



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-15380-TDI/1399

**ESTUDO DOS VENTOS ENTRE 80 E 100 KM DE
ALTITUDE, UTILIZANDO RADAR METEÓRICO NA
REGIÃO DE SANTA MARIA (29,7 S; 53,8 O)**

Vânia Fátima Andrioli

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Geofísica Espacial,
orientada pelos Drs. Barclay Robert Clemesha e Paulo Prado Batista, aprovada em
28 de agosto de 2008

Registro do documento original:

<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.30.15.12>

INPE
São José dos Campos
2008

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO:**Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Simone A. Del-Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Viveca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-15380-TDI/1399

**ESTUDO DOS VENTOS ENTRE 80 E 100 KM DE
ALTITUDE, UTILIZANDO RADAR METEÓRICO NA
REGIÃO DE SANTA MARIA (29,7 S; 53,8 O)**

Vânia Fátima Andrioli

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Geofísica Espacial,
orientada pelos Drs. Barclay Robert Clemesha e Paulo Prado Batista, aprovada em
28 de agosto de 2008

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.30.15.12>>

INPE
São José dos Campos
2008

A28e Andrioli, Vânia Fátima.

Estudo dos ventos entre 80 e 100 km de altitude, utilizando radar meteorológico na região de Santa Maria (29,7 S; 53,8 O) / Vânia Fátima Andrioli. – São José dos Campos: INPE, 2008.
116p. ; (INPE-15380-TDI/1399)

Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

1. Oscilações atmosféricas. 2. Marés atmosféricas. 3. Radar meteorológico. 4. Ventos médios. I. Título.

CDU 551.510.413.3(816.5)

Copyright © 2008 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, microfílmico, reprográfico ou outros, sem a permissão escrita da Editora, com exceção de qualquer material fornecido especificamente no propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2008 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, microfilming, recording or otherwise, without written permission from the Publisher, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

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

Dr. Delano Gobbi



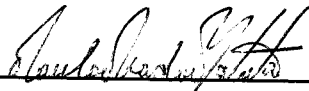
Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Barclay Robert Clemesha



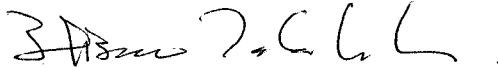
Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Paulo Prado Batista



Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Hisao Takahashi



Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Cristiano Max Wrasse



Convidado(a) / UNIVAP / São José dos Campos - SP

Aluno (a): Vânia Fátima Andrioli

São José dos Campos, 28 de agosto de 2008

“Há dois tipos de sabedoria: a inferior e a superior. A sabedoria inferior é dada pelo quanto uma pessoa sabe e a superior é dada pelo quanto ela tem consciência de que não sabe”.

“Tenha a sabedoria superior. Seja um eterno aprendiz na escola da vida. A sabedoria superior tolera, a inferior julga; a superior perdoa, a inferior condena”.

(Augusto Cury, 2002).

A meus pais
Luiz Santino &
Sirlei Melania Andrioli

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de apoio a Pesquisa e Desenvolvimento – CNPq, pela concessão da bolsa de pesquisa de mestrado, possibilitando a realização do presente trabalho.

Ao Dr. Barclay Robert Clemesha e Dr. Paulo Prado Batista pela orientação, atenção, apoio e empenho. Não medindo tempo, nem esforços para que este trabalho fosse desenvolvido da melhor forma possível.

Aos pais e irmãos, a autora agradece profundamente pelo incentivo, amor e palavras de conforto em momentos difíceis. A eles é dedicado cada mérito conquistado.

Ao Henrique Carlotto Aveiro, gostaria de agradecer enormemente pelas dicas de programação, de grande importância na realização do trabalho.

Às colegas de sala Fernanda, Danielle, Aline e Maira pela amizade, carinho e apoio nas horas de sufoco.

Ao Dr. Nelson Jorge Schuch pelo apoio à pesquisa e, sobretudo pela indicação aos orientadores de mestrado.

Por fim, gostaria de agradecer a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram no desenvolvimento deste trabalho. Especialmente a Deus por ter criado os fenômenos da Natureza possibilitando a pesquisa científica.

RESUMO

O presente trabalho é direcionado à análise dos ventos dominantes e marés atmosféricas solares, entre 80 e 100 km de altura, usando o radar meteorológico SKiYMET instalado em Santa Maria (29,7°S; 53,8°O). Este é o primeiro estudo detalhado dos dados coletados pelo radar SKiYMET - Santa Maria. O período utilizado na pesquisa foi constituído pelos três anos iniciais dos dados, 2005 a 2007. Médias mensais e anuais foram realizadas para investigar, respectivamente, as variações sazonais e inter-anuais dos ventos médios e marés atmosféricas. Os resultados obtidos para os ventos médios foram comparados com o modelo HWM-93 (Horizontal neutral Wind Model) e os resultados das marés atmosféricas com GSWM-00 (Global Scale Wave Model). Divergências foram encontradas nessas comparações. É encontrada variabilidade anual na componente zonal do vento médio que é diferente da apresentada pelo modelo HWM-93. A componente zonal da amplitude da maré diurna apresenta variabilidade anual enquanto que o GSWM-00 mostra variabilidade semianual para ambas as componentes horizontais. O comprimento de onda vertical da componente zonal da maré diurna é de ~27 km, bem menor do que o sugerido pelo modelo. A maré semidiurna é que mais apresenta divergências com os dados do GSWM-00. Há variabilidades sazonais e inter-anuais em ambas as componentes da amplitude da maré semidiurna. E o comportamento da fase é quase evanescente durante quase todos os anos. Além disso, comparações entre os dados dos três radares meteorológicos do Brasil mostram variações com a latitude tanto na maré semidiurna quanto na diurna.

STUDY OF WINDS FROM 80 TO 100 KM OF ALTITUDE BY METEOR RADAR AT SANTA MARIA (29,7°S; 53,8°W) REGION

ABSTRACT

The present work deals with prevailing winds and atmospheric solar tides from 80 to 100 km, measured by SKiYMET meteor radar at Santa Maria (29,7°S, 53,8°W). This is the first detailed study using the Santa Maria SKiYMET data. The data period used for this analysis is the three years of observation 2005 to 2007. Monthly and annual analyses are made to investigate, respectively, the season and inter-annual variations of mean winds and atmospheric tides. The results for the mean wind were compared with the HWM-93 (Horizontal neutral wind model) and the results of atmospheric tides were compared with the GSWM-00 (Global Scale Wave Model). Divergences were found in these comparisons. Annual variability is found in the zonal component of the mean wind that it is different to that of the HWM-93 model. The zonal component of the diurnal tide amplitude presents annual variability while GSWM-00 shows semianual variability for both components. The vertical wavelength of the zonal component of the diurnal tide is about 27 km, much smaller than suggested by the model. It is the semidiurnal tide that shows most divergence from GSWM-00. There is seasonal and inter-annual variability in both components of the semidiurnal tide. And the behavior of the phase is evanescent during almost all of the year. It is also found that comparisons between the data from the three Brazilian meteor radars show latitudinal variations in the semidiurnal and diurnal tide.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

LISTA DE SIMBOLOS

INTRODUÇÃO	23
1. A ATMOSFERA	23
1.1. OSCILAÇÕES DE GRANDE ESCALA NA ATMOSFERA	26
1.1.1. Ventos médios	26
1.1.2. Ondas planetárias	27
1.1.3. Marés atmosféricas	28
1.2. ONDAS DE GRAVIDADE	31
1.3. OBJETIVOS DO PRESENTE TRABALHO	31
2. DESCRIÇÃO GERAL DOS MODELOS	33
2.1. O MODELO HWM	33
2.2. O MODELO GSWM	34
MATERIAIS E MÉTODOS	39
3. RADAR METEÓRICO	39
3.1. FUNCIONAMENTO DO RADAR METEÓRICO “SKIYMET”	39
3.2. MEDIDAS DE VENTOS ENTRE 80 E 100 KM POR RADAR METEÓRICO	42
RESULTADOS	49
4. ANÁLISE DOS DADOS E COMPARAÇÃO COM OS MODELOS	49
4.1. VENTOS MÉDIOS	49
4.2. AMPLITUDE DA MARÉ DIURNA	53
4.3. FASE DA MARÉ DIURNA	58
4.4. AMPLITUDE DA MARÉ SEMIDIURNA	63
4.5. FASE DA MARÉ SEMI DIURNA	67
4.6. MÉDIAS ANUAIS	71
4.6.1. Média anual da amplitude da maré diurna	71
4.6.2. Média anual da fase da maré diurna	72
4.6.3. Média anual da amplitude da maré semidiurna	73
4.6.4. Média anual da fase da maré semidiurna	75
4.6.5. Razão entre a amplitude da maré diurna e semidiurna	77
5. COMPARAÇÕES COM OUTROS RESULTADOS	79
5.1. COMPARAÇÕES ENTRE AS TRÊS ESTAÇÕES BRASILEIRAS DE RADAR METEÓRICO	79
5.1.1. Vento médio	79
5.1.2. Maré diurna	81
5.1.3. Maré semidiurna	85
5.2. VARIABILIDADE DA MARÉ COM A LATITUDE	88
5.3. VENTOS PREDOMINANTES	92
5.4. VARIABILIDADE SAZONAL DA MARÉ DIURNA	94
5.5. VARIABILIDADE DA MARÉ SEMIDIURNA	97
6. CONCLUSÕES	101
7. TRABALHOS FUTUROS	105

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
APÊNDICE A – PROGRAMA DESENVOLVIDO PARA CÁLCULO DOS VENTOS.....	111

