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

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/08.16.21.49-TDI

CICLO DE 5 DIAS DO VENTO EM BAIXOS NÍVEIS DURANTE O TRIMESTRE SECO DO CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA

Karlos André Câmara Ramalho

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Dr. Marcos Daisuke Oyama, aprovada em 22 de agosto de 2018.

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3RLCKHS>

INPE
São José dos Campos
2018

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Gabinete do Diretor (GBDIR)
Serviço de Informação e Documentação (SESID)
CEP 12.227-010
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/7348
E-mail: pubtc@inpe.br

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

Presidente:

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

Membros:

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

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

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

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

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

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

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

Murilo Luiz Silva Gino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

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

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/08.16.21.49-TDI

CICLO DE 5 DIAS DO VENTO EM BAIXOS NÍVEIS DURANTE O TRIMESTRE SECO DO CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA

Karlos André Câmara Ramalho

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Dr. Marcos Daisuke Oyama, aprovada em 22 de agosto de 2018.

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3RLCKHS>

INPE
São José dos Campos
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Ramalho, Karlos André Câmara.

R141c Ciclo de 5 dias do vento em baixos níveis durante o trimestre seco do Centro de Lançamento de Alcântara / Karlos André Câmara Ramalho. – São José dos Campos : INPE, 2018.

xxiv + 73 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/08.16.21.49-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.

Orientador : Dr. Marcos Daisuke Oyama.

1. CLA. 2. Ciclo do vento. 3. Análise espectral. 4. ASAS. 5. Wavelet. I.Título.

CDU 551.552

Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

Aluno (a): *Karlos André Câmara Ramalho*

Título: " CICLO DE 5 DIAS DO VENTO EM BAIXOS NÍVEIS DURANTE O TRIMESTRE SECO DO CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA"

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

Dr. Gilberto Fernando Fisch

Presidente / CTA/IAE / SJCampos - SP

( ) Participação por Video - Conferência

(X) Aprovado *( ) Reprovado*

Dr. Marcos Daisuke Oyama

Orientador(a) / IAE/DCTA / SJCampos - SP

( ) Participação por Video - Conferência

(X) Aprovado *( ) Reprovado*

Dr. Renato Galante Negri

Membro da Banca / CPTEC / Cachoeira Paulista - SP

( ) Participação por Video - Conferência

(X) Aprovado *( ) Reprovado*

Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu

Convidado(a) / UNIFEI / Itajubá - MG

( ) Participação por Video - Conferência

(X) Aprovado *( ) Reprovado*

Este trabalho foi aprovado por:

( ) maioria simples

(X) unanimidade

São José dos Campos, 22 de Agosto de 2018

“Existe apenas um bem, o saber, e apenas um mal, a ignorância”.

Atribuída a Socrates

A meus pais ***Wellington*** *e* ***Dalva***

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Força Aérea Brasileira, através do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), por me proporcionar essa oportunidade.

Ao orientador, Dr. Marcos Daisuke Oyama, pela atenção e paciência, e, principalmente, pela postura como orientador.

Aos colegas de turma de Meteorologia e da Divisão de Ciências Atmosféricas do IAE, sempre dispostos a ajudar.

E, finalmente, à família, que abdicou de momentos importantes de convivência em prol de minha progressão funcional.

RESUMO

Neste trabalho é caracterizado o Ciclo de 5 dias do vento em baixos níveis durante o trimestre seco do Centro de Lançamento de Alcântara (C5d). O ciclo é uma variabilidade que compreende uma banda de 3 a 9 dias, com picos médios em torno de 5 dias. As análises realizadas com base em dados da Torre Anemométrica do CLA e dados de reanálise do ERA-Interim sugerem que o ciclo ocorre, de forma típica, em cerca de um terço do trimestre SON, com significância estatística para 85% do período estudado. Os resultados mostram que o ciclo tem relação com as altas subtropicais do Atlântico Sul (OAS) e Norte (OAN) e, secundariamente, com anomalias de temperatura e ponto de orvalho (PO) na região do CLA. Períodos de máxima velocidade do vento ocorrem devido a alísios mais intensos que podem ser acelerados no limite continente oceano em dias relativamente mais quentes e secos. Períodos de mínima intensidade do vento ocorrem em dias de alísios menos intensos, resultado de menor influência das altas, os quais podem ser amplificados em cenários menos quentes e mais úmidos na região do CLA. A oscilação média de 5 dias é explicada, principalmente, pelas variações na configuração da ASAS em função dos transientes de latitude subtropicais.

Palavras-chave: CLA. Ciclo do vento. Análise espectral. ASAS. Wavelet.

5-DAY LOW-LEVEL WIND CYCLE DURING THE DRY QUARTER OF THE ALCÂNTARA LAUNCH CENTER

ABSTRACT

In this work the 5-day surface wind variability at Alcântara Launch Center (CLA), referred to as the "5-day cycle" (C5d), was studied for the the dry quarter (SON). The C5d is a variability in the 3 to 9 days band, with average power peaks at around 5 days. Data from the anemometric tower installed at the CLA and ERA-Iterim reanalysis were used. The results showed that the C5d strongly affects the wind signal in one-third of the dry quarter. The wind and pressure fields from the reanalysis data showed that the C5d is mainly related to changes in the position and strength of the Subtropical Highs. For instance, maximum (minimum) wind speed in the C5d occurs when the South Atlantic Subtropical High is stronger (weaker) and located west (east) of the climatological position. For a case when the C5d affected the CLA, a simulation with the WRF model ratified that the cycle is mainly influenced by the large scale circulation; mesoscale features had a complementary effect.

Keywords: CLA. Spectral analysis . Wavelet. Spectral analysis. Wind cycle.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

2.1 Análise de TO do vento meridional em 700 hPa sobre o Atlântico. Média do Módulo da TO (ms^{-1}) no período de (1968-1998). 8

3.1 Área de estudo 11
3.2 TA do CLA. 12
3.3 Representação da ondaleta de Morlet. 15
3.4 TO aplicada à velocidade do vento (m/s), para o trimestre SON de 1999 16
3.5 Comparação entre a série histórica da velocidade do vento (em preto), a série filtrada (em vermelho) e os valores de SWAP (em verde). . . . 17
3.6 Comparação entre entre os valores de SWAP da TA e da reanálise para os anos 1996, 1999, 1998 e 1999. 18
3.7 Domínios utilizados na simulação. 22

4.1 Espectros de potência das séries temporais anuais da TA. 23
4.2 Picos de potência da TWR. 24
4.3 Frequência comparativa entre os dias em que houve significância estatística para o C5d_OBS e os dias em que ocorreu de forma bem marcada (SWAP $\geq 0,4$). 25
4.4 Frequência de direção e velocidade média do vento para o trimestre SON. 27
4.5 Espectros de potência das séries temporais anuais extraídas do ERA-Interim. 29
4.6 Picos de potência da TWR X REA. 30
4.7 Frequência comparativa entre o C5d_ e o C5d_REA para os dias os ciclos ocorreram de forma clara (SWAP $\geq 0,4$). 30
4.8 Frequência de direção e velocidade média do vento para o trimestre SON. 31
4.9 Campos médios diários de PNMM e velocidade do vento dos dias 20 e 23-nov-2013, máximos e mínimos do C5d_REA, respectivamente. . . 33
4.10 Evolução diária dos campos médios diários de PNMM e vento a partir de 8 m/s do período de máxima à mínima do C5d_REA para o período de 20 a 23-nov-2013. 35
4.11 Campos médios diários de PNMM e velocidade do vento para 10-nov-1996, período de máxima velocidade do vento, e 12-set-2013, período de mínima velocidade do vento. 38

4.12 Teste *t-Student* para diferença da média da velocidade do vento e PNMM do período de máximo em relação à média do trimestre SON para o C5d_REA (35 casos). 42
4.13 Teste *t-Student* para diferença da média da temperatura e do PO do período de máximo em relação à média do trimestre SON para o C5d_REA (35 casos). 43
4.14 Teste *t-Student* para diferença da média da velocidade do vento e PNMM do período de mínimo em relação à média do trimestre SON do C5d_REA (35 casos). 44
4.15 Teste *t-Student* para diferença da média da temperatura e PO do período de mínimo relação à média do trimestre SON do C5d_REA (35 casos). 45
4.16 Teste *t-Student* para diferença de velocidade média do vento e PNMM do período de máximo em relação à média do trimestre SON do C5d_REA (55 casos). 47
4.17 Teste *t-Student* para diferença de temperatura média e PNMM do período de máximo em relação à média do trimestre SON do C5d_REA (55 casos). 48
4.18 Teste *t-Student* para diferença da média da velocidade do vento e PNMM do período de mínimo em relação à média do trimestre SON do C5d_REA (58 casos). 49
4.19 Teste *t-Student* para diferença da média da temperatura e PO do período de mínimo em relação à média do trimestre SON do C5d_REA (58 casos). 50
4.20 Teste *t-Student* para diferença da média da PNMM, temperatura e PO dos períodos de máximo e mínimo do trimestre SON do C5d_REA . . 52
4.21 TO aplicada à velocidade do vento (m/s), para o trimestre SON de 1999 56
4.22 Sequência de imagens de satélite GOES, canal infra-vermelho, do dia 22 a 25 de novembro de 1999. 57
4.23 Evolução diária dos campos médios diários de PNMM e vento a partir de 8 m/s do período 22 a 25-nov-1999. 58
4.24 Comparação entre série temporal de velocidade do vento da TA, do ERA-Interim e as saídas do WRF de 27, 9 e 3 km. 61
4.25 Comparação entre a saída da reanálise e a simulação do WRF de 27 km para os períodos de máximo e mínimo do ciclo. 63
4.26 Comparação entre a saída da reanálise e a simulação do WRF de 9 km para os períodos de máximo e mínimo do ciclo. 64

4.27 Comparação entre a saída da reanálise e a simulação do WRF de 27 km para os períodos de máximo e mínimo do ciclo. 65
4.28 Circulação em 850 hPa às 00:00 UTC em 26/11/1999. 66

LISTA DE TABELAS

Pág.

4.1 Comparação do comportamento da ASAS e ASAN no período de mínima velocidade do vento em relação ao de máxima durante a ocorrência do C5d_REA. 40
4.2 Resultado das estatísticas comparando as saídas de velocidade do vento dos dados de reanálise, simulações de 27, 9 e 3 km com o observado. 60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACA	–	Divisão de Ciências Atmosféricas
ACM2	–	Asymmetric Convective Model version 2
AEB	–	Agência Espacial Brasileira
AF	–	Análise de Fourier
ARW	–	Advanced Research WRF
AS	–	América do Sul
ASAN	–	Alta Subtropical do Atlântico Norte
ASAS	–	Alta Subtropical do Atlântico Sul
ASAS	–	Anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul
ATN	–	Atlântico Tropical Norte
BPI	–	Baixa térmica do Piauí
C5d	–	Ciclo de 5 dias do vento em baixos níveis durante o trimestre seco
C5d_OBS	–	Ciclo de 5 dias do vento baseado em dados observados
C6d_REA	–	Ciclo de 5 dias do vento baseado em dados de reanálise
CLA	–	Centro de Lançamento de Alcântara
CLP	–	Camada Limite Planetária
COI	–	Cone de Influência
DCTA	–	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
DOL	–	Distúrbio Ondulatório de Leste
Meteorológica ECMWF	–	European Center for Medium Range Weather Forecast
EM	–	Erro Médio
EMA	–	Estação Meteorológica de Altitude
EMS	–	Estação de Superfície
GFS	–	Global Forecast System
HN	–	Hemisfério Norte
HS	–	Hemisfério Sul
IAE	–	Instituto de Aeronáutica e Espaço
Inpe	–	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JAS	–	julho-agosto-setembro
LAF	–	*lagged average forecast*
LSM	–	*Land Surface Model*
MCGA	–	Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
NCAR	–	*National Center Atmospheric Research*
NEB	–	Nordeste do Brasil
OAC	–	Oceano Atlântico Central
OAN	–	Oceano Atlântico Norte
OAS	–	Oceano Atlântico Sul
OL	–	Onda de Leste
OMM	–	Organização Meteorológica Mundial
Pndae	–	Política Nacional de Desenvolvimento das Ativi- dades Espaciais

PNMM	–	Pressão ao Nível Médio do Mar
PO	–	Ponto de orvalho
RegCM	–	*Regional Climate Model System*
RMSE	–	Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático
SAWP	–	(scale averaged wavelet power)
SF	–	Sistemas Frontais
SON	–	setembro-outubro-novembro
ST	–	Série Temporal
TA	–	Torre Anemométrica
TF	–	Transformada de Fourier
TMI	–	Torre Móvel de Integração
TO	–	Transformada de Ondaletas
TSM	–	Temperatura da Superfície do Mar
UTC	–	Coordinated Universal Time
VCAN	–	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
VLS	–	Veículo Lançador de Satélites
WRF	–	Weather Research and Forecasting model
ZCIT	–	Zona de Convergência Intertropical

CONTEÚDO

Pág.

1 INTRODUÇÃO 1

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5

3 MATERIAIS E MÉTODOS 11

3.1 Área de estudo 11

3.2 Dados 11

3.2.1 Dados observacionais 11

3.2.2 Dados de reanálise 13

3.3 Metodologia de caracterização do ciclo 13

3.3.1 Análise de ondaletas 14

3.4 Delimitação dos períodos ativos 17

3.5 Comparação entre o ciclo observado e o ciclo da reanálise 18

3.6 Metodologia para análise de padrões de vento em baixos níveis e PNMM 19

3.6.1 O teste *t-Student* 19

3.6.2 Metodologia para as simulações 20

4 RESULTADOS 23

4.1 CARACTERÍSTICAS DO CICLO DE 5 DIAS 23

4.1.1 Características baseadas nos dados observados 24

4.1.2 Características baseadas nos dados da reanálise do ERA-Interim . 28

4.2 Campos de pressão e vento em baixos níveis durante a atuação do C5d_REA 32

4.2.1 *Análise de casos* 32

4.2.1.1 A influência da ASAS 33

4.2.1.2 A influência da ASAN 36

4.2.2 *Características comuns aos períodos de máxima e mínima velocidade do vento (conjunto I)* 39

4.2.3 *Padrões horizontais (conjunto I)* 42

4.2.3.1 *Períodos de máxima velocidade do ciclo* 43

4.2.3.2 *Períodos de mínima velocidade do ciclo* 44

4.2.4 *Padrões horizontais (conjunto II)* 46

4.2.4.1 *Períodos de máxima velocidade do ciclo* 46

4.2.4.2 *Períodos de mínima velocidade do ciclo* 48
4.2.4.3 *Subtração da média entre os períodos de máxima e de mínima* . 50
4.2.4.4 *Considerações finais sobre a parte observacional* 53
4.3 ESTUDO DE CASO E SIMULAÇÃO 54
4.3.1 Apresentação do caso 54
4.3.2 Simulação 60

5 CONCLUSÕES 67

Referências 69

1 INTRODUÇÃO

O Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) é uma organização militar subordinada diretamente ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), do Comando da Aeronáutica. O DCTA integra o Sistema Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (Sindae). Juntamente com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), o DCTA é responsável pela execução das políticas estratégicas determinadas pela Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (Pndae), cuja coordenação cabe à Agência Espacial Brasileira (AEB)[1]. O CLA é o local de lançamento dos foguetes brasileiros tais como o Veículo Lançador de Satélites (VLS) e foguetes de sondagem (VS40, por exemplo).

