

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

RAFAELLE FRAGA DE SANTIS

DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO COMPUTACIONAL PARA IDENTIFICAÇÃO
DE VÓRTICES CICLÔNICOS ASSOCIADOS À ZONA DE CONVERGÊNCIA DO
ATLÂNTICO SUL

Florianópolis

Dezembro/2022

RAFAELLE FRAGA DE SANTIS

DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO COMPUTACIONAL PARA IDENTIFICAÇÃO
DE VÓRTICES CICLÔNICOS ASSOCIADOS À ZONA DE CONVERGÊNCIA DO
ATLÂNTICO SUL

Dissertação apresentada ao
Mestrado Profissional em Clima
e Ambiente do Câmpus
Florianópolis do Instituto Federal
de Santa Catarina para a
obtenção do diploma de Mestre
em Clima e Ambiente.

Orientador: Dr. Mário Francisco
Leal de Quadro

Florianópolis

Maio/2022

Aluno (a): **RAFAELLE FRAGA DE SANTIS**

Título:	DESENVOLVIMENTO DE UM ALGORITMO COMPUTACIONAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE VORTICES CICLONICOS ASSOCIADOS A ZONA DE CONVERGENCIA DO ATLANTICO SUL
----------------	--

**Aprovado (a) pela Banca Examinadora em
cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Mestre em Clima e Ambiente**

Dr(a). **MARIO FRANCISCO LEAL DE QUADRO**



Documento assinado digitalmente
MARIO FRANCISCO LEAL DE QUADRO
Data: 12/10/2022 11:55:56-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Orientador(a) / Presidente / IFSC / Florianópolis - SC

Participação: (X) Presencial () Videoconferência
(X) Aprovado () Reprovado

Dr(a). **ADRIANO VITOR**



Documento assinado digitalmente
ADRIANO VITOR
Data: 12/10/2022 10:30:25-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Avaliador(a) Interno / IFSC / Florianópolis - SC

Participação: (X) Presencial () Videoconferência
(X) Aprovado () Reprovado

Dr(a). **DEBORA MONTEIRO BRENTANO**



Documento assinado digitalmente
DEBORA MONTEIRO BRENTANO
Data: 13/10/2022 11:29:28-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Avaliador(a) Interno / IFSC / Florianópolis - SC

Participação: (X) Presencial () Videoconferência
(X) Aprovado () Reprovado

Dr(a). **MATEUS DA SILVA TEIXEIRA**



Avaliador(a) Externo / UFPEL / Pelotas - RS

Participação: () Presencial (X) Videoconferência
(X) Aprovado () Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

(X) unanimidade

Florianópolis, 28 de setembro de 2022.

CDD 551.5
S236d

Santis, Rafaelle Fraga de
Desenvolvimento de um algoritmo computacional para identificação de
vórtices ciclônicos associados à zona de convergência do Atlântico Sul -
[DIS] / Rafaelle Fraga de Santis; orientação de Mário Francisco Leal de
Quadro – Florianópolis, 2022.

1 v.: il.

Dissertação de Mestrado (Clima e Ambiente) – Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Vórtice. 2. Desastres naturais. 3. Precipitação. 4. ZCAS. I. Quadro, Mário
Francisco Leal de. II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis
Catalogado por: Ana Paula F. Rodrigues – CRB 14/1117

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Mário Quadro, por toda orientação e auxílio pelos quais tornaram possível a publicação deste trabalho. Ao prof. Adriano Vitor pelas ideias e consultoria estatística que foram fundamentais para a elaboração dos resultados. Às minhas colegas Roseli de Oliveira e Mariana Gandra pela companhia e trocas de ideias no laboratório. E ao colega Vinícius Gonçalves pela parceria em tantos trabalhos e viagens durante o mestrado. E a minha namorada Andrea Hurtado por todo o suporte e apoio. Agradeço também ao projeto de Monitoramento Climático e Gestão Ambiental de Eventos Meteorológicos Extremos em Santa Catarina-IFSC pela bolsa de pesquisa e a PIBIC/PIBITI/PIPCIT/CNPq.

Outras vezes ouço passar o vento;

E acho que só para ouvir passar o vento vale a pena ter nascido.

(Fernando Pessoa, 1925)

RESUMO

Desastres naturais associados aos grandes volumes de chuva acarretam em grandes perdas e danos socioeconômicos e prejuízo à sociedade. Em vista disso, o objetivo geral deste trabalho é identificar a ocorrência da formação de vórtices ciclônicos de mesoescala (VCM) durante episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e relacionar seus impactos ao longo da zona de convergência por meio de um algoritmo computacional, que poderá auxiliar na previsão do tempo. As análises foram feitas dos casos de ZCAS de 1991 a 2020 com dados de reanálises do modelo numérico *Climate Forecast System Reanalysis / Climate Forecast System Version 2* (CFSR / CFSv2) e analisadas as componentes zonal e meridional do vento para identificação dos vórtices e a precipitação do produto de precipitação MERGE do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climático (CPTEC). O algoritmo detectou 7.151 vórtices durante o período. Os VCMs foram detectados em maior número nos meses do início e do auge do verão e com maior frequência nos meses após o ápice do verão, com maior ocorrência no período noturno ao diurno e nos níveis mais baixos da troposfera em relação aos médios níveis. No que diz respeito a precipitação, 85% dos VCMs tem precipitação associada a sua ocorrência e os vórtices com menos profundidades apresentaram a maior frequência entre os casos com precipitação superior a 120 mm. Quanto à distribuição espacial, VCMs associados a precipitações superiores a 30 mm em todas as profundidades tiveram diversas ocorrências próximas a vales e serras. Nos 7 estudos de caso do verão de 2021/2022 houveram casos com vórtices de profundidade superior ao máximo climatológico, VCMs localizados próximos a casos de situação de emergência e com a tendência de atuar preferencialmente na porção sul da zona de convergência.

Palavras-Chave: Vórtice; ZCAS; Desastres Naturais; Precipitação.

ABSTRACT

Natural disasters associated with large volumes of rain lead to socioeconomic losses and injuries to society. The objective of this paper is to identify the occurrence of the formation of mesoscale cyclonic vortices (MCV) during episodes of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) and to relate their impacts along the convergence zone through an algorithm developed in *GraDs*. The analysis were made of SACZ cases from 1991 to 2020 with data from the Climate Forecast System Reanalysis / Climate Forecast System Version 2 (CFSR / CFSv2) numerical weather forecast model with the zonal and meridional wind components and MERGE/CPTEC precipitation which can assistant with weather forecasting. The algorithm detected 7,151 vortices. VCMs were detected in greater numbers in the months of the beginning and climax of summer and high frequency in months after the climax of summer. Vortices occur frequently at the night and at the lowest levels of the troposphere in relation to the average levels. Regarding rainfall, 85% of the VCMs have precipitation associated with their occurrence and the vortices with less depths had the highest frequency among cases with precipitation greater than 120 mm. About the spatial distribution, VCMs associated with precipitation greater than 30 mm at all depths had several occurrences near valleys and mountains. During the 7 cases of the summer of 2021/2022, there were cases with vortices of depth greater than the climatological maximum, VCMs located close to cases of emergency situation and with a tendency to act preferentially in the southern portion of the convergence zone.

Keywords: Vortex. SACZ. Natural disasters. Precipitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Região delimitada para a área de estudo dos VCMs, representado pelo retângulo em preto, sobreposto a topografia (m) da América do Sul.	25
Figura 2 - Diagrama esquemático do critério estabelecido para detectar o giro do vento no sentido horário, no Hemisfério Sul, ao redor do ponto vermelho selecionado pelo critério "B".	31
Figura 3 - Acumulado anual de VCMs associados a ZCAS (colunas azuis) e número de dias de atuação da ZCAS (linhas laranjas) no período de 1991 a 2020.	36
Figura 4 - Gráfico representando a série temporal dos VCMs detectados durante episódios de ZCAS (colunas azuis), por mês e ano, e anomalia do ENOS (linha laranja) de acordo com o método ONI de 1991 a 2020.	38
Figura 5 - Acumulado mensal de VCMs associados à ZCAS (colunas azuis) e número de dias de atuação da ZCAS (linhas laranjas) no período de 1991 a 2020.	39
Figura 6 - Distribuição dos VCMs detectados na ZCAS (colunas azuis) por horário sinótico, entre os anos de 1991 e 2020.	40
Figura 7 - Gráfico de barras dos vórtices detectados em ZCAS (barras azuis) e por níveis de pressão (hPa) de 1991 a 2020.	41
Figura 8 - Gráfico de barras dos vórtices detectados em ZCAS (barras azuis) e por níveis de profundidade de 1991 a 2020.	42
Figura 9 - Gráfico de barras dos vórtices detectados por dias de atuação da ZCAS (barras azuis) de 1991 a 2020.	44
Figura 10 - Localização dos VCMs detectados de acordo com a quantidade de níveis de pressão de aprofundamento, de 1 a 6, de 2010 a 2020. Os pontos pretos são vórtices com precipitação associada menor que 30 mm; os pontos azuis são vórtices com precipitação associada maior que 30 mm.	48
Figura 11 - Como na figura 10, para a quantidade de níveis de pressão de aprofundamento, de 7 a 12.	49
Figura 12 - Precipitação acumulada (mm), associada a ocorrência de desastres naturais e vórtices ciclônicos de mesoescala durante os episódios de ZCAS ocorridos entre os dias (a) 03/11/2021 a 04/12/2021, (b) 06/12/2021 a 10/12/2021 e (c) 23/12/2021 a 02/02/2022.	54
Figura 13 - Como na figura 12, para os episódios ocorridos entre os dias (a) 05/01/2022 a 11/01/2022, (b) 29/01/2022 a 02/02/2022, (c) 07/02/2022 a 14/02/2022 e (d) 16/02/2022 a 21/02/2022.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Horários inicial e final (UTC) para acumulação da precipitação associada a atuação do VCM detectado pelo algoritmo computacional.	32
Tabela 2 - Número de VCMs, número de dias com ZCAS e média de registro de vórtices por dia de ocorrência ZCAS por ano, entre 1991 e 2020.	37
Tabela 3 - Número de vórtices por profundidade (L) e dias de atuação da ZCAS (D), entre 1991 e 2020. Uma escala de tons de cinza é aplicado através da variação do número de vórtices de 1 a 10; 11 a 30; 31 a 100; 101 a 300 e acima de 300.	44
Tabela 4 - Distribuição de frequência relativa do número de vórtices detectados em ZCAS entre 2010 a 2020 em intervalos de chuva acumulada em 6 horas (mm) no ponto de detecção e nos pontos 0,1° de latitude e longitude ao redor e porcentagem da frequência relativa.	45
Tabela 5 - Distribuição de frequência relativa e acumulada e percentual relativo e acumulado da ocorrência de vórtices por nível de profundidade que causaram precipitação superior a 120 mm em 6h em episódios de ZCAS entre 2010 a 2020. .	46
Tabela 6 - Distribuição de frequência relativa e acumulada e percentual relativo e acumulado da ocorrência de vórtices por vorticidade relativa de vórtices que causaram precipitação superior a 120 mm em 6h em episódios de ZCAS entre 2010 a 2020.	46
Tabela 7 - Número de vórtices, número de dias com ZCAS e média de vórtices por dia de ZCAS por ano dos casos entre 30/11/2021 a 28/02/2022.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM - Estado do Amazonas

BA - Estado da Bahia

CFSR - *Climate Forescast System Reanalysis*

CFSv2 - *Climate Forecast System Version 2*

COBRADE - Classificação e Codificação Brasileira de Desastres

CRED - Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres

DN - Desastres Naturais

ES - Estado do Espírito Santo

GO - Estado de Goiás

GPM - Global Precipitation Measurement

GrADS - Grid Analysis and Display System

IMERG - Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM

MT - Estado do Mato Grosso

MS - Estado do Mato Grosso do Sul

NCEP - *National Center for Environmental Predition*

ONI - *Oceanic Niño Index*

PR - Estado do Paraná

RJ - Estado do Rio de Janeiro

RO - Estado de Rondônia

S2ID - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres

SC - Estado de Santa Catarina

SOI - *Southern Oscillation Index*

SP - Estado de São Paulo

TLC - Tempestade Local Convectiva

TRMM - *Tropical Rainfall Measure Mission*

VCM – vórtice ciclônico de mesoescala

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	9
SUMÁRIO	11
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivos	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivo(s) específico(s)	13
1.1.3 Estrutura do trabalho	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Histórico de Estudos de ZCAS	15
2.2. Vórtices Ciclônicos de Mesoescala associados à ZCAS	17
2.3. O Fenômeno ENOS	19
2.4. Desastres naturais associados à ZCAS	21
3. DADOS E METODOLOGIA	25
3.1. Área de Estudo	25
3.2. Dados	26
3.2.1. Reanálise do CFSR e CFSv2	26
3.2.2. Precipitação do MERGE	27
3.2.3. Desastres Naturais da Defesa Civil	28
3.3. Metodologia	29
3.3.1. Método objetivo para detecção dos VCMs	29
3.3.2. Precipitação associada aos VCMs	31
3.3.3. Análises estatísticas	33
4. RESULTADOS	35
4.1. Climatologia dos VCMs embebidos na ZCAS	35
4.1.1. Variabilidade Interanual e relação com o ENOS	35
4.1.2. Variabilidade Anual	38
4.1.3. Ciclo Diurno	39
4.1.4. Perfil Vertical e Profundidade dos VCMs	40
4.1.5. Variabilidade e profundidade ao longo dos dias da ZCAS	42
4.2. Precipitação associada aos VCMs	45
4.3. Estudo de casos de ZCAS do verão de 2022	50

5. PRODUTOS TÉCNICOS E TECNOLÓGICOS	58
5.1 Artigos publicados	58
5.2 Produto Técnico e Tecnológico (PPT)	58
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
APÊNDICE A - ALGORITMO DE DETECÇÃO DE VÓRTICES CICLÔNICOS DE MESOESCALA	74
ANEXO 1	77
ANEXO 2	85
ANEXO 3	90
ANEXO 4	91

1. INTRODUÇÃO

Fenômenos meteorológicos que provocam grandes volumes de precipitação são responsáveis por acarretar perdas e danos socioeconômicos e transtornos à sociedade. Segundo a Universidade Federal de Santa Catarina (2013), entre 1990 e 2012, a enxurrada foi o tipo de desastre que mais causou mortes no país (58,15% do total), seguido por deslizamento de massa (15,6%). Tais eventos atingem, em especial, as Regiões Sul e Sudeste do Brasil durante a estação chuvosa (BRASILIANSE et al., 2017). Entre estes eventos meteorológicos extremos de chuva, destaca-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

A ZCAS é um sistema meteorológico de escala sinótica, associado com comprimentos de onda superiores a 2000 km (AMS, 2022), caracterizado pela persistência por vários dias de uma banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste (NW-SE). A ZCAS se forma durante o período de maior atividade convectiva no Hemisfério Sul (outubro a março) e atua desde o centro sul da Amazônia, passando pelas regiões Centro-Oeste e Sudeste, centro sul da Bahia, nordeste da Região Sul do Brasil prolongando-se em direção ao Oceano Atlântico sudoeste. Essa atuação impacta diretamente as regiões afetadas com altos índices pluviométricos (KODAMA, 1992 e 1993; QUADRO, 1994; CARVALHO et al. 2002 e 2004; FERREIRA et al., 2004).

Dessa forma, o desenvolvimento de um algoritmo que detecta vórtices ciclônicos em ZCAS poderá auxiliar a previsão do tempo ao apontar os pontos em que estão presentes os mesovórtices e, também, no desenvolvimento da pesquisa do sistema meteorológico ZCAS.

1.1. Objetivos

1.1.1 *Objetivo geral*

Identificar a ocorrência da formação de vórtices ciclônicos de mesoescala durante episódios de ZCAS e relacionar seus impactos ao longo da zona de convergência.

1.1.2 *Objetivo(s) específico(s)*

- Desenvolver e aplicar um método objetivo para detecção de VCMs embebidos na ZCAS entre os anos de 1991 a 2020;
- Identificar as principais características regionais dos mesovórtices, assim como suas profundidades os níveis troposféricos;
- Relacionar a variabilidade temporal dos acumulados de precipitação em períodos de atuação durante a formação de episódios de ZCAS;
- Desenvolver um sistema computacional operacional, em forma de produto técnico e tecnológico (PTT) para previsão de VCMs a partir de modelos numéricos de previsão de tempo e clima;
- Realizar estudos de caso e relacionar a ocorrência dos VCMs com registros de desastres hidrológicos.

1.1.3 Estrutura do trabalho

O capítulo 2 tem como propósito resgatar a fundamentação bibliográfica ao descrever e caracterizar não apenas a ZCAS, mas também os fenômenos El Niño Oscilação Sul (ENOS) e VCMs, uma vez que estes podem se relacionar com tal sistema e contribuir para a ocorrência de desastres naturais. Já o capítulo 3 apresenta os dados utilizados no estudo e a metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos. No capítulo 4, os resultados obtidos através da metodologia são analisados para a construção do artigo final e do algoritmo de detecção de vórtices ciclônicos, conforme exposto no capítulo 5. Por fim, o capítulo 6 traz, nas considerações finais, uma retomada dos principais pontos elencados nesta pesquisa e seus resultados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Histórico de Estudos de ZCAS

A ZCAS, de acordo com o Glossário da Sociedade Americana de Meteorologia, é uma persistente faixa de nebulosidade, precipitação e convergência de baixo nível que acontece no sentido NW-SE, iniciando no sul da Amazônica estendendo-se pelo sudoeste do Brasil até o oeste do Atlântico Sul, sendo mais intensa no período do verão (AMS, 2022).

Para melhor compreensão do interesse histórico acerca deste sistema meteorológico, é importante retomar às pesquisas dos autores Taljaard (1972) e Streten (1973) que publicaram os primeiros estudos sobre uma banda de nebulosidade convectiva persistente sobre a América do Sul, conforme comentado por Quadro, Pezzi e Rosa (2016). Da segunda metade da década de 1970 até o início dos anos 1990, os estudos concentraram-se na descrição do sistema, em busca de uma identificação e caracterização dos eventos.

Um dos pioneiros nestes estudos iniciais deste sistema foi Ratisbonna (1976, apud DIAS; BONATTI; KOUSKY, 1987) que afirmou que a atividade convectiva sobre a América do Sul tropical é concentrada sobre a Bacia Amazônica e o Brasil Central durante o período de chuvas. Posteriormente, Kousky (1979), outro pioneiro no estudo do tema, definiu as forçantes convectivas sobre a região de ocorrência do evento e as correlacionou com a penetração de sistemas de médias latitudes na região tropical, conforme citado por Dias, Bonatti e Kousky (1987). Na década de 1980, Dias e Bonatti (1985) elaboraram um estudo preliminar sobre a estrutura vertical da circulação atmosférica no verão sobre a área tropical da América e enfatizaram o papel importante do calor latente sobre esta área. Dias, Bonatti e Kousky (1987) sugeriram que as forçantes de convecção diurna sobre o setor tropical da América do Sul são responsáveis pela precipitação sobre as áreas adjacentes. Corroborando com esses estudos, Oliveira (1986) e Nobre (1988) atentam para o alinhamento do grau térmico da frente fria com a nebulosidade em uma escala sinótica e para a interação de vórtices ciclônicos de altos

níveis com os sistemas frontais na região da zona em uma escala subsinótica, respectivamente.

Nos trabalhos realizados por Kousky (1985), Casarin e Kousky (1986) e Kousky e Cavalcanti (1988) foram abordadas as perturbações atmosféricas ocasionadas pela Oscilação Intrazonal (30/60 dias) como um fator relevante para o fenômeno da ZCAS, que responde a essas passagens e às explosões convectivas sobre o Brasil Central e o sul da Amazônia nos baixos níveis (Figueroa; Nobre, 1990). Em 1988, Nobre ressalta a ZCAS e suas diferenças em relação à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), pois esta possui não apenas pouca variabilidade temporal, mas também uma lenta variabilidade sazonal, e aquela tem maior variação temporal e espacial, desaparecendo em alguns dias a semanas ou mesmo inexistindo no período de inverno do Hemisfério Sul além de afetar o regime de chuva das regiões norte e sul do Brasil. Em termos de precipitação, Figueroa e Nobre (1990) evidenciam que os centros de maior concentração de chuvas coincidem com a posição média da ZCAS pela influência da Cordilheira dos Andes e pela convergência de umidade de baixo nível como já citado anteriormente.

A partir de meados dos anos 1990 ao início do século XXI, a tecnologia de modelagem numérica foi aperfeiçoada e surgiram vários trabalhos científicos associados a caracterização da ZCAS. Kodama (1992) identificou características atmosféricas e oceânicas, como o transporte de umidade em baixos níveis e a convergência de umidade que sustenta a manutenção da convecção. Quadro (1994) mostrou um estudo de episódios sobre a América Latina com análises de padrões meteorológicos que caracterizam o fenômeno dos baixos aos altos níveis da atmosfera.

De uma forma complementar, foram realizados estudos relacionados a simulação da ZCAS, nas suas componentes atmosférica e oceânica, além de sua variabilidade em diferentes escalas. Entre os estudos mais marcantes estão: (i) Lenters e Cook (1995), que em suas comparações entre o modelo e o observado, mostram que o fluxo de convergência de umidade e dos ventos de baixos níveis na região da Amazônia e da ZCAS contribuem de forma significativa para a precipitação intensa nesta região; (ii) Gandu e Dias (1998) demonstraram que a fonte de calor da Amazônia e a ZCAS apresentam-se acopladas a outras fontes tropicais de calor; (iii) o estudo da composição

da ZCAS em períodos de El Niño e La Niña por Ferreira, Sanchez e Dias (2004), os quais mostraram que os eventos quentes aumentam a atividade convectiva, enquanto os frios diminuem; (iv) Carvalho, Jones e Liebmann (2004) analisaram com mais profundidade as características e apresentaram resultados sobre a variação intrasazonal e interanual do fenômeno; (v) a análise da energética modal realizado por Mendonça e Bonatti (2008a, 2008b) e (vi) o impacto da temperatura do mar sobre a simulação de ZCAS por Tomazzielo e Gandu (2013).

Na última década, houveram alguns estudos de aplicação de algoritmos para melhor compreensão do comportamento do evento. Nesse sentido, pode-se citar estudos de caráter observacional como os trabalhos de Quadro et. al. (2012) que realizaram uma análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade através de reanálises e Vieira et. al. (2014) utilizou algoritmos para a identificação de ocorrência e intensidade das ZCAS. Também foram realizados estudos de modelagem como os de Rodrigues (2012) que realizou um estudo observacional e numérico com análises de casos em períodos de El Niño e La Niña, Ambrizzi e Ferraz (2015) que mostraram que o fenômeno foi bem definido por simulações e observações dos dados de precipitação; Talento e Barreiro (2017) simularam do comportamento da ZCAS com diferentes cenários com forçantes termais; e Rosa et al. (2020) demonstrou um método automatizado baseado na radiação de ondas longas de saída de satélite (OLR) para detecção da ZCAS e ZCAS oceânica e caracteriza seus aspectos climatológicos.

2.2. Vórtices Ciclônicos de Mesoescala associados à ZCAS

Os Vórtices Ciclônicos de Mesoescala (VCMs) têm sido estudados pela comunidade científica há várias décadas, sendo necessário retomar sobre a formação dos mesovórtices, que pode ser afetada pela presença de precipitação estratiforme, que se define como uma chuva leve a moderada, com maior duração e maior cobertura. Também podem se formar tanto nos trópicos quanto em latitude média, desenvolvendo-se em sua maioria nos estágios maduro e de decaimento dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs), além de colaborar com a convecção subsequente, de forma que podemos associar os VCMs com a existência prévia de SCMs (HOUZE, 1977; JOHNSTON, 1982; BARTELS, MADDOX, 1991).

Reforçando essa associação entre a precipitação e o surgimento de um VCM, no estudo sobre o Sistema Convectivo de Longa Duração, Bosat e Sanders (1981) identificaram que a alta precipitação aconteceu devido à formação e organização de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) associado “a um máximo de vortacidade troposférica média, situado acima de uma poça de ar relativamente frio na troposfera inferior, e alojados em uma massa de ar quente, úmida e instável” (p. 1642), inferindo tal fenômeno como um VCM. No entanto, a confirmação do vórtice como um VCM depende do sistema estar “embebido, ou surgir embebido em uma região com significativa precipitação estratiforme e nebulosidade cumuliforme associada com convecção úmida e profunda” (QUADRO, 2012). Nesse contexto, Johnston (1982) reforça em sua pesquisa que os VCMs são caracterizados pela concentração de vortacidade relativa ciclônica nos baixos e médios níveis, com ordem de magnitude próxima ao parâmetro de Coriolis.

Para melhor detecção dos VCMs, Bartels e Maddox (1991) criaram o primeiro método a partir da análise de imagens de satélite de forma subjetiva, com resolução de 4km para identificar bandas de nuvens bem definidas. Este método foi aprimorado por Trier et. al. (2000 *apud* Quadro, 2012) ao incluir a refletividade de radar, imagens de satélite infravermelho e perfiladores de vento nessa análise com maior quantidade de observações.

Johnson e Bartels (1992) e Brandes e Ziegler (1993) caracterizam o mesovórtice na porção estratiforme de um SCM pelo seu núcleo quente, de modo que seu calor converge para níveis acima deste e, assim, contribuindo para o aumento da vortacidade ciclônica. No estudo de Ghofu e Shoujun (2003) sobre o planalto tibetano Qinghai-Xizang, os autores utilizaram um modelo de simulação CNTL para analisar o caso e descobriram que a formação do VCM embutido no SCM estava associada aos efeitos termais do planalto considerando a mudança de altura geopotencial e a evolução dos ventos.

