosidade associada à ZCAS (Fig. 4.13b), onde a resultante do vento é para sul, a resultante das correntes oceânicas é para sudoeste, ou seja,

aproximadamente 45° à esquerda do movimento do vento. O padrão se repete ao longo do ciclone que se forma nos ventos em 10 m. Este resultado corrobora com a análise dos campos médios das Figuras 4.10a e 4.11a, onde é sugerido que a alteração do campo de ventos durante a ZCASOCN é capaz de alterar o comportamento das correntes oceânicas superficiais.

Ao sul de 27°S as correntes oceânicas próximas à costa tendem a ficar mais intensas nos dias de ZCASOCN (Fig. 4.12b). Pezzi et al. (2005) mostraram que a estabilidade da Camada Limite Atmosférica Marinha (CLAM) na região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM) é modulada pela TSM na ausência de sistemas atmosféricos de meso e larga escala. A intensificação das correntes superficiais ao sul de 27°S pode intensificar a mistura da Água Tropical (quente e salina) com as massas de água frias e menos salinas que ocorrem ao sul da CBM (Água Subtropical de Plataforma, Água Subantártica de Plataforma e Água Subantártica). Desta forma, é possível que haja uma influência remota da ZCAS sobre a CLAM na CBM.

Destaca-se que não foram encontrados na literatura resultados que mostrem o comportamento da circulação oceânica superficial associadas a ocorrência da ZCAS. Mesmo com a discrepância nas bases de dados (CFSR, CFSv2 e Glorys2v4), os resultados encontrados mostram que as anomalias de circulação ciclônica no vento à 10 m durante a ZCASOCN, são capazes de promover movimento de mesmo sentido (ciclônico) nas correntes superficiais do oceano Atlântico Sudoeste. Os resultados também sugerem que o fato da água do mar estar mais fria uma semana antes e durante a ZCASOCN (Fig. 4.11a,b) em relação aos dias inativos (SZCAS; Fig. 4.12d,e) parece contribuir para o deslocamento da ZCAS para norte, através do aumento do gradiente de temperatura do ar entre terra-mar.

Figura 4.12: Diferença de TSM e UV entre a ZCASOCCN e SZCAS.

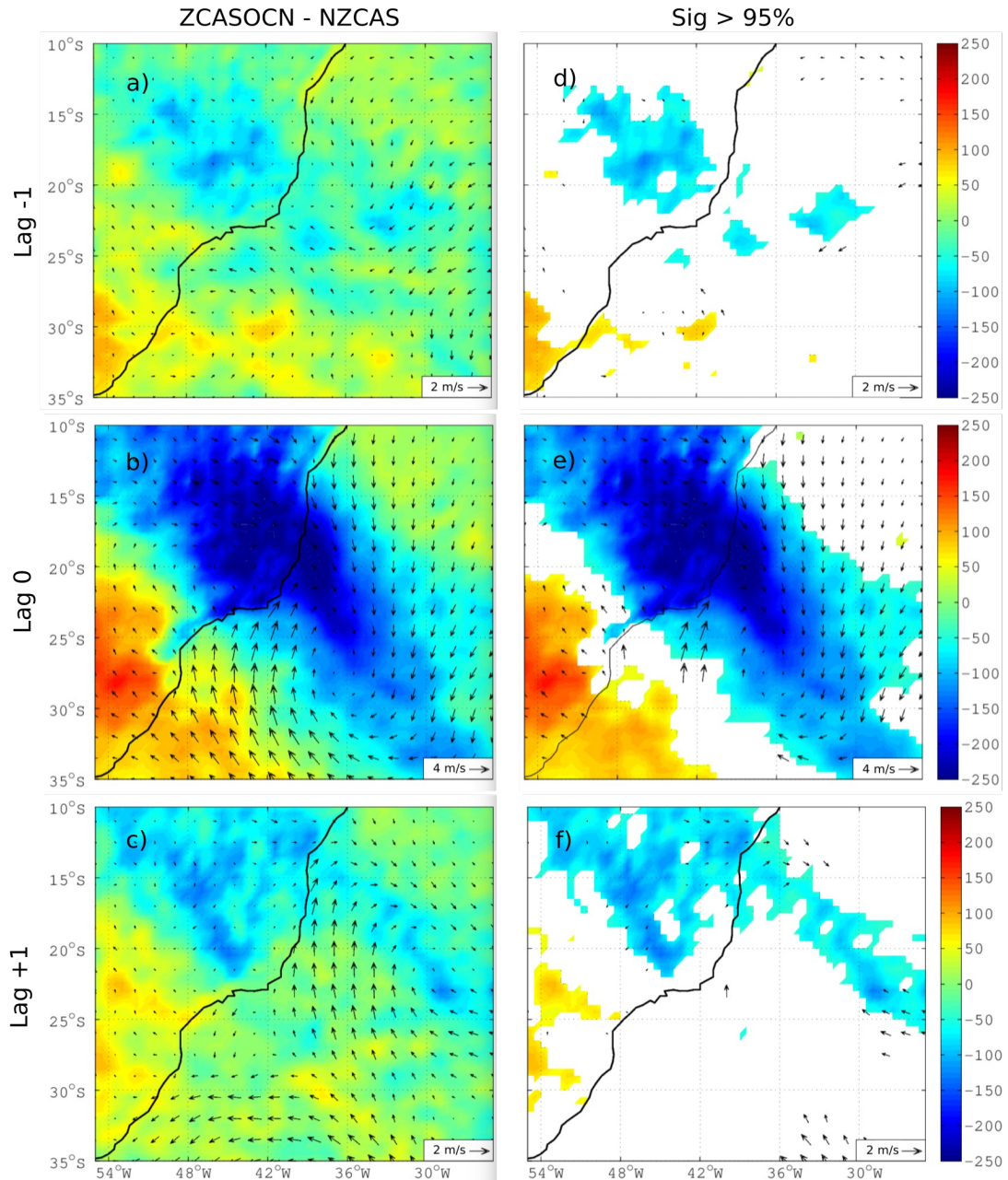


Diferença entre os dias ativos e inativos de ZCASOCCN (ZCASOCCN-SZCAS) para os campos de TSM e correntes oceânicas superficiais para uma semana antes do evento (a,d), durante (b,e) e uma semana depois (c,f). Painéis da esquerda mostram a diferença em todos os pontos de grade, na direita, somente aqueles cuja diferença é significativa para o nível de confiança de 95%.

Fonte: Produção da autora.

Figura 4.13: Diferença de SW e UV 10 m entre a ZCASOCCN e SZCAS.

SW (W/m²) e UV 10 m (m/s)



Idem à Figura 4.11, porém para SW e ventos à 10 m da superfície.

Fonte: Produção da autora.

5 CONCLUSÃO

O principal objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um método objetivo de identificação de episódios de ZCAS, através de um algoritmo de classificação de imagens orbitais de radiação de onda longa emergente. De maneira geral, o algoritmo considera, no campo diário de ROL, o padrão espacial da banda de nebulosidade associada à ZCAS e a permanência deste padrão por, no mínimo, quatro dias consecutivos.

Para cumprir com o objetivo do trabalho, foram testadas diferentes configurações do algoritmo de classificação de imagens, que foram comparadas aos dados observados pelo CPTEC. Porém, ressalta-se a dificuldade de utilizar os dados observados como meio de validação do algoritmo, uma vez que é um método subjetivo de identificação de episódios de ZCAS e, portanto, sujeito a erros de interpretação. Ao mesmo tempo, é a única base de dados que disponibiliza as datas dos episódios de ZCAS por um longo período de tempo.

A melhor rodada do algoritmo de classificação de imagens teve 56% de concordância com os dados observados pelo CPTEC, sendo que apenas 13% dos dias ativos de ZCAS detectados não correspondem a dias ativos observados. Pela análise dos compostos da classe CZCAS (ZCAS ativa) foi mostrado que o método objetivo é eficiente em reproduzir as características dinâmicas associadas ao modelo conceitual da ZCAS. Destacam-se, contudo, algumas características que não aparecem comumente na literatura. A ZCAS ocorre em conjunto com a fase ativa do SMAS e a circulação ciclônica em 850 hPa sobre o centro-oeste do Brasil, resultados que sugerem que a precipitação associada à ZCAS ajuda na formação da Baixa do Chaco através da liberação de calor latente. A presença de um cavado barotrópico a leste da América do Sul (850, 500 e 200 hPa) parece ser o mecanismo necessário para

o ancoramento da porção oceânica da ZCAS. O resfriamento do ar em 900 hPa ao longo da costa sudeste e sul do Brasil pode ser resultado de uma advecção fria vinda do Atlântico Sul, associada ao cavado em 850 hPa.

O algoritmo também foi eficiente em reproduzir a variabilidade temporal da ZCAS, com uma média de aproximadamente 8 dias ativos por mês em cada estação (novembro à março). A distribuição mensal esteve de acordo com o esperado, com 65% dos dias ativos de ZCAS ocorrendo durante o pico do verão austral, entre dezembro e fevereiro, e 35% nos meses de março e novembro. Merecem destaque também algumas características básicas da ZCAS que não se encontram na literatura, como a área média dos episódios detectados pelo algoritmo, de aproximadamente 9×10^6 km², o valor médio da ROL dentro da banda de nebulosidade associada à ZCAS, de 197 W m^{-2} e a duração média dos episódios de 5,75 dias.

A partir das considerações supracitadas, a hipótese de que a ROL pode ser utilizada como única variável para detecção dos episódios de ZCAS foi comprovada. A partir disto foram levantadas algumas questões específicas como, quais as principais semelhanças e diferenças entre os métodos objetivos (algoritmo de classificação) e subjetivo (dados observados) de identificação da ZCAS? É possível isolar os episódios em que a atividade convectiva é intensa sobre o oceano Atlântico Sudoeste (ZCAS oceânica)? E, quais os processos de interação oceano-atmosfera podem estar ocorrendo durante a ZCAS oceânica?

A primeira questão foi respondida pela análise da diferença do padrão médio dos episódios de ZCAS observados pelo CPTEC e detectados pelo algoritmo, assim como pela classificação visual dos verões de 1997/98 e 2006/2007. Estas análises revelaram que o método objetivo, por ser determinístico, tende a capturar eventos de ZCAS bem configurados, em restrição aos casos

atípicos. Outras diferenças importantes são que, o algoritmo de classificação detecta eventos de ZCAS mais boreais e com maior extensão e intensidade nas regiões costeira e oceânica da ZCAS. Desta forma, ao utilizar o método objetivo para estudo da ZCAS, garante-se que apenas os eventos bem configurados sejam considerados. Por outro lado, a restrição dos casos atípicos pode mascarar parte da variabilidade espacial e temporal da ZCAS.

Os episódios de ZCAS considerados oceânicos (ZCASOCN) tiveram um aumento da atividade convectiva, da área sobre o Atlântico Sudoeste e da permanência temporal. As principais características destes casos são que, a média da ROL dentro da banda de nebulosidade associada à ZCAS é de 193 W m^{-2} , a duração de 6,6 dias e a área de $10 \times 10^6 \text{ km}^2$. Também, os eventos de ZCASOCN são deslocados para norte da posição média, cruzando a linha de costa no sul da Bahia.

Por fim, foram investigados os processos de interação oceano-atmosfera durante ZCASOCN. De modo geral, o oceano Atlântico Sudoeste está mais frio que o normal uma semana antes da atuação da ZCASOCN, e permanece mais frio durante o evento. O resfriamento do oceano aumenta o gradiente entre terra-mar, favorecendo a entrada de ventos de sudeste no sul do continente Sul Americano. A entrada de ventos de sudeste no sul da AS auxilia no deslocamento e manutenção da banda de nebulosidade da ZCAS ao norte da posição média, resultados que corroboram com o trabalho de Jorgetti et al. (2014) durante a ZCAS Norte Ativa e ZCAS Sul Inativa.