Considerando que um dos principais fatores limitantes às operações de lançamento de veículos espaciais no CLA é a ocorrência de ventos intensos (i.e., acima de um certo limiar), vários estudos sobre as características do vento na região do CLA foram realizados. Estes trabalhos tratam, principalmente, da caracterização da turbulência e do perfil do vento na camada limite superficial (MARCIOTTO et al., 2012), da influência da falésia e da Torre Móvel de Integração (TMI, onde os veículos espaciais ficam abrigados) no escoamento atmosférico nos níveis mais baixos da atmosfera (AVELAR et al., 2012) e da modelagem da dispersão de gases (SCHUCH, 2017). Em síntese, os estudos mostram que o perfil de vento nos níveis mais baixos da atmosfera pode ser modelado como uma função potencial da altura, a falésia gera uma camada limite interna que pode afetar a TMI, ocorre uma clara recirculação do ar devido à presença da TMI, e os gases provenientes do foguete podem atingir a cidade de Alcântara. A partir desses estudos, pode-se obter uma visão abrangente do comportamento do vento bem próximo ao local de lançamento no CLA, no interior da camada limite superficial. Para a previsão do vento, Silva e Fisch (2014) mostraram, utilizando o modelo WRF forçado por previsões globais do Global Forecast System (GFS), que as simulações representaram de forma razoável os perfis observados nas estações chuvosa e seca. O potencial da previsão numérica indicado por esse trabalho foi ratificado na Operação Raposa, realizada no período de 12/08 a 04/09/2014 no CLA, quando as simulações numéricas com o WRF auxiliaram a escolha da janela de lançamento (SOUZA, 2015).

Apesar de, para o CLA, as características do vento em escala local estarem relativamente bem determinadas e haver um potencial promissor da modelagem

[1] Disponível em http://www.aeb.gov.br/institucional/sobre-a-aeb/

numérica para assistir o seu prognóstico, ainda há uma lacuna em relação ao entendimento dos ciclos não-diários do sinal do vento nas escalas de interesse à previsão do tempo de curto prazo. Um ciclo, com periodicidade de 4-9 dias, 5 dias em média, identificado com base nos dados da velocidade do vento da Torre Anemométrica (TA) a 70 m de altura constitui o Ciclo de 5 Dias Observado (C5d_OBS). Ele é recorrente em missões de lançamento de foguetes no CLA (R. F. C. Marques, A.S. Souza, 2013, comunicação pessoal) e também foi identificado por Marciotto et al. (2012) nos dados de vento a 10 m e por Reuter () nos dados de pressão de microbarógrafo, durante a campanha Murici-2, realizada em setembro de 2008.

Apesar de o trabalho ter sido motivado por necessidade operacional do CLA, o estudo pode contribuir, também, para áreas como energia eólica, segurança aérea, marítima e ondas.

Na literatura, há diversos trabalhos baseados em dados observacionais e de modelagem que descrevem essa variabilidade. Dentre eles, o de HOVEN (1957), que foi um dos pioneiros. Com base em dados observados a 91 e 125 m de altura em uma localidade nos Estados Unidos (Brookhaven, 40°N, 72°W), o autor foi um dos primeiros a encontrar picos de energia no período de 4 dias, o qual atribuiu a distúrbios transientes de escala sinótica.

Em latitudes tropicais, Hwang (1970) realizou estudo semelhante num conjunto de ilhas do Pacífico tropical e também conseguiu identificar o ciclo de 4-6 dias como pico de maior densidade de energia no espectro.

Por outro lado, estudos mais recentes (MOLION; BERNARDO, 2002; TAVARES, 2008; DEGOLA, 2013) tem apontado a importância dos sistemas transientes de latitudes médias na modulação do tempo no Nordeste do Brasil, mostrando um caminho intermediário.

Em síntese, a literatura mostra que há variabilidades compatíveis com o C5d em latitudes equatoriais e subtropicais. Apesar da carência de estudos mais detalhados sobre as causas dessa oscilação, os autores sugerem, ainda que de forma superficial, que em latitudes equatoriais, a oscilação em torno de 5 dias é associada a DOLs e, em latitudes subtropicais aos transientes de latitudes médias.

No geral, o objetivo desse trabalho é entender melhor a dinâmica dos ciclos não diários da velocidade do vento no CLA tendo em vista a necessidade operacional

do melhoramento contínuo das previsões meteorológicas. Mais especificamente, pretende-se: (i) caracterizar o ciclo na velocidade do vento no CLA com base em dados observacionais da TA e de reanálise; (ii) analisar os padrões de escoamento e pressão ao nível médio do mar (PNMM) associados ao ciclo; e (iii) verificar, através de simulação numérica para um caso específico, a contribuição das forçantes locais para o ciclo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O trabalho de HOVEN (1957) foi um dos pioneiros em análise espectral do vento com base em dados observacionais na camada limite superficial. Nele, foram analisadas as densidades do espectro de energia da velocidade horizontal do vento entre as frequências de 0,0007 a 900 ciclos por hora com base em dados de 91 a 125 m em uma localidade nos Estados Unidos (Brookhaven, 50°N, 72°W). O autor encontrou os maiores picos de densidade do espectro de energia nos períodos de 4 dias e 1 minuto. Assim, ele concluiu basicamente que os ciclos estariam associados a distúrbios de pressão transientes de escala sinótica e à turbulência micrometeorológica, respectivamente.

Hwang (1970) realizou estudo semelhante num conjunto de ilhas do Pacífico tropical (Palmyra, 5,8°N, 162,2°W; Fanning, 3,9°N, 159,3°W e Christmans, 1,9°N, 157,3°W) nos níveis de 2-12 m. O autor analisou o espectro de energia da velocidade horizontal do vento entre as frequências de 0,002-200 h e, assim como Van der Hoven (1956), também conseguiu identificar o ciclo de 4-6 dias como pico de maior densidade de energia no espectro.

Mori (1988), por meio de análise espectral da velocidade horizontal do vento no Pacífico subtropical nas Ilhas Marcus (24°N, 154°E), nas frequências de 10-8-10-5 Hz (período de 6 horas a 3 anos), também identificou um máximo de energia cinética num período em torno de 4-6 dias, seguido de um ciclo de 14-22 dias, além do ciclo diário e variabilidades intradiárias. O autor mostrou que o pico de 4-6 dias ocorre no inverno boreal e estaria associado a passagem de ciclones e anticiclones ao norte das ilhas. Evidenciou, também, que no verão boreal predominam picos de energia maiores que o de 4-6 dias. O autor compara seu estudo ao de outros (HOVEN, 1957; HWANG, 1970) e conclui que o ciclo de 4-6 dias é comum a todos os trabalhos. Sugere ainda que o ciclo estaria associado a sistemas transientes de pressão em latitudes subtropicais e, nas equatoriais, a DOLs e outras ondas.

Chellali et al. (2010) estudaram o comportamento da velocidade do vento na Argélia, através de Transformada de ondaletas (TO), nas frequências de 0,01 a 2,4 ciclos/dia (período de 10h a 90 dias). Os dados de velocidade do vento foram coletados a 10 m, em 6 sítios com características diferentes, alguns com influência marítima e topográfica. Os resultados indicaram que o comportamento do vento possui significativa sazonalidade e muda conforme a influência da topografia. Entre os ciclos identificados, o de 9-13, de escala sinótica, foi o único que persistiu em

todos os sítios.

No Brasil, Moura e Carneiro (2014), ao realizarem um estudo sobre a climatologia dos ventos na costa leste de Alagoas, através de Transformada de Ondaletas (TO), identificaram os ciclos de 1 dia, 4-5 dias, 8-16 dias e 11-21 dias. Eles concluíram que os sinais referentes ao ciclo de 4-5 dias possuem maior velocidade e frequência no período seco (dezembro a fevereiro) e poderiam estar associados a atuação de DOLs.

No CLA, Marciotto et al. (2012), ao analisarem dados de velocidade horizontal do vento a 10 m, através de Transformada de Fourier (TF) identificaram picos de energia nas frequências de 0,25, 1,0, 2,0 e 3 dia $^{-1}$ no CLA. As frequências correspondem aos ciclos de 4 dias, 1 dia, 12 e 8 h, respectivamente. Os autores, apesar de advertirem sobre o período curto de sua série, sugeriram que o ciclo de menor frequência estaria associado a perturbações ondulatórios de escala maior. Acrescentaram, também, que durante o mesmo período (setembro de 2008), Reuter () identificou perturbações no campo da pressão em superfície, e sugere uma possível relação entre essas oscilações e a variabilidade na velocidade do vento encontrada em sua série. Recentemente, CORRÊA et al. (2017) realizaram estudo de previsão climática de vento para o CLA no período de agosto a dezembro de 2015 com o modelo *Regional Climate Model system* (RegCM4) nos níveis de 925 a 200 hPa. Os autores encontraram um ciclo com variabilidade de 3-5 dias na velocidade do vento em níveis baixos ao realizarem *downscaling* climático.

A literatura, portanto, mostra que o C5d_OBS, com ligeiras variações, tem sido detectado desde os primeiros estudos de análise espectral da velocidade horizontal do vento, baseados em dados observacionais, na camada limite superficial. A hipótese inicial, de que o ciclo esteja relacionado a DOLs em latitudes baixas, parece ser a preferida entre os autores (HWANG, 1970; MORI, 1988). Assim, a seguir, realiza-se uma breve revisão dos trabalhos que abordam os DOLs que afetam o NEB.

Segundo Machado et al. (2009), os DOLs mais conhecidos e estudados são os africanas, uma vez que modulam a convecção no oeste desse continente e, por vezes, originam fortes tempestades (que podem se tornar furacões) no Atlântico Tropical. Em geral, os estudos têm apontado que esse sistema atmosférico ocorre durante todo o ano, com maior atividade no inverno austral e características que variam em função da localização e estação do ano. Os DOLs possuem comprimento de onda que varia de 3000 a 6000 km, aproximadamente, velocidade

de fase 6 a 13 ms^{-1}, periodicidade de 3 a 9 dias e podem ocorrer entre 10° E e 50° W em latitudes tropicais, principalmente.

Diedhiou et al. (2010) realizaram uma climatologia de 31 anos (1968-1998) com as principais características cinemáticas dos DOLs no Atlântico Tropical. Os autores aplicaram técnicas de correlação, TO e TF em dados da velocidade horizontal do vento em 700 hPa. Eles evidenciaram dois ciclos que atuam de forma independente em função da localização e estação do ano: o ciclo de 3-5 e o de 6-9 dias. O ciclo de 3-5 dias tem potência de sinal maior na análise espectral e ocorre durante todo o ano, apesar de possuir maior atividade nos meses de julho-agosto-setembro (JAS). Esse ciclo ocorre preferencialmente em latitudes equatoriais com comprimentos de onda maiores que 4000 km e velocidades superiores a 10 ms^{-1}. O ciclo de 6-9 dias ocorre, preferencialmente, em latitudes mais altas, com magnitude e comprimento de onda menores e pode atuar simultaneamente com o de 3-5 dias, exceto no período JAS. A Figura 2.1 mostra o módulo da TO para as latitudes 5°S, 30°W e 12°S, 30°W. Em 5°S, Figura 2.1a, há uma concentração de energia no período de 3-5 dias durante todo o ano, com maior intensidade em JAS. Em 12,5°S (Figura 2.1b), a energia encontra-se distribuída entre os períodos de 3 a 9 dias, com exceção do período JAS, no qual predomina o ciclo de 3-5 dias. Para o CLA (Figura 2.1c), o espectro assemelha-se ao de 5°S com energias distribuídas em períodos mais longos.

Os resultados de Diedhiou et al. (2010) confirmam aqueles obtidos para o CLA por Coutinho e Fisch (2007) e Marques e Oyama (2009) no que se refere à periodicidade dos distúrbios (3-6 dias e 3-5 dias, respectivamente). Coutinho e Fisch realizaram um estudo climatológico no período de 1988 a 1997 identificando a passagem de DOLs a partir da mudança do sinal do vento meridional. Foram encontrados 64, 96 e 100 eventos nas camadas de 850-700, 700-500 e 850-500 hPa, respectivamente, distribuídos ao longo de todo o ano. Marques e Oyama, utilizando a TO nos dados de vento horizontal de 5 anos (1982-1986), também haviam constatado a ocorrência de DOLs durante o todo o ano nos níveis de 700 e 500 hPa.

Não se pode descartar, também, que casos específicos da atuação do C5d_OBS possam, de alguma forma, estar associados a sistemas transientes do Sul/Sudeste (como Sistemas Frontais-SF) que atingem latitudes mais baixas. Molion e Bernardo (2002) afirmaram que a penetração de sistemas frontais em latitudes baixas perturba o campo dos alísios, e essa perturbação poderia resultar em um ciclo

Figura 2.1 - Análise de TO do vento meridional em 700 hPa sobre o Atlântico. Média do Módulo da TO (ms^{-1}) no período de (1968-1998).

No eixo da abscissas, o período com variação diária, nas ordenadas, o período de cada ciclo ; (a)5°S, 30°W; (b) 12°S, 30°W; (c) CLA, 2.5°S, 45°W .

Fonte: Adaptado de Diedhiou et al. (2010).

no sinal do vento na costa do leste do NEB. Por exemplo, Marques (2004), ao investigar as origens de uma redução significativa na velocidade do vento durante uma operação de lançamento de foguetes em novembro de 1999, mostrou que SF podem alterar o escoamento sobre o CLA. A autora evidenciou uma forte confluência de ventos no Atlântico Sul associada a um SF que se estendeu para o continente, até o Estado de Minas Gerais. Esse padrão associado a ventos de leste, em latitudes mais baixas, originou uma crista sobre o NEB (23 de novembro), a qual se intensificou e deu origem a um anticiclone que permaneceu na região por mais 2 dias. O anticiclone causou uma diminuição na velocidade e uma mudança na direção do vento para noroeste. Tavares (2008), ao estudar a influência de SF no NEB e no CLA, constatou que a maioria das incursões frontais que chegam ao norte de 17°S conseguem influenciar a atmosfera do CLA, mesmo que não

consigam alcançar a localidade. A influência ocorreria nas variáveis de pressão, temperatura, velocidade e direção do vento no CLA.