LISTA DE FIGURAS

1.1 - Atmosfera terrestre distribuída em camadas de acordo com o perfil de temperatura.	24
1.2 – Esquematização do fluxo meridional médio (linhas tracejadas), nos solstícios.	27
1.3 - a) Distribuição vertical da excitação térmica, ou forçante, devida ao vapor d'água (V1) e ao ozônio (V2); (b) Distribuição latitudinal da excitação térmica devida ao vapor d'água (H1) e ao ozônio (H2).	29
2.1 – Diagrama esquematizando as fontes de excitação térmica.	35
3.1 – Esquema representando o funcionamento do radar meteórico - SkiYmet.	40
3.2 – Cabeçalho do arquivo *.mpd para o radar de Santa Maria, bem como algumas linhas com informações de cada eco.	41
3.3 – Coordenadas da coluna de ionização do meteoro.	42
3.4 - Análise mensal dos ventos entre 80 e 100 km medidos com o radar meteórico em março de 2005 para Santa Maria.	45
3.5 - Análise mensal dos ventos entre 80 e 100 km medidos com o radar meteórico em março de 2005 para Santa Maria, realçando a queda da fase com a altura.	46
3.6 – Estatística mensal dos dados confiáveis fornecidos pelo radar meteórico de Santa Maria.	48
4.1 – Vento médio zonal e meridional no período de 2005 a 2007 (painéis inferiores) e o modelo HWM-93 (painel superior).	50
4.2 – Amplitude dos modos anual e semianual para o vento médio zonal.	52
4.3 – Fase dos modos anual e semianual para o vento médio zonal.	52
4.4 – Amplitude da Maré Diurna, para 2005, 2006, 2007 e o GSWM-00 em gráficos de contorno, realçando as variações sazonais.	55
4.5 – Amplitude da Maré Diurna nas componentes zonal e meridional de forma a realçar a variabilidade inter-anual.	57
4.6 – Fase da maré diurna no período de 2005 a 2007 comparada com o modelo GSWM-00, para Santa Maria.	60
4.7 – Fase da maré diurna para a componente zonal e meridional realçando a variação inter-anual.	62
4.8 – Amplitude da Maré Semidiurna para o período de 2005, 2006 e 2007 e o GSWM-00, para a região de Santa Maria.	64
4.9 - Amplitude da maré semidiurna nas componentes, zonal e meridional realçando a variabilidade inter-anual.	66
4.10 – Fase da maré diurna no período de 2005 a 2007 em comparação com o modelo GSWM-00.	68
4.11 – Fase da maré semidiurna nas componentes, zonal e meridional, realçando a variação inter-anual.	70
4.12 – Média anual para as componentes zonal e meridional da amplitude da maré diurna. Os dados do radar são apresentados nas linhas: preta,	

vermelha e verde, respectivamente, para os anos de 2005, 2006 e 2007. E na linha azul é apresentado o modelo GSWM-00.....	72
4.13 - Média anual para as componentes zonal e meridional da fase da maré diurna, nos anos de 2005 a 2007 comparados com o GSWM-00.....	73
4.14 – Média anual para as componentes zonal e meridional da amplitude da maré semidiurna. Os dados do radar são apresentados nas linhas: preta, vermelha e verde, respectivamente, para os anos de 2005, 2006 e 2007. E na linha azul é apresentado o modelo GSWM-00.....	75
4.15 – Média anual para as componentes zonal e meridional da fase da maré semidiurna. Os dados do radar são apresentados nas linhas: preta, vermelha e verde, respectivamente, para os anos de 2005, 2006 e 2007. E na linha azul é apresentado o modelo GSWM-00.	76
4.16 - Razões das componentes, diurna e semidiurna, para 2005 a 2007 bem como para o modelo GSWM-00 , em escala logarítmica.....	78
5.1 – Vento médio para três estações brasileiras São João do Cariri (7°S, 36°O) (linha tracejada vermelha), Cachoeira Paulista (23°S, 45°O) (linha pontilhada preta) e Santa Maria (30°S, 54°O) (linha com pontos e traços azul). Painéis à esquerda representam a componente meridional e à direita zonal, nos quatro meses representativos de cada estação do ano de 2005.....	80
5.2 – Idem a Figura 5.1, mas para a amplitude da maré diurna.	83
5.3 –. Idem a Figura 5.1, mas para a fase da maré diurna.....	84
5.4 – Idem a Figura 5.1 mas para a amplitude da maré semidiurna.	86
5.5 – Idem a Figura 5.3 mas para a maré semidiurna.....	87

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACP.....	Atividade Convectiva Profunda
AD.....	Adelaide (35°S, 138°O)
AE-E.....	.Atmosphere Explorer E satellite
AP.....	Índice geral da atividade magnética
ASCII.....	American Standard Code for Information Interchange
CARIRI.....	São João do Cariri – Paraíba
CI.....	Christmas Island (2°N, 157°O)
CP.....	Cachoeira Paulista – São Paulo
CRS/CIE/INPE – MCT.....	Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, Coordenação de Gestão Científica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Ministério da Ciência e Tecnologia
DE 2.....	Dynamics Explorer 2 satellite
EUV.....	Ultravioleta Extremo
GSWM-00.....	Modelo de onda com escala global (Global Scale Wave Model)
GT.....	Grahamstown (33,3°S, 26,5°L)
HN.....	Hemisfério Norte
HRDI.....	High Resolution Doppler Imager (HRDI)
HS.....	Hemisfério Sul
HWM-93.....	Modelo Horizontal de Ventos (Horizontal Wind Model)
MA.....	Média Anual
MF.....	Média Frequência (0,3 – 3,0 MHz)
MLT.....	Mesosfera Baixa Termosfera (Mesosphere and Lower Thermosphere)
MS.....	Média Sazonal
MSISE90.....	Mass-Spectrometer-Incoherent-Scatter Versão de 90
QBO.....	Oscilação quase bienal
SKiYMET.....	allSKy interferometric METeor
SM.....	Santa Maria – Rio Grande do Sul
UARS.....	Upper Atmosphere Research Satellite
UV.....	Ultravioleta
WINDII.....	Wind Imaging Interferometer

LISTA DE SIMBOLOS

H_1	Distribuição latitudinal da excitação térmica devida ao vapor d'água
H_2	Distribuição latitudinal da excitação térmica devida ao ozônio
V_1	Distribuição vertical da excitação térmica devida ao vapor d'água
V_2	Distribuição vertical da excitação térmica devida ao ozônio
(x, y, z)	Sistema de coordenadas cartesiano
$\mathbf{V}_m$	Velocidade do vento neutro
(V_x, V_y, V_z)	Componentes do vento (zonal, meridional e vertical)
r	Distância entre a antena receptora e o rastro meteórico
φ	Ângulo azimutal
θ	Ângulo zenital
$\frac{dr}{dt}$	Derivada temporal de r
$(\hat{i}, \hat{j}, \hat{k})$	Versores dos eixos de coordenadas, respectivamente x , y e z .
$\mathbf{V}_r$	Velocidade radial do rastro meteórico
y_i	Curva medida
y	Curva Ajustada
A, B, C	Coeficientes ajustados na equação
$\sum_i^n$	Somatório de i até n
(X_1, X_2, X_3)	Termos que acompanham cada coeficiente
V_0	Vento médio
V_1	Amplitude da maré diurna
ϕ_1	Fase da maré diurna
V_2	Amplitude da maré semidiurna
ϕ_2	Fase da maré semidiurna
V_3	Amplitude da maré terdiurna
ϕ_3	Fase da maré terdiurna

INTRODUÇÃO

1. A Atmosfera

A atmosfera pode ser tratada como um fluido envolvendo o planeta. A densidade de moléculas na atmosfera decai exponencialmente com o aumento da altura. Também a pressão possui esse comportamento. Os principais fatores que contribuem para essa variação das propriedades físicas com a altura são a radiação solar, a atração gravitacional e a composição química.

A Figura 1.1 ilustra a variação da temperatura com a altura e a divisão da atmosfera em camadas de acordo com esse perfil de temperatura. Assim, a atmosfera é dividida em Troposfera, Estratosfera, Mesosfera, Termosfera e Exosfera. Os pontos de máximos e mínimos, onde os gradientes de temperatura são nulos, são chamados de pausas.

A camada mais baixa é a Troposfera, a qual vai da superfície até aproximadamente 15-18 km. Nesta camada a temperatura diminui com a altura, e o valor deste gradiente, próximo a superfície, é de aproximadamente $-6\text{ }^{\circ}\text{C/km}$, até um mínimo de $\sim -40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta queda de temperatura é causada principalmente pela expansão adiabática das células de ar ascendentes devida à convecção e à absorção da radiação infravermelha.

Acima da Troposfera está a Estratosfera estendendo-se de 15 a 50 km de altura. Nela se encontra a camada de ozônio responsável por absorver grande parcela da radiação ultravioleta solar. Essa absorção de energia faz com que a temperatura, nesta camada, aumente com a altura.

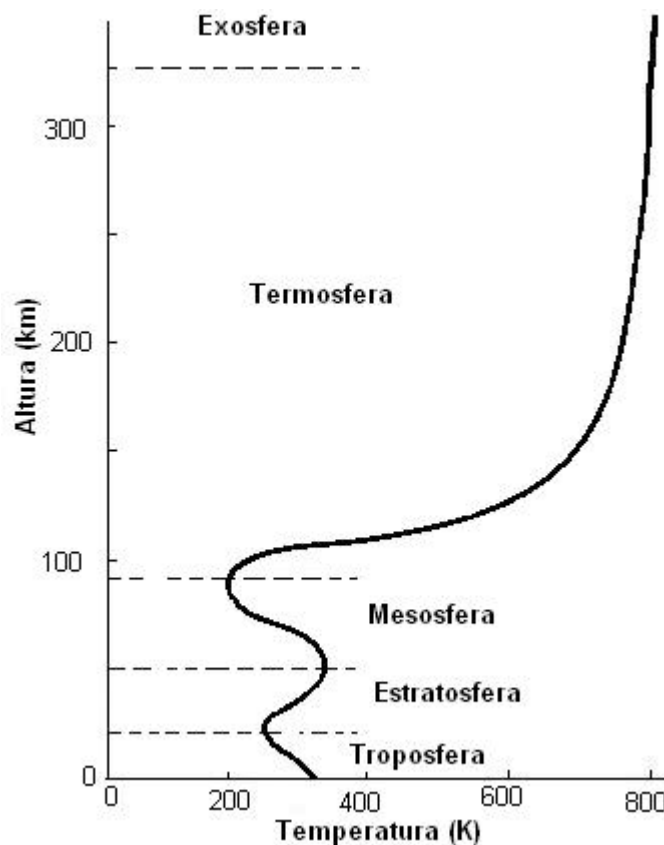


Figura 1.1 - Atmosfera terrestre distribuída em camadas de acordo com o perfil de temperatura.

FONTE: Adaptada de Kato (1980, p. 2).

A próxima camada é a Mesosfera, entre 50 e 100 km, onde a temperatura volta a cair com a altura atingindo seu valor mais baixo em 100 km. A região de interesse ao nosso estudo compreende a parte mais alta da Mesosfera, acima de 80 km e parte da próxima camada a ser citada, a Termosfera. Devido à quebra das ondas de gravidade, esta região apresenta forte turbulência no vento médio de fundo (FRITTS e ALEXANDER, 2003). A radiação solar EUV (extremo ultravioleta) incidente nesta camada ioniza algumas moléculas e átomos. Mas a densidade de moléculas neutras supera largamente a de moléculas ionizadas. A frequência de colisão entre íons e átomos/moléculas neutros é notável, fazendo com que as moléculas neutras arrastem as

moléculas ionizadas. Este arraste é que permite a medida dos ventos neutros utilizando o radar meteorológico.

