

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-8149-TDI/754

**ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS ATMOSFÉRICAS NA
REGIÃO DO CENTRO DE LANÇAMENTO DE FOGUETES DE
ALCÂNTARA (CLA)**

Eliane de Castro Coutinho

Dissertação de Mestrado em Meteorologia, orientada pelo Dr. Gilberto Fisch, aprovada
em 29 de julho de 1999.

INPE
São José dos Campos
2001

551.55 (812.1)

COUTINHO, E. C.

Estudo das características na região do Centro de Lançamento de foguetes de Alcântara (CLA) / E. C. Coutinho.

- São José dos Campos: INPE, 1999.

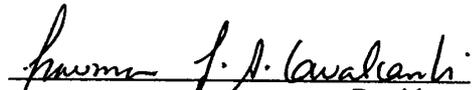
141p. - (INPE-8149-TDI/754) .

1.Radiossondas. 2.Meteorologia. 3.Reanálises. 4.Ondas de leste. 5.Centro de Lançamento de Alcântara (CLA).

I. Título.

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

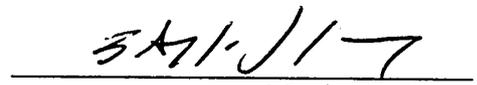
Dra Iracema Fonseca de A. Cavalcanti


Presidente

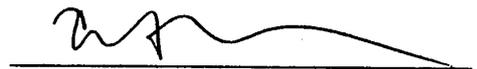
Dr. Gilberto Fernando Fisch


Orientador

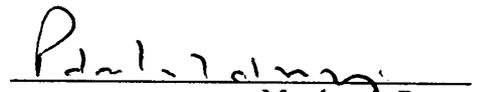
Dr. Luiz Augusto Toledo Machado


Membro da Banca

Dr. Prakki Satyamurty


Membro da Banca

Dr. Pedro Leite da Silva Dias


Membro da Banca
Convidado

Candidato (a) : Eliane de Castro Coutinho

São José dos Campos, 29 de julho de 1999.

Dedico esta trabalho
ao meu pai “Álvaro”, que mesmo em outro plano, sei que me protege em todos os
momentos,
a minha mãe “Lulu” por todo o apoio, amor e carinho, mesmo distante,
aos meus irmãos “Cláudio” e “Mauro”,
as minhas cunhadas “Dalva” e “Neuza”,
aos meus sobrinhos “Brena”, “Fernando”, “Claudinho”, “Francisco” e “Laiz” e
ao meu esposo e amigo “Eriko”, que não precisa de explicações.

AGRADECIMENTOS

Após dois anos e meio de luta, esta etapa foi realizada e concluída, com ajuda direta e indireta de várias pessoas, assim sendo agradeço:

Ao Dr. Gilberto Fernando Fisch, pela orientação e paciência no desenvolvimento deste trabalho.

Ao amigo e conterrâneo Edson, Beatriz e Tôta pelo tempo dedicado a ajudar-me em algumas tarefas necessárias.

Agradeço a todos os meus familiares e amigos que me ajudaram durante o desenvolvimento deste trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Ao CPTEC, IAE/CTA e Dr. Luiz Augusto por terem cedido os dados utilizados nesta pesquisa.

RESUMO

O estudo estatístico da temperatura do ar, umidade relativa e das componentes meridional e zonal do vento foi realizado para validar os dados das re-análises do *European Centre Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF) com as radiossondagens do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). O conjunto de dados compreende o período de 1988 a 1993, no horário das 12:00 Z e nos níveis de 1000, 925, 850, 775, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50 e 30 hPa. As comparações mostram claramente as diferenças e semelhanças entre as re-análises e radiossondagens. As assimilações conseguiram captar pontos importantes dos perfis verticais das observações, como a altura da tropopausa, através dos dados de temperatura, as mudanças de direção do vento, com dados das componentes zonal e meridional do vento, que possuem *Bias* entre 0,6-1,5 ms⁻¹. Entretanto os dados de umidade das re-análises do ECMWF foram mais elevados do que os das radiossondagens, com diferenças em torno de 50-70% entre 400-100 hPa. Já a segunda parte deste trabalho realizou a identificação da passagem dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) pela região de Alcântara, no período de 1988 a 1997 utilizando o método de mudança do sinal da componente meridional do vento, entre as camadas de 850-700, 700-500 e 850-500 hPa, associada com alta umidade específica. Após detectados os DOLs, estes foram confirmados por dados independentes de cobertura de nuvens e também pelos espectros de potência da componente meridional do vento. A análise da mudança do sinal de V detectou a presença de DOLs durante todo o ano com intervalo de tempo de 3-6 dias. Esse método revelou 64 eventos na camada de 850-700 hPa, 96 em 700-500 e 100 na camada de 850-500 hPa, onde todos apresentaram alta umidade específica, além de nebulosidade sobre Alcântara, com valores em torno de 80%.

ATMOSPHERIC CHARACTERISTICS IN THE REGION OF THE ROCKET LAUNCHING CENTER OF ALCÂNTARA (CLA)

ABSTRACT

A statistical study of the air temperature, relative humidity and wind components was undertaken in order to validate the ECMWF reanalysis data using observational rawinsonde data collected at CLA for the period from 1988 to 1993 at 12:00 Z. The meteorological variables are extracted at the levels of 1000, 925, 850, 775, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50 and 30 hPa. The reanalysis was able to capture important points of the vertical profiles of the rawinsondes, mainly the height and the values (air temperature) of the tropopause, and the changes in the wind direction. However the ECMWF reanalysis data showed stronger humidity than the rawinsondes with differences around 50-70% at 400 and 100 hPa levels. The second part of this work accomplished the identification of the passage of the Easterly Wave Disturbances (EWDs) over the Alcântara region, in the period from 1988 to 1997, using the method of signal change of the meridional component of the wind. This methodology was applied to the 850-700, 700-500 and 850-500 hPa in association with an increase of the specific humidity. The cases selected of EWDs detection, they were confirmed by independent data of cloud cover and also by the power spectrum of the meridional component of the wind. The analysis of the V detected the EWDs during all over the year, with time interval varying from 3 to 6 days. This method revealed 64 events in the 850-700 hPa layer, 96 in the 700-500 and 100 in the 850-500 hPa layer, where all presented positive anomalies of the specific humidity how much and cloud cover values around 80% over Alcântara.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE SÍMBOLOS	
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	
1 - INTRODUÇÃO	25
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 - REGIME DOS VENTOS NA AMÉRICA DO SUL PRÓXIMO AO NORDESTE BRASILEIRO (NEB)	29
2.2 - CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS ATMOSFÉRICOS QUE AFETAM A REGIÃO DE ALCÂNTARA	32
2.2.1 - Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs)	32
2.2.2 - Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)	40
2.2.3 - Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCANs).....	41
2.2.4 - Linhas de Cumulu-Nimbus (LCbs).....	43
3 - DADOS E METODOLOGIA.....	45
3.1 - DADOS	45
3.1.1 - Localização da Área em Estudo	46
3.1.2 - Climatologia de Alcântara.....	46
3.1.2.1 - Observações Meteorológicas de Superfície.....	47
3.1.2.1.1 - Precipitação	47

3.1.2.1.2 - Temperatura do Ar.....	49
3.1.2.1.3 - Umidade Relativa do Ar.....	50
3.1.2.1.4 - Velocidade e Direção do Vento.....	50
3.1.2.2 - Observações Meteorológicas em Altos Níveis.....	51
3.1.2.2.1 - Temperatura do Ar.....	51
3.1.2.2.2 - Umidade Relativa do Ar.....	51
3.1.2.2.3 - Velocidade e Direção do Vento.....	53
3.1.3 - Instrumentação.....	54
3.1.4 - Dados das Re-análises do ECMWF.....	55
3.2 - METODOLOGIA.....	56
3.2.1 - Estudo da Climatologia.....	57
3.2.2 - Detecção de Sistemas Atmosféricos que Afetam a Região do CLA.....	58
3.2.2.1 - Mudança do Sinal da Componente Meridional do Vento.....	59
4 - RESULTADOS.....	63
4.1 - ESTUDO ESTATÍSTICO.....	63
4.1.1 - Temperatura do Ar.....	63
4.1.2 - Umidade Relativa do Ar.....	65
4.1.3 - Ventos.....	68
4.1.3.1 - Componente Meridional do Vento (V).....	68
4.1.3.1.1 - Séries temporais.....	71
4.1.3.2 - Componente Zonal do Vento (U).....	72
4.2 - IDENTIFICAÇÃO DOS DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE.....	74
4.2.1 - Variação da Componente Meridional do Vento Associada à Alta Umidade Específica.....	74
4.2.1.1 - Camada de 850-700 hPa.....	76
4.2.1.2 - Camada de 700-500 hPa.....	77
4.2.1.3 - Camada de 850-500 hPa.....	79
4.2.1.4 - Comparação entre as Camadas.....	81

4.2.1.5 - Ocorrência de DOLs e Anomalias de Precipitação	82
4.2.2 - Associação dos DOLs com outros Fenômenos Atmosféricos.....	82
4.2.3 - Identificação dos DOLs pela Análise Espectral.....	85
5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	87
5.1 - CONCLUSÕES.....	87
5.2 - SUGESTÕES	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
APÊNDICE A - FÓRMULAS MATEMÁTICAS PARA O ESTUDO ESTATÍSTICO	101
APÊNDICE B - TÉCNICA DA ANÁLISE ESPECTRAL.....	105
APÊNDICE C - DADOS ESTATÍSTICOS DA TEMPERATURA DO AR, UMIDADE RELATIVA DO AR E COMPONENTES MERIDIONAL E ZONAL DO VENTO, NAS RADIOSSONDAGENS E NAS RE-ANÁLISES DO ECMWF..	111
APÊNDICE D - SÉRIES TEMPORAIS DA COMPONENTE MERIDIONAL DO VENTO ENTRE OS NÍVEIS DAS RE-ANÁLISES DO ECMWF (850 E 700 HPA) E AS CAMADAS DAS RADIOSSONDAGENS (850-700 E 700-500 HPA), NOS ANOS DE 1992 E 1993.....	129
APÊNDICE E - DISTRIBUIÇÃO SAZONAL E INTERANUAL DOS DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE EM ALCÂNTARA, ENTRE 1988-1997	135
APÊNDICE F - ESPECTROS DE POTÊNCIA DA COMPONENTE MERIDIONAL DO VENTO, NOS ANOS DE 1992 E 1993	139

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
2.1 - Representação da camada de inversão dos ventos alísios	30
2.2 - Sistema de ventos com dados do ECMWF para dez-jan-fev. (a) 850 hPa (máximo de $25,0 \text{ ms}^{-1}$) e (b) 300 hPa (máximo de $50,0 \text{ ms}^{-1}$)	31
2.3 - Sistema de ventos com dados do ECMWF para jun-jul-ago. (a) 850 hPa (máximo de $25,0 \text{ ms}^{-1}$) e (b) 300 hPa (máxima de $50,0 \text{ ms}^{-1}$)	32
2.4 - Estrutura vertical das ondas de leste no HN	34
2.5 - Modelo de uma onde de leste, em superfície e em níveis médios, no HN...	35
2.6 - Estrutura horizontal, em baixos níveis, de uma onda de leste no HS	36
2.7 - Estrutura vertical de uma onda de leste no HS	37
2.8 - Ciclo anual da migração da ZCIT. (a) Oceano Atlântico, entre $10-40^{\circ}\text{W}$; (b) Global, entre $0-359^{\circ}\text{E}$ e (c) América do Sul, entre $45-75^{\circ}\text{W}$	41
3.1 - (a) Localização geográfica de Alcântara-MA e dos pontos de grade utilizados na recuperação dos dados das re-análises dos ECMWF e (b) Setor da Meteorologia do CLA.....	47
3.2 - Precipitação em São Luiz-MA de 1961 a 1990	48
3.3 - Temperatura do ar em São Luiz-MA de 1961 a 1990.....	49
3.4 - Umidade relativa do ar em São Luiz-MA de 1961 a 1990.....	50
3.5 - Perfil vertical de temperatura do ar em Alcântara-MA de 1986 a 1996.	52
3.6 - Perfil vertical de umidade relativa do ar em Alcântara-MA de 1986 a 1996.	52
3.7 - Perfil vertical do vento em Alcântara-MA de 1986 a 1996.....	54
3.8 - Radiossonda (RS80-15N) utilizada na obtenção dos dados	55
3.9 - Relação da componente meridional do vento com a umidade específica no CLA, no mês de março de 1988. (a) em 850-700 hPa; (b) em 700-500 hPa e (c) em 850-500 hPa.....	59
4.1 - Valores médios mensais e <i>Bias</i> da temperatura do ar, no período de 1988 e 1993 para março e setembro	64

4.2 - Valores médios mensais e <i>Bias</i> da umidade relativa do ar, no período de 1988 e 1993 para março e setembro.....	66
4.3 - Valores médios mensais e <i>Bias</i> da componente meridional do vento, no período de 1988 e 1993 para março e setembro	69
4.4 - Valores médios mensais e <i>Bias</i> da componente zonal do vento, no período de 1988 e 1993 para março e setembro	73
4.5 - Umidade específica em Alcântara-MA, nas camadas de 850-700, 700-500 e 850-500 hPa, no período de 1988 a 1997. (a) média anual e (b) média mensal.....	75
4.6 - Cobertura total de nuvens entre os dias 3-8 de março de 1988 nos 8 horários na camada de 850-700 hPa.....	77
4.7 - Cobertura total de nuvens entre os dias 3-10 de maio de 1988 nos 8 horários na camada de 700-500 hPa.....	79
4.8 - Cobertura total de nuvens entre os dias 10-14 de março de 1988 nos 8 horários na camada de 850-500 hPa.....	80
4.9 - Associação dos DOLs com anomalias de precipitação (PRP de São Luiz-PRP média). (a) anos de 1988 a 1992; e (b) anos de 1993 a 1997.....	83
4.10 - Espectro de potência de V, para o ano de 1992. (a) trimestre chuvoso (jan-fev-mar) e (b) trimestre seco (jul-ago-set).....	86
B.1 - Gráfico para o algoritmo FFT, usando N=4	108
B.2 - Janela de <i>Hamming</i>	109
C.1 - Temperatura média do ar nas radiossondagens e nas re-análises do ECMWF, no período de 1988 a 1993	112
C.2 - Perfis verticais do desvio padrão da temperatura do ar nas RS e nas RAE, no período de 1988 a 1993	113
C.3 - Umidade relativa média do ar nas radiossondagens e nas re-análises do ECMWF, no período de 1988 a 1993	116
C.4 - Perfis verticais do desvio padrão da umidade relativa do ar nas RS e nas RAE, no período de 1988 a 1993.....	117
C.5 - Valores médios da componente meridional do vento nas radiossondagens e nas re-análises do ECMWF	120

C.6 - Perfis verticais do desvio padrão da componente meridional do vento nas RS e nas RAE, no período de 1988 a 1993	121
C.7 - Valores médios da componente zonal do vento nas radiossondagens e nas re-análises do ECMWF	124
C.8 - Perfis verticais do desvio padrão da componente zonal do vento nas RS e nas RAE, no período de 1988 a 1993.....	125
D.1 - Séries temporais da componente V do vento, para 1992.....	130
D.2 - Séries temporais da componente V do vento, para 1993.....	131
D.3 - Gráficos de dispersão da componente V do vento entre as radiossondagens (em camadas) e as re-análises do ECMWF (em níveis), para 1992.....	132
D.4 - Gráficos de dispersão da componente V do vento entre as radiossondagens (em camadas) e as re-análises do ECMWF (em níveis), para 1993.....	133
F.1 - Espectro de potência da componente meridional do vento entre janeiro e dezembro de 1989, em 850, 700 e 500 hPa	140
F.2 - Espectro de potência da componente meridional do vento entre abril e dezembro de 1993, em 850, 700 e 500 hPa	141

LISTA DE TABELAS

	Pág.
2.1 - Características dos Distúrbios Ondulatórios de Leste na Região Tropical....	39
2.2 - Frequência de Ocorrência dos VCANs sobre o NEB entre 1987-1995	43
3.1 - Frequência das radiossondagens diárias no CLA.....	46
3.2 - Média dos dias de chuva em São Luiz-MA.....	48
3.3 - Séries temporais utilizadas para a análise espectral.....	61
4.1 - Frequência de DOLs e quantidade de RS na camada de 850-700 hPa.....	76
4.2 - Frequência de DOLs e quantidade de RS na camada de 700-500 hPa.....	78
4.3 - Frequência de DOLs e quantidade de RS na camada de 850-500 hPa.....	80
C.1 - Total de dados, média aritmética e desvio padrão da temperatura do ar nas radiossondagens (RS) e nas Re-análises do ECMWF (RAE), no período de 1988 a 1993.....	114
C.2 - Coeficiente de correlação e teste de hipótese da temperatura do ar nas RS e RAE	115
C.3 - <i>Bias</i> da temperatura do ar entre as RS e as RAE	115
C.4 - Erro Quadrático Médio (EQM) da temperatura do ar entre as RS e as RAE	115
C.5 - Total de dados, média aritmética e desvio padrão da umidade relativa do ar nas radiossondagens (RS) e nas Re-análises do ECMWF (RAE), no período de 1988 a 1993	118
C.6 - Coeficiente de correlação e teste de hipótese da umidade relativa do ar nas RS e RAE.....	119
C.7 - <i>Bias</i> da umidade relativa do ar entre as RS e as RAE	119
C.8 - Erro Quadrático Médio (EQM) da umidade relativa do ar entre as RS e as RAE	119
C.9 - Total de dados, média aritmética e desvio padrão da componente meridional do vento nas radiossondagens (RS) e nas Re-análises do ECMWF (RAE), no período de 1988 a 1993	122

C.10 - Coeficiente de correlação e teste de hipótese da componente meridional do vento nas RS e RAE	123
C.11 - <i>Bias</i> da componente meridional do vento entre as RS e as RAE.....	123
C.12 - Erro Quadrático Médio (EQM) da componente meridional do vento entre as RS e as RAE	123
C.13 - Total de dados, média aritmética e desvio padrão da componente zonal do vento nas radiossondagens (RS) e nas Re-análises do ECMWF (RAE), no período de 1988 a 1993	126
C.14 - Coeficiente de correlação e teste de hipótese da componente zonal do vento nas RS e RAE	127
C.15 - <i>Bias</i> da componente zonal do vento entre as RS e as RAE.....	127
C.16 - Erro Quadrático Médio (EQM) da componente zonal do vento entre as RS e as RAE	127
E.1 - Período de ocorrência dos DOLs nas camadas de 850-700, 700-500 e 850-500 hPa, entre 1988-1997	135

LISTA DE SÍMBOLOS

δ	- Desvio padrão
ϵ	- Emissividade (0,662)
e_o	- Pressão de vapor (6,11 hPa)
f	- Índice da função janela temporal
$f(p)$	- Função periódica de período p
L_v	- Calor latente de vaporização ($2,501 \times 10^6 \text{ JKg}^{-1}$)
n, N e T_t	- Número de dados da série
P	- Pressão atmosférica (hPa)
q	- Umidade específica (gKg^{-1})
R_v	- Constante dos gases para o ar úmido ($461,51 \text{ JKg}^{-1}\text{K}^{-1}$)
r_v	- Razão de mistura do ar não saturado (gKg^{-1})
r_s	- Razão de mistura do ar saturado (gKg^{-1})
ρ	- Coeficiente de correlação
t	- Índice da função janela espectral
T	- Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)
T_d	- Temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$)
T_o	- Temperatura (273 K)
\mathbf{q}	- Direção do vento (graus)
U	- Componente Zonal do Vento (ms^{-1})
UR	- Umidade relativa do ar (%)
V	- Componente Meridional do Vento (ms^{-1})
VEL	- Magnitude do vento (ms^{-1})
\mathbf{X}	- Valores da amostra
$\bar{\mathbf{X}}$ e \mathbf{M}	- Média aritmética
\mathbf{X}_{RS}	- Valores das radiossondagens
\mathbf{X}_{ECMWF}	- Valores das re-análises do ECMWF
$\mathbf{w}(t)$	- Função janela espectral
$\mathbf{W}(f)$	- Função janela temporal

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABLE	- Amazon Layer Boundary Experiment
ARN	- Alta Refletividade das Nuvens
DSA	- Divisão de Satélites Ambientais
CE	- Cavado Equatorial
CLA	- Centro de Lançamento de Alcântara
COV	- Co-variância
CPTEC	- Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
CTA	- Centro Técnico Aeroespacial
DAO	- Data Assimilation Office
DOLs	- Distúrbios Ondulatórios de Leste
ECMWF	- European Centre for Medium Range Weather Forecast
EN	- El Niño
EDWs	- Easterly Disturbances Waves
ESSA	- Environment Science Services Administration
EQM	- Erro Quadrático Médio
ETA	- Enginnering Technology Associates
FFT	- Fast Fourier Tranforms
FGGE	- First GARP Global Experiment
FOEE	- Funções Ortogonais Empíricas Estendidas
GATE	- Garp Atlantic Tropical Experiment
GOES	- Geostationary Operational Environmental Satellite
GSFC	- Goddard Space Flight Centre
GTS	- Global Telecommunication System
HN	- Hemisfério Norte
HS	- Hemisfério Sul
IAE	- Instituto de Aeronáutica e Espaço
ISCCP	- International Satellite Cloud Climatology Project
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
JMA	- Japan Meteorological Agency

LA	- La Niña
LCbs	- Linhas de Cumulu-Nimbus
LI	- Linha de Instabilidade
MCGA	- Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
METEOSAT	- Meteorological Satellite
NCAR	- National Center for Atmospheric Research
NCC	- National Climate Center
NCEP	- National Centers for Environment Prediction
NEB	- Nordeste Brasileiro
NMC	- National Meteorological Center
NOAA	- National Ocean and Atmospheric Administration
NWRC	- National Weather Records Center
PNM	- Pressão ao Nível Médio do Mar
PRP	- Precipitação
RAE	- Re-análises do ECMWF
RCTM	- Regional Center for Tropical Meteorology
ROL	- Radiação de Ondas Longas
RS	- Radiossondagem
TIROS	- Television Infrared Observation Satellite
TSM	- Temperatura da Superfície do Mar
VCANs	- Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis
VLS	- Veículo Lançador de Satélite
ZCA	- Zona de Convergência dos Alíseos
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A região tropical é considerada uma grande fonte de calor para a atmosfera e caracteriza-se pela existência de ventos de leste em baixos níveis (ventos alísios), alta pluviosidade, em algumas regiões, atmosfera úmida com temperatura elevada e também por intensa atividade convectiva. Essa região possui uma grande escassez espacial e temporal de observações, que prejudica o estudo de fenômenos meteorológicos em várias escalas de tempo e espaço. Isto afeta particularmente os modelos de previsão de tempo desta região.

Sabe-se, também, que a circulação atmosférica tropical estende-se para além da região equatorial, controlando as principais características dos climas tropicais bem como do restante do globo terrestre (Nieuwolt, 1978). Vale ressaltar que esta circulação permite a troca de calor entre as latitudes e, ao mesmo tempo, origina e mantém os regimes de ventos, explicando a existência dos principais sistemas de vento reinantes (Riehl, 1965).

O clima na região tropical brasileira CLA é muito complexo, apresentando, por exemplo, a transição entre o clima do Nordeste Brasileiro (NEB) e da Região Amazônica, envolvendo a influência de vários sistemas atmosféricos, tais como os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) (Chan, 1990 e Mota, 1997), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Uvo, 1989), Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCANs) (Gan, 1982, Kayano et al., 1997 e Calbete et al., 1998) e Linhas de Cumulonimbus (LCbs) (Cavalcanti e Kousky, 1984 e Cohen et al., 1989).

Na costa litorânea norte do Maranhão, o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), de onde são lançados os foguetes brasileiros, tais como o Veículo Lançador de Satélite

(VLS) e os da família SONDA (SONDA II, SONDA III e SONDA IV). Sendo assim, torna-se necessário o entendimento do perfil vertical do vento para determinar a trajetória do VLS, a previsão do tempo é útil para as atividades de montagem dos foguetes, além de aumentar o banco de dados no CLA. Além disso essas atividades requerem um conhecimento detalhado dos sistemas meteorológicos que atuam no CLA, visando a melhoria das atividades operacionais de previsão de tempo. Assim, este trabalho tem os seguintes objetivos:

- a) Determinar uma climatologia básica dos parâmetros em altitude (temperatura do ar, umidade relativa do ar e componentes do vento) no CLA, através de comparações de produtos oriundos de modelos numéricos (Re-análises do *European Centre Medium Range Forecast Weather* (ECMWF) e de observações (radiossondagens)). Esta climatologia é um estudo de verificação/validação dos dados das re-análises para a área do CLA; e
- b) Analisar o comportamento da componente meridional do vento (V), associado à alta umidade específica (q) nos sistemas atmosféricos. Esta análise é uma climatologia simples e básica do número de ocorrência de eventos DOLs, e os períodos predominantes na região do CLA.

No Capítulo 2, faz-se uma revisão da bibliografia do regime dos ventos próximo ao NEB. Já na segunda etapa deu-se ênfase às características dos sistemas atmosféricos atuantes na região do CLA.

O Capítulo 3 mostra as séries de dados utilizadas neste trabalho, verificando a climatologia de Alcântara, a instrumentação utilizada, e as características do conjunto de dados das re-análises do ECMWF. Após isso foi descrita a metodologia utilizada, dividindo-se em: a) um estudo básico da climatologia do CLA, utilizando radiossondagens e re-análises do ECMWF e b) detecção de distúrbios ondulatórios de leste na região de Alcântara.

O Capítulo 4 trata dos resultados obtidos, mostrando: as análises feitas no estudo estatístico com os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e componentes zonal e meridional do vento das radiossondagens e das re-análises do ECMWF; e também a identificação dos DOLs pela mudança do sinal de V associada com alta umidade específica. A passagem destes sistemas foi comparada com imagens de satélite, dados de cobertura de nuvens e com espectros de potência resultantes da técnica de análise espectral.

Para finalizar, apresenta-se o Capítulo 5, que trata das conclusões e sugestões pertinentes no desenvolvimento de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Sabe-se que nos trópicos existem mais distúrbios meteorológicos de pequena escala do que nas outras latitudes e isso deve-se às mudanças na estrutura do sistema de ventos (Riehl, 1965). Além disso os ventos predominantes na baixa troposfera, na região tropical (de leste), são chamados de ventos alísios, que são fortes e persistentes (Nieuwolt, 1978).

Neste Capítulo são apresentados o regime dos ventos no NEB e as características de alguns sistemas atmosféricos que afetam a região do CLA a partir de estudos realizados anteriormente.

2.1 - REGIME DOS VENTOS NA AMÉRICA DO SUL PRÓXIMO AO NORDESTE BRASILEIRO (NEB)

Na Figura 2.1 nota-se que a camada de inversão dos alísios, no equador, possui uma espessura entre 2.000 e 3.000 m, diminuindo conforme se aproxima de latitudes mais elevadas. Esta camada, predominada pelo ar frio e estável, é inibida pelo desenvolvimento vertical da convecção (Nieuwolt, 1978).

A região tropical brasileira tem como características a temperatura alta, sem muita variação durante o ano e índices pluviométricos elevados. Além disso, sabe-se também que as correntes de leste são as que prevalecem nesta região nos baixos níveis. Em níveis altos, os ventos predominantes são de oeste (Nieuwolt, 1978).

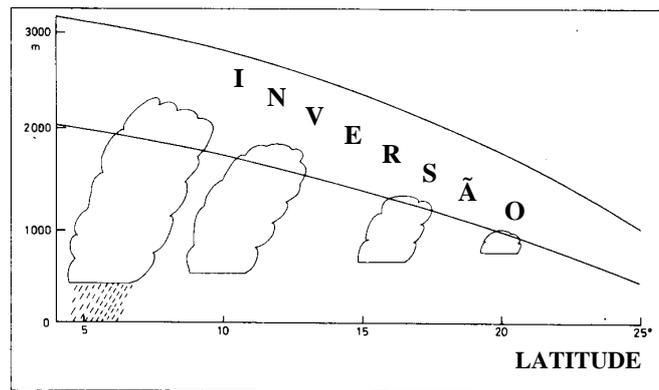


Fig. 2.1 - Representação da camada de inversão dos ventos alísios.

FONTE: Nieuwolt (1978, p.45).

As Figuras 2.2 e 2.3 representam o sistema de ventos na região tropical, nos trimestres de dez-jan-fev e jun-jul-ago, respectivamente, nos níveis de 850 e 300 hPa. Essas figuras foram preparadas com dados de vento oriundos das análises do ECMWF, no período de 1979 a 1989 (Hoskins et al., 1989). Nas análises a seguir será enfocada a costa litorânea norte do estado do Maranhão.

No trimestre de dez-jan-fev, no nível de 850 hPa (Figura 2.2a), os ventos alísios de sudeste no Oceano Atlântico Sul e os de nordeste no Oceano Atlântico Norte convergem para o Equador com direção de leste para oeste (correntes zonais de leste). Contudo, quando os ventos alísios no Atlântico Sul chegam na costa leste do NEB, estes tornam-se de noroeste, formando uma circulação anticiclônica em torno de 30°S (alta subtropical). Entre as altas subtropicais do Atlântico Norte e Sul, os ventos alísios são mais fortes. Os ventos são mais intensos na região oceânica, devido ao pequeno atrito. Na região do CLA, os ventos são de leste, mas ao penetrarem no continente, tornam-se de nordeste, porém com menor velocidade. Entretanto, estudos observacionais realizados na área do CLA mostram que ocorre uma aceleração do vento, ao penetrar dentro do continente (Fisch, 1999). Este fato, não observado nas análises produzidas pelos modelos numéricos, é devido ao acoplamento dos ventos alísios com a circulação de brisa marítima local, provavelmente não adequadamente representando com análises do ECMWF.

Os ventos no nível de 300 hPa, em dez-jan-fev (Figura 2.2b), são, em geral, mais fortes do que no nível de 850 hPa (Figura 2.2a). No HN os ventos são de oeste, com maior velocidade do que os ventos no HS. Pode-se notar que no Atlântico Sul, próximo ao NEB, existe uma circulação ciclônica, conhecida como VCANs, que aparecem com mais frequência nos meses de verão. Sobre a parte oeste da América do Sul tem-se uma circulação anticiclônica, conhecida como Alta da Bolívia. Em torno de 30°S, nota-se que os vetores são mais fortes, sendo relacionado com a presença dos jatos subtropicais. No Equador os ventos possuem direção de oeste. Especificamente na região do CLA os ventos neste nível são de sudoeste para oeste.

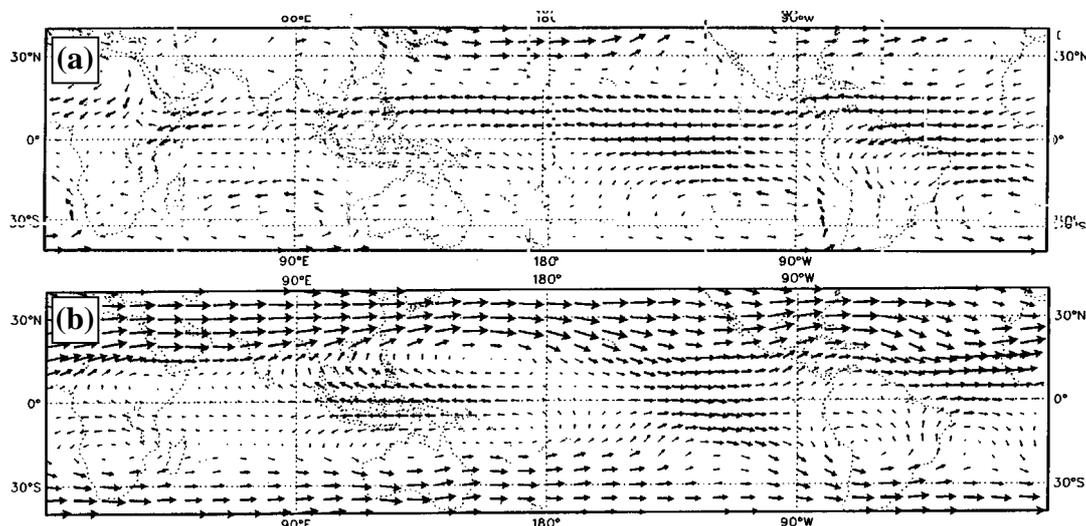


Fig. 2.2 - Circulação atmosférica com dados do ECMWF para dez-jan-fev. (a) 850 hPa (máximo de $25,0 \text{ ms}^{-1}$) e (b) 300 hPa (máximo de $50,0 \text{ ms}^{-1}$).

FONTE: Hoskins et al. (1989, p.61-62).

A Figura 2.3a (jun-jul-ago em 850 hPa) mostra que a alta subtropical no HN encontra-se mais na parte central do Oceano Atlântico, se comparada com a da Figura 2.2a (dez-jan-fev em 850 hPa). Já a alta subtropical do Atlântico Sul localiza-se mais próximo do litoral sudeste da América do Sul. Os ventos alísios na faixa do equador são similares aos da Figura 2.2a. Na região do CLA fica nítido que a direção do vento é de sul-sudeste.

No nível de 300 hPa, para jun-jul-ago (Figura 2.3b), os ventos são mais fortes no HS do que no HN, onde as correntes são mais zonais no HS do que as da Figura 2.2b (jun-jul-ago em 300 hPa). Esses fortes ventos estão relacionados com os jatos subtropicais de latitudes médias, que aparecem nessa época, devido as baixas temperaturas reinantes em latitudes altas. Nota-se ainda que no HN não aparecem os VCANs, pois não é a época em que estes se desenvolvem, segundo Gan (1982). Próximo a linha do Equador, os ventos são de leste no HN e de oeste no HS. Na região do CLA os ventos são predominantemente de oeste.

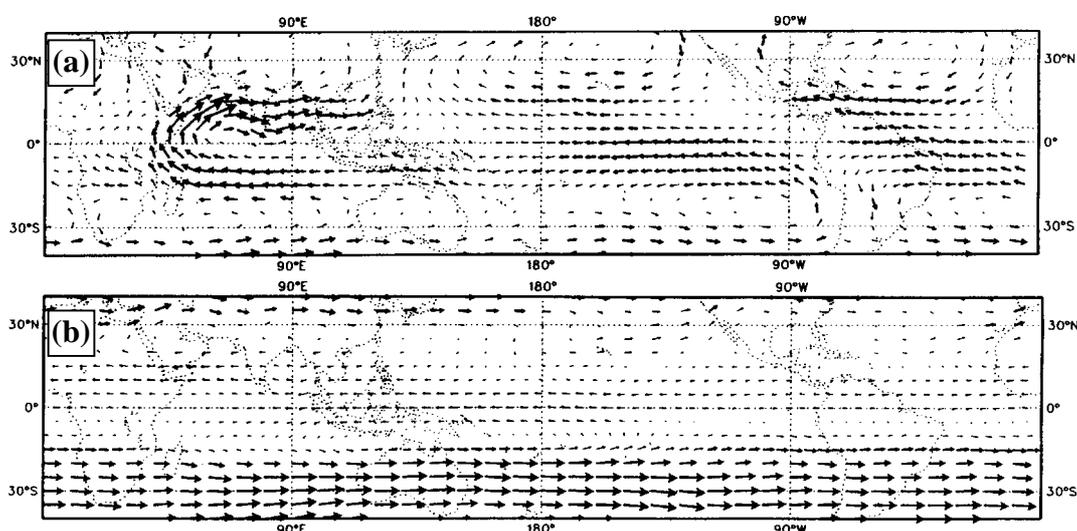


Fig. 2.3 - Circulação atmosférica com dados do ECMWF para jun-jul-ago. (a) 850 hPa (máximo de $25,0 \text{ ms}^{-1}$) e (b) 300 hPa (máximo de $50,0 \text{ ms}^{-1}$).

FONTE: Hoskins et al. (1989, p.93-94).

2.2 - CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS ATMOSFÉRICOS QUE AFETAM A REGIÃO DE ALCÂNTARA

2.2.1 - Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs)

Ondas de leste foram definidas, por Berry et al. (1945), como sendo distúrbios que se movem com os alísios para oeste, apresentando configurações ondulatórias nos campos

de vento e pressão. Entretanto um dos primeiros autores que identificou essas ondas foi Dunn (1940), que encontrou centros isalobáricos na superfície movimentando-se de leste para oeste sobre ilhas nas regiões tropicais. Com uma maior quantidade de dados disponíveis, Riehl (1945) notou que mudanças na direção do vento acompanhavam os centros isalobáricos, e que tais mudanças sugeriam que esses centros eram, exatamente, manifestações da propagação de ondas atmosféricas de leste para oeste.

Além disso, Riehl (1954) verificou que tais distúrbios variavam tanto com as estações do ano, como também de uma região para outra. Segundo Tai e Ogura (1987), esse tipo de distúrbio foi observado nas regiões do Mar do Caribe, do Pacífico Oeste e Central, no Atlântico Leste, Oeste da África, Sul do Mar da China e Índia. Esses autores ainda afirmaram que nas regiões onde as ondas de leste passavam com uma maior frequência/intensidade encontrava-se a ZCIT, alongada na direção leste-oeste, associada como forte atividade convectiva no verão do HN (jun-jul-ago). Kagano (1979), através de radiossondagens em Belém e Manaus, notou variações quase-periódicas na direção do vento e na umidade relativa, sugerindo que as ondas de leste poderiam ocorrer na Amazônia.

Deve-se mencionar que as principais condições para que os distúrbios tropicais, como os DOLs, se formem são: (a) a presença de massas de ar quente e úmido, pois essas massas podem, facilmente, tornar-se potencialmente ou condicionalmente instáveis, e provocar a liberação de calor latente de condensação pelos movimentos ascendentes; (b) a não existência de inversão dos ventos alísios, que é destruída pela convecção (Nieuwolt, 1978).

Esse tipo de distúrbio é o mais comum do regime dos ventos alísios e ocorre com mais frequência no lado equatorial do cinturão subtropical. Ele possui mais intensidade na média troposfera e desloca-se até atingir o litoral e a Zona da Mata do NEB, principalmente no final do verão, onde frequentemente apresenta uma fraca circulação ciclônica (Hastenrath, 1988). Estes eventos provocam um certo impacto nas condições

de tempo, estando associados com nebulosidade e precipitação acentuada ao longo de sua trajetória e mudanças na pressão e intensidade do vento na superfície (Tarakanov, 1966).

A maior frequência das ondas de leste ocorre no HN, devido a assimetria da circulação geral da atmosfera, pois no HN existem maiores contrastes de temperatura entre os oceanos e continentes. Além disso, os alísios próximos à superfície se movem com mais rapidez e mais intensidade do que as ondas de leste e na base da camada de inversão (Figura 2.1) os alísios deslocam-se mais lentamente (Nieuwolt, 1978).

Nieuwolt (1978) exemplifica claramente a passagem de uma onda de leste através da Figura 2.4, onde o ponto “X” representa a parte dianteira do DOL, o “Y” a retaguarda e a linha a-a’ o ponto inicial da atividade convectiva. Na parte dianteira da linha a-a’ não existe muita atividade convectiva, devido a existência de movimentos subsidentes, também mostrado na Figura 2.5. Já na retaguarda, a convecção e chuva são freqüentes, com mais intensidade durante as 24 horas iniciais, diminuindo gradativamente com o tempo. Nieuwolt (1978) ainda afirmou que a extensão horizontal das ondas de leste é cerca de 400 e 500 Km, com duração de 24 horas.

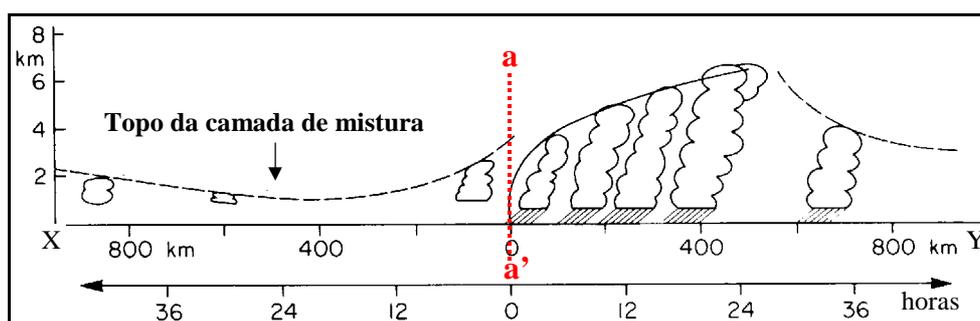


Fig. 2.4 - Estrutura vertical das ondas de leste no HN

FONTE: Nieuwolt (1978, p.78).

A Figura 2.5 mostra o padrão típico de uma onda de leste, desenvolvido na região do Caribe, onde a linha A-B representa a área de ocorrência de nebulosidade e X-Y a

seção horizontal mostrada na Figura 2.4 (Hastenrath, 1988). À leste do eixo da onda ocorre convergência, favorecendo a convecção e destruindo a inversão dos ventos alísios. Isto ocorre devido a existência de ar instável, sendo que neste ponto também encontra-se as temperaturas mais baixas, em baixos níveis. Já na parte oeste, tem-se divergência, que está associada a bom tempo, reforçando a inversão dos alísios, pois o ar predominante é estável, além de possuir temperaturas mais elevadas (Hastenrath, 1988).