Considerando que o regime de ventos na região equatorial é denominado pelos alísios, e que, no CLA, eles representam a componente principal do vento resultante, torna-se importante analisar os padrões de deslocamento da ASAS, uma vez que a alta subtropical é a forçante desses ventos. Pezza (2003), ao realizar a climatologia das trajetórias dos anticiclones e ciclones na AS, sugere que a latitude de 40°S seja a preferencial para entradas de anticiclones migratórios na AS que chegam no oceano preferencialmente por volta de 30 a 35°S. Os resultados estão de acordo com a literatura que aponta essa região, de 25 a 42°S (SIMMONDS, 1990), como de grande incidência de anticiclone migratórios que, por sua vez, estão associados a sistemas frontais. Ainda segundo Pezza (2003), em geral os anticiclones migratórios entrem na AS, pelo pacífico, entre as latitudes de 35 e 45°S, e saem para o Atlântico em média entre 25 e 35°S , vindo mais tarde fundir-se com a Alta Subtropical do Atlântico Sul.

Trabalhos mais recentes, no OAS, tem investigado o papel exercido pela Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) na modulação do tempo no Nordeste Brasileiro (NEB). As conclusões são de que o deslocamento longitudinal da ASAS está amplamente associado às condições de tempo no NEB (MOLION; BERNARDO, 2002) e de que esse padrão de deslocamento estaria associado a sistemas transientes de latitudes médias (ITO, 1999). A posição da ASAS estaria diretamente relacionada a passagem de sistemas frontais e a sua variação longitudinal seria maior em períodos de maior atividade ciclônica (DEGOLA, 2013).

Com relação ao comportamento do vento no NEB, o mesmo Autor sugere que a intensidade da magnitude do vento aumenta (diminui) quando a ASAS está mais a oeste (leste) de sua posição climatológica. A passagem de sistemas transientes posicionaria a ASAS mais a leste de sua posição climatológica ocasionando uma diminuição na magnitude da velocidade do vento. Como consequência, o deslocamento longitudinal da ASAS seria amplamente modulado por esses sistemas e estaria sujeito a mesma variabilidade, assim como as variáveis de tempo a ela correlacionadas. Em síntese, a alternância de anticiclones e sistemas frontais em torno de 30°S alteraria a configuração da ASAS o que se traduziria em oscilações no campo dos ventos alísios de SE compatíveis com a oscilação objeto de estudo desse trabalho.

Em síntese, a literatura associa a ocorrência do ciclo a DOLs em latitudes equa-

toriais e a sistemas transientes em latitudes subtropicais, apesar de trabalhos mais recentes apontarem a influência de transientes no NEB. Considerando que a ASAS influência diretamente o regime de ventos no NEB e que seu posicionamento seja modulado, principalmente, pelo atividade de transientes é razoável admitir que, mesmo em latitudes equatoriais ocorra a influência de SFs, memso que indiretamente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O CLA fica no NEB, a cerca de 20 km de São Luís – MA, na costa litorânea (Figura 3.1). Sua proximidade do Equador, 2,5°S, torna-o uma região privilegiada para o lançamento de foguetes devido à economia de combustível.

Figura 3.1 - Área de estudo

Painel esquerdo: localização do Município de Alcântara; painel direito: no detalhe, setor de Meteorologia.

Fonte: Gisler et al. (2011)

3.2 Dados

3.2.1 Dados observacionais

Neste trabalho são utilizados dados observacionais, período de 1996 a 2015, da TA do CLA (Figura 3.2) durante o trimestre seco (setembro-outubro-novembro, SON). Esses dados, na variável velocidade do vento, são utilizados para definir o C5d_OBS.

Os dados são coletados de sensores a 112 m de altitude, nível 6 da TA. A torre fica ao lado da plataforma de lançamento, distante 600 m da costa. O anemômetro utilizado para a coleta é do tipo aerovane, modelo 05106, *Traverse city-MI*, USA da R. M *Ypung*, calibrado rotineiramente no túnel de vento do Instituto de Aeronáutica

e Espaço (IAE).

Figura 3.2 - TA do CLA.

Painel esquerdo: TA do CLA com sensores anemométricos; painel direito: detalhe do sensor anemométrico.

Fonte: Gisler et al. (2011)

Os dados são transmitidos automaticamente para o Setor de Meteorologia do CLA através de fibra ótica. Um sistema de aquisição de dados da *CR-7 Campbell Scientific Instrument* (*Logan-UT, USA*) gerencia o processo. Os sensores têm taxa de amostragem de 0,5 Hz e os dados são armazenados em intervalos de 10 minutos por meio de arquivos mensais com informações de direção e velocidade do vento, dentre outras.

O pré-processamento consiste no tratamento dos dados brutos disponibilizados pela Divisão de Ciências Atmosféricas (ACA) do IAE através de rotinas automatizadas em linguagem Fortran. O objetivo dessa etapa é fornecer o arquivo de entrada para a TO e consiste em:

- Levantamento da disponibilidade de dados durante o trimestre SON na série histórica de 1995 a 2016 do Banco de dados do IAE. Considerou-se anos em que havia disponibilidade de, pelo menos, 80% dos dados, conforme prescreve a Organização Meteorológica Mundial (OMM). De acordo com esse critério, são escolhidos os anos de 1996, 1997, 1998, 1999, 2005, 2012, 2013, 2014 e 2015 para a caracterização C5d_OBS.

- Transformação de médias de 10 minutos da velocidade e direção do vento em médias horárias.
- Interpolação linear de dados ausentes inferiores a 4 horas e, para os demais casos, realização de médias móveis até um limite de 5 dias em um mês; e
- Obtenção do arquivo de entrada para TO filtrando-se o ciclo diário através da aplicação de média móvel de 12 horas com o objetivo de visualizar melhor o ciclo de interesse.

3.2.2 Dados de reanálise

Os dados de reanálise são obtidos do banco de dados do ERA-Interim do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF)[1] no período de 1979 à atualidade, com saídas às 00, 06, 12 e 18 UTC (Coordinated Universal Time). Os dados tem resolução horizontal de 0,75° (aproximadamente 79 km) e 60 níveis na vertical, com topo em 0,1 hPa. Para maiores detalhes, consultar Berrisford et al. (2011).

Os dados são utilizados para plotagem dos campos da análise sinótica, para a caracterização do ciclo da reanálise, para condição inicial e de fronteira lateral das grades utilizadas nas simulações. As variáveis escolhidas para a análise sinótica são pressão ao nível médio do mar (PNMM), temperatura, ponto de orvalho (PO), componentes zonais e meridionais do vento. O nível escolhido é o de 1000 hPa (aproximadamente 100 m), nível mais próximo ao dos dados observados, 112 m de altitude.

3.3 Metodologia de caracterização do ciclo

A TO é escolhida por proporcionar a decomposição da série temporal no espaço-tempo, em substituição à análise harmônica tradicional - Transformada de de Fourier (TF) - que o faz apenas no domínio da frequência. Através da TO, é possível analisar os intervalos de tempo em que uma escala de interesse (variabilidade) possui maior potência e se consegue localizar os ciclos envolvidos em séries temporais (ST) no domínio do tempo. A TF torna-se, então, ineficiente para o fim específico desse trabalho (FARGE, 1992; TORRENCE; COMPO, 1998; BOLZAN, 2006).

[1] disponíveis em https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/archive-datasets/reanalysis-datasets/era-interim

3.3.1 Análise de ondaletas

As ondaletas são funções em forma de onda geradas a partir da translação e dilatação de uma função original, a ondaleta-mãe, $\psi_0(t)$. A TO é obtida a partir da TF através de uma operação linear conforme mostrado em Daubechies (1992). Matematicamente, a equação 3.1 mostra a função ondaleta geradora em função de ψ_0:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi_0(t)\frac{t-b}{a}; a \neq 0 \tag{3.1}$$

Onde *a* é o fator de escalonamento (contração e dilatação); *b*, o fator de translação; $\frac{1}{\sqrt{a}}$ é o fator de normalização da energia da ondaleta e $\psi_{a,b}(t)$ as ondaletas filhas, que são geradas por:

$$\psi_a(t) = \psi_{0(t-a)} \longrightarrow \quad \texttt{Translação} \tag{3.2}$$

$$\psi_b(t) = \psi_{0(t-b)} \longrightarrow \quad \texttt{Escalonamento} \tag{3.3}$$

A análise em ondaletas é feita a partir da variação dos parâmetros *a* e *b* os quais permitem a decomposição do sinal da ST original das frequências no domínio do tempo. Conforme o sinal e o objetivo do estudo, escolhe-se o tipo de ondaleta; a de Morlet (Figura 3.3) é apropriada aos sinais meteorológicos (WENG; LAU, 1994). A função ondaleta base de Morlet é definida como:

$$\psi_0(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} e^{i\omega_0 t} e^{-\frac{1}{2}t^2} \tag{3.4}$$

Onde o termo $e^{-\frac{1}{2}t^2}$ é o envelope gaussiano; ω_0 uma frequência adimensional de valor 6 (valor sugerido por Torrence e Compo (1998) e *t* cada valor da série temporal. O sinal da TO de Morlet, com $\omega_0 = 6$ é mostrado na Figura 3.3. Linha sólida representa a parte real e a tracejada, a parte imaginária.

Para identificação do ciclo, a transformada de ondaleta (TO) é aplicada à velocidade do vento dos dados observados pré-processados (seção 3.2.1) e de reanálise. O pré-processamento dos dados de reanálise consiste na filtragem do ciclo diário. Antes de serem aplicados à TO, os dados são adimensionalizados através do

Figura 3.3 - Representação da ondaleta de Morlet.

Parte Real (Linha Sólida) e Parte Imaginária (Linha Pontilhada).

Fonte: Torrence e Compo (1998).

seguinte procedimento:

- Calculam-se a média (μ) e o desvio padrão (σ) da série temporal;
- o dado adimensionalizado é obtido através de $\acute{x}$ = (x-μ)/σ, onde x é o dado original e $\acute{x}$, o dado adimensionalizado.

Neste trabalho, aplicou-se a TO em dados observados de velocidade da velocidade do vento da TA e reanálise. A ondaleta mãe é a de Morlet e o software utilizado é o do pacote de (TORRENCE; COMPO, 1998) em linguagem Fortran, disponível em `http://paos.colorado.edu/research/wavelets/software.html`.

A Figura 3.4 mostra a saída para o trimestre SON de 1999. De acordo com a Figura, observa-se:

No painel I, a série temporal adimensionalizada. Setas vermelhas indicam a ocorrência de um ciclo completo: dia 17, período de mínimo; 22, de máximo e 25, novamente, de mínimo.

No painel III, a potência local, uma medida de variância no tempo associado a cada período (escala). Observa-se que para o ciclo específico, 17 a 25-nov-199, há valores de variâncias superiores a 60 correspondentes ao período entre 6 e 9 dias (eixo das ordenadas). As linhas côncavas nas extremidades apontam para a área onde os efeitos de borda são importantes, o chamado cone de influência (COI). Devido a isso, é necessário que o intervalo da série temporal seja superior ao escopo do trabalho. Nesse estudo, considerou-se os meses de agosto e dezembro para evitar o efeito de borda no trimestre SON.

O painel IV traz o espectro global de energia obtido a partir da Eq. 22 de Torrence e Compo (1998) e que representa uma média de potência para cada período

específico, nesse caso, observa-se um pico entre 6 e 9 dias. Corresponde ao espectro de *Fourier* da análise harmônica tradicional. A linha vermelha aponta o nível de 0,05 para o teste (95% de significância)

No painel II, a série de SWAP (*scale averaged wavelet power*), Eq. 24 de Torrence e Compo (1998), p. 73, é uma média para uma banda específica, no caso desse trabalho, a banda de interesse é a de 3 a 9 dias. Valores maiores de SWAP se traduzem em dias com maior importância estatística para o C5d_REA. A linha vermelha aponta o nível de 0,05 para o teste (95% de significância).

Figura 3.4 - TO aplicada à velocidade do vento (m/s), para o trimestre SON de 1999

TO aplicada à velocidade do vento (m/s) para o trimestre SON de 1999 no CLA. Painel I: série adimensionalizada e sem tendência; painel II: potência média em escala normalizada; painel III: espectro de potência local, áreas hachuradas: potência normalizada, eixo das ordenadas: período em anos; e eixo das abscissas: tempo em dias; e painel IV: espectro de potência global: no eixo das ordenadas, o período em dias, no eixo das abscissas, a potência normalizada. As linhas vermelhas delimitam a significância estatística de 95%. As setas vermelhas indicam os valores das variáveis durante um ciclo completo.

Fonte: Produção do autor.

3.4 Delimitação dos períodos ativos

Figura 3.5 - Comparação entre a série histórica da velocidade do vento (em preto), a série filtrada (em vermelho) e os valores de SWAP (em verde).

Comparação entre a série histórica da velocidade do vento (em preto), a série filtrada (em vermelho) e os valores de SWAP (em verde). No eixo das abcissas, o tempo em dias; nas ordenadas, os valores correspondem aos desvios da média para as séries da velocidade do vento, filtrada e de SWAP.

Fonte: Produção do autor.

A delimitação dos períodos ativos do C5d_OBS é feita em função de limiares da potência média em escala (SWAP) na banda entre 3 e 9 dias. O SWAP é diretamente proporcional à amplitude da velocidade do vento durante a atuação do ciclo. A rigor, valores de SWAP estatisticamente significativos (valores de SWAP entre 0,06 e 0,347 conforme o ano) já indicariam a atuação do ciclo, mas, para fins operacionais, é mais importante conhecer os períodos em que o ciclo ocorre de forma mais clara, ou seja, em que o sinal da velocidade do vento é dominado pelo ciclo. Por esse motivo, opta-se pela utilização de um limiar mais restritivo de SWAP - no caso, o valor de 0,4 - para delimitar os períodos de atuação do ciclo. Esse limiar é obtido subjetivamente a partir da comparação entre a série

original e a filtrada (obtida a reconstrução do sinal considerando somente a banda de 3 a 9 dias). Por exemplo, a Figura 3.5 mostra as séries original (em preto) e a filtrada (em vermelho) de setembro a novembro de 1996. Quando os valores de SWAP (cor verde) ultrapassam 0,4 (indicadas por círculos), as séries apresentam maior amplitude e concordância entre si. Observa-se que para valores de SWAP $> 0,4$ (círculos pretos), a amplitude da velocidade do vento é maior, os valores máximos e mínimos da velocidade do vento são bem definidos, além de haver maior concordância entre a série filtrada e a original

3.5 Comparação entre o ciclo observado e o ciclo da reanálise

Figura 3.6 - Comparação entre entre os valores de SWAP da TA e da reanálise para os anos 1996, 1999, 1998 e 1999.