Os sistemas formam-se tanto nos trópicos como em latitudes médias e “é gerado dentro de um ambiente estratiforme na região da ZCAS, ‘suga’ a umidade, acelera os ventos na vertical provocando intensa precipitação” (QUADRO, DIAS, HERDIES, 2016, p.

274). Nesse mesmo estudo, os autores descrevem no caso analisado o VCM com as seguintes características:

(a) um deslocamento para sul, seguindo o escoamento em baixos níveis com os maiores índices pluviométricos localizados a sudeste do centro do sistema de mesoescala; (b) escala espacial de aproximadamente 200 x 200 km² (2° de latitude/longitude); (c) é da mesma ordem de magnitude de f (10^{-4} s^{-1}); (d) núcleo quente (frio) acima (abaixo) do nível de máxima intensidade e (e) ciclo de vida inferior a 24 h. (p. 277).

Assim, em um ambiente de mesoescala, na qual os sistemas meteorológicos possuem comprimento de onda entre 2 e 2000 km e escala temporal da ordem de horas a um dia (ORLANSKI, 1975), são observados diversos sistemas meteorológicos embebidos no ambiente da ZCAS. Quadro (2012) mostra a importância da atuação dos VCMs, que se originam na região estratiforme da ZCAS, estão embebidos na região de confluência e movimento ascendente do ar ao longo da ZCAS e são responsáveis por intensos índices pluviométricos nas áreas onde atua.

Em trabalhos mais recentes, Silva (2022) realizou estudo de casos de VCMs embebidos na ZCAS que atuaram sobre o Estado de São Paulo, Brasil, entre os anos de 2013 e 2017. Neste estudo, os casos foram separados em dois grupos: 1) VCMs nos eventos de ZCAS que apresentaram precipitação no local de registro de desastres naturais (DNs) e 2) VCMs nos eventos de ZCAS que não apresentaram precipitação associada aos DNs. Destacam-se os eventos do grupo 1 que se caracterizaram por convergência em baixos níveis e divergência em altos níveis da atmosfera; valores de vorticidade inferiores a $-8 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ predominantes em baixos níveis (850 – 900 hPa). Esse resultado demonstra uma relação com os maiores acumulados de precipitação e possivelmente com a ocorrência de DN. Além disso, não foi observada uma relação com a precipitação em superfície quando o VCM atua em altos níveis da troposfera.

2.3. O Fenômeno ENOS

Como parte do objetivo específico de relacionar a variabilidade temporal dos VCMs embebidos nas ZCAS, foi abordado a relação com o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS).

O ENOS é um fenômeno oceânico-atmosférico que ocorre na área equatorial do oceano Pacífico e refere-se a índices de temperatura do oceano e pressão atmosférica (CPTEC/INPE, 2022).

Os primeiros estudos sobre a caracterização do ENOS demonstraram que a variação de pressão no Oceano Pacífico e Índico tem conexão com a precipitação no sul da África, em boa parte da América do Sul, no noroeste da Austrália e nas monções na Índia (WALKER, 1933). Posteriormente, Bjerknes (1969) relacionou a variação dos índices de temperatura no Pacífico equatorial com a oscilação sul de Walker. Nos meados dos anos 70 até o final dos anos 90, foram desenvolvidos uma sucessão de modelos de interação oceano-atmosfera várias complexidades para compreender o fenômeno e suas interações, por exemplo, com: sistemas de monções, variabilidades interanuais em bacias, interações entre bacias, interações oceano-atmosfera na climatologia tropical, ciclos sazonais etc (NEELIN et al., 1998). Os modelos climáticos desenvolvidos ao longo do tempo têm grande dificuldade em simular realisticamente o ENOS, porém tiveram um sucesso na previsão da magnitude das anomalias de temperatura ao nível do mar na região El Niño 3.4 (5°N a 5°S, 170°W a 170°E), índice conhecido como *Oceanic Niño Index* (ONI) (TRENBERTH; STEPANIAK, 2001).

O fenômeno ENOS é caracterizado pelo cálculo de índices que definem sua fase e intensidade. O ONI é o índice que leva em consideração a anomalia de temperatura da superfície do mar no El Niño 3.4 e define os períodos como El Niño quando a anomalia é de +0,5°C por 3 meses consecutivos, e como La Niña quando a anomalia é de -0,5°C por 3 meses consecutivos. Outros índices utilizados são os que incluem a temperatura do nível do mar de regiões do Pacífico equatorial, como: Niño-1+2, Niño-3, Niño-4, e *Japan Meteorological Agency* (JMA); e pressão ao nível do mar como o *Southern Oscillation Index* (SOI) (HANLEY et al., 2003).

Os períodos de El Niño e La Niña impactam nos padrões de vento a nível mundial e afetam regimes de chuva e temperatura em regiões tropicais e latitudes médias (CPTEC/INPE, 2022). De acordo com o mesmo autor, no Brasil, o El Niño provoca temperaturas acima da média no Sudeste e porção sul do Nordeste, estiagem no

Nordeste e chuva acima da média no Sul; a La Niña impacta com temperaturas abaixo da média na região Sudeste e porção sul do Nordeste, chuvas acima da média na porção norte do Nordeste e estiagem no Sul.

2.4. Desastres naturais associados à ZCAS

Conceitualmente, os desastres naturais são os danos humanos, materiais e/ ou ambientais além dos prejuízos econômicos e sociais provocados por forças naturais extremas ou intensas em uma determinada região/ comunidade, podendo ultrapassar a capacidade dos afetados em lidar com o impacto desse evento. É possível classificar esses desastres de acordo com sua tipologia: geodinâmica externa (meteorológicos e hidrológicos) e interna (geológicos) da Terra (CASTRO, 1998; MARCELINO, 2008).

Ainda em termos de classificação, para um evento natural extremo ser considerado desastre é necessário atingir um desses critérios: ocorrência de desabrigados e/ou desalojados, mortes, eventos de deslizamentos de terra ou transbordamento de rios (mesmo sem vítimas), declaração de situação de emergência ou declaração de situação de calamidade pública, de acordo com a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) elaborada pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (BRASIL, 2022).

Ainda de acordo com a COBRADE e o Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres (CRED), os desastres naturais podem ser classificados em cinco grupos, a depender do perigo desencadeador: geológicos (e. g., terremotos, erosões e movimentos de massas sem água), hidrológicos (e. g., inundações, enxurradas, movimentos de massa com água e alagamentos), climatológicos (e. g., secas, estiagem, incêndios e baixa umidade do ar), meteorológicos (e. g., sistemas de grande escala, tempestades e temperaturas extremas) e biológicos (e. g., epidemias e infestações/ pragas) (BRASIL, 2022)

Considerando essa classificação, os desastres climatológicos, meteorológicos e hidrológicos estão intimamente relacionados, uma vez que o excesso de chuvas pode resultar em inundações, enxurradas e alagamentos. Tal constatação é corroborada na pesquisa de Mata-Lima et al. (2016), que destaca os desastres relacionados ao clima

como os mais expressivos, alcançando o percentual de 91% do total no mundo. Sendo foco deste estudo, os desastres hidrológicos são os eventos relacionados - direta ou indiretamente - com a dinâmica da água, além da movimentação de massa úmida (VENDRUSCOLO, 2007). De acordo com estudos já realizados, esse tipo de desastre é o segundo tipo mais comum no Brasil, além de ser um dos mais perigosos, com prejuízos significativos dependendo do volume de chuva, do clima e das condições geomorfológicas da região afetada (SPITALAR et al., 2014; ACETO et al., 2016).

Para Alvino-Borba (2020), a gestão do risco de desastre naturais em áreas urbanas, com atenção especial aos hidrológicos, envolve planejamento e gerência do território ao levar em consideração:

(1) cenários de inundação resultantes da aplicação dos modelos hidrológicos, (2) mapas topográficos, (3) mapas de solos e de ocupação e uso de solos, (4) mapas de suscetibilidade a inundação e deslizamentos de terra, (5) índices de densidade demográfica e de envelhecimento, (6) tipo e qualidade de infraestruturas, (7) cenários de evacuação, (8) mapas de riscos, (9) educação, conscientização da população e a sua participação na construção das medidas de adaptação e (10) coordenação entre os stakeholders (e.g., decisores, instituto de meteorologia, serviço de proteção civil, bombeiros, entre outras partes relevantes para a rede) que têm que trabalhar em sintonia nos períodos pré-, durante e pós-desastre. (p. 73733).

No panorama apresentado por Parizzi (2022) sobre os desastres desencadeados por fenômenos naturais nos anos de 2010 a 2019, o Brasil registrou 862 desastres, sendo 643 nos meses de janeiro a abril - sendo este o período de chuva - e 363 óbitos, de modo que os desastres hidrológicos foram significativos no ano de 2010. Somente no estado do Rio de Janeiro foram registradas 970 mortes provocadas por inundações e deslizamentos de terras em 2011. No ano seguinte, foram contados 376 eventos hidrológicos, sendo 60% dos escorregamentos relacionados às chuvas em Minas Gerais, 19% no Rio de Janeiro e 8% no Espírito Santo. Em 2013, foram 499 ocorrências de fenômenos naturais, com 145 mortes por desastres hidrológicos, destas 120 na região Sudeste, já que Minas Gerais totalizou cerca de 63% dos deslizamentos, seguido de 21% do Rio de Janeiro. No estado do Espírito Santo, os eventos de escorregamentos por desastres hidrológicos causaram 64 mortes no ano de 2014. Não houve relatos de desastres provocados por fatores hidrológicos no sudeste do Brasil em 2015, sendo considerado um ano excepcional com um único escorregamento na Bahia. No ano de 2016, a redução das

chuvas se manteve, diminuindo cerca de 50% em relação à média na região Amazônica. Já em 2017, as situações emergenciais por tempestades, inundações, alagamentos, enxurradas e escorregamentos foram 29% dos registros neste ano, principalmente na região Sul, Sudeste e Norte. Foram registrados 372 eventos hidrológicos com 70 mortes no ano de 2018 e, por fim, em 2019, 91 pessoas morreram no Brasil por causa das chuvas intensas e acima da média esperada no período chuvoso.

Em seu estudo, Barcellos et al. (2016) afirmaram que os fenômenos meteorológicos são responsáveis por 80% dos DN's no Brasil, sem deixar de reconhecer o impacto da relação homem/ meio ambiente para intensificar os efeitos desses eventos. Ainda no presente estudo, os autores concluíram que 57% dos desastres na cidade de Duque de Caxias (RJ) estavam associados à ZCAS, o que acontece por causa das suas características típicas e o acúmulo de chuvas por dias.

Na pesquisa de Marchioro, Silva e Correa (2016), os autores resgataram os estudos realizados a respeito da zona de convergência em diversas regiões do Brasil: Rio de Janeiro (SILVA DIAS et al., 1998), Minas Gerais (ABREU, 1998), São Paulo (CARVALHO et al., 2002), Região Metropolitana de Belo Horizonte (LUCAS, 2007), Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro (PINHEIRO et al., 2011) e o município de Vitória (CORREA; ALBUQUERQUE, 2012), relacionando a alta precipitação e suas consequências como, por exemplo, inundações e deslizamentos.

Outros estudos evidenciam a contribuição da ZCAS em desastres naturais, tanto pela escala sinótica (transporte de umidade, banda de nebulosidade e precipitação), quanto pelos sistemas atmosféricos de mesoescala (os VCMs) (SILVA, 2022). Considerando a temporalidade desses eventos, os desastres naturais acontecem todos os anos no Brasil, sendo intensificados pela

má política do uso de solo, da má gestão do uso das águas, da deficiência na infraestrutura, do mau parcelamento urbano e da má distribuição de renda, sobre um zoneamento deficiente, resultante da política de expansão desordenada das áreas urbanas. (OLIVEIRA, 2015, p. 4).

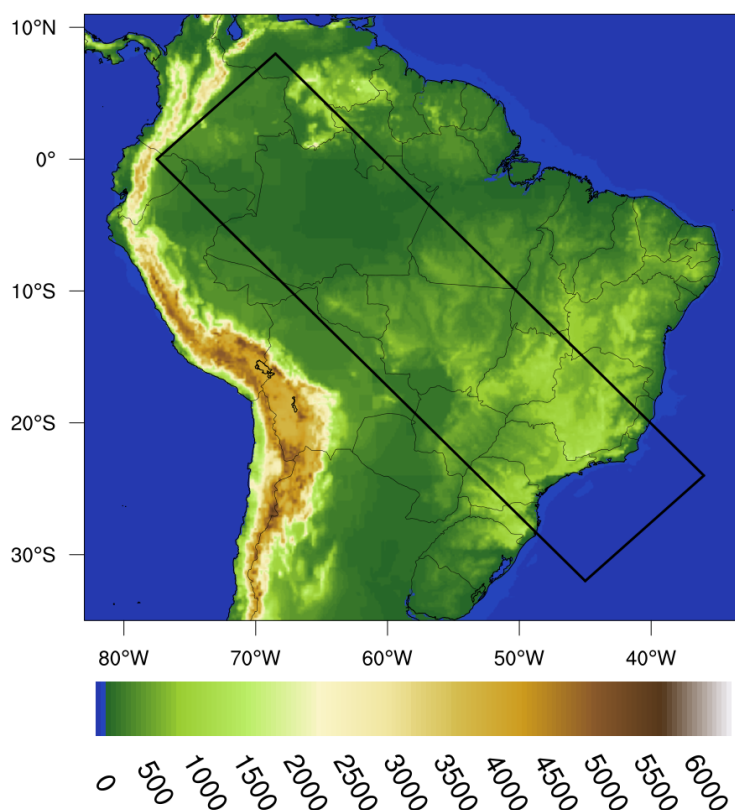
Para Pedro, Freitas e Belotti (2020), o cenário propício para desastres naturais é a associação entre a atuação da ZCAS e a interferência antrópica, de forma que os sistemas meteorológicos atuam como fatores adicionais nessa dinâmica.

3. DADOS E METODOLOGIA

3.1. Área de Estudo

A área de estudos compreende a área de ZCAS definida por Ferreira et al. (2004): centro sul da Amazônia, regiões Centro-Oeste e Sudeste, nordeste da Região Sul do Brasil e sudoeste do Oceano Atlântico. Nesse sentido, neste estudo foi considerada a abrangência continental da ZCAS, incluindo a região amazônica, parte das regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, e a região costeira oceânica. Devido a escassez de dados na região oceânica, a delimitação da área foi feita ressaltando as zonas continentais e menos a zona oceânica (Figura 1).

Figura 1 - Região delimitada para a área de estudo dos VCMs, representado pelo retângulo em preto, sobreposto a topografia (m) da América do Sul.



Fone: Autor

3.2. Dados

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os dados do MERGE e da reanálise do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) e *Climate Forecast System Version 2* (CFSv2).

3.2.1. Reanálise do CFSR e CFSv2

De acordo com Quadro *et al.* (1992), os dados de reanálise representam uma combinação de um modelo de previsão e dados observacionais em sistema de assimilação. Como as observações não se distribuem de forma regular no espaço e no tempo, o modelo de previsão assimila esses dados e gera uma nova análise.

Os sistemas de reanálise utilizados para a detecção dos vórtices foram o CFSR e o CFSv2, com produtos disponibilizados a cada 6 horas, em horários sinóticos (00, 06, 12, 18 UTC). O CFSR é disponibilizado pelo *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), com dados disponíveis no período de 31 anos, de 1979 a 2009, e estendido até março de 2011 (NCEP, 2007). O CFSv2 é o sucessor do CFSR, disponibilizado também pelo NCEP, com dados de janeiro de 2011 até o presente. Ambos são modelos globais de alta resolução que englobam os sistemas atmosfera-oceano-superfície terrestre-gelo oceânico (*National Center for Atmospheric Research Staff*, 2017). Estes modelos de reanálises foram escolhidos pela sua alta resolução espacial e por disponibilizar informações meteorológicas pós-processadas em 31 níveis atmosféricos de pressão.

A série de dados analisada do CFSR foi de janeiro de 1991 até dezembro de 2010 e do CFSv2 de janeiro de 2011 a dezembro de 2020. Esse período foi escolhido para caracterizar um estudo climatológico temporal com duração de trinta anos. Após, foi feito um recorte dos episódios de ZCAS que ocorreram durante esse período de trinta anos, selecionados do estudo de Rosa *et al.* (2020), que fez um levantamento de todos os

casos de ZCAS de 1986 a 2020 a partir de método de algoritmo automatizado baseado na radiação de onda longa (OLR) de saída de satélite para a detecção da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e caracterizar suas características climatológicas. As datas iniciais e finais dos 190 episódios de ZCAS analisados são apresentados no ANEXO 1.

Além disso, foi selecionado um período recente (dezembro de 2021 a fevereiro de 2022) para avaliar a relação entre os VCMs embebidos na ZCAS e os desastres naturais ocorridos. Ressalta-se que este é um período recente para o desenvolvimento deste estudo, que reflete o comportamento dos VCMs dos últimos anos. As variáveis selecionadas para o estudo foram as componentes zonal (uwnd) e meridional (vwnd) do vento horizontal, com resolução espacial de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ de latitude e longitude e temporal de 6 horas. Essas variáveis foram selecionadas por melhor representarem o comportamento do vento na caracterização dos VCMs. Para delimitar a detecção dos VCMs apenas nos baixos e médios níveis troposféricos, as variáveis uwnd e vwnd foram selecionadas em 16 níveis atmosféricos (1000, 975, 950, 925, 900, 875, 850, 825, 800, 775, 750, 700, 650, 600, 550 e 500 hPa). Essa delimitação vertical foi necessária para evitar a detecção de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) na análise dos episódios.

3.2.2. *Precipitação do MERGE*

Os dados de precipitação escolhidos para analisar o impacto dos vórtices na chuva local foi o produto MERGE, que consiste em uma técnica que combina a precipitação estimada pelo satélite *Tropical Rainfall Measure Mission* (TRMM) com as observações de superfície sobre a América do Sul (ROZANTE *et al.*, 2010). Ressalta-se que os dados do TRMM foram descontinuados e o satélite desativado em meados de março de 2015. Nesse sentido, o *Global Precipitation Measurement* (GPM), lançado em fevereiro de 2014, sucedeu na coleta de precipitação de chuva e neve (NASA, 2022). Segundo Rozante

(2020), com o fim do TRMM, o MERGE passou a ser gerado com os dados do *Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM* (IMERG) (HUFFMAN *et al.*, 2015a,b,c, apud ROZANTE *et al.*, 2010)).

A série de dados analisada do MERGE compreende o período de janeiro de 2010 a dezembro de 2020, com resolução espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ de latitude e longitude e temporal de 1 hora. Devido à frequência de horário destas informações, não foi possível obter uma série mais longa como a do CFSR/CFSv2, pois o MERGE começou a ser aplicado e gerar os dados horários de precipitação a partir de 2010 (ROZANTE, 2020).

3.2.3. Desastres Naturais da Defesa Civil

Junto ao portal do Ministério do Desenvolvimento Regional, é possível acessar o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), onde se qualifica e compartilha dados sobre a gestão de riscos e desastres no Brasil. No S2ID são registrados os desastres ocorridos nos estados e municípios, permitindo consulta e acompanhamento público dos processos vigentes, bem como dos armazenados em banco de dados, sendo um local oficial para a busca de informações sobre a gestão de riscos e desastres naturais. A série histórica dos arquivos acessados para consultas contém as informações principais sobre os reconhecimentos federais de situação de emergência e estado de calamidade pública realizados pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) desde o ano de 2013. Quatro relatórios são informados sobre danos, reconhecimentos realizados, reconhecimentos vigentes e uma visão geral. Estes relatórios apresentam informações sobre danos e prejuízos, reconhecimento federal de situação de emergência, ações de resposta e obras de reconstrução realizadas pela SEDEC. No S2ID ainda é possível consultar um atlas oficial dos desastres naturais ocorridos no Brasil desde 1991 a 2012 (CEPED UFSC, 2013).

3.3. Metodologia

A identificação da formação e atuação dos VCMs associados à ZCAS neste estudo foi adaptado do algoritmo elaborado por Quadro (2012) com o uso do aplicativo computacional GrADS (DOTY, 1995). O GrADS é um *software* utilizado para acessar, manipular e visualizar dados geofísicos em diversos formatos, entre eles o grib2, o qual foi escolhido para tratar os dados do CFSR/CFSv2 e do MERGE. O critério utilizado para a detecção dos vórtices ciclônicos embebidos na ZCAS foi baseado no trabalho de Quadro (2012, p.32):

mínimo de vorticidade relativa, em relação aos pontos de grade ao redor, no determinado nível de pressão [...];
circulação do vento no sentido horário em torno do ponto central de mínimo de 90° na direção do vento para configurar a circulação ciclônica em torno do ponto de mínima vorticidade relativa;

3.3.1. Método objetivo para detecção dos VCMs

Neste trabalho, foram definidos três critérios para detectar os VCMs associados à banda de nebulosidade da ZCAS. No primeiro critério, denominado de critério "A", foi delimitada uma região de atuação da ZCAS, definida pelo retângulo apresentado na figura 1. Em toda região externa ao retângulo da ZCAS foi aplicada uma máscara nos dados, evitando assim que vórtices fossem detectados fora da região da ZCAS.

No critério "B" de detecção dos VCMs, o algoritmo computacional foi otimizado através da função "*mfhilo*" do GrADS (<http://opengrads.org/doc/udxt/libmf/libmf.html>). Esta função encontra valores máximos/mínimos em um campo bidimensional, retornando a localização e o valor da variável determinada entre os pontos de grade do domínio selecionado. A função *mfhilo* foi aplicada para a variável vorticidade relativa, com as seguintes opções: i) #Método, "GR" (GRid), que trabalha com dados em pontos de grade;

ii) #MaXMin, "L", para determinar os mínimos de vorticidade; e iii) #SORTby, "M" que ordena o resultado pela magnitude dos valores extremos encontrados.

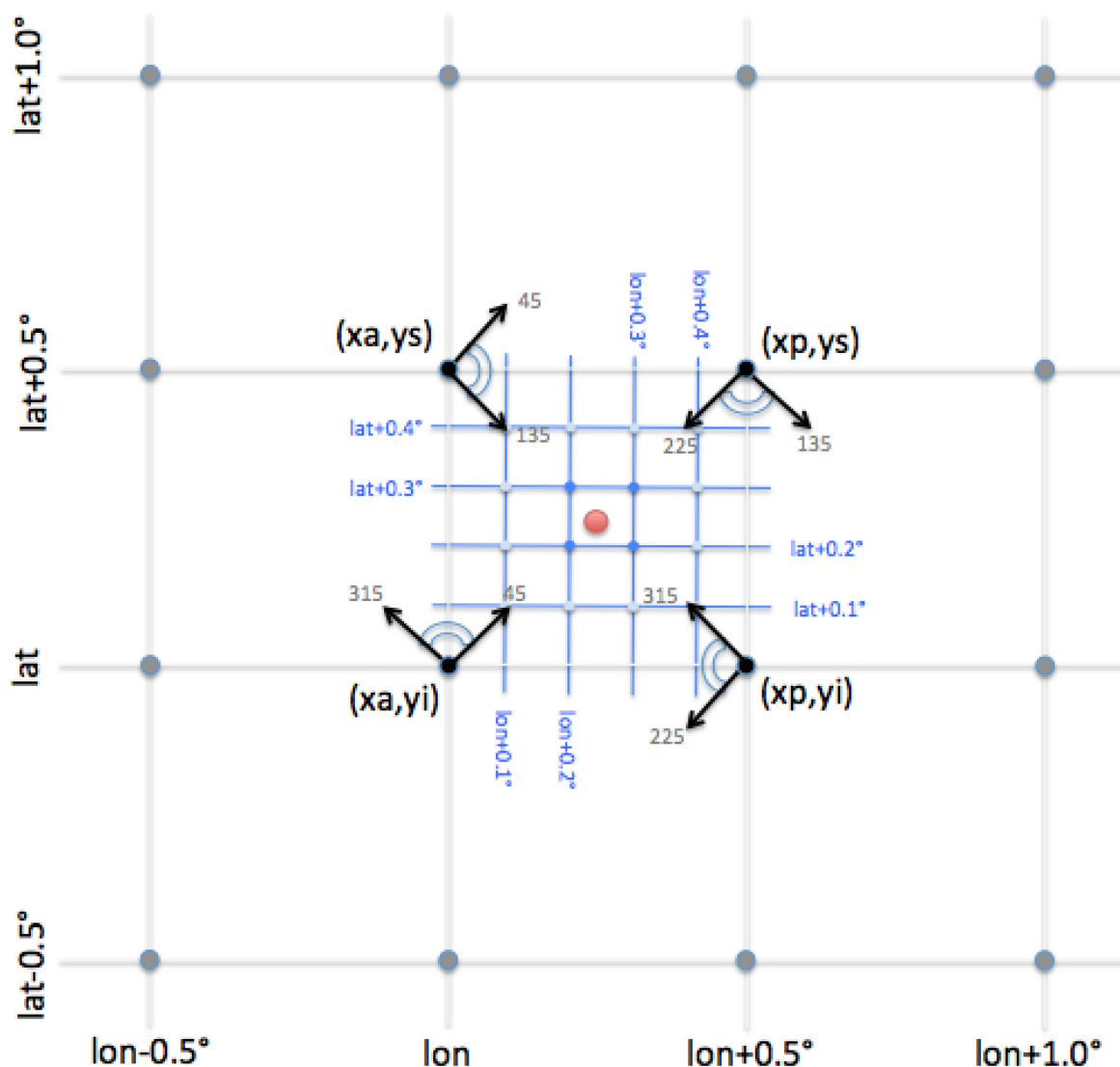
No entanto, os mínimos de vorticidade relativa selecionados podem estar associados a vórtices ou cavados - este último também se caracteriza por um fluxo de ventos no sentido horário no hemisfério sul, porém não completa um giro em 360°. Em função disso, em uma terceira etapa, denominada de critério "C", é feita uma varredura do giro do vento horizontal, em cada nível de pressão onde foi detectado o VCM pelo critério "B". Inicialmente são calculados a direção e velocidade do vento, apresentados nas equações 1 e 2, respectivamente. Posteriormente, a figura 2 mostra como o algoritmo representa o giro do vento no sentido horário, no Hemisfério Sul, ao redor do ponto selecionado pelo critério "B". Este giro é configurado se: i) a velocidade do vento em cada nível de pressão (VEL_{lev}) for maior que 0 m.s^{-1} ; ii) se a direção do vento em cada nível de pressão (DIR_{lev}) encontra entre os ângulos 45° e 135° para o ponto (x_a, y_s); iii) DIR encontra entre os ângulos 135° e 225° para o ponto (x_p, y_s); iv) DIR encontra entre os ângulos 225° e 315° para o ponto (x_p, y_i) e v) DIR encontra entre os ângulos 315° e 45° para o ponto (x_a, y_s).

$$VEL_{lev} = \sqrt{(uwnd^2 + vwnd^2)} \quad (1)$$

$$DIR_{lev} = 180 + (\arctan(vwnd, uwnd) * 180/\pi) \quad (2)$$

onde: VEL_{lev} , m.s^{-1} , em é a magnitude do vento horizontal, para cada nível de pressão (lev), calculado a partir das componentes zonal (uwnd) e meridional (vwnd) do vento; DIR_{lev} , em graus, é a direção do vento, para o respectivo nível de pressão, que varia de 0,1 a 360 graus (direção norte).