A Figura 2.5 mostra ainda que as ondas de leste inclinam-se verticalmente para leste, da mesma forma que o cavado. Porém, a direção de propagação desse distúrbio é oposta, ou seja, de leste para oeste. Verifica-se também que o cavado estende-se em direção ao pólo com orientação nordeste-sudoeste. Além disso o cavado fica mais próximo do eixo da onda em superfície e mais afastado em níveis acima da superfície (níveis médios).

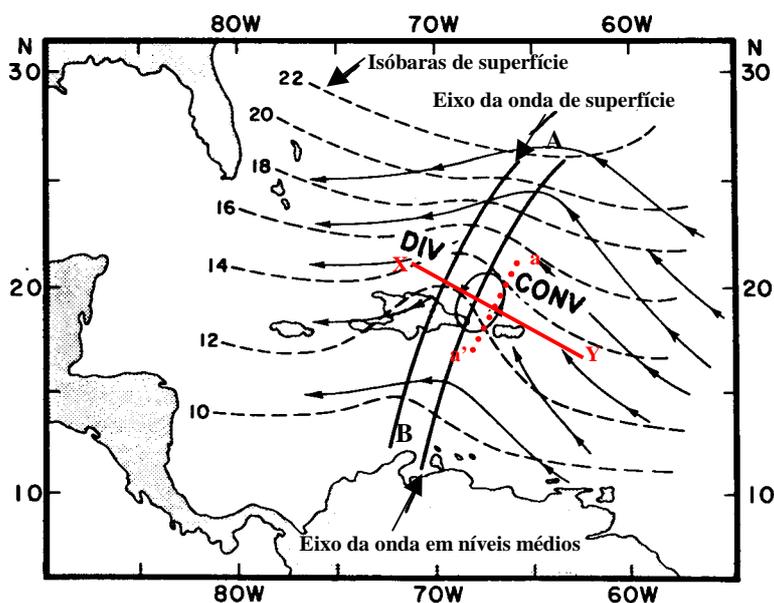


Fig. 2.5 - Modelo de uma onda de leste, em superfície e em níveis médios, no HN.

FONTE: Hastenrath (1988, p.223).

Yamazaki (1975) e Hall (1989) concluíram que a passagem desses distúrbios estava associada com a alta pluviosidade. Yamazaki (1975) obteve esse resultado com dados

dos meses de inverno na costa leste do Brasil e Hall (1989) de um período compreendendo 20 de janeiro a 30 de abril de 1986 na Ilha de Ascensão, situada na latitude de 8°S, no meio do Atlântico Sul, a aproximadamente 1600 Km da costa da América do Sul. Os eventos de fortes chuvas que apareceram na Ilha de Ascensão nos anos de 1984, 1985 e 1986 possuíam associação com a passagem de distúrbios movendo-se para oeste, mais do que com o desenvolvimento convectivo local e diurno (Hall, 1989). Além disso, Hall (1989) determinou um número de casos de ocorrência em 1986 indicando que os distúrbios associados com os eventos de chuvas fortes eram similares às ondas de leste encontradas no Atlântico Norte e que originavam-se na África.

Nota-se na Figura 2.6 que os ventos de leste, antes da passagem do eixo da onda, possuem componente meridional positiva, ou seja, vento de sul para norte. Porém, após a passagem da depressão, esses ventos mudam tornando-se de norte para sul. Além disso o eixo da onda está inclinado para oeste, coincidindo com a direção de propagação dos distúrbios.

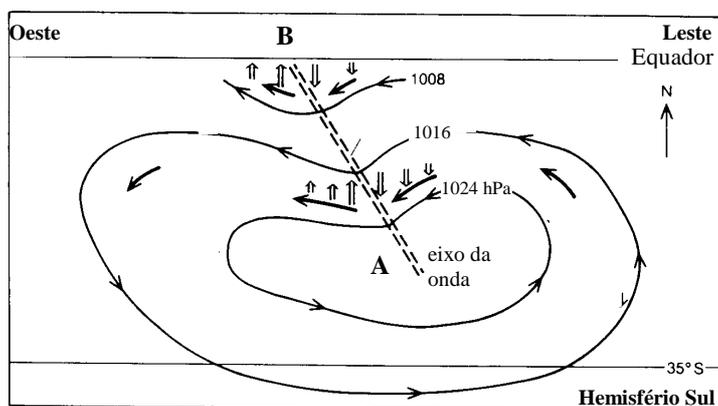


Fig. 2.6 - Estrutura horizontal, em baixos níveis, de uma onda de leste no HS.

FONTE: Hall (1989, p.178).

Nota-se que a inclinação vertical do eixo da onda (depressão) é diferente entre os Hemisférios Norte (inclinação para leste) e Sul (inclinação para oeste). Isto deve-se ao

sistema de ventos, pois no HS é de leste-sudeste e no HN leste-nordeste, ocasionando assim essa diferença.

A Figura 2.7 mostra que a atividade convectiva nos casos estudados por Hall (1989) e consequentemente as nuvens, encontram-se próximo ao eixo da onda, sendo que a maior quantidade de chuva é exatamente sobre esse eixo. O desenvolvimento vertical das nuvens e a extensão destas também são maiores sobre a depressão. A passagem desses distúrbios, pela Ilha de Ascensão, tem duração em torno de 5 a 10 dias, sendo este período muito maior do que foi afirmado por Hastenrath (1988) para a região tropical, com 3-6 dias.

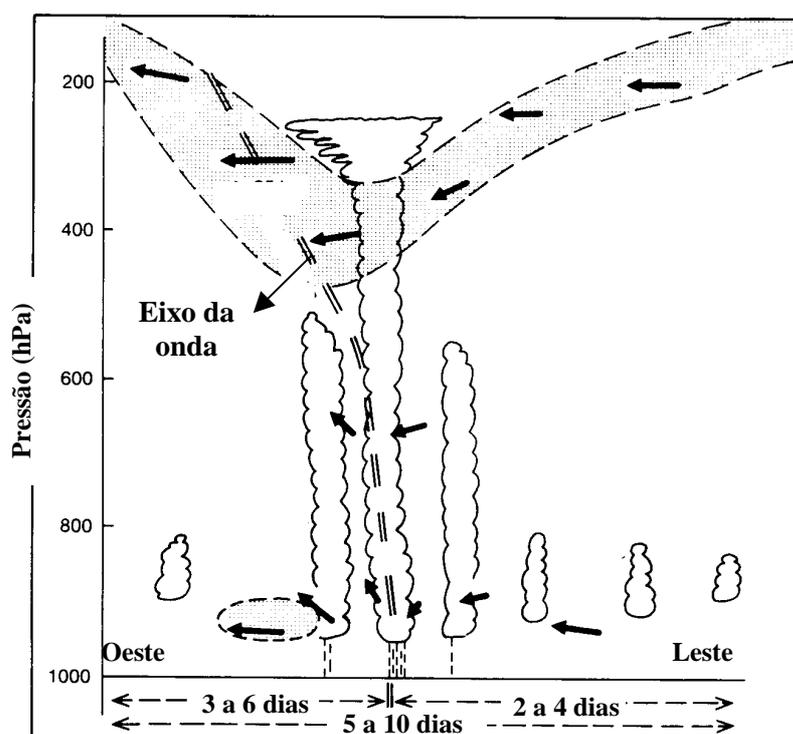


Fig. 2.7 - Estrutura vertical de uma onda de leste no HS. A escala horizontal mostra o tempo aproximado em que a onda utilizou para atravessar a Ilha de Ascensão.

FONTE: Hall (1989, p.178).

As ondas de leste também possuem outras denominações tais como ondas africanas e/ou ondas com períodos de 6-9 dias (De Felice et al., 1990 e 1993, e Viltard et al., 1997).

De Felice et al. (1993) e Viltard et al. (1997) denominaram estes sistemas ondulatórios de leste como “Ondas Africanas”, com velocidade de $2,9 \text{ ms}^{-1}$ e as “Ondas com período de 6-9 dias”, com $2,6 \text{ ms}^{-1}$ de velocidade. Além disso, Viltard et al. (1997) afirmaram que as ondas com períodos de 6-9 dias afetavam uma zona latitudinal entre 25°N e 25°S . Por outro lado as ondas africanas atuavam entre 10° e 15°N , sendo principalmente observadas na ZCIT. De Felice et al. (1993) afirmaram ainda que, durante estes eventos, o vento zonal médio era normalmente uniforme entre as latitudes de 20°N e 15°S e entre os níveis de 850 e 700 hPa. Apesar das diferenças entre as ondas africanas e as com período de 6-9 dias, existem duas similaridades: uma é, a velocidade, que é praticamente a mesma e a outra é a inclinação do vento meridional máximo. Porém, as ondas com período de 6-9 dias possuem uma complexidade muito maior do que as ondas africanas (De Felice et al., 1990 e Viltard et al., 1997).

A Tabela 2.1 mostra vários estudos anteriores referentes aos DOLs, dando ênfase ao número de episódios documentados, uma vez que um dos objetivos deste trabalho é o de quantificar a ocorrência dos DOLs. Existem muitos trabalhos abordando os distúrbios ondulatórios de leste. Porém, até o momento, somente Mota (1997) estudou o número de episódios que passou sobre a parte norte do NEB, sendo que este autor analisou somente o período de maio à agosto de 1994.

Além dos trabalhos citados na Tabela 2.1 existem outros, tais como: Neiva (1975), Rennick (1976), Kagano (1979), Liebmann e Hendon (1990) e Espinosa (1996). Entretanto estes analisaram as características dinâmicas dos distúrbios ondulatórios de leste e não o número de eventos ocorridos, diferenciando dos objetivos desta dissertação, e por esse motivo não foram referenciados nesta tabela.

TABELA 2.1 - CARACTERÍSTICAS DOS DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE NA REGIÃO TROPICAL

Pesquisadores	Dados/Período Estudado	Localidades	Nº de Eventos	Nível (hPa)	Duração dos Eventos (dias)
Simpson et al. (1968)	RCTM ¹ / jun-out	Golfo do México, Mar do Caribe e no Atlântico Tropical	61	1000-700	-
Carlson (1969)	ESSA ² -5 / 21-ago a 5-set (1967)	Costa Oeste da África	7	700	2
Frank (1969)	Imagens de satélite	Dakar / Antilhas	19 / 20	700-300	-
Chang (1970)	NWRC ³ em Asheville / jul-dez (1964)	Pacífico Oeste	30	sfc-80	4-6
Burpee (1972)	NCC ⁴ / Verão (1968-1969)	Norte da África	43	Baixa trop	4-5
Yamazaki e Rao (1977)	Imagens de Satélite / 1967	Atlântico Sul	20	-	-
Tai e Ogura (1987)	FGGE ⁵ (ECMWF) jul-ago (1978-1979)	11,25°N e 112,5°W	4-julho 3-agosto	850	4-6
Reed et al. (1988b)	ECMWF / ago-set (1985)	Oeste da África	20	850 e 700	3-5
Chan (1990)	NMC ⁶ / dez-1978 a nov-1979	Atlântico Sul	14-17	850	5-6
De Felice et al. (1990)	ECMWF / 7-jul a 26-ago (1981)	Norte da África	7	700 e 500	6-9
Duvel (1990)	ECMWF e imagens do METEOSAT jul (1983-1985)	África Tropical e Atlântico	49	850	2,8-5,1
De Felice et al. (1993)	ECMWF / jul-ago (1981)	Atlântico Tropical	7	850-200	6-9
Mota (1997) ^(a)	NMC / jun-ago (1994)	Norte do NEB	13	700	4-6
Viltard et al. (1997) ^(b)	ECMWF (00 e 12 Z) NMC (00, 06, 12 e 18 Z) jul-set (1981-1985)	África Central e Oeste, Atlântico Tropical	25 30	850-700	6-9

(a) Encontrou um total de 13 DOLs no NEB, onde esses 13 atuaram tanto no Equador como em torno de 5°S. Porém, em 10°S, 3 desses distúrbios se dissiparam, restando portanto 10 casos.

(b) Encontraram dois grupos de episódios, ou seja, 25 episódios eram referentes às ondas africanas e os outros 30 às ondas com períodos de 6-9 dias.

Recentemente, Machado et al. (1996) desenvolveram um estudo sobre a nebulosidade da América do Sul, utilizando dados de Radiação de Ondas Longas (ROL) (dados nível B3 do *International Satellite Cloud Climatology Project* (ISCCP), visando estudar as flutuações de ROL associadas com as escalas diurnas e interdiurnas. No caso específico destas variabilidades interdiurnas, os autores argumentam que a fonte destes eram os DOLs. A análise do espectro de potência dos dados de ROL, na costa litorânea do NEB,

¹ *Regional Center for Tropical Meteorology*

² *Environment Science Services Administration*

³ *National Weather Records Center*

⁴ *National Climate Center*

⁵ *First GARP Global Experiment*

⁶ *National Meteorological Center*

mostrou que existe um pico de energia associado aos fenômenos atmosféricos com escala de 4-5 dias, que é característica dos DOLs (Chan, 1990 e Machado et al., 1996).

2.2.2 - Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

Conforme estudos anteriores, pode-se afirmar que a ZCIT localiza-se em numa região em que ocorrem interações entre vários sistemas atmosféricos e oceânicos, tais como a Zona de Convergência dos Alísios (ZCA), a zona do Cavado Equatorial (CE), zona de máxima Temperatura da Superfície do Mar (TSM), zona de máxima convergência de massa e zona de máxima cobertura de nuvens convectivas. Estes campos são bons indicadores da ZCIT, embora nem todos ocorram ao mesmo tempo e sobre uma mesma latitude (Ferreira, 1998). Além disso, Nieuwolt (1978) e Uvo (1989) afirmaram que a ZCIT desloca-se para fora de regiões onde os ventos alísios de sudeste ou de nordeste são mais intensos. A ZCIT é mais pronunciada sobre regiões oceânicas, ou seja, é mais claramente identificada nestas regiões.

Um ponto muito importante, citado por Ferreira (1998), é a localização da ZCIT, uma vez que vários autores a determinaram, através de diferentes variáveis físicas, tais como a cobertura de nuvens, a pressão ao nível médio do mar, a componente meridional do vento nos baixos níveis, etc. Sabe-se que a ZCIT possui um deslocamento norte-sul ao longo do ano, alcançando sua latitude máxima em torno de 1° no HS e 8° no HN (Uvo, 1989), como pode ser comprovado na Figura 2.8a. Esses limites coincidem com a época chuvosa e seca do norte do NEB, respectivamente e por esse motivo Uvo (1989) afirma que a ZCIT é o principal sistema gerador da precipitação nesta região, pois os picos ocorrem exatamente durante a passagem da ZCIT para o HS.

A Figura 2.8c mostra que a ZCIT encontra-se mais ao sul do que na Figura 2.8a, deslocando de 5° N até em torno de 10° S (Waliser, 1998). Porém na Figura 2.8b verifica-se que em termos globais a ZCIT possui um deslocamento entre 10° N e 5° S, como se fosse uma média entre as Figuras 2.8a e 2.8c. Waliser (1998) utilizou dados de

17 anos de Alta Refletividade de Nuvens (ARN). A linha branca representa a migração meridional média da ZCIT ao longo do ano.

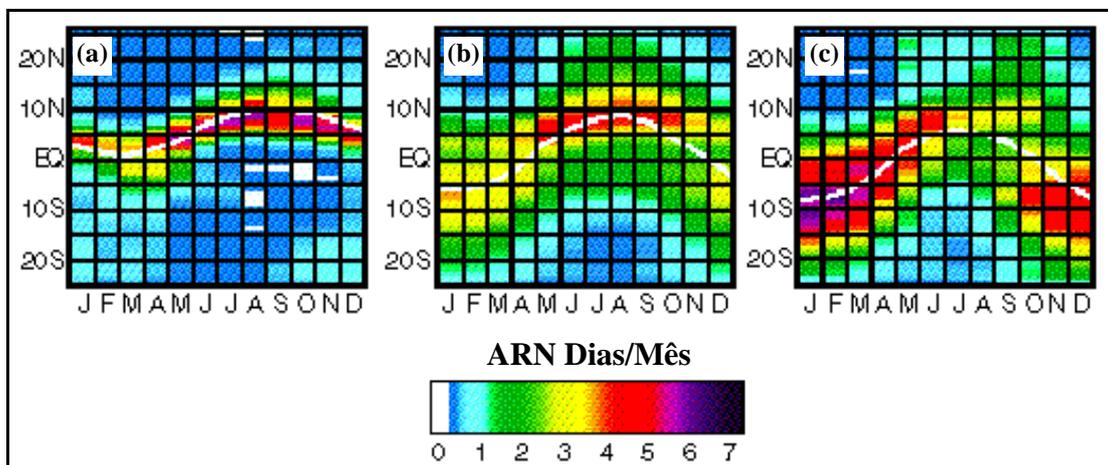


Fig. 2.8 - Ciclo anual da migração da ZCIT. (a) Oceano Atlântico, entre 10-40°W; (b) Global, entre 0-359°E e (c) América do Sul, entre 45-75°W.

FONTE: Adaptada de Waliser (1998, p.16).

Além da influência que a ZCIT causa no tempo e no clima das áreas tropicais, ocorre o envolvimento desta no balanço térmico global (Ferreira, 1998). Sabe-se também que, em escala planetária, a ZCIT representa o ramo ascendente da célula de *Hadley*, transferindo calor e umidade dos níveis inferiores da atmosfera tropical para os níveis superiores (Ferreira, 1998). Estas quantidades são transportadas para regiões extra-tropicais.

2.2.3 - Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCANs)

Os VCANs, juntamente com a ZCIT são um dos principais sistemas atmosféricos de origem tropical que provocam alterações no tempo do NEB, deslocando-se do oceano para o continente ou vice-versa (Gan, 1982). Além disso, sabe-se também que a trajetória dos VCANs é irregular, com uma tendência de ser anticiclônica, originando-se sobre o Oceano Atlântico Sul, e deslocando-se para latitudes de 0° a 28°S e

longitudes de 20° a 45°W (Gan e Kousky, 1986). Este movimento afeta a região do CLA e, segundo Kayano et al. (1997), são sistemas de núcleo frio e extremamente persistentes e importantes na distribuição de chuvas no NEB.

Segundo Carvalho (1989) e Figueroa et al. (1995), a formação desses sistemas coincidem com a época do ano onde o escoamento em altos níveis (200 hPa) apresenta-se meridional (de sul a norte) nas regiões à leste do meridiano de 50°W. A maioria dos Vórtices Ciclônicos da alta troposfera estão confinados nos altos níveis (acima de 5.000 m), sendo que cerca de 60% não atingem o nível de 700 hPa e somente 10% atingem a superfície (Frank, 1966). Gan (1998) afirmou que os VCANs que atingem o nível de 700 hPa podem ser confundidos com os DOLs.

Quando os VCANs atingem a região do NEB, produzem tempo bom na região sul e central, porém provocam muita chuva na parte norte. Além disso nos setores leste e nordeste do vórtice, o que prevalece é a atmosfera instável associada à nebulosidade. Esses vórtices ciclônicos apresentam movimento descendente de ar frio e seco no seu núcleo, inibindo a formação de nuvens e conseqüentemente as chuvas. Entretanto na periferia, o movimento é ascendente com ar quente e úmido. Esse fato ocasiona a transformação de energia potencial em energia cinética (Gan, 1982). Calbete et al. (1998) afirmaram que à sudeste do vórtice ciclônico existe uma frente fria com posicionamento norte-sul, a qual provoca chuvas ao longo da zona frontal e tempo bom a sua retaguarda.

Através da Tabela 2.2, verifica-se a frequência com que os VCANs passam pelo NEB. Nota-se que a maior frequência ocorre no trimestre de dez-jan-fev, comprovando as afirmações feitas por Gan (1982) e Kayano et al. (1997) de que os VCANs tinham sua máxima intensidade no verão. O seu tempo de vida pode ser de algumas horas ou até mesmo de mais de duas semanas (Gan, 1982). Todos esses estudos referem-se a VCANs no NEB.

**TABELA 2.2 - FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DOS VCANs SOBRE O NEB
ENTRE 1987-1995**

Ano/Mês	87	88	89	90	91	92	93	94	95	Média Mensal
jan	3	2	3	3	3	-	2	3	2	3,0
fev	2	1	2	2	1	2	3	3	2	2,1
mar	1	1	-	0	1	1	2	1	1	1,0
abr	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0,4
ago	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,1
set	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,1
out	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0,5
nov	0	2	0	1	-	-	1	1	1	0,8
dez	3	3	2	0	1	0	2	2	3	1,7

Calbete et al. (1998)

2.2.4 - Linhas de Cumulu-nimbus (LCBs)

Nuvens convectivas longas e estreitas formam-se na costa norte-nordeste da América do Sul, desde a Guiana até o Maranhão, podendo mover-se para dentro do continente como uma Linhas de Instabilidade (LI) ou dissipar-se próximo à costa. Contudo a formação da LI próximo à costa está relacionada com a penetração da brisa marítima (Cohen et al., 1989). Além disso é importante saber, segundo Hamilton e Archbold (1945), que uma LI tropical é definida como sendo uma Linha de Cumulu-Nimbus (LCBs) que se forma ao longo da borda de uma ampla área de movimentos descendentes. Porém as LCBs junto à costa atlântica podem se propagar, como uma LI, para o interior da bacia amazônica. Este fato foi observado por Cohen et al. (1989) durante o *Amazon Boundary Layer Experiment* (ABLE).

As LCBs possuem várias características, segundo Cohen et al. (1989) como: (a) a máxima frequência ocorre em abril e agosto; (b) a velocidade média de deslocamento está entre 12 e 16 ms⁻¹; (c) a dimensão horizontal média é 1.400 Km de comprimento e 170 Km de largura; e (d) a formação ocorre no final da tarde e início da noite, dissipando ao amanhecer. Também é importante observar que a região de formação das LCBs sofre um deslocamento na direção norte-sul, no mesmo sentido e época da ZCIT, e que a maior frequência destas LCBs ocorre no período em que a ZCIT está mais

organizada (Cavalcanti, 1982). O topo de nuvens que constituem as LCbs na Amazônica, durante o seu ciclo de vida, representa o centro ativo desses sistemas, estando entre 150 e 100 hPa de altitude (Cavalcanti, 1982).

Segundo comunicação pessoal de Cutrin, dada a Cohen et al. (1989), as LCbs são responsáveis por cerca de 45% da chuva ocorrida na parte leste do Pará. Além disso Molion e Kousky (1985) consideraram que as LCbs seriam determinantes na distribuição média mensal da precipitação no interior da bacia amazônica.

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

Este Capítulo divide-se em duas partes: a) identificação dos dados utilizados, incluindo características geográficas e climatológicas do CLA e b) a metodologia, subdividindo-se na determinação da climatologia de Alcântara e na identificação de sistemas atmosféricos, que passam pelo CLA.

3.1 - DADOS

Neste trabalho foram utilizados os seguintes conjuntos de dados:

- a) Dados de velocidade (ms^{-1}) e direção (graus) do vento, temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$) das radiossondagens do CLA, às 12:00 Z, de fevereiro de 1988 a setembro de 1997 (Tabela 3.1), nos níveis de 1000, 925, 850, 775, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50 e 30 hPa;
- b) Dados diários de U (ms^{-1}) e V (ms^{-1}), temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa (%) e específica (gKg^{-1}), das re-análises do ECMWF, no horário das 12:00 Z, no período de 1988 a 1993. Os dados estão em pontos de grade horizontalmente espaçados de $2,5^{\circ}$ de latitude e $2,5^{\circ}$ de longitude, e nos níveis citados no item a);
- c) Dados diários de precipitação (mm), na cidade de São Luiz do Maranhão, durante o período de 1988 a 1997;
- d) Dados de cobertura de nuvens (%) do ISCCP, com resolução temporal de 3 horas, em 1988 e 1989; e

e) Imagens do *Geostationary Operational Environmental Satellite - E* (GOES-E) durante o período de fevereiro de 1988 a junho de 1994 (imagens impressas) e de julho de 1994 a setembro de 1997 (imagens digitalizadas), às 12:00 Z.

TABELA 3.1 - FREQUÊNCIA DAS RADIOSSONDAGENS DIÁRIAS NO CLA

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Total
jan	-	-	09	-	19	-	26	26	25	26	131
fev	05	-	-	-	25	-	26	11	27	22	116
mar	24	-	-	-	27	06	30	15	23	21	146
abr	23	-	-	-	28	24	26	15	24	28	168
mai	26	-	-	-	24	27	31	15	11	29	163
jun	24	15	-	-	18	28	27	07	15	29	163
jul	28	17	-	-	29	20	28	25	25	31	203
ago	24	25	-	-	29	10	-	17	18	29	152
set	23	08	14	-	25	30	-	29	23	29	181
out	29	21	11	16	25	28	-	25	23	-	178
nov	28	23	-	26	28	23	25	03	20	-	176
dez	11	29	-	10	09	27	27	25	28	-	166
Total	245	138	34	52	286	223	246	213	262	244	1943

3.1.1 - Localização da Área em Estudo

A série de dados obtida através das radiossondagens foi coletada no Município de Alcântara (no CLA) (Figura 3.1), região da costa litorânea norte do Maranhão, localizada geograficamente na latitude de 2°19'S, longitude de 44°22'W, altitude de 40 m e com uma distância de 10 km, em linha reta para sudeste, da cidade de São Luiz.

3.1.2 - Climatologia de Alcântara

Como já mencionado anteriormente, o clima de Alcântara é muito complexo, com a influência de vários tipos de sistemas atmosféricos comuns da região tropical, tais como circulação de brisa marítima, ZCIT, DOLs, VCANs, LCbs, etc. Assim torna-se importante a identificação destes sistemas (Fisch, 1997), visando o aumento do conhecimento da climatologia local e melhoria da meteorologia operacional do CLA.

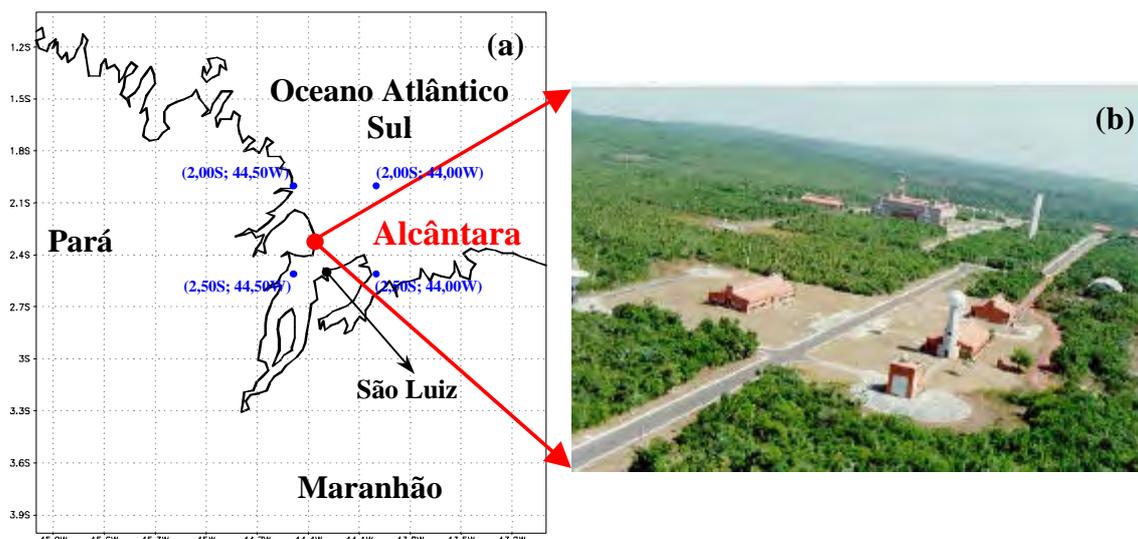


Fig. 3.1 - (a) Localização geográfica de Alcântara-MA e dos pontos de grade utilizados na recuperação dos dados das re-análises dos ECMWF e (b) Setor da Meteorologia do CLA.

FONTE: (b) Instituto de Aeronáutica e Espaço. Centro Técnico Aeroespacial (1998).

As informações relativas às observações meteorológicas de superfície são referentes à normais climatológicas da cidade de São Luiz, no período de 1961 a 1990. Apesar dessas informações não serem exatamente sobre Alcântara, elas são válidas, pois representam as principais características da região litorânea do norte do Maranhão, não apresentando influências locais associadas ao contorno da costa. Os dados referentes às observações em altos níveis são das 12:00 Z no CLA, no período de 1988 a 1996.

3.1.2.1 - Observações Meteorológicas de Superfície

3.1.2.1.1 - Precipitação (mm)

Como a precipitação é um elemento climático que apresenta uma grande variabilidade espacial e temporal, é interessante verificar o seu comportamento sazonal. Alcântara possui um regime de precipitação dividido em uma estação chuvosa, que compreende os

meses de janeiro a junho, com um total de chuva superior à 2000 mm, no qual os meses apresentem chuva superior à 150 mm e uma estação seca, durante os meses de julho a dezembro, com um total mensal inferior a 20 mm. O total anual é de aproximadamente 2300 mm. O trimestre mais seco é set-out-nov e o mais chuvoso é fev-mar-abr, o que pode ser verificado na Figura 3.2.

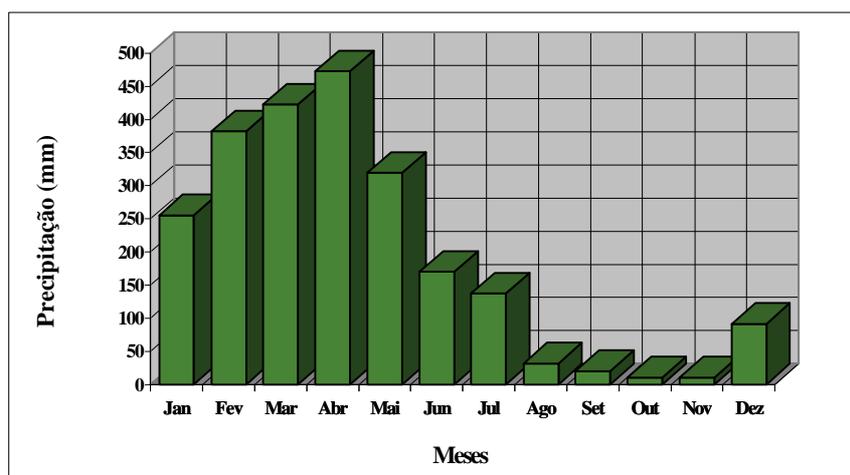


Fig. 3.2: Precipitação em São Luiz-MA de 1961 a 1990.

Nota-se que no mês de abril (mês com maior índice pluviométrico) o total de precipitação está entre 450 e 500 mm, e no mês de novembro (mês com menor índice pluviométrico) em torno de 15 mm. Analisando a ocorrência do número de dias com chuvas, mostrada na Tabela 3.2 (Rebello, 1998), os meses de março e abril apresentaram-se com 24 e 25 dias, respectivamente. Em set-out-nov ocorreram somente 2 dias com precipitação.

TABELA 3.2 - MÉDIA DOS DIAS DE CHUVA EM SÃO LUIZ-MA

Meses	Nº de dias	Meses	Nº de dias
janeiro	16	julho	11
fevereiro	20	agosto	4
março	25	setembro	2
abril	24	outubro	2
maio	23	novembro	2
junho	15	dezembro	6
Total	123	Total	27

Este distinto comportamento entre as estações deve-se em parte à posição geográfica da ZCIT, pois os máximos índices pluviométricos de março e abril estão associados com a sua posição mais ao sul, favorecendo a convergência de umidade nos baixos níveis. Por outro lado, os meses de menor precipitação (outubro e novembro) decorrem do deslocamento da ZCIT para sua posição ao norte, provocando movimentos descendentes sobre a parte do Atlântico Equatorial, e com isso inibindo a precipitação (Fisch, 1997).

3.1.2.1.2 - Temperatura do Ar (°C)

A temperatura do ar não tem variações marcantes durante o ano, apresentando uma amplitude térmica de apenas 1,7°C e média de 26,1°C. O mês de novembro é o que apresenta a maior temperatura (28,1°C), devido ao longo período de seca, e o mês de março a menor (26,4°C) devido à alta nebulosidade e chuvas da época (Figura 3.3).

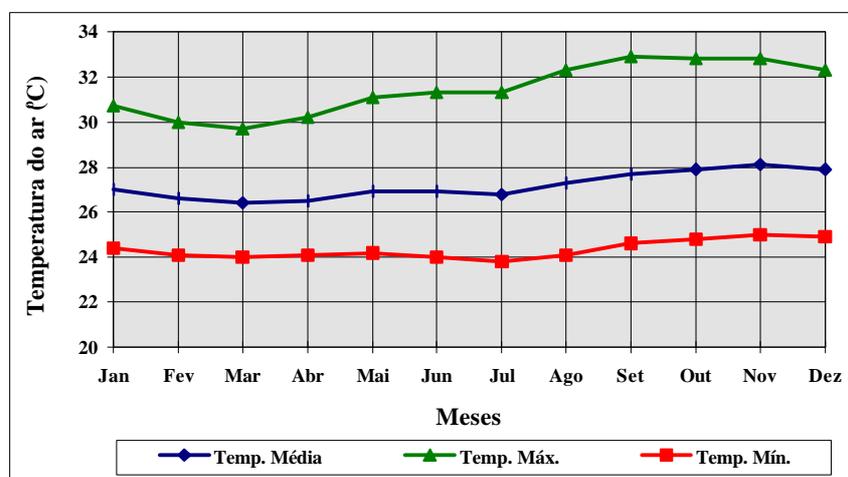


Fig. 3.3: Temperatura do ar (média mensal) em São Luiz-MA de 1961 a 1990.

A temperatura média mensal máxima em São Luiz é de 31,4°C e a mínima de 22,3°C, ambas encontradas na Figura 3.3. Nota-se ainda que as curvas das respectivas figuras se

comportam de maneira semelhante, exceto nos meses de junho, julho, setembro e outubro.

3.1.2.1.3 - Umidade Relativa do Ar (%)

A umidade relativa também apresenta pequena variação sazonal, característica da região tropical. A curva desta variável comporta-se de maneira inversa a curva da temperatura média do ar, pois na estação chuvosa a umidade é maior do que na estação seca, tendo uma amplitude anual em torno de 12% (Figura 3.4). Os meses de outubro e novembro são os meses mais secos (75%), sendo os meses de março e abril os mais úmidos (87%). Este comportamento está fortemente associado com a distribuição de chuvas na região.



Fig. 3.4: Umidade relativa do ar em São Luiz-MA de 1961 a 1990.

3.1.2.1.4 - Velocidade (ms^{-1}) e Direção (graus) do Vento

As características sazonais e diárias do vento são bastante diferentes, pois os valores médios mensais mostram que nos meses mais úmidos os ventos são fracos com velocidade entre 2,0 e 2,5 ms^{-1} . Por outro lado, nos meses mais secos, a velocidade duplica de valor, atingindo até 5,0 ms^{-1} . Durante o período diurno os ventos são mais

intensos, com direção (ventos alísios) predominante nos quadrantes de nordeste e sudeste (Fisch, 1997).

3.1.2.2 - Observações Meteorológicas em Altos Níveis

Os próximos itens foram baseados nas análises dos dados das radiossondagens coletados no CLA (Tabela 3.1) e parte das análises encontram-se em Fisch (1997). Estes dados foram coletados, consistidos e armazenados na Divisão de Ciências Atmosféricas do CTA/IAE, tendo sido interpolados verticalmente em níveis com 500 m de resolução vertical.

3.1.2.2.1 - Temperatura do Ar (°C)

O perfil vertical de temperatura do ar decresce até em torno de 17.500 m de altitude chegando a um valor extremo de -80°C na tropopausa. A partir dessa altura, a temperatura volta a aumentar até em torno de -40°C em 30.000 m. Não existe sazonalidade acentuada do comportamento da temperatura do ar (Figura 3.5). Nota-se ainda que as curvas de temperatura de março (representa a época chuvosa) e de setembro (representa a época seca) não possuem diferenças significativas.

A altura da tropopausa varia conforme a época do ano, pois nota-se que em março a tropopausa encontra-se em torno de 17.500 m de altura e em setembro, em um nível levemente inferior (16.000 m).

3.1.2.2.2 - Umidade Relativa do Ar (%)

O perfil de umidade também decresce com altura, porém a grande diferença entre os meses de março e de setembro, até cerca de 15.500 m de altura pode ser devido a erros nos sensores das radiossondagens e não devido a problemas físicos. Em março esse

decaimento ocorre de forma mais suavizada que no mês de setembro; a variação entre a máxima e a mínima umidade relativa é de 70%. Contudo acima de 20.000 m a umidade permanece baixa (menor que 10%, em ambos os meses) e quase que constante até em torno de 30.000 m de altura (ver Figura 3.6).

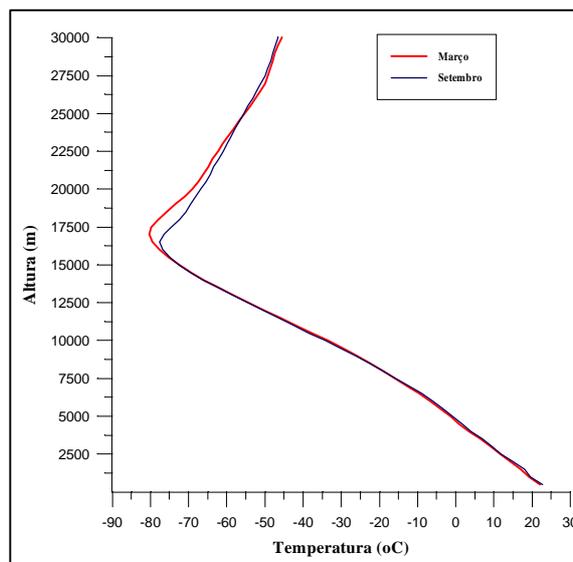


Fig. 3.5: Perfil vertical de temperatura do ar em Alcântara-MA de 1986 a 1996.

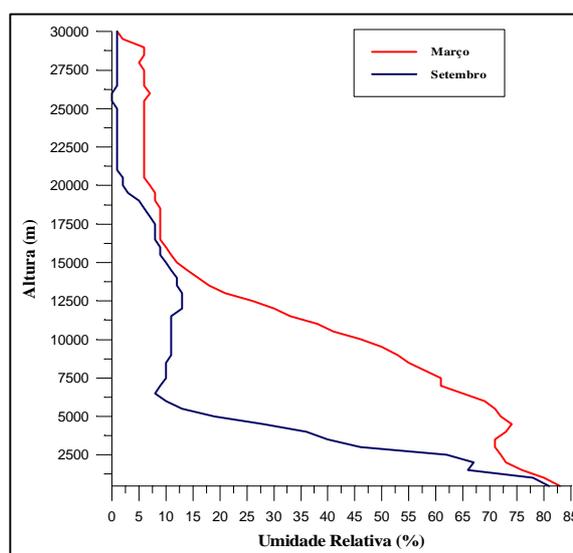


Fig. 3.6: Perfil vertical de umidade relativa do ar em Alcântara-MA de 1986 a 1996.

3.1.2.2.3 - Velocidade (ms^{-1}) e Direção (graus) do Vento

O regime de ventos é bastante peculiar, apresentando um comportamento bem distinto entre as épocas chuvosa e seca (Figura 3.7). Durante a estação chuvosa, o vento é predominante de leste até aproximadamente 5.000 m de altitude, não mostrado na figura, com 6,0 a 8,0 ms^{-1} de velocidade, decaindo até cerca de 8.000 m. Entre os níveis de 8.000 e 11.000 m os ventos mudam de direção, tornando-se de oeste, com velocidades variando entre 1,0-11,0 ms^{-1} . Entre 10.000 e 20.000 m os ventos não possuem uma direção constante, apresentando grande variabilidade. Já acima de 20.000 m o vento volta a ser de leste com 30 ms^{-1} de velocidade.

Na estação seca o comportamento da direção dos ventos é semelhante ao da estação chuvosa. Contudo, até aproximadamente 8.000-10.000 m, o vento é de leste, com velocidades entre 2,0-11,0 ms^{-1} . Até em torno de 1.000 m existem ventos médios entre 10,0 e 10,5 ms^{-1} . Este comportamento está associado com a intensificação do fenômeno de brisa marítima, que possui influência máxima durante a estação seca, devido ao maior contraste térmico entre o continente e o oceano; variação sazonal da ZCIT e também associado ao gradiente de pressão. Entre os níveis de 11.000 e 17.000 m o vento torna-se de oeste com velocidades variando entre 1,0-11,0 ms^{-1} . Acima de 20.000 m o vento volta a ser de leste com velocidades intensas em torno de 20 ms^{-1} .