Em vermelho, valores correspondentes a TA, em preto à reanálise.

Fonte: Produção do autor.

A correspondência entre os ciclos observados e da reanálise é realizada através da comparação dos valores de SWAP. Se os valores de SWAP dos ciclos são correspondentes e tem valores semelhantes implica que os conjuntos de dados,

além de identificarem os ciclos, fizeram-no com a mesma importância para uma dimensão específica do tempo da série. A figura 3.6 mostra a comparação entre os 4 primeiros anos do estudo, 1996, 1997, 1998 e 1999. Observa-se que há uma concordância entre as séries mostrando que o ciclo observado nos dados da TA é bem representado nos dados de reanálise o que possibilita representá-lo como manifestação de uma única oscilação, o ciclo de 5 dias (C5d). Apesar da correspondência entre os ciclos, observa-se, de uma forma geral, (i.e., ano de 1996, Figura 3.6) que o sinal do ciclo observado é mais forte do que o da reanálise.

3.6 Metodologia para análise de padrões de vento em baixos níveis e PNMM

A metodologia para análise dos padrões associados ao ciclo envolveu:

- Levantamento inicial dos casos típicos de atuação do C5d_BS. Inicialmente, a escolha é subjetiva, entre aqueles que apresentavam SWAP $\geq 0,4$. Através desse critério, obtém-se o primeiro conjunto de dados com, 35 casos;
- A análise subjetiva constituiu-se da observação dos campos de vento em 1000 hPa e PNMM em escala sinótica. Dessa análise, obtêm-se padrões de configuração do escoamento e PNMM que são dispostos qualitativamente na tabela 4.2.2.
- Os 35 casos são submetidos posteriormente ao teste *t-Student* para confirmação dos padrões obtidos na análise qualitativa.
- Com o objetivo de realçar os padrões obtidos na análise dos 35 casos, escolhe-se, objetivamente, todos os casos nos quais, além de apresentarem SWAP $\geq 0,4$, possuem valores de velocidade do vento acima da média dos máximos, para o período de máximo do C5d, e abaixo da média dos períodos de mínimo, para o período de mínima. Obtém-se um segundo conjunto de dados, envolvendo todo o período de 1996 a 2015, 55 casos de máximo e 58 de mínimo. Esses casos só são submetidos ao teste *t-Student*.

3.6.1 O teste *t-Student*

O teste *t-Student* é um dos métodos mais utilizados para se avaliar as diferenças entre as médias de dois conjuntos de dados. Em específico, pretende-se verificar se

há significância estatística para as diferenças das médias de PNMM, temperatura e Ponto de Orvalho (PO) durante os períodos de máximos e mínimos do C5d em relação à média trimestral. As hipóteses a serem testadas são:

- H_0: A média das variáveis nos períodos de máxima e mínima é estatisticamente igual à média do trimestre SON; e
- H_1: A média das variáveis nos períodos de máxima e mínima é estatisticamente diferente da média do trimestre SON.

O parâmetro t de *t-Student* é:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \tag{3.5}$$

onde:

- $\bar{x}$ é média dos períodos de máximo/mínimo;
- μ é a média para o trimestre SON;
- s é o desvio padrão; e
- n é a quantidade máximos/mínimos.

O valor "t"é um parâmetro para se descartar ou não H_0. A tabela de *t-Student* contém valores de "t"para cada grau de liberdade e nível de significância. Especificamente nesse trabalho, utiliza-se o nível de 10% com limiares de "t"de -1,68 e 1,68 para o primeiro conjunto de dados e de -1,67 e 1,67 para o segundo conjunto. Calculado o parâmetro, t, verifica-se na tabela de *t-Student* os limiares para descarte ou não da hipótese nula. O teste utilizado é o bicaudal, o nível do teste é de 10%.

3.6.2 Metodologia para as simulações

O modelo WRF (versão 3.9) é utilizado para as simulações em função de sua adequação aos fenômenos de mesoescala e sua popularidade, um dos mais usados no mundo, distribuído em 162 países Powers et al. (2017). O modelo é instalado em PC com processador Intel i5 com quatro núcleos, 8 GB de memória RAM e 1 TB de armazenamento.

Realizou-se um *downscaling* dinâmico, utilizando-se, como condição inicial e de fronteira lateral, os dados de reanálise do ERA-Interim. Os dados do terreno são obtidos do United States Geological Survey (USGS)[2], com resolução espacial de 30" de arco. As simulações são realizadas em domínios quadrados de 82,124 e 122 pontos, com resolução espacial horizontal de 27, 9 e 3 km, respectivamente, centrados conforme a Figura 3.7. Utilizou-se aninhamento unidirecional e o tempo de integração correspondeu ao período de estudo de caso desse trabalho, 21 a 26-nov-99 com descarte das 6 horas iniciais para acomodação dinâmica do modelo.

Não foram realizados experimentos de sensibilidade, sendo que as configurações utilizadas são as de Silva e Fisch (2014). Os autores utilizaram as parametrizações físicas default do WRF com exceção da parametrização da Camada Limite Planetária (CLP), a qual o esquema Asymmetric Convective Model version 2 (ACM2) mostrou-se, levemente, mais adequado nesses experimentos. Abaixo um resumo da configuração utilizada:

- ACM2 (Asymmetric Convective Model version 2): esquema de fechamento de 1a ordem, sendo uma modificação do modelo convectivo de Blackadar. Possui ambas as componentes local e não-local para a mistura vertical descendente e ascendente, respectivamente.
- Microfísica: WRF Single Moment 3-class;
- Radiação: Radiação RRTM para ondas longas e o esquema de Dudhia para ondas curtas;
- Camada superficial: MM5;
- Solo-superfície: Noah-LSM;
- Cumulus: Kain Fritsch; nos domínios de 27 e 9 km e sem parametrização no de 3 km (explícito) e 44 níveis verticais.

[2]Disponíveis em http://www.mmm.ucar.edu/wrf/src/wps_files/geog.tar.gzhttp://www.mmm.ucar.edu/wrf/src/wps_files/geog.tar.gz

Figura 3.7 - Domínios utilizados na simulação.

Grades utilizadas na simulação: de 27 km, centrada em (1), com 82 pontos; de 9 km, centrada em (2), com 124 pontos; e grade de 3 km, centrada em (3), com 112 pontos. Todas quadradas.

Fonte: Produção do autor.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERÍSTICAS DO CICLO DE 5 DIAS

A seguir, as características do C5d são obtidas utilizando dados observados da TA do CLA Figuras 4.1 e dados da reanálise do ERA-Interim 4.5.

Figura 4.1 - Espectros de potência das séries temporais anuais da TA.

No eixo das ordenadas, o período em dias, nas abscissas a potência normalizada. A linha vermelha delimita a significância estatística de 5%. Picos em torno de 5/6 dias ocorrem em todos os anos. Em alguns, há, também, picos em torno de 9 dias (1997, 1998, 1999, 2012 e 2013). Picos em torno de 15 dias estão fora do escopo do trabalho.

Fonte: Produção do autor.

4.1.1 Características baseadas nos dados observados

Na banda de 3 a 9 dias do espectro de potência global (Figura 4.1), o C5d_OBS aparece como picos em torno de 5 dias que podem estar acompanhados, em alguns anos, por picos em torno de 9 dias (1997, 1998, 1999, 2012 e 2013). Fora da banda de 3 a 9 dias, também ocorrem picos em torno dos 15 (1997, 1999 e 2013) e 22 dias (2005, 2014 e 2015). Os picos de 15 dias são estatisticamente significativos (5%), o que não ocorre com o de 22 dias. Os picos de 15 e 22 dias encontram-se fora do escopo deste trabalho.

A potência nos picos do C5d_OBS possui expressiva variabilidade interanual. Por exemplo, os valores variam de 20 (2005) a pouco mais de 50 (1996 e 1998). Isso sugere que a atuação do ciclo pode variar bastante de ano para ano.

A Figura 4.2 mostra a frequência acumulada dos períodos referentes aos picos de potência do C5d_OBS. A mediana corresponde ao período de 5,4 dias. Logo, no C5d_OBS, os picos encontram-se, de forma mais precisa, em torno de 5,4 dias (esse valor deu origem ao nome do ciclo).

Figura 4.2 - Picos de potência da TWR.

Frequência acumulada de picos de potência extraídos dos espectros globais de energia. No eixo das abscissas, os períodos, nas ordenadas a frequência acumulada. Em verde, as setas mostram a mediana de 5,4 dias que deu origem ao nome C5d_OBS.

Fonte: Produção do autor.

A Figura 4.3 mostra a comparação entre a fração de dias em que o C5d_OBS

Figura 4.3 - Frequência comparativa entre os dias em que houve significância estatística para o C5d_OBS e os dias em que ocorreu de forma bem marcada (SWAP $\geq 0,4$).

No eixo das abscissas, os anos estudados; nas ordenadas, a porcentagem de dias com significância estatística (em lilás) e bem marcada (azul). A média para o período com significância estatística de 95% foi de 85% do período, enquanto a média do período com atividade clara, bem marcada, 28%.

Fonte: Produção do autor.

possui significância estatística e que atua de acordo com o limiar de SWAP $\geq 0,4$. São considerados 85 dias, em média, para cada ano de estudo, como o total de dias do trimestre com dados válidos. A menor fração ocorre em 2005 (em torno de 10%), o que é coerente com o pico pouco pronunciado na banda de 3 a 9 dias observado nesse ano (Figura 4.1). Observa-se que, em média, o ciclo ocorre de forma típica em 28% do trimestre SON. O valor é expressivo, uma vez que corresponde a cerca de 1/3 do trimestre. É importante ressaltar que esse valor corresponde à atuação do C5d_OBS de forma mais clara, ou seja, considerando um critério mais restritivo ($\geq 0,4$). Se o limiar for mais baixo, como por exemplo o limiar para haver significância estatística do C5d_OBS, o ciclo atuaria em 85% dos dias do trimestre, o que ratifica a constatação empírica da atuação persistente do ciclo pelos previsores que participam das campanhas de lançamento no CLA.

A Figura 4.4 mostra o comportamento médio da direção e velocidade do vento para o trimestre SON (painel superior) e durante os períodos de máxima e mínima velocidade do vento do C5d (segundo e terceiro painéis, respectivamente). Na

média trimestral, verifica-se uma predominância de ventos de ENE (64%), com velocidade média de 8,0 m/s. Esses resultados estão de acordo com os de Gisler et al. (2011) para o nível 6 da TA. Em relação à média trimestral, nos períodos de máxima velocidade do vento, não há variações na direção: a predominância de ventos permanece de ENE com uma ligeira variação (de 64 para 60%). Nos períodos de mínima velocidade do vento, notam-se mudanças na direção: a frequência de ENE passa de 64 para 40% e a frequência de NE, antes de 23%, passa para 44%, passando a predominar, além de surgir uma frequência de NNE que não ocorre na média trimestral. Nos períodos de mínima velocidade do vento ocorre, portanto, um giro do vento no sentido anti-horário, que indica um incremento da componente meridional.

Figura 4.4 - Frequência de direção e velocidade média do vento para o trimestre SON.

Painel superior: comportamento médio do vento para o trimestre SON; painel inferior esquerdo: comportamento do vento nos períodos de máxima intensidade; e painel inferior direito: comportamento nos períodos de mínimo.

Fonte: Produção do autor.

4.1.2 Características baseadas nos dados da reanálise do ERA-Interim

A identificação e caracterização do C5d_REA é realizada para os mesmos anos utilizados no estudo do C5d_OBS. De uma forma geral, os espectros de potência global baseados nos dados da reanálise (Figura 4.5) são semelhantes aos baseados nos dados observados (Figura 4.1), particularmente em 1996, 1998, 2013, 2014 e 2015. Nesses anos, percebe-se que, na banda de 3 a 9 dias, os picos de potência ocorrem em escalas semelhantes para ambos os conjuntos de dados, apesar dos valores de potência serem inferiores para o C5d_REA em todos os anos. Por exemplo, em 1998, enquanto no espectro global baseado nos dados observados os valores de potência normalizados chegaram a ultrapassar 50 (Figura 4.1), no espectro baseado nos dados da reanálise os valores não chegaram a 10 (Figura 4.5). Fica claro que os picos de variância, quando identificados nos espectros baseados nos dados da reanálise, apresentam-se suavizados, atenuados, ilustrando uma diferença entre os dois conjuntos de dados.

Figura 4.5 - Espectros de potência das séries temporais anuais extraídas do ERA-Interim.

No eixo das ordenadas, o período em dias, nas abscissas a potência. Destaque para os valores de potência inferiores ao do C5d_OBS (Figura 4.1).

Fonte: Produção do autor.

A Figura 4.6 mostra a frequência acumulada dos períodos referentes aos picos de potência na Figura 4.5. A mediana para o C5d_REA é levemente maior do que a do C5d_OBS (Figura 4.2) e corresponde a 6 dias. Isso sugere que o C5d_REA possui período ligeiramente maior, de cerca de 1 dia a mais. Logo, a abreviatura mais correta para o ciclo baseado nos dados da reanálise seria, então, C6d_REA, mas se mantém a abreviatura C5d_REA pois a escala do fenômeno físico (baseado nos dados observados) é de 5 dias.

Figura 4.6 - Picos de potência da TWR X REA.

Comparação entre os gráficos de frequência acumulada de picos de variâncias extraídos dos espectros globais de energia do C5d_OBS (em verde) e os do C5d_REA (lilás). A mediana para o C5d_OBS foi de 5,4 dias e para o C5d_REA, 6 dias.

Fonte: Produção do autor.

Figura 4.7 - Frequência comparativa entre o C5d_ e o C5d_REA para os dias os ciclos ocorreram de forma clara (SWAP $\geq 0,4$).

No eixo das abscissas, os anos estudados; nas ordenadas, a porcentagem de dias com significância estatística de 95% para o C5d_OBS (em lilás) e C5d_REA (em azul). A média para o ciclo observado ficou em 28% do período, enquanto o da reanálise em 35%. Importante destacar que as médias são para a ocorrência dos ciclos de forma clara, bem marcada.

Fonte: Produção do autor.

Quanto ao comportamento médio trimestral do vento obtido com os dados de reanálise (Figura 4.8, painel superior esquerdo), verifica-se que a predominância

de ventos na direção ENE, da mesma forma que em C5d_OBS (Figura 4.4, painel superior esquerdo), mas com menor proporção. No período de máxima velocidade do vento (Figura 4.8, painel inferior esquerdo), nota-se que a predominância de vento na direção ENE é aumentada e acompanhada por uma diminuição na direção NE e um aumento na direção E, o que corresponde a um giro do vento no sentido horário. No período de mínima velocidade do vento (Figura 4.8, painel inferior direito), nota-se comportamento semelhante ao do C5d_OBS, ou seja, um giro do vento no sentido anti-horário.