A seguir vem a Termosfera, localizada entre 100 e aproximadamente 400 km de altura. Nesta camada, a temperatura volta a aumentar rapidamente com a altitude devido à dissociação iônica de algumas moléculas, como oxigênio, pela absorção dos raios X solares e EUV. A densidade de moléculas neutras é baixa, o que reduz a frequência de colisões entre moléculas neutras com íons.

A exosfera, situada acima de ~400 km e até aproximadamente 1000 km, é a camada mais externa da atmosfera, na qual, a densidade é extremamente baixa e a temperatura tende a aumentar até um valor assintoticamente constante, conhecido por temperatura exosférica. As partículas nesta região estão em órbitas balísticas e as colisões entre elas são raras.

Além deste aquecimento diferencial em altura, a atmosfera também está sujeita ao movimento de rotação da Terra, que provoca recebimento diferencial de energia em pontos diferentes da atmosfera, diurno e noturno. Isto gera oscilações complexas na atmosfera. As principais oscilações de grande escala na atmosfera são os ventos médios, as ondas planetárias e as marés atmosféricas. As ondas de gravidade, apesar de possuírem escala menor, também são importantes.

A região de interesse para o presente trabalho, entre 80 a 100 km, é conhecida como Mesosfera e Baixa Termosfera MLT (mesosphere and lower thermosphere). O principal mecanismo de transporte de energia das regiões mais baixas até a alta atmosfera é o movimento ascendente devido às oscilações acima citadas.

1.1. Oscilações de grande escala na atmosfera

As oscilações em fluidos surgem da variação de pressão, alternando entre regiões de compressão e regiões de expansão, causadas por um agente externo e uma força restauradora. Tomando-se um elemento desse fluido sujeito a tal vibração, esse ficará oscilando harmonicamente em torno de uma posição de equilíbrio graças às forças restauradoras. Assim, as ondas transportam energia e momento na atmosfera sem transportar matéria. Algumas das principais oscilações de interesse na atmosfera serão descritas a seguir.

1.1.1. Ventos médios

Na atmosfera de fundo ocorrem oscilações de períodos longos, quase estacionários os chamados ventos médios. Estas oscilações são governadas pelo balanço entre a energia solar absorvida na forma de radiação ultravioleta e a energia emitida ao espaço sob a forma de radiação infravermelha. A radiação ultravioleta é dependente da latitude, tendo nas partes mais altas da atmosfera um máximo próximo ao hemisfério de verão e um mínimo próximo ao hemisfério de inverno. Por outro lado, a radiação infravermelha não possui dependência muito forte com relação à latitude. Isto implica em um acúmulo de energia no hemisfério de verão e uma diminuição no hemisfério de inverno. No balanço energético ocorre um escoamento meridional do fluido, direção norte-sul. A Figura 1.2 ilustra esse movimento meridional para os solstícios. O efeito de Coriolis, sobre esse fluxo meridional, produz uma deflexão no fluxo gerando o vento zonal, direção leste-oeste.

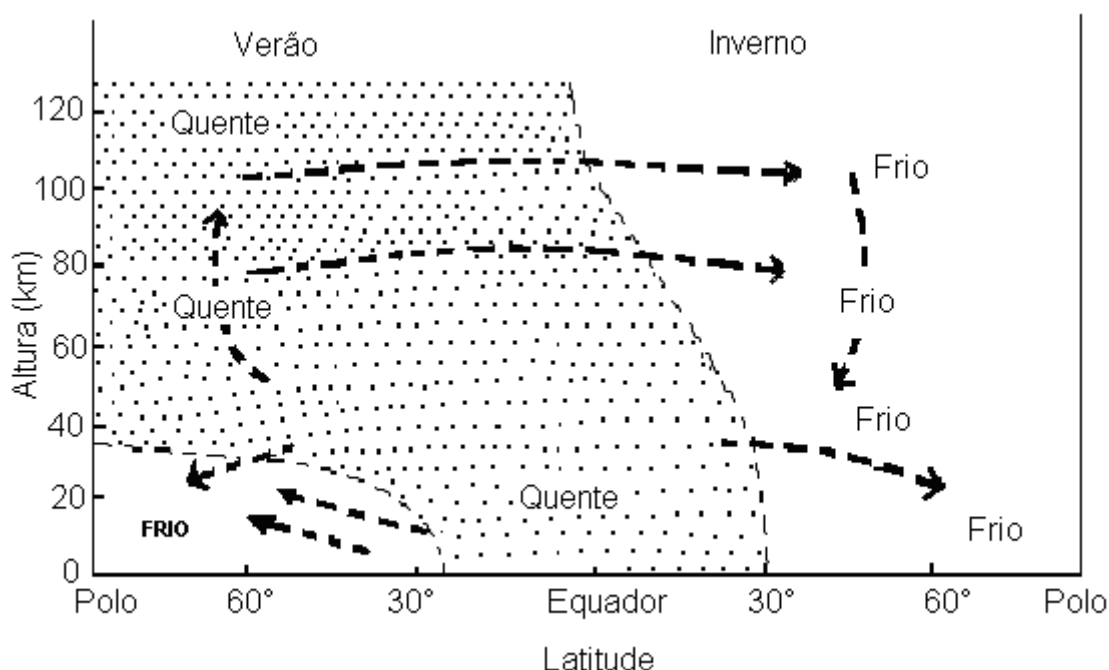


Figura 1.2 – Esquematização do fluxo meridional médio (linhas tracejadas), nos solstícios.

FONTE: Adaptada de Murgatroyd (1970, p.106).

Sobrepondo-se ao vento médio ocorrem outras oscilações cujos períodos são mais curtos, são elas as ondas planetárias e as marés atmosféricas.

1.1.2. Ondas planetárias

As ondas planetárias são oscilações de escala global e períodos da ordem de dias. Elas possuem estrutura horizontal da ordem da circunferência da Terra. A ação da força de Coriolis no vento zonal age sobre a atmosfera como uma força externa, resultando em ondas horizontalmente transversais. Embora as origens das ondas planetárias não estejam bem esclarecidas, processos convectivos, instabilidades baroclínicas e barotrópicas, interações não lineares entre marés atmosféricas e ondas de gravidade ou entre modos diferentes de ondas de marés, variações isoladas na topografia, e aquecimento diferencial entre continentes e oceanos têm sido apontadas como principais fontes de ondas planetárias (BEER, 1974). Pancheva et al. em 2008 propuseram que

essas ondas são forçadas por processos de instabilidade convectiva de larga escala na troposfera tropical acompanhada pela liberação de calor latente. As ondas planetárias mais comumente detectadas são: a onda de quase dois dias, de cinco dias, de quase oito dias e de quase 16 dias.

1.1.3. Marés atmosféricas

As marés atmosféricas são oscilações com períodos que são harmônicos do dia solar ou lunar. A maré diurna possui o período de 24 horas, a semidiurna de 12 h, e assim sucessivamente. Esclarecimentos a respeito de forçantes das marés lunares são descritos em Chapman e Lindzen (1970) e não serão tratadas neste trabalho. As marés solares são produzidas pela absorção da radiação solar infravermelha, pelo vapor d'água e CO₂ na troposfera, e da radiação ultravioleta, pelo ozônio na estratosfera (FORBES E GARRETT, 1979). A Figura 1.2 (a) mostra um modelo simplificado de como se dá a distribuição vertical da excitação térmica devida ao vapor de água e ao ozônio, já a Figura 1.2 (b) mostra a distribuição latitudinal da excitação térmica devida ao vapor d'água representado por H1 e ao ozônio representado por H2.

Nas regiões próximas a mesopausa, as marés produzem efeitos importantes sobre os campos de densidade, temperatura e pressão. Forbes et al. (1993) mostraram que a dissipação molecular e turbulenta da maré diurna pode acelerar os ventos, zonal e meridional, na baixa termosfera.

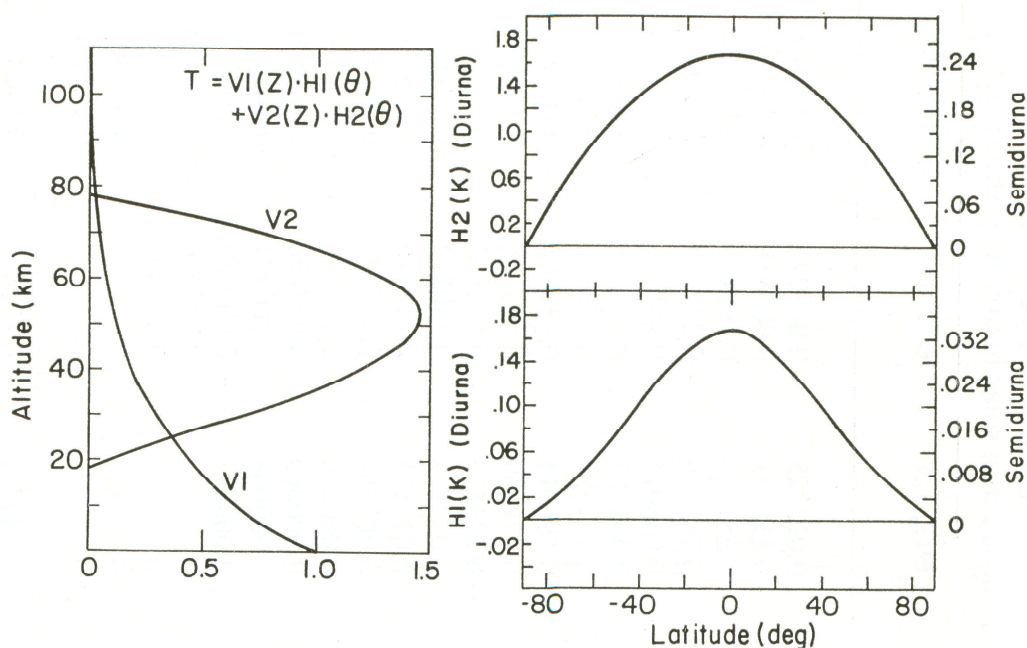


Figura 1.3 - a) Distribuição vertical da excitação térmica, ou forçante, devida ao vapor d'água (V1) e ao ozônio (V2); (b) Distribuição latitudinal da excitação térmica devida ao vapor d'água (H1) e ao ozônio (H2).

FONTE: Adaptado de Chapman e Lindzen (1970, p. 127).

A amplitude da maré diurna possui comportamento característico com variabilidade sazonal, apresentando máxima amplitude nos equinócios e mínima nos solstícios. Uma das principais características da maré diurna é transportar energia para cima enquanto que sua fase se propaga para baixo com a altura. A principal fonte geradora da maré diurna é a forçante solar.