Figura 2 - Diagrama esquemático do critério estabelecido para detectar o giro do vento no sentido horário, no Hemisfério Sul, ao redor do ponto vermelho selecionado pelo critério "B".



Fonte: Autor.

3.3.2. Precipitação associada aos VCMs

Para calcular o acumulado de precipitação ao redor da área do vórtice também foi utilizado um algoritmo com o uso do GrADS. Vale ressaltar que os dados do CFSR/CFSv2 para a identificação dos vórtices e os dados do MERGE para a chuva possuem escalas espaciais e temporais distintas. Ao levar em conta essas diferenças, foi necessário adaptar o cálculo da precipitação a partir dos dados do MERGE, com melhor resolução, para representar a precipitação associada aos VCMs.

A solução para a adaptação espacial foi fazer o acumulado de chuva na área em torno da posição central do VCM. Como mencionado na seção 3.1, os dados do CFSR/CFSv2 possuem resolução espacial de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ de latitude e longitude e temporal de 6 horas, enquanto os dados do MERGE $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ e 1 hora de resolução temporal. Como o algoritmo de detecção aponta a localização exata da ocorrência do VCM, a partir deste ponto, foi calculado o acumulado de chuva do ponto de ocorrência do VCM e de $0,1^\circ$ de latitude e longitude ao redor, segundo mostrado na figura 2 (pontos de grade em azul claro, em torno do círculo vermelho de detecção do VCM). Dessa forma, é possível verificar a influência tanto no ponto de detecção quanto nas áreas adjacentes.

Quanto às diferenças na escala temporal, a alternativa aplicada foi aglutinar os dados horários em acumulados de 6 horas. Para melhor refletir a chuva durante o período de atuação do VCM, foi considerado o acumulado de chuva três horas antes da hora de detecção e três horas após, conforme tabela 1.

Tabela 1 - Horários inicial e final (UTC) para acumulação da precipitação associada a atuação do VCM detectado pelo algoritmo computacional.

Horário de detecção do VCM (UTC)	Horários do acumulado de chuva MERGE (UTC)
00	22 a 03
06	04 a 09
12	10 a 15
18	16 a 21

Fonte: Autor.

O algoritmo detecta que há um VCM no horário das 00, 06, 12 e 18 UTC, porém não identifica o horário exato do seu surgimento. Isto justifica a escolha de considerar as três horas anteriores, pois há a possibilidade de sua gênese ter ocorrido horas antes da

detecção. Pela característica do VCM de transportar umidade verticalmente e ter a possibilidade de colaborar na formação de nuvens de chuva, foi considerado as três horas seguintes do horário de detecção para refletir a sua influência na precipitação local. Por exemplo: quando um VCM é identificado às 06 UTC: é feito o acumulado da precipitação do ponto de detecção e da vizinhança e, a seguir, o acumulado nos horários das 04, 05, 06, 07, 08 e 09 UTC.

Após a identificação dos vórtices pelo algoritmo e da precipitação local, uma tabela foi gerada com a data, hora, nível, longitude, latitude, vorticidade relativa, precipitação, caso de ZCAS, número do vórtice no caso e seu nível de profundidade nos níveis de pressão. A partir dos dados dessa tabela, foram aplicados métodos estatísticos para a análise da ocorrência dos VCMs.

É importante ressaltar que, em função da escala temporal selecionada (6 horas), não foi possível identificar a trajetória dos VCMs detectados. Portanto, é possível que um mesmo vórtice apareça mais de uma vez nas estatísticas descritivas deste trabalho. Nesse sentido, um número menor de VCMs seria detectado no período selecionado.

3.3.3. *Análises estatísticas*

Por meio da aplicação do algoritmo descrito no item [3.3.1](#) foram elaboradas análises estatísticas descritivas a partir das seguintes propriedades dos VCMs: data e hora, dia do episódio da ZCAS, nível de pressão, longitude, latitude, vorticidade relativa, número do caso de ZCAS analisado, número do vórtice dentro da ZCAS e nível de aprofundamento. Também foram realizadas análises gráficas da variabilidade interanual, anual e o ciclo diurno dos VCMs embebidos na ZCAS, assim como o comportamento do perfil vertical. Além disso, também foi identificada a relação entre a profundidade dos vórtices e os padrões atmosféricos predominantes para a persistência da ZCAS e a relação com a precipitação.

Para uma melhor apresentação das características dos VCMs em relação à precipitação, foram utilizadas distribuições de frequência. Como definição, a frequência é definida pelo número de vezes que os dados se repetem em uma determinada classe,

nesse caso, o intervalo de milímetros de precipitação no período de 6 (seis) horas. Na frequência relativa, os dados são expostos em proporção ou porcentagem na mesma classe. A frequência acumulada, que se caracteriza pela soma da frequência para aquela classe e todas as anteriores; dessa forma a última classe é igual ao número total da amostra (LARSON; FARBER, 2010).

Por fim, foram selecionados episódios específicos de ZCAS ocorridos no verão de 2021/2022 com o intuito de aplicar o algoritmo em casos mais recentes ao desenvolvimento do estudo e relacioná-los com os desastres naturais consequentes da atuação do fenômeno.

4. RESULTADOS

4.1. Climatologia dos VCMs embebidos na ZCAS

O algoritmo desenvolvido neste estudo detectou um total de 7.151 vórtices ciclônicos de mesoescala associados aos 190 episódios de ZCAS analisados durante o período de 1991 a 2020. Esse resultado leva em consideração tanto os vórtices detectados em um único nível de pressão como os registrados em níveis contíguos, que determina o nível de aprofundamento dos VCMs neste trabalho. Em média, foram registrados 37,6 VCMs por episódio de ZCAS. Desconsiderando a profundidade do vórtice, ou seja, a atuação de um mesmo vórtice em mais de um nível de pressão, foram detectados 12.585 VCMs ao todo.

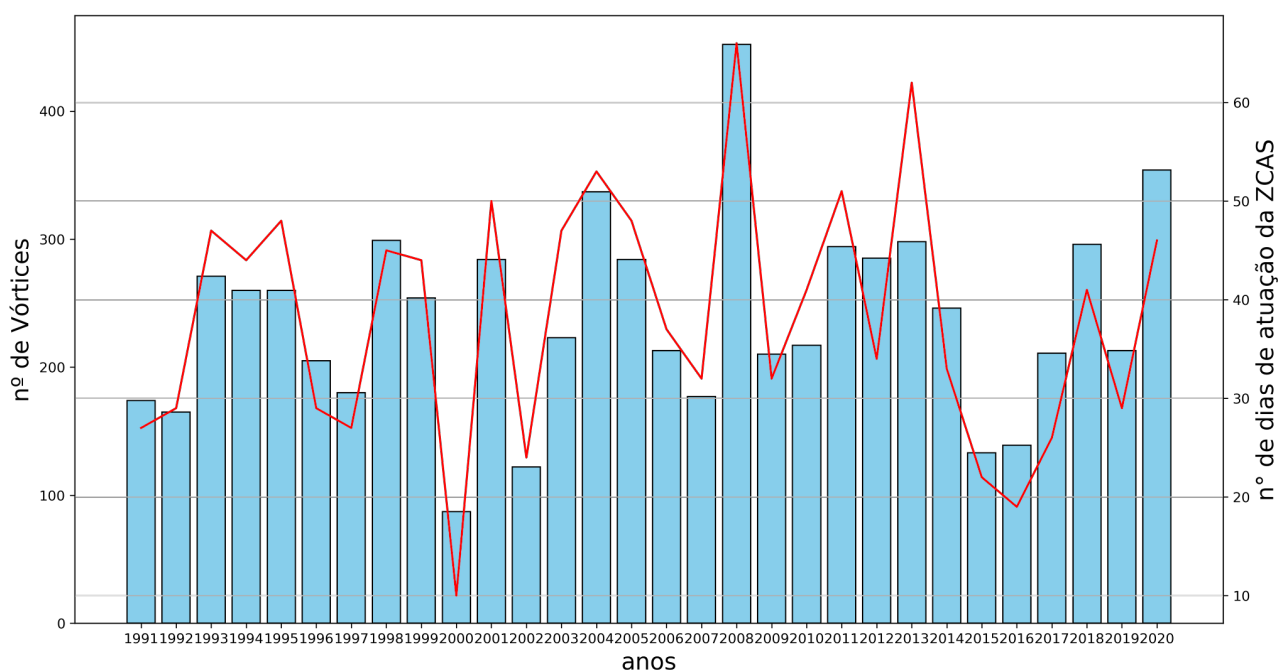
Quadro (2012), entre os anos de 2000 e 2009, encontrou um total de 300 VCMs úmidos na baixa troposfera, enquanto que na média e alta troposfera foram detectados 277 VCMs em 43 casos de ZCAS. Ao fazer um recorte do mesmo período, o presente trabalho detectou 2.389 VCMs em 66 casos de ZCAS.

As próximas seções apresentam o detalhamento dos resultados da detecção dos VCMs nos episódios de ZCAS ao longo destes 30 anos. Para tal, cabe analisá-los e observar as características de ocorrência do fenômeno tanto nas diversas escalas temporais, como sua relação com a precipitação associada. No final, é apresentada uma seção que relaciona a atuação dos VCMs e os desastres naturais ocorridos nos episódios de ZCAS durante os meses de dezembro de 2021, janeiro e fevereiro de 2022.

4.1.1. Variabilidade Interanual e relação com o ENOS

A figura 3 apresenta o registro dos VCMs selecionados durante os anos do estudo e o número de dias de ocorrência da ZCAS. É possível identificar nesta figura a relação direta entre ambas as séries. Ao observar os extremos é possível identificar no ano de 2000 o número de 87 VCMs detectados em 10 dias de atuação da ZCAS; em contrapartida, no ano de 2008 foram detectados 452 VCMs em 66 dias de atuação da ZCAS. Esse padrão também pode ser observado nos demais anos.

Figura 3 - Acumulado anual de VCMs associados a ZCAS (colunas azuis) e número de dias de atuação da ZCAS (linhas laranjas) no período de 1991 a 2020.



Fonte: Autor.

Ao analisar a média diária de VCMs (Tabela 2), é possível observar uma média elevada de VCMs mesmo em anos com poucos registros de episódios de ZCAS. Destaca-se o ano de 2000 que apresentou o menor número de VCMs, porém a maior média com aproximadamente $8,7 \text{ VCMs.dia}^{-1}$. Já o ano de 2008 destaca-se por ter o maior número de VCMs, todavia uma média diária de vórtices de $6,85 \text{ VCMs.dia}^{-1}$. Os anos com médias mais elevadas, superior a 8 VCMs.dia^{-1} , são: 2000, 2012 e 2017; os anos com menores médias, inferior a $5,5 \text{ VCMs.dia}^{-1}$, são: 1995 e 2010.

Tabela 2 - Número de VCMs, número de dias com ZCAS e média de registro de vórtices por dia de ocorrência ZCAS por ano, entre 1991 e 2020.

Ano	Nº de vórtices	Nº de dias com ZCAS	Média de vórtices/dia	Ano	Nº de vórtices	Nº de dias com ZCAS	Média de vórtices/dia
1991	174	27	6,44	2006	213	37	5,76
1992	165	29	5,69	2007	177	32	5,53
1993	271	47	5,77	2008	452	66	6,85
1994	260	44	5,91	2009	210	32	6,56
1995	260	48	5,42	2010	217	41	5,29
1996	205	29	7,07	2011	295	51	5,78
1997	180	27	6,67	2012	285	34	8,38
1998	299	45	6,64	2013	302	62	4,87
1999	255	44	5,8	2014	246	33	7,45
2000	87	10	8,7	2015	134	22	6,09
2001	284	50	5,68	2016	139	19	7,32
2002	122	24	5,08	2017	211	26	8,12
2003	223	47	4,74	2018	296	41	7,22
2004	337	53	6,36	2019	214	29	7,38
2005	284	48	5,92	2020	354	46	7,7
Média	255	44	5,91	Média	217	34	6,85

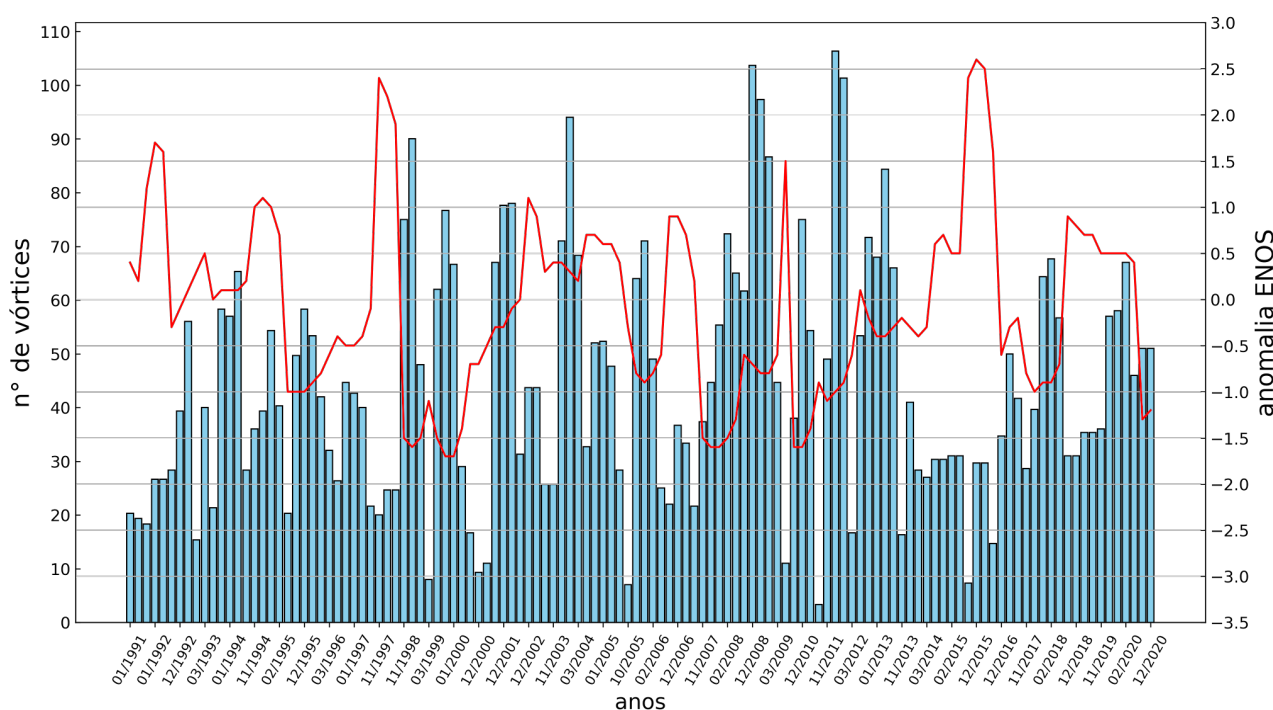
Fonte: autor.

A relação entre os eventos de El Niño e La Niña e os casos de VCMs é investigada através da figura 4. Ressalta-se que os eventos El Niño e La Niña são determinados a partir do método *Oceanic Niño Index* (ONI), que é calculado a partir das anomalias da temperatura da superfície do mar, durante três meses consecutivos, no Pacífico tropical leste-central, entre 120°-170° W, no domínio do índice Niño 3.4. Este índice é utilizado como indicador do monitoramento de El Niño e La Niña, que são as fases opostas do padrão climático denominado El Niño Oscilação Sul (ENOS). Considera-se que o padrão de El Niño está presente quando o Índice ONI é igual ou superior a 0,5, durante cinco trimestres consecutivos, indicando que o Pacífico tropical centro-leste está significativamente mais quente que o normal. O fenômeno La Niña ocorre quando o Índice ONI é igual ou inferior a 0,5, durante cinco trimestres consecutivos, indicando que a região está mais fria que o normal. Mais detalhes sobre o método ONI, assim como a

tabela com os valores deste índice, são obtidos em https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php.

A figura 4 mostra que não foi observado uma tendência significativa entre o número de VCMs e as anomalias de ENOS. No entanto, é possível observar um número menor de VCMs em anos de El Niño (1995, 1995, 1998, 2004, 2006, 2015 e 2018) e um registro maior de ocorrência de VCMs em anos de La Niña (1999, 2000, 2005, 2008, 2009 e 2012). Esse fato pode estar associado à dinâmica da formação e atuação da ZCAS em anos de El Niño e La Niña. Ressalta-se que este é um resultado preliminar e carece de aprofundamento da análise da variabilidade interanual.

Figura 4 - Gráfico representando a série temporal dos VCMs detectados durante episódios de ZCAS (colunas azuis), por mês e ano, e anomalia do ENOS (linha laranja) de acordo com o método ONI de 1991 a 2020.



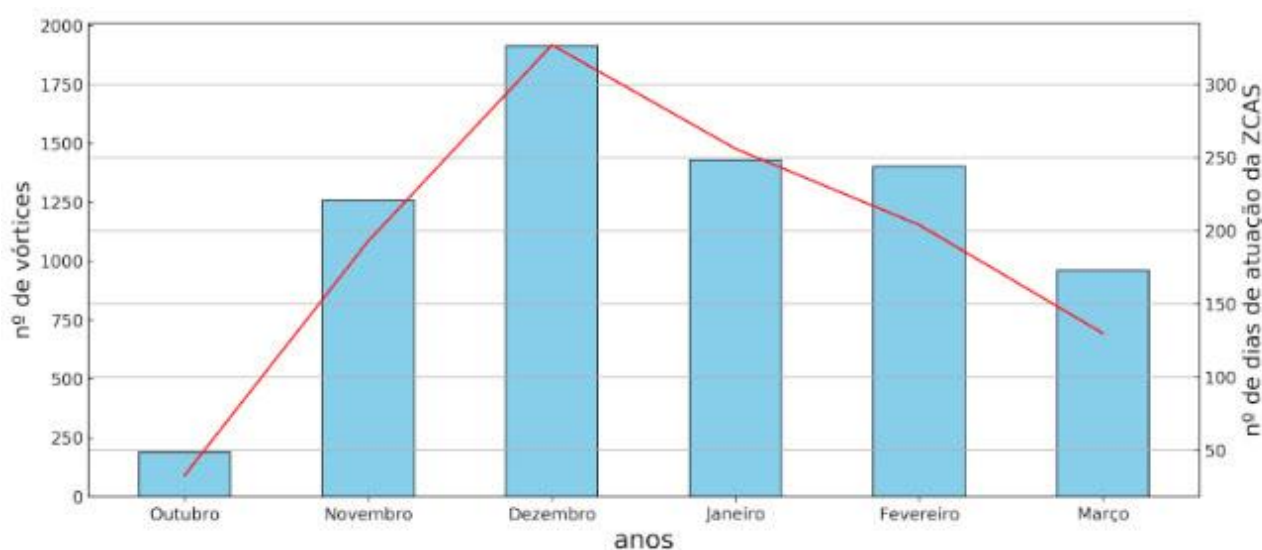
Fonte: Autor.

4.1.2. Variabilidade Anual

Quanto à distribuição de VCMs durante os meses do ano, destacam-se os meses de maior atividade convectiva no Hemisfério Sul. O mês de dezembro é o que registra o maior número de VCMs detectados, seguido de janeiro e fevereiro, com 1914, 1428 e

1402 registros, respectivamente (figura 5). Em uma análise de média diária de VCMs, os meses do final da estação do verão austral apresentam as maiores médias (fevereiro e março), com aproximadamente 6,87 e 7,39 VCMs/dia, respectivamente (figura não mostrada). Este fato pode ser explicado porque, apesar da redução do número de dias e ZCAS até o final da estação de verão austral, observado por Rosa *et al.* (2020), o número de VCMs permanece aproximadamente constante, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro. É importante verificar neste período a frequência da formação destes vórtices em dias onde a ZCAS não está presente para justificar essa evidência.

Figura 5 - Acumulado mensal de VCMs associados à ZCAS (colunas azuis) e número de dias de atuação da ZCAS (linhas laranjas) no período de 1991 a 2020.



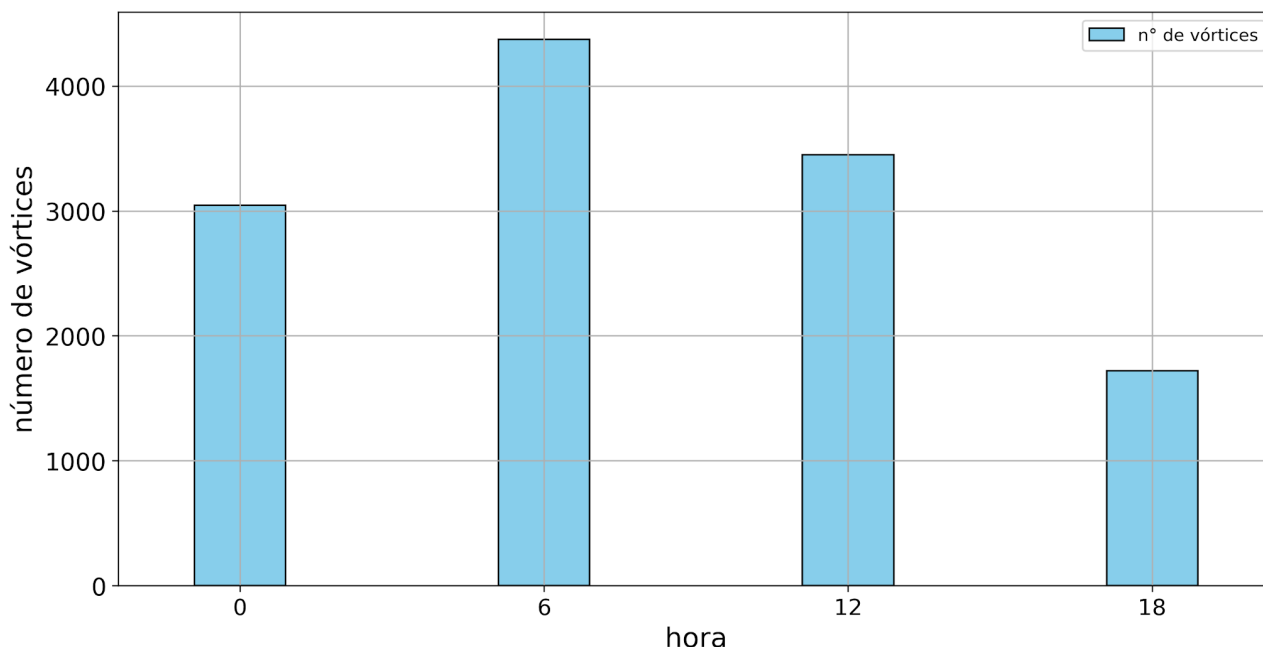
Fonte: Autor.

4.1.3. Ciclo Diurno

No que diz respeito ao horário de ocorrência dos VCMs, a figura 6 indica que a atuação é mais (menos) frequente durante o período noturno (diurno). A figura 6 mostra que o horário das 06 UTC foi o que registou mais vórtices detectados, num total de 2309, seguido do horário das 12 UTC (1995), 00 UTC (1766) e 18 UTC (1073). Este resultado está de acordo com os trabalhos de James e Johnson (2010) e Quadro (2012), que apresenta um mínimo de VCMs úmidos (detectados até o nível de 500 hPa) no horário vespertino (18 UTC). Nesse sentido, com relação ao estágio de formação dos vórtices, este trabalho reforça resultados anteriores que evidenciam a associação destes vórtices

com os sistemas convectivos de mesoescala, onde a redução dos casos no período da tarde está fortemente associada ao ciclo diurno.

Figura 6 - Distribuição dos VCMs detectados na ZCAS (colunas azuis) por horário sinótico, entre os anos de 1991 e 2020.



Fonte: Autor.