Figura 4.8 - Frequência de direção e velocidade média do vento para o trimestre SON.

Painel superior: comportamento médio do vento para o trimestre SON; painel inferior esquerdo: comportamento do vento nos períodos de máxima intensidade; e painel inferior direito: comportamento nos períodos de mínimo.

Fonte: Produção do autor.

4.2 Campos de pressão e vento em baixos níveis durante a atuação do C5d_REA

Nas seções anteriores, analisou-se a atuação do C5d somente em uma localidade, a região do CLA. Os dados de reanálise permitem relacionar a atuação do ciclo no CLA a fatores ou forçantes que ocorrem em outras regiões. Nesta seção, obtêm-se os campos de grande escala do vento e da pressão em baixos níveis (escoamento em 1000 hPa e PNMM) associados aos períodos de máxima e mínima velocidade do vento durante a atuação do C5d_REAN. Dois conjuntos de casos são utilizados. No primeiro (conjunto I), são escolhidos 35 casos entre 1996 e 2015 dentre os que têm SWAP $\geq 0,4$ tanto na série de dados observados quanto na série de dados da reanálise. Esse conjunto representa os casos típicos da atuação do C5d. No segundo (conjunto II), são considerados todos os casos no período de 1996 a 2015 em que, além de apresentarem SWAP $\geq 0,4$ para os dados da reanálise, possuem velocidade acima da média dos períodos de máxima ou abaixo da média dos períodos de mínima. No total, o conjunto II possui 55 casos para o período de máxima, e 58 casos para o de mínima. Pela sua construção, esse conjunto acentua as diferenças entre os períodos de máxima e mínima velocidade do vento.

4.2.1 *Análise de casos*

Inicialmente, para ilustrar as diferenças do escoamento de grande escala e das características das Altas Subtropicais - ASAS e ASAN - entre os períodos de máxima e mínima velocidade do vento, analisam-se 3 casos: 20 a 23-nov-2013 (Figura 4.9), 10-nov-1996 e 12-set-2013. O caso de 20 a 23-nov-2013 ocorre durante um máximo de SWAP.

Figura 4.9 - Campos médios diários de PNMM e velocidade do vento dos dias 20 e 23-nov-2013, máximos e mínimos do C5d_REA, respectivamente.

Painel superior: máximo do C5d_REA no CLA ocorre associado a ventos intensos em uma área que se estende do Oceano Atlântico Central (OAC) até o litoral leste/norte do NEB; painel inferior: redução clara na velocidade do vento em área correspondente ao período de máximo (dia 20). Em 30°S, é nítido a diminuição nos valores de PNMM, evidenciando menor atuação da ASAS.

Fonte: Produção do autor.

4.2.1.1 A influência da ASAS

Para ilustrar a influência da ASAS no C5d_REAN, escolhe-se o evento de 20 a 23-nov-2013 (Figura 4.9). Nesse caso, quando se compara o período de máxima velocidade do vento, 20-nov-2013 (Figura 4.9), painel superior), com o período

de mínima, 23-nov-2013 (Figura 4.9, painel inferior), observa-se, de uma forma geral, que o acréscimo na velocidade do vento não se limita ao CLA, mas ocorre sobre uma vasta região que engloba todo litoral leste/norte do NEB. Os ventos sobre essa região se originam na borda norte da ASAS e se estendem até o litoral do MA, onde ocorre um giro anti-horário acompanhado de uma aceleração local. No período de mínima velocidade, a mesma região fica sob influência de ventos menos intensos, e o giro anti-horário verificado no litoral do MA torna-se mais acentuado no continente, o que está de acordo com o apresentado nas seções 4.1.1 e 4.1.2 (vento relativamente mais meridional no período de mínima). A Figura 4.10 ilustra a evolução do quadro sinótico da AS no período de 20 a 23-nov-2013.

Figura 4.10 - Evolução diária dos campos médios diários de PNMM e vento a partir de 8 m/s do período de máxima à mínima do C5d_REA para o período de 20 a 23-nov-2013.

Painel superior esquerdo: máximo do C5d_REA, ASAS relativamente mais forte e extensa; painel superior direito: ASAS enfraquece, surge cavado no sul do Brasil; painel inferior esquerdo: ASAS desloca-se para leste e continua enfraquecendo, cavado atinge a Região SE; e painel inferior direito: cavado avança e baixa a ele associada agora está centrada a leste de 10°W. ASAS assume configuração resultante da aproximação do cavado, diminuindo sua influência no NEB. Ocorre o período de mínima velocidade do vento.

Fonte: Produção do autor.

- No dia 20, período de máximo do C5d_REA, o OAC encontra-se sobre o domínio da ASAS que aparece reativamente mais intensa e extensa com um núcleo secundário a oeste, evidenciando, possivelmente, a fusão entre o Anticlone Semipermanente do Atlântico Sul (ASAS) com um anticiclone migratório de oeste (SATYAMURTY PRAKKI; GAN, 1990).

- No dia 21, a ASAS enfraquece, diminui sua extensão e desloca-se para leste. Um cavado na direção NW/SE na divisa dos estados do RS/SC se estabelece. Na Argentina, ocorre a formação de um anticiclone migratório.

- No dia 23, período de mínima do C5d_REA, a ASAS assume uma configuração relativamente mais achatada em função do deslocamento do cavado e permanece em sua posição mais a leste. O anticiclone migratório está relativamente mais intenso e ao norte.

Da análise da Figura 4.10, percebe-se claramente a alternância de situações sinóticas distintas entre os períodos de máxima e mínima velocidade do ciclo. A região central do Atlântico está sob influência da ASAS no período de máxima; no de mínima, encontra-se ocupada por um cavado associado a uma baixa centrada em aproximadamente 0°W.

No período de mínima, ao sul da Argentina, aproxima-se uma onda baroclínica em 80°W espaçada temporalmente da baixa centrada em 0°W num período compatível com o ciclo. A hipótese é de que a configuração e o deslocamento da ASAS - que força os alísios de SE - seriam determinados pela alternância de anticiclones e ciclones migratórios (DEGOLA, 2013; ITO, 1999).

Em resumo, verificou-se nesta seção, por meio da análise de um caso específico, a influência da ASAS no regime de ventos do NEB, em particular no CLA. As mudanças de posição e intensidade da ASAS estão relacionadas à passagem dos anticiclones e ciclones transientes de latitudes médias/subtropicais. A frequência observada dessas mudanças explicaria a escala de 5 a 6 dias do C5d.

4.2.1.2 A influência da ASAN

Na seção anterior, verificou-se a influência da ASAS no regime de ventos do NEB, em particular no CLA. A análise de um caso específico, sugeriu que os máximos de vento estão associados a maior influência da ASAS. Por sua vez, o posicionamento e a intensidade da alta estão relacionados aos anticiclones e ciclones transientes de latitudes subtropicais, o que explicaria o período de 6 dias,

compatível com a literatura. Assim como no HS, os anticiclones transientes do HN atravessam o Atlântico à retaguarda de sistemas frontais (DAVIS et al., 1997) e, dessa forma, produzem uma variabilidade compatível com a dos transientes do HS. Obviamente, não se espera que a ASAN force diretamente os ventos no CLA, uma vez que foi ilustrado na seção anterior que a ASAS exerceria essa função. Apesar disso, as flutuações da ASAN podem influenciar a extensão horizontal e intensidade dos alísios de sudeste do HS. Segundo Hurrell e Deser (2009), quando ocorre valores de PNMM abaixo do normal no Atlântico Tropical Norte (ATN) , os alísios de sudeste são intensificados. Nessas circunstâncias, parte do escoamento de sudeste que, em média, dirigir-se-ia para a costa norte do NEB, onde assumiria a direção NE, desloca-se para o HN. Isso é ilustrado pelo caso de mínima velocidade ocorrido em 12-set-2013 (painel inferior da Figura 4.10). Observa-se que a ASAN praticamente desaparece, e em seu lugar aparecem distúrbios ondulatórios de leste que funcionam como sumidouros para os alísios de sudeste. Assim, tem-se uma situação de mínima velocidade do ciclo, mesmo com os alísios de sudeste relativamente intensos em função dos distúrbios no ATN.

Quando ocorre o inverso, em função da ASAN mais intensa e deslocada para sul, estabelece-se um gradiente de pressão meridional favorável à intensificação dos ventos de NE no litoral norte do NEB. Isso está ilustrado no caso de máxima velocidade de 10-nov-1996 (painel superior da Figura 4.11): a ASAN ocorre entre 20 e 30°N na longitude de 30°W e relativamente mais ao sul com alísios de NE intensos. Os alísios de sudeste também estão intensos e chegam ao continente num máximo do C5d_REA.

Figura 4.11 - Campos médios diários de PNMM e velocidade do vento para 10-nov-1996, período de máxima velocidade do vento, e 12-set-2013, período de mínima velocidade do vento.

Painel superior: período de máxima, alísios de NE intensos em função de forte atuação da ASAN. Alísios de sudeste relativamente fortes em função de maior atividade da ASAS; e painel inferior: período de mínima, mesmo com alísios intensos em função de atuação da ASAS, mas direcionados ao HN devido a Dols no ATN.

Fonte: Produção do autor.

O painel inferior da Figura 4.11 ilustra um caso de mínima velocidade do vento ocorrido em 12-set-2013. Observa-se que a ASAN praticamente desaparece, em seu lugar aparecem distúrbios ondulatórios de leste que funcionam como sumidouros para os alísios de sudeste. Nesse caso, tem-se um caso de mínimo

do ciclo, mesmo com os alísios de sudeste relativamente intensos em função dos distúrbios no ATN.

Em resumo, a análise de dois casos (12-set-2013 e 10-nov-1996) sugere que a ASAN também influencia o C5d_REA.

4.2.2 *Características comuns aos períodos de máxima e mínima velocidade do vento (conjunto I)*

A análise realizada para os casos da seção anterior é repetida para os demais casos do conjunto I para obter as características comuns. Para apresentar os resultados de forma padronizada, são enfocados somente alguns aspectos da ASAS e ASAN relacionados à sua intensidade e posição. Especificamente, para cada caso, é realizado uma inspeção visual na qual é avaliado se houve, em relação ao núcleo das altas (NUC), ao passar do período de máxima para o de mínima velocidade:

- mudança da intensidade (INT: intensificação; NOB: sem mudança observada; ENF: enfraquecimento);
- deslocamento zonal (DZ) (P/ E: para leste; P/ W: para oeste; NOB: sem deslocamento ou impossibilidade de se determiná-lo); e
- deslocamento meridional (DM) (P/ N: para norte; P/ S: para sul: NOB: sem deslocamento ou impossibilidade de se determiná-lo).

Os resultados estão mostrados na Tabela 4.2.2. Para o caso 1, por exemplo, ao passar do período de máxima para o de mínima, em relação ao núcleo da ASAS, houve intensificação, e deslocamento zonal para leste e meridional para sul; em relação ao núcleo da ASAN, não houve mudança na intensidade e nem deslocamento zonal, mas houve deslocamento meridional para norte.

Em geral, a passagem do período de máxima para o de mínima esteve associada ao enfraquecimento tanto da ASAS (74% dos casos) quanto da ASAN (49%), ao deslocamento da ASAS para leste (86%) e da ASAN para norte (60%). Esses resultados concordam com a análise dos casos mostrada na seção anterior. Em relação ao deslocamento meridional da ASAS, na maioria dos casos (69%), não se notou nenhum deslocamento. Assim, na passagem do período de máxima para o de mínima velocidade do C5d_REA, considera-se que há influência da ASAS quando seu núcleo se enfraquece ou se desloca para leste; e que há influência da

ASAN quando seu núcleo se enfraquece ou se desloca para norte. A influência das Altas, assim definida, está mostrada na para cada caso na Tabela 4.1 (coluna ”I” S: com influência; N: sem).

Tabela 4.1 - Comparação do comportamento da ASAS e ASAN no período de mínima velocidade do vento em relação ao de máxima durante a ocorrência do C5d_REA.

ANO	**CASO**	**ASAS**				**ASAN**			
		NUC	**DZ**	**DM**	**I**	**NUC**	**DZ**	**DM**	**I**
1996	09-OUT/11-OUT	**ENF**	NOB	NOB	**S**	**ENF**	NOB	**P/ N**	**S**
1996	10-NOV/13-NOV	INT	**P/ E**	P/ S	**S**	NOB	NOB	**P/ N**	**S**
1997	14-SET/17-SET	NOB	**P/ E**	P/ S	**S**	NOB	NOB	**P/ N**	**S**
1997	22-OUT/25-OUT	**ENF**	NOB	NOB	**S**	INT	P/ E	**P/ N**	**S**
1998	30-AGO/01-SET	**ENF**	**P/ E**	P/ N	**S**	INT	NOB	**P/ N**	**S**
1999	22-OUT/26-OUT	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	INT	NOB	**P/ N**	**S**
1999	26-AGO/28-AGO	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	**ENF**	NOB	**P/ N**	**S**
2000	31-AGO/03-SET	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	NOB	NOB	NOB	N
2000	05-SET/08-SET	**ENF**	**P/ E**	P/ S	**S**	**ENF**	NOB	**P/ N**	**S**
2000	15-SET/17-SET	INT	**P/ E**	NOB	**S**	**ENF**	NOB	**P/ N**	**S**
2000	09-OUT/11-OUT	**ENF**	**P/ E**	NOB	S	NOB	NOB	**P/ N**	**S**
2000	13-OUT/16-OUT	**ENF**	**P/ E**	P/ S	**S**	**ENF**	NOB	**P/ N**	**S**
2000	28-NOV/01-DEZ	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	NOB	NOB	**P/ N**	**S**
2001	30-OUT/02-NOV	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	**ENF**	NOB	NOB	**S**
2002	11-SET/14-SET	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	INT	NOB	P/ S	N
2002	17-SET/20-SET	**ENF**	**P/ E**	P/ S	**S**	NOB	NOB	NOB	N
2002	13-NOV/16-NOV	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	**ENF**	NOB	NOB	**S**
2002	29-NOV/02-DEZ	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	NOB	NOB	NOB	N
2003	04-NOV/07-NOV	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	INT	NOB	P/ S	N
2003	13-NOV/17-NOV	INT	**P/ E**	P/ N	**S**	NOB	NOB	NOB	N
2003	27-NOV/30-NOV	NOB	**P/ E**	NOB	**S**	NOB	NOB	NOB	N
2005	03-SET/05-SET	NOB	**P/ E**	P SUL	**S**	**ENF**	NOB	NOB	**S**
2005	07-OUT/10-OUT	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	**ENF**	NOB	**P/ N**	**S**
2010	25-OUT/27-OUT	**ENF**	NOB	P/ N	**S**	NOB	NOB	NOB	N
2010	17-NOV/19-NOV	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	**ENF**	NOB	NOB	**S**
2013	29-AGO/02-SET	**ENF**	NOB	NOB	**S**	**ENF**	NOB	**P/ N**	**S**
2013	09-SET/12-SET	**ENF**	NOB	P/ N	**S**	**ENF**	NOB	**P/ N**	**S**

2013	14-SET/16-SET	NOB	**P/ E**	NOB	**S**	NOB	NOB	**P/ N**	**S**
2013	19-NOV/23-NOV	**ENF**	**P/ E**	P/ N	**S**	**ENF**	NOB	**P/ N**	**S**
2013	25-NOV/28-NOV	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	**ENF**	NOB	NOB	**S**
2014	01-OUT/04-OUT	NOB	**P/ E**	NOB	**S**	INT	NOB	**P/ N**	N
2014	07-NOV/12-NOV	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	**ENF**	NOB	**P/ N**	**S**
2014	14-NOV/15-NOV	INT	**P/ E**	NOB	**S**	**ENF**	NOB	**P/ N**	**S**
2015	05-NOV/07-NOV	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	INT	NOB	NOB	N
2015	10-NOV/12-NOV	**ENF**	**P/ E**	NOB	**S**	**ENF**	NOB	**P/ N**	**S**
ENF		**74,29**							
INT		14,29							
NOB		11,42	14,29	**68,57**			**97,14**	12,00	
P/ E			**85,71**				2,86		
P/ S				17,14				8,57	
P/ N				14,29				**57,14**	
I					**100**				**71**

Fonte: Produção do autor.