Apesar de o Atlântico Sudoeste estar mais frio que o normal antes da atuação da ZCASOCN, é observado um resfriamento da água localizada abaixo da banda de nebulosidade da ZCAS entre a semana que antecede, e o período de atuação da ZCASOCN. Este resfriamento pode estar relacionado com a retroalimentação entre as nuvens associadas à ZCAS e a diminuição

da incidência de radiação solar que chega à superfície do oceano, conforme proposto por Chaves e Nobre (2004).

O padrão das correntes oceânicas superficiais mostrou que, durante a ZCASOCN, existe uma tendência de circulação ciclônica no Atlântico Sudoeste, inexistente nos dias inativos. A alteração no padrão das correntes acompanha a mudança no regime dos ventos em 10 m, que passa de nordeste nos dias inativos, para uma circulação ciclônica nos dias ativos. Sendo assim, os resultados mostraram que a ZCASOCN é capaz alterar o padrão de circulação do oceano subjacente. Algumas possíveis consequências desta alteração no padrão das correntes oceânicas superficiais são destacadas aqui, como: (1) inibição e/ou diminuição da ressurgência costeira em Cabo Frio devido ao enfraquecimento das correntes costeiras; (2) intensificação da Corrente do Brasil ao sul de 27 °S, que pode exercer influência remota na região da confluência Brasil-Malvinas; (3) afastamento das correntes costeiras na costa sul da Bahia. Destaca-se que os processos de interação oceano-atmosfera supracitadas não foram investigados por completo e sugere-se que mais estudos sejam realizados neste sentido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. A. F.; NOBRE, P.; HAARSMA, R. J.; CAMPOS, E. J. D. Negative ocean-atmosphere feedback in the South Atlantic Convergence Zone. **Geophysical Research Letters**, v. 34, L. 18809, 2007.

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

BARREIRO, M.; CHANG, P.; SARAVANAN, R. Variability of the South Atlantic Convergence Zone Simulated by an Atmospheric General Circulation Model. **Journal of Climate**, v. 15, p. 745-763, 2002.

BARROS, V.; GONZALEZ, L. B.; CAMILLONI, I. Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic Sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in Southeastern South America. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 67, p. 123-133, 2000.

BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; REBOITA, M. S. Precipitation over eastern South America and the South Atlantic Sea surface temperature during neutral ENSO periods. **Climate Dynamics**, v. 42, p. 1553-1568, 2014

BOLTON, D. The Computation of Equivalent Potential Temperature. **Monthly Weather Review**, v. 108, p. 1046-1053, 1980.

CALTABIANO, A. C. V.; ROBINSON, I. S.; PEZZI, L. P. Multi-year satellite observations of instability waves in the Tropical Atlantic Ocean. **Ocean Science**, v. 1, p. 97-112, 2005.

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.

CUNNINGHAM, C. A. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. **International Journal of Climate**, DOI: 10.1002/joc.1309, p. 1-16.

CHAVES, R. R.; NOBRE, P. Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. **Geophysical Research Letters**, v. 31. L03204, 2004.

CHAVES, R. R.; SATYAMURTY, P. Estudo das condições regionais associadas a um evento de forte ZCAS em janeiro de 2003. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n.1, p. 134-140, 2006.

COELHO, C. A. S.; OLIVEIRA, C. P.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; CARPENEDO, C. B.; CAMPOS, L. P. S.; TOMAZIELLO, A. C. N.; PAMPUCH, L. A.; CUSTÓDIO, M. S.; DUTRA, L. M. M.; ROCHA, R. P.; REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, DOI: 10.1007/s00382-015-2800-1, p. 1-16, 2015.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. **Theoretical Applied Climatology**. DOI 10.1007/s00704-015-1550-9, p. 1-16, 2015.

ELLINGSON, G. R.; YANUK, J. D.; LEE, H-T.; GRUBER, A. A Technique for Estimating Outgoing Longwave Radiation from HIRS Radiance Observations. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v, 6, p. 706-711, 1989.

FERREIRA, N. J.; RAMÍREZ, M. V.; GAN, M. A. Vórtices ciclônicos de altos níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI et al. (orgs) Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 43.

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.

GAN, A. M.; KOUSKY, E. V.; ROPELEWSKI, F. C. The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil. **American Meteorological Society**, v. 17, p. 47-66, 2004.

GRIMM, A. M.; PAL, J. S. P.; GIORGI, F. Connection between Spring Conditions and Peak Summer Monsoon Rainfall in South America: Role of Soil Moisture, Surface Temperature, and Topography in Eastern Brazil. **Journal of Climate**, v. 20, p. 5929-5945, 2007.

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(1), p. 379-387, 1990.

JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Active and Break Phases in the South American Monsoon System. **American Meteorological Society**, v. 15, p. 905-9014, 2002.

JORGETTI, T. **A Zona de Convergência do Atlântico Sul e os processos oceânicos do Atlântico e do Pacífico**. 2008. 169 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

JORGETTI, T.; SILVA DIAS, P. L.; FREITAS, E. D. The relationship between South Atlantic SST and SACZ intensity and positioning. **Climate Dynamics**, v. 42, p. 3077-3086, 2014.

JUNQUAS, C.; LI, L.; VERA, C. S.; TREUT, H. Le.; TAKAHASHI, K. Influence of South America orography on summertime precipitation in Southeast South America. **Climate Dynamics**, DOI 10.1007/s00382-015-2814-8, 2015.

KALNAY, E.; MO, K. C.; PEAGLE, J. 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, n. 3, p. 252-275, 1986.

KODAMA, Y. Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v. 70, n. 4, p. 813-836, 1992.

KODAMA, Y. Large-scale common features of Sub-tropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and SACZ). Part II: conditions of the circulation for generating the STCZs. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v. 71, n. 5, p. 581-610, 1993.

KODAMA, Y.; SAGAWA, T.; ISHIDA, S. Roles of the Brazil Plateau in the Formation of the SACZ. **Journal of Climate**, v. 25, p. 1745-1758, 2012.

LEE, H-T.; HEIDINGER, A.; GRUBER, A.; ELLINGSON, G. R. The HIRS outgoing longwave radiation product from hybrid polar and geosynchronous satellite observations. **Advanced in Space Research**, v. 33, p. 1120-1124, 2004.

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

LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; GLICK, J. D. Submonthly Convective Variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 12, p. 1877-1891, 1999.

LINDZEN S R.; NIGAM S. On the Role of Sea-Surface Temperature-Gradients in Forcing Low-Level Winds and Convergence in the Tropics. **Journal of Atmospheric Science**, v. 44, p 2418-2436, 1987.

MATTOS, R. A. **Feições de meso e grande escalas da Corrente do Brasil ao largo do sudeste brasileiro**. 2006, 146 p. Dissertação (Mestrado em Ciências, área de Oceanografia física) – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

NOBRE, P.; DE ALMEIDA, R. A.; MALAGUTTI, M.; GIAROLLA, E. Coupled Ocean-Atmosphere Variations over the South Atlantic Ocean. **American Meteorological Society**, v. 25, p. 6349-6358, 2012.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K. C. Alternating Wet and Dry Conditions over South America During Summer. **Monthly Weather Review**, v. 125, p. 279-291, 1997.

PETTERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 26, p. 1-73, 1991.

PEZZI, L. P. P.; SOUZA, R. B.; QUADRO, M. F. L. A review on the ocean-atmosphere interaction processes in regions of strong sea surface temperature gradients of the South Atlantic Ocean based on observational data. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 31, n. 4, p. 428-453, 2016.

PEZZI, P. L.; SOUZA, B. R.; ACEVEDO, O.; WAINER, I.; MATA, M. M.; GARCIA, A. E. C.; CAMARGO, R. Multilayer measurements of the oceanic and atmospheric boundary layers at the Brazil-Malvinas confluence region. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, D19103, 2009.

PEZZI, P. L.; SOUZA, B. R.; DOURADO, S. M.; GARCIA, A. E. C.; MATA, M. M.; SILVA-DIAS, A. F. M. Ocean-atmosphere in situ observations at the Brazil-Malvinas Confluence Region. **Geophysical Research Letters**, v. 32, L22603, 2005.

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994. 124 p. (INPE-6341-TDI/593). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1993. Disponível em:

<<http://urlib.net/6qtX3pFwXQZGivnJSY/HgN7e>>. Acesso em: 06 fev. 2017.

QUADRO, M. F. L. Q.; SILVA-DIAS, M. A.; HERDIES, L.; GONÇALVES, L. G. G. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n 2, p. 152-162, 2012.

QUADRO, M. F. L.; PEZZI, L. P.; ROSA, E. B. **Revista Climanálise**. O Climanálise e o Monitoramento da ZCAS nos últimos 30 Anos. Ano 04 - Número 01 - ISSN 1679-9747, p. 19-25, Ano da publicação: 2016. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/%7Erclimanl/revista/pdf/30anos/quadroetal.pdf>>. Acesso em: 06 fev. 2017.

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

ROBERTSON, W. A.; MECHOSO, R. C. Interannual and Interdecadal Variability of the South Atlantic Convergence Zone. **Monthly Weather Review**. v. 128, p. 2947-2957, 2000.

RODRIGUES, R. R.; ROTHSTEIN, L. M.; WIMBUSH. Seasonal Variability of the South Equatorial Current Bifurcation in the Atlantic Ocean: A Numerical Study. **Journal of Physical Oceanography**, v. 37, p. 16-30, 2007.

SAHA, S.; MOORTHY, H.; PAN, X.; WU, J.; WANG, and Coauthors. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 91, p. 1015-1057, 2010.

SAHA, S.; MOORTHY, H.; WU, X.; WANG, and Coauthors. The NCEP Climate Forecast System Version 2. **Journal of Climate**, v. 27, p. 2185-2208, 2014.

TOKINAGA, H.; TANIMOTO.; XIE, S-P. SST-Induced Surface Wind Variations over the Brazil-Malvinas Confluence: Satellite and In Situ Observations. **Journal of Climate**, v. 18, p. 3470-3482, 2005.

TOMAZIELLO, A. C. N.; GANDU, A. W. Imapcto da temperatura da superfície do mar na simulação da Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, p. 291-304, 2013.

SIQUEIRA, J. R.; MACHADO, L. A. T. Influence of the Frontal Systems on the Day-to-Day Convection Variability over South America. **Journal of Climate**, v. 17, p. 1754-1766, 2004.

VENEGAS, S. A.; MYSAK, L. A.; STRAUB, D. N. Atmosphere-Ocean coupled variability in the South Atlantic. **Journal of Climate**, v. 10, p. 2904-2920, 1997.

WALLACE M. J.; MITCHELL P. T.; DESER C. The influence of Sea-Surface Temperature on Surface Wind in the Eastern Equatorial Pacific – Seasonal and Interannual Variability. **Journal of Climate**, v. 2, p. 1492-1499, 1989.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. Atmospheric science: an introductory survey, Washington: Elsevier, 2006, 2nd Ed.

WILKS, D. S. Statistical methods in the atmospheric sciences. Washington: Academic Press, 1995, 1st Ed.

ZHOU, J., LAU, K.-M., Does a Monsoon Climate Exist over South America? **Journal of Climate**, v. 11, p. 1020-1040, 1998.

APÊNDICE A – CLASSIFICAÇÃO VISUAL DOS EPISÓDIOS DE ZCAS NOS VERÕES DE 1997-98 E 2006-07

Os campos diários de ROL e os compostos das variáveis dinâmicas e termodinâmicas foram utilizados para analisar visualmente os casos de ZCAS nos verões de 1997-98 e 2006-07. Os dias de ZCAS onde houve discordância entre os métodos foram reclassificados visualmente, seguindo os critérios de definição da ZCAS descritos em Kodama (1992, 1993) e Quadro (1994).