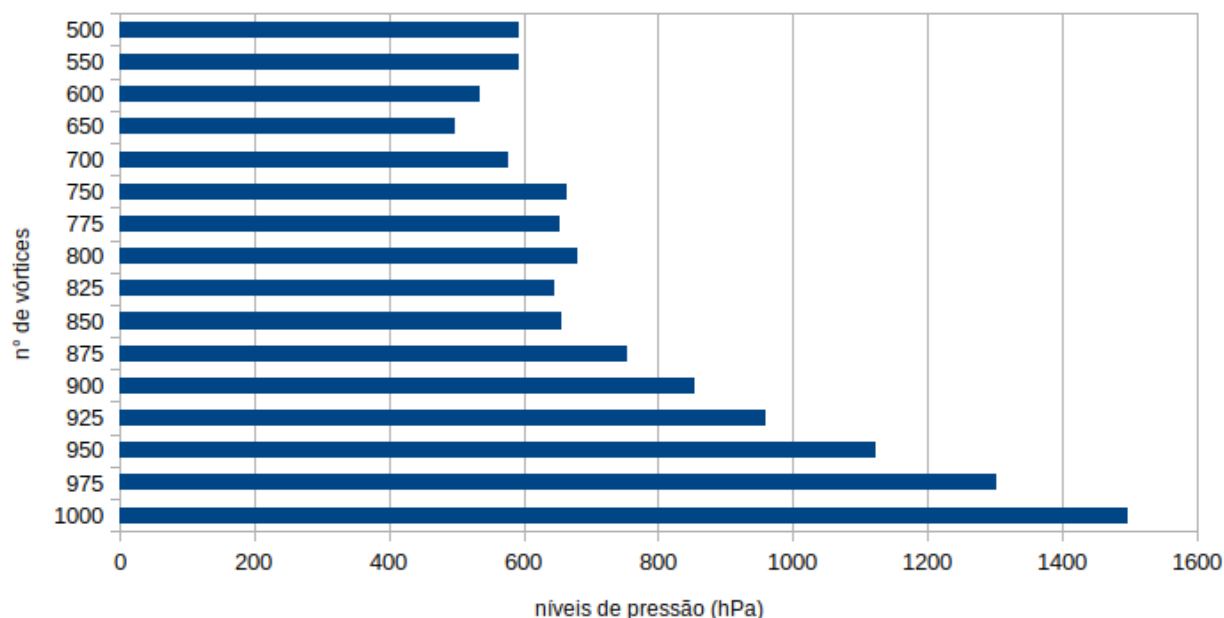
4.1.4. Perfil Vertical e Profundidade dos VCMs

Em uma análise para os níveis de pressão, os vórtices têm maior ocorrência nos níveis mais baixos da troposfera. Este resultado difere do encontrado por Quadro (2012), que observou menor quantidade de VCMs na baixa troposfera e que grande parte são encontrados na média troposfera. No entanto, o trabalho de Quadro (2012) não limitou o nível máximo de 500 hPa, sendo possível o registro de vórtices ciclônicos de escala sinótica.

A figura 7 mostra que, durante o período de estudo, a presença dos VCMs detectados diminui consideravelmente até o nível de 825 hPa, voltando a aumentar entre os níveis de 800 e 750 hPa, e reduzindo novamente em direção e média troposfera, principalmente entre 700 hPa e 600 hPa. O aumento de casos entre os níveis de 800 e

750 hPa pode estar relacionada à maior atuação do jato de baixos níveis (JBN), que pode atuar favoravelmente na formação dos VCMs.

Figura 7 - Gráfico de barras dos vórtices detectados em ZCAS (barras azuis) e por níveis de pressão (hPa) de 1991 a 2020.



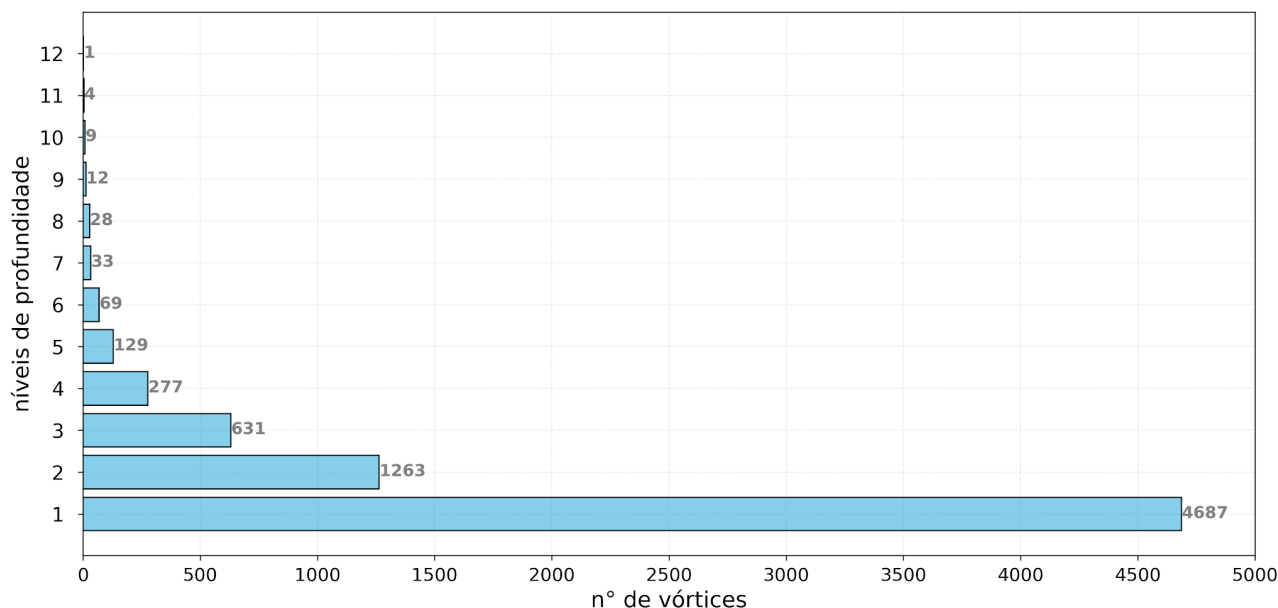
Fonte: Autor.

Todavia, alguns desses vórtices foram detectados pelo sistema computacional no mesmo dia, hora, latitude e longitude, porém em níveis de pressão contíguos. Logo, foi introduzido o conceito de profundidade do vórtice: quanto maior o número de níveis de pressão diferentes um mesmo vórtice (dia, hora, latitude e longitude em comum) atuou, maior o nível de profundidade do vórtice. A figura 8 apresenta a distribuição dos VCMs detectados em 12 níveis de pressão subsequentes (contíguos). A maior parte dos VCMs (4687) atuaram em apenas um nível de pressão e os demais foram detectados em mais de um nível de pressão.

Um fato importante a ser destacado é que em todos os casos de VCMs profundos não foi observado nenhum nível intermediário onde o vórtice não tenha sido registrado. Por exemplo, se um determinado vórtice foi detectado inicialmente no nível de 925 hPa, com 4 níveis de profundidade, consequentemente o mesmo foi detectado nos níveis de

900, 875 e 850 hPa. No entanto, em função da resolução espacial adotada, não é possível elaborar considerações em relação à inclinação vertical destes vórtices profundos. Para tal, sugere-se a realização de estudos de simulação numérica destes sistemas meteorológicos de mesoescala, visando avaliar o comportamento da estrutura vertical dos mesmos.

Figura 8 - Gráfico de barras dos vórtices detectados em ZCAS (barras azuis) e por níveis de profundidade de 1991 a 2020.



Fonte: Autor.

4.1.5. Variabilidade e profundidade ao longo dos dias da ZCAS

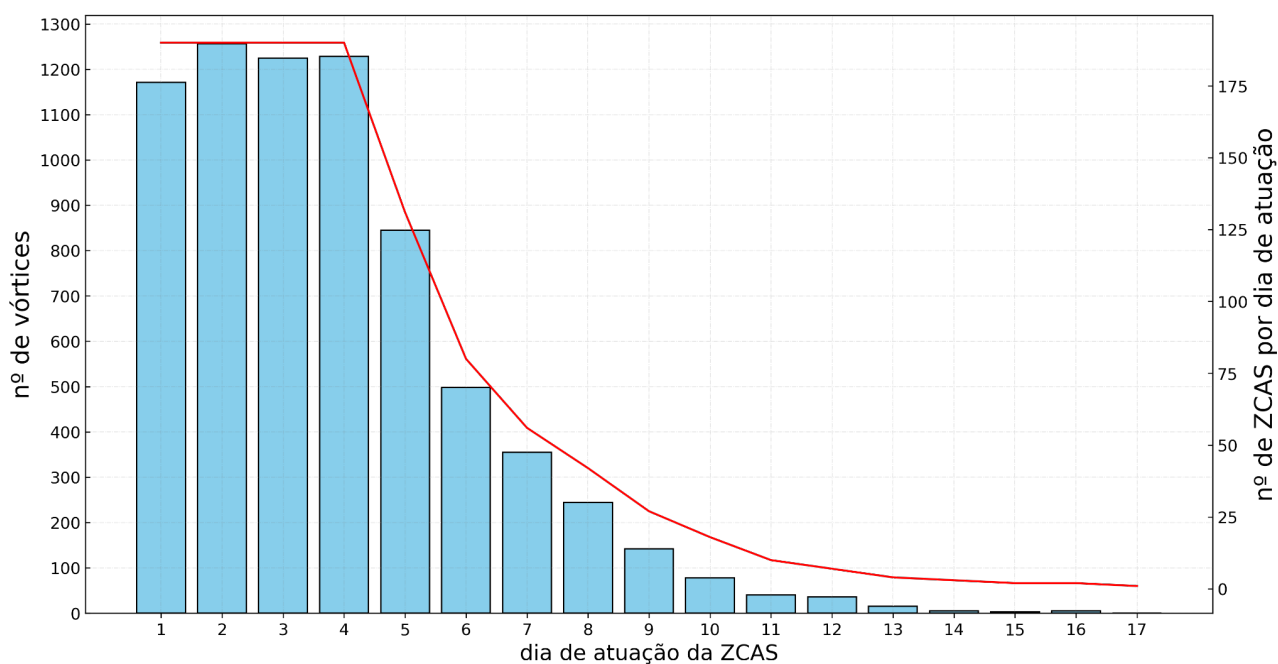
Ao observar a detecção dos VCMs no decorrer dos dias de atuação da ZCAS, é perceptível uma maior ocorrência nos primeiros quatro dias (Fig. 9) e uma subsequente diminuição a partir do quinto dia. Ressalta-se que todos os 190 episódios de ZCAS analisadas neste estudo tiveram, pelo menos, quatro dias de atuação (ROSA *et al.*, 2020). Com relação aos processos físicos, a maior frequência de VCMs nos primeiros dias de atuação da ZCAS pode estar associada ao fato da ZCAS, durante o início de sua atuação, migrar de um sistema baroclínico para um sistema barotrópico. Durante este período de transição, ainda pode ser observado o contraste de massas devido ao gradiente horizontal de temperatura e o consequente cisalhamento vertical do vento. Quadro (2012) mostra que o cisalhamento vertical é um componente importante do balanço de vorticidade que garante a manutenção dos VCMs. Posteriormente, com o passar dos dias

de atuação da ZCAS, o sistema tende a se tornar mais barotrópico e, com isso, diminui proporcionalmente o número de vórtices detectados em cada dia de atuação do sistema.

Entre os primeiros quatro dias de ZCAS, o dia com menos VCMs detectados é o primeiro dia, enquanto os dias com mais VCMs foram o segundo, seguido do quarto e do terceiro dia. Pode-se inferir que, como o sistema ainda não se estabeleceu completamente no primeiro dia de atuação, logo não favorece a formação de VCMs. A partir do segundo dia, a ZCAS está mais bem estabelecida e caracterizada e, assim, aumenta o número de formação de VCMs neste dia e nos dois dias posteriores.

Ao observar a relação entre o número de vórtices profundos e a quantidade de dia de atuação da ZCAS, pode-se observar resultados semelhantes (Tabela 3). Através desta tabela verifica-se que os VCMs mais rasos (até 3 níveis de aprofundamento) tendem a ocorrer principalmente nos quatro primeiros dias de atuação da ZCAS. Ressalta-se que, em geral, no primeiro dia observa-se uma menor quantidade de VCMs em relação aos três dias subsequentes, seguido de uma diminuição gradativa a partir do quinto dia. Este resultado reforça a hipótese de que os VCMs ocorrem com maior frequência quando a ZCAS está bem estabelecida após o primeiro dia. Nesta tabela também é possível observar uma quantidade pequena de vórtices profundos (acima de 7 níveis contíguos de pressão) nos primeiros dias e também de vórtices rasos em episódios de ZCAS mais duradouras (acima de 10 dias).

Figura 9 - Gráfico de barras dos vórtices detectados por dias de atuação da ZCAS (barras azuis) de 1991 a 2020.



Fonte: Autor.

Tabela 3 - Número de vórtices por profundidade (L) e dias de atuação da ZCAS (D), entre 1991 e 2020. Uma escala de tons de cinza é aplicado através da variação do número de vórtices de 1 a 10; 11 a 30; 31 a 100; 101 a 300 e acima de 300.

	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17
L01	780	806	793	798	577	322	227	169	94	53	28	24	8	3	3	5	0
L02	198	210	236	221	136	89	75	33	30	14	8	9	4	0	0	0	0
L03	102	135	98	110	70	46	22	24	10	8	1	1	2	2	0	0	0
L04	47	51	49	48	29	17	19	7	4	2	3	0	1	0	0	0	0
L05	16	27	23	22	17	10	5	4	2	1	0	2	0	0	0	0	0
L06	14	12	11	14	6	6	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L07	7	5	6	5	2	4	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
L08	2	4	4	8	4	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L09	3	4	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L10	2	2	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L11	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autor.

4.2. Precipitação associada aos VCMs

Para relacionar a ocorrência de vórtices e a chuva foi feita uma contagem de valores de chuva nos casos de VCMs. Apenas 420 casos (15% do total de casos) apresentaram registro de 0,0 mm de precipitação em torno do centro do VCM. Logo, 85% dos VCMs, embebidos na ZCAS, causaram a ocorrência de precipitação (Tabela 4).

Tabela 4 - Distribuição de frequência relativa do número de vórtices detectados em ZCAS entre 2010 a 2020 em intervalos de chuva acumulada em 6 horas (mm) no ponto de detecção e nos pontos 0,1° de latitude e longitude ao redor e porcentagem da frequência relativa.

Chuva em 6h (mm)	N° de vórtices	%
0	420	15,6
0,1-120,0	2034	75,7
120,1-240,0	170	6,3
240,1-360,0	32	1,2
360,1-480,0	22	0,8
>480,1	9	0,3

Fonte: Autor.

Para analisar os casos mais representativos de chuva, realizou-se uma filtragem dos casos com precipitação superior a 120 mm. Este valor foi escolhido por estar próximo ao terceiro quartil da amostra (123,95 mm) e por corresponder a 20 mm/h, considerado como chuva forte (REICHARDT, 1986). Esta análise (Tabela 7) mostra que os vórtices rasos apresentaram a maior frequência entre os casos com precipitação superior a 120 mm. Como resultado da filtragem, foram contabilizados 136 VCMs (58,37% do total). Esse resultado concorda com o trabalho de Quadro *et al.* (2016).

Tabela 5 - Distribuição de frequência relativa e acumulada e percentual relativo e acumulado da ocorrência de vórtices por nível de profundidade que causaram precipitação superior a 120 mm em 6h em episódios de ZCAS entre 2010 a 2020.

Nível de profundidade	Frequência	Percentual	Frequência acumulada	Percentual acumulado
L11	136	58,37	136	58,37
L22	44	18,88	180	77,25
L33	24	10,3	204	87,55
L44	15	6,44	219	93,99
L55	7	3	226	96,99
L77	1	0,43	227	97,42
L88	4	1,72	231	99,14
L99	1	0,43	232	99,57
L1111	1	0,43	233	100

Fonte: Autor.

Com relação à vorticidade relativa dos VCMs nos mesmos casos, mais de 50% dos vórtices apresentaram valores superiores (em magnitude) a $-13.3 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ (Tabela 8). Esse resultado está de acordo com o trabalho de Quadro (2012) que destaca que a ordem de magnitude da rotação dos VCMs embebidos na ZCAS é da mesma ordem de magnitude da vorticidade planetária ($10^{-4} \cdot s^{-1}$). Devido a sua intensidade, estes sistemas sugam a umidade ao redor, acelera os ventos na vertical provocando intensa precipitação.

Tabela 6 - Distribuição de frequência relativa e acumulada e percentual relativo e acumulado da ocorrência de vórtices por vorticidade relativa de vórtices que causaram precipitação superior a 120 mm em 6h em episódios de ZCAS entre 2010 a 2020.

Vorticidade relativa ($10^{-5} \cdot s^{-1}$)	Frequência	Percentual	Frequência acumulada	Percentual acumulado
-50--40,1	3	1,29	3	1,29
-40,0--30,1	12	5,15	15	6,44
-30,0--20,1	44	18,88	59	25,32
-20,0--10,1	91	39,06	150	64,38
-10,0-0	83	35,62	233	100

Fonte: Autor.

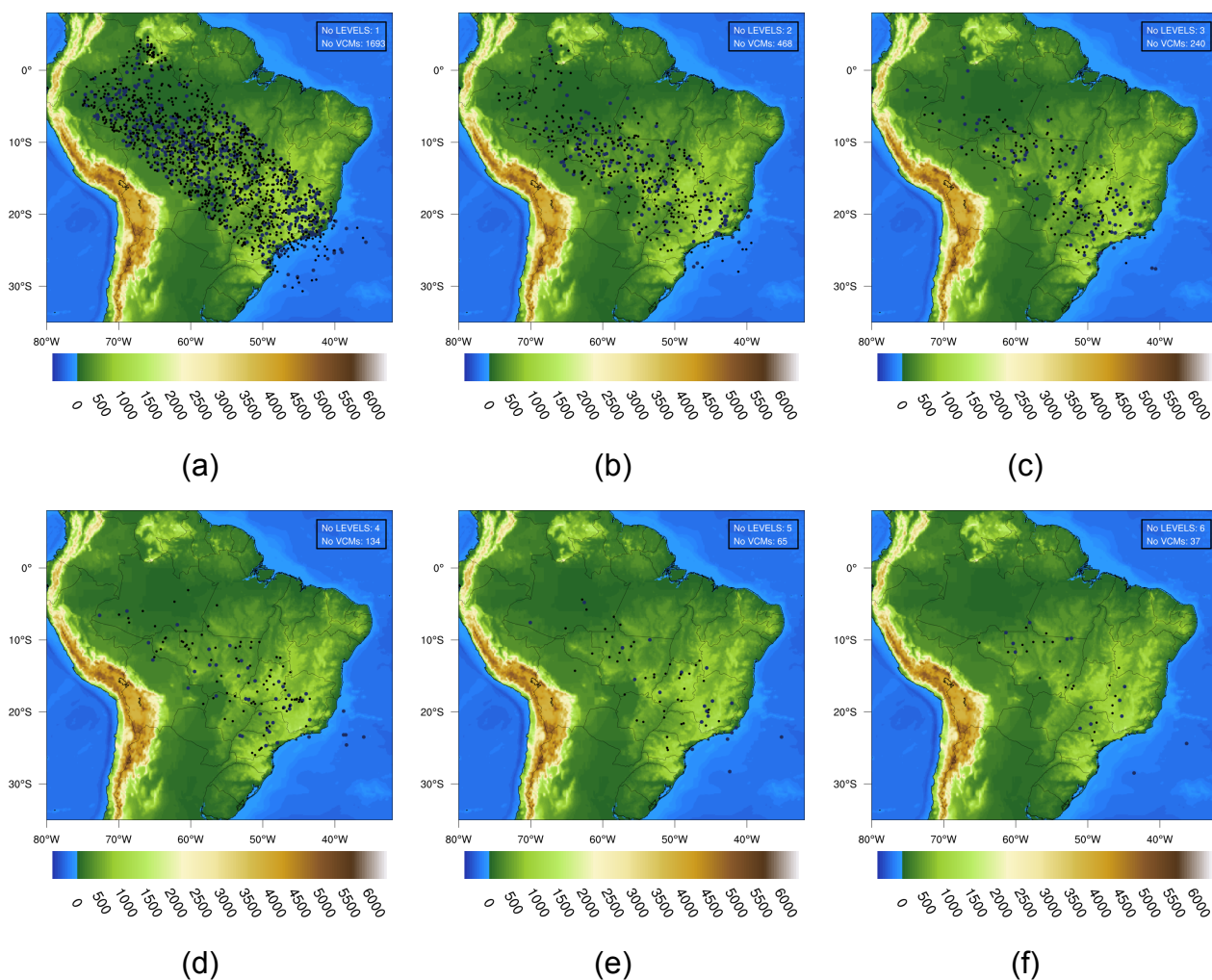
Quanto à distribuição espacial, as figuras 10 e 11 apresentam a localização dos VCMs que apresentaram precipitação, indicados por pontos pretos (azuis) com precipitação inferior (superior) a 30 mm. Ao considerar inicialmente os VCMs rasos (2161 ao todo), em até 2 níveis de profundidade, se distribuem ao longo da banda de nebulosidade da ZCAS, com menor concentração no norte e leste do AM (Fig. 10a e 10b). Entre 3 e 6 níveis de profundidade (Fig. 10c, 10d, 10e e 10f), os vórtices (476 no total) atuam principalmente sobre a Região Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.

Ao observar a localização dos pontos, em especial os pontos azuis (aqueles com precipitação acima de 30mm), uma grande parcela concentra-se em vales e arredores de serras. Na figura 10c, por exemplo, há um ponto no norte de SC localizado na Serra do Mar, no Vale do Itajaí; no PR, os três pontos estão situados nos arredores da Serra Geral; em SP há três pontos no sudoeste nas imediações das serras do Mirante, dos Agudos e Geral, dois pontos no vale da Serra do Tabuleiro e um próximo da divisa com o RJ pela Serra do Mar; em MG há quatros pontos na divisa com SP, dois ao sul na região da Serra da Mantiqueira, dois próximos à divisa com o RJ nessa mesma serra, a leste nos arredores da Serra do Cervo, diversos pontos no centro do estado no vale do São Francisco, dois pontos a leste próximos das serras Negra e da Noruega e um na Chapada dos Pilões, na divisa com GO; no MT há dois pontos no centro-sul nas serras Azul e Formosa, outros dois no centro-leste na Serra do Roncador e vários pontos no noroeste e em RO na Serra do Norte. Nas figuras 10d, 10e e 10f há pontos azuis que ocorrem nas imediações dessas mesmas serras e vales. Há alguns pontos fora desse padrão, como em MS, GO e AM, porém, é interessante observar esse padrão nos estados com acidentes geográficos de fortes desníveis.

A figura 11 apresenta a distribuição espacial dos VCMs profundos ao longo da ZCAS. Apesar de menos frequente (50 vórtices no total), é possível observar que estes

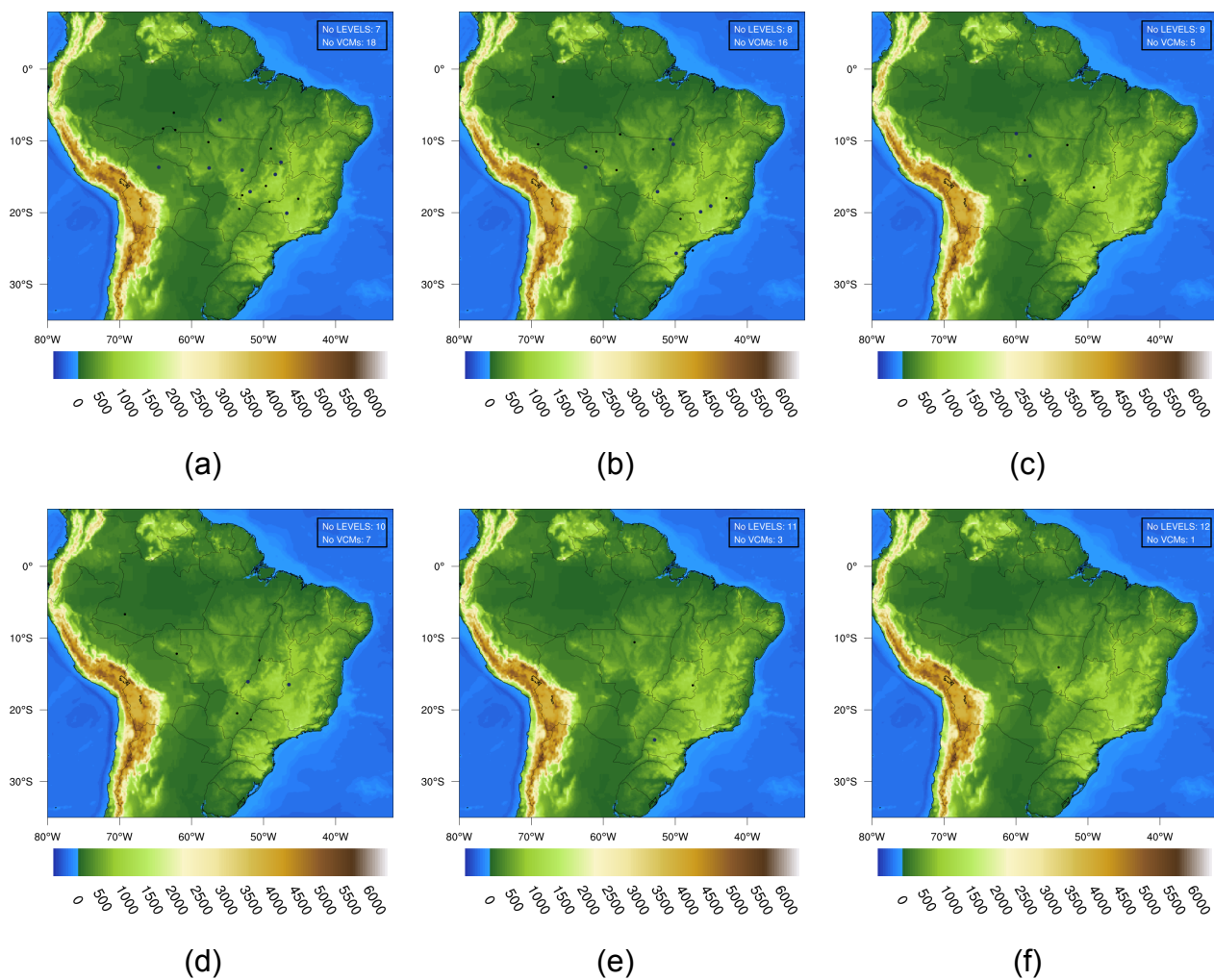
VCMs são predominantemente continentais e ocorrem predominantemente sobre MG, GO e MT, com algumas ocorrências mais raras em PR, SP e MS.