Em todos os casos houve influência da ASAS. Trata-se de um resultado importante, porque mostra um padrão de fato comum: em todos os casos do conjunto I, o período de máxima (mínima) esteve associado de a maior (menor) intensidade da ASAS ou a maior proximidade (afastamento) da ASAS do continente, ou a ambas as condições (63% dos casos). O resultado está de acordo com a análise realizada para o caso de 20 a 23-nov-2013 na seção anterior, e confirma a hipótese da ASAS como forçante principal do C5d_REA. Destaca-se que não é observado nenhum caso do conjunto I no qual houve um deslocamento da ASAS para oeste ao passar do período de máxima para o de mínima.

A influência da ASAN se dá em 74% dos casos do conjunto I. Trata-se de uma fração de casos expressiva, que reforça o papel da ASAN nas condições de tempo da porção equatorial da AS conforme foi ilustrado na análise dos casos dos dias 10-nov-96 e 12-set-2013 na seção anterior. O resultado aponta para ASAN ser uma forçante complementar à ASAS. A ideia é que, quando em fase com ASAS, a ASAN amplifique o ciclo gerando valores de SWAP acima da média.

4.2.3 *Padrões horizontais (conjunto I)*

Figura 4.12 - Teste *t-Student* para diferença da média da velocidade do vento e PNMM do período de máximo em relação à média do trimestre SON para o C5d_REA (35 casos).

Painel à esquerda: teste para média da velocidade do vento do período de máximo em relação à média SON; e painel à direita: o mesmo teste para PNMM.

Fonte: Produção do autor.

Nesta seção, são obtidas as anomalias (em relação à média trimestral) das variáveis velocidade do vento, PNMM, temperatura e ponto de orvalho nos períodos de máximo e mínimo do ciclo considerando os mesmos casos da seção anterior (casos do conjunto I). O objetivo é complementar a inspeção visual da seção anterior. As diferenças em relação à média são submetidas ao teste de $t-$*Student* com nível de teste de 10% para verificar a significância estatística.

4.2.3.1 *Períodos de máxima velocidade do ciclo*

Figura 4.13 - Teste *t-Student* para diferença da média da temperatura e do PO do período de máximo em relação à média do trimestre SON para o C5d_REA (35 casos).

Painel à esquerda: teste para média da temperatura do período de máximo em relação à média SON; e painel à direita: o mesmo teste para o PO. Valores das isolinhas correspondem a diferença entre a média de máximo e a média do trimestre SON.

Fonte: Produção do autor.

A Figura 4.12 mostra os valores de *t-Student* para a velocidade do vento (painel esquerdo) e PNMM (painel direito). Nos períodos de máxima, a velocidade acima da média ocorre sobre uma faixa que se estende desde o litoral Amapaense até o litoral leste do NEB. As áreas com significância estatística se estendem por todo o litoral norte da AS, além do litoral leste do NEB. Destaca-se que os valores tornam-se mais expressivos no limite entre o continente e o oceano em função de uma aceleração dos alísios.

São observadas anomalias de PNMM no Oceano Atlântico Sul (OAS), Oceano Atlântico Central (OAC) e Norte (OAN). Os resultados concordam com o apresentado na análise subjetiva, ou seja, a associação entre os máximos de vento e a maior intensidade das altas subtropicais. Não se observam anomalias de PNMM

no continente e na região do CLA. Cabe mencionar que a resolução dos dados da reanálise não permite a representação de padrões de escala menor.

A Figura 4.13 é semelhante à 4.12, mas para a temperatura (painel esquerdo) e o PO (painel direito). Para a temperatura, há significância estatística para uma área no ATN em torno de 5°N 45°W e para uma faixa NW/SE do SE até 30°W, e anomalias negativas próximas à posição climatológica do ASAS no trimestre SON. Para o PO, aparece uma pequena anomalia negativa de PO na região do CLA e outra na posição climatológica do ASAS.

4.2.3.2 *Períodos de mínima velocidade do ciclo*

Figura 4.14 - Teste *t-Student* para diferença da média da velocidade do vento e PNMM do período de mínimo em relação à média do trimestre SON do C5d_REA (35 casos).

Painel à esquerda: teste para média da velocidade do vento em 1000 hPa do período de mínima em relação à média SON; e painel à direita: o mesmo teste para a PNMM. O teste foi realizado com confiança de 90%, com 34 graus de liberdade. Valores maiores que 1,68 e menores que -1,68 são considerados estatisticamente significativos. Valores das isolinhas correspondem a diferença entre a média do período de mínimo e a média do trimestre SON.

Fonte: Produção do autor.

No período de mínima, a velocidade do vento abaixo da média ocorre sobre uma faixa NW/SE do litoral leste do NEB até o litoral do Amapá (Figura 4.14). A área com significância estatística concentra-se entre o litoral do PI e AP. Quanto à PNMM (Figura 4.14, painel direito), observam-se valores abaixo da média no oceano, ao contrário do que foi observado no período de máximo. No HS, valores com significância estatística situam-se na região central da Argentina, em uma área de ciclogênese conhecida (GAN; RAO, 1991).

Figura 4.15 - Teste *t-Student* para diferença da média da temperatura e PO do período de mínimo relação à média do trimestre SON do C5d_REA (35 casos).

Painel à esquerda: teste para média da temperatura em 1000 hPa do período de mínima em relação à média SON; e painel à direita: o mesmo teste para o PO. O teste foi realizado com confiança de 90%, com 34 graus de liberdade. Valores das isolinhas correspondem a diferença entre a média do período de mínimo e a média do trimestre SON.

Fonte: Produção do autor.

No período de mínima velocidade do vento, a atuação das altas subtropicais é discreta e abaixo da média para o trimestre. Com a diminuição da componente zonal dos alísios de sudeste, espera-se que ocorra um ganho da componente meridional, o que está de acordo com o verificado nas seções 4.1.1 e 4.1.2 sobre o giro anti-horário do vento no período de mínima.

A Figura 4.15 refere-se à temperatura e ao PO. Com relação à temperatura, há anomalias positivas no HS e negativas no HN, sugerindo um gradiente de temperatura orientado na direção NW/SE no sentido do HS. Com relação ao PO, observam-se anomalias na região no CLA associadas ao período de mínima. Possivelmente, em função da menor influência da forçante de larga escala (Altas subtropicais, por exemplo), o escoamento de mesoescala tenha uma contribuição maior para a resultante do vento nesse período.

4.2.4 *Padrões horizontais (conjunto II)*

Nesta seção, para realçar as forçantes do C5d_REA, utilizam-se os casos do conjunto II, e realiza-se uma análise semelhante à realizada na seção anterior. As diferenças em relação à média trimestral são avaliadas estatisticamente por meio do teste t-Student com nível de teste de 10% .

4.2.4.1 *Períodos de máxima velocidade do ciclo*

A Figura 4.16 mostra os valores de *t-Student* para a velocidade do vento (painel esquerdo) e PNMM (painel direito) para os casos de máxima do conjunto II. Observa-se que o vento está acima da média trimestral em praticamente todo o continente. As diferenças positivas de PNMM tem significância estatística na quase totalidade do Atlântico. O resultado ratifica o obtido com os casos do conjunto I (seção 4.2.3), ou seja, a importância das altas pressões no oceano para os máximos de vento no CLA relacionados ao C5d_REA, mas as áreas com diferenças significativas são muito mais extensas.

Figura 4.16 - Teste *t-Student* para diferença de velocidade média do vento e PNMM do período de máximo em relação à média do trimestre SON do C5d_REA (55 casos).

Painel à esquerda: teste para média da velocidade do vento do período de máximo em relação à média SON; e painel à direita: o mesmo teste para PNMM. O teste foi realizado com confiança de 90%, com 54 graus de liberdade. Valores maiores que 1,68 e menores que -1,68 são considerados estatisticamente significativos.

Fonte: Produção do autor.

A Figura 4.17 é semelhante à Figura 4.16, mas para a temperatura (painel esquerdo) e o PO (painel direito). Observa-se que aparecem diferenças significativas de temperatura e PO no extremo sul da AS, em torno de 40 ° S, 60°W, não presentes nos resultados do conjunto I (4.13). Essas diferenças estão possivelmente relacionadas a anticiclones migratórios. A diferença positiva de temperatura em 5°N, 45°W, observada anteriormente, é realçada. Localmente, aparecem anomalias de PO numa faixa meridional entre os Estados do MA e PI. Isso significa que, nos períodos de máxima do ciclo, a região do CLA está relativamente mais seca em relação à média do trimestre.

Figura 4.17 - Teste *t-Student* para diferença de temperatura média e PNMM do período de máximo em relação à média do trimestre SON do C5d_REA (55 casos).

Painel à esquerda: teste para média da temperatura do período de máximo em relação à média SON; e painel à direita: o mesmo teste para o PO. Valores das isolinhas correspondem a diferença entre a média de máximo e a média do trimestre SON.

Fonte: Produção do autor.

4.2.4.2 *Períodos de mínima velocidade do ciclo*

Nos períodos de mínima, a velocidade abaixo da média (com significância) ocorre sobre uma área relativamente mais extensa (Figura 4.18) em comparação com a Figura 4.14. A área abrange praticamente todo o litoral norte da AS, desde o litoral do Suriname até o RN.

A região com diferenças negativas significativas de PNMM no extremo sul da AS, apresentada anteriormente na Figura 4.14, associada a ciclones migratórios, confirma-se e está deslocada para o Pacífico. Há também uma faixa no oceano na direção NW/SE desde o litoral do NEB com diferenças significativas. Em menor escala, aparecem na região entre os estados do MA e PI diferenças positivas e significativas de PNMM. Essas diferenças podem estar associadas a anticiclones de mesoescala (ORLANSKI, 1975), como observado e proposto por Marques (2004). Diferenças positivas de pressão no continente tendem a diminuir o gradiente de pressão continente/oceano e consequentemente reduzir a aceleração do vento.

Para a temperatura e PO (Figura 4.19), nos períodos de mínima do ciclo, as temperaturas estão, localmente, abaixo da média, e o PO, acima. As calmarias associadas ao C5d_REA seriam o resultado da diminuição na intensidade dos alísios em função de menor atuação da ASAS e ASAN e da redução do gradiente de pressão entre o continente e o oceano, e localmente (região do CLA) conteriam dias mais úmidos e menos quentes.

Figura 4.18 - Teste *t-Student* para diferença da média da velocidade do vento e PNMM do período de mínimo em relação à média do trimestre SON do C5d_REA (58 casos).

Painel à esquerda: teste para média da velocidade do vento em 1000 hPa do período de mínima em relação à média SON; e painel à direita: o mesmo teste para a PNMM. Valores das isolinhas correspondem a diferença entre a média do período de mínimo e a média do trimestre SON.

Fonte: Produção do autor.

Figura 4.19 - Teste *t-Student* para diferença da média da temperatura e PO do período de mínimo em relação à média do trimestre SON do C5d_REA (58 casos).

Painel à esquerda: teste para média da temperatura em 1000 hPa do período de mínima em relação à média SON; e painel à direita: o mesmo teste para o PO. Valores das isolinhas correspondem a diferença entre a média do período de mínimo e a média do trimestre SON.

Fonte: Produção do autor.

4.2.4.3 *Subtração da média entre os períodos de máxima e de mínima*

Nas seções anteriores, as diferenças em relação à média trimestral foram analisadas. Nesta seção, com o objetivo de realçar ainda mais as forçantes envolvidas, realiza-se a subtração (diferença) da média entre os períodos de máxima e de mínima para os casos do conjunto II. Para o estabelecimento dos períodos de máxima e mínima, enquanto os resultados referentes ao conjunto I apontam para a importância dos fatores de grande escala, os referentes ao conjunto II mostram aspectos em escala regional. Nesta seção, a subtração realizada tende a realçar as forçantes em ambas as escalas (regional e sinótica).

Para a variável PNMM, a subtração está mostrada no painel superior da Figura 4.20. Comparando-a com as Figuras 4.16 e 4.18, percebe-se que:

- A área com diferença positiva de PNMM sofre retração no continente e concentra-se no mar, com maior significância estatística centrada em aproximadamente 15°S, 20/30°W;

- As diferenças de PNMM centradas em aproximadamente 40°S, 70°W, associadas a anticiclones/ciclones migratórios, são amplificadas; e

- Valores de pressão abaixo da média aparecem entre o MA e PI (seta vermelha) em área correspondente às diferenças de PO e temperatura identificadas na Figura 4.19. Nessa região, comumente ocorre confluência em baixos níveis (não mostrado), que normalmente considera-se associada a uma baixa térmica. Essa confluência é doravante denominada Baixa Térmica do PI (BPI). É provável que a atividade dessa forçante de mesoescala contribua para a aceleração dos alísios de SE verificada na região do CLA.