A partir dos relatos anteriores pode-se concluir que os ventos na troposfera são mais fortes durante a estação seca (representada pelo mês de setembro), com valores típicos entre 8,0-10,0 ms^{-1} . Já na média estratosfera os ventos mais fortes encontram-se na estação chuvosa (representada pelo mês de março).

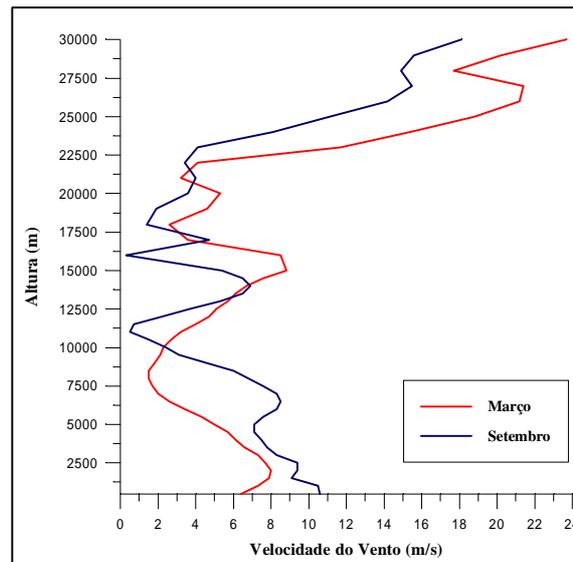


Fig. 3.7: Perfil vertical da velocidade do vento em Alcântara-MA de 1986 a 1996.

3.1.3 - Instrumentação

Como mencionado anteriormente, parte dos dados foi obtida através de radiossondagens que fazem medidas de parâmetros de ar superior, tais como: pressão atmosférica (hPa), temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%), direção (graus) e velocidade (ms^{-1}) do vento.

Ao ser lançada, a radiossonda é calibrada com valores medidos na superfície por instrumentos independentes: psicrômetro para a temperatura e umidade relativa do ar, barômetro para a pressão atmosférica e um sistema de direção e velocidade do vento para as medidas de vento. Usualmente estas medidas de radiossondagem alcançam aproximadamente 30 km de altitude.

As medidas de radiossondagem foram realizadas por uma sonda acoplada a um balão meteorológico, que fornece informações para os equipamentos de superfície, através de ondas de rádio, processando e armazenando as informações ao final de cada radiossondagem. O sistema de radiossondagem utilizado é do tipo *Digicora-Vaisala*

(Finlândia), com o uso de radiossonda modelo RS80-15N (Figura 3.8). A frequência das transmissões desta sonda é de 400 a 406 MHz.

A sonda RS80-15N possui um Termistor para medir a temperatura do ar com uma resolução do sensor de 0,1°C, um Capacitor Eletrônico para medir a umidade relativa do ar, com 1% de resolução e uma Cápsula Barométrica para medir a pressão atmosférica, com uma resolução de 0,1 hPa. Esta cápsula ao ser lançada na atmosfera emite sinais com taxa de amostragem de 0,5 Hz, os quais são compactados a cada 10 s. Com relação ao vento, as informações são obtidas através do sistema de localização OMEGA, com resolução de 0,5 ms⁻¹ na velocidade e 1° na direção.

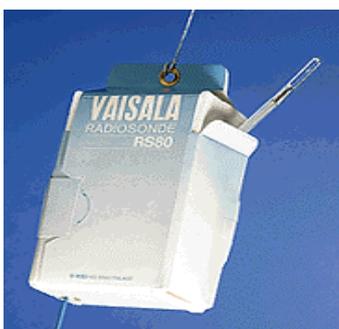


Fig. 3.8 - Radiossonda (RS80-15N) utilizada na obtenção dos dados.

FONTE: Vaisala (1999).

3.1.4 – Dados das Re-análises do ECMWF

Os arquivos das re-análises do ECMWF contém, entre outros, dados de temperatura do ar, umidade relativa e componentes do vento (U e V), de 1979 a 1993. Todas as análises foram geradas por um Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA), com 31 níveis na vertical. Os horários das análises são 0000, 0600, 1200 e 1800 Z. Os dados são gerados no formato internacional padrão GRIB (European Centre for Medium-Range Weather Forecast, 1998).

Na Primeira Conferência Internacional sobre Re-análises, realizada no *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), em Silver Spring, no período de 27 a 31 de outubro de 1997, muitos cientistas participaram da revisão dos resultados do projeto de intercomparação de dados das re-análises e concluíram que, no arquivo de dados do ECMWF, os campos de fluxo de superfície e o ciclo hidrológico possuíam deficiências. Apesar disso, todas as três re-análises (ECMWF, *Goddard Space Flight Centre/Data Assimilation Office - GSFC/DAO* e *National Centers for Environment Prediction/National Center for Atmospheric Research - NCEP/NCAR*), o conjunto de dados do ECMWF indicou as melhores características em vários aspectos (Newson, 1998).

Os dados das re-análises do ECMWF não servem somente para o refinamento de resultados prévios, mas também para o entendimento no desenvolvimento de vários distúrbios tropicais. Esses dados têm como vantagem disponibilizar informações meteorológicas em todo o globo terrestre em um longo período de tempo (Newson, 1998), com um regime de análise uniforme. Entretanto, ocorre frequentemente modificações nos sistemas de análise/previsão, introduzindo alterações nas estruturas dos dados das re-análises.

Foi verificado por Randel (1992) que o vento meridional em 200 hPa em estações da região tropical, tais como Singapura, Ponape, Honiara, Pago Pago, Bogotá, Lima e Ascensão, possuem configurações semelhantes entre as observações de radiossondagens e as análises do ECMWF. Porém, Randel (1992) não fez esta mesma análise para os baixos níveis.

3.2 - METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho está dividida em duas etapas, conforme o objetivo apresentado, sendo que uma delas aborda o estudo da climatologia de ar superior de Alcântara, usando dados de produto numérico de tempo (re-análises do ECMWF) e das

radiossondagens e a outra parte analisa a detecção de sistemas atmosféricos (particularmente distúrbios ondulatórios de leste) que afetam a região do CLA.

3.2.1 - Estudo da Climatologia

Esta primeira etapa refere-se a um estudo estatístico utilizando os dados de vento (componentes zonal e meridional), temperatura do ar e umidade relativa, tanto das re-análises do ECMWF como das radiossondagens coletadas no CLA no período de 1988 a 1993. Como a localidade do CLA não situa-se sobre nenhum ponto de grade de saída do modelo ECMWF, foram feitas interpolações entre os quatro pontos mais próximos da região, representados na Figura 3.1a. Isto porque as radiossondagens de Alcântara não são colocadas no *Global Telecommunication System* (GTS) e são, portanto, uma amostra independente de dados, não sendo assimilados pelo MCGA do ECMWF. Além disso foi analisada a variabilidade dos valores nos 4 pontos, e encontrou-se que a temperatura do ar foi a mesma, a umidade relativa variou até em torno de 2% e as componente meridional e zonal do vento apresentaram os mesmos sinais, com pequena diferença na magnitude.

Ao se comparar resultados de modelos com dados observacionais, técnicas qualitativas e quantitativas são empregadas. As técnicas qualitativas são tipicamente baseadas em inspeção visual dos resultados, tais como gráficos de dispersão, pares de séries temporais, histogramas, distribuição de frequência cumulativa, etc., ao passo que as técnicas quantitativas tentam expressar o ajuste numérico entre dados calculados e observados. Janssen e Heuberger (1995) apresentaram uma lista de medidas de performance quantitativa entre assimilações e observações, ressaltando que a escolha destes parâmetros está fortemente associada com o tipo de dados existentes, nível de precisão, objetivos, etc.

Por outro lado, Murphy (1995) discutiu a utilização do coeficiente de correlação entre dados observacionais e assimilações, como um indicador de habilidade do modelo em

prever ou representar as observações. Um de seus resultados foi a de demonstrar que este parâmetro apenas descreve o grau de associação linear entre as observações e os dados observacionais, ignorando vícios (*Bias*) condicionais e incondicionais nos dados assimilados.

Sendo assim, as estatísticas utilizadas para as comparações entre os perfis de vento (componentes V e U), temperatura do ar e umidade relativa obtidas nas radiossondagens (assumido como o perfil correto) e os gerados pelas re-análises do ECMWF (assumido como o perfil investigado) são: da média aritmética, desvio padrão, coeficiente de correlação (ρ), *Bias* e EQM para os níveis citados anteriormente. Estes parâmetros foram escolhidos por melhor representarem as medidas de performance das assimilações comparadas às observações (Mielke Jr. et al., 1996). As fórmulas matemáticas utilizadas estão contidas no Anexo A. O cálculo dos valores médios foi feito a partir da junção de todos os dos dados diários (RS e RAE), independente do ano, e após isso foi obtida a média climatológica, ressaltando que o número de dados utilizados entre as observações e assimilações foi o mesmo.

A componente meridional do vento obteve mais atenção nesta parte do trabalho, porque foi utilizada na detecção de sistemas atmosféricos no CLA (segunda parte deste item). Assim sendo, analisou-se particularmente os níveis de 850, 700 e 500 hPa. Após esta análise fez-se comparações entre o nível de 850 hPa (dados assimilados) com a camada de 850-700 hPa (dados observados) e também o nível de 700 hPa (dados assimilados) com a camada de 700-500 hPa (dados observados), para os anos de 1992 e 1993, pois apresentaram as séries mais completas dos dados de radiossondagens.

3.2.2 - Detecção de Sistemas Atmosféricos que Afetam a Região do CLA

Nesta etapa foram utilizadas a componente meridional do vento (V), a partir da transformação dos valores de direção e velocidade do vento das radiossondagens (Equações A.7 e A.8 - Apêndice A), e umidade específica (Equação A.12 - Apêndice

A). Esses dados, juntamente com os das re-análises do ECMWF, foram utilizados para estudar a passagem dos DOLs na região do CLA. Esta segunda parte da metodologia possui várias etapas, como se segue:

3.2.2.1 - Mudança do Sinal da Componente Meridional do Vento

Foram feitos gráficos (Figura 3.9) com valores médios tanto da componente meridional do vento (V) como da umidade específica, nas camadas de 850-700 e 700-500 hPa. Utilizou-se, também o V e q médio entre 850-500 hPa para avaliar a ocorrência dos DOLs na camada inteira. Os DOLs foram detectados nestas camadas, pelo fato de não existir um nível específico em que se manifestem mais claramente, pois segundo Laurent et al. (1989), as “ondas africanas” foram mais visíveis em 1985, no nível de 850 hPa; em 1974 no nível de 700 hPa; e estes sistemas são mais frequentemente estudados em 500 hPa.

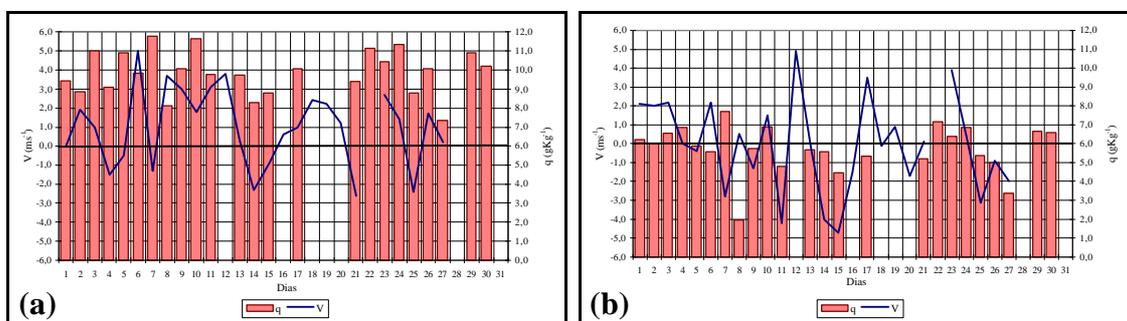


Fig. 3.9 - Relação da mudança do sinal da componente meridional do vento com a alta umidade específica no CLA (março de 1988). (a) em 850-700 hPa; e (b) em 700-500 hPa. Espaços em branco não apresentam dados.

Padrões do comportamento atmosférico na região do CLA foram identificados pelos gráficos da Figura 3.9, usando, para as curvas da componente meridional do vento, os critérios descritos a seguir:

- a) Foram considerados os casos em que as curvas da componente meridional do vento apresentavam mudanças consecutivas no sinal, de no mínimo 3 dias e máximo de 10 dias;
- b) Dentro do período de 3-10 dias, considerou-se somente as variações de V com valores iguais e/ou superiores a $\pm 0,2 \text{ ms}^{-1}$; e
- c) A exceção do item a, é que, considerou-se os casos em que a mudança do sinal não foi consecutiva por um período máximo de 2 dias, porém com mudanças posteriores na curva de V. Esse critério pode ser visualizado nos dias 4 e 5 de março de 1988, mostrados na Figura 3.9a.

Esses três critérios apresentaram os dias em que, provavelmente, ocorreu a passagem de distúrbios do vento por Alcântara e após esta identificação, determinou-se a relação das mudanças do sinal de V com a alta umidade específica, conforme segue abaixo:

- d) A umidade específica diária apresentou-se com valores mais elevados do que a média mensal, em no mínimo 80% dos dias de duração dos DOLs, que foram identificados pelos critérios descritos nos itens a, b e c.

Esta abordagem visa aumentar o conhecimento de como ocorrem os sistemas meteorológicos no CLA, buscando apresentar um indicador da passagem dos DOLs, para a meteorologia operacional do CLA. Como resultado é também determinada uma climatologia simples e básica da passagem destes sistemas por essa região, relacionando este número com a disponibilidade de dados das radiossondagens.

Após a identificação dos DOLs, através da técnica de mudança do sinal de V associada a alta umidade específica, descrita nos itens a, b, c e d, analisou-se outras ferramentas, como:

- e) A existência de aglomerados de nuvens, nos dias em que detectou-se os DOLs, nas imagens do satélite GOES-E cedidas pela Divisão de Satélites Ambientais (DSA) do INPE de Cachoeira Paulista; e
- f) Porcentagem da cobertura total de nuvens do ISCCP cedidas pelo CTA/IAE, nos dias em que os distúrbios passaram pela região do CLA.

Com a identificação da quantidade de DOLs em Alcântara, fez-se comparações, da frequência da passagem destes distúrbios, com outros sistemas atmosféricos, como: ZCIT, VCANs e LCbs, além da precipitação mensal de São Luiz-MA.

Para finalizar, fez-se uso da técnica da análise espectral (Apêndice B), nos níveis de 850, 700 e 500 hPa e nos anos de 1992 e de 1993, para a obtenção dos espectros de energia da componente meridional do vento nas re-análises do ECMWF, pois esses dados são contínuos no tempo, e portanto podendo associá-los aos eventos de DOLs. Esses espectros foram determinados através de um programa desenvolvido por Machado (1998), utilizando a *Fast Fourier Transforms* (FFT) (item 1 do Apêndice B), onde foi retirada a tendência e aplicado o janelamento espectral de *Hamming* (item 2 do Apêndice B). Para os cálculos foram utilizadas séries de dados da Tabela 3.3.

TABELA 3.3 - SÉRIES TEMPORAIS PARA A ANÁLISE ESPECTRAL

Trimestres\Anos	1992	1993
jan-fev-mar	n=91	-
abr-mai-jun	n=91	n=91
jul-ago-set	n=92	n=92
out-nov-dez	n=92	n=92

Com os resultados obtidos, através do programa citado acima, foram feitos gráficos trimestrais, com o espectro de potência (em $m^2s^{-2}dia^{-1}$) na ordenada, em escala logarítmica, e o período (em dias) na abscissa. O intervalo de confiança não foi plotado nestes gráficos, porque o número de graus de liberdade desse espectro não foi estimado.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Este Capítulo está dividido em duas partes, sendo que a primeira propõe-se a fazer uma análise estatística entre os dados oriundos das re-análises do ECMWF e os dados observados de radiossondagens em Alcântara-MA. Já segunda etapa baseia-se na investigação da ocorrência de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) que passaram pela região de Alcântara, associados com alta umidade específica.

4.1 – ESTUDO ESTATÍSTICO

Nesta etapa são analisados os perfis verticais de temperatura, umidade relativa, componente V e U do vento das re-análises do ECMWF e das radiossondagens de Alcântara, fazendo comparações através de técnicas estatísticas (média aritmética, desvio padrão, coeficiente de correlação, *Bias* e EQM). Além disso será verificada a relação existente entre os dados de V nos níveis (assimilações) e os dados nas camadas (observações).

4.1.1 - Temperatura do Ar

A Figura C.1 (Apêndice C) mostra que os perfis verticais das re-análises do ECMWF apresentam, razoavelmente, a mesma estrutura dos perfis das radiossondagens, conseguindo captar a altura da tropopausa, em todos os meses. Entretanto as diferenças absolutas entre as observações e assimilações foram elevadas, principalmente da superfície até a tropopausa, com máximo de 4,4°C (Tabela C.1 do Apêndice C). Essas elevadas diferenças, e também o fato dos dados das re-análises serem sempre superiores aos das radiossondagens, podem ser devido a forma com que a temperatura foi obtida, pois segundo Nuret e Chong (1996) este campo é indiretamente analisado, resultando da

análise do campo do vento e da umidade, usando a hipótese hidrostática. Além disso, ocorrem problemas de parametrização, referentes à convecção e radiação, também identificadas por Hollingsworth (1994).

O mês de março, representando a estação chuvosa (Figura 4.1), mostra pequenas variações de *Bias* na estrutura vertical da atmosfera. Já no mês de setembro, representando a estação seca (Figura 4.1), essa característica é diferente, pois a variação é mais acentuada, com máximo em 925 hPa em torno da tropopausa.

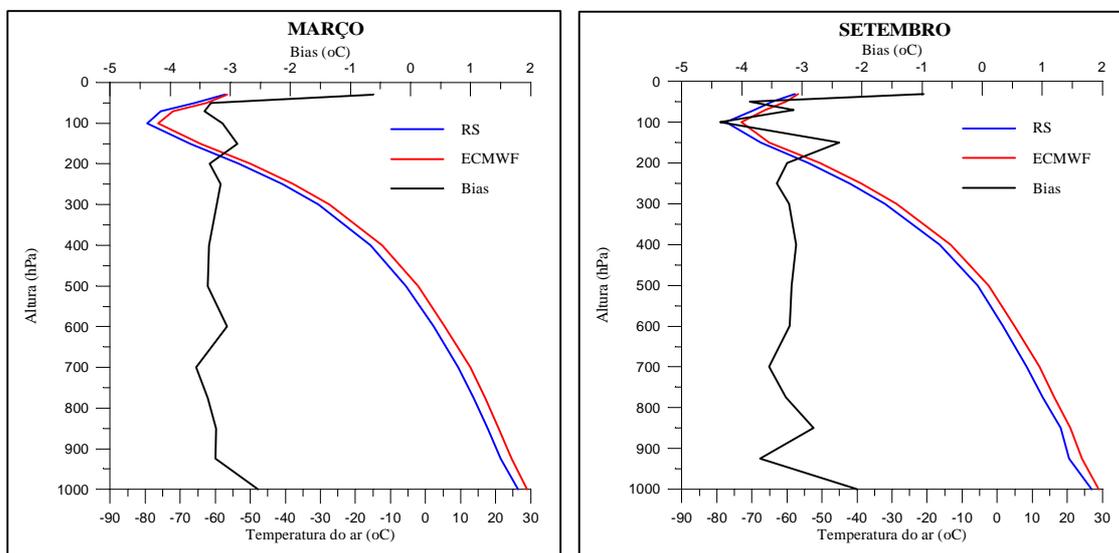


Fig. 4.1 - Valores médios mensais e *Bias* da temperatura do ar, no período de 1988 e 1993 para março e setembro.

A Tabela C.1 mostra que de janeiro a maio os perfis verticais do desvio padrão das observações e das assimilações apresentaram valores menores do que nos meses de junho a dezembro, principalmente a partir da tropopausa. Percebeu-se também, que as curvas, deste parâmetro, das radiossondagens são mais perturbadas e com valores mais elevados que as curvas das re-análises do ECMWF.

Verifica-se na Tabela C.2 (Apêndice C) que os dados de temperatura das re-análises estão em fase com os das radiossondagens, pois o único valor negativo é muito pequeno. Os níveis de 50 e 30 hPa, na estação seca, apresentaram, em média, os maiores coeficientes de correlação, e os menores concentraram-se no nível de 775 hPa, durante a estação chuvosa. O teste de hipótese dos dados de correlação de RS e de RAE foram similares a 95% de confiança entre 1000 e 400 hPa, nas estações chuvosa e seca. Já em 300 hPa as correlações não estavam dentro dos limites de confiança. O mês de junho foi o que apresentou as piores correlações, porém no mês de maio essas correlações foram mais significativas por estarem dentro dos limites de 95% de confiança.

Conforme o cálculo do *Bias* (Tabela C.3 - Apêndice C), verificou-se que a temperatura do ar das re-análises superestimaram a das radiossondagens em praticamente a totalidade dos casos, com *Bias* entre 2,5 e 4,0°C. Enquanto o *Bias* na estação chuvosa foi maior nos níveis inferiores (entre os níveis de 1000 e 700 hPa), na estação seca os maiores valores ocorreram na alta troposfera (entre 100 e 50 hPa).

A Tabela C.4 (Apêndice C) mostra que os EQMs mais elevados (5,0°C) concentraram-se na estação chuvosa acima de 200 hPa e os menores (2,0°C) na estação seca, da superfície até em torno de 200 hPa. Esses resultados foram mais altos que os encontrados por Nuret e Chong (1996) (máximo de 2,5°C). Entretanto, estes autores referem-se ao *Tropical Oceans and Global Atmosphere Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment* (TOGA COARE) com dados analisados (dados de observações) e inicializados (dados calculados) sobre o oceano, no período de 1/11/1992 a 28/02/1993.

4.1.2 - Umidade Relativa do Ar

Os perfis verticais da umidade relativa do ar nas re-análises do ECMWF são mais elevados do que os obtidos pelas radiossondagens, principalmente na estação chuvosa (Figura C.2 - Apêndice C). Esta diferença pode ser, em parte, devida às condições de fronteira das re-análises serem de características oceânicas, e também por não captarem

a real posição da ZCIT. Tem-se também o pico da umidade relativa na tropopausa mostrado pelos dados assimilados, o qual não é encontrado nas observações (Figura C.2 do Apêndice C). Estas diferenças estão entre 50 e 70% e podem ser devido a problemas de parametrização de nuvens do modelo, ou seja, o modelo inclui a existência de nuvens cirrus nos cálculos das re-análises (Machado, 1999). Outro aspecto a salientar é a camada de nuvens existente no nível de 925 hPa, nos meses de agosto a novembro, e que os dados das re-análises não conseguiram captar. Como ponto positivo tem-se as semelhanças de umidade relativa até em torno de 500 hPa para os meses secos (Figura C.2 do Apêndice C). Esta camada de nuvens é um fenômeno local (formação de nuvens stratus), originada pelo acoplamento de brisa marítima e ventos alísios. Esta formação de nebulosidade é bem característica do CLA, durante a época seca (Fisch, 1999).

Os meses de março e setembro (Figura 4.2) mostraram perfis totalmente diferentes: em março os valores de umidade relativa das re-análises foram mais elevados (3 e 50%), apresentando um lento decaimento com a altura. Em setembro este decaimento foi acentuado, com forte subsidência local, fazendo com que os valores de umidade das re-análises assemelhassem-se aos das radiossondagens até em torno de 500 hPa.

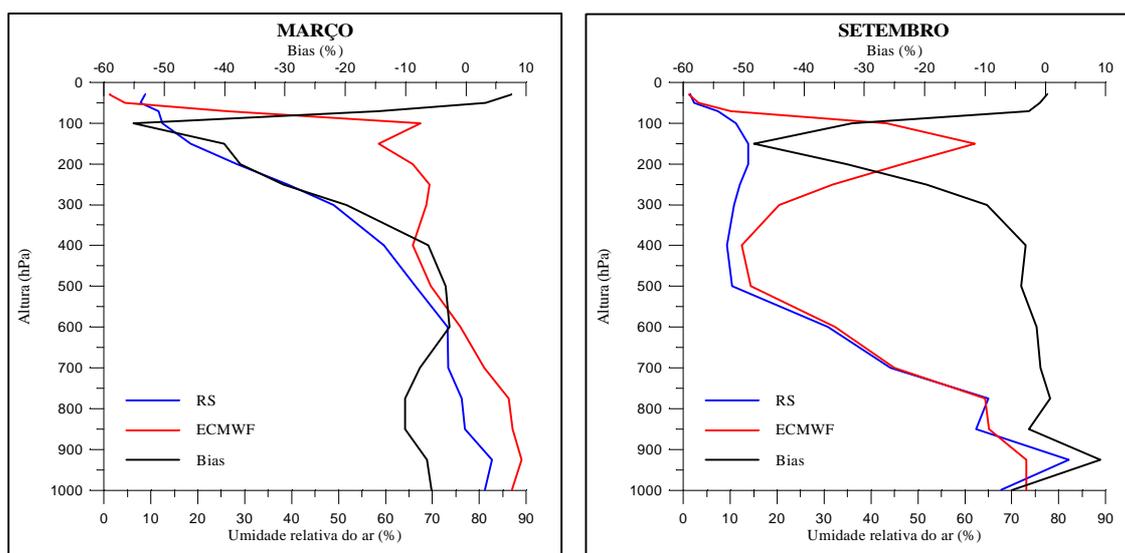


Fig. 4.2 - Valores médios mensais e *Bias* da umidade relativa do ar, no período de 1988 e 1993 para março e setembro.

Conforme a Figura 4.2 e a Tabela C.7 (Apêndice C), verifica-se que, na quase totalidade dos casos, os dados de umidade das re-análises do ECMWF superestimaram os das radiossondagens. Os valores dos *Bias* mostram-se mais elevados entre 400 e 70 hPa, com máximo de -61% (em dezembro no nível de 100 hPa). Já os menores, aproximadamente 0,25%, concentram-se entre maio e outubro nos níveis de 1000 a 500 hPa. Essas elevadas diferenças também são mostradas por Nuret e Chong (1996), afirmando que, nos trópicos o *Bias* desse campo revela problemas.

O desvio padrão apresenta pontos fundamentais na comparação das assimilações e observações, pois mostra que as variâncias, com relação aos pontos médios, foram muito elevadas entre 800 e 200 hPa. Os dados das re-análises foram maiores do que os das radiossondagens entre 400 e 100 hPa, em todo ano, e menores entre 800 e 400 hPa, principalmente na estação chuvosa.

Como a temperatura do ar, a umidade relativa também apresenta pequena quantidade de correlações negativas. A Tabela C.6 (Apêndice C) ainda mostra que em 925 hPa e entre 200 e 30 hPa, as correlações foram quase todas nulas, mostrando que os dados das re-análises do ECMWF e das radiossondagens são amostras independentes, não possuindo assim associação. Além das correlações, o teste de hipótese entre as RS e as RAE, também são similares a 95% de confiança nos níveis de 1000 a 400 hPa, em ambas as estações, porém no nível de 300 hPa essas correlações não concentraram-se nos limites de confiança. O mês de março foi o que apresentou as correlações mais significativas.

Os maiores EQMs da umidade relativa concentraram-se entre 300 e 100 hPa, permanecendo acima da média mensal no decorrer dos meses, com valores de 20 a 60%. Já entre 1000-400 e 50-30 hPa, os EQMs foram de 1 a 18%, exceto nos meses de janeiro e fevereiro (Tabela C.8 do Apêndice C), devido a pequena quantidade de dados nos cálculos (Tabela C.5 do Apêndice C).

4.1.3 - Ventos

O vento é uma grandeza vetorial e, portanto, será analisado através de suas componentes escalares, meridional (V) e zonal (U).

4.1.3.1 – Componente Meridional do Vento (V)

Os perfis verticais da componente meridional do vento comportaram-se de maneira semelhante, tanto nos dados das RAE como nos das RS (Tabela C.9 e Figura C.3, ambos no Apêndice C). Entretanto os picos de V apresentados pelas radiossondagens em 200 hPa, entre maio e novembro, não foram captados pelas assimilações, resultando em elevados valores de *Bias*, principalmente nos meses de maio a agosto. Até em torno de 800 hPa, os dados das re-análises representam bem os das radiossondagens, exceto para os meses de janeiro e fevereiro (Figura C.3 e Tabela C.9, ambos no Apêndice C). Um ponto muito positivo destes perfis é que os valores de V das re-análises do ECMWF captam os sinais positivos e negativos dos valores apresentados pelas radiossondagens, mostrando que o modelo consegue representar bem as mudanças de direção do vento.

De modo geral, os ventos nos baixos níveis, durante a época seca, são mais intensos nas radiossondagens, parte devido a influência da brisa marítima. Esta apresenta-se na sua máxima intensidade e que não é captada pelas re-análises do ECMWF. Outro ponto a ser salientado são os picos negativos de *Bias* em 300 hPa, ou seja, as RAE superestimaram muito os valores de V das RS.

Analisando separadamente os meses de março e setembro (Figura 4.3), pode-se verificar que os perfis de V são mais suavizados nas re-análises do que nas radiossondagens, ou seja, os dados das re-análises não mostram o cisalhamento da atmosfera. Isso ocorre porque o modelo que gera os dados do ECMWF utiliza camadas de 75 hPa de variação vertical e os das radiossondagens foram computados em níveis de até aproximadamente

50 hPa de espessura. Além disso existem erros sistemáticos do modelo para representar a estrutura da camada limite para o campo do vento (Nuret e Chong, 1996). Porém, em março, os dados da componente V das RAE permanecem superiores aos das RS entre 750 e 200 hPa, com as maiores diferenças em torno de $1,5 \text{ ms}^{-1}$.

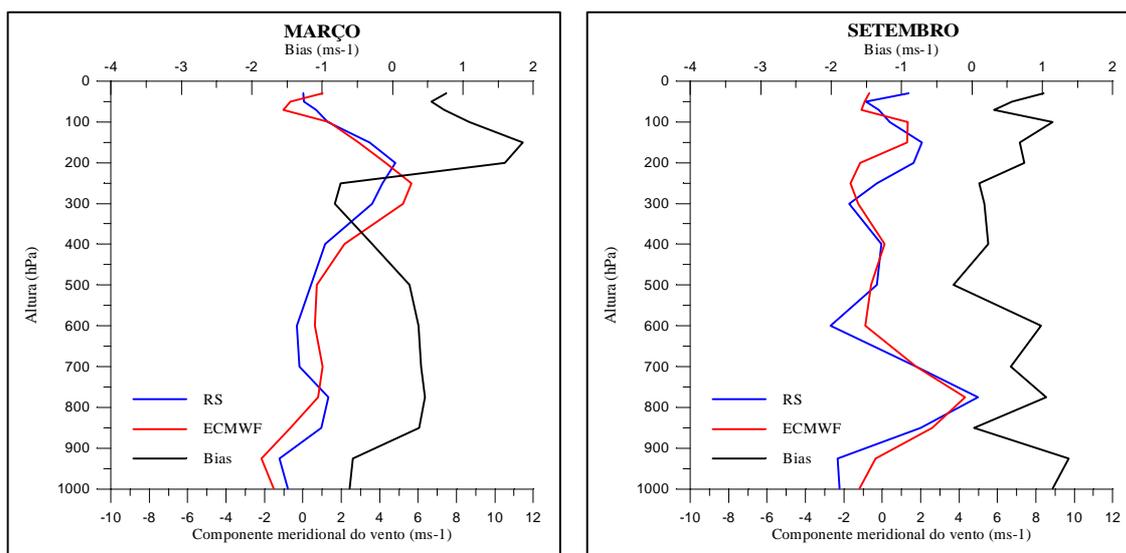


Fig. 4.3 - Valores médios mensais e *Bias* da componente meridional do vento, no período de 1988 e 1993 para março e setembro.

Em quase a totalidade dos perfis verticais do desvio padrão, os valores de V das RS variaram mais fortemente dos valores médios, do que os dados de V das re-análises. Além disso, esse parâmetro apresentou-se mais elevado entre 300 e 100 hPa, para ambas as estações, e com pequenos valores na superfície e em torno de 50-30 hPa. Os valores das RS afastaram-se mais acentuadamente das RAE em torno de 150 hPa nos meses de novembro a março e julho.

A componente meridional do vento das RAE possui boa correlação com os dados das RS entre 300 e 100 hPa, com índices superiores a 0,5, conforme mostra a Tabela C.10 (Apêndice C). Já em 1000 e 30 hPa os coeficientes foram baixos. Entretanto o teste de hipótese mostrou que de 1000 a 400 hPa, para ambas as estações, as correlações

estiveram dentro dos limites de confiança de 95%, porém o mês de setembro foi o que apresentou maior quantidade de correlações fora desses limites, juntamente com os outros meses da estação seca.

A Tabela C.11 (Apêndice C) mostram duas regiões onde os dados das re-análises superestimaram os das radiossondagens: uma próxima à superfície, nos meses de janeiro a março e a outra entre 375 e 300 hPa em todo o período. Nota-se que, da superfície até em torno de 250 hPa, o *Bias* não excedeu a faixa de $0,6 \text{ ms}^{-1}$ exceto nos meses de setembro e outubro (entre $1,0$ e $1,4 \text{ ms}^{-1}$), por causa da intensificação da brisa marítima. Isto também foi encontrado por Hollingsworth et al. (1986), que utilizou dados de radiossondagens e do ECMWF, entre janeiro e março de 1984, em regiões dos trópicos.

Os maiores EQMs foram encontrados nos meses de janeiro e fevereiro, principalmente entre os níveis de 300 e 100 hPa, com valores entre $4,0$ e $6,0 \text{ ms}^{-1}$ (Tabela C.12 do Apêndice C). Isto deve-se a pouca quantidade de dados nestes meses. Estes resultados foram mais elevados que os encontrados por Hollingsworth et al. (1986), que apresentou EQM em torno de 3 ms^{-1} . Já os menores EQMs concentraram-se entre 1000 e 400 hPa, principalmente a partir de março.

Analisando especificamente os resultados obtidos nos níveis de 850, 700 e 500 hPa, devido a sua utilização na segunda parte deste trabalho, tem-se que:

- a) Os perfis verticais de V nas RAE, para os três níveis, captaram as características de V , das RS, na região de Alcântara, principalmente em 700 hPa, com pequenas diferenças ;
- b) O desvio padrão, nestes níveis, não foi o mais acentuado, porém no mês de fevereiro e dezembro as variações foram altas, principalmente nos perfis verticais das radiossondagens;

- c) Através do teste de hipótese todas as correlações, nos níveis de 850, 700 e 500 hPa, estiveram dentro dos limites de confiança de 95%, apresentando correlações, entre as RS e as RAE, significativas; e
- d) O EQM mostrou valores concordantes a outros estudos, como o de Nuret e Chong (1996), apresentando valores de 1,9 a 3,3 ms⁻¹ (Tabela C.12 do Apêndice C).

4.1.3.1.1 - Séries Temporais

A segunda parte do item de resultados utiliza dados da componente meridional das radiossondagens (em camadas) e das re-análises do ECMWF (em níveis). Sendo assim, torna-se necessário verificar a associação existente da componente meridional do vento entre as camadas e os níveis. Isto foi feito através das Figuras D.1 a D.4 (Apêndice D), que mostram as séries temporais de V e gráficos de dispersão, nos anos de 1992 e 1993. As linhas, das Figuras D.1 e D.2, representam os dados das re-análises, nos níveis de 850 e 700 hPa e os pontos são os dados das radiossondagens, nas camadas de 850-700 e 700-500 hPa, respectivamente. Já nas Figuras D.3 e D.4 a linha em vermelho representa a “linha de tendência linear”.

Nota-se, na Figura D.1, que a componente meridional do vento das re-análises do ECMWF, em 850 hPa, representam melhor os dados das radiossondagens na camada de 850-700 hPa. Essa boa representação também é verificada no trimestre de jan-fev-mar para o nível de 700 hPa e para a camada de 700-500 hPa. Já as maiores diferenças ocorrem nos meses de julho e agosto entre 700 (re-análises) e 700-500 hPa (radiossondagens). O mais importante destas comparações é que os valores das re-análises captaram a mudança de direção da componente meridional do vento, com exceção dos meses de agosto e outubro entre 700 e 700-500 hPa. Por outro lado, na Figura D.2 que representa o ano de 1993, as diferenças entre V nos níveis e nas camadas são mais suavizadas do que em 1992 (Figura D.1).

As semelhanças entre os dois conjuntos de dados são maiores entre o nível de 850 e a camada de 850-700 hPa (Figura D.2). Tal similaridade também foi detectada para o ano de 1992 (Figura D.1).

Os gráficos de dispersão (Figuras D.3 e D.4) mostram que os dados possuem diferenças marcantes da componente meridional do vento entre as observações de radiossondagens e as re-análises do ECMWF, apesar da configuração das séries temporais (Figuras D.1 e D.2) serem semelhantes. Os graus de dispersão (coeficiente de correlação) em 1992 (Figura D.3) variam entre 0,01 e 0,45 e em 1993 (Figura D.4) variam de 0,00 e 0,27.

4.1.3.2 – Componente Zonal do Vento (U)

Os perfis verticais da componente zonal do vento entre as RS e as RAE comportaram-se de forma similar, conforme a Figura C.4 e a Tabela C.13, ambos no Apêndice C. Além disso os dados das RAE representaram muito bem os sinais positivos e negativos de U, ou seja, mostrando que a mudança da direção do vento nas RS foi bem captada. Essas semelhanças foram mais nítidas na estação seca. Nota-se ainda que o cisalhamento em torno de 150 hPa, nos meses de janeiro a agosto, não foi captado pelos valores das re-análises, com *Bias* em torno de $4,5 \text{ ms}^{-1}$. Os meses de janeiro e fevereiro foram os que apresentaram maiores *Bias*, isso pela pequena quantidade de dados nos cálculos. Na maioria dos perfis verticais os dados das radiossondagens superestimaram os das re-análises, porém com pequenos valores.

De modo geral os maiores *Bias* ($4,5 \text{ ms}^{-1}$) foram encontrados entre 1000-900 e 200-100 hPa, principalmente na estação chuvosa (Tabela C.15 - Apêndice C e Figura 4.4). Já os menores ($0,0 \text{ ms}^{-1}$) concentraram-se entre 650-200 hPa e também acima do nível de 100, com pouca variação sazonal, apresentando três regiões onde os dados das RAE superestimaram os das RS: o primeiro em torno de 600 hPa, o segundo entre 325 e 225 hPa e o último em 30hPa (somente na estação chuvosa).

Na estação seca, ocorre um bom ajuste entre os dados das re-análises do ECMWF e os das radiossondagens (setembro - Figura 4.7). Já na estação chuvosa (março - Figura 4.7), verificou-se que os perfis verticais da componente U do vento nas re-análises ajustaram-se melhor aos das radiossondagens, somente acima da tropopausa, não mostrando boa representação dos ventos alísios. Por outro lado, entre 1000 e 850 hPa, as diferenças foram maiores, com valores positivos.

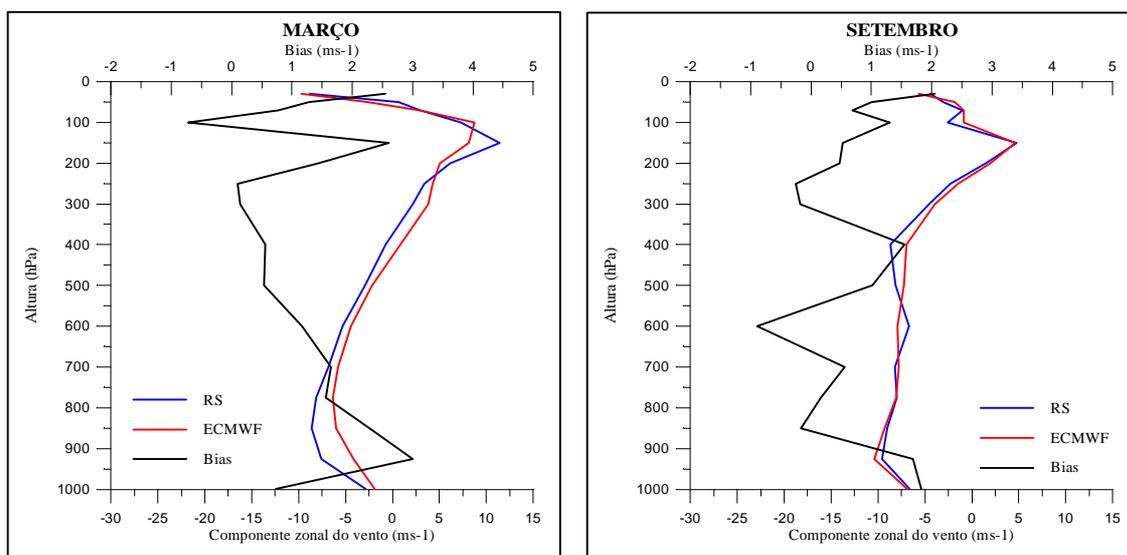


Fig. 4.4 - Valores médios mensais e *Bias* da componente zonal do vento, no período de 1988 e 1993 para março e setembro.