Figura 10 - Localização dos VCMs detectados de acordo com a quantidade de níveis de pressão de aprofundamento, de 1 a 6, de 2010 a 2020. Os pontos pretos são vórtices com precipitação associada menor que 30 mm; os pontos azuis são vórtices com precipitação associada maior que 30 mm.



Fonte: Autor.

Figura 11 - Como na figura 10, para a quantidade de níveis de pressão de aprofundamento, de 7 a 12.



Fonte: Autor.

4.3. Estudo de casos de ZCAS do verão de 2022

A tabela 9 apresenta um resumo dos episódios de ZCAS ocorridos durante o verão austral de 2021/2022 e a associação com os VCMs ao longo da banda de nebulosidade. Baseado no método de Rosa et al. (2020), foram registrados 7 episódios de ZCAS que ocorreram entre 30 de novembro de 2021 a 28 de fevereiro de 2022. Neste período foram detectados 341 vórtices pelo algoritmo. Na tabela 9 destaca-se o caso 3 que teve a duração de 11 dias, sendo a maior entre os casos de ZCAS analisados. No caso 6 foram detectados 80 VCMs em 8 dias de evento, o maior número de vórtices entre os episódios analisados durante esse verão austral. Também foi detectado um vórtice com profundidade em 13 níveis, superior a qualquer outro detectado no estudo da climatologia entre 1991 e 2020, localizado no município de Açuanópolis-AM, próximo a divisa estadual entre Rondônia e Amazonas. No episódio 7 da ZCAS, assim como no anterior, também foi detectado um vórtice com 13 níveis de profundidade, localizado ao norte da capital do ES, no município de Serra. Alguns episódios de ZCAS tiveram maior atuação no sul da BA, porém, não foram detectados vórtices devido a delimitação inicial da máscara do algoritmo, limitada até o norte de MG.

Tabela 7 - Número de vórtices, número de dias com ZCAS e média de vórtices por dia de ZCAS por ano dos casos entre 30/11/2021 a 28/02/2022.

Data de início	Data do fim	Nº de vórtices	Nº de dias com ZCAS	Média de vórtices/dia
30/11/21	04/12/21	36	5	7,2
06/12/21	10/12/21	49	5	9,8
23/12/21	02/01/22	62	11	5,6
06/01/22	11/01/22	39	7	5,6
29/01/22	02/02/22	35	5	7,0
07/02/22	14/02/22	80	8	10,0
16/02/22	21/02/22	40	6	6,7

Fonte: Autor.

De maneira geral, a precipitação acumulada do trimestre de dezembro de 2021 a fevereiro de 2022 apresentou valores bem expressivos entre o litoral do nordeste brasileiro e o oceano adjacente, norte da Região Sudeste e Centro-Oeste do Brasil (figura não mostrada). Os elevados volumes pluviométricos superaram em determinadas localidades 70% da precipitação total registrada no trimestre e mais de 100% da climatologia do respectivo trimestre. Considerando a análise individual dos episódios denominados de ZCAS Norte (Fig. 12) e ZCAS Sul (Fig. 13), os dois primeiros episódios (Figs. 12a e 12b) contribuíram para a precipitação do mês de dezembro de 2021. Os episódios 3 (Fig. 12c) e 4 (Fig. 13a) compuseram os acumulados do mês de janeiro de 2022. Já os casos 5, 6 e 7 (Figs. 13b, 13c e 13d, respectivamente) contribuíram para os acumulados do mês de fevereiro de 2022.

A precipitação acumulada do primeiro episódio de ZCAS concentrou-se principalmente sobre o Oceano Atlântico na porção sudoeste, com acumulados dentro de uma faixa de 110 a 190 mm entre os dias 30 novembro e 4 de dezembro de 2021. A precipitação oceânica desse episódio de ZCAS contribuiu com 80% da precipitação total do mês de dezembro nesta região. Sobre o continente, principalmente sobre o sul do Estado da BA (Fig. 12a) a contribuição foi menos expressiva, em torno de 30%. No entanto, neste episódio foi decretada situação de emergência nos Estados da BA, MG e ES (ZCAS Norte). No Estado da BA, influenciado pela variabilidade da migração latitudinal do sistema ZCAS, os municípios de Mascote e Iaçú decretaram situação de emergência por alagamento e outros 6 municípios, Baixa Grande, Cacos, Encruzilhada, Iguaí, Jaguaquara, Boa Vista do Tupim, estavam em situação de emergência por atuação de tempestade local convectiva com chuvas intensas. No ES, o município de Vargem Alta a situação de emergência foi referente a alagamentos, enquanto que o município de Iconha sofreu com a ocorrência de Tempestade Local Conectiva (TLC) associado a chuvas intensas. Como comentado anteriormente, não foram detectados VCMs no sul da BA

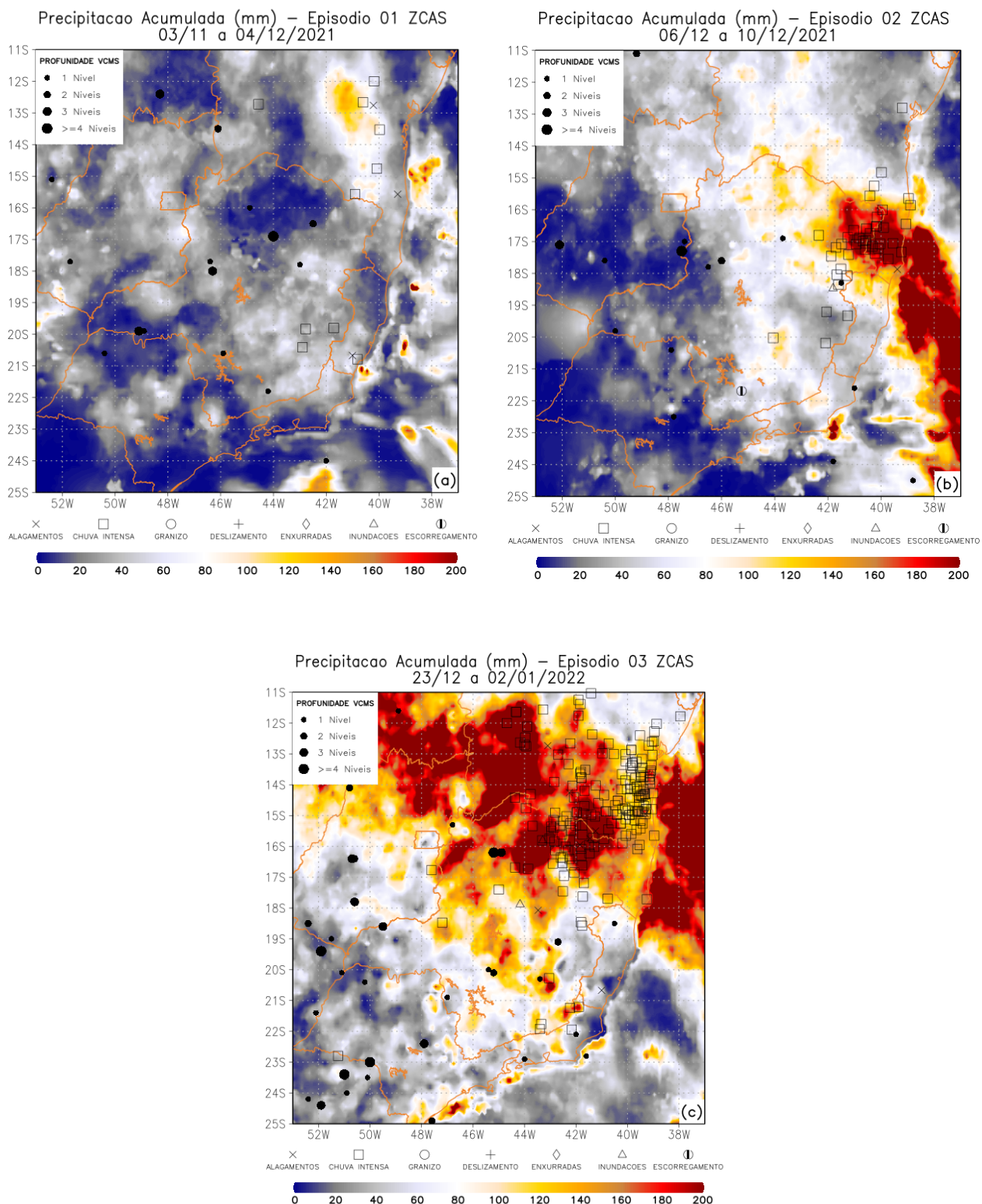
devido a delimitação inicial da máscara do algoritmo, limitada até o norte de Minas Gerais MG.

O episódio 2 de ZCAS Norte, que ocorreu entre 06 e 10 de dezembro de 2021, permaneceu com a precipitação ainda mais expressiva sobre o oceano, mas já atuando sobre os limites dos estados de BH, MG e ES (Fig. 12b). A análise desta figura mostra que, associado a essa precipitação intensa, foram decretadas situações de emergência devido à ocorrência de chuva intensa e alagamentos principalmente sobre o sul da BA e nordeste de MG. Destacam-se vários registros de chuva intensa, incluindo um registro de inundações no município de Jampruca/MG, no dia 09/12/2021 e a presença de um VCM que ocorreu no dia 07/12. Ressalta-se que o decreto pode ser emitido um ou dois dias após a ocorrência do evento meteorológico. Neste período também foi registrado a atuação de mais 4 VCMS no noroeste de MG e norte de RJ (sem associação com nenhuma situação de emergência), além de uma situação de escorregamento de massa no sul de MG.

A figura 12c mostra que o episódio 3 de ZCAS Norte, que ocorreu entre 23 dezembro de 2021 a 2 de janeiro de 2021, foi o mais intenso, com toda a extensão da ZCAS sob a ação de intensas taxas pluviométricas, com valores acima de 190 mm. Em média, este caso contribuiu com 70 - 80% de precipitação para o mês de dezembro. Além disso, foi o episódio com maior número de registros de desastres naturais, que ocorreram principalmente nos Estados da BA e MG. Como exemplo, dos 417 municípios do estado da BA, 134 municípios decretaram situação de emergência por atuação de TLC, com chuvas intensas em Cândido Sales, Ibiassucê, Buerarema e, no município de Paratinga, foi decretado alerta por alagamento. Em MG, entre os dias 27 e 31/12/2021, foram registradas ocorrências em 61 municípios de TLC associada a chuva intensa (55 registros), alagamentos (3 registros), além de 2 registros de inundações em Nova Porteirinha e Buenópolis no dia 29/12/2021 e um registro de enxurrada em Divinópolis no

dia 27/12/2021. Neste período, ocorreu a atuação de VCMs nos Estados de MG, ES e RJ principalmente entre os dias 25 e 27, em baixos níveis troposféricos, embebidos no sistema da ZCAS tanto na região da precipitação mais intensa como ao sul da ZCAS (SP). Quadro (2012) mostra que os VCMs tendem a atuar preferencialmente na porção sul da zona de convergência.

Figura 12 - Precipitação acumulada (mm), associada a ocorrência de desastres naturais e vórtices ciclônicos de mesoescala durante os episódios de ZCAS ocorridos entre os dias (a) 03/11/2021 a 04/12/2021, (b) 06/12/2021 a 10/12/2021 e (c) 23/12/2021 a 02/01/2022.



Fonte: Autor.

O episódio 4, considerado como o primeiro episódio de ZCAS Sul, atuou entre de 05 a 11 de janeiro, com registro pluviométrico de 70 a 190 mm (Fig. 13a). Sua atuação ocorreu principalmente sobre o Estado de MG, norte de SP, Goiás (GO) e RJ. As chuvas mais expressivas, assim como a maioria dos DNs, foram registradas sobre o estado de MG, corroborando com 50% da precipitação do mês de janeiro de 2022. Na parte oceânica a precipitação chega a 80% de contribuição para o mês corrente. O Estado de SP apresentou situação de emergência relatando TLC e chuvas intensas para 18 municípios (Barretos, Capivari, Caieiras, Campo Limpo Paulista, Flora Rica, Francisco Morato, Franco da Rocha, Jaú, Mombuca, Osvaldo Cruz, Rafard, Santa Isabel, Santa Maria da Serra, Torrinha, Várzea Paulista, Agudos e Monte Mor). Em MG, principalmente entre os dias 8 e 11/01/2022 foram registrados 219 ocorrências de de TLC associada a chuva intensa (196 registros), inundações (13 registros) alagamentos (8 registros), além de um registros de deslizamento no município de Senhora das Oliveiras no dia 11/01/2022. Um importante resultado desse trabalho é que, pela figura 13a, é possível identificar a presença de vários VCMs na divisa dos Estados de SP e MG que atuaram conjuntamente com os DNs. Estas ocorrências corroboram os resultados encontrados por Silva (2022) que analisou 62 eventos de ZCAS sobre o Estado de SP, dos quais 28 estavam associados a DNs, e, destes, 10 apresentaram VCMs. Além destes Estados, no RJ os municípios de Cachoeira do Macacu, Bom Jesus de Itabapoana, Itaocara, Laje do Muriaé, Itaperuna, Nova Iguaçu e Porciúncula apresentaram situação de emergência relatando tempestade local convectiva e chuvas intensas e Rio Claro apresentou situação de emergência por deslizamento.

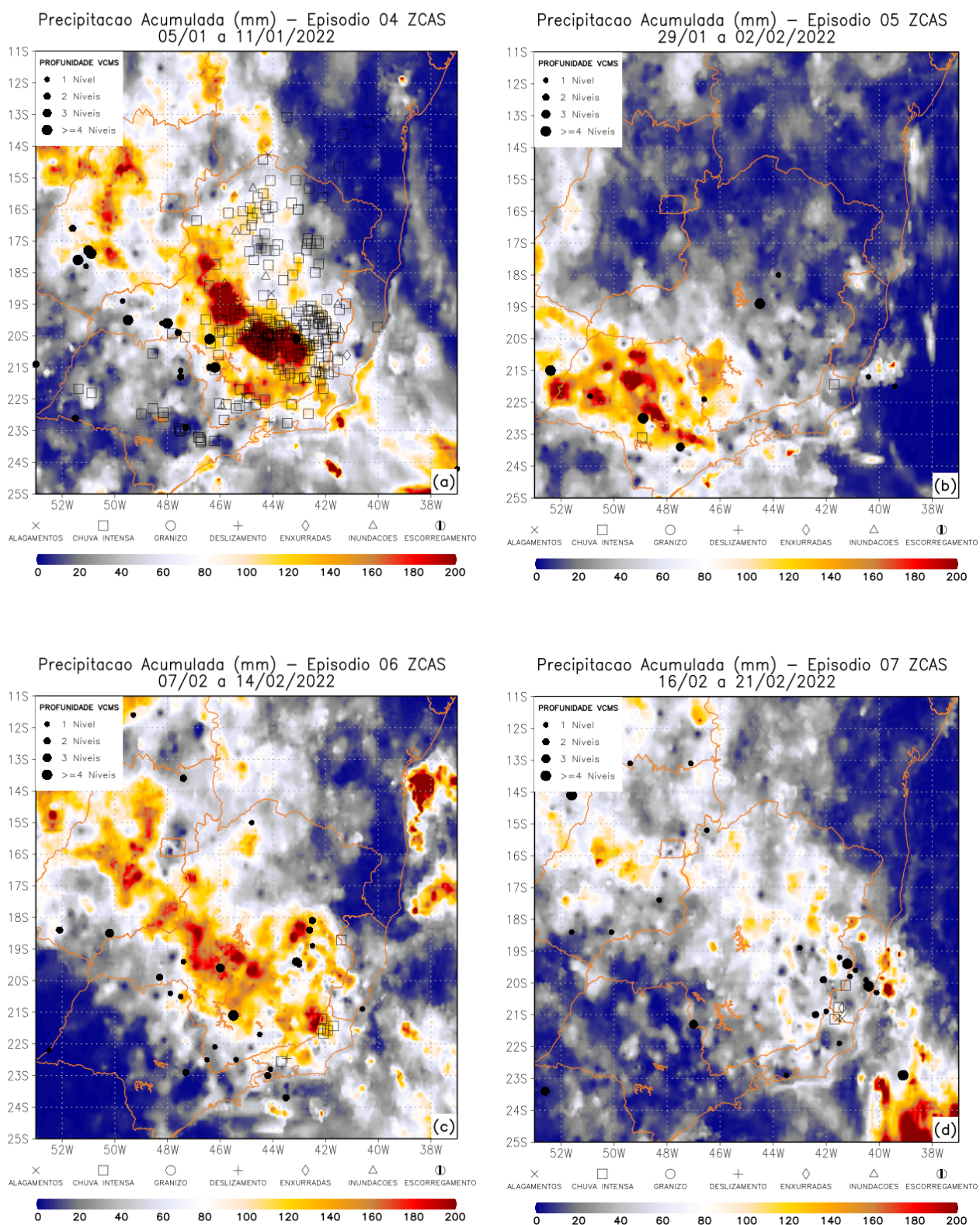
No episódio 5 (Fig. 13b), que ocorreu no fim do mês de janeiro de 2022, entre os dias 29 e 2 de fevereiro, a ZCAS Sul provocou intensas chuvas no estado de SP, contribuindo com 30 a 50% das chuvas do mês de janeiro. Na porção oceânica ocorreram contribuições de 70 a 80%. Neste caso foram registradas 5 situações de emergência nos Estados da BA, RJ e SP. Destaca-se o registro de TLC, com chuva intensa, no município

de Avaré no dia 01/02/2022 e a detecção de um VCM com 4 níveis de profundidade detectado nos às 18 UTC do dia 30/01/2021.

O sexto episódio (Fig. 13c) provocou intensas taxas de precipitação sobre a região de atuação da ZCAS entre 07 à 14/02/2022. Na região continental, houve uma contribuição pluviométrica de 30% a 50% para o total acumulado do mês. Sobre o Atlântico sudoeste, como nos demais casos, a contribuição foi de até 80% das chuvas para fevereiro de 2022. Neste evento de ZCAS, os DNs se concentraram sobre a porção leste da Região Sudeste do Brasil, principalmente sobre os Estados do ES, com 1 registro de TLC com chuva intensa e do RJ, com 7 registros de TLC com chuva intensa e 1 de deslizamento no município de Miguel Pereira no dia 07/02/2022. Neste mesmo dia foi detectado um VCM, com dois níveis de profundidade, próximo a este município.

O último episódio de ZCAS ocorreu entre os dias 16 e 21/02/2022 (Fig. 13d). Comparando com o episódio anterior, as chuvas contribuíram com até 30% do total do mês. Sobre o oceano adjacente a precipitação acumulada representou 50% a 70% das chuvas na região para o mês. Este episódio, em especial, destacou-se pelos decretos de situação de emergência associados à atuação de VCMs no norte do RJ e sul do ES entre os dias 16 e 19/02/2022. No Estado do RJ, Bom Jesus de Itabapoana apresentou situação de emergência relatando tempestade local convectiva e chuvas intensas. Já no ES, o caso 7 afetou diversos municípios, Jerônimo Monteiro com Enxurradas, Bom Jesus do Norte e Apiacá com alagamentos, Alegre e Afonso Cláudio com tempestade local convectiva com chuvas intensas. Nestas regiões foram detectados 11 VCMs entre os dias 16 e 20/02/2022. Claramente estes VCMs possuem relação com os decretos relacionados.

Figura 13 - Como na figura 12, para os episódios ocorridos entre os dias (a) 05/01/2022 a 11/01/2022, (b) 29/01/2022 a 02/02/2022, (c) 07/02/2022 a 14/02/2022 e (d) 16/02/2022 a 21/02/2022.



Fonte: Autor.

5. PRODUTOS TÉCNICOS E TECNOLÓGICOS

5.1 Artigos publicados

A pesquisa atual sobre os vórtices ciclônicos e ZCAS produziu a publicação de um resumo expandido no II Encontro de Meteorologia do Estado de Santa Catarina (ENMET) e VIII Encontro Sul Brasileiro de Meteorologia (ESBMET) em 2019, com o título “Análise de um vórtice ciclônico de mesoescala associado à Zona de Convergência do Atlântico Sul - Estudo de caso de 11 e 12 de janeiro de 2011” (SANTIS e QUADRO, 2019) (ANEXO 2). Além desta publicação, também houve uma apresentação oral dos primeiros resultados na III Jornada de Clima e Ambiente do IFSC em 2019 e a publicação de um resumo expandido no Simpósio em Clima, Água, Energia e Alimentos (SIMCLEA) em 2021, como título “Análise da ocorrência de vórtices ciclônicos de mesoescala no caso de ZCAS de 11 a 21 de dezembro de 2008” (SANTIS e QUADRO, 2021) (ANEXO 3).

É esperada a publicação de um artigo numa revista de grande relevância, conforme exigido pelo programa de mestrado, e a revista escolhida para submeter o artigo foi a Revista Brasileira de Meteorologia - RBMET (ANEXO 4).

5.2 Produto Técnico e Tecnológico (PPT)

O principal produto técnico tecnológico (PPT) desenvolvido foi o algoritmo para detecção de vórtices ciclônicos. O algoritmo foi desenvolvido no *software* GrADS com o recurso "*mfhilo*", que encontra valores máximos/mínimos em um campo bidimensional, aplicado para a variável vorticidade relativa. Com a utilização de dados de reanálise dos modelos CFSR e CFSv2 de 6h com as componentes zonal (*uwnd*) e meridional do vento (*vwnd*), como descrito no item 3.2.1, esta aplicação, juntamente com as fórmulas de varredura do giro horizontal nos níveis de pressão, retorna como resultado o ponto de detecção do vórtice ciclônico - APÊNDICE A.

Outro produto, derivado da aplicação do algoritmo, é uma base de dados dos VCMs embebidos nas ZCAS entre 1991 e 2020. Esta tabela mostra os todos os 12585

VCMS em 190 casos de ZCAS desse período detectados pelo algoritmo, assim como as propriedades de sua ocorrência: data e hora, dia do episódio da ZCAS, nível de pressão, longitude, latitude, vorticidade relativa, número do caso de ZCAS analisado, número do vórtice dentro da ZCAS e nível de aprofundamento.

A divulgação dos dados da climatologia de ocorrência de VCMs embebidos na ZCAS visa contribuir para futuras pesquisas sobre o tema e a disponibilidade do algoritmo proporciona a possibilidade de aplicá-lo em pesquisas, estudos de casos e em rotinas de previsão de tempo. A tabela de toda a série climatológica está disponível no link <http://meteorologia.florianopolis.ifsc.edu.br/climenv/produtos_alunos/vcm/Produto_Tecnico_Tecnologico_Rafaelle.pdf>.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta do trabalho de identificar a ocorrência da formação de vórtices ciclônicos de mesoescala durante episódios de ZCAS por meio do desenvolvimento de um sistema computacional operacional foi alcançado. O desenvolvimento e aplicação do algoritmo computacional detectou 12585 VCMs nos 30 anos de dados e, posteriormente, ao identificar o nível de aprofundamento dos vórtices, restringiu a identificação para 7151 vórtices.

Acredita-se que o maior benefício do desenvolvimento deste sistema reside no fato da possibilidade de identificar e caracterizar sistemas meteorológicos de mesoescala, no caso os vórtices ciclônicos, além dos níveis padrões troposféricos. Comumente, os aplicativos caracterizam a representação da troposfera através dos níveis padrões. Porém, com o avanço tecnológico, atualmente é possível analisar condições meteorológicas além destes níveis e ampliar a capacidade de interpretação e análise dos sistemas causadores dos fenômenos meteorológicos que incidem sobre a superfície do planeta.

Com a detecção dos VCMs, foi possível identificar algumas características de suas ocorrências nas ZCAS, como:

- Maior parte ocorreram nos meses do início e do auge do verão, todavia, em uma análise de média de vórtices por dia de ZCAS, os meses após o ápice do verão apresentam as maiores médias;
- São mais comuns durante o período noturno e menos comum durante o período diurno;
- Maior ocorrência nos níveis mais baixos da troposfera e diminui consideravelmente nos médios níveis da troposfera, o que pode estar relacionada à maior atuação do jato de baixos níveis;
- Ocorrem com mais frequência nos primeiros quatro dias de ZCAS, principalmente a partir do segundo dia, e pode-se inferir que os VCMs ocorrem com maior frequência quando a ZCAS está bem estabelecida após o primeiro dia;
- Aproximadamente 85% dos VCMs em ZCAS apresentaram acumulados de precipitação no ponto de detecção do vórtice e nas imediações - $0,1^\circ$ ao redor do ponto de detecção;

- Vórtices com menos profundidades apresentaram a maior frequência entre os casos com precipitação superior a 120 mm;
- Não houve uma tendência forte entre o número de vórtices e as anomalias de ENOS;
- Quando associados a precipitação superior a 30 mm, alguns VCMs destacam-se por ter ocorrência próximos de serras e vales nos estados de SC, PR, SP, RJ, MG, MT e RO;
- Nos estudos de casos das ZCAS do verão de 2021/2022 relacionados aos estudos de DN, houveram casos com vórtices de profundidade superior ao máximo climatológico, a presença de vários VCMs na divisa dos Estados de SP e MG entre os dias 05 e 11/01/2022 e no norte do RJ e sul do ES entre os dias 16 e 19/02/2022 que atuaram conjuntamente com os DNs;
- Nos casos de DN foi observada uma tendência dos VCMs atuarem preferencialmente na porção sul da zona de convergência.

O algoritmo desenvolvido pode ser aplicado em modelos de reanálise e de previsão do CFSR, de forma a contribuir, como produto, na detecção de vórtices e potenciais alertas de chuva. Pode ser adaptado também para outros modelos numéricos de previsão com a mudança de parâmetros de entrada e variáveis.