Nas Tabelas A.1 e A.2, As colunas 1, 4, 7 e 10 são os meses do verão austral, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, respectivamente. Nas colunas 2-3, 5-6, 8-9, 11-12 os quadros cinzas indicam dias ativos de ZCAS observados pelo CPTEC e detectados pelo algoritmo de classificação de imagens, respectivamente. Nas colunas 3, 6, 9 e 12, a letra s (n) representa os dias que, pela análise visual, deveriam (não deveriam) ter sido classificados como ZCAS, a letra s seguida da sigla de uma condicional (sSEG, sEFF, sEXC, sLiC) indica que o algoritmo classificou erroneamente este dia na classe SZCAS (ZCAS inativa) por não respeitar o limiar estabelecido para a respectiva condicional.

Os campos de ROL e das variáveis dinâmicas e termodinâmicas são mostradas para ilustrar situações representativas dos erros e acertos de ambas as metodologias. A descrição destes dias está na seção 4.3 do presente trabalho, onde são colocadas as principais causas da incoerência entre os métodos objetivo e subjetivo de identificação da ZCAS.

Tabela A.1: Classificação visual dos episódios de ZCAS no verão 1996/97.

1997						1998								
Nov	Obs	Det	Dez	Obs	Det	Jan	Obs	Det	Fev	Obs	Det	Mar	Obs	Det
1			1			1			1			1		
2			2			2			2			2		s
3			3			3			3			3		s
4			4			4			4			4		s
5			5			5			5			5		s
6			6			6			6			6		
7			7			7		n	7			7		
8			8			8		n	8			8		
9			9			9		n	9			9		
10			10			10		n	10			10		
11			11			11			11		n	11		
12			12			12			12			12		
13			13			13			13			13		
14		s	14			14			14			14		
15		s	15		s	15			15			15		
16		s	16		s	16		s	16			16		
17		sEFF	17		s	17		s	17		n	17		
18		s	18		s	18		s	18			18		
19		s	19			19		s	19			19		
20			20			20		s	20			20		
21			21			21		n	21			21		
22			22			22			22			22		
23			23			23			23			23		
24			24			24			24			24		
25			25			25			25			25		
26			26			26			26			26		
27			27			27			27			27		
28			28			28			28			28		
29			29			29						29		
30			30			30						30		
			31			31						31		

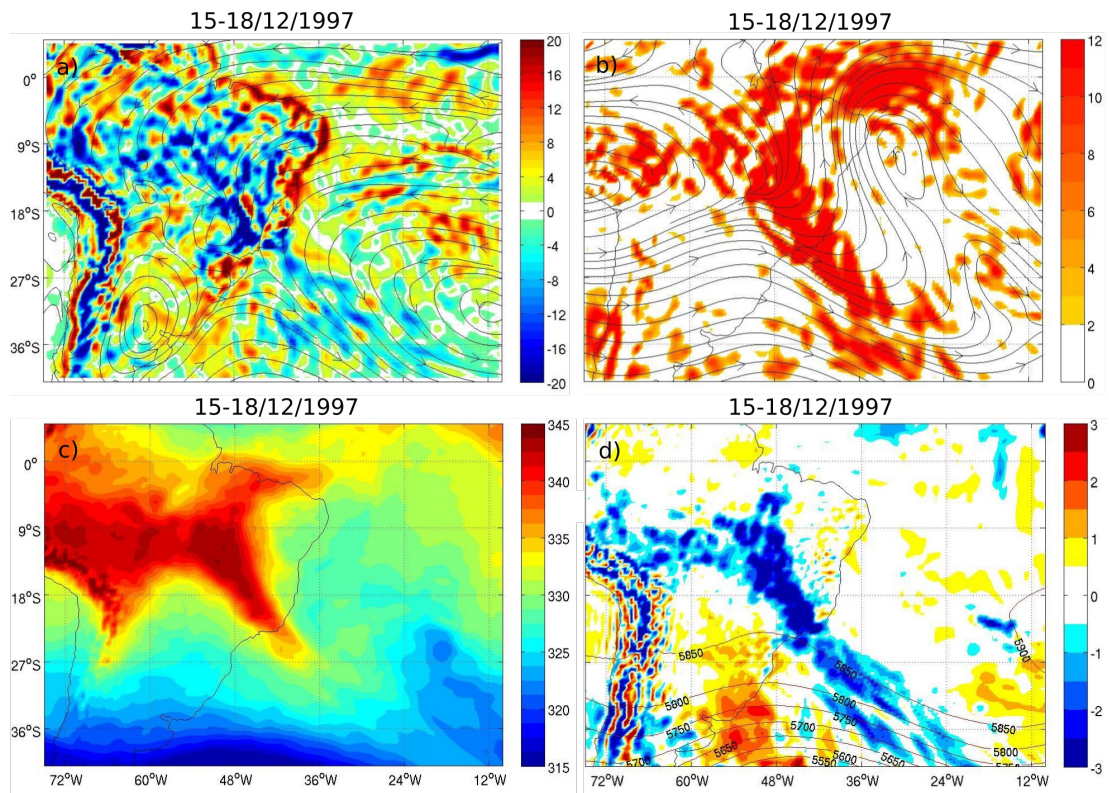
Fonte: Produção da autora.

Tabela A.2: Classificação visual dos episódios de ZCAS no verão 2006/07.

2006						2007								
Nov	Obs	Det	Dez	Obs	Det	Jan	Obs	Det	Fev	Obs	Det	Mar	Obs	Det
1			1	Obs	s	1	Obs		1	Obs	s	1		
2			2		sSEG	2			2		s	2		
3			3			3		n	3		s	3		
4			4			4		n	4		sSEG	4		
5			5			5		n	5		s	5		
6			6			6		s	6		sSEG	6		
7			7	Obs		7		sSEG	7		s	7		
8			8	Obs		8		s	8		s	8		
9			9	Obs		9		sSEG	9	Obs	s	9		
10	Obs	s	10	Obs		10		sEFF	10			10		
11	Obs	s	11	Obs		11		n	11		n	11		
12		sSEG	12	Obs		12		n	12	Obs		12		
13		sSEG	13	Obs	s	13			13	Obs		13		
14	Obs	sSEG	14	Obs	s	14			14	Obs		14		
15			15	Obs	nSEG	15			15	Obs		15		
16			16	Obs	nSEG	16			16	Obs		16		
17			17			17			17	Obs	sEFF	17		
18			18			18			18			18		
19			19			19			19			19	Obs	s
20			20			20			20			20	Obs	sSEG
21			21			21			21			21	Obs	s
22			22			22	Obs	sSEG	22			22	Obs	s
23			23			23		s	23			23	Obs	n
24			24			24		s	24			24		
25			25			25		s	25			25		
26	Obs	s	26	Obs		26	Obs	n	26			26		
27	Obs	sEFF	27	Obs	s	27			27			27		
28	Obs	sEFF	28	Obs	s	28			28			28		
29	Obs	s	29	Obs	s	29			29			29		
30	Obs	s	30	Obs	sSEG	30	Obs	sSEG	30			30		
			31	Obs		31	Obs	sSEG	31			31		

Fonte: Produção da autora.

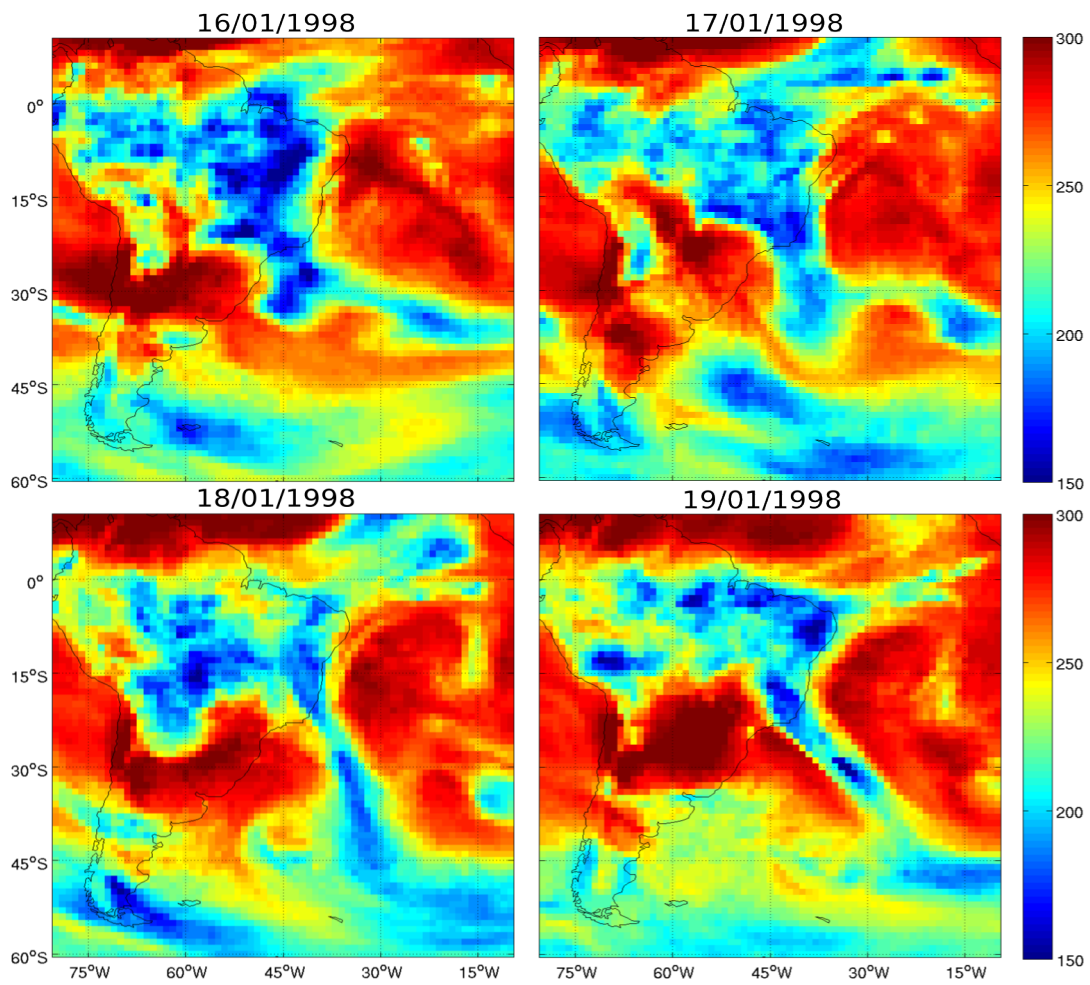
Figura A.1: Episódio de ZCAS ocorrido entre 15 e 18/12/1997



Campo de DU ($\cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$) e LC em 850 hPa (a), DV ($\cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$) e LC em 200 hPa (b), Theta-e em 500 hPa (c), VV ($\cdot 10 \text{ hPa s}^{-1}$) e Z (m) em 500 hPa (d) para a média dos dias 15 a 18/12/1997.