Em quase a totalidade dos perfis verticais do desvio padrão, as duas curvas comportaram-se de forma semelhante, com pequenas diferenças entre 70-30 hPa. O desvio padrão de U, tanto nas observações como nas assimilações, apresentaram valores bem mais elevados do que os resultados da componente V do vento. Além disso, notou-se que para todo o período os maiores desvios concentraram-se acima da tropopausa.

A Tabela C.14 (Apêndice C) mostra que as correlações foram maiores a partir da alta troposfera, com nenhum coeficiente negativo. Entretanto, através do teste de hipótese os níveis de 1000 a 400 hPa foram os que apresentaram coeficientes mais significativos,

pois concentraram-se nos limites de confiança de 95%. Apesar das correlações desta variável serem maiores do que as da componente meridional, o teste de hipótese entre U e V apresentaram as mesmas características.

Os níveis entre 150-30 hPa apresentaram EQMs elevados, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, com valores em torno de 3,5 e 12,0 ms^{-1} , conforme mostra a Tabela C.16 (Apêndice C). Nuret e Chong (1996) determinaram a diferença estatística da velocidade do vento entre os dados de radiossondagens do TOGA COARE com os analisados e inicializados do ECMWF, encontrando *Bias* e EQM em torno de 1 e 2 ms^{-1} , os quais foram inferiores aos dados dos parâmetros estatísticos tanto da componente meridional do vento como da zonal, neste trabalho. Entretanto, outros autores (Laurent et al., 1989) apresentaram valores mais próximos, variando entre 2 e 7 ms^{-1} .

4.2 - IDENTIFICAÇÃO DOS DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE

Os eventos de DOLs podem ser identificados de várias maneiras, sendo que uma delas é através da variação do sinal da componente meridional do vento (Hall, 1989). Além disso, a ocorrência dos DOLs pode ser associada a valores de alta umidade específica (maiores que a média mensal). Na identificação destes sistemas, usou-se também a técnica de análise espectral, análises de imagens de satélite e de dados de cobertura de nuvens para, a confirmação da passagem desses distúrbios por Alcântara-MA.

4.2.1 - Variação da Componente V do Vento Associada à Umidade Específica

Foram considerados, como eventos de DOLs, os casos em que ocorreu mudança de sinal da componente meridional do vento associada com anomalias positivas da umidade específica, em períodos de 3-10 dias. Entretanto, em 85-90% do total de eventos nas duas camadas o intervalo de tempo variou de 3-6 dias. Esse intervalo foi considerado como período típico dos DOLs na região do NEB por alguns autores,

como: Yamazaki e Rao (1977); Kagano (1979); Espinosa (1996) e Mota (1997). Contudo, a Tabela 2.1 também apresenta alguns estudos realizados em outras localidades do globo, que apresentam períodos de 2-9 dias.

A velocidade de propagação e o comprimento de onda dos DOLs não foram determinados, pois os dados utilizados neste trabalho foram pontuais, ou seja, somente radiossondagens da cidade de Alcântara no Maranhão; e também porque não faziam parte de escopo deste trabalho, uma vez que já foram determinados por outros autores (Neiva, 1975, Chan, 1990, Espinosa, 1996 e Mota, 1997).

Com a variação temporal da componente meridional do vento e a umidade específica média do período montou-se as Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3, que mostram a distribuição dos DOLs entre 850-700, 700-500 e 850-500 hPa, respectivamente, apresentando 100 eventos na camada de 850-500 hPa, 96 na de 700-500 hPa e 64 na de 850-700 hPa. Estes números foram confirmados pela análise das imagens de satélite, pois todas apresentaram formação de nebulosidade na região de Alcântara.

A Figura 4.5a mostra que a umidade específica é menor em ago-set-out e maior em fev-mar-abr. Já a Figura 4.5b mostra que os anos de 1990 e 1991 apresentaram os menores índices e os anos de 1988, 1992, 1994, 1995, 1996 e 1997 os maiores.

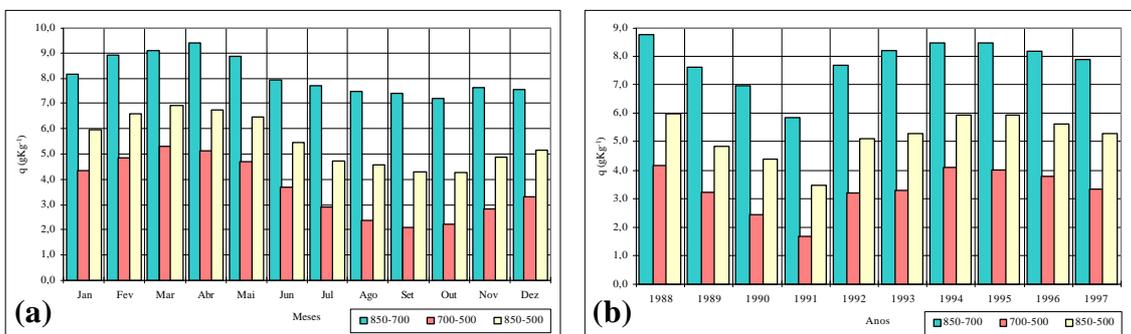


Fig. 4.5 - Umidade específica em Alcântara-Ma, entre 850-700, 700-500 e 850-500 hPa, entre 1988 a 1997. (a) média anual e (b) média mensal.

4.2.1.1 - Camada de 850-700 hPa

Em todos os casos em que se detectou os eventos de DOLs, no período de 1988 a 1997, encontrou-se, através das imagens do satélite GOES-E, nebulosidade sobre a região do CLA.

A Tabela 4.1 mostra que os anos de 1990 e 1991 possuem, cada um, somente 3 meses de radiossondagens, sendo difícil a comparação da quantidade de DOLs nestes dois anos. Já o ano de 1993 apresentou 10 meses de dados, porém com somente 2 eventos. Apesar do ano de 1988 não apresentar a maior quantidade de radiossondagens identificou-se a segunda máxima frequência de ocorrência dos DOLs, com 10 eventos, porém o ano de 1994, que apresenta quantidade de RS similar ao de 1992, possui mais do que o dobro de DOLs. Além disso tem-se o ano de 1989, que mesmo apresentando somente 138 RS, mostra a mesma quantidade de DOLs que os anos de 1992 e 1997, que têm o dobro do número de radiossondagens, 286 e 244 respectivamente.

TABELA 4.1 - FREQUÊNCIA DE DOLs E QUANTIDADE DE RS NA CAMADA DE 850-700 hPa

Anos/Meses	Estação Chuvosa						Estação Seca						Total
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
1988	-	0/5	2/24	2/23	2/26	1/24	0/28	0/24	0/23	1/29	1/28	1/11	10/245
1989	-	-	-	-	-	0/15	3/17	0/25	0/8	0/21	1/23	3/29	7/138
1990	0/9	-	-	-	-	-	-	-	1/14	0/11	-	-	1/34
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0/16	0/26	0/10	0/52
1992	1/19	2/25	1/27	2/28	1/24	0/18	0/29	0/29	0/25	0/25	0/28	0/9	7/286
1993	-	-	0/6	0/24	0/27	1/28	0/20	0/10	0/30	0/28	0/23	1/27	2/223
1994	2/26	2/26	4/30	2/26	2/31	2/27	0/28	0/27	-	-	2/25	1/27	17/273
1995	0/26	1/11	0/15	1/15	1/15	0/7	1/25	0/17	0/29	0/25	0/3	1/25	5/213
1996	1/25	1/27	1/23	1/24	0/11	1/15	1/25	0/18	0/23	0/23	1/20	1/28	8/262
1997	2/26	0/22	0/21	2/28	0/29	1/29	1/31	1/29	0/29	-	-	-	7/244
Total	6/131	6/116	8/146	10/168	6/163	6/163	6/203	1/179	1/181	1/178	5/176	8/166	
Trimestre	20/393			22/494			08/563			14/520			64/1970
Semestre	42/887						22/1083						

“-”: representa meses com falta dos dados de radiossondagens.

obs.: o número antes da barra significa a quantidade de DOLs e o número após a barra significada a quantidade de radiossondagens.

Verifica-se na Tabela 4.1 que os meses de agosto, setembro e outubro são os que obtêm a menor quantidade de DOLs, com 1 evento em cada mês, e com elevada quantidade de radiossondagens. Já o máximo ocorre em março, abril e dezembro com totais de 8, 10 e 8 eventos, respectivamente, com total de RS menores do que o encontrado no trimestre de ago-set-out. Além disso nota-se que a estação chuvosa apresenta a maior concentração da passagem desses distúrbios, com total de 42 eventos e 887 RS, restando 22 eventos de DOLs na estação seca, porém com 1083 radiossondagens.

As imagens de satélite (1988-1997) juntamente com os dados do ISCCP (1988-1989) confirmam a existência de aglomerados de nuvens nos dias em que os eventos de DOLs sobre Alcântara foram detectados, pois nestes dias, a cobertura de nuvens encontrava-se com valores entre 80 e 100%. A Figura 4.6 mostra um exemplo dos gráficos de cobertura total de nuvens analisados para distúrbios detectados em março de 1988.

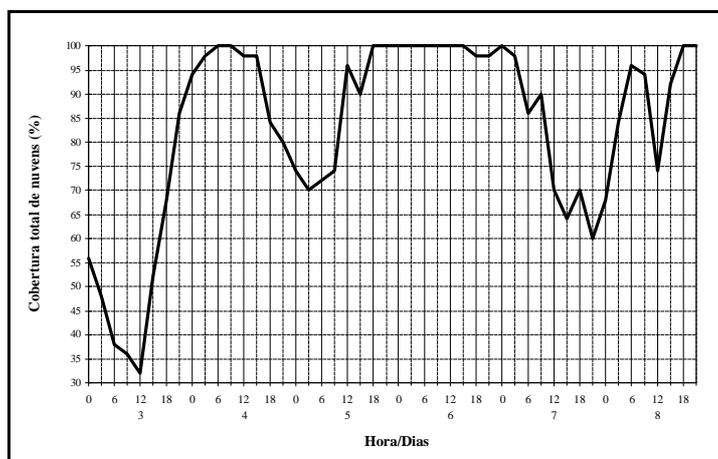


Fig. 4.6 - Cobertura total de nuvens entre os dias 3-8 de março de 1988, em 8 horários.

4.2.1.2 - Camada de 700-500 hPa

O número total de DOLs encontrado na camada de 700-500 hPa foi de 96 eventos, apresentando uma forte variabilidade interanual (Tabela 4.2). A distribuição sazonal é

mais uniforme. Como já foi mencionado na camada de 850-700 hPa, os anos de 1990 e 1991 apresentam somente 3 meses com radiossondagens, sendo difícil fazer as análises. A Tabela 4.2 também mostra que os anos com maior ocorrência desses distúrbios foram os de 1988 (19 casos) e de 1994 (21 casos), mesmo não possuindo a maior quantidade de radiossondagens. Apesar do ano de 1997 apresentar quantidade de RS igual ao ano de 1994 a quantidade de DOLs foi muito pequena (4 eventos). Semelhante a camada de 850-700 hPa, o ano de 1989 apresenta uma frequência de DOLs alta (8 eventos), pois a sua quantidade de RS é a metade da quantidade existente em 1992, 1993 e 1995, com 10, 7 e 7 eventos de DOLs, respectivamente.

A distribuição mensal foi feita para determinar a sazonalidade dos eventos de DOLs, verificando que o trimestre de jul-ago-set é o que apresenta a maior ocorrência desses eventos, com total de 27, porém a quantidade de RS também foi a mais elevada. Entretanto o trimestre de abr-mai-jun possui a menor quantidade de DOLs, com 20 eventos (Tabela 4.2), porém o número de RS não foi o mais baixo. Já o trimestre de jan-fev-mar com menor número de RS do que o de out-nov-dez, apresentou um diferença de somente 1 evento de DOLs. Além disso essa tabela mostra que a estação seca possui uma concentração de DOLs sobre Alcântara levemente superior a da estação chuvosa, com 51 eventos, já a diferença da quantidade de RS foi mais acentuada.

TABELA 4.2 - FREQUÊNCIA DE DOLs E QUANTIDADE DE RS NA CAMADA DE 700-500 hPa

Anos/Meses	Estação Chuvosa						Estação Seca						Total
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
1988	-	0/5	2/24	2/23	1/26	1/24	3/28	2/24	2/23	3/29	2/28	1/11	19/245
1989	-	-	-	-	-	0/15	2/17	2/25	0/8	1/21	0/23	3/29	8/138
1990	1/9	-	-	-	-	-	-	-	1/14	1/11	-	-	3/34
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/16	0/26	0/10	1/52
1992	1/19	2/25	1/27	1/28	0/24	0/18	0/29	2/29	0/25	0/25	2/28	1/9	10/286
1993	-	-	0/6	0/24	1/27	1/28	1/20	0/10	1/30	1/28	1/23	1/27	7/223
1994	4/26	2/26	3/30	2/26	4/31	1/27	1/28	1/27	-	-	3/25	0/27	21/273
1995	0/26	0/11	2/15	1/15	1/15	1/7	1/25	0/17	1/29	0/25	0/3	0/25	7/213
1996	2/25	2/27	2/23	0/24	1/11	2/15	2/25	0/18	2/23	1/23	2/20	0/28	16/262
1997	0/26	0/22	1/21	0/28	0/29	0/29	1/31	0/29	2/29	-	-	-	4/244
Total	8/131	6/116	11/146	6/168	8/163	6/163	11/203	7/177	9/181	8/178	10/176	6/166	96/1970
Trimestre	25/393			20/494			27/563			24/520			
Semestre	45/887						51/1083						

Dos 27 eventos ocorridos em 1988 e 1989, somente 4 casos apresentaram cobertura de nuvens, em algum horário, abaixo de 20%, sendo que, 15 desses eventos possuem cobertura total acima de 90% (Figura 4.7).

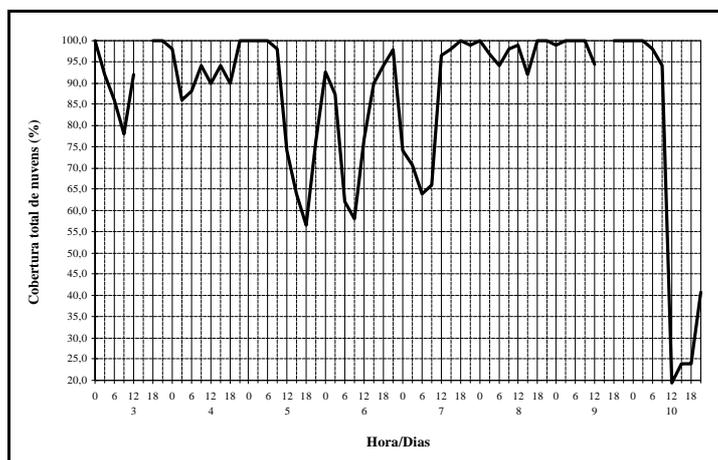


Fig. 4.7 - Cobertura total de nuvens entre os dias 3-10 de maio de 1988, em 8 horários.

4.2.1.3 - Camada de 850-500 hPa

Esta camada concentra a maior quantidade de DOLs, se comparada com as anteriores, com um total de 100 eventos. A Tabela 4.3 mostra que os anos de 1988 e 1994 apresentam as quantidades máximas de DOLs, com 22 e 16 eventos, respectivamente, porém o número de RS não é o mais elevado, seguidos de 1995, 1992 e 1997.

A variabilidade sazonal é pequena, mostrando máximos nos meses de julho e setembro, com 15 e 12 eventos, respectivamente (Tabela 4.3). Já os mínimos encontram-se nos trimestres de jan-fev-mar e de out-nov-dez, com 20 eventos em cada um, porém com uma alta variação da quantidade de RS. A estação seca (julho a dezembro) apresenta a maior quantidade de DOLs, com total de 56 eventos, porém com pequena diferença em relação a estação chuvosa (janeiro a junho).

TABELA 4.3 - OCORRÊNCIA DOS DOLs CONFORME A QUANTIDADE DE RADIOSSONDAGENS, ENTRE 850-500 hPa

Anos/Meses	Estação Chuvosa						Estação Seca						Total
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
1988	-	0/5	3/24	2/23	2/26	1/24	2/28	3/24	2/23	4/29	2/28	1/11	22/245
1989	-	-	-	-	-	0/15	0/17	1/25	0/8	0/21	1/23	1/29	3/138
1990	0/9	-	-	-	-	-	-	-	1/14	0/11	-	-	1/34
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0/16	0/26	0/10	0/52
1992	1/19	1/25	1/27	2/28	0/24	0/18	0/29	2/29	2/25	0/25	1/28	1/9	11/286
1993	-	-	0/6	0/24	2/27	1/28	1/20	0/10	3/30	1/28	0/23	1/27	9/223
1994	1/26	2/26	1/30	2/26	2/31	3/27	2/28	1/27	-	-	2/25	0/27	16/273
1995	1/26	0/11	1/15	1/15	0/15	0/7	3/25	1/17	2/29	1/25	0/3	2/25	12/213
1996	3/25	2/27	1/23	1/24	0/11	2/15	3/25	0/18	1/23	0/23	2/20	0/28	15/262
1997	1/26	0/22	1/21	1/28	2/29	0/29	4/31	1/29	1/29	-	-	-	11/244
Total	7/131	5/116	8/146	9/168	8/163	7/163	15/203	9/177	12/181	6/178	8/176	6/166	
Trimestre	20/393			24/494			36/563			20/520			100/1970
Semestre	44/887						56/1083						

Como foi mostrado nas camadas anteriores, os dados de cobertura de nuvens do ISCCP também confirmam a passagem dos DOLs entre 850-500 hPa. Em apenas 5 casos, entre 1988 e 1989, apresentarem-se com dados de cobertura de nuvens abaixo de 20%, em algum horário (Figura 4.7).

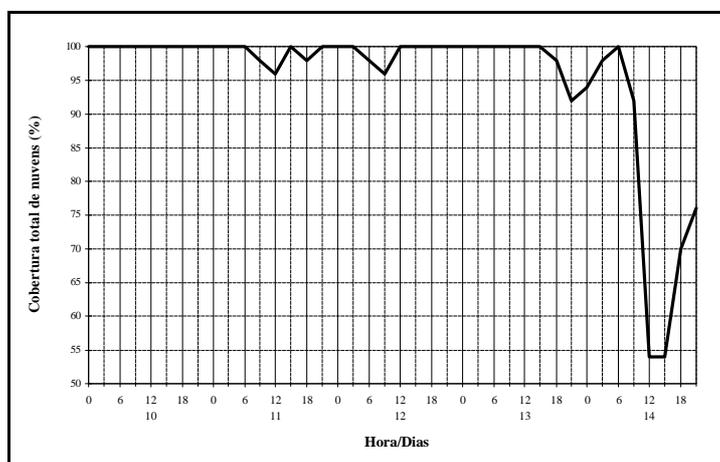


Fig. 4.8 - Cobertura total de nuvens entre os dias 10-14 de março de 1988, nos 8 horários.

4.2.1.4 - Comparação entre as Camadas

A presença de DOLs pode ser evidenciada em várias camadas para diferentes anos (Laurent et al., 1989). Assim sendo utilizou-se, para a determinação da componente meridional média do vento, os níveis existentes nas camadas de 850-700, 700-500 e 850-500 hPa. Essas três camadas apresentam muitas diferenças e similaridades na ocorrência dos DOLs sobre Alcântara, mostrando variabilidades tanto na distribuição sazonal como na interanual.

As Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 mostram que a máxima ocorrência de eventos de DOLs concentra-se em 1988 e 1994, em todas as camadas. Contudo, a de 850-500 hPa apresenta pico em 1988 e as outras duas camadas em 1994. Entretanto, a ocorrência desses distúrbios é mais similar entre as camadas de 700-500 e 850-500 hPa. Já a menor ocorrência desses eventos, aconteceu nos anos de 1990 e 1991, coincidentes nas três camadas. Estas análises mostram que os DOLs ocorrem durante o ano todo, conforme os resultados também encontrados por Chan (1990), para 1 ano de análises do NMC e Espinosa (1996), para 10 anos de dados do ECMWF.

Além disso, essas tabelas mostram que, apesar da camada de 850-700 hPa apresentar a menor quantidade total de DOLs (64 eventos), a ocorrência desses, na estação chuvosa (42 eventos), é quase que a mesma encontrada nas camadas de 700-500 (45 eventos) e 850-500 hPa (44 eventos). Sendo assim, pode-se afirmar que não existem diferenças significativas nas quantidades de distúrbios entre essas três camadas, para os meses entre janeiro e junho. Isso porque a convecção é mais forte nesta época, ocasionando um grande desenvolvimento vertical de nuvens, assim sendo os DOLs apresentam-se mais espessos.

Já a estação seca mostra diferenças muito marcantes entre as três camadas, pois a de 700-500 (51 eventos) e de 850-500 hPa (56 eventos) apresentam mais do que o dobro de DOLs encontrados em 850-700 hPa (22 eventos). Com isso pode-se fazer a hipótese de

que esses distúrbios, na estação seca, são melhor detectados nas camadas de 700-500 e 850-500 hPa. Isso porque a convecção é fraca nesta época, inibindo o desenvolvimento vertical de nuvens, influenciando a espessura dos DOLs.

O período de duração dos DOLs (Tabela E1 do Apêndice E) é semelhante entre as três camadas estudadas, apresentando valor médio de 4,13 dias entre 850-700 hPa, 4,64 dias entre 700-500 e 850-500 hPa, coincidindo com outros autores, citado na Tabela 2.1, além de Kagano (1979), Nita (1985) e Espinosa (1996).

4.2.1.5 - Ocorrência de DOLs e Anomalias de Precipitação

Alguns autores, como Hall (1989) e Mota (1997), afirmaram que os DOLs causam precipitação na região durante a passagem destes distúrbios, provocando, ocasionalmente, altos índices. A Figura 4.9 representa a relação de anomalias de precipitação com a passagem dos DOLs sobre o CLA. Esta figura mostra que os anos (1990, 1991, 1992 e 1993), com baixa frequência de DOLs (0-2 eventos por mês), apresentam anomalias negativas de precipitação. Por outro lado, os anos de 1988, 1989 e 1994, nos quais foram detectados quantidade de DOLs entre 2-4 eventos mensal, mostram que a precipitação na região foi maior, principalmente nos anos de 1989 e 1994. Isto é um indício de que, esses distúrbios podem estar associados a episódios de *El Niño* (EN) e *La Niña* (LN), ou seja, mais frequência de DOLs em anos de LN e menor frequência em anos de EN.

4.2.2 - Associação dos DOLs com outros Fenômenos Atmosféricos

A posição da ZCIT, que também pode ser identificada pela componente meridional do vento (Ferreira, 1998), influencia as características climáticas da região de Alcântara durante os meses de janeiro à março (Figura 2.8b). Entretanto esse sistema não interferiu na identificação de eventos dos DOLs, pois estes eventos apresentam duração

média menor, em torno de 4,5 dias. Além disso a variação da nebulosidade observada na ZCIT é normalmente associada com ondas equatoriais, e localiza-se no HN durante a estação chuvosa do HS.

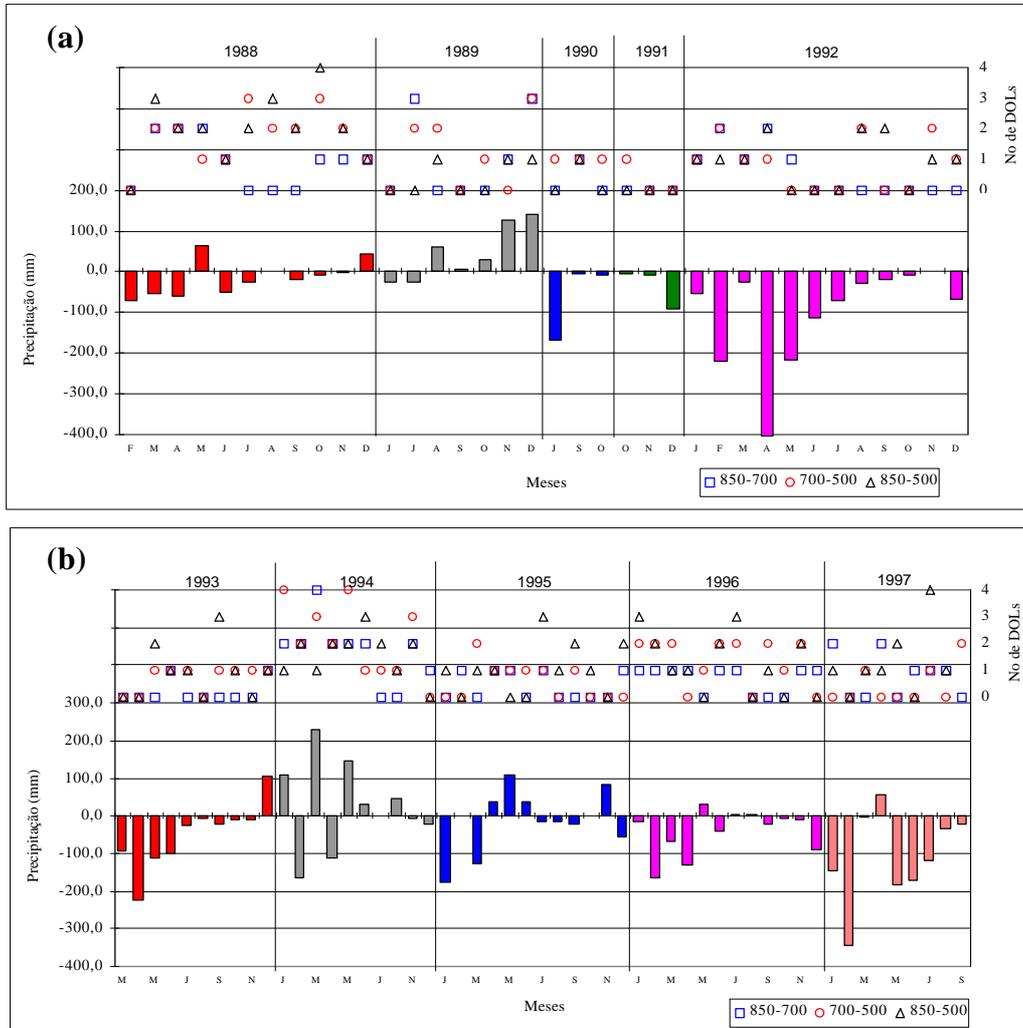


Fig. 4.9 - Associação dos DOLs com anomalias de precipitação (PRP de São Luiz-PRP média). (a) anos de 1988 a 1992; e (b) anos de 1993 a 1997.

Gan (1982), Kayano et al. (1997) e Calbete et al. (1998a), entre outros, afirmam que a maior frequência dos VCANs ocorre nos meses de verão (dez-jan-fev) (Tabela 2.2), e que somente 10% desses sistemas atingem a superfície. Assim sendo, a possibilidade de que esses sistemas possam se confundir com os DOLs é muito pequena. Além disso

todos os eventos de DOLs foram checados e confirmados pela análise das imagens de satélite e não havia a presença de VCANs nos dias da passagem dos DOLs sobre Alcântara.

As LCbs se formam tanto na estação chuvosa como na seca, porém na estação chuvosa essas linhas são mais intensas, localizando-se sobre o norte do NEB. Durante a estação seca as LCbs são mais fracas e permanecem ao norte da América do Sul. Além disso, tem-se a duração das LCbs, que é diferente com relação aos DOLs.

No final da década de 80 e no início dos anos 90, ocorreram dois episódios do evento LN (anos de 88-89 e 95-96) e um episódio estendido EN (90-94) (Stormfax, 1999). Vários autores (Kousky et al., 1984; Ropelewski e Halpert, 1987 e 1989; Philander, 1990 e Cavalcanti e Rao, 1996) afirmaram que o aquecimento (resfriamento) das águas do Oceano Pacífico Equatorial provoca baixos (altos) índices de precipitação no NEB, ocasionando o evento de EN (LN). Alves et al. (1997) verificaram que em anos de LN, além dos altos índices de precipitação no NEB e baixa Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico Leste, ocorreram anomalias positivas da Pressão ao Nível Médio do Mar (PNM) na Bacia do Atlântico Norte, que favorecem a intensificação dos alísios de nordeste. Este fato impulsiona a ZCIT para posições próximas a costa norte do NEB, e conseqüentemente favorecem a ocorrência de chuvas abundantes, podendo assim está associado aos DOLs.

Com todas essas informações, pode-se dizer que existem índices de relações entre esses tipos de distúrbios e os episódios de LN e EN, além dos índices de TSM e padrão de dipolo, pois este último, juntamente com a TSM superior à 28°C e confluência dos ventos à superfície posicionada no oeste do Oceano Atlântico Sul, formam as condições propícias para a atuação da ZCIT sobre o NEB (Souza et al., 1998). Segundo Tai e Ogura (1987), os DOLs aparecem com mais intensidade durante o período de atuação da ZCIT.

4.2.3 - Identificação dos DOLs pela Análise Espectral (Espectros de Potência)

O espectro de potência da componente meridional do vento possui variabilidade interanual e sazonal, para os níveis de 850, 700 e 500 hPa, com picos de energia significativos em períodos acima de 3 dias. Este resultado também foi encontrado por Rosenthal (1960), que utilizou dados de V entre 15 de abril e 23 de julho de 1956, em 7 estações diferentes, nos níveis de 850 e 200 hPa.

Em 1992 (Figura F.1 - Apêndice F) e em 1993 (Figura F.2 - Apêndice F) os picos de energia concentraram-se, em média, entre os períodos de 3-8 dias, sendo maiores do que os estimados por outros autores, como: Nita et al. (1985), que encontraram picos de energia entre 3-6 dias, através de dados de vento do FGGE; Reed et al. (1988a) e Chan (1990) entre 3-5 dias; Neiva (1975) e Tai e Ogura (1987), através de análise espectral, e Espinosa (1996), através de Funções Ortogonais Empíricas Estendidas (FOEE), encontraram picos de energia em período de 4-6 dias; e por fim Liebman e Hendon (1990), com picos de energia em torno de 4 dias.

Os perfis espectrais da componente meridional do vento mostram que o nível de 850 hPa apresenta menor energia ($0,09 \text{ m}^2\text{s}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e o de 500 hPa a maior ($0,22 \text{ m}^2\text{s}^{-2}\text{dia}^{-1}$). Entretanto alguns casos fogem a regra, como em: a) jan-fev-mar de 1992 ($0,21 \text{ m}^2\text{s}^{-2}\text{dia}^{-1}$), mostrado na Figura 4.10a, em que a maior energia foi encontrada em 700 hPa e b) out-nov-dez de 1993 que apresenta energia mais elevada em 850 hPa.

Analisando sazonalmente os perfis espectrais, apresentados pelas Figuras E.1 e E.2, notou-se que as diferenças são pequenas. Porém, em 1992 os picos de energia ocorreram no trimestre de jan-fev-mar (Figura 4.10a) e em 1993 em out-nov-dez. Entretanto, existe energia elevada em períodos entre 10-32 dias, os quais não representam os períodos dos distúrbios ondulatórios de leste, como foi determinando pela variação da componente meridional do vento.

Os espectros de potência da componente meridional do vento entre o trimestre chuvoso e seco não apresentou diferenças acentuadas, principalmente nos níveis de 700 e 500 hPa, porém no nível de 850 hPa a energia foi maior em jan-fev-mar (Figura 4.10).

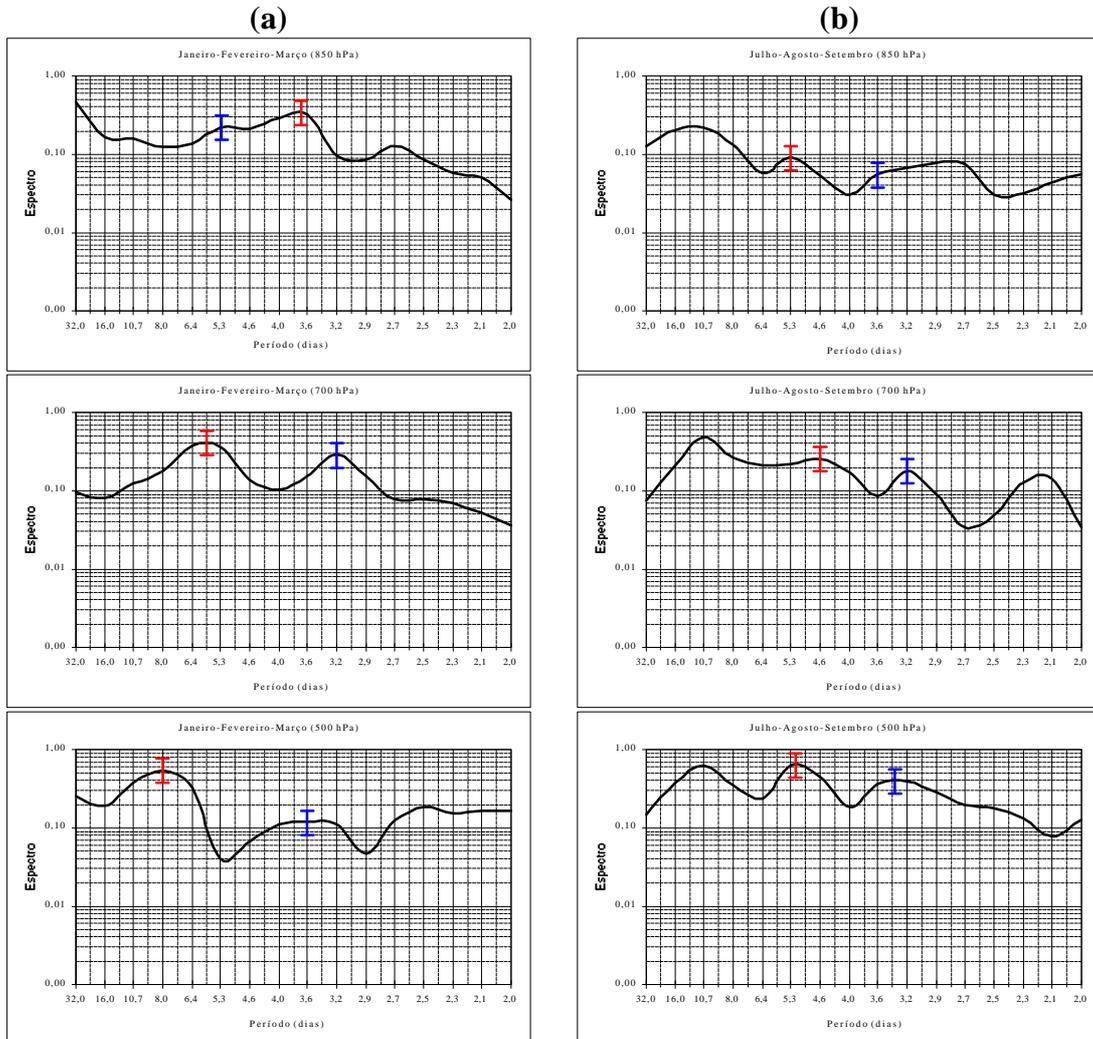


Fig. 4.10 - Espectro de potência de V, para o ano de 1992. (a) trimestre chuvoso (jan-fev-mar) e (b) trimestre seco (jul-ago-set).

De modo geral, os picos de energia aparecem no ano todo e nos três níveis analisados com energia máxima em torno de $0,8 \text{ m}^2\text{s}^{-2}\text{dia}^{-1}$. Além disso os períodos estimados espectralmente coincidem com aqueles determinados pelo método da mudança do sinal da componente V do vento associada com alta umidade específica (item 4.2).

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

Os parâmetros estatísticos (média aritmética, correlação, *Bias* e EQM) analisados entre os dados de temperatura do ar, umidade relativa e componentes meridional e zonal do vento, no período de 1988 a 1993, para os 16 níveis, mostraram claramente as diferenças e semelhanças existentes entre as radiossondagens do CLA e as re-análises do ECMWF.

A Figura C.1 (Apêndice C) mostra que os perfis verticais das re-análises do ECMWF apresentaram, razoavelmente, a mesma estrutura dos perfis das radiossondagens, conseguindo captar a altura da tropopausa, em todos os meses. Entretanto as diferenças absolutas entre as observações e assimilações foram elevadas, principalmente da superfície até a tropopausa. Os valores das radiossondagens são superestimados em quase a totalidade dos casos. Esses dois conjuntos apresentaram correlações significativas, principalmente entre 1000 e 400 hPa, pois segundo o teste de hipótese esses coeficiente concentraram-se nos limites de confiança de 95%, além dos elevados EQMs.

Os perfis verticais da umidade relativa do ar nas re-análises do ECMWF são mais elevados do que os obtidos pelas radiossondagens, principalmente na estação chuvosa, com diferenças em torno de 50 e 70%, isso por problemas de parametrizações de nuvens cirrus do modelo que gera os dados das re-análises. Esta diferença pode ser, em parte, devida às condições de fronteira das re-análises serem de características oceânicas, e também por não captarem a real posição da ZCIT. Tem-se também o pico da umidade relativa na tropopausa mostrado pelos dados assimilados, o qual não é encontrado nas

observações. com diferenças em torno de 50 a 70%. Entretanto foram encontradas semelhanças entre as assimilações e as observações da superfície até em torno de 500 hPa, entre os meses de maio a novembro. O teste de hipótese revelou que as correlações entre 1000 e 400 hPa, em ambas as estações, estão nos limites de confiança de 95%.

Os perfis verticais da componente meridional do vento comportaram-se de maneira semelhante, tanto nos dados das RAE como nos das RS. Entretanto os picos de V apresentados pelas radiossondagens em 200 hPa, entre maio e novembro, não foram captados pelas assimilações, além do cisalhamento da atmosfera, resultando em elevados valores de *Bias*, principalmente nos meses de maio a agosto. Até em torno de 800 hPa, os dados das re-análises representaram bem os das radiossondagens, exceto para os meses de janeiro e fevereiro. Além disso pode-se afirmar que o modelo que gera os dados das re-análises conseguiu captar as mudanças de direção do vento.

Os perfis verticais da componente zonal do vento entre as RS e as RAE comportaram-se de forma similar, onde os dados das RAE representaram muito bem os sinais positivos e negativos de U , mostrando que a mudança da direção do vento nas RS foi bem captada. Essas semelhanças foram mais nítidas na estação seca. Entretanto o cisalhamento em torno de 150 hPa, nos meses de janeiro a agosto, não foi captado pelos valores das re-análises, com *Bias* em torno de $4,5 \text{ ms}^{-1}$. Na maioria dos perfis verticais os dados das radiossondagens superestimaram os das re-análises, porém com pequenos valores.

Tanto na componente meridional do vento como na zonal, os coeficientes de correlação concentraram-se dentro dos limites de confiança de 95%, conforme os resultados obtidos pelo teste de hipótese.

Após a análise estatística foi identificada a passagem dos distúrbios ondulatórios de leste, nas camadas de 850-700, 700-500 e 850-500 hPa e confirmada pelos dados de cobertura de nuvens, imagens de satélite e por fim pelos espectros de potência.

A análise da mudança do sinal de V detectou a presença de DOLs durante todo o ano (entre 1988 e 1997) com intervalo de tempo variando de 3 a 10 dias. Contudo, em 85-90% do total dos eventos, a maior frequência ocorreu entre 3-6 dias. Esse método ainda revelou 64 eventos na camada de 850-700 hPa, 96 em 700-500 e 100 na camada de 850-500 hPa, onde todos apresentaram valores altos de umidade específica (valores acima da média mensal), além de nebulosidade sobre Alcântara.

A maior frequência dos DOLs entre 850-700 hPa ocorre na estação chuvosa, com quase o dobro da quantidade existente na estação seca. Já entre 700-500 hPa e 850-500 hPa a estação seca é a que apresenta a maior quantidade de DOLs, porém com variação pequena em relação a estação chuvosa. Além disso os trimestres de jul-ago-set (700-500 hPa), jan-fev-mar e out-nov-dez (850-500 hPa) são os que concentram a maior quantidade de DOLs.

De modo geral a estação seca mostra diferenças muito marcantes entre as três camadas. Com isso faz-se a hipótese de que esses distúrbios, na estação seca, são melhor detectados nas camadas de 700-500 e 850-500 hPa, não apresentando influências de outros sistemas tais como a ZCIT, os VCANs e as LCbs, que nesta época do ano, não se manifestam próximo ao NEB. Nos meses de janeiro a junho não existem diferenças significativas nas quantidades de distúrbios entre essas três camadas. Outra semelhança detectada entre as camadas de 850-700, 700-500 e 850-500 hPa é a variação interanual, sendo que a maior quantidade de distúrbios concentraram-se nos anos de 1988 e 1994.

O espectro de potência da componente meridional do vento possui variabilidade interanual e sazonal, para os níveis de 850, 700 e 500 hPa, com picos de energia significativos em intervalos de períodos entre 3-8 dias.