Como continuidade deste trabalho é interessante uma análise mais profunda sobre a caracterização e comportamentos termodinâmicos dos vórtices e comportamento geográfico da ocorrência dos VCMs. Além disso, sugere-se a ampliação de pesquisas científicas que utilizam algoritmos, dados de reanálises e simulações com modelos numéricos, pelo progresso da tecnologia computacional, maior disponibilidade e qualidade de dados e aperfeiçoamento dos modelos atmosféricos. Também sugere-se aprofundar a relação entre a variabilidade interanual (fenômeno ENOS) e a atuação dos VCMs associados à ZCAS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à zona de convergência do atlântico sul. **Revista Geonomos**, v. 6, n. 2, p. 17-22, 1998.
- ACETO, L. et al. Analysis of damaging hydrogeological events in a Mediterranean region (Calabria). **Journal of Hydrology**, v. 541, p. 510–522, 2016.
- ALVINO-BORBA, A.; GUERRA, P. M.; MOREIRA, L. A. G.; SACHT, H. M.; ALMEIDA, J. A.; LIMA, H. M. Desastres naturais no Brasil e no mundo: uma análise holística com ênfase nos impactos dos eventos hidrológicos e meteorológicos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 73718–73740, 2020. doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-724>
- AMBRIZZI, T.; FERRAZ, S. E. T. An objective criterion for determining the South Atlantic Convergence Zone. **Frontiers In Environmental Science**, [s.l.], v. 3, 23 abr. 2015. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fenvs.2015.00023>. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2015.00023/full>>. Acesso em: 03 jul. 2019.
- AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY. Disponível em: <<https://glossary.ametsoc.org/wiki/Welcome>>. Acesso em: 16 mai. 2022.
- BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro - Janeiro de 2011**. Apoio do Governo do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://mi.gov.br/pt/c/document_library/get_file?uuid=74dde46c-544a-4bc4-a6e1-852d4c09be06&groupId=10157>. Acesso em: 12 ago. 2019.
- BARCELLOS, P. C. L. et al. Diagnóstico meteorológico dos desastres naturais ocorridos nos últimos 20 anos na cidade de Duque de Caxias. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 319-329, 2016.
- BARTELS, D. L.; MADDOX, R. A. Midlevel cyclonic vortices generated by mesoseale convective systems. **Monthly Weather Review**, v. 119, n. 1, p. 104-118, 1991.

- BJERKNES, J.. ATMOSPHERIC TELECONNECTIONS FROM THE EQUATORIAL PACIFIC1. **Monthly Weather Review**, [S.L.], v. 97, n. 3, p. 163-172, mar. 1969. American Meteorological Society. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/downloadpdf/journals/mwre/97/3/1520-0493_1969_097_0163_atftep_2_3_co_2.xml>. Acesso em: 25 mar. 2022.
- BOSART, L. F.; SANDERS, F. The Johnstown flood of July 1977: A long-lived convective system. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 38, n. 8, p. 1616-1642, 1981.
- BRANDES, E. A.; ZIEGLER, C. L. Mesoscale downdraft influences on vertical vorticity in a mature mesoscale convective system. **Monthly weather review**, v. 121, n. 5, p. 1337-1353, 1993.
- BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Fortes chuvas atingem os Estados do Espírito Santo e Minas Gerais**". 2020a. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/notas_tecnicas/2020/Nota_T%C3%A9cnica_Chuvas_MG_ES_1.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2020.
- BRASIL. Serviço Meteorológico Marinho. Ministério da Defesa. **Serviço Meteorológico Marinho previu formação da Tempestade Subtropical "Kurumí"**. 2020b. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/noticias/servico-meteorologico-marinho-previu-formacao-da-tempestade-subtropical-kurumi>>. Acesso em: 14 mar. 2020.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Entenda a diferença entre os tipos de desastres naturais e tecnológicos registrados no Brasil**. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/ultimas-noticias/entenda-a-diferenca-entre-os-tipos-de-desastres-naturais-e-tecnologicos-registrados-no-brasil>>. Acesso em: 12 dez. 2022.
- BRASILIENSE, C. S. et al. Synoptic analysis of an intense rainfall event in Paraíba do Sul river basin in southeast Brazil. **Meteorological Applications**, [s.l.], v. 25, n. 1, p.66-77, 23 ago. 2017.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual

Activity and Extreme Rainfall. **Journal Of Climate**, [s.l.], v. 17, n. 1, p.88-108, jan. 2004. American Meteorological Society. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)0172.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2004)0172.0.co;2). Disponível em: <<https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/1520-0442%282004%29017%3C0088%3ATSACZI%3E2.0.CO%3B2>>. Acesso em: 03 jul. 2019.

CASARIN, D. P.; KOUSKY, V. E. Precipitation anomalies in the southern part of Brazil and variations of the atmospheric circulation. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 1, p. 83-90, 1986.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de Defesa Civil**: estudos de riscos e medicina de desastres. Brasília: MPO, 1998. 283p.

CEPED UFSC – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012: volume Rio de Janeiro, 2ª ed, Florianópolis, 2013.

CLIMANÁLISE, 2009: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v. 24, n. 2, fev. 2009. Disponível em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/%7Erclimanl/boletim/pdf/pdf09/fev09.pdf>>. Acesso em 08 out. 2019.

CLIMANÁLISE, 2011: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v. 26, n. 1, jan. 2011. Disponível em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf11/jan11.pdf>>. Acesso em 10 ago. 2019.

CORREA, W. S. C.; ALBUQUERQUE, T. T. A. A influência da zona de convergência do atlântico sul nas precipitações intensas no mês de novembro de 2008 e suas consequências sobre o município de Vitória/ES. **Revista Geonorte**, Ed. Especial 2, v. 1, n. 5, p. 796-806, 2012.

CPTEC/INPE. **El Niño e La Niña - CPTec/INPE**. 2022. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 25 mar. 2022.

DIAS, P. L. S.; BONATTI, J. P. A preliminary study of the observed vertical mode structure

of the summer circulation over tropical South America. **Tellus**, [s. l.], v. 37, p.185-195, 1985. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1600-0870.1985.tb00280.x>>. Acesso em: 02 jul. 2019.

DIAS, P. L. S.; BONATTI, J. P.; KOUSKY, V. E. Diurnally Forced Tropical Tropospheric Circulation over South America. **Monthly Weather Review**, [s. l.], v. 115, p.1465-1478, ago. 1987. Disponível em: <<https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0493%281987%29115%3C1465%3ADFTTCO%3E2.0.CO%3B2>>. Acesso em: 02 jul. 2019.

DOTY, B. Grid Analysis and Display System Grads - V.1.5.1.12. Disponível: <http://cola.gmu.edu/grads/>, 1995.

FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; DIAS, Maria A. F. S. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], v. 19, n. 1, p.89-98, jun. 2004.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

FIGUEROA, S.; NOBRE, C. Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanálise**, v. 5, p. 36-45, 1990.

GANDU, A. W.; DIAS, P. L. S. Impact of tropical heat sources on the South American tropospheric upper circulation and subsidence. **Journal Of Geophysical Research: Atmospheres**, [s.l.], v. 103, n. 6, p.6001-6015, 1 mar. 1998. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/97jd03114>. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/236587838_Impact_of_Tropical_Heat_Sources_on_the_South_American_Tropospheric_Upper_Circulation_and_Subsidence>. Acesso em: 03 jul. 2019.

GUOFU, Z.; SHOUJUN, C. Analysis and comparison of mesoscale convective systems over the Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 20, n. 3, p. 311-322, 2003.

HANLEY, D. E.; BOURASSA, M. A.; O'BRIEN, J. J.; SMITH, S. R.; SPADE, E. R. A

Quantitative Evaluation of ENSO Indices. **Journal Of Climate**, [S.L.], v. 16, n. 8, p. 1249-1258, abr. 2003. American Meteorological Society. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)162.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2003)162.0.co;2). Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/16/8/1520-0442_2003_16_1249_aqeoai_2.0.co_2.xml?tab_body=fulltext-display#i1520-0442-16-8-1249-t01. Acesso em: 28 mar. 2022.

HOUZE, R. A. Structure and dynamics of a tropical squall–line system. **Monthly Weather Review**, v. 105, n. 12, p. 1540-1567, 1977.

JAMES, E. P., JOHNSON, R. H. A Climatology of Midlatitude Mesoscale Convective Vortices in the Rapid Update Cycle. **Mon. Wea. Rev.**, 138, 1940–1956, 2010.

JOHNSON, R. H.; BARTELS, D. L. Circulations associated with a mature-to-decaying midlatitude mesoscale convective system. Part II: Upper-level features. **Monthly weather review**, v. 120, n. 7, p. 1301-1321, 1992.

JOHNSTON, E.C. **Meso-scale vorticity centers induced by meso-scale convective complexes**. M. S. thesis, University of Wisconsin-Madison, 54 pp, 1982.

KODAMA, Y. Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. **Journal Of The Meteorological Society Of Japan. Ser. II**, [s.l.], v. 70, n. 4, p.813-836, 1992. Meteorological Society of Japan. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4_813>. Acesso em: 02 jul. 2019.

KOUSKY, V. E.; CAVALCANTI, I. F. A. Precipitation and atmospheric circulation anomaly patterns in the South American sector. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 3, n. 1, p. 199-206, 1988. KOUSKY, Vernon E.. Frontal Influences in Northeast Brasil. **Monthly Weather Review**, [s. l.], v. 107, p.1140-1153, 1979.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. Traduzido por Luciane Ferreira e Pauleti Vianna. 4 ed. São Paulo: Pearson Pretince Hall, 2010.

LENTERS, J. D.; COOK, K. H.. Simulation and Diagnosis of the Regional Summertime Precipitation Climatology of South America. **Journal Of Climate**, [s.l.], v. 8, n. 12, p.2988-3005, dez. 1995. American Meteorological Society.

[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1995\)0082.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1995)0082.0.co;2). Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/239327295_Simulation_and_Diagnosis_of_the_Regional_Summertime_Precipitation_Climatology_of_South_America>. Acesso em: 03 jul. 2019.

LUCAS, T. P. B. Chuvas persistentes e ação da Zona de Convergência do Atlântico Sul na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. MENDONCA, Renata Weissmann Borges; BONATTI, José Paulo. Estudo da energética modal para episódios de ZCAS. Parte I: análise observacional. **Revista Brasileira de Meteorologia**. [online]. 2008, vol.23, n.4, pp.360-380. ISSN 0102-7786. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862008000400001>>. Acesso em: 02 jul. 2019.

MARCELINO, E. V. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. **Caderno didático**, v. 1, p. 34, 2008.

MARCHIORO, E.; SILVA, G. M.; CORREA, W. S. C. A Zona de Convergência do Atlântico Sul e a precipitação pluvial do município de Vila Velha (es): repercussões sobre as inundações. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 101-117, 2016.

MATA-LIMA, H.; ALVINO-BORBA, A.; AGUIAR, R.; DRUMOND, J. Factors affecting flood disaster in Small Island Development State and potential adaptation measures: The case of Funchal city, Portugal. **Environmental Quality Management**, v. 25, n. 3, 2016. doi: 10.1002/tqem.21458

MENDONCA, R. W. B.; BONATTI, J. P. Estudo da energética modal para episódios de ZCAS. Parte II: impacto da resolução do modelo e da parametrização de convecção. **Rev. bras. meteorol.** [online]. 2008, vol.23, n.4, pp.381-403. ISSN 0102-7786. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862008000400002>>. Acesso em: 02 jul. 2019.

MINAS GERAIS. Defesa Civil de Minas Gerais. Gabinete Militar do Governador. **Boletim Estadual de Proteção e Defesa Civil**: N°30 de 30 de Janeiro de 2020. 2020. Disponível em: <http://www.sgecedec.mg.gov.br/anexo/boletim/151-1141_Boletim_30_de_30_de_Janeiro_de_2020.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2020.

- MIOT, H. A. Análise de correlação em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 17, p. 275-279, 2018.
- NASA. **The Global Precipitation Measurement (GPM): gpm mission concept**. GPM Mission Concept. Disponível em: <https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>. Acesso em: 11 set. 2022.
- NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH STAFF (Eds). **The Climate Data Guide: Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)**, 2017. Disponível em: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/climate-forecast-system-reanalysis-cfsr>. Acesso em: 02 fev. 2020.
- NCEP: **NCEP Global Forecast System (GFS) Analyses and Forecasts**, 2007. Disponível em: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.6/>. Acesso em: 10 ago. 2019.
- NEELIN, J. David; BATTISTI, David S.; HIRST, Anthony C.; JIN, Fei-Fei; WAKATA, Yoshinobu; YAMAGATA, Toshio; ZEBIAK, Stephen E.. ENSO theory. **Journal Of Geophysical Research: Oceans**, [S.L.], v. 103, n. 7, p. 14261-14290, 29 jun. 1998. American Geophysical Union (AGU). Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/97JC03424>. Acesso em: 25 mar. 2022.
- NOBRE, C. Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: a importância do Oceano Atlântico. **Climanálise**, v. 3, n. 4, p. 30-35, 1988.
- OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.
- OLIVEIRA, J. **A política brasileira do desastre**. 42 f. Dissertação (Mestrado em Defesa e Segurança Civil) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.
- ORLANSKI, I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v 56 n.5, p. 527-530, 1975.
- PARIZZI, M. G. Panorama dos desastres climatológicos, hidrológicos, meteorológicos e geológicos durante o período de 2010 – 2019. **Derbyana**, v. 43, 2022. doi:

10.14295/derb.v43.766

PEDRO, D. F. P.; FREITAS, A. C. V.; BELOTTI, F. M. A influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) na ocorrência de deslizamentos de massa em Belo Horizonte e cidades vizinhas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.70352>

PINHEIRO, H.; ANDRADE, K.; MOURA, C. **A maior catástrofe climática do Brasil sob a visão operacional do CPTEC/INPE**. 2011. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/11.23.16.17/doc/Pinheiro_A%20maior.pdf. Acesso em: 13 ago. 2019.

QUADRO, M. F. L. de. **Estudos de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Mario_Quadro/publication/250986842_Estudo_de_episodios_de_zonas_de_convergencia_do_Atlantico_Sul_ZCAS_sobre_a_America_do_Sul/links/582a014908aef19cb80513cd/Estudo-de-episodios-de-zonas-de-convergencia-do-Atlantico-Sul-ZCAS-sobre-a-America-do-Sul.pdf. Acesso em: 02 jul. 2019.

QUADRO, M. F. L. de. **Estudo de Vórtices Ciclônicos de Mesoescala associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul**. 2012. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Meteorologia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

QUADRO, M. F. L. de; DIAS, M. A. F. da S.; HERDIES, D. L. Análise de um Vórtice Ciclônico e Mesoescala Associado a ZCAS em Janeiro de 2009. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 31, n. 3, p.273-287, set. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v31n3/0102-7786-rbmet-31-03-0273.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2019.

QUADRO, M. F. L. de; DIAS, M. A. F. da S.; HERDIES, D. L.; GONÇALVES, L. G. de. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS

através da nova geração de reanálises. **Rev. bras. meteorol.** [online]. 2012, vol.27, n.2, pp.152-162. ISSN 0102-7786. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862012000200004>>. Acesso em: 02 jul. 2019.

QUADRO, M. F. L. de; PEZZI, L. P.; ROSA, E. B. O Climanálise e o monitoramento da ZCAS nos últimos 30 anos. **Edição Comemorativa de 30 Anos do Climanálise**, [s. l.], p.19-25, 2016. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/quadroetal.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

RATISBONNA, C. R.. The climate of Brazil: Climates of Central and South America. **World Survey Of Climatology**: Elsevier, [s. l.], v. 12, p.219-293, 1976.

REICHARDT, K. **A Água em Sistemas Agrícolas**. São Paulo: Manole. 1986.

RODRIGUES, H. P. **Zona de convergência do Atlântico Sul**: um estudo observacional e numérico. 2012. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012. Disponível em: <http://www.dca.ufcg.edu.br/posgrad_met/dissertacoes/HerikaPereiraRodrigues_2012.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2019.

ROSA, E. B.; PEZZI, L. P.; QUADRO, M. F. L.; BRUNSELL, N. Automated Detection Algorithm for SACZ, Oceanic SACZ, and Their Climatological Features. **Frontiers In Environmental Science**, [S.L.], v. 8, n. 18, p. 99-999, 25 fev. 2020. Frontiers Media SA. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2020.00018/full>. Acesso em: 26 mar. 2020.

ROZANTE, José Roberto; GUTIERREZ, Enver Ramirez; FERNANDES, Alex de Almeida; VILA, Daniel A.. Performance of precipitation products obtained from combinations of satellite and surface observations. **International Journal Of Remote Sensing**, [S.L.], v. 41, n. 19, p. 7585-7604, 16 jul. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2020.1763504>. Disponível em: http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/MERGE/GPM/Rozante_et.al.2020.pdf. Acesso em: 11 set. 2022.

ROZANTE, José Roberto; MOREIRA, Demerval Soares; GONCALVES, Luis Gustavo G. de; VILA, Daniel A.. Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: technique and validation over south america. **Weather And Forecasting**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 885-894, 1 jun. 2010. American Meteorological Society. <http://dx.doi.org/10.1175/2010waf2222325.1>. Disponível em: http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/MERGE/rozante_et.al.2010.pdf. Acesso em: 11 set. 2022.

SANTIS, R. F. de; QUADRO, M. F. L.. **Análise da ocorrência de vórtices ciclônicos de mesoescala no caso de ZCAS de 11 a 21 de dezembro de 2008**. In: ANAIS DO SIMPÓSIO EM CLIMA, ÁGUA, ENERGIA E ALIMENTOS - 2021, 2021, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2021. Disponível em: <<https://proceedings.science/simclea-2021/papers/analise-da-ocorrencia-de-vortices-ciclonicos-de-mesoescala-no-caso-de-zcas-de-11-a-21-dezembro-de-2008->>>. Acesso em: 04 mai. 2022.

SANTIS, R. F. de; QUADRO, M. F. L.. **Análise de um vórtice ciclônico de mesoescala associado à Zona de Convergência do Atlântico Sul**: Estudo de caso de 11 e 12 de janeiro de 2011. In: ENCONTRO DE METEOROLOGIA DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2., 2019, Florianópolis. Anais [...] . Florianópolis: II Enmet, 2019. Disponível em: <https://enmetsc2019.regg.co/downloadPDF/downloadTrabalho/246.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2020.

SILVA DIAS, P. L.; CAPLAN, P.; KOUSKY, E. V. As chuvas intensas de fevereiro de 1988: circulação global e previsibilidade. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 5. Rio de Janeiro, 7-11 nov. 1988. Anais II, p. lx.6-10.

SILVA, J. P. R. **Vórtices Ciclônicos de Mesoescala embebidos na Zona de Convergência do Atlântico Sul associados a Desastres Naturais no estado de São Paulo**. 2022. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. doi:10.11606/D.14.2022.tde-14062022-140742. Acesso em: 2022-08-04.

SILVA, J. P. R.; YNOUE, R. Y. Vórtices Ciclônicos de Mesoescala embebidos na Zona de

Convergência do Atlântico Sul associados a Desastres Naturais no estado de São Paulo. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**, 2021.

ŠPITALAR, M. et al. Analysis of flash flood parameters and human impacts in the US from 2006 to 2012. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 863–870, 2014.

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

TALENTO, S.; BARREIRO, M. Control of the South Atlantic Convergence Zone by extratropical thermal forcing. **Climate Dynamics**, [s.l.], v. 50, n. 3-4, p.885-900, 25 mar. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-017-3647-4>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-017-3647-4>>. Acesso em: 03 jul. 2019.

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

TOMAZIELLO, A. N.; GANDU, A. W. Impacto da temperatura da superfície do mar na simulação da Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**. [online]. 2013, vol.28, n.3, pp.291-304. ISSN 0102-7786. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862013000300006>>. Acesso em: 02 jul. 2019.

TRENBERTH, K. E.; STEPANIAK, D. P. Indices of El Niño Evolution. **Journal Of Climate**, [S.L.], v. 14, n. 8, p. 1697-1701, abr. 2001. American Meteorological Society. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)0142.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2001)0142.0.co;2). Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/14/8/1520-0442_2001_014_1697_lieno_2.0.co_2.xml. Acesso em: 28 mar. 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres (Org.). **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012**. 2013.

VENDRUSCOLO, S. **Interface entre a política nacional de recursos hídricos e a política nacional de defesa civil, com relação aos desastres hidrológicos**. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia

Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

VIEIRA, S. O.; OLIVEIRA, N. V.; SATYAMURTY, P.; ANDREOLI, R. V. Aplicação do método Fuzzy na classificação da zona de convergência do Atlântico Sul no sul da Amazônia. **Rev. bras. meteorol.** [online]. 2014, vol.29, n.4, pp.621-631. ISSN 0102-7786. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130659>>. Acesso em: 02 jul. 2019.

WALKER, S. G. T. Seasonal Weather and its Prediction. **Nature**, Londres, v. 132, n. 3343, p. 805-808, 25 nov. 1933. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/132805a0.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2022.

APÊNDICE A - ALGORITMO DE DETECÇÃO DE VÓRTICES CICLÔNICOS DE MESOESCALA

A identificação da formação e atuação dos Vórtices Ciclônicos de Mesoescala (VCMs) associados à ZCAS neste estudo foi adaptado do algoritmo elaborado por Quadro (2012) com o uso do aplicativo computacional GrADS (DOTY, 1995).

A metodologia proposta consta de três critérios para detectar os VCMs associados à banda de nebulosidade da ZCAS. A figura A1 ilustra o procedimento e resultados e o critério é descrito a seguir:

- Critério "A" - foi delimitado a uma região de atuação da ZCAS. Em toda região externa ao retângulo da ZCAS foi aplicada uma máscara nos dados, evitando assim que vórtices fossem detectados fora da região da ZCAS.
- Critério "B" - o algoritmo computacional foi otimizado através da função "*mfhilo*" do GrADS (<http://opengrads.org/doc/udxt/libmf/libmf.html>). A função *mfhilo* foi aplicada para encontrar mínimos da variável vorticidade relativa, com as seguintes opções: i) #Método, "GR" (GRid), que trabalha com dados em pontos de grade; ii) #MaXMin, "L", para determinar os mínimos de vorticidade; e iii) #SORTby, "M" que ordena o resultado pela magnitude dos valores extremos encontrados;
- Critério "C" - é feita uma varredura do giro do vento horizontal, em cada nível de pressão onde foi detectado o VCM pelo critério "B", a partir do cálculo da direção e velocidade do vento figura A2 mostra como o algoritmo determina o giro do vento no sentido horário, no Hemisfério Sul, ao redor do ponto selecionado pelo critério "B". Este giro é configurado se: i) a velocidade do vento em cada nível de pressão (VEL_{lev}) for maior que 0 m.s^{-1} ; ii) se a direção do vento em cada nível de pressão (DIR_{lev}) encontra entre os ângulos 45° e 135° para o ponto (xa,ys); iii) DIR encontra entre os ângulos 135° e 225° para o ponto (xp,ys); iv) DIR encontra entre os

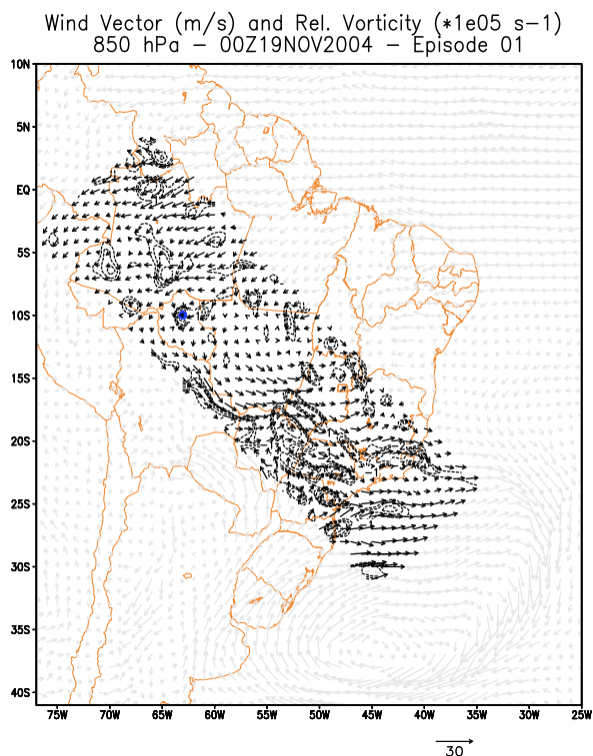
ângulos 225° e 315° para o ponto (x_p, y_i) e v) DIR encontra entre os ângulos 315° e 45° para o ponto (x_a, y_s) .