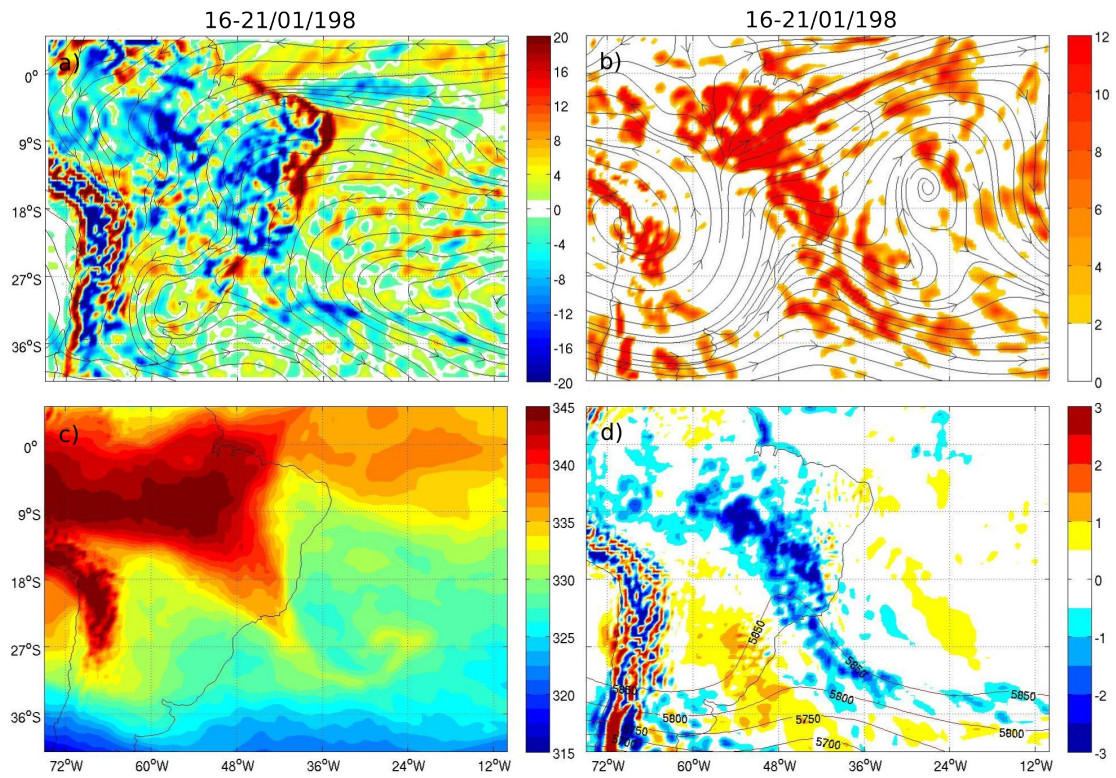
Fonte: Produção da autora.

Figura A.2: Campo diário de ROL ($W m^{-2}$) para os dias 16, 17, 18 e 19/01/1998.



Fonte: Produção da autora.

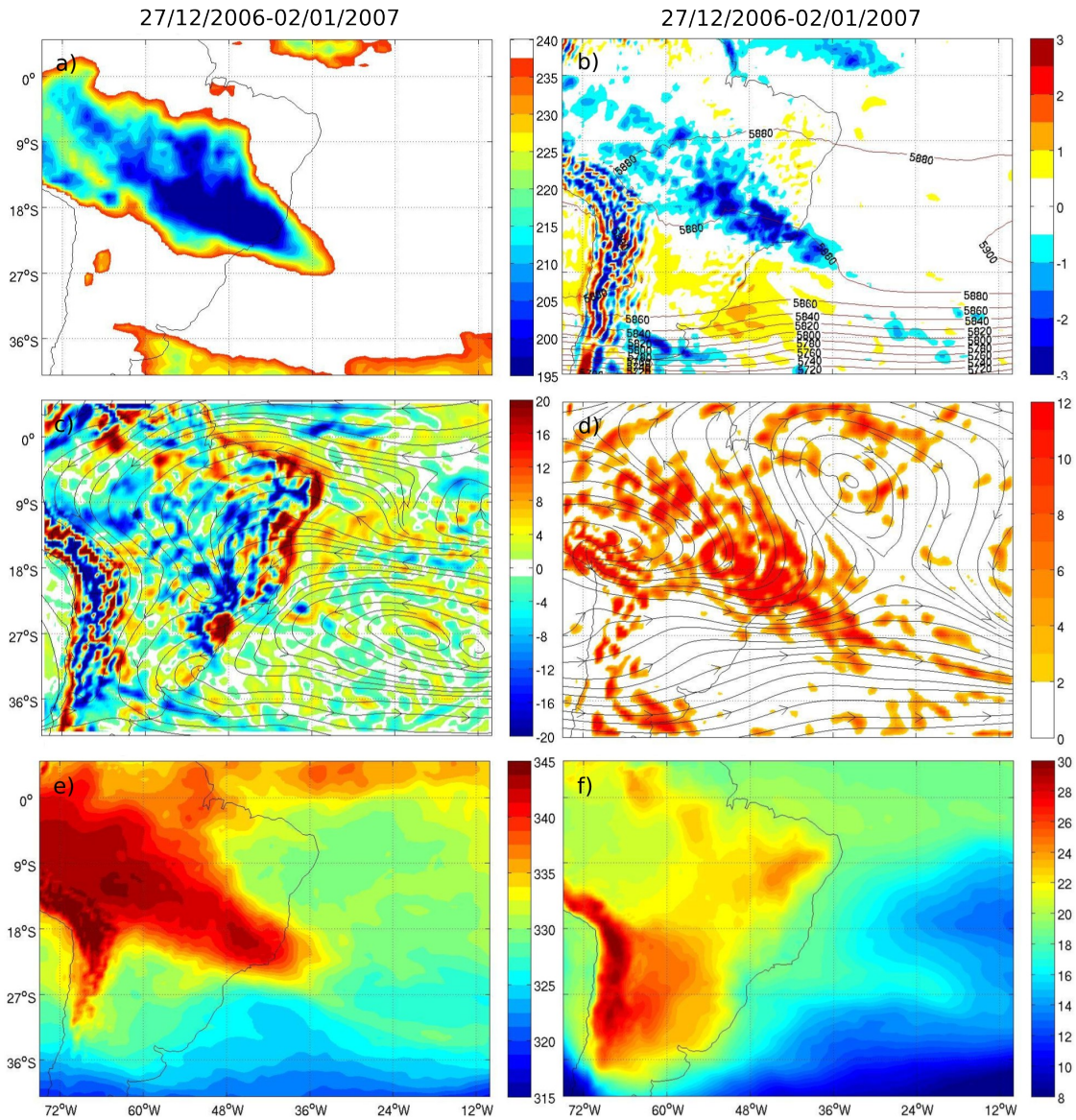
Figura A.3: Episódio de ZCAS ocorrido entre 16 e 21/02/1998



Idem Figura A.1, porém para a média dos dias 16 a 21 de janeiro de 1998.

Fonte: Produção da autora.

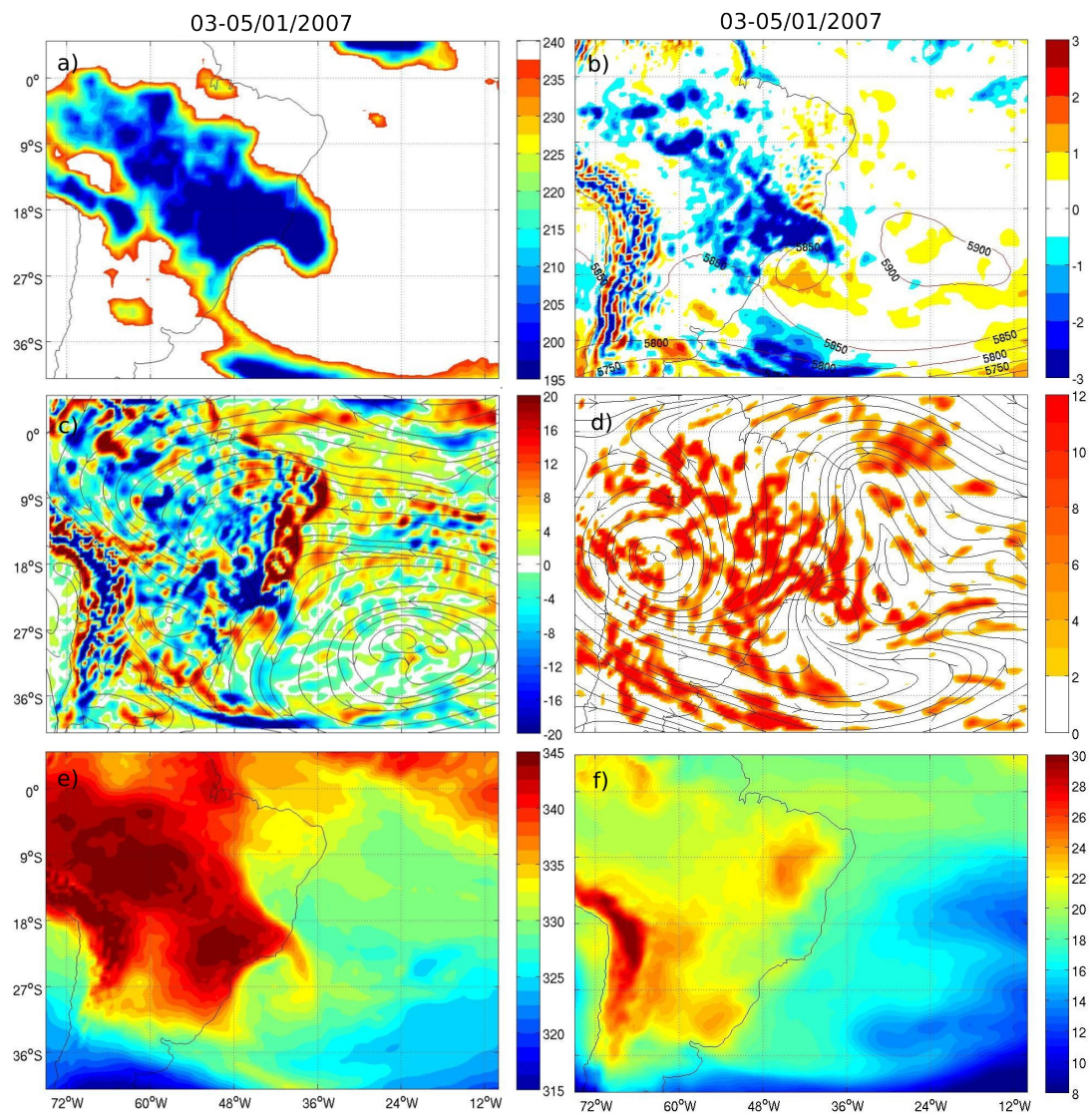
Figura A.4: Episódio de ZCAS ocorrido entre 27/12/2006 e 02/01/2007



Campo de ROL em $W m^{-2}$ (a), VV ($*10 hPa s^{-1}$) e Z (m) em 500 hPa (b), DU ($*1e^8 s^{-1}$) e LC em 850 hPa (c), DV ($*1e^6 s^{-1}$) e LC em 200 hPa (d), Theta-e em 500 hPa (e) e Tar em 900 hPa (f) para a média dos dias 27/12/2006 a 02/01/2007.

Fonte: Produção da autora.