A fonte geradora da maré semidiurna também é a absorção térmica da radiação solar. A variabilidade sazonal dessa componente da maré vem sendo atribuída, à deposição de momento na região MLT pela quebra de ondas de gravidade. A principal característica destas ondas é a fase não se propagar com altura, sendo assim, dita quase evanescente. A maré semidiurna possui comprimento de onda vertical longo, desde 33,4 km para o modo (2,6) até 311 km para o modo (2,2) como mostrado na Tabela 1 adaptada de Forbes (1987).

Os modos de propagação surgem das equações da teoria clássica de marés que podem ser vistas com detalhes em Chapman e Lindzen (1970).

Na Tabela 1 são apresentados os principais modos de marés e suas principais características. A segunda coluna, denominada (s,n), representa os modos, onde “s” é o número de onda, 1 para maré diurna e 2 para semidiurna, e “n” indica o modo de propagação. O “n” positivo significa que a onda tem propagação na vertical, ou seja, é do tipo gravidade, já “n” negativo indica que a onda é do tipo rotacional, ou seja, não tem propagação na vertical.

Tabela 1 – Nomenclatura usual dos principais modos de propagação de marés

Fonte: Adaptada de Forbes, 1987 p. 73

Maré	(s,n)	λ_z (km)	Descrição
Diurna	(1,1)	27,9	Gravidade: primeiro modo simétrico propagante
Diurna	(1,2)	15,9	Gravidade: primeiro modo assimétrico propagante
Diurna	(1,3)	11,2	Gravidade: segundo modo simétrico propagante
Diurna	(1,-1)		Rotacional: primeiro modo assimétrico aprisionado
Diurna	(1,-2)		Rotacional: primeiro modo simétrico aprisionado
Diurna	(1,-4)		Rotacional: segundo modo simétrico aprisionado
Semidiurna	(2,2)	311	Gravidade: primeiro modo simétrico propagante
Semidiurna	(2,3)	81,4	Gravidade: primeiro modo assimétrico propagante
Semidiurna	(2,4)	53,8	Gravidade: segundo modo simétrico propagante
Semidiurna	(2,5)	41	Gravidade: segundo modo assimétrico propagante
Semidiurna	(2,6)	33,4	Gravidade: terceiro modo simétrico propagante

É importante notar que a maré diurna possui tanto o modo de propagação rotacional quanto o de gravidade. Já a maré semidiurna possui somente o modo de propagação de gravidade.

1.2. Ondas de gravidade

As ondas de gravidade são oscilações com períodos curtos, da ordem da frequência de Brünt Väissäla até a frequência inercial, entre 5 a 100 km (FRITTS E ALEXANDER, 2003), e escala espacial desde quilômetros à milhares de quilômetros. Elas têm grande importância como mecanismo de transporte de energia e momento da baixa atmosfera até a região MLT. As fontes mais comuns de geração de ondas de gravidade são: os ventos sobre montanhas, convecção e cisalhamento de vento. Alguns outros exemplos de fontes que também são importantes incluem ajustamento e desbalanço de fluxos nas proximidades de jatos e sistemas frontais, forçantes ligados a dissipação da onda e interações onda-onda (FRITTS E ALEXANDER, 2003).

1.3. Objetivos do presente trabalho

O presente trabalho tem por objetivo o estudo dos ventos dominantes e marés atmosféricas, entre 80 e 100 km de altura, sobre a região de Santa Maria (30° S; 54° O). Para tal estudo, foi utilizado um radar meteorológico do tipo SKYMET, instalado nesse local. As componentes horizontais do vento foram decompostas em harmônicos do dia solar, assim encontrando as componentes de marés e vento médio.

1.3.1. Objetivos específicos

Um dos objetivos específicos desse estudo é a comparação dos resultados obtidos dos ventos médios do radar meteorológico de Santa Maria com dados do modelo global de ventos horizontais HWM-93. Com isso, pretende-se realizar uma melhor caracterização dos ventos médios sobre a região estudada.

Outro objetivo específico é a comparação dos resultados de marés atmosféricas obtidos na análise dos ventos do radar meteorológico de Santa Maria com os dados do modelo de ondas atmosféricas GSWM-00. Ainda, comparar

os resultados de Santa Maria com outros trabalhos realizados para latitudes semelhantes. Dessa forma, pretende-se caracterizar as componentes de marés na região de Santa Maria e verificar a sua concordância ou não com o GSWM-00 revelando pontos fortes e fracos do modelo..

2. DESCRIÇÃO GERAL DOS MODELOS

2.1. O modelo HWM

O Horizontal neutral Wind Model (HWM-93) é um modelo empírico de ventos neutros horizontais. Foi desenvolvido por A. E. Hedin e colaboradores com base em dados dos satélites AE-E e DE 2 visando inicialmente estudar a termosfera. Uma análise em harmônicos esféricos é usada para descrever os ventos zonais e meridionais. A primeira edição do modelo, HWM-87, foi planejada para ventos acima de 220 km (HEDIN et al. 1988). A inclusão de dados de ventos obtidos por radar de espalhamento incoerente e interferômetro óptico Fabry-Perot possibilitou à versão HWM-90 ser expandida para altitudes inferiores a 100 km (HEDIN et al. 1991).

A versão atualmente fornecida é a do HWM-93, a qual utiliza dados de radar meteorológico, radar MF e foguetes-granadas descrevendo os ventos a partir do solo. Detalhes da metodologia podem ser encontrados em Hedin et al. 1996. As variações no ciclo solar são incluídas já na versão HWM-90, mas elas são supostas pequenas, na região meteórica, e nem sempre claramente delineadas nos dados atuais. Também são incluídas variações com a atividade magnética e índice Ap.

Um programa em linguagem FORTRAN calcula as variações nos ventos zonais e meridionais em altura, latitude e tempo. A expansão em harmônicos esféricos é utilizada como representação dessas variações, onde cada coeficiente é representado, por uma série de Fourier para cada dia do ano. O ajuste de curvas é feito por interpolação de polinômios cúbicos, cujos coeficientes são determinados pelo método dos mínimos quadrados. A resolução em altura é de 2 km iniciando a partir do solo. O arquivo de saída dos dados pode ser gerado de acordo com a preferência do usuário.

2.2. O modelo GSWM

O Global Scale Wave Model (GSWM-00) é um modelo numérico de ondas planetárias e marés solares na atmosfera terrestre descrito por Hagan et al. (1995, 1999, 2000 e 2002). O GSWM utiliza as previsões de marés e ondas planetárias como soluções das equações linearizadas de Navier-Stokes. As equações de Navier-Stokes podem ser encontradas com detalhes em Batchelor (1967). O modelo calcula a temperatura, densidade e pressão, além das componentes zonal, meridional e vertical do vento a partir do solo até a termosfera. O GSWM pode ser usado para calcular uma onda planetária não forçada para um determinado período e comprimento de onda, ou as marés diurnas e semidiurnas dada a excitação térmica.

O padrão do GSWM conta com resultados relativos à forçante de marés realístico, devido ao ozônio, vapor de água e os efeitos empíricos de climatologia de fundo e temperatura média zonal, densidade neutra, vento zonal bem como dissipação de ondas. As principais forçantes de marés utilizadas nas várias versões do GSWM são apresentadas na Figura 2.1. A absorção da radiação infravermelha na troposfera pelo vapor d'água é representada nessa figura pelas gotas de chuva azuis.

O GSWM-95 utiliza o método descrito por Groves (1992) para obter as taxas de aquecimento para os principais modos de marés, diurnas (1,1), (1,3), (1,-2), (1,-4), (1,-1), (1,2) e (1,-3) e semidiurnas, (2,2), (2,3), (2,4) e (2,6). Os resultados são dados para 4 meses representativos das estações, janeiro, abril, julho, o outubro.

A variação das concentrações de ozônio, dependentes da altura e latitude, é baseada em uma parametrização de Strobel (1978) que inclui o cálculo da forçante (UV) do ozônio, ilustradas na Figura 2.1 como listras vermelhas, na estratosfera e baixa mesosfera. Já a taxa de aquecimento na região próxima a

mesopausa é calculada pela densidade molecular de Oxigênio pelo MSISE90 que responde pela absorção da radiação nas bandas de Schuman-Runge (pontos rosa na elipse).

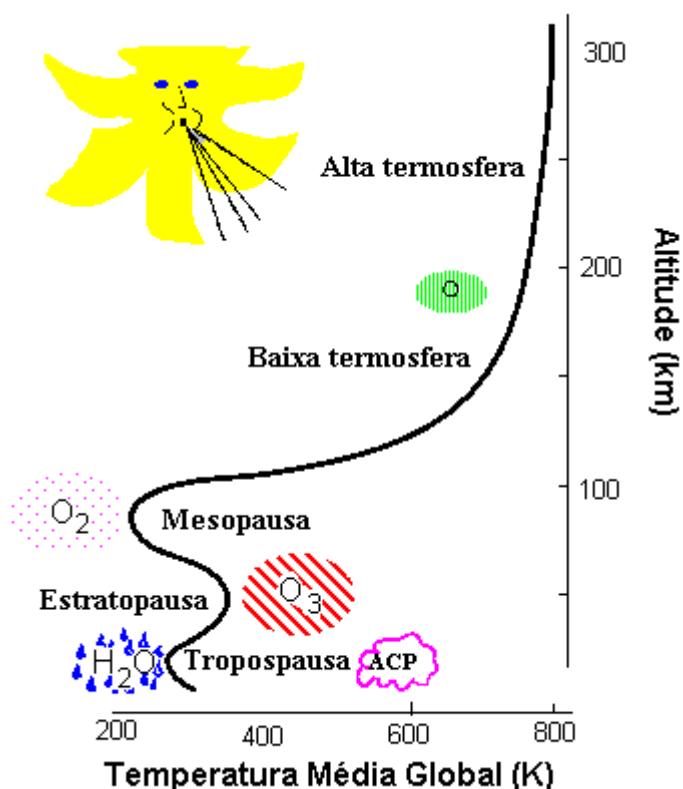


Figura 2.1 – Diagrama esquematizando as fontes de excitação térmica.

Fonte: Adaptada de Hagan (2007).

O GSWM-95 leva em conta os efeitos da turbulência gerada pela quebra de ondas de gravidade na alta mesosfera e baixa termosfera. Já a versão 98 do GSWM é uma extensão do modelo de 1995, utilizando os mesmos modelos para densidades e temperaturas médias descritas por Hedin et al. (1991). Essa versão do modelo utiliza os cálculos de médias mensais do vento médio zonal do imageador Doppler, HRDI e do modelo HWM-93, descrito por Hedin et al. (1996). Atualizações na parametrização dos efeitos das ondas de gravidade foram adicionadas além de modificações na atmosfera de fundo, baseadas em

6 anos de dados climatológicos coletados mensalmente pelo satélite UARS. Além disso, nesse modelo é incluída a variabilidade sazonal do arraste de ondas de gravidade, na maré diurna. Assim, um coeficiente efetivo de fricção Rayleigh entra no cálculo da maré diurna para parametrizar efeitos do arraste das ondas de gravidade. Além da fricção Rayleigh outros parâmetros dissipativos são incluídos: resfriamento Newtoniano, arraste iônico e condutividade molecular.