De modo geral os perfis espectrais da componente meridional do vento mostram que o nível de 850 hPa apresenta a menor energia e o de 500 hPa a maior. Já sazonalmente as diferenças são pequenas, com picos de energia em jan-fev-mar (1992) e em out-nov-dez

(1993). Os períodos estimados espectralmente coincidem com aqueles determinados pelo método da mudança do sinal da componente V do vento associada com alta umidade específica, validando esse método usado.

5.2. SUGESTÕES

Como sugestões para trabalhos futuros sugere-se:

- a) Estender as análises de comparação estatística de radiossondagens para outros conjuntos de dados, por exemplo: análises do modelo global do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e do modelo regional *Engineering Technology Associates* (ETA);
- b) Aplicar as análises de mudança de sinal da componente meridional do vento das radiossondagens para outras localidades (Fernando de Noronha, Natal, Fortaleza e Belém), nas situações em que foi observada a passagem de DOLs em Alcântara, afim de estudar as características de propagação deste sistema; e
- c) Correlacionar as análises de TSM e a formação de DOLs na região do Atlântico Equatorial, visando entender como estes sistemas surgem e se propagam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, J. M. B.; Souza, E. B.; Repelli, C. A.; Vitorino, M. I.; Ferreira, N. S. Episódios de La Niña na Bacia do Oceano Pacífico Equatorial e a distribuição sazonal e intrasazonal das chuvas no setor norte do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.12, n.1, p.63-76. 1997.
- Berry, F.A.; Bollay, E.; Beers, N.R. **Handbook of meteorology**. New York: McGraw-Hill Book, 1945. 1068p.
- Burpee, R.W. The origin and structure of easterly waves in the lower troposphere of North Africa. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.29, n.1, p.77-90, Jan. 1972.
- Calbete, N.O.; Gan, M.A.; Satyamurty, P. **Vórtices ciclônicos da alta troposfera que atuam sobre a região nordeste do Brasil**. [online]. <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliensp10a/dock.html>>. Jun. 1998a.
- Calson, T.N. Synoptic histories african disturbances that developed into Atlantic hurricanes. **Monthly Weather Review**, v.97, n.3, p.256-276, Mar. 1969.
- Carvalho, A.M.G. **Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul**. São José dos Campos. 109p. (INPE-4923-TDL/383). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989.
- Cavalcanti, I.F.A.; Kousky, V.E. **Influências da circulação de escala sinótica na circulação da brisa marítima na costa N-NE da América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 1984. 14p. (INPE-2573-PRE/221).

Cavalcanti, I.F.A.; Rao, V.B. Variações nas características de umidade nos anos de El Niño e La Niña de 1987 e 1988. [CD-ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7., Campos do Jordão, 1996. **Anais**. São Paulo: Imagem Mutimídia. 1996.

Chan, C.S. **Análise de distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul**. São José dos Campos. 134p. (INPE-5222-TDL/437). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990.

Chang, C.-P.; Morris, V.F.; Wallace, J.M. A statistical study of easterly waves in the western Pacific: july-december 1964. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.27, n.2, p.195-201, Mar. 1970.

Cohen, J.C.P.; Dias, M.A.F.S.; Nobre, C.A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. **Climanálise**, v.4, n.11, p.34-40, nov. 1989.

Cooley, J.W.; Tukey, J.W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. **Mathematics of Computation**, v.19, n.89-92, p.297-301. 1965.

De Felice, P.; Viltard, A.; Monkan, D.; Ouss, C. Characteristics of North African 6-9 day waves during summer 1981. **Monthly Weather Review**. v.118, n.12, p.2624-2633, Dec. 1990.

De Felice, P.; Viltard, A.; Oubuih, J. A synoptic-scale wave of 6-9-day period in the Atlantic Tropical Troposphere during summer 1981. **Monthly Weather Review**. v.121, n.5, p.1291-1298, May. 1993.

Dunn, G.E. Cyclogenesis in the tropical atlantic. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.21, n.6, p.215-229, June. 1940.

Duvel, J.P. Convection over tropical Africa and the Atlantic ocean during northern summer. Part II: modulation by easterly waves. **Monthly Weather Review**, v.118, n.9, p.1855-1868, Sep. 1990.

European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF). **Era**. [online]. <<http://www.ecmwf.int/data/era.html>>. Abr. 1998.

Espinosa, E.S. **Distúrbios nos ventos de leste no atlântico tropical**. São José dos Campos. 127p. (INPE-6347-TDI/598). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.

Ferreira, N.S. **Zona de Convergência Intertropical**. [online]. http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/zcit_1.html>. jun. 1998.

Figuerola, N.F.; Satyamurty, P.; Dias, P.L.S. Simulations of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model. **Journal Atmospheric Sciences**. v.52, p.1573-1584, May. 1995.

Fisch, G. Ventos em altitude na costa litorânea do Maranhão. **Boletim de Monitoramento Hidroclimático**. v.2, p.43-47. 1997.

— **Formação característica de nebulosidade no CLA** (Centro Técnico Aeroespacial, São José dos Campos, 1999). Comunicação pessoal.

Franco, A.S. **Transformação de Fourier teoria e aplicações**. [s.n.t.]. 1970. 139p.

Frank, N.L. The weather distribution with upper tropospheric cold lows in the tropics. local: ESSA, Oct. 1966. p.1-22, **ESSA Technical Memorandum**. n.28

—— The “inverted V” cloud pattern - an easterly wave?. **Monthly Weather Review**, v.97, n.2, p.130-140, Feb. 1969.

Gan, M.A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil**. São José dos Campos. 65p. (INPE-2685-TDL/126). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1982.

—— **Vórtices ciclônicos em altos níveis no nordeste brasileiro**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998). Comunicação pessoal.

Gan, M.A.; Kousky, V.E. Vórtices Ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**. n.1, p.19-28, Jan. 1986.

Geçkinli, N.C.; Yavuz, D. **Discrete Fourier tranformation and its applications to power spectra estimation**. Amsterdam: Elsevier Science, 1983. p.340.

Hall, B.A. Westward-moving disturbances in the South Atlantic coinciding with heavy rainfall events at Ascension Island. **Meteorological Magazine**, v.118, n.1405, p.175-181, Aug. 1989.

Hamilton, R.A.; Archbold, J.N. Meteorology of Nigeria and adjacent territory. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. v.71, n.309-310, p.231-262, Jul-Oct. 1945.

Hastenrath, S. **Climate and circulation of the tropics**. New York: Atmospheric Sciences Library, 1988. 455p.

- Hollingsworth, A.; Shaw, D.B.; Lönnberg, P.; Illari, L.; Arpe, K.; Simmons J.
Monitoring of observation and analysis quality by a data assimilation system.
Monthly Weather Review. v.114, n.5, p.861-879, May. 1986.
- . Validation and diagnostics of atmospheric models. **Dynamics of Atmospheres and Oceans**. v.20, n.3, p.227-246, Mar. 1994.
- Hoskins, B.J.; Hsu, H.H.; James, I.N.; Masutani, M.; Sardeshmu, K.H.; White, G.H.
Diagnostics of the global atmospheric circulation based on ECMWF analyses 1979-1989. local: editora, Aug. 1989. **UGAMP Technical Report**. n.7.
- Intituto Aeronáutico Espacial.Centro Tecnológico Aeuroespacial **CLA**. [online].
<<http://www.iae.cta.br/ahtml/cla/htm>>. Mar. 1998.
- Janssen, P.H.M.; Heuberger, P.S.C. Calibration of process-oriented models. **Ecological Modelling**. v.83, n.1-2, p.55-66, Dec. 1995.
- Kagano, M.T. **Um estudo climatológico e sinótico utilizando dados de radissondagem (1968-1976) de Manaus e Belém**. São José dos Campos. 111p. (INPE-1559-TDL/013). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1979.
- Kayano, M.T.; Ferreira, N.J.; Ramírez, M.C.V. Summer circulation patters related to the upper tropospheric vortices over the tropical South Atlantic. **Meteorology and Atmospheric Physics**. v.64, n.3-4, p.203-213. 1997.
- Kousky, V.E.; Kagano, M.T.; Cavalcanti, I.F.A. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**. v.36A, n.5, p.490-504, Oct. 1984.

Laurent, H.; Viltard, A.; De Felice, P. Performance evaluation and local adaptation of the ECMWF system forecasts over northern Africa for summer 1985. **Monthly Weather Review**. v.117, n.9, p.1999-2009, Sep. 1989.

Liebmann, B.; Hendon, H.H. Synoptic-scale disturbances near the Equator. **Journal of the Atmospheric Sciences**. v.47, n.12, p.1463-1479, June. 1990.

Machado, L.A.T.; Guedes, R.L.; Alves, M.A.S. Características estruturas de sistemas convectivos e forçantes da convecção na América do Sul, observados por satélites. **Climanálise Especial**, Out. 1996.

—— **Programa em Fortran para o cálculo do espectro de potência**. [Programa de computador]. s.n.t.

—— **Parametrização de nuvens do modelo numérico do ECMWF**. (Centro Técnico Aeroespacial, São José dos Campos, 1999). Comunicação pessoal.

Merrit, E.S. Easterly waves and perturbations, a reappraisal. **Journal of Applied Meteorology**. v.3, n.2, p.367-382, Aug. 1964.

Mielke Jr., P.W.; Berry, K.J.; Landsea, C.W.; Gray, W.M. Artificial skill and validation in meteorological forecasting. **Weather and Forecasting**. v.11, n.2, p.153-169, Abr. 1996.

Molion, L.C.B.; Kousky, V.E. **Climatologia da dinâmica da troposfera tropical sobre a Amazônia**. São José dos Campos: INPE, 1985. 21p. (INPE-3560-RPE/480).

- Mota, G.V. **Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no nordeste brasileiro**. São Paulo. 92p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Astronômico e Geofísico-USP, 1997.
- Murphy, A.H. The coefficients of correlation and determination as measures of performance in forecast verification. **Weather and Forecasting**. v.10, n.4, p.681-688, Dec. 1995.
- Neiva, E.J.F. **An investigation of wave-type disturbances over the tropical south-atlantic**. California. 58p. (T551.551.3). Dissertação (Master's of Science in Meteorology) - Naval Postgraduate School, 1975.
- Newson, R. **Results of the WCRP first international conference on reanalysis**. [online]. <<http://www.cais/gewex/feb98pg3.html>>. Abr. 1998.
- Nieuwolt, S. **Tropical Climatology**. New York: John Wiley & Sons, 1978. 207p.
- Nita, T.; Nagakomi, Y.; Suzuki, Y.; Hasegawa, N.; Kaokura, A. Global Analysis of the lower tropospheric disturbances in the tropics during the northern summer of the FGGE year. Part I: global features of the disturbances. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. v.63, n.1, p.1-19, Feb. 1985.
- Nuret, M.; Chong, M. Monitoring the performance of the ECMWF operational analysis using the enhanced TOGA COARE observational network. **Weather and Forecasting**. v.11, p.53-65, Mar. 1996.
- Otnes, R.K.; Enochson, L. **Digital time series analysis**. United States of America: John Wiley & Sons, 1972. 467p.

Philander, S.G. **El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation**. New York: Academic, 1990. 293p.

Randel, W.J. Upper tropospheric equatorial waves in ECMWF analyses. **Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society**. v.118, n.504, p.365-394, Mar. 1992.

Rebello, E. **Dados da média de dias de chuva em São Luiz - MA**. (Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília, 1998). Comunicação pessoal.

Reed, R.J.; Kinker, E.; Hollingsworth, A. The structure and characteristics of african easterly wave disturbances as determined from the ECMWF operational analysis/forecast system. **Meteorological and Atmospheric Physics**. v.38, n.1-2, p.22-23. 1988a.

Reed, R.J.; Hollingsworth, A.; Heckley, W.A.; Delsol, F. An evolution of the performance of the ECMWF operational system in analyzing and forecasting easterly wave disturbances over Africa and the Tropical Atlantic. **Monthly Weather Review**. v.116, n.4, p.824-865, Apr. 1988b.

Rennick, M.A. The generation of African Waves. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.33, n.10, p.1955-1969, Oct. 1976.

Riehl, H. **Waves in the easterlies and polar front in the tropics**. Chicago: Chicago University, Department of Meteorology, 1945. 79p.

—— **Tropical Meteorology**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1954. 392p.

— **Meteorologia Tropical**. Rio de Janeiro: Centro de Publicações Técnicas da Aliança, 1965. 426p.

Ropelewski, C.F.; Halpert, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**. v.115, n.8, p.1606-1625, Aug. 1987.

Ropelewski, C.F.; Halpert, M.S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. **Journal of Climate**. v.2, n.3, p.268-284, Mar. 1989.

Rosenthal, S.L. Some estimates of the power spectra of large-scale disturbances in low latitudes. **Journal of Meteorology**. v.17, p.259-263, Jun. 1960.

Simpson, R.H.; Frank, N.; Shideler, D.; Johnson, H.M. The Atlantic tropical disturbances, 1967. **Monthly Weather Review**, v.96, n.4, p.251-259, Apr. 1968.

Souza, E.B.; Alves, J.M.B.; Nobre, P. Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do nordeste brasileiro em associação aos eventos do padrão de dipolo observados na Bacia do Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.13, n.2, p.45-55. 1998.

Stormfax. **El Niño and La Niña**. [online]. <<http://www.stormfax.com/lanina.htm>>. Abr. 1999.

Stull, R.B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Netherlands: Kluwer Academic, 1988. 662p.

Tai, K.S.; Ogura, Y. An observational study of easterly waves over the eastern Pacific in the northern summer using FGGE data. **Journal Atmospheric Sciences**, v.44, n.2, p.339-361, Jan. 1987.

Takaranov, G.G. **Tropical Meteorology**. URSS: Moscou: Mir, 1966. 150p.

Uvo, C.R.B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região norte e nordeste brasileiro**. São José dos Campos. 82p. (INPE-4887-TDL/378). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989.

Vaisala. **RS80 radiosondes - proven quality and accuracy**. [online]. <<http://www.vaisala.com/WWW/webcom.nsf/1f23385afdb8eff8c225641a0056a09b/0c569fc920b25301c225641f00546bf2?OpenDocument>>. Jun. 1999.

Viltard, A.; De Felice, P.; Oubuih, J. Comparasion of the African and the 6-9 day wave-like disturbance patterns over west-africa and the Tropical Atlantic during summer 1985. **Meteorology and Atmospheric Physics**. v.62, n.1-2, p.91-99. 1997.

Waliser, D.E; Gautier, C. **A satellite-derived climatology of the ITCZ**. [online]. <<http://terra.msrb.sunysb.edu/itczclim/itczclim.html>>. Jun. 1998.

Yamazaki, Y. **Estudos teóricos e sinóticos dos distúrbios tropicais**. São José dos Campos. 46p. (INPE-624-LAFE). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1975.

Yamazaki, Y.; Rao, V.B. Tropical clouding over South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.55, n.2, p.204-207, Apr. 1977.

APÊNDICE A

FÓRMULAS MATEMÁTICAS PARA O ESTUDO ESTATÍSTICO

a) Média Aritmética (\bar{X}):

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (\text{A.1})$$

onde,

$\sum X$ = somatório de todos os valores da amostra;

n = número de dados das séries.

b) Desvio Padrão (δ):

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum X^2}{n} - \left(\frac{\sum X}{n}\right)^2} \quad (\text{A.2})$$

onde,

$\sum X^2$ = somatório do quadrado de todos os valores utilizados no cálculo;

$(\sum X)^2$ = quadrado do somatório dos valores de X.

c) Coeficiente de Correlação (ρ):

$$\rho = \frac{\text{COV}(X_{RS} - X_{ECMWF})}{\delta(X_{RS}) \cdot \delta(X_{ECMWF})} \quad (\text{A.3})$$

onde,

$\text{COV}(\mathbf{X}_{\text{RS}} - \mathbf{X}_{\text{ECMWF}})$ = covariância entre as observações de radiossondagem (subscrito RS) e simuladas pelas re-análises do ECMWF (subscrito ECMWF), dada pela Equação A.4;

$\mathbf{d}(\mathbf{X})$ = desvio padrão da amostra dada pela Equação A.2:

$$\text{COV}(\mathbf{X}_{\text{RS}} - \mathbf{X}_{\text{ECMWF}}) = \frac{\sum [(\mathbf{X}_{\text{RS}} - \overline{\mathbf{X}_{\text{RS}}})(\mathbf{X}_{\text{ECMWF}} - \overline{\mathbf{X}_{\text{ECMWF}}})]}{\mathbf{n}} \quad (\text{A.4})$$

d) Erro Quadrático Médio (EQM)

$$\text{EQM} = \sqrt{\frac{\sum (\mathbf{X}_{\text{RS}} - \mathbf{X}_{\text{ECMWF}})^2}{\mathbf{n}}} \quad (\text{A.5})$$

e) Bias

$$\text{Bias} = \frac{\sum (\mathbf{X}_{\text{RS}} - \mathbf{X}_{\text{ECMWF}})}{\mathbf{n}} \quad (\text{A.6})$$

f) Componentes Zonal (U) e Meridional (V) do Vento

Como nos dados das re-análises do ECMWF o vento está em termos de U e V e nas radiossondagem em velocidade e direção, foi necessário fazer algumas transformações usando as Equações A.7 e A.8, no pacote gráfico *Excell for Windows*, a saber:

$$\mathbf{U} = -\text{VELsen}\theta \quad (\text{A.7})$$

onde,

U = componente zonal do vento (ms^{-1});

VEL = magnitude do vento (ms^{-1});

q = direção do vento (graus).

$$\mathbf{V} = -\mathbf{VEL}\cos\theta \quad (\text{A.8})$$

onde,

V = componente meridional do vento (ms^{-1});

As Equações A.7 e A.8 são as fórmulas clássicas de transformações do vento de coordenadas polares (velocidade e direção) para coordenadas cartesianas (componentes do vento U e V).

g) Umidade Relativa do Ar e Umidade Específica

Os dados de umidade relativa do ar (UR) e umidade específica (q) das radiossondagens também tiveram de ser calculados, e esses cálculos foram realizados através de métodos computacionais, utilizando a temperatura do ponto de orvalho e a temperatura do ar, conforme Equações A.9 e A.12:

$$\mathbf{UR} = \left(\frac{\mathbf{rv}}{\mathbf{rs}} \right) * 100 \quad (\text{A.9})$$

onde,

UR = umidade relativa, em %;

rv = razão de mistura do ar não saturado, dado pela Equação A.10; e

rs = razão de mistura do ar saturado, dado pela Equação A.11.

$$rv = \frac{\epsilon e_0}{P} \exp \left[\frac{L_v}{R_v} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{(T_d + 273)} \right) \right] \quad (\text{A.10})$$

onde,

ϵ = emissividade, com valor adimensional de 0,662;

e_0 = pressão de vapor, com valor de 6,11 hPa;

P = pressão atmosférica, em hPa;

L_v = calor latente de vaporização, com valor de $2,501 \times 10^6$ JKg⁻¹;

R_v = constante dos gases para o ar úmido, com valor de 461,51 JKg⁻¹K⁻¹;

T_0 = temperatura de 273 K; e

T_d = temperatura do ponto de orvalho, em °C.

$$rs = \frac{\epsilon e_0}{P} \exp \left[\frac{L_v}{R_v} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{(T + 273)} \right) \right] \quad (\text{A.11})$$

onde,

T = temperatura do ar, em °C.

$$q = \left(\frac{rv}{1 + rv} \right) * 100 \quad (\text{A.12})$$

onde,

q = umidade específica, em gKg⁻¹.

APÊNDICE B

TÉCNICA DA ANÁLISE ESPECTRAL

Esta técnica foi utilizada baseando-se em teorias da estatística e da série de *Fourier*, dando indicações sobre a evolução temporal dos fenômenos atmosféricos, a qual consiste em classificar um grupo de sinais de acordo com um intervalo de frequência, obtendo informações bastante úteis de um determinado conjunto de dados (Chan, 1990). Além disso, consiste, basicamente, em determinar os coeficientes de *Fourier* correspondentes a cada harmônico, dados pelo algoritmo da FFT (Chan, 1990).

1) Fast Fourier Transforms (FFT)

O algoritmo FFT, apresentado no Apêndice B, calcula eficientemente a transformada de *Fourier* discreta e a transformada inversa de *Fourier* discreta. Para uma primeira aproximação, a transformada de *Fourier* discreta normal requer N^2 operações, enquanto a FFT requer somente $(3N/2)\text{Log}2N$ operações. Porém, se a série obtiver um número de dados (N) menor que 100, o tempo de computação utilizado é indiferente entre as transformadas. Se N for maior que 1000, por exemplo, o tempo computacional da FFT é em torno de 0,5% do tempo utilizado pela tradicional transformada discreta (Stull, 1988). Como esse trabalho utiliza séries de dados muito longas, optou-se pelo algoritmo da FFT.

Como já foi mencionado, a FFT está relacionada com as transformadas de *Fourier* discreta e inversa. Então a transformada de *Fourier* discreta é dada pela seguinte equação:

$$\mathbf{X}(\mathbf{n}) = \sum_{\mathbf{k}=0}^{\mathbf{N}-1} \mathbf{x}_o(\mathbf{k}) \exp\left(-i \frac{2\pi \mathbf{n} \mathbf{k}}{\mathbf{N}}\right) \quad (\text{B.1})$$

onde,

$\mathbf{X}(\mathbf{n})$ = Função da FFT;

\mathbf{N} = número de dados das séries;

\mathbf{n} = varia de 0 a $\mathbf{N}-1$; e

\mathbf{k} = número de onda.

É necessário fazer algumas simplificações na expressão anterior, conforme mostrado por Otnes e Enochson (1972). Essas simplificações são dadas pela seguinte equação:

$$\mathbf{W}^{\mathbf{nk}} = \exp\left(-i \frac{2\pi\mathbf{nk}}{\mathbf{N}}\right) \quad (\text{B.2})$$

Agora substituindo a Equação B.2 na expressão B.1, teremos as seguintes expressões:

$$\mathbf{X}(\mathbf{n}) = \mathbf{W}^{\mathbf{nk}} \mathbf{x}_o(\mathbf{k}) \quad (\text{B.4})$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}(0) \\ \mathbf{X}(1) \\ \mathbf{X}(2) \\ \vdots \\ \mathbf{X}(\mathbf{N}-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}^{0 \cdot 0} & \mathbf{W}^{0 \cdot 1} & \mathbf{W}^{0 \cdot 2} & \dots & \mathbf{W}^{0 \cdot (\mathbf{N}-1)} \\ \mathbf{W}^{1 \cdot 0} & \mathbf{W}^{1 \cdot 1} & \mathbf{W}^{1 \cdot 2} & \dots & \mathbf{W}^{1 \cdot (\mathbf{N}-1)} \\ \mathbf{W}^{2 \cdot 0} & \mathbf{W}^{2 \cdot 1} & \mathbf{W}^{2 \cdot 2} & \dots & \mathbf{W}^{2 \cdot (\mathbf{N}-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \mathbf{W}^{(\mathbf{N}-1) \cdot 0} & \mathbf{W}^{(\mathbf{N}-1) \cdot 1} & \mathbf{W}^{(\mathbf{N}-1) \cdot 2} & \dots & \mathbf{W}^{(\mathbf{N}-1) \cdot (\mathbf{N}-1)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{x}_o(0) \\ \mathbf{x}_o(1) \\ \mathbf{x}_o(2) \\ \vdots \\ \mathbf{x}_o(\mathbf{N}-1) \end{bmatrix} \quad (\text{B.5})$$

Os algoritmos FFT mais conhecidos, como o de Cooley-Tukey (1965), requerem que o tamanho da série tenha $\mathbf{N}=2^m$ dados. Entretanto adotou-se $\mathbf{N}=4$ e $m=2$ para o cálculo da expressão B.4., conforme Chan (1990). Além disso deve-se considerar que: $\mathbf{W}^{\mathbf{n} \cdot \mathbf{k}} = 1$, para $\mathbf{n}=0$ e/ou $\mathbf{k}=0$ e $\mathbf{W}^{\mathbf{n} \cdot \mathbf{k}} = \mathbf{W}^{(\mathbf{n} \times \mathbf{k})}$, para $(\mathbf{n} \text{ e } \mathbf{k}) = 1, 2, \dots, \mathbf{N}-1$. Após estas mudanças a expressão B.4 torna-se a seguinte (Otnes e Enochson, 1972):

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}(0) \\ \mathbf{X}(1) \\ \mathbf{X}(2) \\ \mathbf{X}(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \mathbf{W}^1 & \mathbf{W}^2 & \mathbf{W}^3 \\ 1 & \mathbf{W}^2 & \mathbf{W}^4 & \mathbf{W}^6 \\ 1 & \mathbf{W}^3 & \mathbf{W}^6 & \mathbf{W}^9 \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} \mathbf{x}_o(0) \\ \mathbf{x}_o(1) \\ \mathbf{x}_o(2) \\ \mathbf{x}_o(3) \end{bmatrix} \quad (\text{B.6})$$

A transposição das linhas da matriz de um sistema só altera a ordem com que são obtidas as incógnitas, facilitando assim os cálculos na matriz B.6. Para isso escrevemos os valores de n em binário, depois invertemos a ordem dos algarismos da representação binária (Franco, 1970), e por último a fatoração, resultando assim na matriz B.7:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}'(0) \\ \mathbf{X}'(1) \\ \mathbf{X}'(2) \\ \mathbf{X}'(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_2(0) \\ \mathbf{x}_2(1) \\ \mathbf{x}_2(2) \\ \mathbf{x}_2(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \mathbf{W}^0 & 0 & 0 \\ 1 & \mathbf{W}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \mathbf{W}^1 \\ 0 & 0 & 1 & \mathbf{W}^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1(0) \\ \mathbf{x}_1(1) \\ \mathbf{x}_1(2) \\ \mathbf{x}_1(3) \end{bmatrix} \quad (\text{B.7})$$

Fazendo a multiplicação da matriz B.7, teremos o seguinte sistema:

$$\begin{cases} \mathbf{x}_2(0) = \mathbf{x}_1(0) + \mathbf{W}^0 \mathbf{x}_1(1) \\ \mathbf{x}_2(1) = \mathbf{x}_1(0) + \mathbf{W}^2 \mathbf{x}_1(1) \\ \mathbf{x}_2(2) = \mathbf{x}_1(2) + \mathbf{W}^1 \mathbf{x}_1(3) \\ \mathbf{x}_2(3) = \mathbf{x}_1(2) + \mathbf{W}^3 \mathbf{x}_1(3) \end{cases} \quad (\text{B.8})$$

Se os cálculos tivessem sido feitos apartir da matriz B.1 necessitaríamos de dezesseis multiplicações e doze adições. Porém utilizando o algoritmo acima, o total de multiplicações passa a ser de quatro e de adições de oito, conforme afirma Chan (1990). Para facilitar a visualização da fatoração das matrizes tem-se a Figura B.1, que é um gráfico composto de linhas cheias e tracejadas e nodos. Os nodos são dispostos em N linhas numeradas de 0 a $N-1$ e em $m+1$ colunas, numeradas de 0 a m .

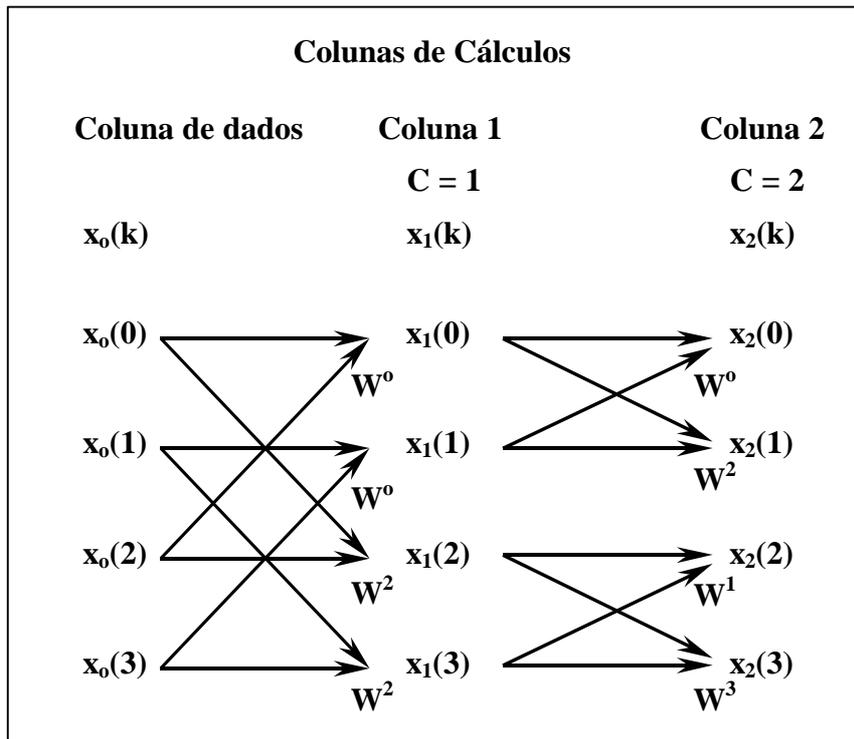


Fig. B.1 - Gráfico para o algoritmo FFT, usando $N=4$.

FONTE: Chan (1990, p.A.6).

2) Espectro de potência

Geçkinli e Yavuz (1983) esboçaram dois métodos básicos de estimar o espectro de potência de uma série, sendo que um deles é o método indireto, que requer o cálculo prévio da função autocorrelação, e o outro é o direto, que faz a análise de *Fourier* e em seguida a convolução desta com a função janela espectral ($W(f)$). Este procedimento equivale à média móvel ponderada de uma dessas funções, onde a janela espectral é usada para reduzir a variância.

Como já foi mencionado aplicou-se o janelamento espectral de *Hamming* (Equações B.9 e B.10, no Apêndice B), que apresenta as seguintes propriedades: a) $w(t)$ (função janela temporal) e $W(f)$ são reais e não negativas; b) $|W(f)|$ tem um lóbulo principal na origem e lóbulos laterais em ambos os lados, conforme mostra a Figura B.2; e c)

$w(0) = \int_{-\infty}^{\infty} W(f) df = 1$. Este janelamento espectral é obtido pelo cálculo das seguintes equações e representado pela Figura B.2:

$$w(t) = \begin{cases} 0,54 + 0,46\cos(2\pi t), & |t| \leq \frac{1}{2} \\ 0, & \text{em qualquer lugar} \end{cases} \quad (\text{B.9})$$

$$W(f) = \frac{(1,08 - 1,16f^2)\text{sen}(\pi f)}{2\pi f(1 - f^2)} \quad (\text{B.10})$$

onde,

- $w(t)$ = função janela espectral;
- t = índice da função janela espectral;
- $W(f)$ = função janela temporal; e
- f = índice da função janela temporal.

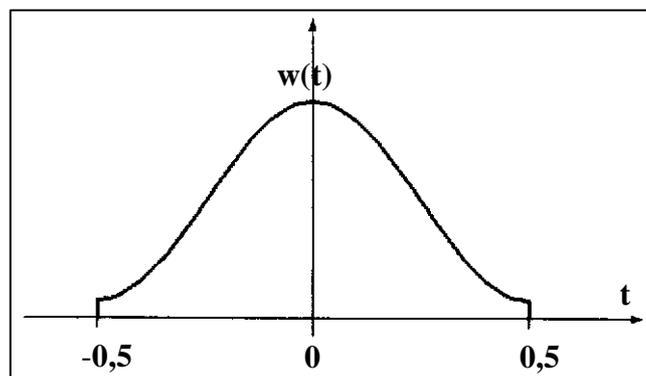


Fig. B.2 - Janela de *Hamming*.

FONTE: Geçkinli e Yavuz (1983, p.106).

APÊNDICE C

DADOS ESTATÍSTICOS DE TEMPERATURA DO AR, UMIDADE RELATIVA DO AR E COMPONENTES MERIDIONAL E ZONAL DO VENTO, NAS RADIOSSONDAGENS E NAS RE-ANÁLISES DO ECMWF

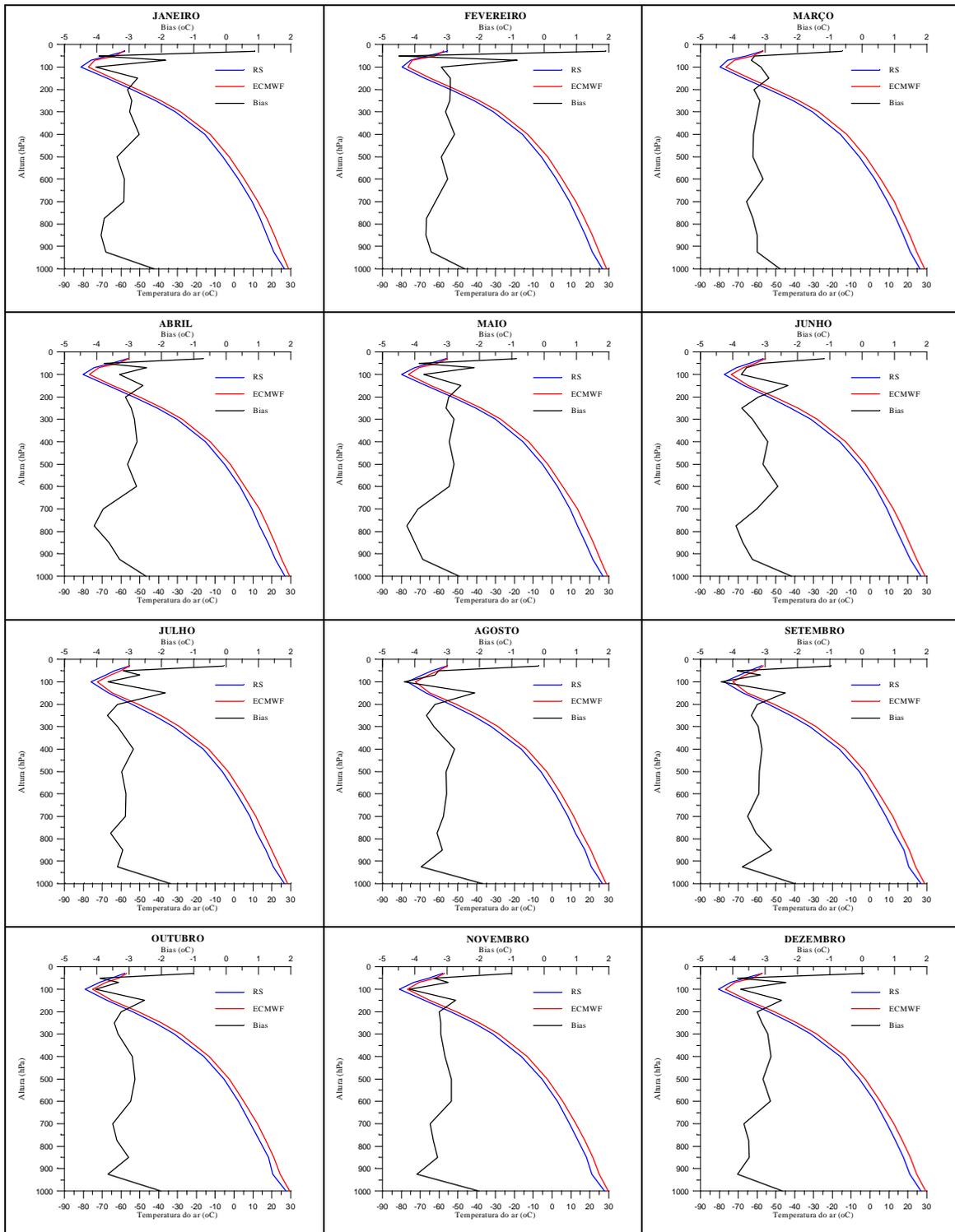


Fig. C.1 - Valores médios mensais e *Bias* da temperatura do ar nas radiossondagens e nas re-análises do ECMWF, no período de 1988 a 1993.

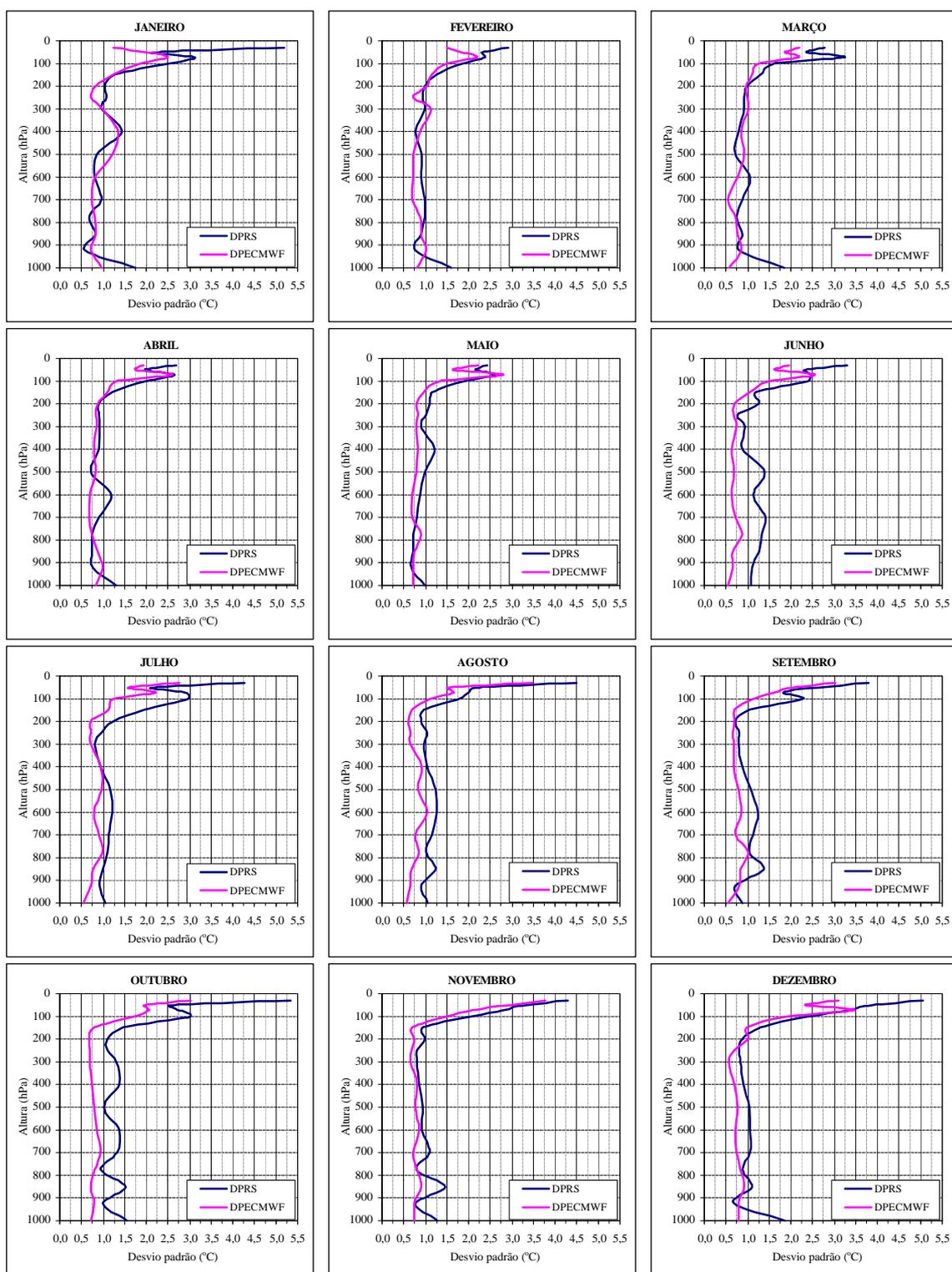


Fig. C.2 - Perfis verticais do desvio padrão da temperatura do ar nas RS e nas RAE, no período de 1988 a 1993.