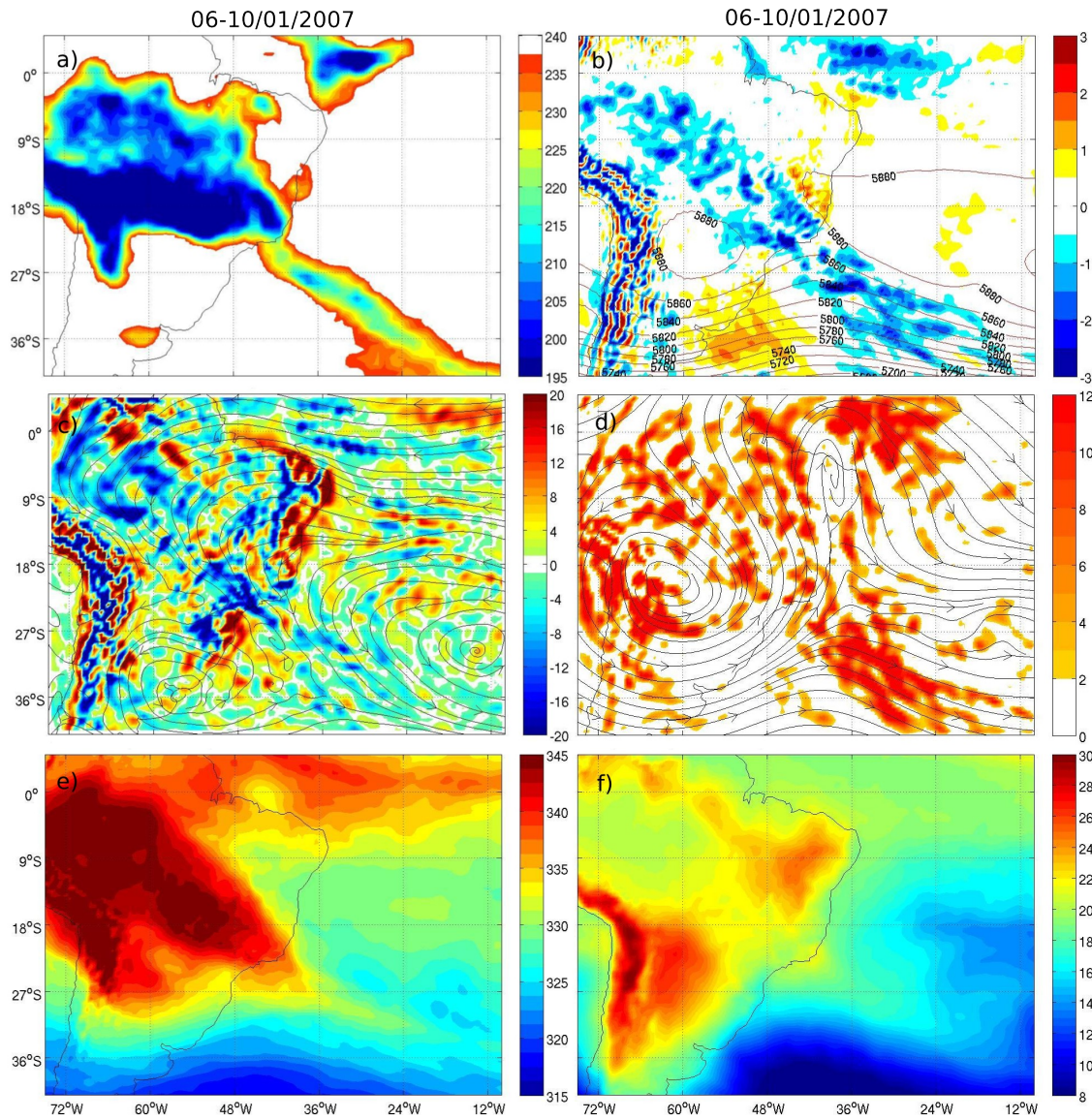
Figura A.5: Sistema frontal associado à ZCAS entre 03 e 05/01/2007



Idem a Figura A.4, porém para a média dos dias 03 a 05/01/2007.

Fonte: Produção da autora.

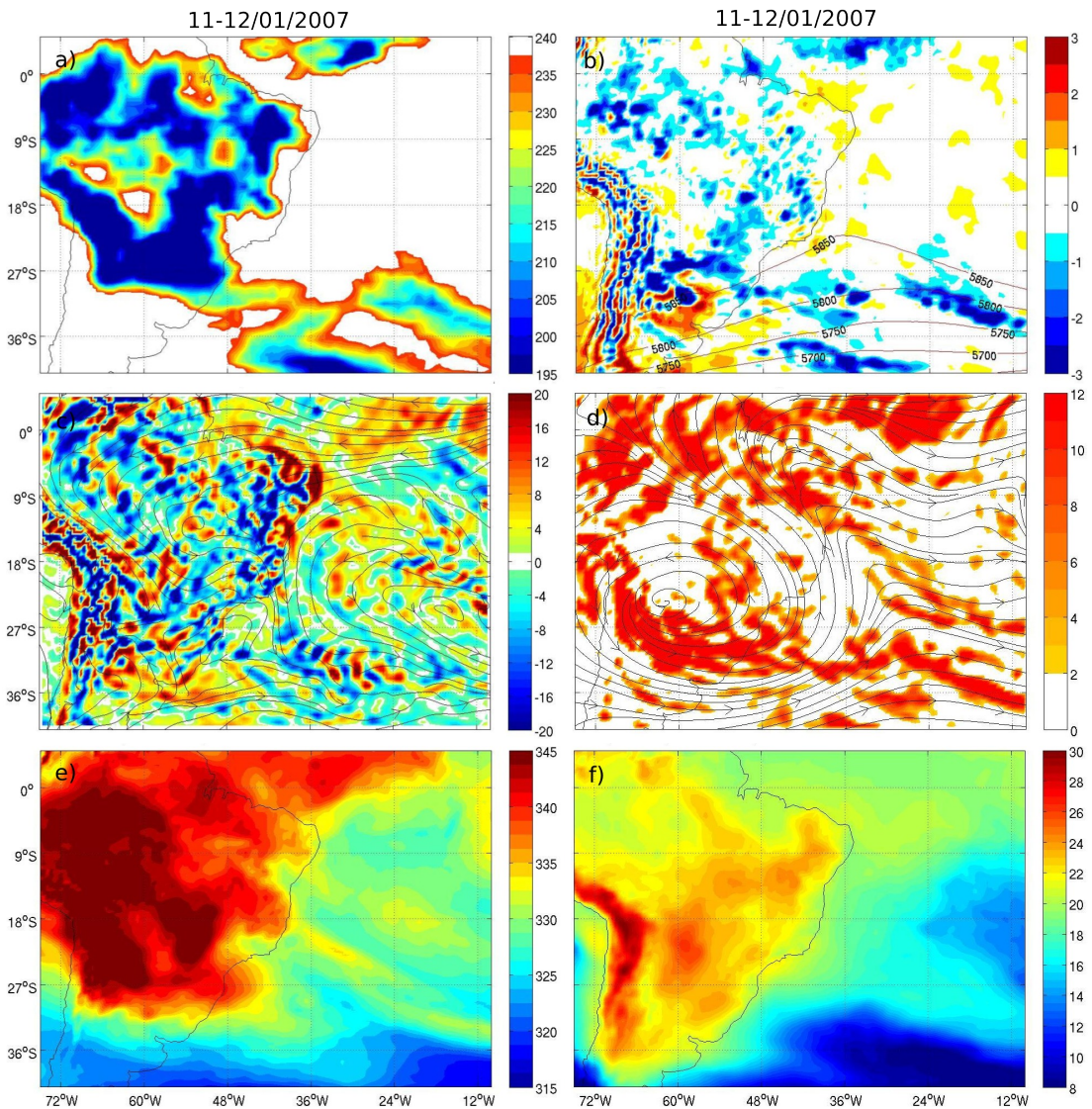
Figura A.6: Episódio de ZCAS ocorrido entre 06 e 10/01/2007



Idem a Figura A.4, porém para a média dos dias 06 a 10/01/2007.

Fonte: Produção da autora.

Figura A.7: Sistema frontal associado a ZCAS entre 11 e 12/01/2007



Idem a Figura A.4, porém para a média dos dias 11 e 12/01/2007.

Fonte: Produção da autora.

Figura A.8: Episódio de ZCAS ocorrido entre 13 e 16/01/2007

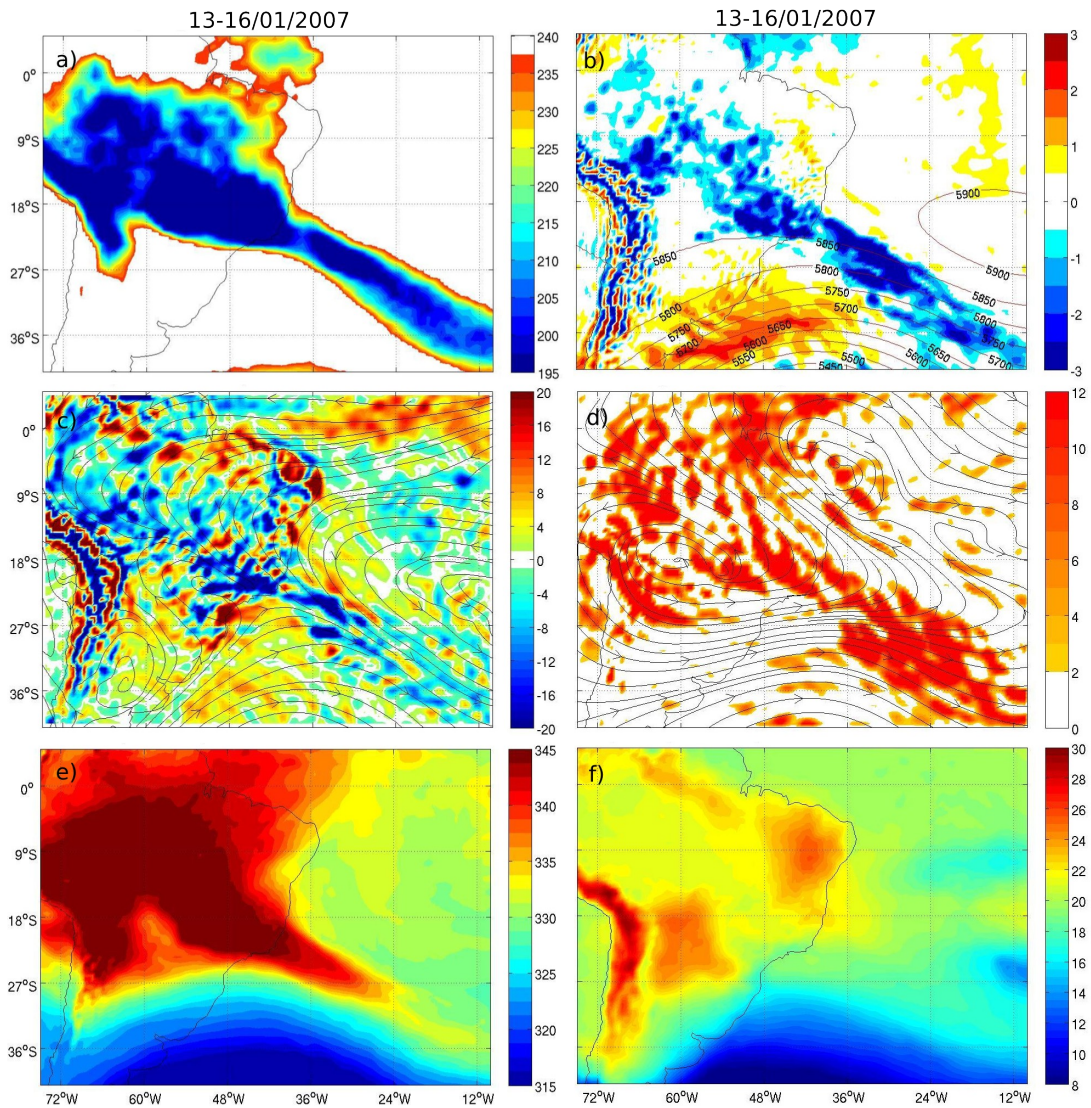
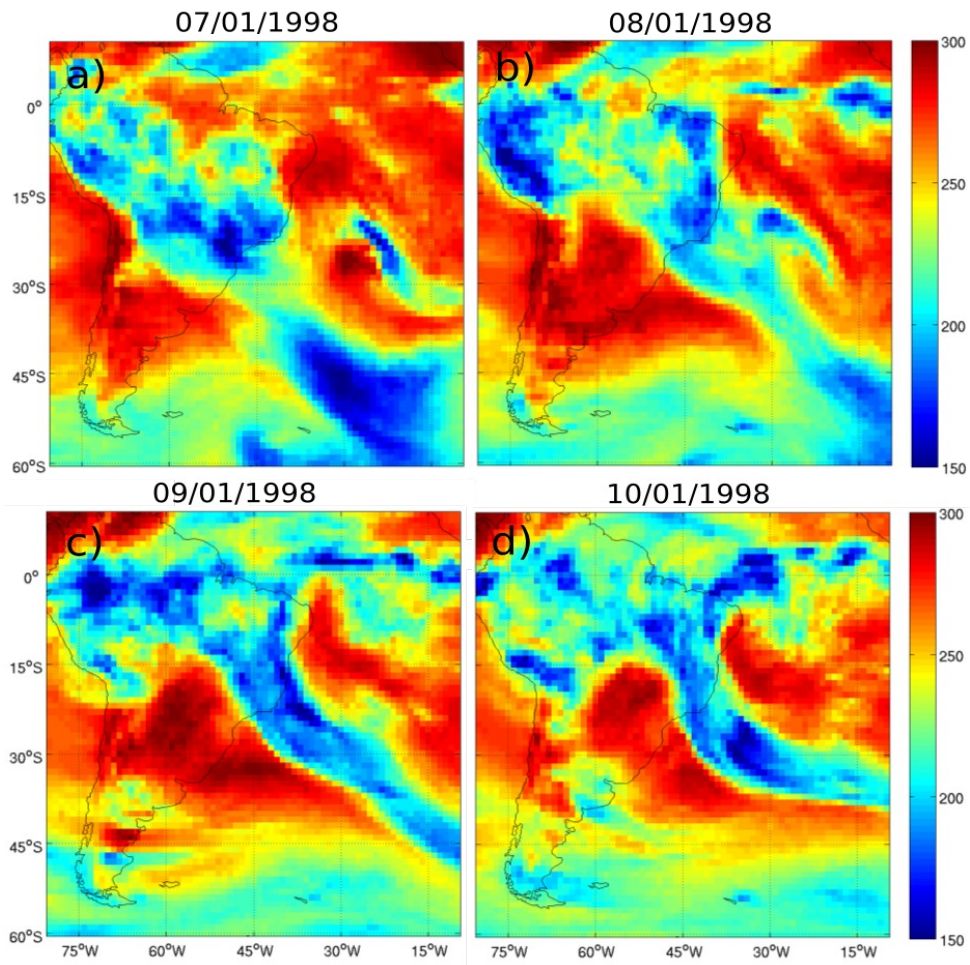


Figura A.8: Idem a Figura A.4, porém para a média dos dias 13 a 16/01/2007.