A versão GSWM-00 é uma atualização do modelo de 1998, onde os coeficientes de fricção Rayleigh são linearmente interpolados para fornecer valores mensais de amplitudes e fases para a maré diurna e semidiurna. Acima de 12 km o modelo roda com padrões de ventos de fundo descritos no GSWM-98. Abaixo de 12 km os ventos são do modelo semi-empírico Groves/MSIS. A temperatura e densidade de fundo do GSWM, são obtidas do modelo MSISE90 que usa um valor de fluxo solar em 10.7 cm de 120 e um índice Ap de 4 (HAGAN, 2007).

Na configuração padrão dos modelos GSWM-95, 1998 e 2000 somente fontes de excitação da maré migrante, através da absorção de radiação solar, são especificadas. Os correspondentes modelos não incluem aquecimento local termosférico (EUV), forçante devido ao oxigênio atômico (listras verdes na Figura 2.1) ou o calor latente liberado pela atividade convectiva profunda (ACP nuvem rosa na Figura 2.1) na troposfera. Resultados do GSWM que incluem efeitos dessa última forçante podem ser observados na literatura (FORBES e GROVES, 1987; WILLIAMS e AVERY, 1996; HONG e WANG 1980). A forçante devido ao calor latente é a mais significativa fonte da maré não migrante apresentada no modelo GSWM-02 .

Para o presente trabalho foram utilizados valores de amplitudes e fases das marés migrantes, diurna e semidiurna, apresentadas no GSWM-00, disponíveis on-line no endereço: <<http://web.hao.ucar.edu/public/research/tiso/gswm/>

model.html>. A saída do modelo GSWM-00 é apresentada em uma tabela ASCII que contém a amplitude e fase de cada componente da maré (diurna e semidiurna, zonal, meridional e vertical) nos pontos da grade de latitude e altura. O modelo tem resolução de 3° em latitude variando de 80° (Norte) à -80° (Sul) e resolução em altura de aproximadamente quatro quilômetros.

MATERIAIS E MÉTODOS

3. RADAR METEÓRICO

Milhões de partículas de poeira, provenientes do meio interplanetário, atingem diariamente a atmosfera da Terra. Estas partículas são chamadas de meteoróides, que ao entrarem na atmosfera terrestre sofrem ablação produzindo luz e ionização, fenômeno este chamado de meteoro.

Os cometas são grandes fontes de meteoróides. Pois, quando recebem a radiação solar, sofrem erupções devido às altas temperaturas em seu núcleo e ejetam partículas para o meio interplanetário. Assim, pelo movimento de translação da Terra, estas partículas podem ser capturadas pela atmosfera terrestre. Os meteoros podem ser esporádicos ou se distribuem de maneira mais organizada, sob forma de chuva de meteoros com órbitas definidas e periodicidade de retorno anual.

O rastro ionizado deixado pelos meteoros, também conhecido como trilha meteórica, é arrastado pelos ventos neutros. As ondas eletromagnéticas, emitidas por um radar, são refletidas pela trilha meteórica e, portanto, carregam informações sobre os ventos neutros. Dessa forma, o radar meteórico mede os ventos neutros por efeito Doppler dos ecos meteóricos detectados.

3.1. Funcionamento do radar meteórico “SkiYmet”

O radar meteórico utilizado neste trabalho é do tipo SkiYmet, ou seja, um radar de visada completa do céu. Este radar foi instalado em Maio 2004, pelo Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria, no campus da própria universidade (30° S; 54° O). Por problemas técnicos, ocorridos logo após a instalação, somente os dados, obtidos pelo radar, a partir de Janeiro de 2005 podem ser utilizados para a análise científica.

O radar SkiYmet possui uma antena transmissora de pulsos de Radio Frequência em 35.24 MHz. Esses pulsos são refletidos pelos rastros ionizados deixados pela ablação dos meteoros. Os ecos desses pulsos são detectados em 5 antenas receptoras as quais constituem um interferômetro. A figura abaixo esquematiza o sinal de onda de rádio sendo refletido nos rastros meteóricos e assim detectado pelo radar.

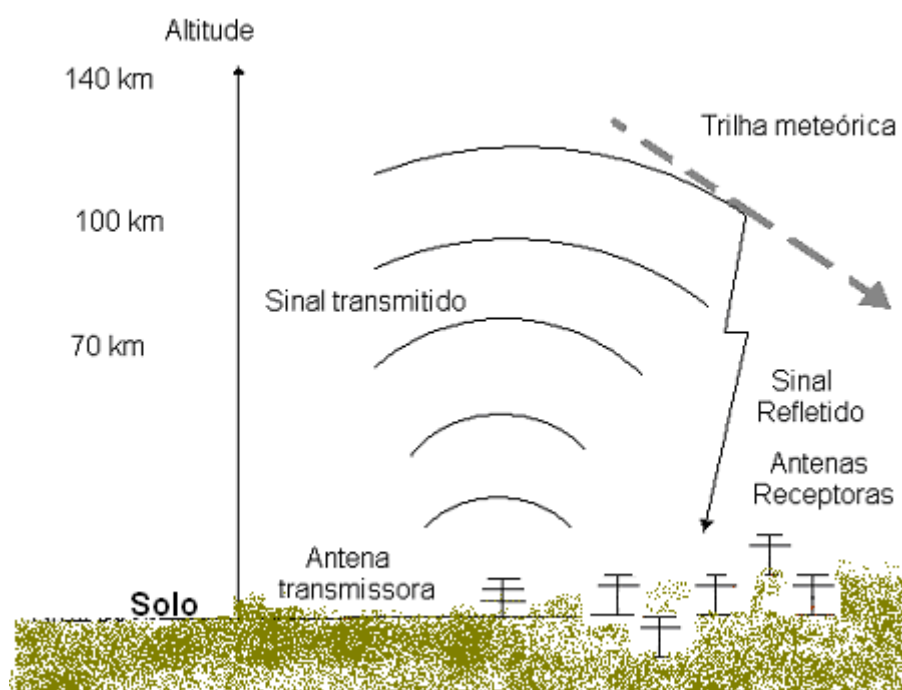


Figura 3.1 – Esquema representando o funcionamento do radar meteórico - SkiYmet.

O radar mede a distância entre suas antenas e o meteoro através da determinação do atraso entre a transmissão de um pulso curto de radiação eletromagnética e a chegada de seu eco. A duração do pulso transmitido permite uma resolução espacial de dois quilômetros. Através da interferometria é possível determinar a direção de chegada do eco com uma precisão em torno de 1° , tanto em azimute quanto em zênite. O movimento do rastro ionizado com relação a um referencial em que o radar encontra-se fixo, resulta num deslocamento Doppler do sinal recebido, proporcional à velocidade radial do

rastro. Desta maneira é possível medir a posição e a velocidade radial do rastro com boa precisão.

Para cada rastro detectado o radar registra a velocidade radial, distância e ângulos num arquivo texto *.mpd. Antes de determinar estes parâmetros o radar verifica as características do sinal para confirmar que realmente é de um meteoro e não um pulso de interferência. Para esta finalidade o software do radar examina a duração do pulso e seus tempos de subida e decaimento. O arquivo *.mpd registra o instante de detecção de cada meteoro, os parâmetros de velocidade e os erros. Na Figura 3.2 é mostrado o cabeçalho com os dados comuns para cada dia e algumas linhas de dados de um arquivo para cada eco meteórico. Através da análise destes dados é possível determinar a variação temporal e espacial dos ventos entre aproximadamente 80 e 100 km de altitude.

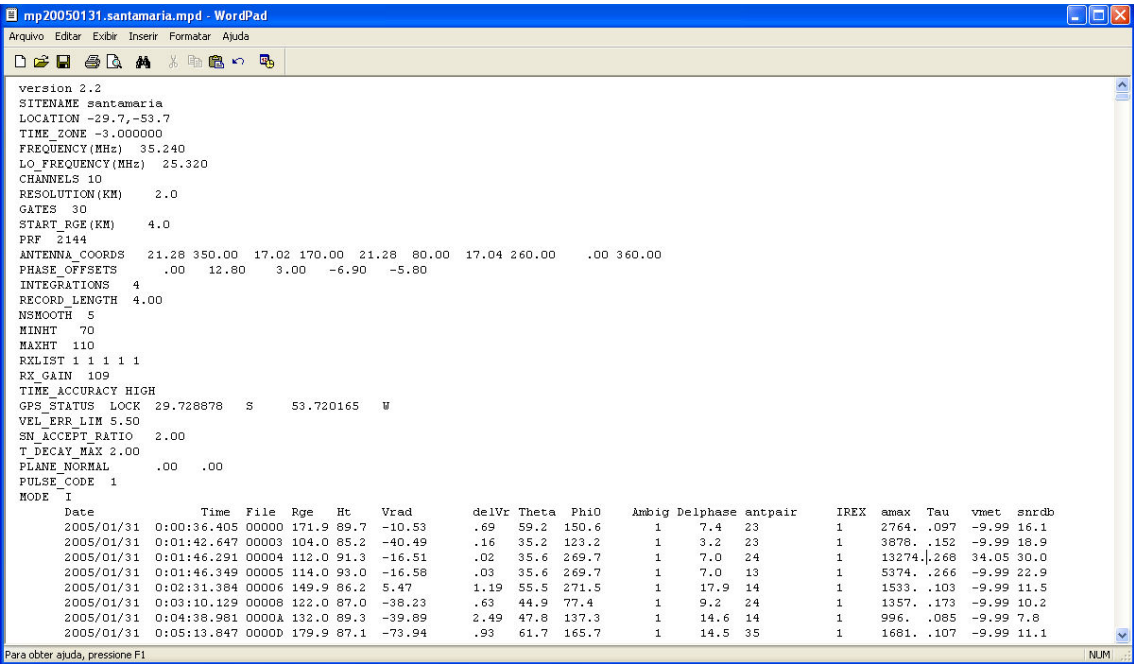


Figura 3.2 – Cabeçalho do arquivo *.mpd para o radar de Santa Maria, bem como algumas linhas com informações de cada eco.

3.2. Medidas de ventos entre 80 e 100 km por radar meteorológico

Supõe-se a existência de ventos uniformes quase horizontais na atmosfera superior com a mesma direção e velocidade na região de visada do radar. É estabelecido, então, um sistema de coordenadas esféricas com o eixo z na direção vertical, x positivo para leste e y apontado para norte, conforme a Figura 3.3. A velocidade do vento é dada por $\vec{V}_m$, $\vec{r}$ é a distância entre a antena receptora e o rastro do meteoro, onde V_z é sua componente vertical, V_x a componente zonal e V_y a componente meridional, o ângulo azimutal é definido por φ e o ângulo zenital, por θ . A velocidade radial em relação ao radar $\frac{d\vec{r}}{dt}$ é determinada pelo desvio Doppler do sinal refletido pela trilha (HOCKING et al., 2001).