Figura A1 - Ilustração da parte do algoritmo que define a máscara na região da ZCAS (a), que determina os mínimos de vorticidade relativa (b) e exemplo de uma figura gerada pelo algoritmo (c). O círculo em azul determina a região onde foi detectado o VCM.

```
#####
# Define Configurações da plotagem
#####
#
#_lati=-41           ;# Latitude Sul
#_latf=10            ;# Latitude Norte
#_loni=203           ;# Longitude Oeste
#_lonf=335           ;# Longitude Leste
#_gridlone_hres      ;# Define Grade em x (Lon)
#_gridlat_hres       ;# Define Grade em y (Lat)
#_npx=((_lonf-_loni)/_gridlone)+1 ;# Define No de pontos em x (Lon)
#_npy=((_latf-_lati)/_gridlat)+1  ;# Define No de pontos em y (Lat)
#
#_pvort=75           ;# Define percentil dos mínimos de vort. relativa plotados
#_angcr=180          ;# Define o angulo para o critério de detecção dos vortices
#_angcr=90           ;# Define o angulo para o critério de detecção dos vortices
#
#_file_out=_path_out/_mcv_c'_caso'_pv'_pvort'_ang'_angcr'.txt' ;# Arquivo de saída txt
#_file_csv=_path_out/_mcv_c'_caso'_pv'_pvort'_ang'_angcr'.csv' ;# Arquivo de saída csv
#
#_lecho mcv_c'_caso'_pv'_pvort'_ang'_angcr'.txt' > _path_out/_file.txt'
#
#####
# Inicia script
#####
#
#_set lat '_lati' '_latf'
#_set lon '_loni' '_lonf'
#_define mksacz= re(mask.2(z=1,t=1), '_npx', linear, '_loni', '_gridlone', '_npy', linear, '_lati', '_gridlat', ba)
#
#
# say 'Nivel , data -> '_lev' , '_data'
#
#_define pi=3.14
#_define wabs=mag(ugrdprs(z='_z'), vgrdprs(z='_z'))
#_define wdirrad=atan2(vgrdprs(z='_z'), wabs)/wabs
#_define wdirdeg=180 + wdirrad * 180/pi
#
#_set cint 45
#_d wdirdeg
#
#_set rgb 91 230 230 230
#_set ccolor 91
#_set grads off
#_d skip(ugrdprs(z='_z'), 2); vgrdprs(z='_z')
#_set straden 5
#_set grads off
#_define vort=maskout(hcurl(ugrdprs(z='_z'), vgrdprs(z='_z'))*1e05, mksacz)
#_set cleve -7 -5 -3 -2 -1
#_d vort
#_fillto vort gr l m '_pvort'
#_low_info=result
#_ret=plotlow()
#
#_set gxout vector
#_d skip(ugrdprs(z='_z'), 2); vgrdprs(z='_z')
#_set grid off
#_run '_path_lib'/cbarn_precip.gs
#
#_set ccolor 1
#_set grads off
#_d skip(maskout(ugrdprs(z='_z'), mksacz), 2); vgrdprs(z='_z')
#
#_ret=draw_vort()
#_draw title Wind Vector (m/s) and Rel. Vorticity (*1e05 s-1) \ '_lev' hPa - '_tim' - Episode '_caso'
```

(a)

(b)



(c)

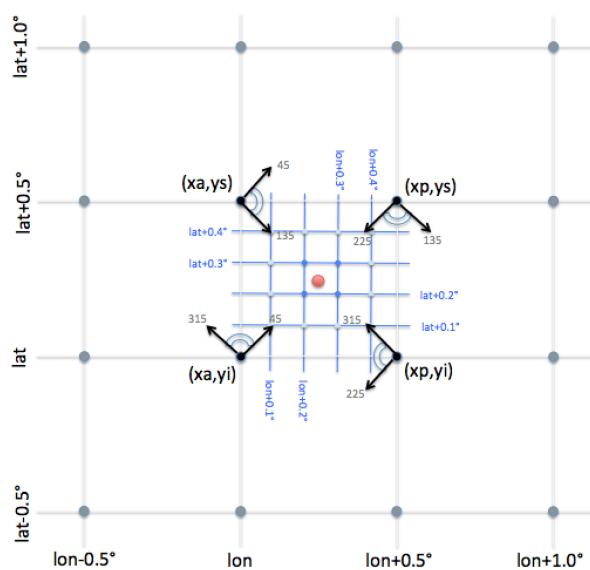
Fonte: Autor.

Figura A2 - Ilustração da parte do algoritmo que define o critério do giro do vento em torno do VCM (a) e o diagrama esquemático representativo (b).

```
# Calcula Direcao (graus) para ponto (xa,yi)
'q defval wdirdeg 'xa' 'yi
_dxayi = subwrd(result,3)
'q defval wdirdeg 'xp' 'yi
_dxpypi = subwrd(result,3)
'q defval wdirdeg 'xa' 'ys
_dxays = subwrd(result,3)
'q defval wdirdeg 'xp' 'ys
_dxpys = subwrd(result,3)

if(_dxayi >= (180-(_angcr/2)) & _dxayi < (180+(_angcr/2)))
say 'Passei _dxayi critério (>=180-(_angcr/2)'&'<180+(_angcr/2)'): ' _dxayi
if(_dxays >= (270-(_angcr/2)) & _dxays < (270+(_angcr/2)))
say 'Passei _dxays critério (>=270-(_angcr/2)'&'<270+(_angcr/2)'): ' _dxays
if(_dxpys >= (360-(_angcr/2)) | _dxpys < (0+(_angcr/2)))
say 'Passei _dxpys critério (>=360-(_angcr/2)'&'<0+(_angcr/2)'): ' _dxpys
if(_dxypi >= (90-(_angcr/2)) & _dxypi < (90+(_angcr/2)))
say 'Passei _dxypi critério (>=90-(_angcr/2)'&'<90+(_angcr/2)'): ' _dxypi
say 'xxxxxxxxxxxxx VCM detected xxxxxxxxxx'
prnvor=1
if(_cntvor=0)
_outwri='DATE HOR DIA LEV LON LAT VREL'
_outwri='DATE DIA LEV LON LAT VREL'
!printf "%10s%4s%5s%7s%7s %s\n" ' _outwri' > ' _file_out
endif
#
_outwri='data' ' _pday' ' _lev' 'min_lon-360' 'min_lat' 'min_val
!printf "%10s%4s%5s%7.1f%7.1f%7.1f %s\n" ' _outwri' >> ' _file_out
_cntvor=_cntvor+1
#
'set line 4'
'draw mark 3 'x_min' 'y_min' 0.12'
endif
endif
endif
endif
```

(a)



(b)

ANEXO 1

sacz_oct-mar_1986-2020

SACZ EPISODES 1986-2020 (OCT-MAR)

TYPE OF SACZ EPISODE	
	continental
	oceanic

WARNING
SACZ dates in the 2020 year are based on the preliminary version of the OLR data!

REFERENCE
The SACZ dates found here were detected through the image classification algorithm developed and described in Rosa et al., 2020. If you are using any information of this table, please cite our work and add a sentence of personal communication with the authors.

CITING OUR WORK
Rosa, E. B., Pezzi, L. P., Quadro, M. F. L. D., & Brunzell, N. (2020). Automated Detection Algorithm for SACZ, Oceanic SACZ and their Climatological Features. <i>Frontiers in Environmental Science</i> , 8, 18. doi: 10.3389/fenvs.2020.00018

CONTACT
Eliana Rosa: elianaocn@gmail.com Luciano Pezzi: luciano.pezzi@inpe.br Mário Quadro: mquadro@ifsc.edu.br

sacz_oct-mar_1986-2020

Count	Initial day	Final day	Episode length	Mean OLR (W/m ²)	Mean OLR over ocean (W/m ²)	Area (x10 ⁶ km ²)	Area over ocean (x10 ⁶ km ²)
1	04JAN1986	12JAN1986	9	197.6086	203.6955	88.935	21.1347
2	18JAN1986	23JAN1986	6	200.4029	206.1297	94.5615	24.9663
3	02FEB1986	05FEB1986	4	199.3949	205.6131	97.284	23.7765
4	17FEB1986	20FEB1986	4	192.4855	205.1059	103.7575	15.3368
5	18OCT1986	22OCT1986	5	206.7866	210.1555	75.4072	25.3616
6	11NOV1986	14NOV1986	4	202.949	201.3701	69.6355	24.7445
7	17DEC1986	20DEC1986	4	199.6668	205.9636	89.6005	22.385
8	22DEC1986	29DEC1986	8	195.4178	199.4754	108.7034	31.8684
9	11JAN1987	14JAN1987	4	200.6393	206.5627	105.4818	29.3727
10	24JAN1987	30JAN1987	7	194.6725	200.527	89.4709	21.3997
11	01FEB1987	04FEB1987	4	202.492	211.3947	80.4347	21.5078
12	07MAR1987	13MAR1987	7	193.5865	199.51	101.6054	33.2404
13	16NOV1987	20NOV1987	5	197.8723	200.1928	94.501	36.2758
14	26NOV1987	29NOV1987	4	196.2678	197.8277	98.8872	36.0883
15	21DEC1987	24DEC1987	4	196.8861	187.0447	92.1718	39.1435
16	29DEC1987	03JAN1988	6	198.1017	202.2208	104.4835	32.912
17	06JAN1988	12JAN1988	7	195.3979	197.7923	92.323	25.7039
18	05FEB1988	10FEB1988	6	199.1837	202.9806	96.1345	26.7612
19	16FEB1988	20FEB1988	5	195.101	200.1107	95.6142	25.652
20	12OCT1988	15OCT1988	4	200.8677	203.3011	87.0897	41.8357
21	31OCT1988	10NOV1988	11	198.6701	201.4515	75.152	24.376
22	20DEC1988	08JAN1989	20	196.3004	203.687	99.6677	22.627
23	12JAN1989	16JAN1989	5	199.6267	201.8848	101.4222	24.9744
24	08FEB1989	13FEB1989	6	195.2908	201.3031	95.3682	21.3565
25	07MAR1989	16MAR1989	10	193.3317	200.266	104.5077	26.741
26	27NOV1989	30NOV1989	4	199.7968	206.3585	90.4475	22.627
27	02DEC1989	05DEC1989	4	189.3967	190.184	104.2415	40.1115
28	30DEC1989	03JAN1990	5	196.7249	197.3749	107.8594	34.6544
29	05JAN1990	12JAN1990	8	198.2574	204.6699	91.2491	21.0843
30	14JAN1990	17JAN1990	4	209.0207	215.0031	76.472	17.908
31	13FEB1990	17FEB1990	5	192.0884	194.4378	108.416	33.9284
32	14OCT1990	19OCT1990	6	202.2249	208.3445	84.6597	22.2438
33	28DEC1990	31DEC1990	4	199.7711	204.1947	107.8715	31.3995
34	04JAN1991	07JAN1991	4	193.8831	197.532	104.9373	30.0987

sacz_oct-mar_1986-2020							
35	14JAN1991	18JAN1991	5	194.1834	198.1632	100.4784	28.7012
36	25JAN1991	28JAN1991	4	197.2272	196.6921	109.142	37.4192
37	25MAR1991	30MAR1991	6	195.4716	198.475	90.508	29.2618
38	13NOV1991	16NOV1991	4	198.5655	204.7805	116.765	47.2807
39	18NOV1991	21NOV1991	4	199.3521	196.614	98.494	33.7893
40	12JAN1992	15JAN1992	4	187.1077	194.6124	120.153	35.3017
41	24FEB1992	04MAR1992	10	199.8404	203.3676	83.0423	22.2761
42	29NOV1992	02DEC1992	4	198.3833	203.8935	100.8233	31.097
43	10DEC1992	15DEC1992	6	197.3593	199.386	98.6957	33.8397
44	17DEC1992	21DEC1992	5	202.1745	206.6683	80.7312	25.7246
45	19JAN1993	23JAN1993	5	201.3014	200.0311	102.0756	27.2008
46	15FEB1993	18FEB1993	4	197.1646	201.6202	78.3173	18.392
47	20FEB1993	27FEB1993	8	198.7688	200.4316	81.9926	22.8388
48	19MAR1993	28MAR1993	10	201.8916	206.7239	88.7898	19.4689
49	25NOV1993	28NOV1993	4	196.1737	197.163	108.537	33.6985
50	18DEC1993	24DEC1993	7	195.057	204.2047	86.394	19.2563
51	29DEC1993	06JAN1994	9	198.2711	199.2317	90.4004	23.1513
52	09JAN1994	14JAN1994	6	192.9293	198.5011	88.7333	23.1917
53	26JAN1994	29JAN1994	4	197.2146	204.1535	92.0205	18.4222
54	22FEB1994	25FEB1994	4	199.6844	200.4486	109.9285	35.7858
55	02MAR1994	10MAR1994	9	197.0775	197.107	86.8108	24.3076
56	17NOV1994	25NOV1994	9	194.529	203.0633	88.8947	24.2538
57	28NOV1994	01DEC1994	4	199.7402	207.5981	92.2322	25.9847
58	17DEC1994	20DEC1994	4	199.405	196.8609	109.989	37.9637
59	29DEC1994	01JAN1995	4	195.1155	203.93	95.953	22.627
60	28JAN1995	01FEB1995	5	197.5299	200.2003	95.8804	23.8854
61	03FEB1995	08FEB1995	6	190.0867	201.973	104.907	30.4517
62	15FEB1995	21FEB1995	7	201.1126	212.3073	85.184	13.7594
63	13OCT1995	16OCT1995	4	195.78	197.7262	71.874	33.5775
64	28OCT1995	04NOV1995	8	202.0728	202.7637	64.3266	23.7311
65	12DEC1995	19DEC1995	8	196.6865	208.275	75.0956	20.2221
66	25DEC1995	03JAN1996	10	198.294	197.6325	104.3262	31.1212
67	06JAN1996	10JAN1996	5	202.1154	209.5806	90.0966	22.264
68	16FEB1996	22FEB1996	7	198.5494	198.6922	85.9619	22.4023
69	01MAR1996	05MAR1996	5	196.5951	205.2992	108.8274	27.225
70	21NOV1996	26NOV1996	6	195.7614	196.0667	87.846	31.4802

sacz_oct-mar_1986-2020							
71	20DEC1996	25DEC1996	6	199.7201	202.9096	103.3945	27.6283
72	02JAN1997	05JAN1997	4	190.2091	192.7955	96.8605	30.1593
73	20JAN1997	26JAN1997	7	193.8192	201.8713	101.4153	21.6244
74	15FEB1997	18FEB1997	4	199.036	201.925	90.8105	21.2052
75	27FEB1997	04MAR1997	6	192.8454	192.0733	108.9807	35.0497
76	13NOV1997	18NOV1997	6	200.4724	206.922	95.5093	26.5393
77	07JAN1998	10JAN1998	4	201.4374	203.9465	107.811	34.485
78	09FEB1998	16FEB1998	8	200.3811	202.2336	82.401	22.5362
79	09NOV1998	14NOV1998	6	198.1553	194.4483	99.1998	35.4732
80	19NOV1998	23NOV1998	5	196.4388	200.4094	87.4588	25.3616
81	25NOV1998	28NOV1998	4	196.1899	204.0035	95.106	28.193
82	01DEC1998	09DEC1998	9	196.7982	199.1893	88.0073	25.3024
83	16DEC1998	19DEC1998	4	201.4864	202.4761	101.3678	39.2343
84	22DEC1998	26DEC1998	5	199.5967	207.9812	71.0996	14.5926
85	01JAN1999	08JAN1999	8	193.275	200.5242	108.779	29.8416
86	03MAR1999	06MAR1999	4	193.5092	191.222	107.1455	23.6857
87	12NOV1999	16NOV1999	5	201.1949	202.0897	62.0246	24.926
88	23NOV1999	28NOV1999	6	199.997	201.7536	96.0337	43.0558
89	03DEC1999	10DEC1999	8	200.7012	209.4975	89.3434	23.8521
90	12DEC1999	15DEC1999	4	195.5792	201.0342	107.3875	34.364
91	30DEC1999	07JAN2000	9	193.9961	200.7666	102.8366	27.2519
92	25JAN2000	29JAN2000	5	199.4103	202.4391	96.1224	24.0548
93	15FEB2000	19FEB2000	5	200.7705	199.1058	100.2364	25.047
94	14NOV2000	18NOV2000	5	195.7354	206.1961	70.2526	22.9174
95	04DEC2000	07DEC2000	4	196.8856	198.8472	110.11	39.7788
96	18FEB2001	21FEB2001	4	198.6517	201.7117	103.455	21.417
97	01NOV2001	05NOV2001	5	196.6425	196.1418	98.3488	39.9058
98	15NOV2001	19NOV2001	5	198.7646	203.0109	89.5158	31.6294
99	28NOV2001	01DEC2001	5	199.3477	205.4064	110.1584	37.5584
100	05DEC2001	20DEC2001	16	198.0019	201.2315	88.9577	28.798
101	22DEC2001	28DEC2001	7	198.1945	204.4977	79.255	15.9029
102	07JAN2002	12JAN2002	6	194.3705	202.4665	90.6693	28.4753
103	02FEB2002	05FEB2002	4	196.1198	193.9542	89.3888	25.1378
104	16FEB2002	25FEB2002	10	199.2893	201.4247	97.9132	30.0201
105	24DEC2002	27DEC2002	4	198.4811	203.7779	85.4865	24.321
106	04JAN2003	08JAN2003	5	201.3786	199.8923	77.7062	28.556

sacz_oct-mar_1986-2020

107	11JAN2003	19JAN2003	9	196.1007	200.7477	96.2757	27.1578
108	24JAN2003	02FEB2003	10	199.3443	202.0867	85.0509	20.2675
109	11OCT2003	15OCT2003	5	203.7129	204.7186	65.6546	24.6598
110	02NOV2003	05NOV2003	4	197.3226	203.2194	67.1248	22.4455
111	18NOV2003	21NOV2003	4	201.1627	206.3137	87.0595	29.9172
112	24NOV2003	28NOV2003	5	198.5601	201.764	87.0958	26.2328
113	31DEC2003	04JAN2004	5	198.1968	196.8484	90.2176	21.8768
114	11JAN2004	18JAN2004	8	187.3062	192.7682	120.0471	41.3064
115	05FEB2004	11FEB2004	7	198.7286	196.838	98.5286	28.9363
116	15FEB2004	24FEB2004	10	192.862	199.3598	93.0248	22.8085
117	14MAR2004	24MAR2004	11	197.8565	195.2376	97.702	32.857
118	16NOV2004	20NOV2004	5	197.4618	198.0276	99.825	41.9144
119	07DEC2004	13DEC2004	7	200.8882	201.2877	92.7897	32.186
120	21DEC2004	25DEC2004	5	196.7028	202.9476	97.4292	33.638
121	03JAN2005	07JAN2005	5	199.517	204.9998	83.248	28.6044
122	16JAN2005	21JAN2005	6	192.2986	199.7557	94.501	27.3863
123	25JAN2005	28JAN2005	4	198.7689	211.8531	89.5097	19.2087
124	13FEB2005	17FEB2005	5	195.6451	196.374	106.9398	37.873
125	26FEB2005	05MAR2005	8	195.6744	198.7281	89.9181	23.8672
126	16OCT2005	19OCT2005	4	206.3813	209.727	85.6377	33.7893
127	11DEC2005	15DEC2005	5	195.0444	195.9799	90.3386	27.1282
128	17DEC2005	21DEC2005	5	203.1179	204.0207	100.8656	32.5974
129	24DEC2005	29DEC2005	6	195.5481	200.5198	92.3028	20.8322
130	22JAN2006	02FEB2006	12	202.1614	204.4134	87.0595	22.4556
131	16FEB2006	19FEB2006	4	196.9216	199.8321	81.1607	23.8975
132	07MAR2006	11MAR2006	5	198.6933	201.8755	92.4924	26.2328
133	15MAR2006	18MAR2006	4	194.237	208.0436	83.369	9.317
134	27NOV2006	01DEC2006	5	196.9878	200.0464	101.6642	29.645
135	06DEC2006	12DEC2006	7	195.2642	198.0075	96.8864	26.6719
136	12JAN2007	18JAN2007	7	200.5952	200.2007	105.6676	27.4324
137	11FEB2007	15FEB2007	5	192.1594	187.2909	103.3098	34.5092
138	02NOV2007	07NOV2007	6	200.8732	207.0107	81.554	27.5275
139	27NOV2007	02DEC2007	6	194.9722	197.3904	104.1205	37.1672
140	06DEC2007	09DEC2007	4	196.6445	205.4828	91.7785	20.812
141	20DEC2007	23DEC2007	4	200.4643	201.2646	78.8012	27.6788
142	11JAN2008	14JAN2008	4	199.6073	212.2492	94.5918	16.577

sacz_oct-mar_1986-2020

143	03FEB2008	06FEB2008	4	196.6608	208.305	73.1142	13.0075
144	10FEB2008	13FEB2008	4	204.6879	212.2928	81.2212	18.513
145	22FEB2008	29FEB2008	8	194.7158	194.0756	121.4991	32.8515
146	05MAR2008	08MAR2008	4	193.6588	212.867	78.9525	3.4787
147	13MAR2008	17MAR2008	5	195.2739	200.2833	97.3324	28.4592
148	17NOV2008	23NOV2008	7	198.4389	200.236	74.8126	26.0496
149	03DEC2008	07DEC2008	5	200.447	206.7129	74.052	22.0462
150	11DEC2008	21DEC2008	11	194.7379	201.1854	95.249	26.73
151	24DEC2008	28DEC2008	5	194.2893	194.2536	100.8414	29.04
152	31DEC2008	08JAN2009	9	199.0753	205.767	96.3832	29.0266
153	17JAN2009	21JAN2009	5	195.0054	204.3126	114.829	32.307
154	23JAN2009	30JAN2009	8	193.0491	204.7801	87.7553	14.1116
155	12FEB2009	17FEB2009	6	193.3172	201.7428	98.736	19.5617
156	12MAR2009	16MAR2009	5	196.957	198.33	92.8796	26.2086
157	20MAR2009	27MAR2009	8	196.2536	199.7944	101.7005	24.2151
158	17JAN2010	24JAN2010	8	200.6958	200.5266	74.0823	16.2745
159	25NOV2010	06DEC2010	12	197.9318	203.0292	92.1919	30.9155
160	13DEC2010	17DEC2010	5	191.6352	204.3342	95.4206	25.2648
161	22DEC2010	25DEC2010	4	204.3367	202.4815	92.1718	22.0523
162	27DEC2010	07JAN2011	12	195.923	198.1248	95.9732	24.9865
163	11JAN2011	16JAN2011	6	194.8987	197.2942	99.4217	26.3175
164	01MAR2011	11MAR2011	11	193.1949	197.4501	98.076	22.143
165	26NOV2011	29NOV2011	4	197.2991	202.4298	64.856	19.0877
166	01DEC2011	04DEC2011	4	200.5696	201.0749	78.892	32.0348
167	08DEC2011	12DEC2011	5	197.7637	195.9285	103.1888	43.9472
168	14DEC2011	21DEC2011	8	196.9629	199.9206	94.5766	35.4228
169	28DEC2011	09JAN2012	13	199.1728	198.9362	92.2988	23.9096
170	13JAN2012	18JAN2012	6	197.2255	201.9363	85.5268	18.2105
171	26JAN2012	29JAN2012	4	198.6451	202.3672	88.0275	19.1785
172	15MAR2012	19MAR2012	5	201.3706	197.0865	80.3198	22.3608
173	03NOV2012	06NOV2012	4	197.3651	196.3945	86.1822	23.2018
174	13NOV2012	19NOV2012	7	197.1188	199.7879	89.782	27.3633
175	25NOV2012	28NOV2012	4	200.4104	208.4313	81.6448	24.8352
176	28DEC2012	31DEC2012	4	202.4975	202.73	90.992	20.9028
177	06JAN2013	19JAN2013	14	196.6634	197.0473	91.9081	25.5137
178	26JAN2013	29JAN2013	4	192.7054	212.0655	79.0735	17.303

sacz_oct-mar_1986-2020

179	04FEB2013	13FEB2013	10	192.8453	203.2196	93.0853	20.7273
180	26FEB2013	01MAR2013	4	202.5954	202.8459	81.1003	17.6055
181	15MAR2013	19MAR2013	5	193.8379	212.9142	99.583	21.9978
182	25MAR2013	28MAR2013	4	198.91	201.4204	94.38	39.7485
183	04NOV2013	07NOV2013	4	200.2362	206.8987	80.949	26.62
184	10DEC2013	26DEC2013	17	194.358	197.1717	94.0842	28.5426
185	12JAN2014	20JAN2014	9	199.9125	202.8262	89.6879	19.239
186	05MAR2014	09MAR2014	5	193.9214	197.9447	93.7024	24.2968
187	20MAR2014	24MAR2014	5	195.083	198.288	88.2574	22.6028
188	08NOV2014	11NOV2014	4	194.8061	197.6976	85.6983	30.6432
189	14NOV2014	18NOV2014	5	198.3352	197.6483	87.3862	36.905
190	09DEC2014	13DEC2014	5	200.096	204.4512	94.6462	23.1352
191	06FEB2015	09FEB2015	4	191.5129	199.9841	98.5242	26.862
192	13FEB2015	17FEB2015	5	196.5512	198.6043	100.0428	24.1758
193	16MAR2015	20MAR2015	5	195.3174	206.0198	95.981	17.8652
194	08OCT2015	11OCT2015	4	197.8346	192.5467	99.7343	44.2255
195	08DEC2015	11DEC2015	4	204.5441	207.381	61.7705	20.691
196	14JAN2016	23JAN2016	10	195.6915	198.496	92.7344	28.3866
197	28FEB2016	03MAR2016	5	196.4708	200.5676	90.3386	26.378
198	29DEC2016	01JAN2017	4	200.1817	206.0365	94.1683	14.2175
199	17JAN2017	21JAN2017	5	194.1479	201.8453	89.2012	19.7956
200	25JAN2017	29JAN2017	5	197.8133	204.6823	91.0888	21.2234
201	05FEB2017	08FEB2017	4	201.0372	213.8658	84.6093	11.3438
202	10NOV2017	14NOV2017	5	192.7146	195.5595	94.6220	33.5412
203	24DEC2017	30DEC2017	7	198.4281	204.5517	94.5183	19.3427
204	16JAN2018	20JAN2018	5	203.4031	210.2230	83.7562	15.0524
205	29JAN2018	06FEB2018	9	191.1402	192.4193	107.5018	33.5170
206	21FEB2018	25FEB2018	5	191.8584	204.6700	85.4260	14.5200
207	06MAR2018	13MAR2018	8	193.4572	204.6957	87.8611	16.3048
208	18NOV2018	21NOV2018	4	196.1402	197.2082	87.6948	29.1308
209	29NOV2018	03DEC2018	5	191.5526	194.0669	114.0304	41.0916
210	06DEC2018	10DEC2018	5	200.2897	207.4112	67.9052	10.7206
211	26FEB2019	03MAR2019	6	199.3957	201.7355	103.9995	31.5810
212	20MAR2019	25MAR2019	6	194.6857	192.1402	89.9030	17.9080
213	14NOV2019	20NOV2019	7	195.8547	198.5389	82.3146	25.5483
214	05DEC2019	10DEC2019	6	197.3811	200.3635	84.8613	21.6187

sacz_oct-mar_1986-2020							
215	15DEC2019	18DEC2019	4	195.7856	198.3142	84.2463	22.5665
216	01JAN2020	06JAN2020	6	196.8385	202.5785	103.9188	32.1457
217	20JAN2020	25JAN2020	6	194.0850	193.9641	113.9820	39.1838
218	22FEB2020	27FEB2020	6	194.6951	203.6906	91.9197	22.5665
219	29FEB2020	06FEB2020	7	201.0655	201.3854	82.0726	24.4074
220	30OCT2020	06OCT2020	8	197.5697	200.0270	76.6838	31.2331
221	04DEC2020	07DEC2020	4	199.1783	206.0046	88.9350	17.7870
222	09DEC2020	12DEC2020	4	199.7343	206.1748	78.3778	22.1733
223	26DEC2020	30DEC2020	5	195.6313	202.7765	94.7188	23.0626
Mean			6.0224	197.4497	201.5762	92.4692	26.4543
STD			2.5102	3.3793	4.8243	11.2588	7.1657

ANEXO 2



II ENMET SC

ENCONTRO DE METEOROLOGIA DO ESTADO DE SANTA CATARINA

VIII ESBMET | ENCONTRO SUL BRASILEIRO DE METEOROLOGIA

FLORIANÓPOLIS - SC 14 a 16 de OUTUBRO de 2019

PRODUTIVIDADE | ENERGIA | VARIABILIDADE CLIMÁTICA | NOW CASTING



ANÁLISE DE UM VÓRTICE CICLÔNICO DE MESOESCALA ASSOCIADO À ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL - ESTUDO DE CASO DE 11 E 12 DE JANEIRO DE 2011

Rafaelle Fraga De Santis (1); Mário Francisco Leal Quadro (2);

(1) Mestrando no Programa de Mestrado Profissional de Clima e Ambiente; Instituto Federal de Santa Catarina; Florianópolis; Santa Catarina; rafaelledesantis@gmail.com.