**TABELA C.1 - TOTAL DE DADOS, MÉDIA ARITMÉTICA E DESVIO PADRÃO DA TEMPERATURA DO AR NAS
RADIOSSONDAGENS (RS) E NAS RE-ANÁLISES DO ECMWF (RAE), NO PERÍODO DE 1988 A 1993**

	Janeiro					Fevereiro					Março					Abril					Maio					Junho				
	Tt ¹	RS		RAE		Tt	RS		RAE		Tt	RS		RAE		Tt	RS		RAE		Tt	RS		RAE		Tt	RS		RAE	
		M ²	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d
1000	29	26,6	1,8	28,9	1,0	32	26,6	1,6	29,1	0,8	57	26,4	1,8	28,9	0,6	75	27,0	1,3	29,5	0,8	77	27,0	1,0	29,7	0,7	85	27,0	1,1	29,1	0,5
925	29	21,2	0,6	24,9	0,7	32	21,5	0,8	25,0	1,0	57	21,4	0,8	24,6	0,9	75	21,9	0,8	25,2	1,0	77	21,7	0,7	25,5	0,7	85	21,5	1,1	24,9	0,7
850	29	17,5	0,8	21,4	0,8	32	17,6	0,9	21,3	0,9	57	17,7	0,9	21,0	0,8	75	18,0	0,7	21,6	0,9	77	17,8	0,7	21,8	0,7	84	17,2	1,3	20,9	0,7
775	29	13,7	0,7	17,4	0,8	32	13,6	1,0	17,2	0,9	57	13,6	0,7	17,0	0,7	75	13,6	0,7	17,7	0,7	77	13,6	0,7	17,8	0,9	82	12,9	1,3	16,8	0,9
700	29	9,5	1,0	12,7	0,7	32	9,3	1,0	12,6	0,7	57	9,2	0,9	12,8	0,5	74	9,6	0,9	13,4	0,7	77	9,5	0,8	13,4	0,7	82	9,1	1,4	12,3	0,7
600	29	2,3	0,8	5,4	0,8	32	2,4	0,9	5,3	0,7	57	2,4	1,1	5,5	0,8	75	3,0	1,2	5,8	0,7	77	2,8	0,9	5,7	0,7	81	2,6	1,1	5,2	0,6
500	28	-5,8	0,9	-2,4	1,2	31	-5,5	0,9	-2,3	0,7	57	-5,5	0,7	-2,1	0,9	75	-5,1	0,7	-2,0	0,8	77	-4,9	1,0	-2,1	0,8	82	-5,6	1,4	-2,5	0,7
400	28	-15,5	1,4	-12,8	1,3	31	-15,7	0,8	-13,0	0,9	57	-15,7	0,8	-12,3	0,9	75	-15,3	0,9	-12,5	0,8	77	-15,4	1,2	-12,5	0,8	82	-16,0	0,9	-13,1	0,6
300	28	-31,3	1,0	-28,3	1,0	31	-31,2	1,0	-28,1	1,1	57	-30,6	0,9	-27,3	1,0	74	-30,4	0,9	-27,5	0,9	77	-30,2	0,9	-27,4	0,8	83	-31,5	1,0	-28,1	0,7
250	28	-41,7	1,1	-38,8	0,7	31	-41,4	0,9	-38,5	0,7	57	-40,9	0,9	-37,8	1,0	74	-40,7	0,9	-37,8	0,8	77	-40,6	1,0	-37,6	0,8	84	-42,1	2,1	-38,4	0,7
200	28	-54,0	1,0	-51,0	0,8	29	-53,7	1,0	-50,8	1,0	57	-53,4	1,0	-50,1	1,0	74	-53,1	0,9	-50,0	0,9	77	-52,9	1,1	-49,9	0,8	84	-53,8	1,3	-50,6	0,7
150	28	-67,6	1,3	-64,8	1,2	29	-67,7	1,3	-64,8	1,1	56	-67,1	1,3	-64,2	1,1	74	-67,0	1,2	-64,5	1,1	77	-67,1	1,2	-64,5	1,0	85	-67,1	1,2	-64,8	1,0
100	28	-81,3	2,5	-77,3	1,8	29	-79,7	1,9	-76,5	1,5	55	-79,5	1,6	-76,4	1,2	74	-80,1	2,0	-76,8	1,3	77	-79,8	1,9	-76,1	1,3	85	-77,4	2,4	-73,7	1,5
70	28	-76,0	3,1	-74,1	2,5	29	-75,0	2,4	-74,1	2,2	55	-75,6	3,2	-72,1	2,2	74	-74,1	2,6	-71,7	2,6	77	-72,8	2,6	-70,6	2,8	85	-70,9	2,5	-67,4	2,6
50	28	-67,3	2,2	-63,4	2,0	29	-66,7	2,3	-62,2	1,8	54	-65,8	2,4	-62,5	1,9	71	-65,4	2,0	-61,6	1,8	76	-64,8	2,2	-61,0	1,6	82	-64,2	2,3	-61,1	1,6
30	25	-57,8	5,2	-58,7	1,2	27	-55,8	2,9	-57,7	1,5	54	-57,3	2,8	-56,7	2,2	69	-56,7	2,7	-55,9	1,9	76	-56,2	2,4	-55,3	2,2	82	-56,8	3,3	-55,6	2,0
	Julho					Agosto					Setembro					Outubro					Novembro					Dezembro				
1000	92	26,7	1,1	28,4	0,5	86	26,8	1,1	28,7	0,6	96	26,9	0,9	29,0	0,5	122	27,4	1,5	29,5	0,7	122	27,9	1,3	29,9	0,7	79	27,1	1,9	29,5	0,8
925	92	20,9	0,9	24,3	0,7	86	20,8	0,9	24,6	0,7	97	20,5	0,7	24,2	0,8	119	20,7	1,0	24,3	0,8	122	21,1	0,8	25,0	0,7	78	21,0	0,7	24,9	0,8
850	92	16,8	1,0	20,0	0,8	86	17,3	1,2	20,5	0,7	96	18,1	1,4	20,9	0,8	120	18,2	1,5	21,2	0,7	122	18,4	1,5	21,7	0,9	79	17,8	1,1	21,3	0,9
775	91	12,2	1,1	15,7	1,0	86	12,4	1,0	15,7	0,8	96	13,1	1,0	16,3	1,0	120	13,4	1,0	16,8	0,8	122	13,9	0,8	17,3	0,8	79	13,6	0,9	17,1	0,8
700	91	8,4	1,1	11,5	0,9	86	8,3	1,2	11,5	0,8	96	8,5	1,1	12,0	0,7	120	8,7	1,3	12,2	1,0	122	9,2	1,1	12,7	0,7	79	9,0	1,0	12,7	0,7
600	91	1,5	1,2	4,6	0,8	86	1,7	1,3	4,7	1,0	96	1,7	1,2	4,9	0,9	120	2,2	1,4	5,1	0,8	121	2,8	0,9	5,6	0,9	79	2,6	1,1	5,4	0,7
500	90	-6,3	1,2	-3,0	1,0	86	-5,8	1,2	-2,8	0,8	95	-5,6	1,1	-2,5	0,8	120	-5,2	1,0	-2,4	0,8	121	-5,3	0,9	-2,4	0,8	79	-5,6	1,0	-2,5	0,8
400	90	-16,4	0,9	-13,5	0,9	84	-16,3	1,0	-13,5	0,9	95	-16,4	0,9	-13,3	0,7	120	-16,0	1,4	-13,1	0,8	123	-16,2	3,8	-13,1	0,8	79	-15,9	0,9	-13,0	0,7
300	91	-32,3	0,8	-28,9	0,7	84	-32,2	1,0	-28,8	0,7	95	-32,0	0,8	-28,8	0,7	121	-31,8	1,3	-28,4	0,7	122	-31,5	2,6	-28,3	0,6	78	-31,4	0,8	-28,5	0,6
250	89	-42,5	1,0	-38,8	0,7	84	-42,3	1,0	-38,7	0,7	95	-42,1	0,8	-38,7	0,6	119	-41,9	1,1	-38,5	0,7	120	-41,7	1,8	-38,5	0,7	78	-41,8	0,8	-38,7	0,7
200	89	-54,1	1,2	-50,7	0,7	84	-54,0	0,9	-50,6	0,6	94	-53,9	0,7	-50,6	0,7	118	-53,8	1,1	-50,6	0,7	119	-53,9	1,0	-50,6	0,7	78	-53,9	0,9	-50,6	1,0
150	87	-66,7	2,0	-64,8	1,1	84	-67,1	1,0	-64,9	0,7	94	-67,5	1,0	-65,1	0,7	114	-67,6	1,4	-65,1	0,8	118	-67,8	0,9	-65,1	0,7	78	-67,5	1,3	-65,0	1,0
100	85	-76,1	3,0	-72,4	1,2	82	-76,8	1,8	-72,5	1,1	93	-77,4	2,3	-73,0	1,1	114	-79,0	3,0	-75,0	1,7	117	-81,1	2,0	-76,9	1,5	77	-80,5	2,4	-76,8	1,9
70	85	-68,2	2,9	-65,5	2,2	82	-68,8	2,0	-65,4	1,7	93	-69,3	1,8	-66,1	1,6	113	-71,5	2,7	-68,2	2,1	117	-73,5	2,8	-70,5	2,1	78	-74,0	3,3	-71,6	3,5
50	82	-63,5	2,1	-60,3	1,6	82	-63,8	2,2	-60,6	1,5	92	-64,3	2,6	-60,4	2,0	109	-65,1	2,5	-61,3	1,9	116	-65,5	3,3	-62,1	2,9	78	-66,3	3,9	-62,5	2,3
30	82	-55,8	4,3	-55,7	2,8	81	-55,9	4,5	-55,8	3,5	89	-57,8	3,8	-56,9	3,0	105	-58,2	5,3	-57,2	3,0	113	-57,6	4,3	-57,0	3,8	72	-57,3	5,0	-57,3	3,1

Tt: total de dados utilizado nos cálculos e M: média Aritmética (em °C).

TABELA C.2 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r) E TESTE DE HIPÓTESE (TF) DA TEMPERATURA DO AR NAS RS E RAE

Níveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1000	0,7 ¹	0,7 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,5 ¹	0,2 ¹	0,3 ¹	0,5 ¹	0,3 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹
925	0,2 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,2 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹	0,5 ¹	0,3 ¹	0,2 ¹	0,3 ¹	0,5 ¹
850	0,5 ¹	0,6 ¹	0,3 ¹	0,3 ¹	0,2 ¹	0,2 ¹	0,1 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,1 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹
775	0,1 ¹	0,3 ¹	0,0 ¹	0,1 ¹	0,2 ¹	0,1 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,2 ¹	0,2 ¹	0,3 ¹
700	0,6 ¹	0,6 ¹	0,2 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,2 ¹	0,3 ¹	0,3 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹
600	0,5 ¹	0,6 ¹	0,5 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,7 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹
500	0,7 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	-0,1 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,2 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹
400	0,7 ¹	0,8 ¹	0,5 ¹	0,6 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,2 ¹	0,1 ¹	0,2 ¹
300	0,7	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,4	0,2	0,4
250	0,4	0,7 ¹	0,7 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,0	0,4 ¹	0,3	0,3 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,3 ¹
200	0,3 ¹	0,4 ¹	0,7 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,3	0,3 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,2 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹
150	0,5 ¹	0,7	0,6 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,6	0,2 ¹	0,1	0,4 ¹	0,2 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹
100	0,7	0,7 ¹	0,4	0,4 ¹	0,1 ¹	0,5	0,4 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹	0,6	0,6	0,6
70	0,2	0,4	0,7	0,6	0,2 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,2	0,3	0,2	0,7 ¹
50	0,3 ¹	0,5 ¹	0,0	0,3	0,2 ¹	0,3	0,5 ¹	0,4 ¹	0,6	0,5	0,7	0,5
30	0,2 ¹	0,2	0,6	0,2 ¹	0,3	0,4 ¹	0,5 ¹	0,8	0,7 ¹	0,5 ¹	0,6 ¹	0,6 ¹

¹ Correlações dentro dos limites de confiança de 95%

TABELA C.3 - BIAS DA TEMPERATURA DO AR ENTRE AS RS E AS RAE

Níveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1000	-2,2	-2,5	-2,5	-2,5	-2,6	-2,2	-1,7	-1,9	-2,1	-2,0	-2,0	-2,5
925	-3,7	-3,5	-3,3	-3,3	-3,8	-3,4	-3,4	-3,8	-3,7	-3,7	-3,9	-3,9
850	-3,9	-3,7	-3,2	-3,6	-4,0	-3,7	-3,2	-3,1	-2,8	-3,0	-3,3	-3,5
775	-3,8	-3,6	-3,4	-4,1	-4,2	-3,9	-3,6	-3,3	-3,3	-3,4	-3,4	-3,5
700	-3,2	-3,4	-3,6	-3,8	-3,9	-3,3	-3,1	-3,1	-3,5	-3,5	-3,5	-3,6
600	-3,2	-3,0	-3,1	-2,8	-2,9	-2,6	-3,1	-3,0	-3,2	-3,0	-2,9	-2,8
500	-3,4	-3,2	-3,4	-3,0	-2,8	-3,1	-3,2	-3,0	-3,2	-2,8	-2,9	-3,1
400	-2,7	-2,8	-3,4	-2,7	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-3,1	-2,9	-3,1	-2,8
300	-3,0	-3,0	-3,2	-2,8	-2,8	-3,4	-3,4	-3,4	-3,2	-3,3	-3,2	-2,9
250	-2,9	-2,9	-3,2	-2,9	-3,0	-3,7	-3,7	-3,6	-3,4	-3,5	-3,2	-3,1
200	-3,1	-2,9	-3,3	-3,1	-2,9	-3,2	-3,4	-3,4	-3,3	-3,2	-3,2	-3,2
150	-2,7	-2,9	-2,9	-2,6	-2,6	-2,3	-1,9	-2,1	-2,4	-2,5	-2,7	-2,5
100	-4,0	-3,2	-3,1	-3,3	-3,7	-3,7	-3,6	-4,3	-4,4	-4,0	-4,2	-3,8
70	-1,9	-0,8	-3,4	-2,5	-2,2	-3,6	-2,7	-3,4	-3,1	-3,3	-3,0	-2,4
50	-3,9	-4,5	-3,3	-3,8	-3,9	-3,1	-3,2	-3,3	-3,9	-3,9	-3,4	-3,8
30	0,9	1,9	-0,6	-0,7	-0,9	-1,2	-0,1	-0,2	-1,0	-1,0	-0,6	0,1

TABELA C.4 - ERRO QUADRÁTICO MÉDIO (EQM) DA TEMPERATURA DO AR ENTRE AS RS E AS RAE

Níveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1000	2,6	2,7	3,1	2,8	2,8	2,4	2,0	2,1	2,3	2,5	2,4	3,0
925	3,8	3,6	3,4	3,4	3,9	3,6	3,5	3,9	3,8	3,8	4,0	3,9
850	4,0	3,8	3,4	3,7	4,1	3,9	3,4	3,3	3,1	3,4	3,5	3,7
775	3,9	3,8	3,5	4,2	4,4	4,2	3,8	3,5	3,4	3,6	3,6	3,6
700	3,3	3,5	3,7	3,9	4,0	3,6	3,3	3,3	3,7	3,7	3,7	3,8
600	3,3	3,1	3,2	3,0	3,1	2,8	3,3	3,1	3,4	3,2	3,0	3,0
500	3,5	3,3	3,5	3,1	2,9	3,4	3,4	3,3	3,4	3,0	3,0	3,2
400	2,9	2,8	3,5	2,8	3,2	3,1	3,0	2,9	3,2	3,2	4,9	3,0
300	3,1	3,2	3,3	2,9	3,0	3,6	3,5	3,6	3,3	3,6	4,1	3,0
250	3,1	3,0	3,3	3,0	3,2	4,3	3,8	3,8	3,5	3,6	3,6	3,2
200	3,2	3,1	3,4	3,2	3,1	3,4	3,6	3,5	3,3	3,4	3,4	3,4
150	3,0	3,0	3,1	2,9	2,9	2,5	2,8	2,4	2,6	2,9	2,9	2,8
100	4,4	3,4	3,5	3,8	4,3	4,3	4,6	4,7	4,8	4,7	4,5	4,3
70	4,0	2,6	4,2	3,4	4,1	4,3	3,9	4,0	3,8	4,4	4,3	3,6
50	4,7	5,0	4,5	4,3	4,6	4,0	3,7	3,8	4,4	4,5	4,3	5,1
30	5,2	3,6	2,5	3,1	2,8	3,3	3,8	2,4	2,7	4,9	3,8	4,2

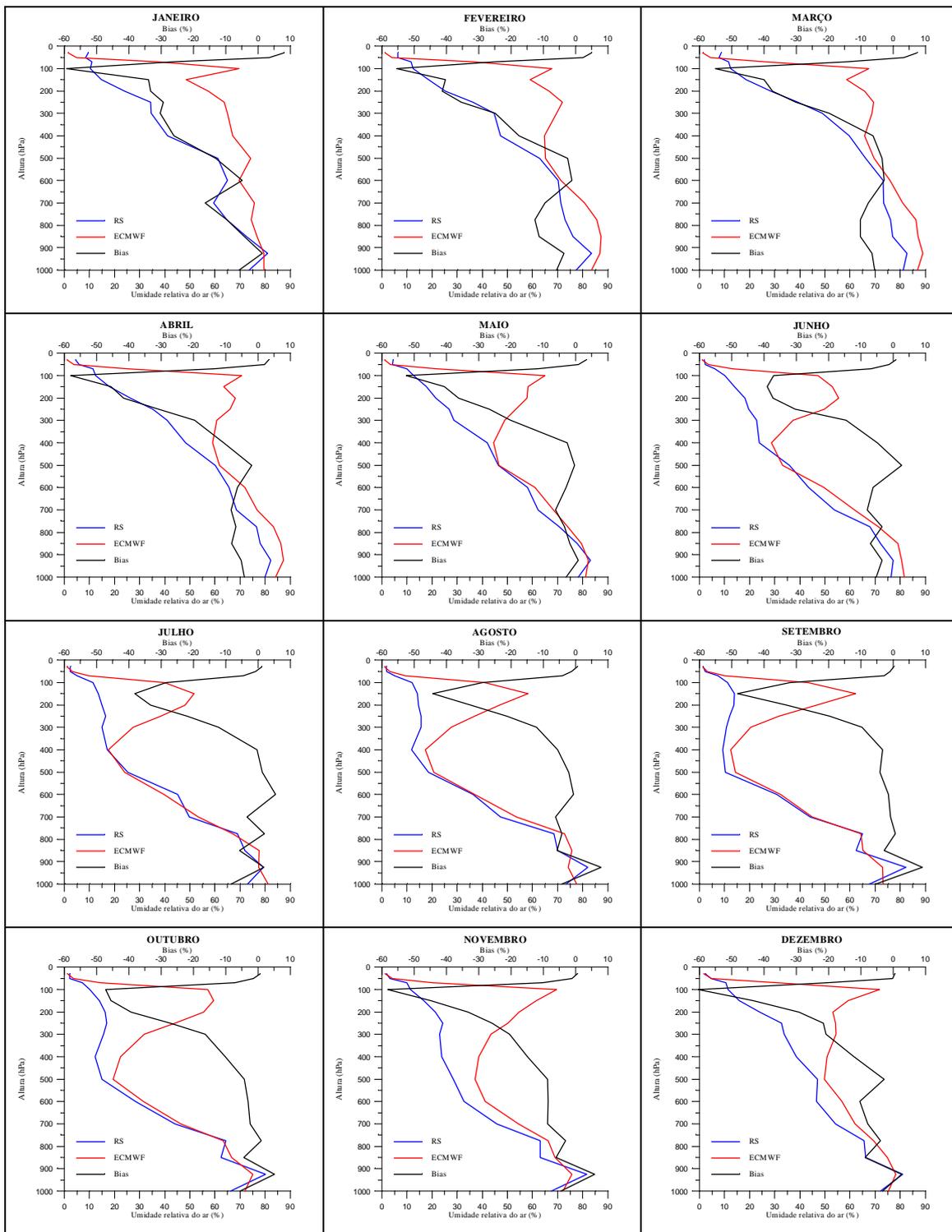


Fig. C.3 - Valores médios mensais e *Bias* da umidade relativa do ar nas radiossondagens e nas re-análises do ECMWF, no período de 1988 a 1993.

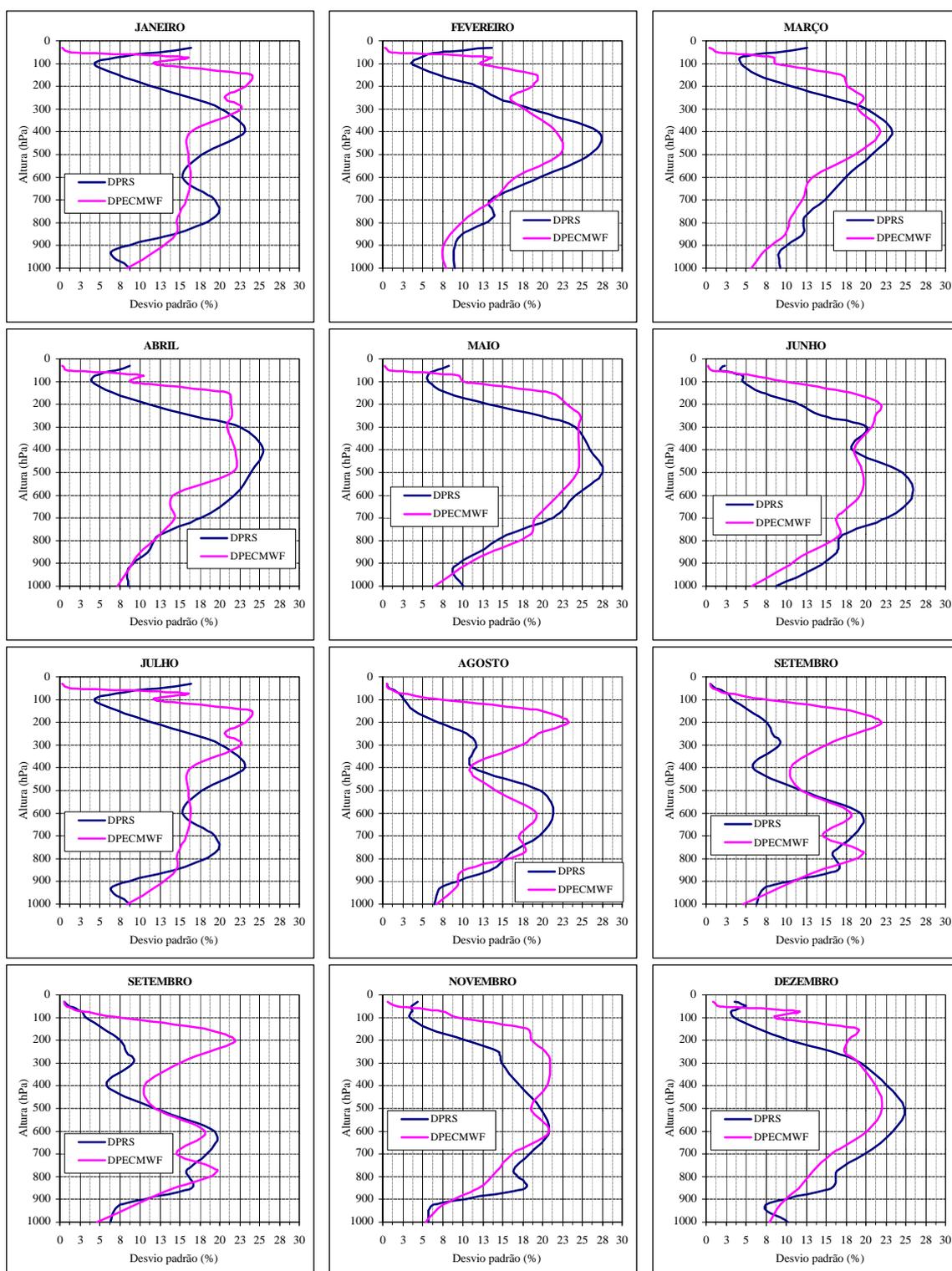


Fig. C.4 - Perfis verticais do desvio padrão da umidade relativa do ar nas RS e nas RAE, no período de 1988 a 1993.

TABELA C.5 - TOTAL DE DADOS, MÉDIA ARITMÉTICA E DESVIO PADRÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR, NAS RADIOSSONDAGENS (RS) E NAS RE-ANÁLISES DO ECMWF (ERA) NO PERÍODO DE 1988 A 1993

	Janeiro						Fevereiro						Março						Abril						Maio						Junho					
	Tt	RS		ERA		Tt	RS		ERA		Tt	RS		ERA		Tt	RS		ERA		Tt	RS		ERA		Tt	RS		ERA							
		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d	M	d				
1000	29	73,6	8,8	79,5	8,5	32	77,5	9,0	83,4	7,9	56	81,2	9,2	86,9	5,6	71	79,9	8,5	84,1	7,2	76	78,4	10,1	81,3	6,5	85	76,4	8,8	81,6	5,7						
925	29	81,0	6,6	79,5	12,1	32	83,5	8,9	87,0	7,5	55	82,6	9,2	89,1	7,3	71	82,2	8,5	87,4	8,7	76	83,0	8,8	82,2	9,7	85	77,2	13,6	80,6	9,6						
850	29	72,5	14,2	76,8	14,5	31	76,1	9,9	87,3	8,4	55	77,0	12,1	87,0	9,8	71	78,0	11,0	86,2	10,0	76	77,7	11,9	79,5	13,5	84	72,1	16,4	79,1	12,9						
775	29	64,8	19,4	74,4	14,8	31	73,1	13,9	85,7	10,6	55	76,2	12,3	86,3	10,6	72	76,5	12,4	83,4	12,4	76	70,7	15,5	74,0	18,4	80	67,9	17,1	71,2	16,7						
700	27	59,5	19,3	75,8	15,9	31	71,4	13,6	80,9	13,9	52	73,4	14,9	81,0	12,1	71	68,5	17,7	76,8	14,4	76	62,2	21,4	68,4	19,2	81	53,9	22,7	61,9	16,4						
600	28	64,9	15,4	69,7	16,4	32	70,3	19,7	71,4	16,5	53	73,3	17,4	76,0	13,3	72	65,6	21,8	72,0	14,2	76	58,1	24,1	61,0	22,0	80	43,4	25,8	49,6	19,3						
500	28	61,2	17,8	74,3	16,1	31	62,9	26,0	65,3	22,2	54	66,3	20,7	69,7	18,6	72	60,0	23,9	61,9	21,5	75	46,3	27,6	46,6	24,4	81	35,8	24,7	33,1	19,6						
400	24	41,1	23,2	67,2	16,4	31	47,2	26,9	64,7	21,7	55	59,7	23,2	65,9	21,8	72	48,4	25,5	59,1	22,0	76	42,0	26,0	44,5	24,7	81	23,8	18,3	28,7	18,5						
300	28	34,7	20,2	65,0	22,7	31	44,7	18,6	69,6	17,8	56	48,9	20,2	68,7	19,1	72	41,0	22,5	60,7	21,0	76	28,7	24,2	48,9	24,5	82	22,8	20,2	37,4	20,7						
250	28	34,4	16,2	63,7	20,6	31	36,4	14,3	71,8	16,0	56	39,2	15,6	69,4	19,7	72	35,3	16,5	66,1	21,6	76	26,8	19,7	53,4	24,8	83	19,6	14,4	49,9	21,3						
200	28	24,0	11,5	57,3	23,3	29	25,3	11,8	66,6	18,7	56	28,4	10,6	65,8	17,7	72	26,5	11,1	68,2	21,5	76	21,6	13,2	57,8	23,1	83	18,2	11,6	55,4	21,9						
150	28	14,7	7,2	48,6	23,9	29	18,6	6,8	59,0	19,1	55	18,5	6,3	58,6	16,8	74	17,8	6,6	63,4	20,9	76	17,7	7,9	58,3	20,9	84	14,0	6,9	53,0	18,0						
100	21	10,3	4,3	69,7	11,8	28	12,4	3,6	67,8	12,2	53	12,4	4,4	67,5	8,6	73	12,5	4,1	70,6	8,9	74	12,6	5,7	65,0	10,3	84	10,2	4,7	47,3	10,0						
70	26	10,9	7,1	37,3	15,9	29	11,6	4,7	36,5	13,5	52	11,7	4,3	26,2	8,5	74	11,4	4,5	25,0	10,4	74	10,0	5,7	21,7	9,4	82	6,2	4,5	13,1	5,7						
50	28	8,5	12,2	4,9	1,5	29	6,4	7,1	4,1	1,1	54	7,8	8,6	4,5	1,5	71	5,8	6,9	3,8	1,0	72	4,2	6,6	3,4	0,8	76	2,2	1,8	3,5	0,8						
30	24	9,5	16,4	1,5	0,3	26	6,2	13,7	1,3	0,3	45	8,7	12,7	1,2	0,4	65	4,4	8,7	1,0	0,3	25	3,1	8,4	1,0	0,3	74	1,9	2,4	1,0	0,3						
	Julho						Agosto						Setembro						Outubro						Novembro						Dezembro					
1000	92	72,9	6,9	81,2	8,2	86	73,4	6,5	77,6	6,6	96	67,7	6,3	73,1	4,7	122	66,2	5,9	71,8	4,7	122	67,6	5,8	72,2	5,3	86	72,1	10,2	75,3	7,9						
925	92	79,4	9,5	77,5	8,5	86	82,1	7,4	74,2	9,3	96	82,2	7,6	73,0	9,5	119	80,2	7,7	75,0	8,7	122	81,7	6,4	75,7	7,5	85	81,0	7,4	78,3	9,3						
850	92	72,0	12,9	77,6	10,7	86	70,1	13,4	75,8	10,0	95	62,4	16,4	65,2	14,2	119	62,4	18,8	66,7	13,2	122	63,1	17,8	69,1	12,0	85	66,2	15,6	74,8	11,6						
775	90	69,1	15,1	67,1	17,1	86	68,6	16,0	72,8	17,6	95	65,1	15,8	64,3	19,8	119	64,4	15,0	63,3	16,2	122	63,2	16,3	66,2	14,3	86	65,6	16,3	69,5	13,4						
700	91	49,9	23,4	53,3	18,6	86	47,2	19,7	53,5	17,1	95	44,1	18,5	45,0	14,6	119	44,1	19,2	46,5	15,5	121	45,8	18,4	54,5	16,2	86	54,1	19,9	62,0	15,7						
600	91	45,2	26,1	39,7	19,2	86	36,2	21,3	36,8	19,3	95	30,9	19,4	32,3	18,1	119	28,3	19,0	31,4	15,5	120	32,6	20,9	41,2	20,8	86	46,5	23,4	56,8	20,1						
500	90	25,4	25,0	24,1	17,8	85	18,6	19,7	20,6	14,2	92	10,4	12,0	14,4	12,0	119	15,0	16,7	19,3	17,8	119	28,6	19,8	37,2	18,6	85	47,0	24,9	49,7	22,0						
400	90	17,1	18,9	17,4	18,3	83	11,8	11,2	17,3	11,0	94	9,3	5,9	12,5	10,6	119	12,2	12,6	22,3	17,0	120	23,9	17,1	38,7	20,6	85	38,7	22,6	50,8	21,2						
300	89	15,1	13,7	27,4	19,7	84	15,5	11,7	27,6	17,3	94	10,8	9,1	20,4	15,0	120	15,5	12,7	31,8	16,5	120	23,0	14,9	43,5	20,9	84	33,7	19,4	54,4	19,2						
250	87	16,4	10,9	38,3	22,4	84	15,6	10,5	36,9	19,5	94	12,1	8,3	31,7	18,8	118	16,9	11,6	44,1	18,6	118	24,4	14,3	50,2	20,3	85	32,6	15,7	54,2	17,4						
200	87	14,9	7,4	48,2	21,3	84	14,6	6,9	46,9	23,3	93	13,8	7,6	46,7	21,9	117	16,1	8,9	55,4	20,5	117	21,4	10,4	54,7	18,6	84	24,1	10,4	53,2	17,8						
150	85	13,5	5,0	51,8	20,0	84	14,1	3,9	58,3	19,8	93	13,9	5,4	62,1	18,0	113	14,0	5,8	59,6	20,5	116	16,6	5,8	61,6	18,0	84	15,8	6,4	59,2	18,9						
100	83	11,5	3,3	39,9	7,7	82	12,0	2,7	40,9	7,4	92	11,3	3,3	43,3	7,7	107	10,1	3,7	57,2	13,0	111	11,4	3,4	69,5	9,5	79	11,4	3,5	71,7	8,7						
70	82	5,0	3,6	9,6	3,4	81	5,1	2,1	9,2	2,2	90	7,4	2,7	10,2	2,5	108	7,2	3,3	14,3	4,6	115	9,9	3,7	20,3	7,4	81	10,5	3,2	31,0	11,6						
50	80	2,3	4,4	3,1	0,7	81	1,9	0,9	3,2	0,7	89	2,4	1,2	3,2	0,9	96	2,2	1,4	3,7	1,0	111	3,2	3,6	4,3	2,0	82	4,7	5,0	4,9	1,7						
30	72	2,3	5,6	1,0	0,4	70	1,6	0,5	1,1	0,5	84	1,5	0,5	1,2	0,4	79	2,0	4,8	1,4	0,5	104	1,9	4,4	1,4	0,6	70	2,2	3,6	1,7	0,9						

TABELA C.6 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR ENTRE AS RS E AS RAE

Níveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1000	0,7 ¹	0,8 ¹	0,3 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,3 ¹	0,5 ¹	0,2 ¹	-0,1 ¹	0,2 ¹	0,1 ¹	0,6 ¹
925	-0,2 ¹	0,2 ¹	0,1 ¹	0,0 ¹	0,3 ¹	0,2 ¹	0,2 ¹	0,2 ¹	0,1 ¹	0,2 ¹	0,1 ¹	0,2 ¹
850	0,4 ¹	0,0 ¹	-0,1 ¹	0,3 ¹	0,5 ¹	0,2 ¹	0,2 ¹	0,3 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹
775	0,2 ¹	0,3 ¹	0,1 ¹	0,2 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,3 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,3 ¹	0,2 ¹
700	0,5 ¹	0,4 ¹	0,2 ¹	0,2 ¹	0,6 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹
600	0,4 ¹	0,7 ¹	0,1 ¹	0,6 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,6 ¹	0,4 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹
500	0,5 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,7 ¹	0,7 ¹	0,5 ¹	0,6 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,6 ¹	0,6 ¹	0,4 ¹
400	0,5 ¹	0,6 ¹	0,4 ¹	0,6 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,5 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,6 ¹
300	0,6	0,4	0,2	0,5	0,6	0,6	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4
250	0,5 ¹	0,1 ¹	0,1 ¹	0,3	0,6 ¹	0,4 ¹	0,2 ¹	0,3 ¹	0,3 ¹	0,3	0,4 ¹	0,5 ¹
200	0,0	0,1 ¹	0,1 ¹	-0,1	0,5 ¹	0,4 ¹	0,1 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,1	0,3	0,3
150	0,1 ¹	0,0	0,1 ¹	-0,1 ¹	0,1	0,2	0,4	0,0	0,3 ¹	0,2 ¹	0,1	0,0
100	0,6	-0,4	0,0	0,1 ¹	0,1 ¹	0,2 ¹	0,0	0,2 ¹	0,0	0,1 ¹	0,1 ¹	0,0
70	-0,3	-0,2 ¹	0,2 ¹	0,0	0,2	-0,1	0,2 ¹	0,0	0,3	0,2 ¹	0,1 ¹	0,1 ¹
50	0,0	0,6	0,0	0,0	-0,1 ¹	0,1 ¹	0,1 ¹	-0,2	0,0	0,0	0,2 ¹	0,2 ¹
30	0,2 ¹	-0,1	0,1 ¹	0,0	-0,2 ¹	0,1 ¹	0,0 ¹	-0,2 ¹	-0,1 ¹	-0,1 ¹	-0,1	-0,2

TABELA C.7 - BIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR ENTRE AS RS E AS RAE

Níveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1000	-5,9	-5,9	-5,7	-4,2	-3,0	-5,2	-8,2	-4,2	-5,4	-5,6	-4,6	-3,2
925	1,4	-3,5	-6,4	-5,2	0,8	-3,4	1,9	7,9	9,1	5,2	6,0	2,7
850	-4,2	-11,2	-10,1	-8,1	-1,8	-7,0	-5,6	-5,7	-2,8	-4,3	-6,0	-8,6
775	-9,6	-12,6	-10,0	-6,9	-3,3	-3,3	2,0	-4,2	0,8	1,0	-3,0	-3,8
700	-16,3	-9,5	-7,6	-8,3	-6,2	-8,0	-3,4	-6,3	-0,8	-2,3	-8,7	-7,8
600	-4,8	-1,1	-2,7	-6,4	-2,9	-6,2	5,5	-0,7	-1,5	-3,1	-8,5	-10,2
500	-13,1	-2,3	-3,3	-1,9	-0,2	2,7	1,3	-2,0	-4,0	-4,3	-8,6	-2,7
400	-26,1	-17,5	-6,2	-10,7	-2,5	-4,9	-0,3	-5,5	-3,2	-10,1	-14,9	-12,2
300	-30,3	-24,9	-19,8	-19,7	-20,2	-14,6	-12,3	-12,1	-9,6	-16,3	-20,5	-20,7
250	-29,3	-35,5	-30,2	-30,8	-26,6	-30,3	-21,9	-21,3	-19,7	-27,2	-25,8	-21,5
200	-33,3	-41,3	-37,4	-41,7	-36,2	-37,2	-33,3	-32,4	-32,9	-39,3	-33,3	-29,2
150	-33,9	-40,4	-40,1	-45,6	-40,6	-39,1	-38,2	-44,2	-48,3	-45,6	-44,9	-43,4
100	-59,4	-55,5	-55,1	-58,1	-52,5	-37,1	-28,5	-28,9	-32,0	-47,1	-58,2	-60,4
70	-26,3	-24,9	-14,5	-13,6	-11,7	-6,9	-4,6	-4,1	-2,8	-7,1	-10,3	-20,5
50	3,5	2,3	3,3	2,0	0,8	-1,3	-0,8	-1,3	-0,9	-1,5	-1,1	-0,2
30	8,0	4,9	7,5	3,3	5,8	0,9	1,3	0,5	0,2	0,6	0,5	0,5

TABELA C.8 - ERRO QUADRÁTICO MÉDIO (EQM) DA UMIDADE RELATIVA DO AR ENTRE AS RS E AS RAE

Níveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1000	8,8	8,4	10,8	9,0	9,4	10,2	11,4	9,5	9,9	8,9	8,7	9,2
925	15,1	11,3	12,9	13,0	10,8	15,4	11,5	13,0	14,8	11,8	11,3	10,8
850	15,7	17,3	18,9	14,9	13,4	19,9	15,8	15,6	15,0	17,9	17,5	17,1
775	24,2	19,2	18,1	17,4	16,9	19,5	18,6	17,3	20,2	19,1	18,2	19,3
700	24,0	17,9	18,9	21,7	19,7	22,8	23,4	19,3	16,7	19,3	21,8	20,8
600	18,0	14,1	21,2	18,7	23,9	24,1	23,7	18,5	20,2	18,0	22,2	24,0
500	21,7	27,7	24,1	18,9	19,4	23,5	19,3	17,7	13,0	16,3	19,3	25,4
400	33,1	28,5	25,0	25,1	26,0	19,9	18,0	14,7	10,5	18,2	24,2	23,2
300	36,1	32,4	31,9	28,7	29,2	23,5	23,8	20,0	16,3	22,3	27,8	29,8
250	34,7	40,7	38,4	38,3	33,7	36,1	31,3	28,3	26,5	33,1	32,1	27,5
200	41,9	46,5	42,3	48,9	41,1	42,2	39,8	38,8	38,8	44,7	38,2	34,3
150	41,8	45,0	43,6	50,8	46,1	42,9	42,6	48,6	51,2	49,9	48,6	47,7
100	60,2	57,2	56,0	58,8	53,7	38,4	29,7	29,8	33,1	48,9	59,0	61,1
70	32,7	29,2	16,8	17,6	15,4	10,2	6,3	5,0	4,2	8,8	12,9	23,7
50	12,8	6,9	9,4	7,2	6,7	2,4	4,5	1,8	1,7	2,2	3,9	4,9
30	18,3	14,6	14,7	9,3	14,3	2,5	5,7	1,0	0,7	4,9	4,5	3,9

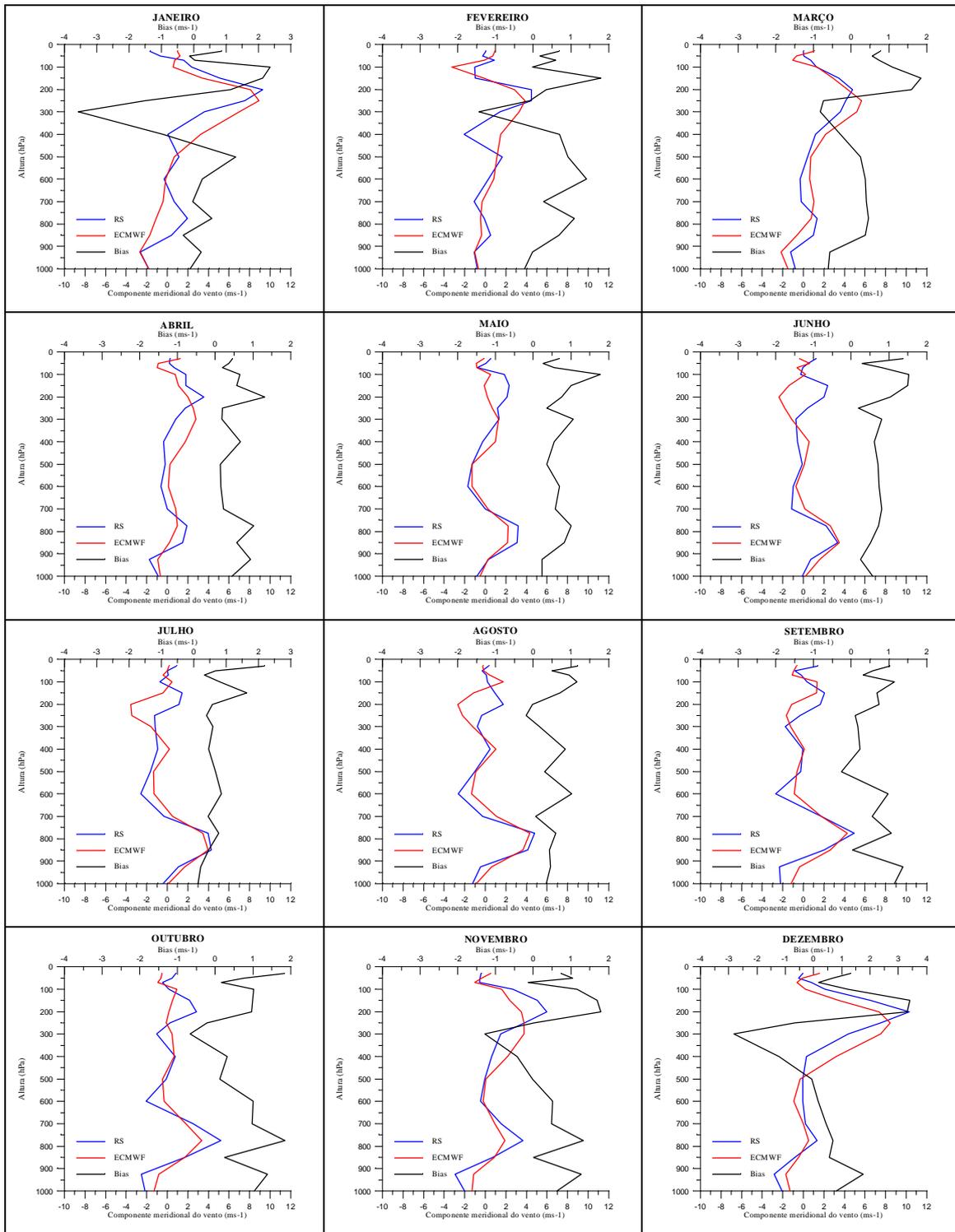


Fig. C.5 - Valores médios mensais e *Bias* da componente meridional do vento nas radiossondagens e nas re-análises do ECMWF, no período de 1988 a 1993.