Para a temperatura do ar, a subtração está mostrada no painel inferior esquerdo da Figura 4.20. Comparando-a com as Figuras 4.17 e 4.19, percebe-se que:

- Em larga escala, ficam claras as diferenças positivas de temperatura no HN e negativas no HS. A diferença positiva de temperatura em torno 5°N, 45°W, apresentada anteriormente (Figura 4.17), tem alta significância estatística;

- Na região da BPI, ocorrem diferenças positivas significativas; e

- As diferenças negativas de temperatura associadas a anticiclones migratórios são confirmadas.

Com relação ao PO (painel inferior direito da Figura 4.20), observa-se que a menor umidade na região da BPI, mostrada anteriormente (Figura 4.19, é amplificada.

Figura 4.20 - Teste *t-Student* para diferença da média da PNMM, temperatura e PO dos períodos de máximo e mínimo do trimestre SON do C5d_REA

Painel superior: teste de *t-Student* para média da PNMM do período de máximo em relação ao de mínimo; painel inferior esquerdo: o mesmo teste para o temperatura; e painel inferior direito: o mesmo teste para o PO. Valores das isolinhas correspondem a diferença entre a média do período de mínimo e a média do trimestre SON.

Fonte: Produção do autor.

4.2.4.4 *Considerações finais sobre a parte observacional*

Com relação aos períodos de máximo do C5d:

- Os resultados indicam que há diferenças positivas de PNMM em 40°S, entre 60 e 70°W, região preferencial de entrada de anticiclones migratórios de oeste que cruzam os Andes e chegam ao oceano, mais comumente, entre 30 e 35°S (PEZZA, 2003). Assim, no período de máxima, essa região seria preferencialmente ocupada por anticiclones. Isso significa que, por outro lado, pode haver um sistema frontal associado a nordeste, afetando a região Sul do Brasil, e também um novo anticiclone espaçado temporalmente de 4 a 7 dias (6 dias em média, a depender da estação do ano; (ESCOBAR; SELUCHI, 2012)), posicionado entre 10 e 20°W (posição climatológico do ASAS). Essa configuração está ilustrada na Figura 4.10. Observa-se que, quando o anticiclone migratório está na iminência de atravessar os Andes (dia 20), a alta, em torno de 20°W, tem 2 núcleos, possivelmente devido a fusão do anticiclone migratório anterior com o Anticlone Semipermanente do OAS, configurando **a** ASAS. Observa-se que os ventos ao norte são superiores a 8 m/s (Na Figura estão plotados ventos superiores a esse limiar). No dia 22, o anticiclone que estava fundido com **o** ASAS passou e, provavelmente, só existe o anticiclone semipermanente, relativamente menos intenso, quando não existem mais ventos acima de 8 m/s no NEB. Finalmente, no dia 23, a baixa associada ao sistema frontal atinge a posição climatológica do ASAS em fase com uma nova onda em 40°S 60°W, tem-se o período de mínima.

- Assim, quando um anticiclone migratório passa pelos Andes, em geral, há outro fundido com o Anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul, dando origem a ASAS (Alta Subtropical do OAS), que é mais intensa e extensa dependendo da intensidade do anticiclone migratório. Esse cenário se traduz em anomalias de PNMM no oceano e consequentemente em ventos alísios de SE mais fortes no NEB. A alternância de ciclones a anticiclones migratórios nessas posições muda a configuração da ASAS (DEGOLA, 2013; ITO, 1999) o que explicaria a atuação frequente do C5d. .

- A ASAN, apesar de não ser a forçante principal, quando mais intensa e/ou ao sul, pode amplificar os efeitos do C5d.

- Por último, a região correspondente à BPI, quando apresenta diferença positiva de temperatura e negativa de umidade contribui para a aceleração dos ventos na costa norte do Brasil em função de menores pressões no continente.

Com relação aos períodos de mínima (painel inferior):

- Quanto aos ciclones, passam, preferencialmente, mais ao sul, entre 40 e 50°S (PEZZA, 2003), o que explica menor a área com significância estatística no oceano. Apesar disso, há sistemas frontais associados, orientados na direção NW/SE, que cruzam posições mais ao norte que ocupam posições equivalentes às ocupadas pelos anticiclones nos períodos de máximo. Da mesma forma que, anticiclones são espaçados entre os Andes e 10/20°W e associados a períodos de máximos, os ciclones/cavados estão associados a períodos de mínimo.
- A ASAN, como mostrado, influência de forma complementar. Havendo diferenças negativas de pressão, poderá ocorrer confluência em direção ao HN (Figura 4.11, por exemplo). Isso fica mais evidente quando ocorrem DOLs e ciclones tropicais, por exemplo.
- A região da BPI contribui para o período de mínima com dias relativamente mais úmidos e menos quentes, o que diminui o gradiente de pressão entre continente e oceano.

4.3 ESTUDO DE CASO E SIMULAÇÃO

4.3.1 Apresentação do caso

O caso em estudo ocorreu em 25-nov-1999 durante a campanha de lançamento de foguete no CLA chamada de Operação Almenara[1]. No dia, houve uma redução abrupta na velocidade do vento - 50% a 60% - ideal para o lançamento de foguetes. Marques (2004) sugere que a redução da velocidade esteve associada a ocorrência de um anticiclone de mesoescala no NEB observado em 850 hPa. Segundo a autora, a presença de uma forte confluência associada a um sistema frontal ao norte da Região Sudeste, ventos de leste influenciados pela brisa marítima e um anticiclone a noroeste da AS teriam proporcionado a formação do anticiclone.

[1] https://www1.folha.uol.com.br/fsp/vale/vl0612199906.htm

O evento é um caso típico de ocorrência do C5d_OBS/C5d_REA. A Figura 4.21 mostra a TO aplicada à velocidade do vento para o trimestre SON de 1999. Considerando-se a série da velocidade do vento (Painel I, da Figura 4.21) da TA, verifica-se que o evento ocorre durante a atuação do C5d_OBS. As setas em vermelho indicam o período de mínimo (dia 17), de máximo (dia 22) e de mínimo (dia 25), com 7 dias no total. Observa-se também que SWAP possui valor em torno de 0,7, acima do limiar que define períodos ativos (0,4). O ciclo também é observado nos dados de reanálise (Painel II, da Figura 4.21), com SWAP em torno de 0,5, ou seja, também acima do limiar.

Figura 4.21 - TO aplicada à velocidade do vento (m/s), para o trimestre SON de 1999

Os painéis referem-se aos dados da TA (a) e reanálise (b). O painel I refere-se à série, filtrada, adimensionalizada e sem tendência, setas indicam mínimos e máximos do ciclo; o painel II, à potência média em escala (a linha vermelha linha vermelha delimita os valores significativos, seta destaca o valor de SWAP de 0,7; e o painel III o espectro de potência local, seta indica o período de 7 dias do ciclo.

Fonte: Produção do autor.

Com base na sequência de imagens de satélite (Figura 4.22) e nos campos de PNMM e vento (Figura 4.23), descreve-se a seguir a evolução, dia a dia, das condições sinóticas durante o caso.

Figura 4.22 - Sequência de imagens de satélite GOES, canal infra-vermelho, do dia 22 a 25 de novembro de 1999.

(Painel superior esquerdo) Dia 22, cavado entre o ES e o RJ associado a frente fria no oceano, costa do MA sem convecção; (painel superior direito) o sistema mostra-se estacionário, semi-estacionário no continente. No Atlântico, ciclogênese se desenvolve no OAS. Não é observado convecção na região do CLA; (painel inferior esquerdo) o sistema permanece semi-estacionário no continente, organizando a convecção na faixa SE/NW. No atlântico, ciclogênese é configurada; e (painel inferior direito) dia 25, ciclone desloca-se para leste. É verificado alguma convecção no CLA.

Fonte: CPTEC.

Figura 4.23 - Evolução diária dos campos médios diários de PNMM e vento a partir de 8 m/s do período 22 a 25-nov-1999.

Dia 22: Máximo do C5d_REA, ASAS e ASAN relativamente mais fortes e extensas; 23: ASAS enfraquece e ASAN divide-se, ciclogênese configuras nos 2 hemisférios; 24: ciclone extratropical se configura nos 2 hemisférios; e 25: ASAS no extremo leste, alísios de SE atingem menor velocidade. Região de 40°S 70°W já é ocupada por uma nova onda baroclínica. No HN, a posição climatológica da ASAN é ocupada pelo ciclone, configurando a inversão total do padrão de alta observado no dia 22.

Fonte: Produção do autor.

No dia 22, a imagem de satélite (Figura 4.22, painel superior esquerdo) mostra um cavado associado à sistema frontal no oceano. A Figura 4.23 (visualização do vento a partir de 8 m/s) mostra ventos de SE relativamente intensos, a fusão do Anticiclone Semipermanente com o migratório, originando a ASAS. No ATN,

a ASAN encontra-se intensa, configurando um padrão de alta do ciclo. A costa norte apresenta pressões relativamente mais baixas. Observa-se um padrão de máximo, com ventos acelerando no limite continente/oceano.

No dia 23, a imagem de satélite mostra um padrão semelhante ao do dia anterior, com giro ciclônico no oceano. A Figura 4.23 mostra que os alísios de SE perdem força e, simultaneamente, observa-se ciclogênese nos dois hemisférios embutidas nas altas. O padrão de máxima começa a se desconfigurar (enfraquecer).

No dia 24, a imagem de satélite mostra melhor o giro ciclônico, o cavado ao norte da região sudeste mostra-se semi-estacionário e organiza a convecção do SE a Amazônia (MARQUES, 2004). A Figura 4.23 mostra que os alísios de SE continuam perdendo força em função de quase divisão da ASAS, os ciclones extratropicais se configuram nos dois hemisférios e, localmente, não se verifica mais o gradiente de pressão observado no dia 22 (os ventos não são mais acelerados no limite costa/oceano).

No dia 25, a ASAS atinge sua porção mais a leste em função de evolução da ciclogênese, e os alísios de SE, a sua menor velocidade. Observa-se que a região de 40°S 70°W já é ocupada por uma nova onda baroclínica. No HN, a posição climatológica da ASAN é ocupada por um ciclone, configurando uma inversão do padrão observado no dia 22.

Observando-se a evolução dos campos de PNMM e comparando-se com os da Figura 4.10, verifica-se que o padrão, em relação às altas subtropicais e os sistemas frontais/cavados é semelhante, conforme descrito nas considerações finais 4.2.4.4. Interessante observar que os padrões no continente são diferentes, observa-se que as pressões são relativamente menores no continente no período de mínima de 23-nov-2013, ao contrário do que ocorre em 25-nov-99 (anticiclone de mesoescala), e, mesmo assim, ocorreu o período de mínima velocidade do vento. Isso sugere que as condições locais, apesar de amplificarem ou atenuarem as condições sinóticas, não são determinantes para atuação do ciclo, o que está de acordo com a inspeção visual e com os testes estatísticos. Dentro dessa perspectiva, o anticiclone de mesoescala sugerido por (MARQUES, 2004) parece não determinar a atuação do ciclo, como esperado, tendo em vista o seu período de oscilação, 5 dias. Apesar disso, a inspeção visual mostra uma expressiva aceleração dos ventos na costa norte e os testes de *t-Student* alta significância para anomalias de vento próximas à costa, mesmo com uma resolução de 80 km. Surge a necessidade de se verificar a contribuição regional. Na próxima seção,

através da técnica de *downscallig*, pretende-se fazer essa verificação.

4.3.2 Simulação

A simulação com o modelo regional WRF objetiva verificar a capacidade do modelo em representar a circulação local associada ao C5d durante o estudo de caso. No capítulo anterior, mostrou-se que o C5d sofre grande influência das altas subtropicais. Assim, como o ciclo é forçado pela grande escala (e como o WRF é alimentado pela reanálise), espera-se que a simulação seja capaz de reproduzi-lo com a contribuição de forçantes locais.

Durante o caso, as séries temporais observadas, simuladas e da reanálise estão plotadas na Figura 4.24. A reanálise, apesar de subestimar a velocidade do vento em aproximadamente 2 m/s (Tabela 4.2), consegue captar bem a variabilidade, como mostra o coeficiente de correlação, apesar da baixa resolução horizontal (espaçamento horizontal de 0,75°, aproximadamente 80 km). Um indicativo de que o escoamento de larga escala age em primeira ordem para gerar o C5d.

Tabela 4.2 - Resultado das estatísticas comparando as saídas de velocidade do vento dos dados de reanálise, simulações de 27, 9 e 3 km com o observado.

	MÉDIAS	**CORRELAÇÃO**	**VIÉS**
OBSERVADO	7,2	-	-
ERA-Interim 80 km	4,9	0,87	-2,3
WFR 27 km	4,2	0,84	-3
WRF 9 km	4,9	0,86	-2,3
WRF 3 km	4,5	0,85	-2,7

Fonte: Produção do autor.

Figura 4.24 - Comparação entre série temporal de velocidade do vento da TA, do ERA-Interim e as saídas do WRF de 27, 9 e 3 km.

Painel superior, simulação de 27 km; painel inferior esquerdo, simulação de 9 km e painel inferior direito, simulação de 3 km. Em vermelho, séries observadas; em verde, do ERA-Interim e, em preto, as saídas do WRF.

Fonte: Produção do autor.

As simulações seguem, de forma próxima, o comportamento da reanálise (Figura 4.24). Os valores de viés e da correlação com a série observada das simulações são semelhantes aos da reanálise (Tabela 4.2). No geral, as saídas do WRF conseguem representar melhor os picos e mínimos do vento do ciclo. A simulação de 9 km, por exemplo, representa melhor o pico de vento do dia 22 e a de 27 km, o mínimo de velocidade do vento do dia 25.

As Figuras 4.25, 4.26, 4.27 comparam os campos das saídas da reanálise com os da simulação do WRF de 27 , 9 e 3 km, respectivamente. Os campos mostrados são os de PNMM e vento para os períodos de máxima e mínima velocidade do vento do C5d. De uma forma geral, as simulações assemelham-se à reanálise. Destacam-se valores relativamente maiores de velocidade do vento nas saídas do WRF, quando comparadas com a reanálise, no continente (sul do CLA) nos

períodos de picos do ciclo. A elevação nos valores de pressão no continente, verificada no dia 25 (período de mínima velocidade do C5d) , é acentuada nos três domínios da simulação do WRF.

A reanálise e as simulações, apesar de mostrarem um giro anti-horário do vento, não deixam clara a ocorrência do anticiclone de mesoescala (Figura 4.28) apontado por Marques (2004). Uma hipótese alternativa à apresentada pela Autora é que o padrão de circulação regional ocorra em função de menor atuação da componente zonal dos alísios verificada no período de mínima velocidade do C5d em combinação com forte confluência associada ao sistema frontal em dissipação no oceano o que alteraria a circulação local e ocasionaria um incremento relativo da componente meridional do vento.