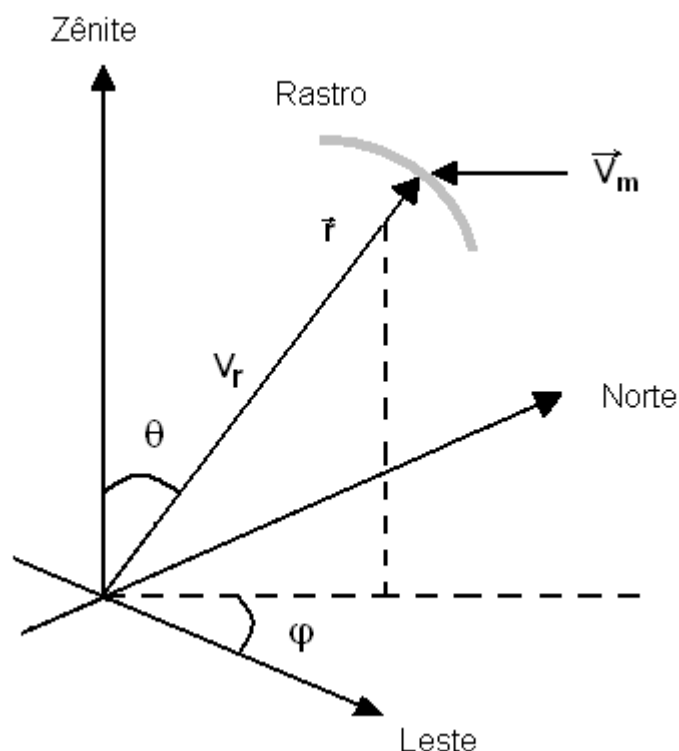


Figura 3.3 – Coordenadas da coluna de ionização do meteoro.

A Figura 3.3 mostra os eixos que representam as coordenadas da coluna de ionização do meteoro. A velocidade radial é determinada por

$$V_r = \frac{dr}{dt} = \left(\vec{r} \cdot \vec{V}_m \right) \frac{1}{r} \quad (3.1)$$

onde, V_r é a velocidade radial do rastro relativamente ao radar, $\vec{r}$ é a distância do traço até a antena receptora e $\vec{V}_m$ é a velocidade média do vento.

As componentes cartesianas são dadas por:

$$\vec{V}_m = V_x \hat{i} + V_y \hat{j} + V_z \hat{k} \quad (3.2)$$

$$\frac{\vec{r}}{r} = \hat{i} \sin \theta \cos \varphi + \hat{j} \sin \theta \sin \varphi + \hat{k} \cos \theta \quad (3.3)$$

$$V_r = V_x \sin \theta \cos \varphi + V_y \sin \theta \sin \varphi + V_z \cos \theta \quad (3.4)$$

A equação 3.4 é dada para cada meteoro detectado. O radar disponibiliza a medida dos ângulos, tanto zenital quanto azimuthal, e a velocidade radial. Porém as incógnitas são as componentes da velocidade (V_x , V_y , V_z). Para encontrar esses valores foi implementada uma rotina em IDL utilizando o método estatístico de regressão múltipla usando os mínimos quadrados. A equação 3.5 representa a curva harmônica a ser ajustada e a equação 3.6 mostra a soma das diferenças entre a curva medida, y_i , e o ajuste.

$$y = Ax_1 + Bx_2 + Cx_3 \quad (3.5)$$

$$\sum_i^n \left[y_i - (Ax_{1i} + Bx_{2i} + Cx_{3i}) \right]^2 \quad (3.6)$$

Neste método é realizada uma otimização que procura encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados tentando minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre a curva harmônica ajustada e os dados. Na equação 3.5 as constantes A, B e C correspondem respectivamente, às componentes da velocidade (V_x , V_y , V_z). O termo y_i corresponde à velocidade radial e as variáveis X_1 , X_2 e X_3 correspondem aos respectivos termos angulares que acompanham cada componente da velocidade.

Esta rotina desenvolvida para o cálculo mensal do vento chama-se vento.pro e encontra-se no apêndice A do presente trabalho. Vento.pro possui, logo após o cabeçalho, as variáveis de entrada as quais podem ser ajustadas conforme a necessidade do cálculo dos ventos. No primeiro passo, o programa faz a identificação dos ecos que ocorrem no mesmo instante de tempo com o intuito de verificar se os mesmos são provenientes de um único meteoro ou não. Para isso é analisada a diferença entre os ranges desses ecos, caso essa diferença seja menor que 6 km, considera-se um único eco. Tratando-se de um único eco, o programa toma aquele cuja amplitude é maior. Feito isso, são retirados os ecos que: possuem ambigüidade igual ou maior a dois, aqueles cujo tempo de decaimento (τ , coluna 15 da Figura 3.2) seja menor que 15 ms (10^{-3} segundos), os que não estejam dentro do intervalo de ângulo zenital admitido ($10^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$) além daqueles cujas velocidades radiais sejam maiores que a máxima permitida (150 m/s). Os passos descritos acima são considerados limpeza de sinal, ou eliminação de ruído e possível interferência.

O próximo passo separa os meteoros em faixas de altura e tempo a critério dos dados de entrada. Para esse trabalho foram tomados intervalos de altura, com resolução de 2.5 km, e de tempo com resolução de 1 hora. Com o objetivo de

minimizar as perturbações no vento de fundo, causadas não por forçantes de marés, foi realizada análise mensal dos ventos. Para isso, os meteoros registrados durante um mês inteiro foram acumulados como se ocorressem em 24 horas. Desta forma, é otimizada a assinatura das marés nos ventos. Um primeiro ajuste de mínimos quadrados, descrito acima, é realizado para cada faixa de altura e tempo para determinar as velocidades zonal, meridional e vertical do vento. Com esses coeficientes é realizado o cálculo inverso, ou seja, é calculada a velocidade radial de cada meteoro utilizado no ajuste e comparada com a velocidade medida pelo radar. Caso a diferença absoluta entre elas seja maior do que 100 m/s, esse meteoro é descartado. Posteriormente é realizado o segundo ajuste contendo somente os meteoros que passaram nessa filtragem.

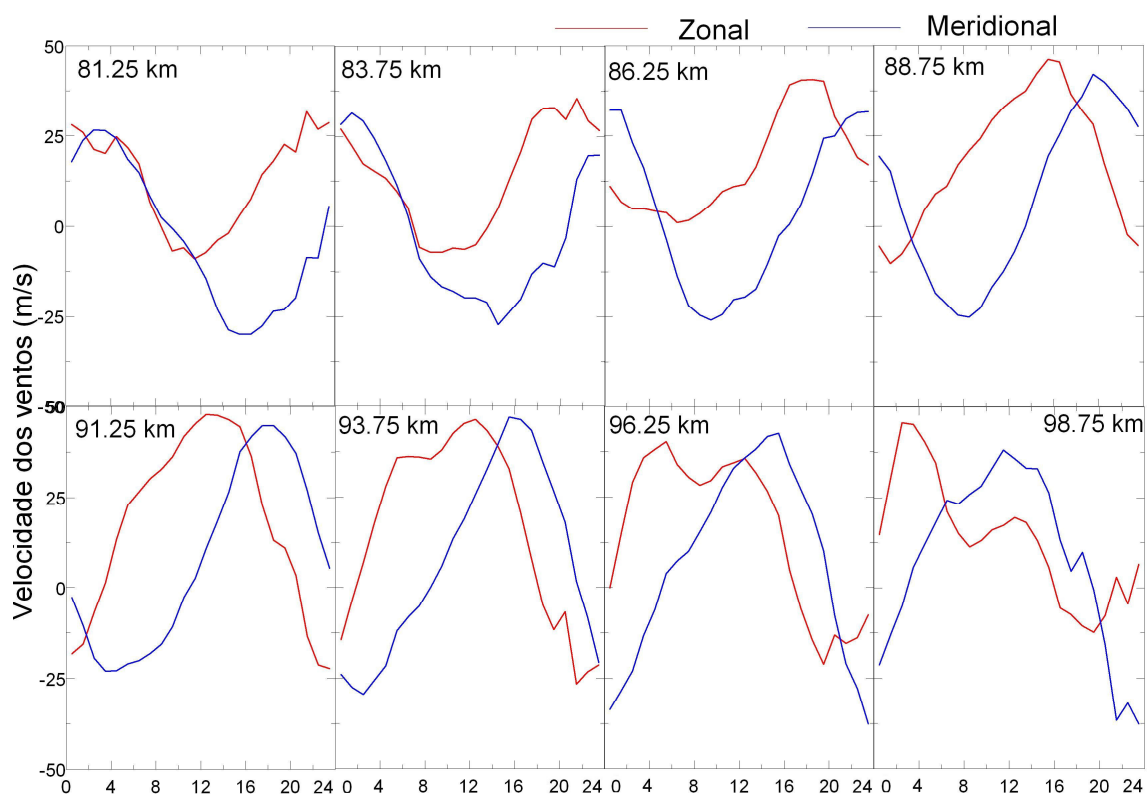


Figura 3.4 - Análise mensal dos ventos entre 80 e 100 km medidos com o radar meteorológico em março de 2005 para Santa Maria.

A saída do programa é dada em um gráfico contendo cada uma das 3 componentes do vento variando no tempo. Os resultados também são expressos em arquivos *.txt, para que melhor possam ser processados nos cálculos posteriores. Na Figura 3.4 é apresentado um exemplo da análise mensal de março de 2005 com dados do radar meteórico de Santa Maria. Nessa figura são mostradas as componentes do vento meridional, positivo para norte, e zonal, positivo para leste. O vento vertical é levado em conta nos cálculos, mas seus valores são estatisticamente irrelevantes e sua análise é, portanto ignorada. Na parte superior de cada gráfico é apresentada a altura do centro de cada faixa de 2,5 km tomada para o ajuste. É possível identificar na figura a assinatura forte da componente da maré diurna.