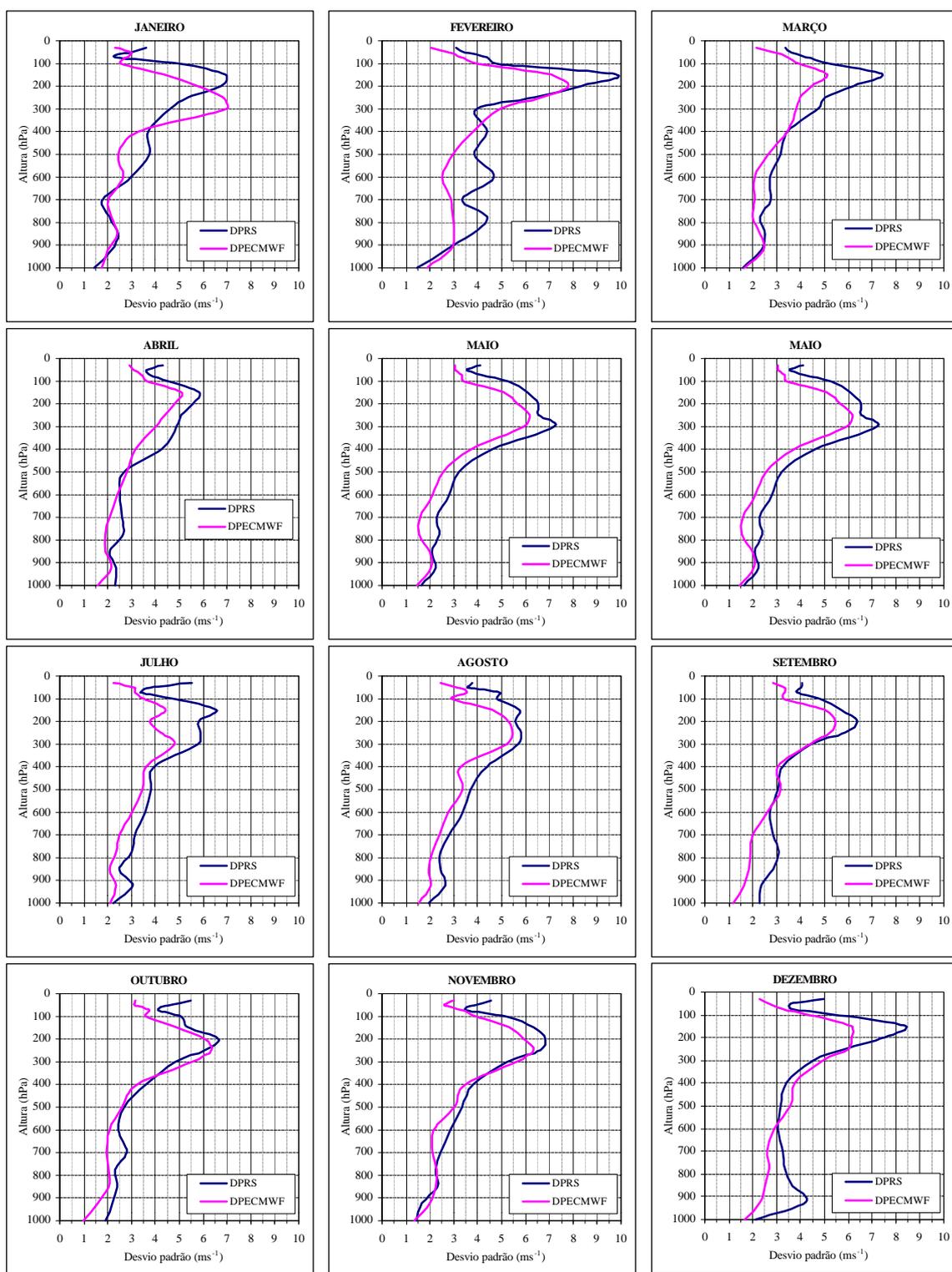


Fig. C.6 - Perfis verticais do desvio padrão da componente meridional do vento nas RS e nas RAE, no período de 1988 a 1993.

TABELA C.9 - TOTAL DE DADOS, MÉDIA ARITMÉTICA E DESVIO PADRÃO DE V NAS RADIOSSONDAGENS (RS) E NAS RE-ANÁLISES DO ECMWF (RAE), NO PERÍODO DE 1988 A 1993

	Janeiro					Fevereiro					Março					Abril					Maio					Junho				
	Tt	RS		RAE		Tt	RS		RAE		Tt	RS		RAE		Tt	RS		RAE		Tt	RS		RAE		Tt	RS		RAE	
		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d
1000	25	-1,8	1,4	-1,8	1,7	25	-0,8	1,5	-0,6	1,9	55	-0,8	1,6	-1,5	1,7	62	-0,9	2,3	-0,6	1,6	75	-0,8	1,6	-0,5	1,5	84	-0,1	2,8	0,2	1,6
925	26	-2,6	2,1	-2,7	2,0	25	-1,1	2,6	-1,1	2,9	55	-1,2	2,4	-2,2	2,4	62	-1,7	6,1	-1,0	2,1	75	0,3	2,2	0,3	2,0	84	0,7	3,3	1,6	2,0
850	26	0,4	2,4	-1,7	2,4	28	0,5	3,7	-0,4	3,0	57	1,0	2,5	-0,6	2,3	64	1,5	2,1	0,2	1,9	76	3,1	2,1	2,2	2,0	83	3,4	3,3	3,5	1,9
775	28	2,0	2,1	-1,1	2,1	28	-0,1	4,4	-0,4	3,0	57	1,3	2,3	0,8	2,0	69	1,9	2,7	1,0	1,9	76	3,2	2,4	2,2	1,6	81	2,2	4,4	2,6	1,7
700	28	0,7	1,8	-0,4	2,0	29	-1,1	3,3	-0,3	2,9	56	-0,2	2,8	1,0	2,1	72	0,0	2,6	0,9	2,1	76	0,0	2,3	0,3	1,6	79	-1,1	3,5	0,2	1,9
600	28	-0,3	3,0	-0,1	2,6	29	0,3	4,7	0,8	2,5	55	-0,3	2,7	0,6	2,1	72	-0,6	2,5	0,1	2,4	76	-1,7	2,8	-1,3	2,1	81	-1,0	3,1	-0,7	2,4
500	27	1,2	3,8	0,7	2,5	29	1,7	3,9	1,1	3,0	55	0,4	3,2	0,7	2,6	72	-0,2	2,7	0,3	2,8	74	-1,3	3,2	-1,3	2,6	82	-0,1	3,5	0,1	2,6
400	27	0,1	3,7	3,2	3,3	29	-2,1	4,4	1,5	3,8	54	1,2	3,5	2,2	3,4	74	-0,4	4,3	1,8	3,2	76	-0,2	4,6	1,0	3,8	82	-0,6	4,3	0,6	3,4
300	28	3,6	4,6	7,0	7,0	30	1,4	4,0	3,3	4,9	55	3,6	4,7	5,2	3,8	72	0,8	4,9	2,8	4,0	76	1,3	7,2	1,3	6,0	83	-0,7	5,1	-1,1	4,1
250	28	7,5	5,4	8,9	6,8	30	4,5	6,4	3,9	6,7	56	4,2	5,0	5,7	4,0	72	1,8	5,1	2,5	4,4	76	1,2	6,5	0,7	6,2	84	0,4	5,7	-1,8	4,7
200	28	9,3	6,8	8,1	5,8	28	4,5	8,3	2,8	7,8	55	4,8	6,2	4,3	4,5	72	3,5	5,6	2,0	4,8	76	2,1	6,5	0,2	5,6	84	2,0	6,1	-2,4	4,3
150	28	5,1	6,9	3,4	4,3	28	-1,0	9,8	-0,1	7,1	55	3,5	7,5	2,9	5,1	74	1,8	5,8	1,1	5,1	77	2,3	6,0	-0,1	5,1	85	2,4	6,0	-1,4	4,1
100	28	2,4	5,0	0,6	2,6	28	-1,1	4,8	-3,3	4,0	54	1,3	5,2	1,4	3,9	74	1,8	4,6	0,8	3,7	77	1,8	5,3	0,5	3,4	85	-0,3	5,3	0,2	3,7
70	28	1,6	2,3	0,7	2,8	28	0,9	4,4	-0,1	3,3	54	0,7	4,2	-1,0	3,4	74	0,7	3,8	-1,0	3,4	77	-0,8	4,1	-0,8	3,3	85	0,0	4,7	-0,6	3,7
50	28	-0,7	3,0	1,2	3,0	28	-0,2	3,5	0,8	2,8	53	0,1	3,6	-0,6	2,9	71	0,2	3,6	-0,9	3,1	76	0,1	3,5	-0,9	3,1	81	0,5	4,4	0,6	3,9
30	25	-1,7	3,6	1,0	2,3	26	0,1	3,1	0,9	2,0	53	0,0	3,4	1,0	2,2	68	0,3	4,3	1,2	2,9	76	0,5	4,1	-0,1	3,1	80	1,2	5,5	-0,3	3,1
	Julho					Agosto					Setembro					Outubro					Novembro					Dezembro				
1000	88	-0,4	2,3	0,1	2,1	83	-1,2	1,9	-0,9	1,5	94	-2,2	2,3	-1,2	1,2	117	-2,2	1,9	-1,3	1,0	119	-2,0	1,4	-1,3	1,3	84	-2,0	2,1	-1,3	1,7
925	88	1,1	3,1	1,7	2,3	81	-0,5	2,6	0,6	2,0	94	-2,3	2,4	-0,3	1,6	114	-2,5	2,2	-0,8	1,6	119	-3,0	1,7	-1,1	2,0	83	-2,8	4,2	-1,7	2,3
850	88	4,3	2,5	4,0	2,1	81	4,1	2,4	3,7	1,9	94	2,0	2,8	2,6	1,8	117	1,7	2,4	1,7	2,0	120	0,7	2,3	0,9	2,3	84	-0,8	3,7	-0,5	2,5
775	88	4,0	3,0	3,5	2,3	84	4,8	2,4	4,4	2,1	93	5,0	3,1	4,3	1,9	117	5,2	2,3	3,4	2,0	122	3,7	2,2	1,9	2,3	84	1,3	3,3	0,5	2,7
700	89	-0,3	3,1	0,5	2,5	86	-0,2	2,8	1,1	2,4	95	1,8	2,8	1,8	2,0	118	2,5	2,8	1,8	1,9	122	1,6	2,4	0,9	2,1	83	0,2	3,3	0,0	2,6
600	90	-2,6	3,6	-1,3	3,0	86	-2,6	3,4	-1,3	2,8	96	-2,7	2,7	-0,9	2,6	120	-2,1	2,4	-0,3	2,1	121	-0,5	2,8	-0,2	2,2	84	-0,1	3,0	-0,9	2,9
500	89	-1,7	3,8	-1,3	3,5	86	-1,0	3,7	-0,9	3,4	95	-0,3	3,0	-0,6	3,2	119	-0,1	2,7	-0,4	2,6	121	-0,1	3,3	0,1	3,0	84	0,0	3,2	-0,3	3,6
400	89	-0,9	4,0	0,2	3,6	84	0,5	4,4	1,0	3,3	95	-0,1	3,2	0,1	3,1	119	0,8	3,6	0,7	3,3	123	0,6	3,8	2,2	3,5	83	0,3	3,4	3,2	3,8
300	89	-1,2	5,8	-1,6	4,8	84	-0,8	5,7	-1,2	5,2	95	-1,7	4,4	-1,3	4,4	120	-1,0	4,8	0,5	5,5	122	1,5	5,2	3,8	5,6	83	4,4	4,5	7,5	4,9
250	87	-1,2	5,8	-3,5	4,3	84	-0,4	5,8	-2,2	5,4	95	-0,3	5,8	-1,6	5,2	117	0,3	6,1	-0,1	6,3	120	3,8	6,6	3,8	6,4	83	7,5	5,9	8,4	6,0
200	88	1,1	5,8	-3,6	3,8	84	1,8	5,6	-2,7	5,3	94	1,6	6,4	-1,1	5,4	117	2,8	6,6	0,1	6,1	119	6,0	6,8	3,5	5,9	81	10,3	7,5	7,4	6,1
150	86	1,5	6,6	-0,4	4,5	84	0,9	5,8	-1,2	4,6	94	2,1	5,7	1,3	5,0	114	2,2	5,4	0,5	4,9	118	5,1	6,3	2,4	5,3	81	6,5	8,4	3,4	6,1
100	84	-0,7	4,8	0,5	3,5	82	0,2	4,8	1,8	2,9	93	0,4	4,8	1,3	3,3	113	0,2	5,1	0,9	3,6	117	2,7	5,2	1,6	3,9	81	2,1	5,6	0,2	4,4
70	84	0,1	3,4	-0,4	3,1	82	0,1	4,9	0,4	3,5	93	-0,2	3,9	-1,1	3,3	112	-0,4	4,1	-0,9	3,7	117	-0,5	3,5	-1,0	3,3	81	0,8	3,6	-0,6	3,2
50	81	0,0	3,8	0,0	3,1	82	-0,3	3,6	-0,1	3,2	92	-0,8	4,0	-0,9	3,3	109	0,5	4,5	-0,6	3,1	115	-0,5	3,9	-0,4	2,6	81	-0,5	3,6	-0,1	2,7
30	79	0,9	5,5	0,2	2,2	81	0,3	3,8	-0,3	2,4	89	1,4	4,1	-0,7	2,9	104	0,8	6,6	-0,5	3,2	111	-0,4	4,6	0,5	3,0	76	-0,1	4,9	1,5	2,3

**TABELA C.10 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DA COMPONENTE
MERIDIONAL DO VENTO ENTRE AS RS E AS RAE**

Níveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1000	0,1 ¹	0,1 ¹	0,2 ¹	0,2 ¹	0,3 ¹	0,3 ¹	0,7 ¹	0,4 ¹	0,2 ¹	0,1 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹
925	0,3 ¹	0,3 ¹	0,3 ¹	0,0 ¹	0,0 ¹	0,2 ¹	0,6 ¹	0,6 ¹	0,5 ¹	0,3 ¹	0,5 ¹	0,0 ¹
850	0,5 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,1 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,2 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,1 ¹
775	0,1 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,2 ¹	0,5 ¹	0,1 ¹	0,3 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹
700	0,3 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,2 ¹	0,3 ¹	0,2 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,6 ¹
600	0,2 ¹	0,1 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,3v	0,4 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,5 ¹	0,3 ¹
500	0,3 ¹	0,4 ¹	0,1 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,5 ¹	0,3 ¹
400	0,5 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,6 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,3 ¹
300	0,7	0,5	0,6	0,6	0,8	0,6	0,7	0,7	0,5	0,7	0,7	0,6
250	0,6 ¹	0,8	0,6 ¹	0,6 ¹	0,7 ¹	0,6 ¹	0,5	0,6 ¹	0,7	0,8 ¹	0,8 ¹	0,6 ¹
200	0,4 ¹	0,8 ¹	0,6 ¹	0,5 ¹	0,7 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,6 ¹	0,7 ¹	0,7 ¹	0,7 ¹	0,5 ¹
150	0,6 ¹	0,6 ¹	0,7 ¹	0,5 ¹	0,7 ¹	0,6 ¹	0,6	0,7 ¹	0,5	0,6 ¹	0,7 ¹	0,5 ¹
100	0,6 ¹	0,4 ¹	0,6 ¹	0,6 ¹	0,6 ¹	0,5 ¹	0,4	0,6 ¹	0,5 ¹	0,7 ¹	0,5 ¹	0,4
70	0,4 ¹	0,0	0,4 ¹	0,3	0,2	0,6 ¹	0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1
50	0,4 ¹	0,3 ¹	0,1	0,3 ¹	0,0	0,4	0,1 ¹	0,4 ¹	0,5	0,3 ¹	0,3 ¹	0,2 ¹
30	0,1 ¹	0,3 ¹	0,2 ¹	0,2 ¹	0,1 ¹	0,4 ¹	0,2 ¹	0,2 ¹	-0,1	0,1 ¹	0,1	0,2 ¹

**TABELA C.11 - BIAS DA COMPONENTE MERIDIONAL DO VENTO ENTRE
AS RS E AS RAE**

Níveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1000	-0,1	-0,2	-0,6	0,5	0,2	0,6	0,1	0,3	1,1	1,0	0,6	0,8
925	0,2	0,0	-0,6	0,9	0,2	0,2	0,2	0,5	1,4	1,4	1,3	1,8
850	-0,3	0,7	0,4	0,6	0,8	0,5	0,5	0,4	0,0	0,2	0,0	0,6
775	0,6	1,1	0,5	1,0	1,0	0,7	0,8	0,6	1,1	1,8	1,3	0,7
700	0,0	0,3	0,4	0,2	0,6	0,8	0,4	0,1	0,6	1,0	0,5	0,4
600	0,3	1,4	0,4	0,1	0,7	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	0,5	0,2
500	1,3	0,9	0,2	0,1	0,4	0,7	0,7	0,3	-0,3	0,1	0,0	-0,1
400	-0,9	0,7	-0,3	0,7	0,6	0,6	0,5	0,9	0,2	0,3	-0,4	-1,2
300	-3,6	-1,4	-0,8	0,2	1,1	0,8	0,6	0,2	0,2	-0,7	-1,3	-2,8
250	-1,5	-0,1	-0,7	0,2	0,4	0,2	0,4	-0,2	0,1	-0,2	0,0	-0,7
200	1,1	0,3	1,6	1,3	0,7	1,0	0,6	0,0	0,7	1,0	1,8	3,3
150	2,1	1,8	1,8	0,6	1,0	1,5	1,6	0,7	0,7	1,0	1,7	3,4
100	2,4	0,0	1,1	0,7	1,8	1,5	0,8	1,2	1,1	1,0	1,2	1,2
70	0,0	0,6	0,7	0,2	0,6	0,8	0,3	0,9	0,3	0,2	-0,1	0,2
50	-0,1	0,2	0,6	0,4	0,3	0,3	0,7	0,5	0,6	0,8	1,0	0,7
30	0,9	0,7	0,8	0,5	0,7	1,4	2,2	1,2	1,0	1,8	0,7	1,3

**TABELA C.12 - ERRO QUADRÁTICO MÉDIO (EQM) DA COMPONENTE
MERIDIONAL DO VENTO ENTRE AS RS E AS RAE**

Níveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1000	1,6	1,7	1,8	1,9	1,4	2,4	1,5	1,6	2,3	1,9	1,6	1,9
925	2,1	2,1	2,3	6,0	1,9	2,6	2,0	1,9	2,5	2,3	2,1	3,9
850	1,9	3,1	2,1	1,6	2,2	2,7	2,3	2,3	2,0	1,8	1,9	3,1
775	2,2	3,8	1,8	2,4	2,2	4,0	2,7	2,5	2,5	2,9	2,3	2,5
700	1,6	2,8	2,0	2,0	1,8	3,3	2,6	2,3	2,1	2,4	1,9	2,5
600	2,2	3,8	1,9	1,6	2,3	2,3	3,1	3,1	2,7	2,5	2,2	2,3
500	3,3	3,1	2,3	2,1	2,5	2,3	2,9	2,7	2,3	2,2	2,6	3,3
400	4,0	3,2	2,9	3,3	3,1	3,0	3,0	3,0	2,8	2,7	3,1	3,5
300	5,5	3,8	3,8	3,2	3,6	3,6	3,2	3,4	3,5	3,4	4,0	4,9
250	4,7	4,1	3,7	3,1	3,7	3,8	4,4	3,8	3,6	3,2	3,6	4,6
200	5,9	4,5	4,0	3,9	4,0	5,0	4,6	4,4	4,2	4,3	4,9	6,7
150	5,4	5,8	4,6	4,3	4,5	4,4	4,3	4,1	3,8	3,7	4,8	6,4
100	3,9	3,7	3,6	3,5	3,7	3,3	3,6	3,3	3,3	2,8	3,6	4,6
70	2,1	3,6	3,4	2,7	3,2	3,3	2,7	4,0	3,0	3,5	3,0	3,0
50	2,5	2,7	3,1	2,8	2,6	3,5	3,2	2,5	2,9	3,2	3,0	2,8
30	3,1	2,5	2,7	3,5	2,9	4,7	4,6	2,8	3,2	5,8	4,2	4,1

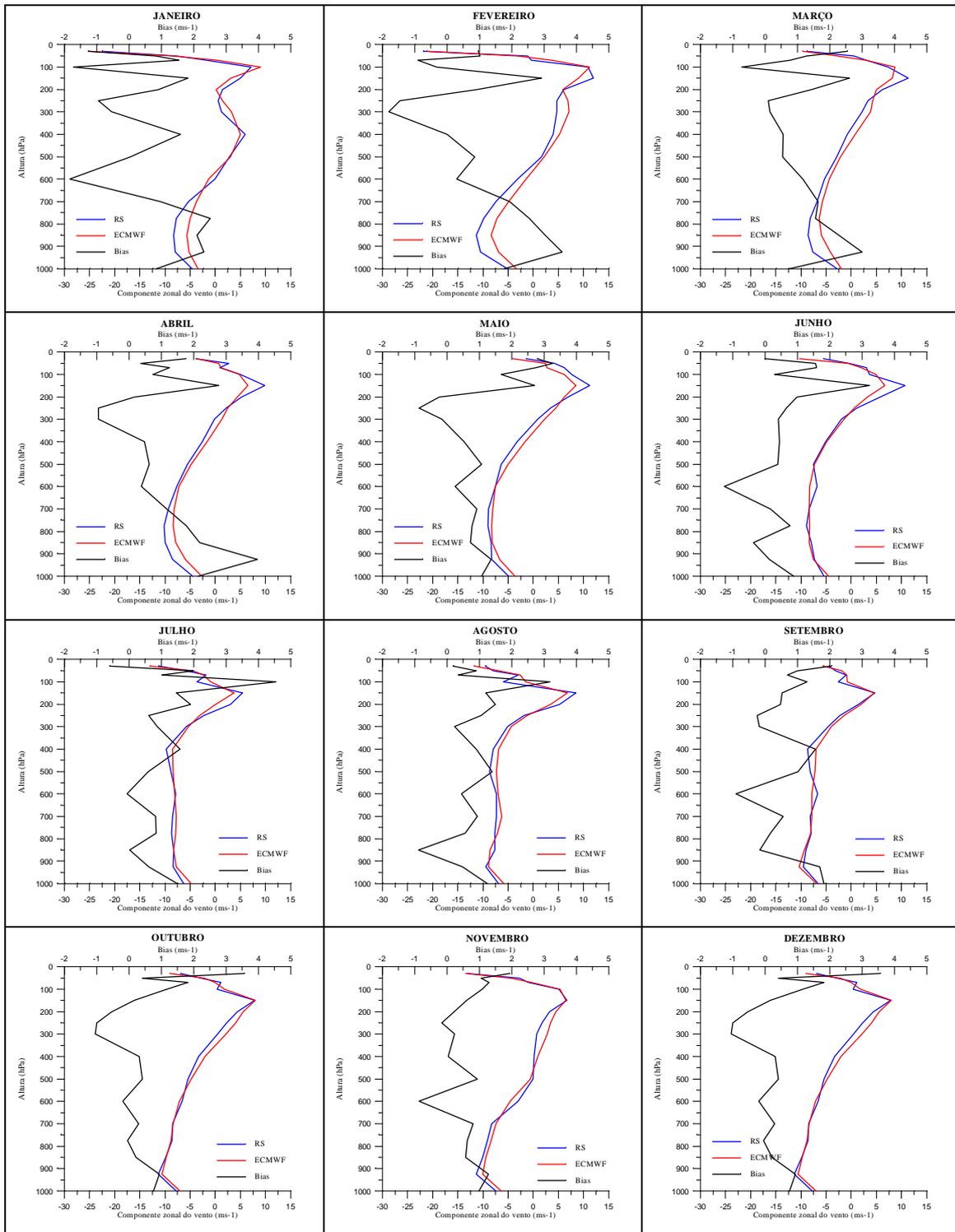


Fig. C.7 - Valores médios mensais e *Bias* da componente zonal do vento nas radiosondagens e nas re-análises do ECMWF, no período de 1988 a 1993.

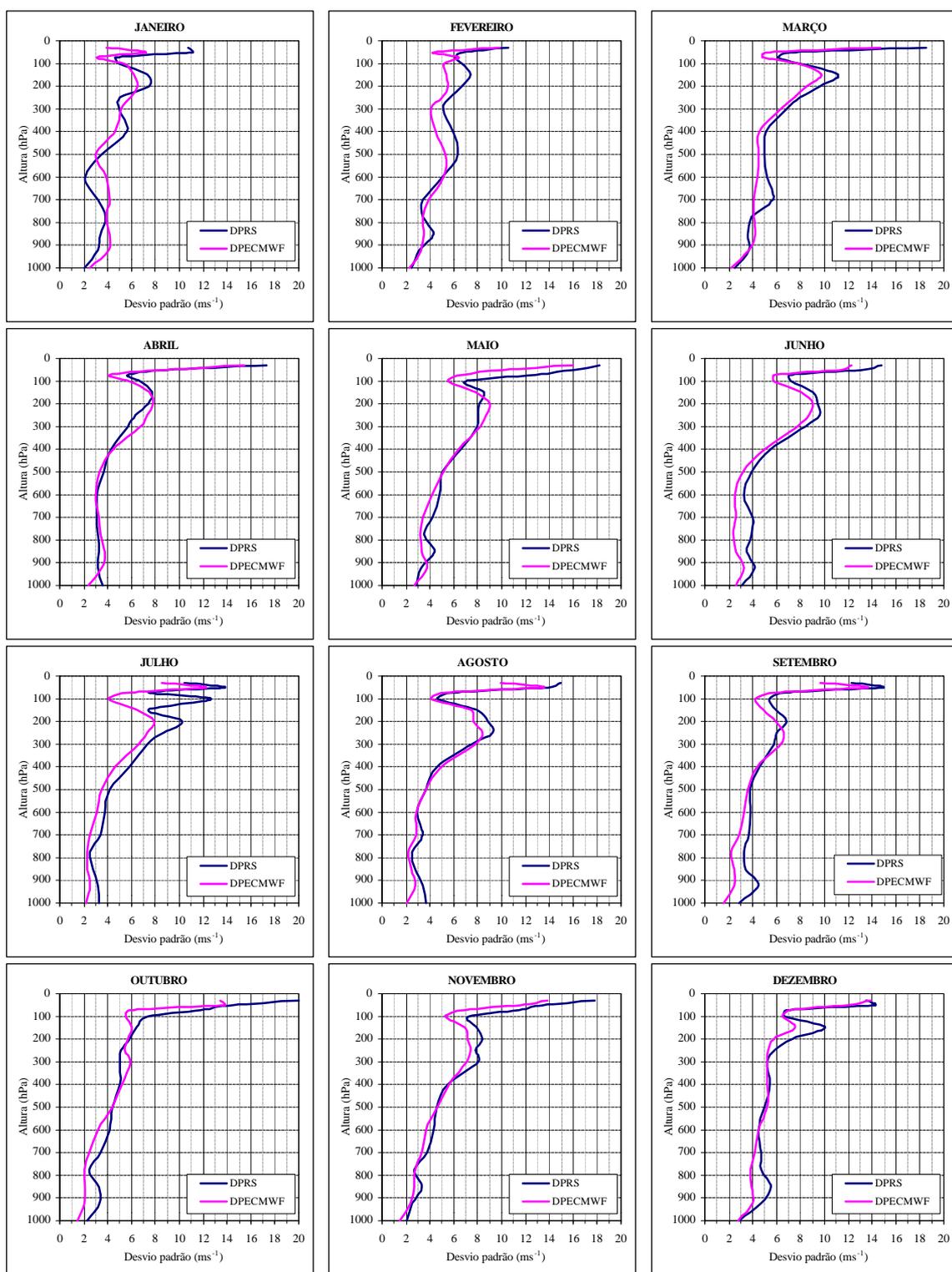


Fig. C.8 - Perfis verticais do desvio padrão da componente zonal do vento nas RS e nas RAE, no período de 1988 a 1993.

TABELA C.13 - TOTAL DE DADOS, MÉDIA ARITMÉTICA E DESVIO PADRÃO DE U NAS RADIOSSONDAGENS (RS) E NAS RE-ANÁLISES DO ECMWF (RAE), NO PERÍODO DE 1988 A 1993

	Janeiro					Fevereiro					Março					Abril					Maio					Junho						
	Tt	RS		RAE		Tt	RS		RAE		Tt	RS		RAE		Tt	RS		RAE		Tt	RS		RAE		Tt	RS		RAE			
		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d		M	d	M	d	M	d
1000	25	-4,6	2,0	-3,4	2,5	25	-5,1	2,5	-3,3	2,3	55	-2,8	2,5	-1,9	2,2	62	-4,5	3,6	-2,7	2,3	75	-4,8	2,9	-3,6	2,7	84	-5,4	3,1	-4,5	2,6		
925	26	-8,0	3,1	-5,2	4,1	25	-10,5	3,1	-6,9	3,3	55	-7,6	3,7	-4,1	3,7	62	-8,5	7,8	-5,9	3,5	75	-8,3	3,2	-6,7	3,8	84	-7,4	4,1	-7,5	3,2		
850	26	-8,3	3,4	-5,7	4,1	28	-11,4	4,3	-8,3	3,5	57	-8,6	3,6	-6,0	4,2	64	-10,0	3,2	-7,8	3,8	76	-8,4	4,4	-8,1	3,3	83	-8,0	3,5	-8,4	2,6		
775	28	-7,8	3,9	-5,0	3,9	28	-9,8	3,4	-7,2	3,4	57	-8,1	3,9	-6,3	4,0	69	-10,1	3,1	-8,4	3,4	76	-9,0	3,5	-8,2	3,2	81	-8,9	3,9	-8,3	2,4		
700	28	-5,3	3,2	-3,7	4,2	29	-7,5	3,4	-4,9	3,9	56	-6,8	5,7	-5,8	4,0	72	-9,4	3,1	-8,2	3,3	76	-8,9	4,2	-8,1	3,4	80	-8,4	4,0	-8,3	2,6		
600	28	0,0	2,1	-1,3	3,9	28	-3,1	5,0	-1,4	5,1	55	-5,3	5,2	-4,4	4,4	72	-7,7	3,1	-7,3	3,0	76	-7,5	4,8	-7,5	4,2	81	-6,8	3,2	-8,3	2,5		
500	27	2,8	3,5	3,0	3,0	29	1,6	6,4	2,2	5,3	55	-2,9	5,0	-2,2	4,5	72	-5,5	3,7	-4,8	3,3	74	-6,3	5,1	-5,0	5,2	82	-7,5	3,9	-7,3	3,2		
400	27	5,9	5,6	5,0	4,7	29	4,0	5,9	5,2	4,5	54	-0,8	5,1	0,8	4,5	74	-2,6	4,3	-1,6	4,4	76	-3,2	6,6	-1,6	6,4	82	-5,1	5,5	-4,8	5,0		
300	28	1,2	5,0	3,2	5,1	30	4,7	5,1	7,1	4,1	55	2,1	6,8	3,8	6,4	72	-0,2	5,7	1,3	6,7	76	0,9	8,0	2,3	8,3	83	-1,9	8,4	-1,5	7,8		
250	28	0,6	5,0	1,5	6,0	30	4,7	5,7	6,9	5,1	56	3,4	7,9	4,3	7,5	72	2,2	6,4	2,4	7,3	76	3,5	8,1	4,5	8,7	84	1,1	9,6	0,6	8,7		
200	28	1,4	7,5	0,2	6,5	28	6,0	6,7	5,9	5,5	55	6,2	9,6	5,1	8,6	72	5,2	7,4	4,4	7,8	76	6,9	8,2	6,2	9,0	84	5,7	9,4	3,3	9,0		
150	28	5,1	7,3	3,2	6,2	28	12,0	7,4	9,0	5,3	55	11,4	11,2	8,1	9,8	74	9,9	7,7	6,5	7,4	77	11,2	8,5	8,5	7,8	85	10,7	9,0	6,7	8,0		
100	28	7,2	4,9	9,1	5,4	28	10,9	6,7	11,3	5,2	54	7,3	7,9	8,8	7,8	74	5,0	6,7	4,8	5,8	77	7,6	7,0	6,2	5,5	85	3,6	7,2	4,9	5,8		
70	28	-1,8	4,7	0,4	3,1	28	-0,3	6,1	3,6	6,5	54	3,0	6,1	2,9	4,8	74	0,9	5,7	1,1	4,1	77	6,2	12,9	2,7	6,8	85	3,0	7,1	2,0	5,8		
50	28	-7,6	11,0	-8,3	7,3	28	-1,1	6,7	-3,0	4,3	53	0,6	7,1	-2,6	5,2	71	2,7	8,9	0,7	8,8	76	4,2	16,0	2,4	10,1	81	-0,3	13,1	-0,6	11,4		
30	25	-22,5	10,7	-25,3	3,9	26	-21,8	10,6	-21,1	9,8	53	-8,8	18,6	-9,7	14,7	68	-3,9	17,3	-3,8	15,4	76	-1,4	18,2	-4,1	15,9	81	-5,5	14,8	-10,3	12,2		
	Julho					Agosto					Setembro					Outubro					Novembro					Dezembro						
1000	88	-6,3	3,2	-4,8	2,2	83	-6,9	3,6	-5,8	2,0	94	-6,6	11,3	-6,9	1,5	117	-7,7	2,3	-7,0	1,5	119	-7,4	2,1	-6,4	1,5	84	-6,2	2,8	-5,1	2,8		
925	88	-8,3	3,1	-7,8	2,5	81	-9,4	3,4	-8,9	2,8	95	-9,6	12,0	-10,4	2,4	114	-11,4	3,3	-10,6	2,0	119	-11,3	2,5	-10,0	2,3	83	-8,8	4,7	-8,3	4,0		
850	88	-8,3	2,8	-8,3	2,3	81	-7,7	2,8	-8,6	2,4	94	-9,0	3,4	-9,3	2,4	117	-9,9	3,3	-9,8	2,1	120	-10,1	3,3	-9,4	2,6	84	-8,8	5,5	-8,5	3,9		
775	88	-8,7	2,5	-7,8	2,3	84	-7,7	2,6	-7,1	2,2	93	-8,0	3,2	-8,0	2,2	117	-8,6	2,4	-8,8	2,1	122	-9,1	2,7	-8,4	2,7	84	-7,6	4,7	-7,8	3,8		
700	89	-8,5	3,4	-7,8	2,5	86	-7,3	3,4	-6,3	2,8	95	-8,2	3,7	-7,8	2,8	118	-8,5	3,4	-8,4	2,4	122	-8,3	3,8	-7,4	3,3	83	-5,9	4,7	-6,6	4,1		
600	90	-7,9	3,7	-8,1	3,1	86	-7,4	2,9	-7,0	2,9	96	-6,7	3,8	-7,9	3,2	120	-6,6	4,2	-7,1	3,2	121	-3,0	4,3	-4,6	3,7	84	-0,8	4,5	-3,5	4,5		
500	89	-8,8	4,1	-8,4	3,5	86	-8,7	3,7	-7,3	3,6	95	-8,1	3,8	-7,2	3,6	119	-5,4	4,4	-4,8	4,4	121	-0,1	9,4	-0,6	4,6	84	1,3	5,0	1,3	5,2		
400	89	-9,7	5,8	-8,5	4,7	84	-8,0	4,6	-6,9	5,0	95	-8,7	4,5	-7,0	4,4	119	-3,3	5,1	-2,0	5,2	123	0,2	5,5	1,0	5,6	83	2,3	5,5	2,7	5,2		
300	89	-5,7	7,4	-5,3	6,6	84	-5,1	7,5	-4,3	7,8	95	-4,6	5,7	-3,9	6,4	120	0,5	5,0	2,2	5,9	122	0,7	8,0	2,8	7,1	83	0,9	5,2	2,3	5,2		
250	87	-2,3	8,7	-3,2	7,3	84	-1,8	9,3	-1,2	8,4	95	-2,3	6,0	-1,5	6,6	117	2,3	5,1	4,0	5,4	120	1,8	7,8	3,5	7,4	83	1,0	5,8	1,6	5,3		
200	88	3,1	10,3	0,1	7,9	84	5,2	8,8	3,5	7,7	94	1,5	6,8	1,9	6,0	117	4,3	5,9	5,5	5,7	119	3,3	8,3	4,5	7,1	81	0,9	7,3	1,0	5,8		
150	86	5,4	7,4	3,7	6,4	84	8,5	7,9	6,8	7,4	94	4,8	5,9	4,6	4,9	114	7,9	6,4	7,9	6,0	118	6,8	7,9	6,5	6,9	81	2,1	10,1	2,0	7,5		
100	84	-3,7	12,7	-0,9	4,1	82	-6,0	4,6	-1,6	4,1	93	-2,6	5,4	-0,8	4,3	113	0,4	7,3	1,9	5,6	117	5,1	7,2	5,4	5,3	81	3,4	6,7	3,6	6,5		
70	84	-1,8	7,4	-2,3	5,9	82	-3,0	6,0	-2,6	5,4	93	-1,0	6,8	-0,9	6,0	112	1,1	11,8	-0,1	5,9	117	-1,0	11,4	-0,4	6,9	81	-1,1	6,8	0,0	7,2		
50	81	-5,9	13,8	-4,4	12,2	82	-8,0	13,9	-6,8	13,5	92	-3,1	14,8	-1,8	13,6	109	-2,8	14,4	-2,2	13,7	115	-2,7	13,4	-4,3	11,5	81	-3,9	14,2	-5,0	11,8		
30	79	-11,3	10,4	-13,0	8,5	81	-9,6	14,9	-11,8	10,0	89	-4,4	12,3	-5,6	9,7	104	-6,9	20,0	-9,0	13,4	111	-13,0	17,8	-13,5	13,8	76	-19,3	13,5	-17,5	13,9		