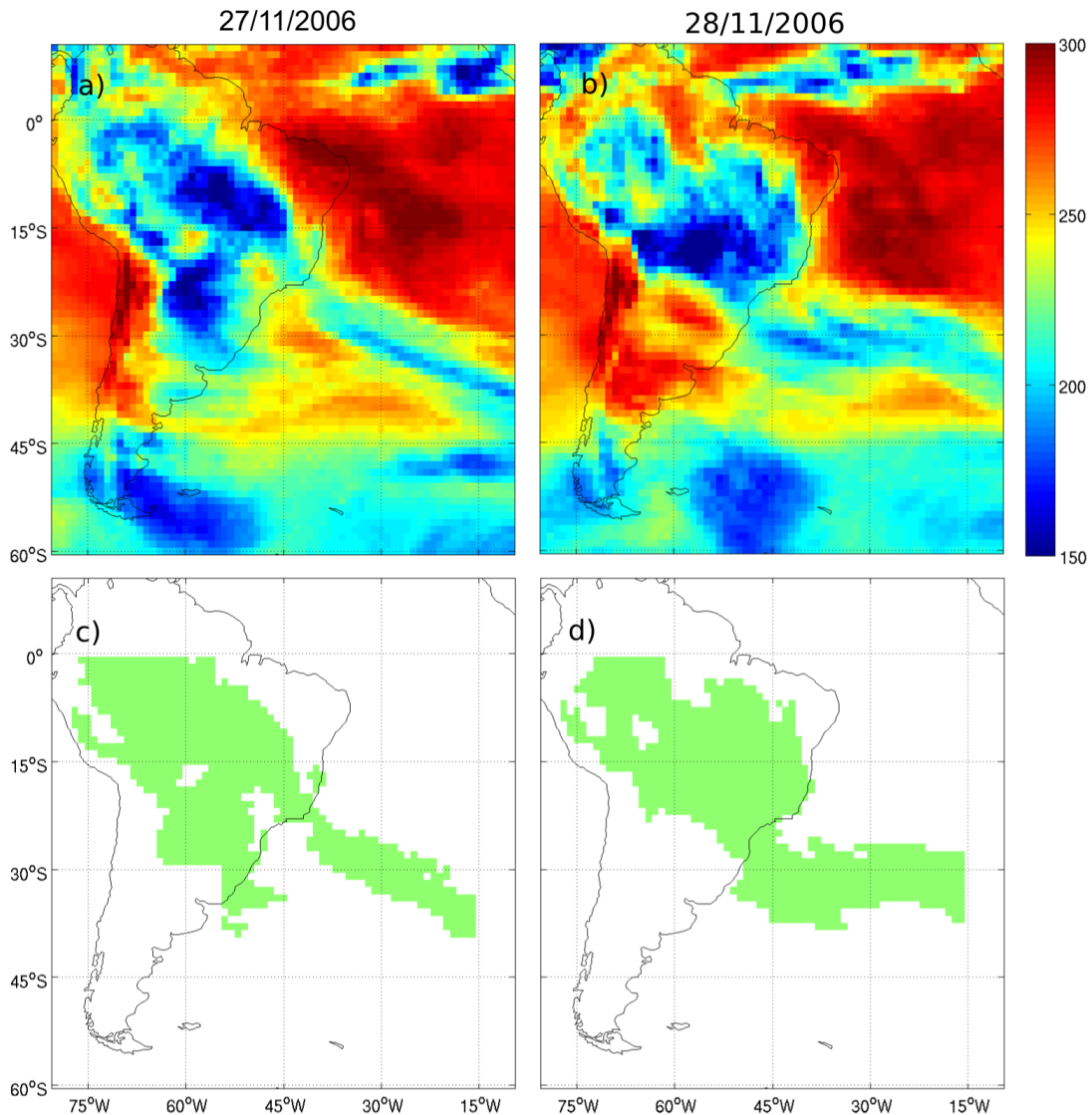
Fonte: Produção da autora.

Figura A.9: Campo diário de ROL ($W m^{-2}$) entre 07 e 10/01/1998



Fonte: Produção da autora.

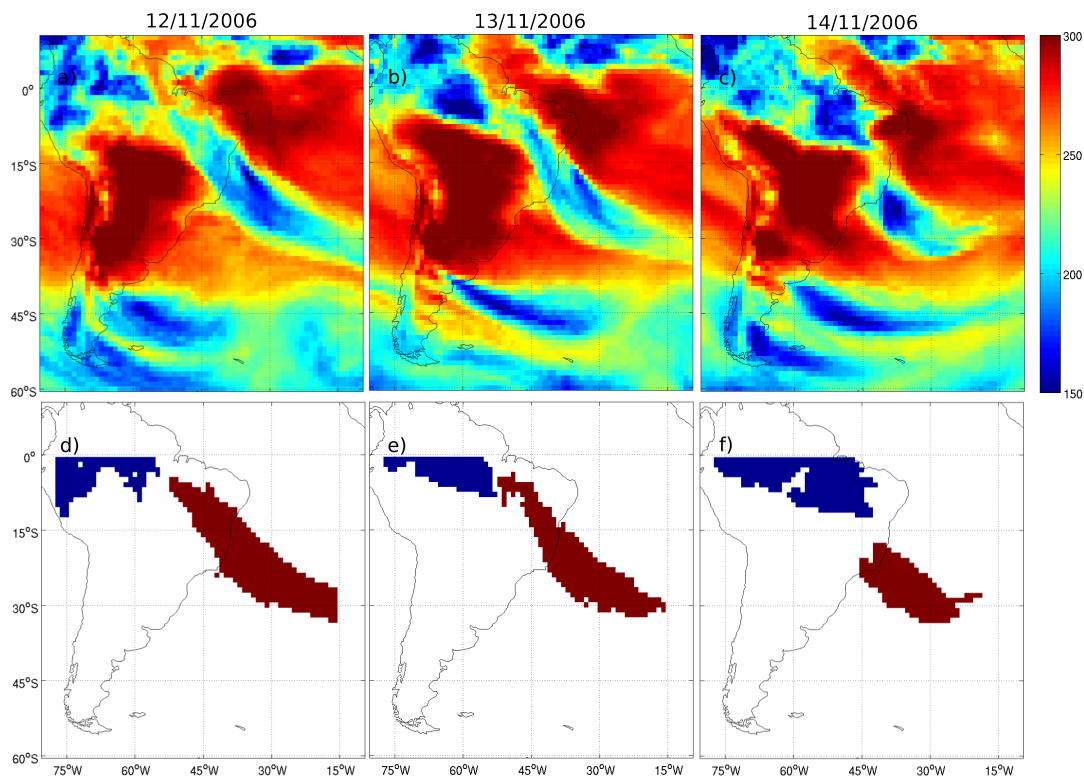
Figura A.10: Campo diário de ROL e SEG < 230 W m⁻²



Campo diário de ROL (W m⁻²) para os dias 27 (a) e 28/11/2006 (b) e SEG de ROL menor que 230 W m⁻² para os dias 27 (c) e 28/11/2006. Observa-se nos painéis inferiores que o SEG fica ao sul de 27 °S em mais de 25 pixels, mostrando porquê estes dias foram erroneamente classificados na classe SZCAS (ZCAS inativa);

Fonte: Produção da autora.

Figura A.11: Campo diário de ROL e SEGs < 230 W m⁻²



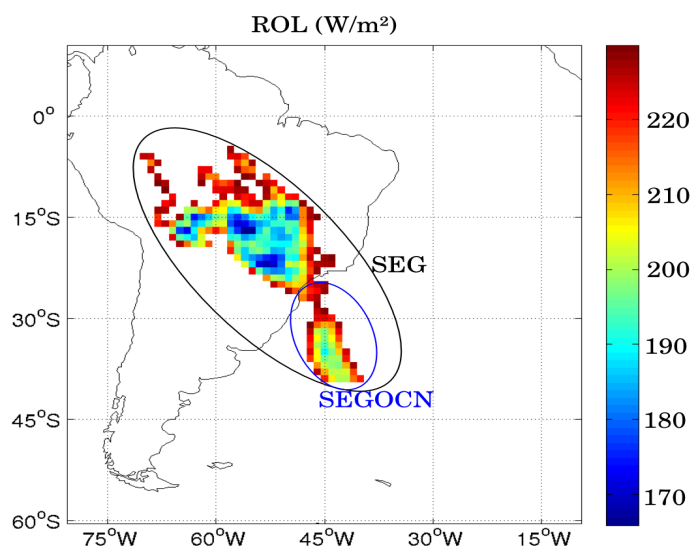
Campo diário de ROL (W m⁻²) para os dias 12 (a), 13 (b), 14/11/2006 (c) e segmentos de ROL menor que 230 W m⁻² para os respectivos dias (d, e, f). Observa-se nos painéis inferiores, que houve quebra da convecção em dois segmentos maiores que 70 pixels cada um, mostrando porquê estes dias foram erroneamente classificados pelo algoritmo na classe SZCAS.

Fonte: Produção da autora.

APENDICE B – DATAS E CARACTERÍSTICAS DOS ESPISÓDIOS DE ZCAS

Neste apêndice constam a data e os parâmetros associados aos casos de ZCAS automaticamente. Foram analisadas 3025 imagens no período entre novembro a março de 1996 a 2015. Do total, 795 pertenceram à classe SZCAS (dias ativos de ZCAS), divididos em 141 episódios. Para calcular os parâmetros de média, variância e área total da ZCAS, foram considerados os pixels do segmento de ROL menor que 230 W/m^2 (SEG na Fig. B.1) e feita a média dos dias para cada caso. O mesmo procedimento foi realizado para calcular os parâmetros da região oceânica da ZCAS, porém considerando apenas os pixels do segmento que estão sobre o Atlântico Sudoeste (SEGOCN na Fig. B.1). Os eventos de ZCAS cuja média da ROL no SEGOCN ficou abaixo da média menos um desvio padrão, foram considerados eventos oceânicos, denominados de ZCASOCN, e estão destacados na cor azul na na Tabela B.1.

Figura B.1: Exemplo de um segmento de ROL da classe CZCAS



A elipse em preto demarca os pixels que pertencem à ZCAS (SEG), a elipse azul demarca os pixels que pertencem a região oceânica da ZCAS (SEGOCN).

Fonte: Produção da autora.

Tabela B.1: Data dos episódios de ZCAS detectados pelo algoritmo de classificação de imagens desenvolvido no presente trabalho. A média, variância e área da ZCAS (ZCASOCN) leva em conta os pixels que pertencem ao SEG (SEGOCN). Os casos oceânicos estão destacados na cor azul.