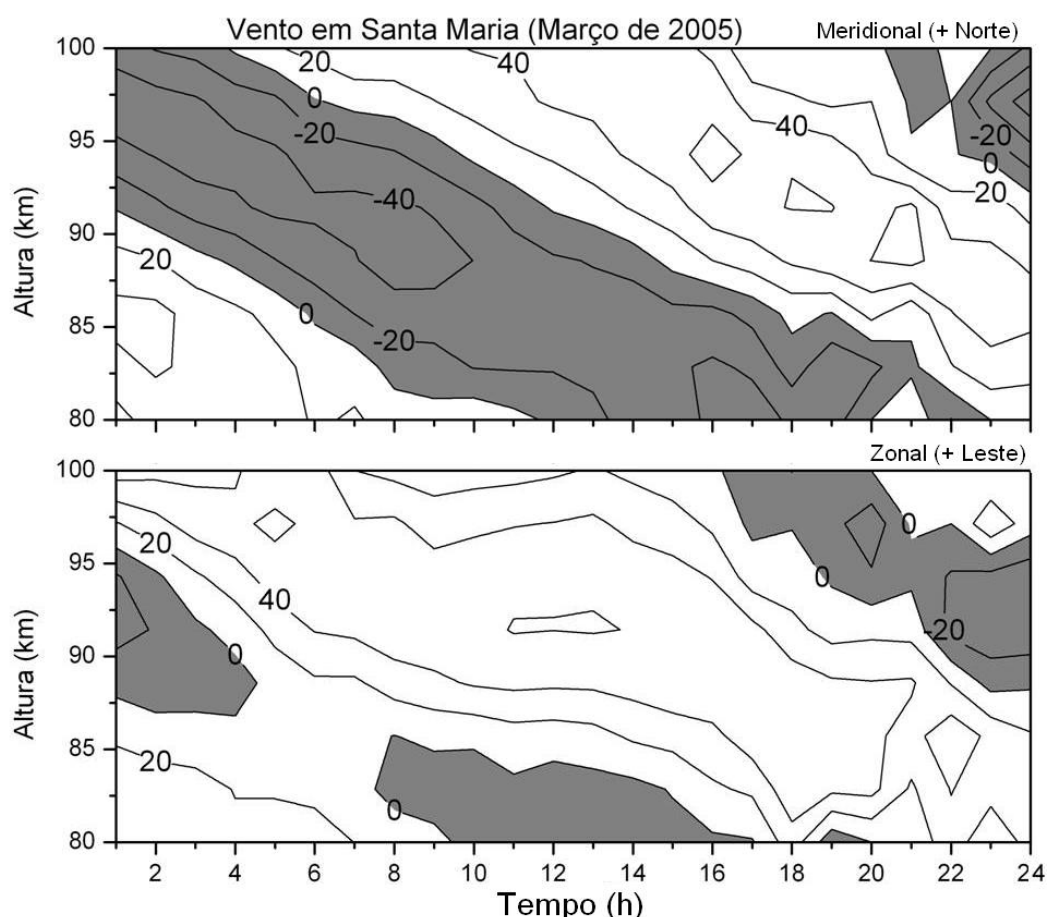


Figura 3.5 - Análise mensal dos ventos entre 80 e 100 km medidos com o radar meteórico em março de 2005 para Santa Maria, realçando a queda da fase com a altura.

Os dados da Figura 3.4 são apresentados em forma de gráfico de contorno na Figura 3.5. Nessa figura é possível notar claramente a fase da maré se propagando para baixo principalmente na componente meridional.

Para as médias anuais dos ventos, o programa vento.pro foi adaptado para que, ao invés de acumular os meteoros de um mês, fossem acumulados os meteoros de um ano inteiro. Os mesmos procedimentos para os ajustes foram utilizados. A adaptação deste programa chama-se vento_ANO.pro.

Após ser realizado o cálculo das componentes do vento, é realizado outro ajuste, o ajuste harmônico para determinação das amplitudes e fases de cada componente de maré. Para esse ajuste foi utilizado o programa REGRES, descrito por Bevington (1969). A equação 3.7 é utilizada nesse ajuste.

$$V(h,t) = V_0 + V_1 \cos\left(\frac{2\pi}{24}(t - \phi_1)\right) + V_2 \cos\left(\frac{2\pi}{12}(t - \phi_2)\right) + V_3 \cos\left(\frac{2\pi}{8}(t - \phi_3)\right) \quad (3.7)$$

Onde, V_0 é o vento médio, V_1 é a amplitude da maré diurna, ϕ_1 é a fase da maré diurna, V_2 é a amplitude da maré semidiurna, ϕ_2 é a fase da maré semidiurna, V_3 é a amplitude da maré terdiurna e ϕ_3 é a fase da maré terdiurna. Os resultados obtidos com essas equações são apresentados nos próximos capítulos.

O Radar Meteorológico de Santa Maria está em plena operação desde dezembro de 2004. Então, foram feitas análises mensais desses ventos para os anos completos de 2005, 2006 e 2007. Obviamente nesse intervalo de tempo houve dias em que o radar não operou perfeitamente. Um gráfico representando os períodos em que os dados do radar de Santa Maria são confiáveis é apresentado na Figura 3.6. Nessa figura é apresentada uma análise estatística mensal em percentual de dias confiáveis, onde 100 representa operação

perfeita do radar durante o mês inteiro. Pode-se notar que as falhas não comprometem a análise mensal dos dados realizada neste trabalho.

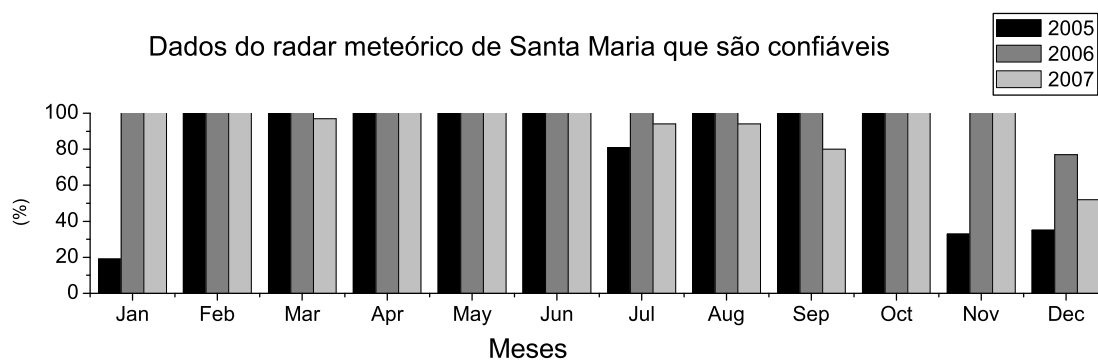


Figura 3.6 – Estatística mensal dos dados confiáveis fornecidos pelo radar meteórico de Santa Maria.

RESULTADOS

4. ANÁLISE DOS DADOS E COMPARAÇÃO COM OS MODELOS

O objetivo do presente trabalho é avaliar os ventos dominantes entre 80 e 100 km de altura na região de Santa Maria. As componentes de maré atmosféricas mais significativas são a diurna e a semidiurna. Assim, acredita-se que um bom mapeamento dos ventos na região citada será feito através da análise dessas duas componentes de maré além do vento médio.

4.1. Ventos médios

Na Figura 4.1 são mostradas medidas do vento médio na região de Santa Maria para os anos de 2005, 2006 e 2007 em comparação com o modelo HWM-93. Para rodar o modelo HWM-93 as variações com os ciclos solares e índices magnéticos não foram levados em conta já que suas contribuições não são importantes para a faixa de altura de interesse. Os efeitos das marés atmosféricas foram retirados já que o objetivo é tomar apenas o vento médio de fundo. Além disso, o dia 15 foi adotado como dia representativo de cada mês.

Pode-se notar, a partir da figura, que a componente meridional tem direção para sul, ou seja, valores negativos, nos meses de abril a setembro e para norte, valores positivos, nos meses de novembro a fevereiro. Isto vem a concordar com a teoria detalhada na Seção 1.1.1. Essa inversão dos fluxos mostra-se dependente com a altura. Além disso, nota-se que a magnitude dessa componente é bem pequena, permanecendo na maioria das vezes com módulos entre 5 e 15 m/s, contudo bem maiores que o modelo. Ainda para a mesma componente, o modelo apresenta variabilidade anual somente abaixo de 94 km, o que nos dados é observado em todas as faixas de altura.

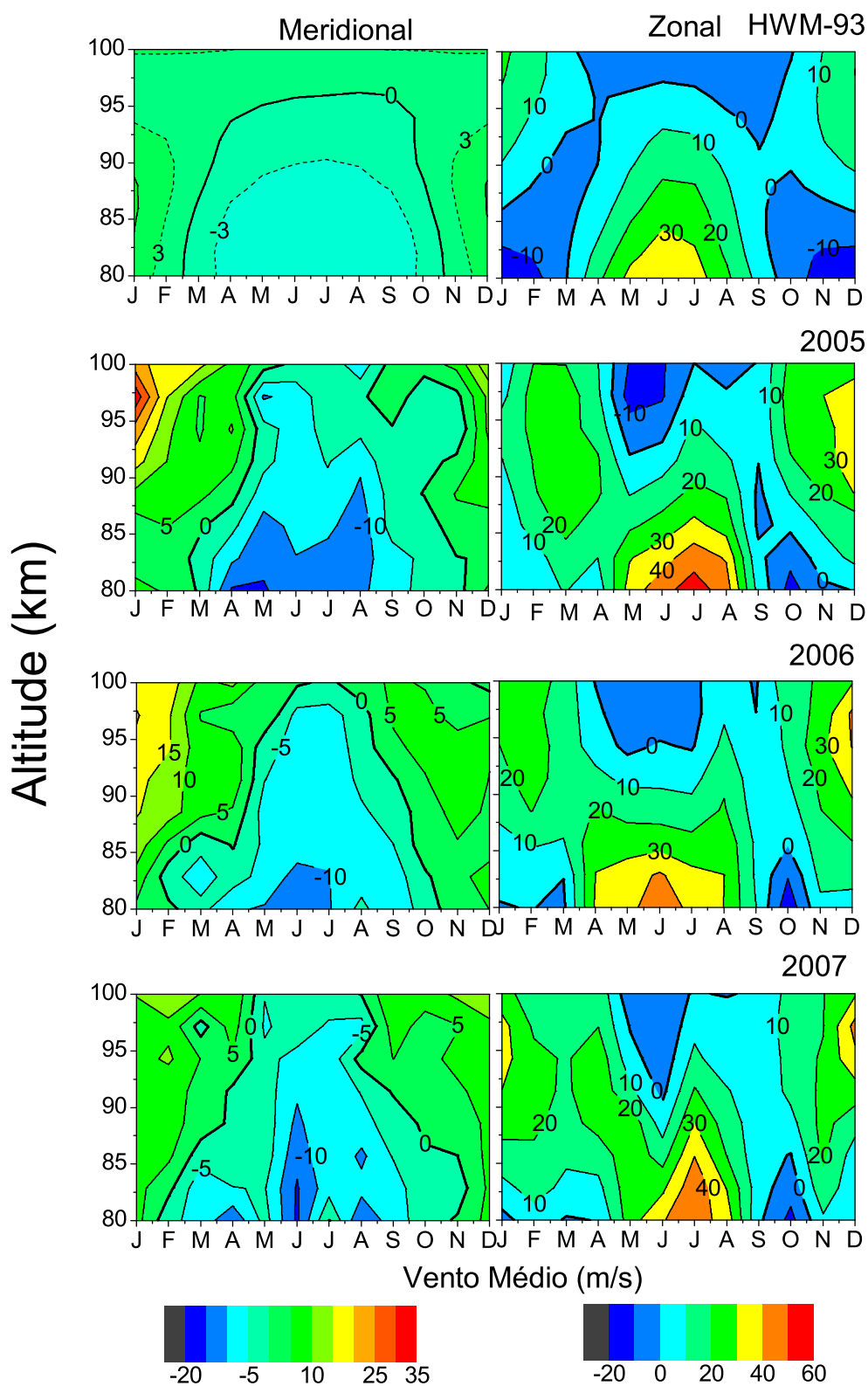


Figura 4.1 – Vento médio zonal e meridional no período de 2005 a 2007 (painéis inferiores) e o modelo HWM-93 (painel superior).