A contribuição de larga escala foi amplamente discutida e mostrada em análise anteriores, para o caso específico está descrita na Figura 4.23. Apesar disso, as simulações (Figuras 4.25, 4.26 e 4.26) sinalizam que forçantes locais podem acelerar ou frear os alísios, a exemplo do que ocorre nos dias 22 e 25, períodos de máxima e mínima velocidade do vento, respectivamente. Uma hipótese inicial seria que essas forçantes amplificariam ou não a tendência de larga escala conforme, estivessem ou não fase com a mesma.

Figura 4.25 - Comparação entre a saída da reanálise e a simulação do WRF de 27 km para os períodos de máximo e mínimo do ciclo.

Painéis superiores: campos de PNMM e vento da reanálise para área equivalente à simulação de 27 km; painéis inferiores: simulação do WRF de 27 km.

Fonte: Produção do autor.

Figura 4.26 - Comparação entre a saída da reanálise e a simulação do WRF de 9 km para os períodos de máximo e mínimo do ciclo.

Painéis superiores:campos de PNMM e vento da reanálise para área equivalente à simulação de 9 km; painéis inferiores: simulação do WRF de 9 km. Quadrados azuis apontam para o detalhe do vento no limite continente/oceano

Fonte: Produção do autor.

Figura 4.27 - Comparação entre a saída da reanálise e a simulação do WRF de 27 km para os períodos de máximo e mínimo do ciclo.

Painéis superiores: campos de PNMM e vento da reanálise para área equivalente à simulação de 27 km; painéis inferiores: simulação do WRF de 27 km.

Fonte: Produção do autor.

Figura 4.28 - Circulação em 850 hPa às 00:00 UTC em 26/11/1999.

Escoamneto com base em dados de reanálise do National Centers for Environmental Prediction-National Centers Atmospheric Research (NCEP-NCAR), resolução de 2,5°X 2,5°de latitude-longitude

Fonte: Marques (2004)

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi caracterizado o Ciclo de 5 dias do vento em baixos níveis durante o trimestre seco do Centro de Lançamento de Alcântara (C5d). O ciclo compreendeu uma variabilidade numa banda de 3 a 9 dias com média em torno de 5 dias. A oscilação foi observada em dados observados da TA do CLA e em dados de reanálise do ERA-Interim e ocorreu, tipicamente, em aproximadamente um 1/3 do trimestre SON, mostrando significância estatística para 85% do período estudado. É uma oscilação semipermanente com atuação típica variando fortemente de um nao para outro, 55% em 1996 contra 10% em 2005, apesar de possuir significância estatística acima de 60% para todos os anos estudados. As análises mostraram que os períodos de máxima velocidade do vento estiveram associados a anomalias positivas de PNMM no Oceano Atlântico Sul (OAS), Central(OAC) e Norte(OAN) e no extremo sul da América do Sul (AS), em torno de 40°S, entre 60 e 80°W, e, em alguns casos, relacionados a dias mais secos e quentes na região do CLA. Nos períodos de mínimas, foram verificadas anomalias negativas de PNMM no extremo sul da América do Sul e em 40°S, entre 10 e 20°W e a dias mais úmidos e menos quentes na região do CLA. Observou-se também que os períodos de máxima velocidade do vento do C5d estiveram associadas a temperaturas mais baixas no OAS, estabelecendo-se um gradiente de temperatura NW/SE orientado para o OAN. Nos períodos de máxima velocidade do vento também foram verificadas anomalias negativas de temperatura no extremo sul da (AS) em torno de 40°S, entre 60 e 80°W.

Conclui-se que os períodos de máxima intensidade do vento do C5d estão associados, em primeira ordem, a maior intensidade e influência das altas subtropicais, principalmente a da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e, em alguns casos, relacionados a dias mais quentes e secos no no CLA, mais especificamente ao sul dessa região, numa área recorrentemente ocupada pela baixa térmica do Piauí (BPI). Verificou-se também, que as anomalias de temperatura negativa na região de 40°S, no máximo do ciclo, estavam associadas a anticiclones migratórios de oeste. Quanto ao período de mínima, observou-se que as anomalias de PNMM observadas relacionam-se a sistemas frontais e ou cavados em 40°S, entre 60° e 80°W e na região climatológica do Anticiclone Semipermanente do AS.

Dessa forma, obteve-se um padrão preferencial de atuação do C5d, nos períodos de máxima velocidade do vento, o Anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul está em fusão com anticiclones migratórios de oeste formando a ASAS, mais

extensa e intensa (o que explicaria as anomalias positivas de PNMM no Atlântico). Nesse momento, um novo anticiclone migratório atuaria em 70°W, o que explicaria as anomalias negativas de temperatura nessa região. Mostrou-se, assim, que o modo de variabilidade do C5d é compatível com o dos transientes de latitude média que alteram a configuração da ASAS gerando máximos e mínimos de vento na região do CLA.

Verificou-se, através da análise observacional e de simulação numérica para um caso específico, que a contribuição local é complementar, conforme esteja ou não em fase com as forçantes de larga escala.

Esse estudo confirma as hipóteses de trabalhos mais recentes sobre a influência dos transientes de latitude média no tempo do NEB (ITO, 1999; MOLION; BERNARDO, 2002; TAVARES, 2008; DEGOLA, 2013), oferecendo um caminho alternativo para os estudos sobre ciclos não diários na velocidade do vento no CLA, região equatorial tipicamente associada a Distúrbios Ondulatórios de Leste. Em mesoescala, confirma-se a importância do anticlone de mesoescala para redução na velocidade do vento no CLA, conforme análise de (MARQUES, 2004), mas o reduz a uma partição complementar à da grande escala.

Esse trabalho forneceu uma análise qualitativa dos padrões de mínimo e máximo do C5d referentes a períodos típicos de atuação do ciclo. Como proposta de trabalhos futuros, sugere-se quantificar melhor os padrões de atuação do C5d, definindo-se melhor a contribuição da mesoescala, por exemplo. Um estudo através de análises de componentes principais parece ser um alternativa.

REFERÊNCIAS

AVELAR, A. C.; BRASILEIRO, F. i. L. C.; MARTO, A. G.; MARCIOTTO, E. R.; FISCH, G. Wind tunnel simulation of the atmospheric boundary layer for studying the wind pattern at Centro de Lançamento de Alcântara. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 4, n. 4, p. 463–473, 2012. ISSN 2175-9146. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5028/jatm.2012.04044912>. 1

BERRISFORD, P.; DEE, D.; POLI, P.; BRUGGE, R.; FIELDING, M.; FUENTES, M.; KÅLLBERG, P.; KOBAYASHI, S.; UPPALA, S.; SIMMONS, A. The era-interim archive version 2.0. **ERA report series**, Shinfield Park, Reading, n. 1, p. 23, 2011. Disponível em: <https://www.ecmwf.int/en/elibrary/8174-era-interim-archive-version-20>. Acesso em: 10 outubro 2018. 13

BOLZAN, M. J. A. Transformada em ondeleta: uma necessidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, p. 563 – 567, 2006. ISSN 1806-1117. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172006000400019&nrm=iso>. 13

CHELLALI, F.; KHELLAF, A.; BELOUCHRANI, A. Application of time-frequency representation in the study of the cyclical behavior of wind speed in Algeria: wavelet transform. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 24, n. 8, p. 1233–1239, Apr 2010. ISSN 1436-3259. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-010-0388-x>. 5

CORRÊA, C. S.; CAMILLO, G. L.; COUTO, V. M.; FISCH, G.; CORREA, F. D. N.; HARTER, F. Climate forecasts at the centro de lançamento de alcântara using the climate model RegCM4. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 9, n. 1, p. 18–28, feb 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5028/jatm.v9i1.649>. 6

COUTINHO, E. D. C.; FISCH, G. Distúrbios ondulatórios de leste (DOLs) na região do centro de lançamento de Alcântara-MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, p. 193 – 203, 2007. ISSN 0102-7786. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862007000200005>. 7

DAUBECHIES, I. **Ten lectures on wavelets**. [S.l.]: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992. 14

DAVIS, R. E.; HAYDEN, B. P.; GAY, D. A.; PHILLIPS, W. L.; JONES, G. V. The north atlantic subtropical anticyclone. **Journal of Climate**, v. 10, n. 4, p. 728–744, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/1520-0442(1997)010<0728:TNASA>2.0.CO;2>. 37

DEGOLA, T. S. D. **Impactos e variabilidade do anticiclone subtropical do Atlântico Sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. 2, 9, 36, 53, 68

DIEDHIOU, A.; MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H. Mean kinematic characteristics of synoptic easterly disturbances over the atlantic. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 27, n. 3, p. 483– 499, Apr 2010. ISSN 1861-9533. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00376-009-9092-5>. 7, 8

ESCOBAR, G. C. J.; SELUCHI, M. E. Classificação sinótica dos campos de pressão atmosférica na América do Sul e sua relação com as baixas do chaco e do nordeste argentino. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 3, p. 365–375, 2012. 53

FARGE, M. Wavelet transforms and their applications to turbulence. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 24, n. 1, p. 395–458, 1992. 13

GAN, A. M.; RAO, B. V. Surface cyclogenesis over south america. **Monthly Weather Review**, v. 119, n. 5, p. 1293–1302, 1991. 45

GISLER, C. A. F.; FISCH, G.; CORREA, C. S. Statistical analysis of wind profile in the surface layer at the Alcântara Launching Center. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 3, n. 2, p. 193–202, Sep 2011. ISSN 2175-9146. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5028/jatm.2011.03022411>. 11, 12, 26

HOVEN, I. V. D. Power spectrum of horizontal wind speed in the frequency range from 0.0007 to 900 cycles per hour. **Journal of Meteorology**, v. 14, n. 2, p. 160–164, 1957. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1957)014<0160:PSOHWS>2.0.CO;2>. 2, 5

HURRELL, J. W.; DESER, C. North atlantic climate variability: the role of the north Atlantic oscillation. **Journal of Marine Systems**, v. 78, n. 1, p. 28 – 41, 2009.

ISSN 0924-7963. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924796309000815>. 37

HWANG, H. J. Power density spectrum of surface wind speed on palmyra island. **Monthly Weather Review**, v. 98, n. 1, p. 70–74, 1970. 2, 5, 6

ITO, E. R. K. **Um estudo climatológico do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e sua influência em sistemas frontais, 1999**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. 9, 36, 53, 68

MACHADO, L. A. T.; FERREIRA, N. J.; HENRI, L.; DIEDHIOU, A. Distúrbios ondulatórios de leste. In: CAVALCANTI NELSON JESUS FERREIRA, M. G. A. J. d. S. M. A. F. d. S. D. Iracema Fonseca de A. (Ed.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 61–74. 6

MARCIOTTO, E. R.; FISCH, G.; MEDEIROS, L. E. Characterization of surface level wind in the centro de lançamento de alcântara for use in rocket structure loading and dispersion studies. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 4, n. 1, p. 69– 80, 2012. ISSN 2175-9146. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5028/jatm.2012.04014911>. 1, 2, 6

MARQUES, R. D. F. C.; OYAMA, M. D. Variabilidade do vento na escala de 3-9 dias sobre Alcântara e Natal. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DO CLIMA, 3., 2009. **Proceedings...** Canela,RS, 2009. 7

MARQUES, R. F. C. Influência de sistemas meteorológicos no regime de vento no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004. **Anais...** Fortaleza,CE, 2004. 8, 48, 54, 59, 62, 66, 68

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1–10, Jun 2002. ISSN 1982-4351. Disponível em: <http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_busca_resultado.php>. 2, 7, 9, 68

MORI, Y. A study on climatological aspects of winds in japan. part i: mean wind fields and annual variations of winds. **Journal of Climate**, v. 1, n. 2, p. 132–142, 1988. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1988)001<0132:ASOCAO>2.0.CO;2>. 5, 6

MOURA, M.; CARNEIRO, R. Estudo dos padrões cimatológicos do vento usando transformada em ondeletas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 5, p. 774–782, 2014. 6

ORLANSKI, I. B. A. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. **Meteorological Society, 56(5), p.527-530.**, 1975. 48

PEZZA, A. B. **Ondas de frio na América do Sul e as trajetórias dos anticiclones e anticilones extratropicais: climatologia sinótica**. 2003. 367 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) — Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. 9, 53, 54

POWERS, J. G.; KLEMP, J. B.; SKAMAROCK, W. C.; DAVIS, C. A.; DUDHIA, J.; GILL, D. O.; COEN, J. L.; GOCHIS, D. J.; AHMADOV, R.; PECKHAM, S. E.; GRELL, G. A.; MICHALAKES, J.; TRAHAN, S.; BENJAMIN, S. G.; ALEXANDER, C. R.; DIMEGO, G. J.; WANG, W.; SCHWARTZ, C. S.; ROMINE, G. S.; LIU, Z.; SNYDER, C.; CHEN, F.; BARLAGE, M. J.; YU, W.; DUDA, M. G. The weather research and forecasting model: overview, system efforts, and future directions. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 98, n. 8, p. 1717–1737, 2017. 20

REUTER, E. D. J. **Sensibilidade do modelo MM5 no prognóstico do vento às diferentes parametrizações de camada limite planetária no Centro De Lançamento de Alcântara**. 2013.188 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos. 2, 6

SATYAMURTY PRAKKI, C. C. F.; GAN, M. A. Cyclonic vortices over South America. **Tellus.**, v. 42A, p. 194 – 201, 1990. 36

SCHUCH, D. The use of an atmospheric model to simulate the rocket exhaust effluents transport and dispersion for the centro de lançamento de alcântara. **Journal of Aerospace Technology and Management**, 2017. 1

SILVA, A. F. G. d.; FISCH, G. Avaliação do modelo WRF para a previsão do perfil do vento no Centro de Lançamento de Alcântara-MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 2, p. 259–270, Jun 2014. ISSN 1982-4351. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862014000200009>. 1, 21

SIMMONDS, I. Impact of reduced sea ice concentration on the antarctic mass balance. In: WORKSHOP ON MATHEMATICAL AND STATISTICAL MODELLING OF GLOBAL CHANGE PROCESSES, 13., 1990. **Proceedings...** Canberra, Austrália, 1990. p. 39–48. 9

SOUZA, A. S. **Autorização para cópia de publicação**. 2015. [Comunicação pessoal. 1

TAVARES, P. S. **Um estudo observacional da incursão de sistemas frontais no nordeste brasileiro e sua influência na atmosfera do Centro de Lançamento de Alcântara**. 2008. 165 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 2008. 2, 8, 68

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 1, p. 61–78, 1998. 13, 14, 15, 16

WENG, H.; LAU, K. Wavelets, period doubling, and time–frequency localization with application to organization of convection over the tropical western pacific. **Journal of the atmospheric sciences**, v. 51, n. 17, p. 2523–2541, 1994. 14

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

C

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Programas de Computador (PDC)

São a sequência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.