Casos de ZCAS									
Parâmetros temporais				SEG de ROL < 230 W/m ²			SEGOCN de ROL < 230 W/m ²		
N ^o	Dia inicial	Dia final	Duração (dias)	Média (W/m ²)	Variância (W/m ²)	Área (km ²)	Média (W/m ²)	Variância (W/m ²)	Área (km ²)
1	01/Jan/1996	04/Jan/1996	4	199,81	361,92	8584950	202,95	337,21	2749725
2	06/Jan/1996	11/Jan/1996	6	201,23	296,89	9077017	208,93	230,96	2163883
3	17/Fev/1996	22/Fev/1996	6	198,73	339,28	8566800	197,08	333,09	2387733
4	01/Mar/1996	05/Mar/1996	5	196,60	359,15	10882740	205,30	256,38	2722500
5	08/Mar/1996	12/Mar/1996	5	197,62	361,91	8787020	205,69	329,15	1875500
6	21/Nov/1996	25/Nov/1996	5	193,74	425,84	9634020	193,25	416,01	3492060
7	20/Dez/1996	26/Dez/1996	7	198,89	352,33	10202029	205,42	234,45	2381971
8	02/Jan/1997	05/Jan/1997	4	190,21	528,88	9686050	192,80	456,44	3015925
9	20/Jan/1997	29/Jan/1997	10	194,42	428,48	9727190	204,25	257,90	1698840
10	27/Fev/1997	04/Mar/1997	6	192,85	477,11	10898067	192,07	529,59	3504967
11	15/Mar/1997	21/Mar/1997	7	193,23	461,96	11266829	192,39	458,44	3035371
12	15/Dez/1997	18/Dez/1997	4	193,20	403,55	8802750	196,79	386,40	2634775
13	07/Jan/1998	10/Jan/1998	4	201,44	327,66	10781100	203,95	253,14	3448500
14	16/Jan/1998	21/Jan/1998	6	199,26	355,64	8588983	206,03	265,66	1798867
15	11/Fev/1998	17/Fev/1998	7	201,22	331,34	7047386	201,62	288,90	2124414
16	02/Mar/1998	05/Mar/1998	4	205,73	252,56	6897000	213,80	124,29	1249325
17	29/Mar/1998	01/Nov/1998	5	202,12	345,19	9371450	200,89	300,79	3708650
18	09/Nov/1998	15/Nov/1998	7	198,30	376,98	9629871	194,42	434,77	3476157
19	19/Nov/1998	23/Nov/1998	5	196,44	366,97	8745880	200,41	405,64	2536160
20	22/Dez/1998	26/Dez/1998	5	199,60	376,20	7109960	207,98	182,26	1459260
21	05/Jan/1999	09/Jan/1999	5	192,80	465,37	10594760	198,05	420,44	3068560
22	15/Jan/1999	18/Jan/1999	4	200,15	348,69	7753075	209,60	203,92	1694000
23	19/Fev/1999	25/Fev/1999	7	199,57	352,66	10521814	203,69	363,18	1922171
24	01/Mar/1999	06/Mar/1999	6	191,89	494,72	10730683	195,29	520,52	2373617
25	12/Nov/1999	21/Nov/1999	10	197,47	442,31	7141420	198,90	390,17	2652320
26	27/Nov/1999	01/Dez/1999	5	197,61	344,59	8029560	196,50	343,23	2966920
27	06/Dez/1999	11/Dez/1999	6	202,23	386,62	8681750	212,26	152,19	2482517
28	17/Dez/1999	21/Dez/1999	5	192,38	507,95	8910440	199,84	383,87	2422420
29	23/Dez/1999	26/Dez/1999	4	193,26	484,84	8436725	206,70	247,12	1675850

(continua)

30	31/Dez/1999	07/Jan/2000	8	193,77	469,80	10056613	199,73	383,75	2698300
31	26/Jan/2000	30/Jan/2000	5	199,05	349,83	9123400	202,77	276,29	2035220
32	15/Fev/2000	19/Fev/2000	5	200,77	284,48	10023640	199,11	356,45	2504700
33	10/Mar/2000	15/Mar/2000	6	195,07	422,69	10670183	197,80	359,94	2728550
34	04/Nov/2000	07/Nov/2000	4	193,27	438,81	9559000	201,41	319,48	2888875
35	14/Nov/2000	21/Nov/2000	8	199,01	420,31	6706425	203,51	263,08	2513775
36	17/Dez/2000	20/Dez/2000	4	200,66	416,28	8300600	200,75	409,77	3342625
37	01/Jan/2001	04/Jan/2001	4	201,98	326,01	8932825	200,69	300,12	1808950
38	28/Fev/2001	04/Mar/2001	5	198,70	345,55	10023640	198,77	398,49	2044900
39	09/Mar/2001	12/Mar/2001	4	196,54	395,86	10151900	199,51	475,40	2728550
40	01/Nov/2001	05/Nov/2001	5	196,61	457,53	9813100	196,14	443,16	3990580
41	15/Nov/2001	20/Nov/2001	6	198,42	336,50	8722083	201,66	250,58	2978617
42	07/Dez/2001	20/Dez/2001	14	197,85	411,33	8924614	201,17	349,05	2785593
43	26/Dez/2001	30/Dez/2001	5	196,98	426,66	8946740	200,49	352,34	2151380
44	02/Fev/2002	05/Fev/2002	4	196,12	410,04	8938875	193,95	427,56	2513775
45	14/Fev/2002	19/Fev/2002	6	200,73	327,83	9728400	205,32	221,11	2125567
46	13/Dez/2002	18/Dez/2002	6	193,67	468,02	10454400	198,53	403,17	3652183
47	11/Jan/2003	19/Jan/2003	9	196,08	460,01	9584544	200,75	345,01	2715778
48	24/Jan/2003	02/Fev/2003	10	199,33	384,39	8502670	202,09	339,79	2026750
49	02/Nov/2003	06/Nov/2003	5	198,90	514,10	6292000	206,68	242,95	1887600
50	19/Nov/2003	22/Nov/2003	4	197,98	378,77	7217650	208,83	255,08	1896675
51	31/Dez/2003	04/Jan/2004	5	198,20	374,53	9021760	196,85	415,98	2187680
52	12/Jan/2004	18/Jan/2004	7	186,17	675,45	11619457	191,21	681,22	4044857
53	05/Fev/2004	11/Fev/2004	7	198,73	434,96	9852857	196,84	421,60	2893629
54	15/Fev/2004	18/Fev/2004	4	196,39	391,16	9425900	204,22	359,05	2096325
55	20/Fev/2004	24/Fev/2004	5	189,41	479,18	9009660	193,46	425,89	2543420
56	01/Mar/2004	06/Mar/2004	7	197,68	400,32	7399150	205,57	263,49	1145467
57	15/Mar/2004	24/Mar/2004	10	197,55	399,54	9826410	195,28	448,43	3402520
58	18/Nov/2004	23/Nov/2004	6	198,50	373,77	8472017	196,52	369,42	3436400
59	28/Nov/2004	03/Dez/2004	6	198,18	358,17	8125150	199,42	324,04	2976600
60	09/Dez/2004	13/Dez/2004	5	200,78	294,00	9350880	201,90	272,00	3264580
61	21/Dez/2004	25/Dez/2004	5	196,70	441,84	9742920	202,95	288,80	3363800
62	10/Jan/2005	14/Jan/2005	5	198,22	351,16	10253540	197,99	331,84	2686200
63	16/Jan/2005	22/Jan/2005	7	192,26	513,54	9133771	200,75	318,73	2364686

(continua)

64	25/Jan/2005	30/Jan/2005	6	197,41	444,22	8538567	208,04	217,38	1605267
65	13/Fev/2005	17/Fev/2005	5	195,65	447,42	10693980	196,37	480,11	3787300
66	27/Fev/2005	05/Mar/2005	7	195,20	425,98	9073271	198,06	403,50	2473586
67	18/Mar/2005	21/Mar/2005	4	197,04	411,37	7226725	206,38	251,12	638275
68	09/Nov/2005	12/Nov/2005	4	197,39	394,48	9196000	194,09	434,69	2507725
69	25/Nov/2005	28/Nov/2005	4	195,04	445,32	8884425	200,41	335,85	2577300
70	11/Dez/2005	16/Dez/2005	6	194,86	415,46	9242383	196,16	459,64	2857617
71	18/Dez/2005	21/Dez/2005	4	203,22	341,02	9583200	203,52	243,00	2937275
72	24/Dez/2005	30/Dez/2005	7	195,49	435,94	9114757	202,14	312,57	1993043
73	01/Jan/2006	07/Jan/2006	7	194,51	465,77	9833843	197,64	465,43	2535814
74	26/Jan/2006	02/Fev/2006	8	202,46	312,52	8554700	204,50	268,36	2029775
75	10/Fev/2006	13/Fev/2006	4	195,88	340,69	10254750	202,06	273,07	2610575
76	07/Mar/2006	11/Mar/2006	5	198,69	347,33	9249240	201,88	304,91	2623280
77	15/Mar/2006	18/Mar/2006	4	194,24	439,57	8336900	208,04	199,41	931700
78	07/Dez/2006	12/Dez/2006	6	193,97	459,43	9903850	194,92	435,62	2760817
79	31/Dez/2006	03/Jan/2007	4	201,62	357,99	7979950	198,38	453,49	1203950
80	12/Jan/2007	16/Jan/2007	5	198,18	394,23	11250580	197,51	397,33	2695880
81	11/Fev/2007	16/Fev/2007	6	191,40	562,77	10301133	187,23	504,82	3422283
82	03/Nov/2007	07/Nov/2007	5	200,19	378,47	7961800	206,31	214,49	2645060
83	27/Nov/2007	02/Dez/2007	6	194,88	417,99	10363650	197,39	390,33	3716717
84	06/Dez/2007	09/Dez/2007	4	196,64	438,15	9177850	205,48	241,81	2081200
85	20/Dez/2007	23/Dez/2007	4	200,46	334,75	7880125	201,26	263,44	2767875
86	12/Jan/2008	15/Jan/2008	4	196,68	400,51	9111300	213,58	127,56	1161600
87	19/Jan/2008	24/Jan/2008	6	195,24	403,48	11166283	200,74	313,00	2436133
88	03/Fev/2008	06/Fev/2008	4	196,66	418,42	7311425	208,30	166,73	1300750
89	21/Fev/2008	26/Fev/2008	6	196,51	435,95	11178383	197,54	534,75	2780983
90	05/Mar/2008	08/Mar/2008	4	193,66	401,99	7895250	212,87	245,44	347875
91	13/Mar/2008	17/Mar/2008	5	195,27	380,35	9733240	200,28	323,31	2845920
92	17/Nov/2008	23/Nov/2008	7	198,44	403,41	7481257	200,24	273,20	2604957
93	25/Nov/2008	28/Nov/2008	4	198,54	429,16	8757375	201,34	395,58	2643850
94	03/Dez/2008	08/Dez/2008	6	200,67	318,75	7253950	209,57	262,81	1847267
95	11/Dez/2008	22/Dez/2008	12	195,06	421,65	9514633	202,05	331,67	2538983
96	25/Dez/2008	28/Dez/2008	4	193,58	444,19	9906875	193,77	445,64	3031050
97	05/Jan/2009	08/Jan/2009	4	200,58	339,93	7626025	207,44	221,73	2277825

(continua)