**TABELA C.14 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DA COMPONENTE
ZONAL DO VENTO ENTRE AS RS E AS RAE**

Níveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1000	0,7 ¹	0,8 ¹	0,4 ¹	0,5 ¹	0,8 ¹	0,7 ¹	0,7 ¹	0,5 ¹	0,3 ¹	0,3 ¹	0,4 ¹	0,7 ¹
925	0,7 ¹	0,6 ¹	0,5 ¹	0,3 ¹	0,7 ¹	0,6 ¹	0,5 ¹	0,7 ¹	0,3 ¹	0,3 ¹	0,7 ¹	0,5 ¹
850	0,6 ¹	0,7 ¹	0,6 ¹	0,4 ¹	0,4 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,6 ¹	0,5 ¹	0,4 ¹	0,7 ¹	0,5 ¹
775	0,6 ¹	0,8 ¹	0,6 ¹	0,5 ¹	0,8 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,7 ¹	0,4 ¹	0,3 ¹	0,7 ¹	0,4 ¹
700	0,6 ¹	0,6 ¹	0,6 ¹	0,6 ¹	0,8 ¹	0,6 ¹	0,5 ¹	0,8 ¹	0,6 ¹	0,5 ¹	0,7 ¹	0,6 ¹
600	0,4 ¹	0,7 ¹	0,8 ¹	0,5 ¹	0,8 ¹	0,4 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,6 ¹	0,7 ¹	0,6 ¹
500	0,7 ¹	0,7 ¹	0,7 ¹	0,5 ¹	0,8 ¹	0,5 ¹	0,5 ¹	0,7 ¹	0,6 ¹	0,7 ¹	0,4 ¹	0,6 ¹
400	0,6 ¹	0,6 ¹	0,6 ¹	0,5 ¹	0,9 ¹	0,7 ¹	0,7 ¹	0,7 ¹	0,6 ¹	0,8 ¹	0,8 ¹	0,6 ¹
300	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6
250	0,7	0,7 ¹	0,9 ¹	0,8 ¹	0,9 ¹	0,9 ¹	0,9	0,9 ¹	0,7	0,7 ¹	0,9	0,5 ¹
200	0,8 ¹	0,8 ¹	0,9 ¹	0,8 ¹	0,8	0,8 ¹	0,8 ¹	0,9 ¹	0,7 ¹	0,7 ¹	0,9 ¹	0,6 ¹
150	0,7 ¹	0,8 ¹	0,9 ¹	0,7 ¹	0,8 ¹	0,8 ¹	0,8 ¹	0,8	0,6	0,7 ¹	0,8	0,8
100	0,6 ¹	0,8 ¹	0,9 ¹	0,7 ¹	0,8 ¹	0,7	0,2	0,6	0,8	0,7 ¹	0,8 ¹	0,7
70	0,3	0,5	0,3	0,6 ¹	0,5	0,7 ¹	0,8	0,9	0,8 ¹	0,3	0,3	0,7 ¹
50	0,9	0,6 ¹	0,6	0,9	0,5 ¹	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9
30	0,3	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	0,8

**TABELA C.15 - BIAS DA COMPONENTE ZONAL DO VENTO ENTRE AS RS
E AS RAE**

Níveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1000	0,8	1,8	0,7	2,1	1,1	0,9	1,5	1,2	1,8	0,8	1,0	0,9
925	2,3	3,6	3,0	4,0	1,4	0,1	0,6	0,5	1,7	0,9	1,3	0,8
850	2,1	3,0	2,3	2,2	0,7	-0,4	0,0	-0,9	-0,2	0,2	0,6	0,8
775	2,5	2,5	1,6	1,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,2	0,0	0,6	0,3
700	1,0	1,9	1,7	1,2	0,9	0,2	0,8	0,9	0,6	0,3	0,8	-0,5
600	-1,8	0,3	1,2	0,4	0,2	-1,3	-0,1	0,4	-0,9	-0,2	-0,9	-1,2
500	0,0	0,9	0,5	0,6	1,1	0,4	0,6	1,4	1,0	0,4	0,9	-0,4
400	1,6	0,0	0,6	0,5	0,5	0,4	1,6	0,9	1,6	0,3	0,0	-0,1
300	-0,5	-1,8	0,1	-0,9	-0,2	0,4	0,9	0,2	-0,2	-1,0	0,2	-0,7
250	-1,0	-1,5	0,1	-0,9	-0,9	0,7	0,6	1,1	-0,2	-1,0	-0,2	-0,1
200	0,9	0,9	1,4	0,2	-0,3	1,0	1,9	1,5	0,5	-0,5	0,2	0,9
150	1,8	2,9	2,6	2,8	2,7	3,2	1,5	1,2	0,5	0,2	0,6	1,7
100	-1,7	-0,3	-0,7	0,7	1,7	0,3	4,5	3,2	1,3	1,2	1,1	0,3
70	1,5	-0,9	0,8	1,3	2,8	1,6	1,0	0,3	0,7	1,8	1,3	-0,2
50	0,8	1,0	1,3	0,4	3,3	1,6	2,0	0,9	1,0	0,4	1,0	1,5
30	-1,3	1,0	2,5	1,8	2,8	0,0	-0,6	0,2	2,1	3,6	1,9	1,0

**TABELA C.16 - ERRO QUADRÁTICO MÉDIO (EQM) DA COMPONENTE
ZONAL DO VENTO ENTRE AS RS E AS RAE**

Níveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1000	1,77	2,34	2,35	3,28	2,24	2,40	2,81	2,88	10,01	2,44	2,29	2,32
925	3,98	4,53	4,20	7,33	2,89	2,81	2,76	2,61	9,70	2,63	2,35	3,18
850	3,80	4,38	3,65	4,33	2,85	2,87	2,70	2,61	2,60	2,48	2,31	3,38
775	3,85	3,44	3,53	3,59	2,43	2,97	2,53	2,02	2,19	2,06	2,13	2,79
700	3,16	3,95	3,20	3,11	2,61	2,82	2,86	2,43	2,45	2,51	2,63	2,81
600	3,17	3,78	3,01	2,92	2,79	2,85	3,03	2,77	2,90	2,91	3,05	3,79
500	2,55	3,78	3,09	2,98	3,42	3,07	3,35	3,32	3,13	2,78	8,53	3,24
400	3,43	4,11	3,62	3,31	3,17	2,54	3,47	3,74	4,12	3,42	3,17	3,15
300	4,19	3,83	3,83	3,94	3,66	4,19	4,33	4,13	4,19	4,12	4,40	3,61
250	3,62	4,43	3,73	3,82	3,81	4,15	3,93	4,26	3,63	3,33	3,75	3,71
200	4,19	3,69	4,39	3,81	3,92	4,91	5,59	4,55	4,37	3,56	3,93	4,70
150	5,09	5,47	6,29	5,78	5,60	5,96	4,78	4,52	4,22	3,84	4,45	5,25
100	4,56	4,29	3,73	4,62	4,30	4,56	11,79	4,67	3,42	4,54	4,15	4,33
70	3,76	6,14	5,60	3,73	11,85	4,35	4,11	2,57	3,03	9,50	9,18	4,53
50	4,44	4,51	4,19	4,27	10,56	4,40	4,30	4,27	4,51	4,68	5,92	4,56
30	7,29	2,85	5,43	4,53	4,84	5,97	5,24	7,31	5,59	11,02	9,61	6,31

APÊNDICE D

**SÉRIES TEMPORAIS DA COMPONENTE MERIDIONAL DO VENTO ENTRE
OS NÍVEIS DAS RE-ANÁLISES DO ECMWF (850 E 700 hPa) E AS CAMADAS
DAS RADIOSSONDAGENS (850-700 E 700-500 hPa),
NOS ANOS DE 1992 E 1993**

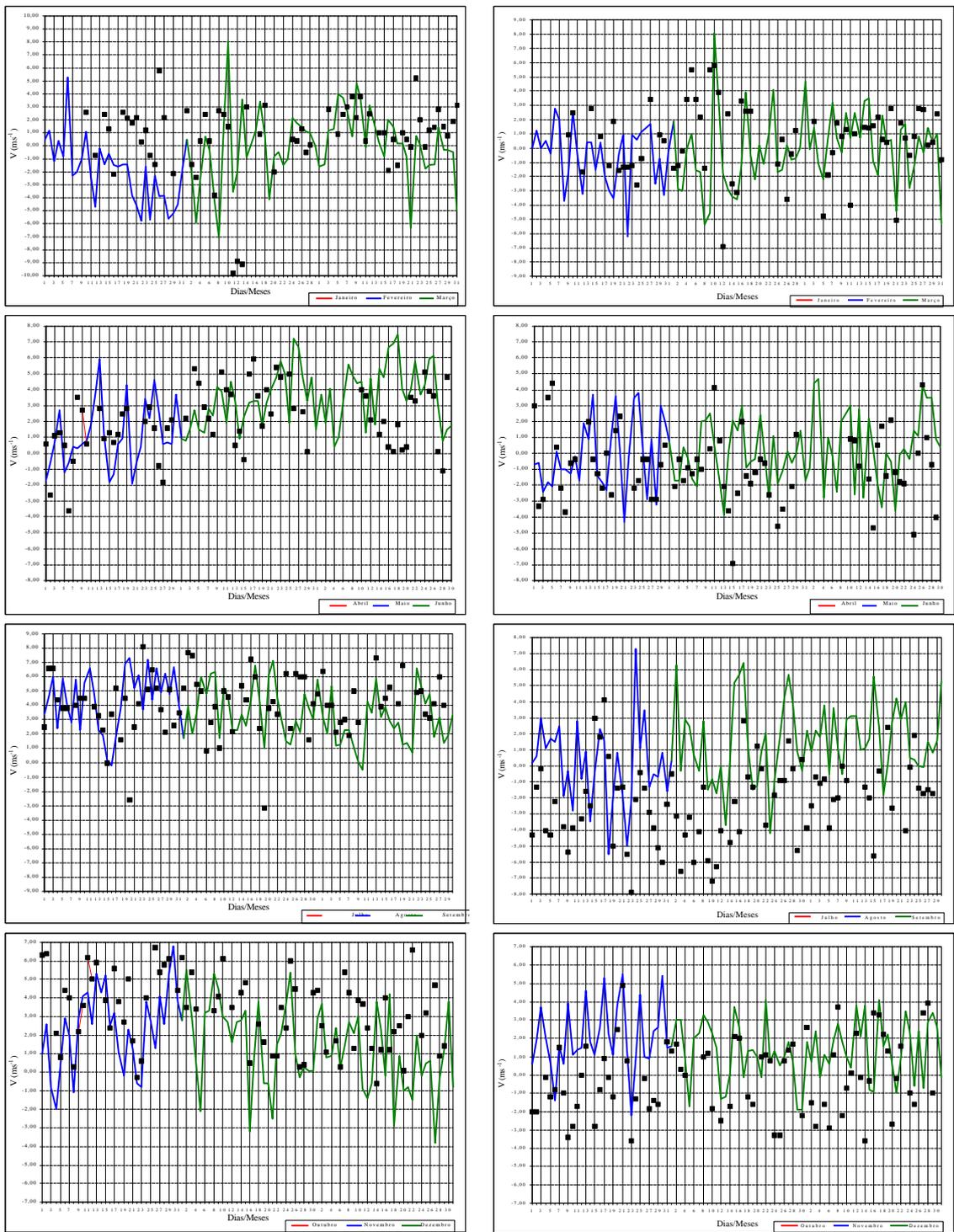


Fig. D.1 - Séries temporais da componente V do vento, para 1992. Os gráficos da esquerda são referentes ao nível de 850 hPa e a camada de 850-700 e os da direita referentes ao nível de 700 hPa e a camada de 700-500 hPa.

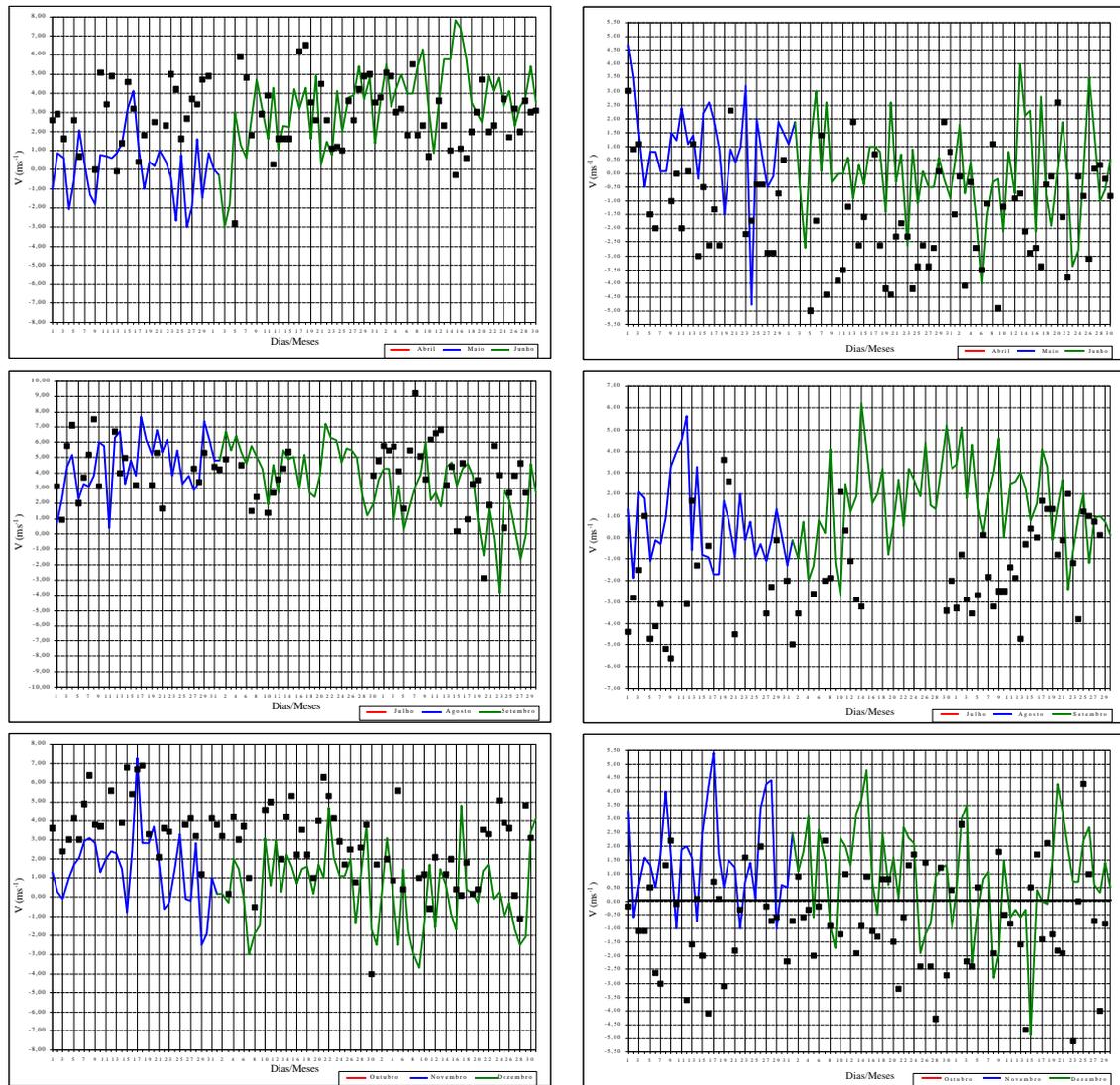


Fig. D.2 - Séries temporais da componente V do vento, para 1993. Os gráficos da esquerda são referentes ao nível de 850 hPa e a camada de 850-700 e os da direita ao nível de 700 hPa e a camada de 700-500 hPa.

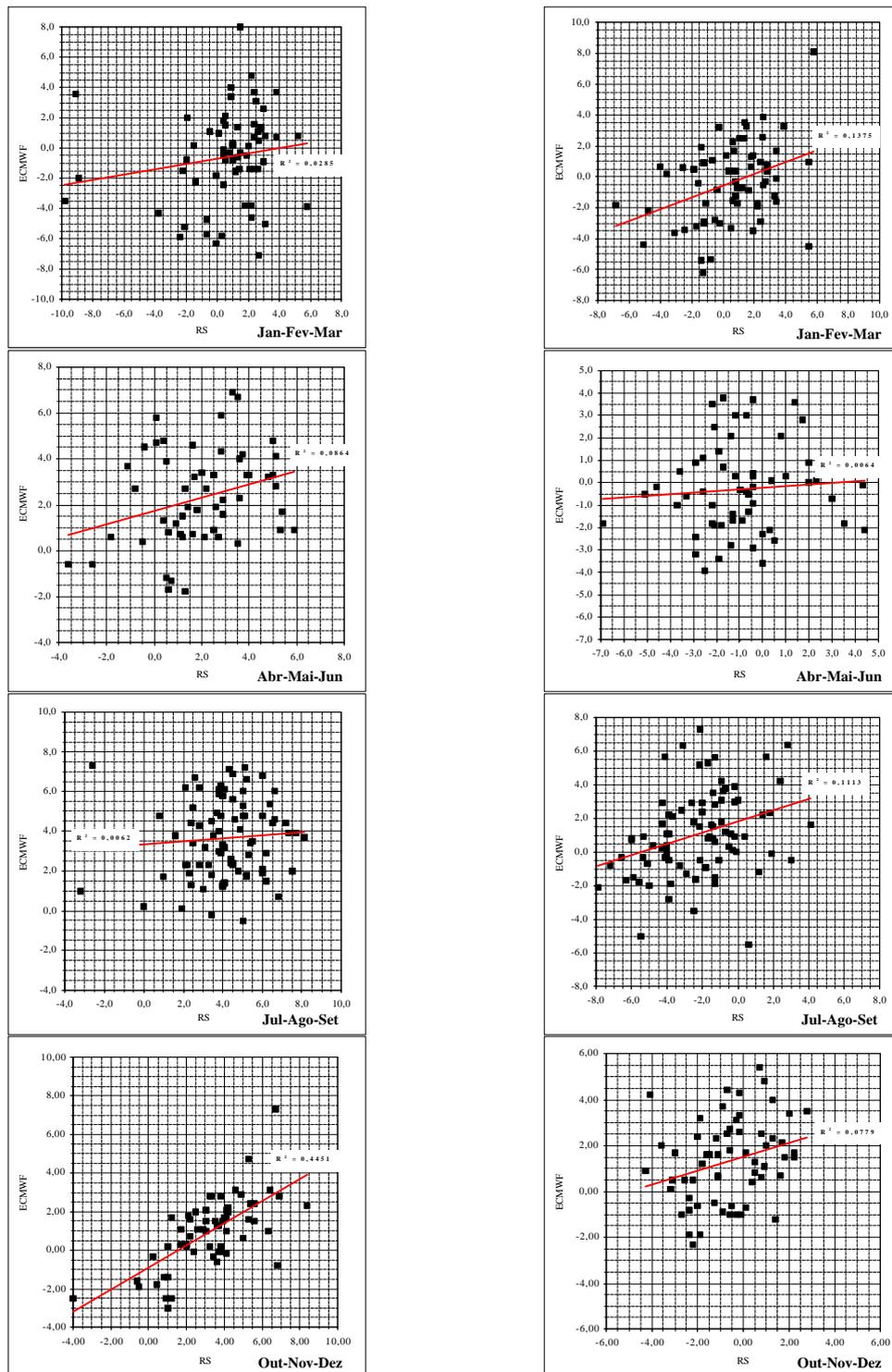


Fig. D.3 - Gráficos de dispersão da componente V do vento entre as radiosondagens (em camadas) e as re-análises do ECMWF (em níveis), para 1992 (à direita usa-se 850-700 hPa e 850 hPa e à esquerda usa-se 700-500 hPa e 700 hPa).

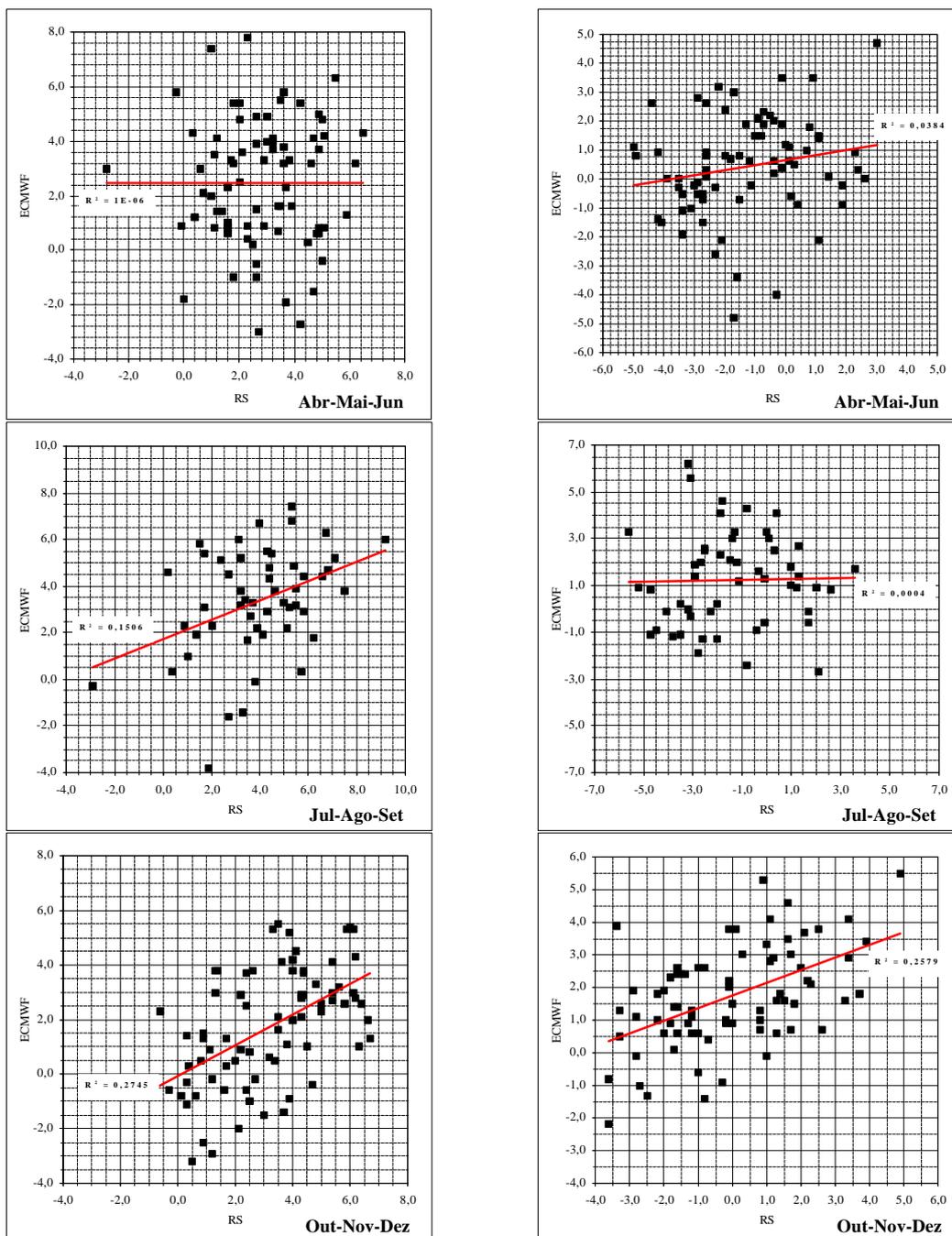


Fig. D.4 - Gráficos de dispersão da componente V do vento entre as radiosondagens (em camadas) e as re-análises do ECMWF (em níveis), para 1993 (à direita usa-se 850-700 hPa e 850 hPa e à esquerda usa-se 700-500 hPa e 700 hPa).

APÊNDICE E

DISTRIBUIÇÃO SAZONAL E INTERANUAL DOS DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE EM ALCÂNTARA, ENTRE 1988-1997

**TABELA E.1 - PERÍODO DE OCORRÊNCIA DOS DOLs NAS CAMADAS DE
850-700, 700-500 E 850-500 hPa, ENTRE 1988-1997**

1) 850-700 hPa		2) 700-500 hPa		3) 850-500 hPa		Ocorrência dos DOLs nas três camadas
Período	Duração (dias)	Período	Duração (dias)	Período	Duração (dias)	
03-08/03/88	6	05-13/03/88	9	03-08/03/88	6	SIM
-	-	-	-	10-14/03/88	5	-
-	-	16-20/03/88	6	-	-	-
24-27/03/88	4	-	-	23-27/03/88	5	-
09-10/04/88	4	07-12/04/88	6	09-12/04/88	4	SIM
19-21/04/88	3	19-21/04/88	3	19-21/04/88	3	SIM
-	-	03-10/05/88	8	05-08/05/88	4	-
08-11/05/88	4	-	-	-	-	-
22-24/05/88	3	-	-	20-23/05/88	4	-
03-08/06/88	6	-	-	-	-	-
-	-	20-27/06/88	8	20-24/06/88	5	-
-	-	05-07/07/88	3	-	-	-
-	-	09-11/07/88	3	07-10/07/88	4	-
-	-	-	-	14-21/07/88	8	-
-	-	28-31/07/88	4	-	-	-
-	-	08-12/08/88	5	08-15/08/88	8	-
-	-	17-19/08/88	3	-	-	-
-	-	-	-	19-22/08/88	4	-
-	-	-	-	25-29/08/88	5	-
-	-	02-04/09/88	3	-	-	-
-	-	-	-	06-09/09/88	4	-
-	-	-	-	16-17/09/88	4	-
-	-	20-25/09/88	6	-	-	-
-	-	03-05/10/88	3	04-07/10/88	3	-
-	-	10-12/10/88	3	-	-	-
13-15/10/88	4	-	-	13-15/10/88	3	-
-	-	-	-	22-24/10/88	3	-
-	-	23-28/10/88	6	-	-	-
-	-	-	-	27-29/10/88	3	-
03-05/11/88	3	-	-	03-05/11/88	3	-
-	-	08-12/11/88	5	-	-	-
-	-	21-28/11/88	8	22-28/11/88	7	-
04-09/12/88	6	06-08/12/88	3	06-08/12/88	3	SIM
13-15/07/89	3	-	-	-	-	-
19-21/07/89	3	18-20/07/89	3	-	-	-
25-30/07/89	6	25-28/07/89	4	-	-	-
-	-	-	-	04-06/08/89	3	-
-	-	18-19/08/89	3	-	-	-
-	-	29-31/08/89	3	-	-	-
-	-	21-23/10/89	3	-	-	-
12-15/11/89	4	-	-	12-15/11/89	4	-
-	-	01-05/12/89	5	-	-	-
-	-	10-12/12/89	3	-	-	-
11-13/12/89	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	18-20/12/89	3	-
20-23/12/89	4	-	-	-	-	-
-	-	22-28/12/89	7	-	-	-
25-29/12/89	5	-	-	-	-	-
-	-	04-09/01/90	6	-	-	-
18-21/09/90	4	-	-	19-21/09/90	3	-
-	-	24-27/09/90	4	-	-	-

Continua

TABELA E.1 - (Continuação)

-	-	06-09/10/90	4	-	-	-
-	-	25-27/11/91	3	-	-	-
-	-	18-20/01/92	3	19-22/01/92	3	-
23-27/01/92	5	-	-	-	-	-
08-11/02/92	4	07-09/02/92	3	-	-	-
-	-	11-16/02/92	6	-	-	-
26-28/02/92	3	-	-	24-27/02/92	4	-
15-21/03/92	7	-	-	-	-	-
-	-	20-25/03/92	6	17-24/03/92	9	-
01-03/04/92	3	30/03-04/04/92	6	01-06/04/92	6	SIM
05-08/04/92	4	-	-	-	-	-
13-15/05/92	3	-	-	14-19/04/92	6	-
-	-	-	-	02-09/08/92	8	-
-	-	26-28/08/92	3	-	-	-
-	-	30/08-02/09/92	4	28/08-03/09/92	7	-
-	-	-	-	06-10/09/92	5	-
-	-	-	-	16-18/09/92	3	-
-	-	06-08/12/92	3	-	-	-
-	-	24/11-02/12/92	9	24/11-02/12/92	9	-
-	-	10-12/12/92	3	10-12/12/92	3	-
-	-	-	-	04-07/05/93	4	-
-	-	11-13/05/93	3	-	-	-
-	-	-	-	17-22/05/93	6	-
-	-	08-10/06/93	3	-	-	-
15-17/06/93	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	26-28/06/93	3	-
-	-	03-06/07/93	3	30/06-09/07/93	10	-
-	-	07-09/09/93	3	05-08/09/93	4	-
-	-	-	-	14-16/09/93	3	-
-	-	-	-	25-27/09/93	3	-
-	-	-	-	04-08/10/93	5	-
-	-	16-20/10/93	5	-	-	-
-	-	23-26/11/93	4	-	-	-
-	-	07-14/12/93	8	-	-	-
14-16/12/93	3	-	-	14-16/12/93	3	-
03-06/01/94	4	03-07/01/94	5	03-05/01/94	3	SIM
-	-	10-14/01/94	5	-	-	-
21-27/01/94	3	20-24/01/94	5	-	-	-
-	-	28/01-01/02/94	5	-	-	-
07-09/02/94	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	14-16/02/94	3	-
20-22/02/94	3	16-22/02/94	7	18-21/02/94	5	SIM
-	-	24-27/02/94	4	-	-	-
03-08/03/94	6	-	-	-	-	-
11-14/03/94	4	11-18/03/94	8	13-17/03/94	5	SIM
21-23/03/94	3	21-24/03/94	4	-	-	-
25-27/03/94	3	26-30/03/94	5	-	-	-
02-04/04/94	3	-	-	-	-	-
-	-	05-08/04/94	4	05-08/04/94	4	-
10-12/04/94	3	10-15/04/94	6	10-16/04/94	7	SIM
03-06/05/94	4	02-06/05/94	5	01-06/05/94	6	SIM
-	-	09-11/05/94	3	-	-	-
19-21/05/94	3	13-19/05/94	7	15-21/05/94	7	SIM
-	-	21-26/05/94	6	-	-	-
-	-	-	-	31/05-02/06/94	3	-
14-16/06/94	3	-	-	14-17/06/94	4	-
23-25/06/94	3	21-25/06/94	5	19-25/06/94	7	SIM
-	-	07-09/07/94	3	08-14/07/94	7	-
-	-	-	-	18-21/07/94	4	-
-	-	-	-	22-24/08/94	3	-
-	-	23-30/08/94	8	-	-	-
04-06/11/94	3	02-05/11/94	4	04-06/11/94	3	SIM
13-15/11/94	3	11-18/11/94	8	13-18/11/94	6	SIM
-	-	21-24/11/94	4	-	-	-
14-20/12/94	7	-	-	-	-	-
-	-	-	-	31/12/94-04/01/95	5	-
01-07/02/95	7	-	-	-	-	-
-	-	08-13/03/95	6	10-14/03/95	5	-
-	-	16-22/03/95	7	-	-	-
-	-	11-13/04/95	3	10-13/04/95	4	-

Continua

TABELA E.1 - (Conclusão)

17-20/04/95	4	-	-	-	-	-
02-04/05/95	3	02-04/05/95	3	-	-	-
-	-	03-05/06/95	5	-	-	-
-	-	-	-	07-10/07/95	4	-
-	-	-	-	14-17/07/95	4	-
-	-	20-22/07/95	3	20-24/07/95	5	-
26-28/07/95	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	08-11/08/95	4	-
-	-	07-11/09/95	5	07-11/09/95	5	-
-	-	-	-	23-26/09/95	4	-
-	-	-	-	18-21/10/95	4	-
-	-	-	-	03-05/12/95	3	-
09-15/12/95	7	-	-	07-15/12/95	9	-
-	-	10-12/01/96	3	10-12/01/96	3	-
15-19/01/96	5	15-19/01/96	5	15-19/01/96	5	SIM
-	-	-	-	22-26/01/96	5	-
16-18/02/96	3	16-18/02/96	3	16-18/02/96	3	SIM
-	-	23-25/02/96	3	-	-	-
-	-	28/02-02/03/96	4	27-29/02/96	3	-
04-09/03/96	6	-	-	-	-	-
-	-	07-12/03/96	6	07-10/03/96	4	-
-	-	-	-	09-12/04/96	4	-
25-27/04/96	3	-	-	-	-	-
-	-	05-08/05/96	4	-	-	-
20-22/06/96	3	19-21/06/96	3	16-21/06/96	6	SIM
-	-	28-30/06/96	3	28-30/06/96	3	-
-	-	02-07/07/96	6	02-08/07/96	7	-
12-14/07/96	3	13-16/07/96	4	13-17/07/96	5	SIM
-	-	-	-	25-27/07/96	3	-
-	-	10-12/9/96	3	-	-	-
-	-	18-20/09/96	3	17-19/09/96	3	-
-	-	21-24/10/96	4	-	-	-
-	-	18-20/11/96	3	-	-	-
19-28/11/96	10	-	-	-	-	-
-	-	-	-	23-25/11/96	3	-
-	-	25/11-01/12/96	7	27-30/11/96	4	-
22-24/12/96	3	-	-	-	-	-
03-05/01/97	3	-	-	-	-	-
29-31/01/97	3	-	-	29-31/01/97	3	-
-	-	26-29/03/97	4	25-29/03/97	5	-
01-05/04/97	5	-	-	03-08/04/97	6	-
14-16/04/97	3	-	-	-	-	-
-	-	-	-	07-10/05/97	4	-
-	-	-	-	22-25/05/97	4	-
24-27/06/97	4	-	-	-	-	-
-	-	-	-	04-07/07/97	4	-
-	-	-	-	15-20/07/97	6	-
17-26/07/97	10	-	-	-	-	-
-	-	23-25/07/97	3	22-25/07/97	4	-
-	-	-	-	27/07-01/08/97	6	-
07-09/08/97	3	-	-	07-14/08/97	8	-
-	-	03-07/09/97	5	-	-	-
-	-	-	-	07-09/09/97	3	-
-	-	22-29/09/97	8	-	-	-

APÊNDICE F

ESPECTROS DE POTÊNCIA DA COMPONENTE MERIDIONAL DO VENTO, NOS ANOS DE 1992 E 1993

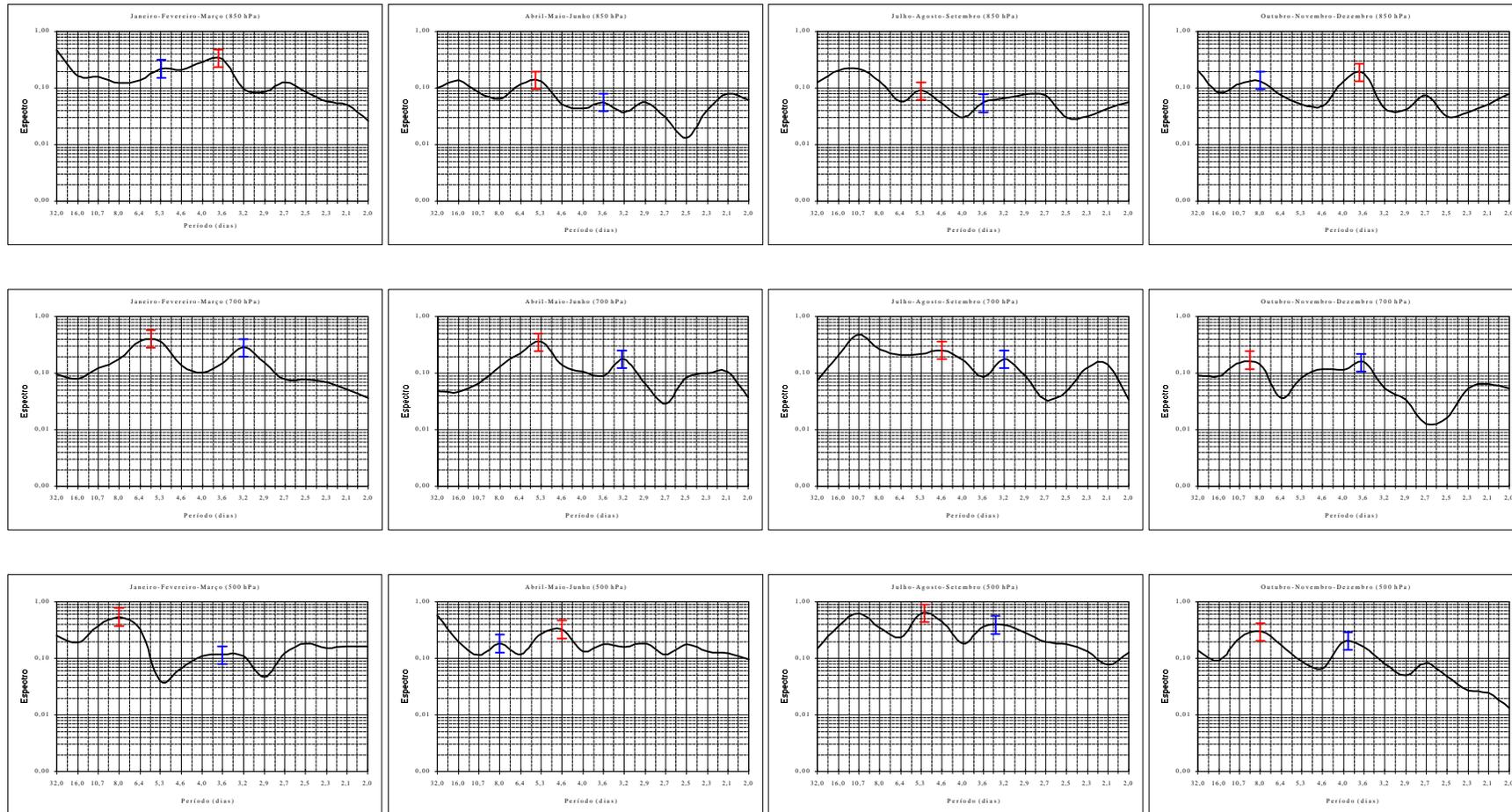


Fig. F.1 - Espectro de potência da componente meridional do vento entre janeiro e dezembro de 1992, em 850, 700 e 500 hPa. As barras vermelhas são os picos de energia e as azuis os picos secundários, entre 3-10 dias.

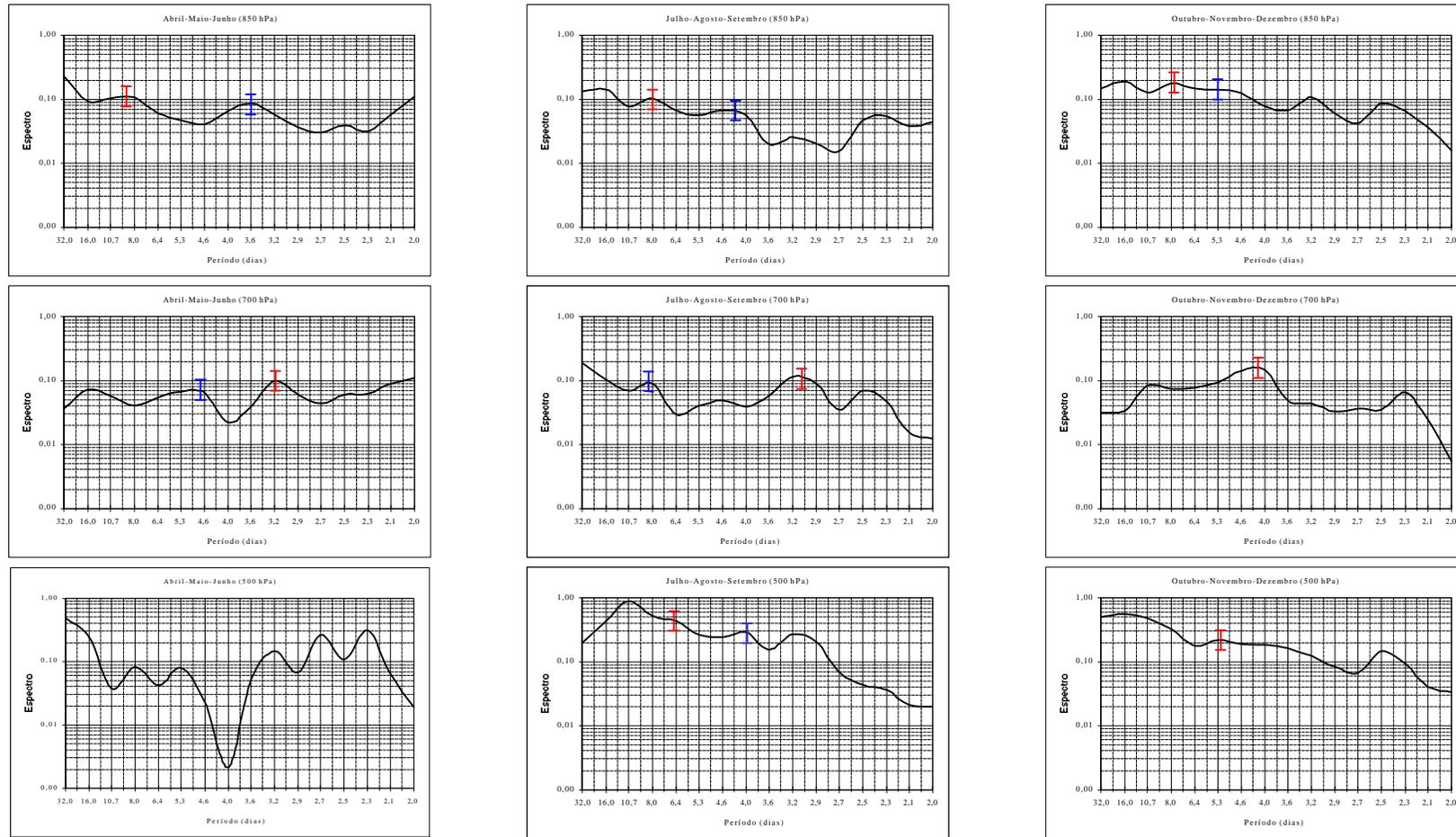


Fig. F.2 - Espectro de potência da componente meridional do vento entre abril e dezembro de 1993, em 850, 700 e 500 hPa. As barras vermelhas são os picos de energia e as azuis os picos secundários, entre 3-10 dias.