(2) Professor no Programa de Mestrado Profissional de Clima e Ambiente; Instituto Federal de Santa Catarina; Florianópolis; Santa Catarina; mquadro95@gmail.com.

Resumo: Fenômenos meteorológicos que provocam grandes volumes de precipitação são responsáveis por acarretar perdas e danos sócio-econômicos e transtornos à sociedade. Em função disso, o objetivo principal deste trabalho é analisar a ocorrência da formação de vórtices ciclônicos de mesosescala (VCM), durante um episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) nos dias 11 e 12 de Janeiro de 2011, para identificar os níveis troposféricos de sua atuação, assim como sua associação com a ZCAS. Para isto, foi conduzida uma análise das condições sinóticas com base nos dados da reanálise do modelo numérico de previsão de tempo *Global Forecast System* (GFS) e analisadas as componentes zonal (uwnd) e meridional (vwnd) para cada um dos em 19 níveis de pressão. Foi identificado um VCM em baixos níveis às 00Z do dia 12 de janeiro de 2011 no litoral sul do Estado do Rio de Janeiro e uma convergência do vento próximo da Região Serrana, onde houveram os maiores acumulados de chuva do fenômeno, segundo com os dados do INMET - Nova Friburgo e Teresópolis, no Estado do Rio de Janeiro. As 12Z foi identificado um segundo VCM, desta vez sobre o litoral norte nos níveis de 550hPa e 400hPa, e sobre o continente no nível de 500hPa.

Palavras-chave: ZCAS; VCM; desastre natural.

INTRODUÇÃO

Fenômenos meteorológicos que provocam grandes volumes de precipitação são responsáveis por acarretar perdas e danos sócio-econômicos e transtornos à sociedade. Enchentes e deslizamentos de terra, consequências de eventos extremos de chuva, provocam prejuízos nos setores de infra-estrutura, econômico sociais. Segundo Universidade Federal de Santa Catarina (2013), entre 1990 e 2012, a enxurrada foi o tipo de desastre que mais causou mortes no país (58,15% do total), seguido por deslizamento de massa (15,6%). Tais eventos atingem, em especial, as Regiões Sul e Sudeste do Brasil durante a estação chuvosa (BRASILIANSE et al., 2017).

Entre estes eventos meteorológicos extremos de chuva, destaca-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que atingiu a Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro na noite do dia 11 e madrugada do dia 12 de Janeiro de 2011. De acordo com os registros do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a precipitação registrada em 24 horas no dia 12/11/2011 nos municípios de Nova Friburgo e Teresópolis foi de 182,8mm e 124,6mm, respectivamente (CLIMANÁLISE, 2011). Os deslizamentos e enchentes atingiram mais de 300 mil pessoas e provocou 905 mortes, segundo a Polícia Civil do Rio de Janeiro e é considerado o pior desastre do Brasil nos últimos tempos (BANCO MUNDIAL, 2019).

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um fenômeno meteorológico caracterizado pela persistência de uma banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste (NW-SE), durante os meses de verão no hemisfério sul, atua no centro sul da Amazônia, regiões Centro-Oeste e Sudeste, centro sul da Bahia, norte do Estado do Paraná e prolonga-se em direção ao Oceano Atlântico sudoeste e impacta diretamente em altos dos índices pluviométricos sobre a América do Sul (FERREIRA; SANCHES; DIAS, 2004). Taljaard (1972) e Streten (1973) publicaram os primeiros estudos sobre uma banda de nebulosidade convectiva persistente sobre a América do Sul. Na década seguinte até o início dos anos 1990, as pesquisas concentraram-se na identificação e caracterização física do evento e, a partir de meados dos anos 90 ao início do século XXI, as tecnologias de modelagem numérica e sensoriamento remotos foram aperfeiçoadas e surgiram vários trabalhos científicos com a simulação da ZCAS nas suas componentes atmosférica e oceânica e estudos de sua variabilidade em diferentes escalas. (QUADRO; PEZZI; ROSA, 2016). Na última década, houveram alguns estudos de aplicação de algoritmos para melhor compreensão do comportamento do evento, como o trabalho de Quadro (2012) que realizou um estudo sobre vórtices ciclônicos de mesos escala (VCMs) associados à ZCAS.

Os VCMs são caracterizados pela concentração de vorticidade relativa ciclônica nos baixos e médios níveis, com ordem de magnitude próxima ao parâmetro de Coriolis (Johnson, 1982). Esses sistemas formam-se tanto nos trópicos como em latitudes médias e “é gerado dentro de um ambiente estratiforme na região da ZCAS, suga a umidade, acelera os ventos na vertical provocando intensa precipitação” (QUADRO, DIAS, HERLIES, 2016, p.274). Quadro (2012) mostra a importância da atuação deste sistema de mesoescala, que se origina na região estratiforme da ZCAS, e é responsável por intensos índices pluviométricos nas áreas onde atua. Nos dois casos analisados no trabalho os mesovórtices apresentam características marcantes, como ciclo de vida inferior a 24 horas, escala espacial de aproximadamente 200 x 200 km², intensa precipitação, deslocamento no mesmo sentido do escoamento na baixa troposfera.

Em função disso, o objetivo principal deste trabalho é analisar a ocorrência da formação de mesovórtices, durante um episódio de ZCAS nos dias 11 e 12 de Janeiro de 2011, para identificar os níveis troposféricos de sua atuação, assim como sua associação com a ZCAS.

METODOLOGIA

Com o fim de identificar a formação e atuação do VCM associado ao evento de ZCAS deste estudo, foi conduzida uma análise das condições sinóticas com base nos dados da reanálise do modelo numérico de previsão de tempo *Global Forecast System* (GFS), rodado atualmente e disponibilizado pelo *National Center for Environmental Prediction* (NCEP). Este modelo foi escolhido pois possui uma resolução espacial (1° x 1° de latitude e longitude) e disponibiliza informações meteorológica em 26 níveis atmosféricos de pressão, sendo 19 na troposfera e 5 nas demais camadas da atmosfera. Para a visualização dos dados foi utilizado o aplicativo operacional GrADS (DOTY, 1995).

Os dados utilizados no estudo foram as componentes zonal (uwnd) e meridional (vwnd) para cada um dos em 19 níveis de pressão (1000hPa, 975hPa, 950hPa, 925hPa, 900hPa, 850hPa, 800hPa, 750hPa, 700hPa, 650hPa, 600hPa, 550hPa, 500hPa, 450hPa, 400hPa, 350hPa, 300hPa, 250hPa e 200hPa). Posteriormente foram calculadas as variáveis derivadas vorticidade relativa e magnitude do vento com propósito de identificar a presença de vórtices em toda a extensão vertical da atmosfera, entre à 00Z do dia 11/01/2011 até à 18Z do dia 12/01/2011.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Sobre o evento

De acordo com o Boletim Climanalise (2011), a atuação de episódios de ZCAS, especialmente em meados de janeiro, associada às temperaturas da superfície do mar acima da média em parte da costa da Região Sudeste, contribuiu para o desastre ocorrido na Região Serrana do Rio de Janeiro. Associado a este comportamento, o campo de linhas de corrente e divergência de umidade em 850hPa, entre 11 e 16 de Janeiro, influenciaram diretamente sobre a área do VCM e de maior precipitação no evento, e transportou a umidade da Região Norte para o sul de Minas Gerais e Região Serrana do Rio de Janeiro. O campo de velocidade vertical *omega* em 500hPa, entre 11 e 16 de Janeiro, mostra valores negativos significativos, associados a intenso movimento ascendente do ar sobre o sul de Minas Gerais e norte do Rio de Janeiro. Em altos níveis, verifica-se divergência do vento horizontal em 200hPa em uma intensa área sobre a região de estudo. As imagens do satélite GOES-12 ilustram a presença da nebulosidade associada à circulação da Alta da Bolívia no dia 12, quando houve a formação de intensas áreas de instabilidade na maior parte do País.

Em resumo, a análise dos campos troposféricos configurou-se de acordo com a estrutura típica do

padrão climatológico da ZCAS, segundo o conceito apresentado na introdução, e contribuiu para a ocorrência de chuvas na região de estudo. Essa configuração resultou no desenvolvimento de profundas nuvens convectivas em uma atmosfera úmida e muito instável, associada à forte convergência de umidade gerada pelo escoamento na troposfera baixa (PINHEIRO; ANDRADE; MOURA, 2011).

3.2 Análise dos resultados

Na Figura 1 é possível observar um VCM em baixos níveis, que se estende dos níveis de 1000hPa a 950 hPa, na Zona Oceânica (ZOC) próxima ao litoral sul do Estado do Rio de Janeiro, aproximadamente na latitude 24°S e longitude 45°W. Ao norte do VCM, observa-se uma convergência do vento próximo às divisas do território de Minas Gerais e Rio de Janeiro, o que pode implicar no transporte de umidade e calor nestes níveis. Esta convergência acompanha o desenvolvimento vertical do vórtice na direção sul nos baixos níveis em direção à Região Serrana, local mais atingido pela chuva do fenômeno. Este escoamento contribuiu para a formação do VCM e os maiores índices pluviométricos na serra fluminense. Uma análise adicional mostra um forte gradiente de umidade em baixos níveis e a ZCAS continua contribuindo com fornecimento de umidade para o sistema através do seu escoamento em baixos níveis. O VCM localizado do litoral do Rio de Janeiro formou-se associados aos sistemas convectivos atuantes nesta região fortalecendo assim os índices pluviométricos.

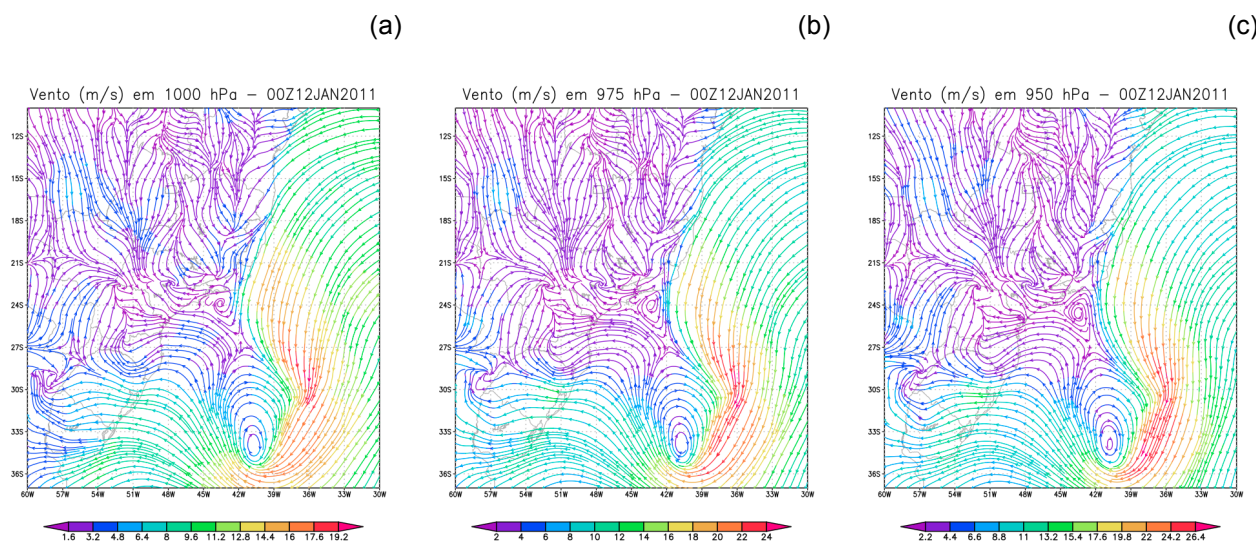


Figura 1 - Campo de Linhas de corrente, colorido pela magnitude do vento (m/s), as 00Z de 12/01/2011, para os níveis de (a) 1000hPa, (b) 975hPa e (c) 950 hPa.

Na Figura 2 é possível observar um VCM em médio níveis, que se estende de 550hPa a 400hPa, ao norte do Estado do Rio de Janeiro, por volta da latitude 21°S e longitude 42°W. No nível de 550hPa, o centro do vórtice encontra-se sobre Zona Continental Costeira (ZCC), entre as divisas do Rio de Janeiro com o Espírito Santo, enquanto nos níveis de 500hPa e 400hPa mostra-se presente na ZOC, associado a corrente de jato mais ao sul. De acordo com o Boletim Climanálise, o jato de altos níveis em 200hPa esteve presente com seu máximo sobre o Estado de Santa Catarina.

(a)

(b)

(c)

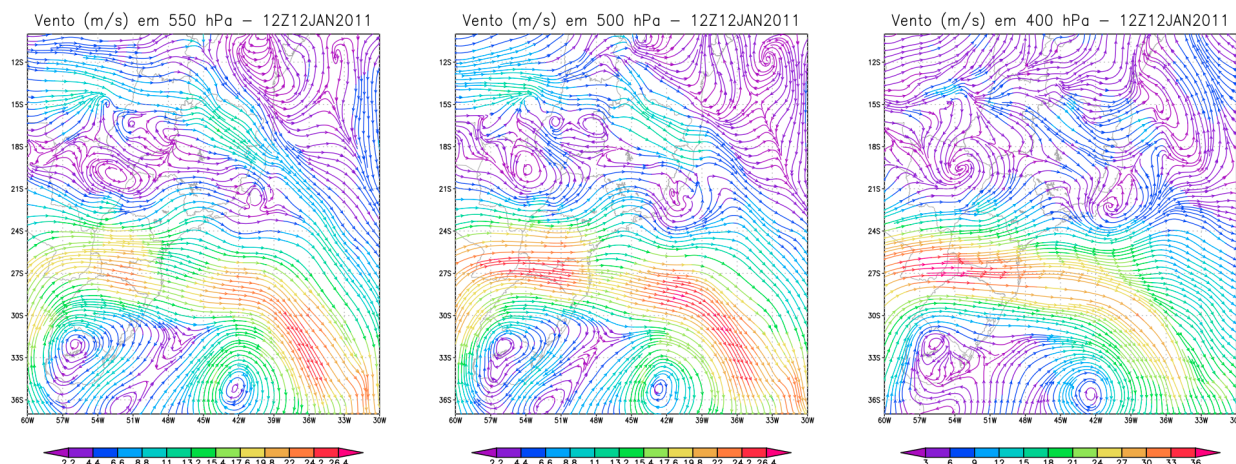


Figura 2 - Campo de Linhas de corrente, colorido pela magnitude do vento (m/s), as 12Z de 12/01/2011, para os níveis de (a) 550hPa, (b) 500hPa e (c) 400hPa.

O perfil vertical observado na cidade do Rio de Janeiro do dia 12/01/2011 às 00Z, próximo ao vórtice (Figura 3a), indica que a atmosfera está saturada em todos os níveis. O perfil vertical de 12/01/2011 das 12Z (Figura 3b) mostra também uma atmosfera saturada até 850 hPa e acima de 4 km de altura. Entre esses dois níveis se observa uma inversão de subsidência associada à intrusão do ar seco provocado pela divergência de massa, logo abaixo da região de máxima intensidade do VCM (2.3 km de altura). Nessa fina camada a atmosfera torna-se estável, mas volta a ficar instável em relação à adiabática úmida acima do nível de máxima vorticidade do vórtice (QUADRO, 2012).

(a)

(b)

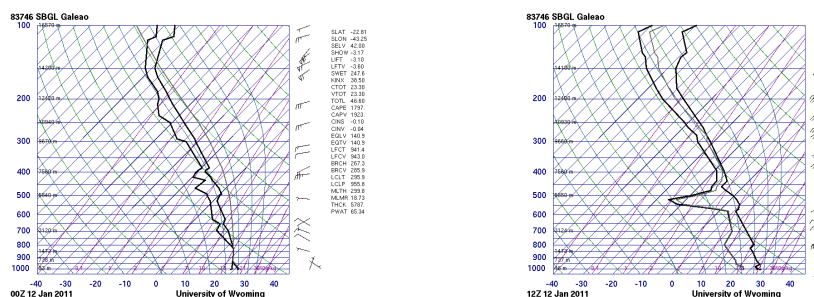


Figura 3 - Diagrama termodinâmico SkewT-LogP para o aeroporto do Galeão/RJ para 12Z de 12/11/2011. Fonte: Universidade de Wyoming: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

CONCLUSÕES

Neste trabalho realizou-se a análise da atuação de dois VCMs embebidos na região da ZCAS sobre o Estado de RJ entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011. Como resultados, foram evidenciadas algumas características típicas dos vórtices convectivos de mesoescala detectadas pelos pesquisadores Quadro, Dias e Herlies (2016). Foi identificado um VCM em baixos níveis às 00Z do dia 12 de janeiro de 2011 no litoral sul do Estado do Rio de Janeiro e uma convergência do vento próximo da Região Serrana, onde houveram os maiores acumulados de chuva, de acordo com os dados do INMET - Nova Friburgo e Teresópolis. As 12Z foi identificado um segundo VCM, desta vez sobre o litoral norte nos níveis de 550hPa e 400hPa, e sobre o continente no nível de 500hPa. Dessa forma, podemos associar a intensa precipitação com a presença dos mesovórtices.

O próximo passo do trabalho é usar métodos objetivos para identificação de vórtices, por meio de algoritmos, pelo método desenvolvido por Quadro (2012) e confrontar com aqueles apontados no presente artigo.

REFERÊNCIAS

- BANCO MUNDIAL. Avaliação de Perdas e Danos: Inundações e Deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro - Janeiro de 2011. Apoio do Governo do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://mi.gov.br/pt/c/document_library/get_file?uuid=74dde46c-544a-4bc4-a6e1-852d4c09be06&groupId=10157>. Acesso em: 12 ago. 2019.
- BRASILIENSE, C. S. et al. Synoptic analysis of an intense rainfall event in Paraíba do Sul river basin in southeast Brazil. *Meteorological Applications*, [s.l.], v. 25, n. 1, p.66-77, 23 ago. 2017.
- CLIMANÁLISE, 2011: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. v. 26, n. 1, jan. 2011. Disponível em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf11/jan11.pdf>>. Acesso em 10 ago. 2019.
- DOTY, B. The Grid Analysis and Display System. Distribuído via Internet. <http://grads.iges.org/grads>. 1995.
- FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; DIAS, Maria A. F. S. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [s. l.], v. 19, n. 1, p.89-98, jun. 2004.
- JOHNSTON, E.C. Meso-scale vorticity centers induced by meso-scale convective complexes. M. S. thesis, University of Wisconsin-Madison, 54 pp, 1982.
- PINHEIRO, H.; ANDRADE, K.; MOURA, C. A maior catástrofe climática do Brasil sob a visão operacional do CPTEC/INPE. 2011. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/11.23.16.17/doc/Pinheiro_A%20maior.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2019.
- QUADRO, M. F. L. de. Estudos de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. 1994. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.
- QUADRO, M. F. L. de. Estudo de Vórtices Ciclônicos de Mesoescala associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul. 2012. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Meteorologia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- QUADRO, M. F. L. de; DIAS, M. A. F. da S.; HERDIES, D. L. Análise de um Vórtice Ciclônico e Mesoescala Associado a ZCAS em Janeiro de 2009. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [s.l.], v. 31, n. 3, p.273-287, set. 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v31n3/0102-7786-rbmet-31-03-0273.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2019.
- QUADRO, M. F. L. de; PEZZI, L. P.; ROSA, E. B. O Climanálise e o monitoramento da ZCAS nos últimos 30 anos. Edição Comemorativa de 30 Anos do Climanálise, [s. l.], p.19-25, 2016. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/quadroetal.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.
- STRETEN, N. A. Some characteristics of the satelliteobserved bands of persistent cloudiness over the Southern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, [s. l.], v. 101, n. 6, p.486-495, 1973.
- TALJAARD, J. J. The clouds bands of the South Pacific and Atlantic Oceans. *Meteorological Monographs*, [s. l.], v. 13, p.189-192, 1972.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres (Org.). Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012. 2013.

ANEXO 3



VI ENMET RJ
ENCONTRO DE METEOROLOGIA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

III ENMET SC
ENCONTRO DE METEOROLOGIA DO ESTADO DE SANTA CATARINA

II SAEM
SEMANA ACADÊMICA DA ENGENHARIA METEOROLÓGICA

ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE VÓRTICES CICLÔNICOS DE MESOESCALA NO CASO DE ZCAS DE 11 A 21 DEZEMBRO DE 2008

Rafaelle Fraga De Santis¹, Mário Francisco Leal de Quadro²

¹Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina (rafaelledesantis@gmail.com), ²Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina (mquadro95@gmail.com)

Este trabalho objetiva analisar a ocorrência de vórtices ciclônicos de mesoescala (VCM) associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) entre os dias 11 a 21 de janeiro de 2008. A ZCAS é um fenômeno meteorológico caracterizado pela persistência da nebulosidade no sentido noroeste-sudeste, durante os meses do verão no Hemisfério Sul, e é responsável por acarretar altos níveis pluviométricos na América do Sul. Os VCMs encontram-se na média e baixa troposfera e, quando embebidos na área de ZCAS, “suga” a umidade, acelera o vento na vertical e provoca intensa precipitação. A detecção dos VCMs durante o evento de ZCAS do estudo foi conduzido com base nos dados de análises do modelo meteorológico de previsão do tempo *Global Forecast System* (GFS), com resolução espacial de 1° x 1° de latitude e longitude, e a utilização das componentes zonal (uwnd) e meridional (vwnd) em 20 níveis de pressão (1.000 hPa a 300 hPa), com o auxílio do aplicativo operacional GrADS. Foram identificados um total de 79 VCMs nos 11 dias de ocorrência do evento meteorológico. A maioria dos VCMs foi identificada no período noturno (24 às 00Z e 29 às 06Z) e em baixos níveis (11 em 1000 hPa, 11 em 975h PA e 14 em 950 hPa). Esse resultado reforça a influência da intensificação do Jato de Baixos Níveis (JBN) no período noturno. Quanto à distribuição espacial, concentraram-se mais ao norte, na ZCAS Continental Amazônica. Os VCMs mais intensos ocorreram nos dias 1, 9 e 10 das ZCAS e distribuídos entre os horários das 00Z, 06Z e 12Z, sem ocorrências no período das 18Z.

Palavras-chave: zona de convergência do atlântico sul; VCM; GFS.

ANEXO 4

19/12/2022 11:41

Gmail - Revista Brasileira de Meteorologia - Manuscript ID RBMET-2022-0082



Rafaelle De Santis <rafaelledesantis@gmail.com>

Revista Brasileira de Meteorologia - Manuscript ID RBMET-2022-0082

1 mensagem

Tatiana Alonso <onbehalfof@manuscriptcentral.com>

26 de setembro de 2022 18:44

Responder a: rbmet@rbmet.org.br

Para: rafaelledesantis@gmail.com

Cc: rafaelledesantis@gmail.com, mquadro@ifsc.edu.br, mquadro95@gmail.com

26-Sep-2022

Dear Sr. De Santis:

Your manuscript entitled "Análise da Ocorrência de Vórtices Ciclônicos Associados à Zona e Convergência o Atlântico Sul

Analysis of the Occurrence of Cyclonic Vortices Associated with the South Atlantic Convergence Zone" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in the Revista Brasileira de Meteorologia.

Your manuscript ID is RBMET-2022-0082.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to ScholarOne Manuscripts at <https://mc04.manuscriptcentral.com/rbmet-scielo> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging in to <https://mc04.manuscriptcentral.com/rbmet-scielo>.

Thank you for submitting your manuscript to the Revista Brasileira de Meteorologia.

Sincerely,
Revista Brasileira de Meteorologia Editorial Office