98	12/Fev/2009	16/Fev/2009	5	192,66	478,06	9764700	200,89	356,21	1880340
99	13/Mar/2009	16/Mar/2009	4	197,52	446,67	9065925	198,35	453,50	2595450
100	21/Mar/2009	27/Mar/2009	7	196,12	348,81	10444029	197,23	395,66	2712129
101	07/Dez/2009	10/Dez/2009	4	197,57	445,36	9084075	203,04	321,92	2066075
102	13/Jan/2010	16/Jan/2010	4	205,24	261,13	7477800	211,54	141,82	1267475
103	21/Jan/2010	26/Jan/2010	6	198,06	375,35	8437733	199,75	442,96	1560900
104	09/Fev/2010	12/Fev/2010	4	197,19	460,20	8920725	203,45	329,35	1448975
105	31/Mar/2010	03/Nov/2010	4	196,33	383,97	7604850	199,62	256,98	2779975
106	29/Nov/2010	06/Dez/2010	8	197,57	418,56	9391113	205,29	268,53	2888875
107	13/Dez/2010	17/Dez/2010	5	191,64	532,00	9542060	204,33	254,63	2526480
108	27/Dez/2010	03/Jan/2011	8	194,22	420,73	10015775	195,83	459,66	2645363
109	11/Jan/2011	16/Jan/2011	6	194,90	444,02	9942167	197,29	479,64	2631750
110	14/Fev/2011	17/Fev/2011	4	190,50	555,09	9683025	205,49	290,16	1191850
111	01/Mar/2011	10/Mar/2011	10	193,02	445,48	9625550	197,09	374,70	2148960
112	14/Mar/2011	17/Mar/2011	4	199,29	406,32	8718050	198,54	586,41	2057000
113	26/Nov/2011	29/Nov/2011	4	197,30	328,59	6485600	202,43	298,72	1908775
114	01/Dez/2011	04/Dez/2011	4	200,57	321,56	7889200	201,07	282,40	3203475
115	08/Dez/2011	12/Dez/2011	5	197,76	422,80	10318880	195,93	422,83	4394720
116	18/Dez/2011	21/Dez/2011	4	199,06	401,52	9174825	203,50	316,19	3681425
117	01/Jan/2012	09/Jan/2012	9	197,19	434,10	8877367	197,42	462,51	2235811
118	15/Jan/2012	20/Jan/2012	6	201,44	322,27	8330850	204,64	293,67	1740383
119	25/Jan/2012	29/Jan/2012	5	197,21	421,07	8999980	204,39	239,04	1744820
120	15/Mar/2012	19/Mar/2012	5	201,37	315,12	8031980	197,09	421,90	2236080
121	02/Nov/2012	07/Nov/2012	6	198,97	346,49	8254217	199,99	279,12	1956167
122	13/Nov/2012	18/Nov/2012	6	196,05	405,81	8891483	198,21	404,77	2875767
123	25/Nov/2012	28/Nov/2012	4	200,41	338,83	8164475	208,43	197,23	2483525
124	14/Dez/2012	17/Dez/2012	4	195,62	423,59	9232300	204,52	248,35	2501675
125	28/Dez/2012	31/Dez/2012	4	202,50	267,01	9099200	202,73	321,03	2090275
126	09/Jan/2013	22/Jan/2013	14	194,71	482,75	9795814	195,02	468,12	2754479
127	26/Jan/2013	29/Jan/2013	4	192,71	580,37	7907350	212,07	199,19	1730300
128	04/Fev/2013	08/Fev/2013	5	191,13	554,47	9406540	203,72	327,25	2049740
129	26/Fev/2013	01/Mar/2013	4	202,60	277,84	8110025	202,85	252,16	1760550
130	04/Nov/2013	08/Nov/2013	5	200,72	360,46	7557660	207,57	172,46	2543420
131	21/Nov/2013	25/Nov/2013	5	197,68	417,20	8745880	199,36	356,50	2891900

(continua)

132	05/Dez/2013	08/Dez/2013	4	201,57	337,26	6219400	206,69	228,19	1497375
133	10/Dez/2013	25/Dez/2013	16	193,64	465,17	9742769	196,05	435,27	2987188
134	15/Jan/2014	20/Jan/2014	6	200,20	343,12	8486133	205,83	291,06	1732317
135	06/Mar/2014	09/Mar/2014	4	193,82	470,10	9313975	198,89	339,05	2504700
136	21/Mar/2014	24/Mar/2014	4	194,01	510,36	8842075	198,82	371,42	2035825
137	14/Nov/2014	17/Nov/2014	4	195,71	436,27	9295825	194,28	385,33	3881075
138	03/Jan/2015	06/Jan/2015	4	205,50	269,03	6549125	210,08	160,13	840950
139	05/Fev/2015	09/Fev/2015	5	192,88	472,70	10113180	199,00	412,23	2845920
140	13/Fev/2015	18/Fev/2015	6	195,57	366,46	10127700	198,19	406,08	2516800
141	21/Mar/2015	24/Mar/2015	4	198,02	393,82	10669175	195,02	459,29	2931225
	Média ZCAS		5,75	197,15	404,5	9050000	201,20	337,95	2450000
	Des. Pad. ZCAS		2,1	3,35	68,82	1150000	5,05	99,25	720000
	Média ZCASOCN		6,60	193,99	460,60	10019300	193,81	462,51	3135929,63
	Des. Pad ZCASOCN		3,30	3,17	69,11	724580	2,04	62,13	554318,11

(Conclusão).

APENDICE C - REVISÃO DE CONCEITOS ATMOSFÉRICOS E OCEÂNICOS

Neste apêndice serão revisados alguns conceitos que são importantes para a interpretação dos resultados encontrados, como as variáveis utilizadas para descrever a ZCAS e a influência do vento nas correntes oceânicas de superfície.

Altura geopotencial (Z)

Considerando qualquer posição na Terra a uma dada altura z , o geopotencial $\Phi(z)$ (cuja unidade é J kg^{-1} ou $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$) é o trabalho realizado contra o campo gravitacional terrestre para erguer uma massa de 1 kg de ar do nível do mar até a altura z . O cálculo de Φ é realizado através da Equação C.1

$$\Phi(z) = \int_0^z g dz \quad , \quad (\text{C.1})$$

onde g é a aceleração da gravidade (m s^{-2}) à altura z (m). A altura geopotencial Z , medida em metros (Equação C.2), é calculada pela razão entre o $\Phi(z)$ e a aceleração da gravidade média na superfície terrestre ($g_0=9,81 \text{ m s}^{-2}$). Portanto, maior valor de Z está associado com mais gasto de energia para erguer uma parcela de ar até a altura z , o que é um indicativo de maior estabilidade atmosférica em relação às situações onde Z é menor.

$$Z = \frac{\Phi(z)}{g_0} \quad (\text{C.2})$$

Velocidade vertical ômega (VV)

A velocidade vertical na atmosfera é inferida pelo campo de ventos horizontais através da equação da continuidade. Considerando a coordenada

vertical em termos de pressão, a Equação C.3 relaciona o movimento vertical (ω em hPa s^{-1}) e a divergência de massa.

$$\frac{\partial \omega}{\partial p} = -\nabla \cdot V \quad (C.3)$$

onde $\nabla \cdot V$ é o divergente dos ventos horizontais. Da Equação C.3 conclui-se que, quando o divergente dos ventos horizontais é positivo (divergência), a velocidade vertical é negativa (ascendente) e vice-versa.

Divergência do fluxo de umidade (DU)

A divergência do fluxo de umidade (s^{-1}) é calculada através da Equação C.4.

$$DU = \nabla \cdot (qV) = (\nabla q) \cdot V + q (\nabla \cdot V) \quad (C.4)$$

onde q é a umidade específica e V o vetor de ventos zonais e meridionais. Se $DU > 0$ temos divergência de vapor d'água por segundo.

Temperatura Potencial Equivalente (Θ_e)

Holton (1972) define Θ_e como a temperatura final que uma parcela de ar atinge quando é: (1) soerguida adiabaticamente até seu Nível de Condensação por Levantamento (NCL); (2) soerguida novamente, pseudo adiabaticamente, liberando o calor latente de condensação, até um nível de pressão p ; (3) trazida adiabaticamente de volta ao nível de referência (usualmente 1000 hPa). O cálculo de Θ_e foi realizado seguindo a metodologia de Bolton (1980) a partir dos dados de umidade relativa e temperatura do ar para um nível de pressão fixo (p), como mostrado na Equação C.5.

$$\theta_e = \theta \exp \left[\left(\frac{3,376}{T_L} - 0,00254 \right) r (1 + 0,00081 r) \right], \quad (C.5)$$

onde Θ é a temperatura potencial Equação C.6

$$\theta = T_K \left(\frac{1000}{p} \right)^{0,286 (1 - 0,28 \times 10^{-3} r)} , \quad (\text{C.6})$$

T_L a temperatura da parcela de ar no NCL (Equação C.7)

$$T_L = \frac{1}{\frac{1}{T_K - 55} - \frac{\ln (UR/100)}{2840}} + 55 , \quad (\text{C.7})$$

r a razão de mistura, calculada de acordo com Wallace e Hobbs (2006, p. 82) pela Equação C.8, e T_K a temperatura do ar em graus Kelvin.

$$r = 0,622 \frac{es}{p - es} \times \left(\frac{UR}{100} \right) , \quad (\text{C.8})$$

onde es é a pressão de saturação do vapor d'água, obtida de acordo com Bolton (1980) pela Equação C.9

$$es = 6,112 \exp \left(\frac{17,67 T_c}{T_c + 243,5} \right) , \quad (\text{C.9})$$

onde T_c é a temperatura do ar em C.

Correntes oceânicas superficiais influenciadas pelo vento

Para estudar a influência do termo de fricção no movimento das correntes oceânicas superficiais, Ekman considerou que no oceano: (1) não há fronteiras; (2) a profundidade é infinita, assim o termo de fricção de fundo pode ser desconsiderado; (3) o coeficiente de viscosidade turbulenta vertical é constante; (4) um vento estacionário atua por um longo período de tempo e; (5) a água do mar é homogênea e não há desníveis na superfície, ou seja, não

há gradiente de pressão horizontal e a densidade depende apenas da pressão (barotropia). Com estas simplificações, as equações do movimento nas direções meridional e zonal (Equações C.10 e C.11, respectivamente), resumem-se à:

$$f \cdot v + Az \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0 \quad , \quad (C.10)$$

$$-f \cdot u + Az \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = 0 \quad , \quad (C.11)$$

As Equações 2.10 e 2.11 são as equações de Ekman, onde f é o parâmetro de Coriolis ($f = 2 \Omega \cdot \text{sen } \varphi$, onde Ω é a velocidade angular de rotação da terra e φ é a latitude), u e v são as velocidades zonal e meridional, respectivamente, Az é o coeficiente de viscosidade turbulenta e z é a profundidade. O primeiro termo das equações é o da aceleração de Coriolis e o segundo é o termo de fricção. Considerando um vento na direção y no hemisfério sul, a solução das equações para a camada superficial ($z=0$) é:

$$u = +v_0 \cdot \cos 45^\circ, \quad v = -v_0 \cdot \text{sen } 45^\circ \quad , \quad (C.12)$$

Onde v_0 é a magnitude da corrente superficial (Equação C.13)

$$v_0 = \frac{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot \tau_{yn}}{D_E \cdot \rho \cdot |f|} \quad , \quad (C.13)$$

onde τ_{yn} é a magnitude do stress do vento na superfície do mar e D_E é a profundidade da camada de Ekman, ou seja, profundidade na qual a fricção exerce influencia sobre o movimento das correntes, determinada de acordo com a Equação C.14

$$D_E = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot A_z}{|f|}} , \quad (\text{C.14})$$

Considerando apenas o hemisfério sul, o significado físico da solução das equações de Ekman (Equações C.12) é que, na superfície, a corrente flui 45° à esquerda do vento. Se o vento soprar em qualquer outra direção, o padrão das correntes é o mesmo em relação ao movimento do vento (45° à esquerda). É importante lembrar que estas soluções levam em conta que A_z é constante com a profundidade e que o vento também é constante, sendo que nenhuma das duas é completamente verdadeira. Além disto, as correntes superficiais também são influenciadas pelo movimento geostrófico, gerado a partir do gradiente de densidade e desníveis na superfície oceânica, que dão origem a força do gradiente de pressão, e pela influência das marés.