O vento médio zonal, como é consequência da força de Coriolis sobre o vento meridional, está sujeito à mesma variação anual. Porém, dados experimentais mostram que há variação semianual presente no vento zonal, indicando outras forças atuantes. O modelo HWM-93 por ser empírico também mostra essa variação em alguns níveis de altura, como pode ser observado na figura. Nos dados experimentais aqui apresentados, essa variação semianual é mostrada na forma de inversão do sentido do vento com relação à altura e uma aparente periodicidade anual e semianual variando com altura. A explicação para tal fenômeno pode ser encontrada através dos modos de dominância dessa periodicidade. Assim, foi realizada uma análise da periodicidade através de um ajuste harmônico de mínimos quadrados sobre as componentes dos ventos médios concatenadas dos três anos. A amplitude e a fase dos modos de dominância anual e semianual podem ser observadas nas Figuras 4.2 e 4.3.

Na Figura 4.2 nota-se para os dados do radar meteorológico dominância quase que total do modo anual. Porém, em 90 km, há uma notável queda na amplitude da componente anual e equivalência nos modos de dominância. Já o modelo apresenta inversão nos modos de dominância. Fritts e Alexander (2003) mostram que a atividade de ondas de gravidade entre 60 e 90 km tem periodicidade semianual. Aumento da atividade de ondas de gravidade sugere, inclusive, aumento na quantidade de energia e momento depositados nessa faixa de altura devida à quebra das mesmas. Pode-se então dizer que o cisalhamento em 90 km, observado na Figura 4.1, talvez esteja relacionado à forçante pela quebra de ondas gravidade.

A análise da fase, Figura 4.3, permite dizer que há boa concordância com o modelo no modo semianual, com a fase aprisionada entre os meses de junho/julho e dezembro/janeiro. Porém, no modo anual há completa discordância entre os dados e o modelo.

Amplitude anual e semianual para o vento médio zonal

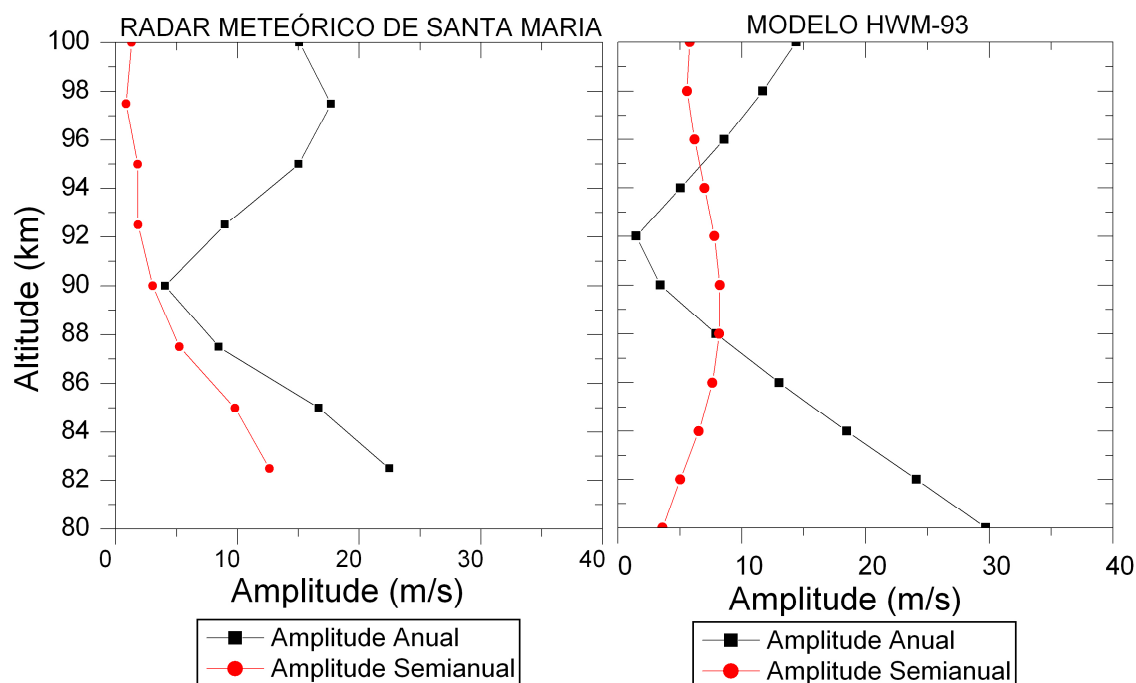


Figura 4.2 – Amplitude dos modos anual e semianual para o vento médio zonal.

Fase anual e semianual para o vento médio zonal

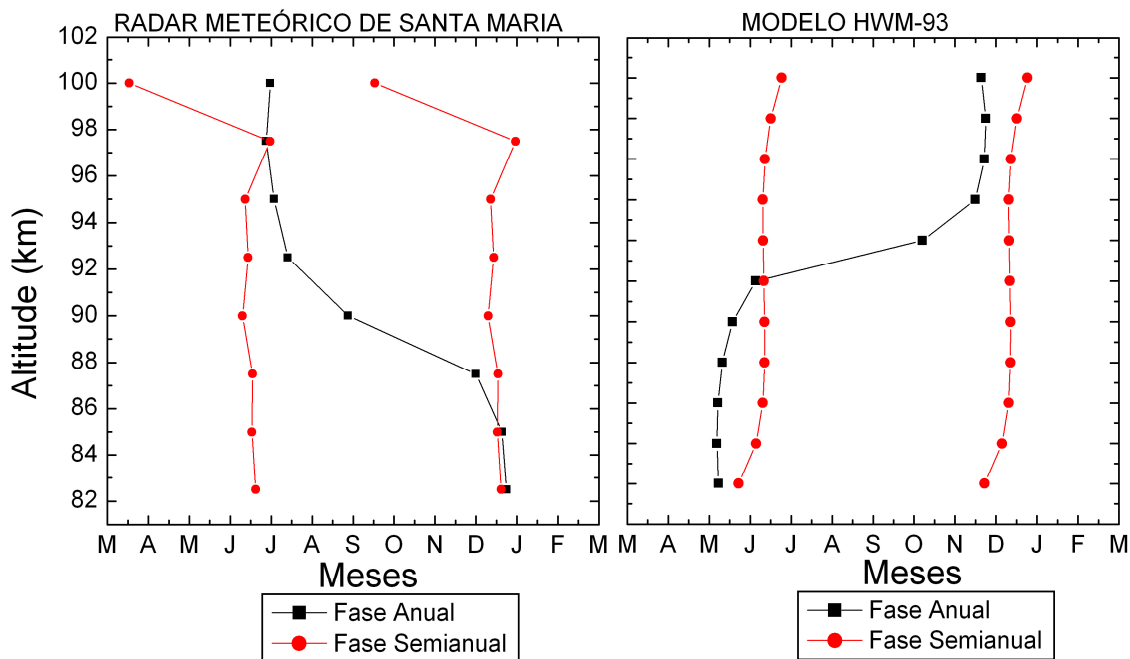


Figura 4.3 – Fase dos modos anual e semianual para o vento médio zonal.

4.2. Amplitude da maré diurna

Na Figura 4.4 são apresentados gráficos de contorno para os valores da amplitude da maré diurna. As isolinhas representam os valores da amplitude para a maré diurna em m/s (metros por segundo) variando em altura e tempo. As letras no eixo inferior representam a inicial de cada mês do ano. As amplitudes são apresentadas para os 3 anos de dados do radar, 2005, 2006 e 2007, em suas componentes zonal e meridional, comparadas com o modelo GSWM-00 nos painéis superiores.

O modelo GSWM-00 apresenta variabilidade semianual nos valores de amplitude para ambas as componentes, zonal e meridional, com um dos máximos ocorrendo entre abril e maio e o outro entre os meses de setembro e outubro. Esses picos ocorrem de forma idêntica ocorrendo na mesma faixa de altura e com mesmos valores de amplitude. Os valores de amplitude, na faixa de altura analisada entre 80 e 100 km, são crescentes com a altura, tanto para a componente zonal quanto para a meridional.

A componente meridional dos dados do radar mostra essa variabilidade semianual nos três anos, mas, com algumas discrepâncias em relação ao modelo. Os picos são observados nos meses de equinócio, contudo, há variação inter anual com relação aos meses de início e fim e inclusive com relação à intensidade. Os anos de 2005 e 2007 parecem ter maior semelhança, tendo o primeiro pico centrado em março e o segundo em torno de setembro e as amplitudes são parecidas. Já o ano de 2006 possui o primeiro pico estendendo-se desde fevereiro até abril e o segundo indo de agosto a outubro, apresentando amplitudes maiores no pico de outono e menores no pico de primavera relativamente aos outros dois anos. Além dessa variação inter anual, nota-se que o pico de outono é muito mais intenso que o de primavera, para todos os anos, chegando a ser até 3 vezes maior em 2006. Outra diferença dos dados com relação ao modelo é a altura dos máximos, a qual é em torno de 93

km, assim, os picos apresentam-se fechados, ou seja, acima de 93 km os valores da amplitude voltam a cair com a altura.

Para a componente zonal nota-se acentuada discrepância com o modelo no que diz respeito a variação semianual. Os dados apresentam-se de tal forma a sugerir uma periodicidade anual e não semianual como sugerida pelo modelo. Nota-se um único pico bem definido em torno de 93 km para os três anos, centrado entre março e abril, nos anos de 2005 e 2007, e alargando-se desde fevereiro até abril no caso de 2006, mostrando também a variabilidade inter-anual.

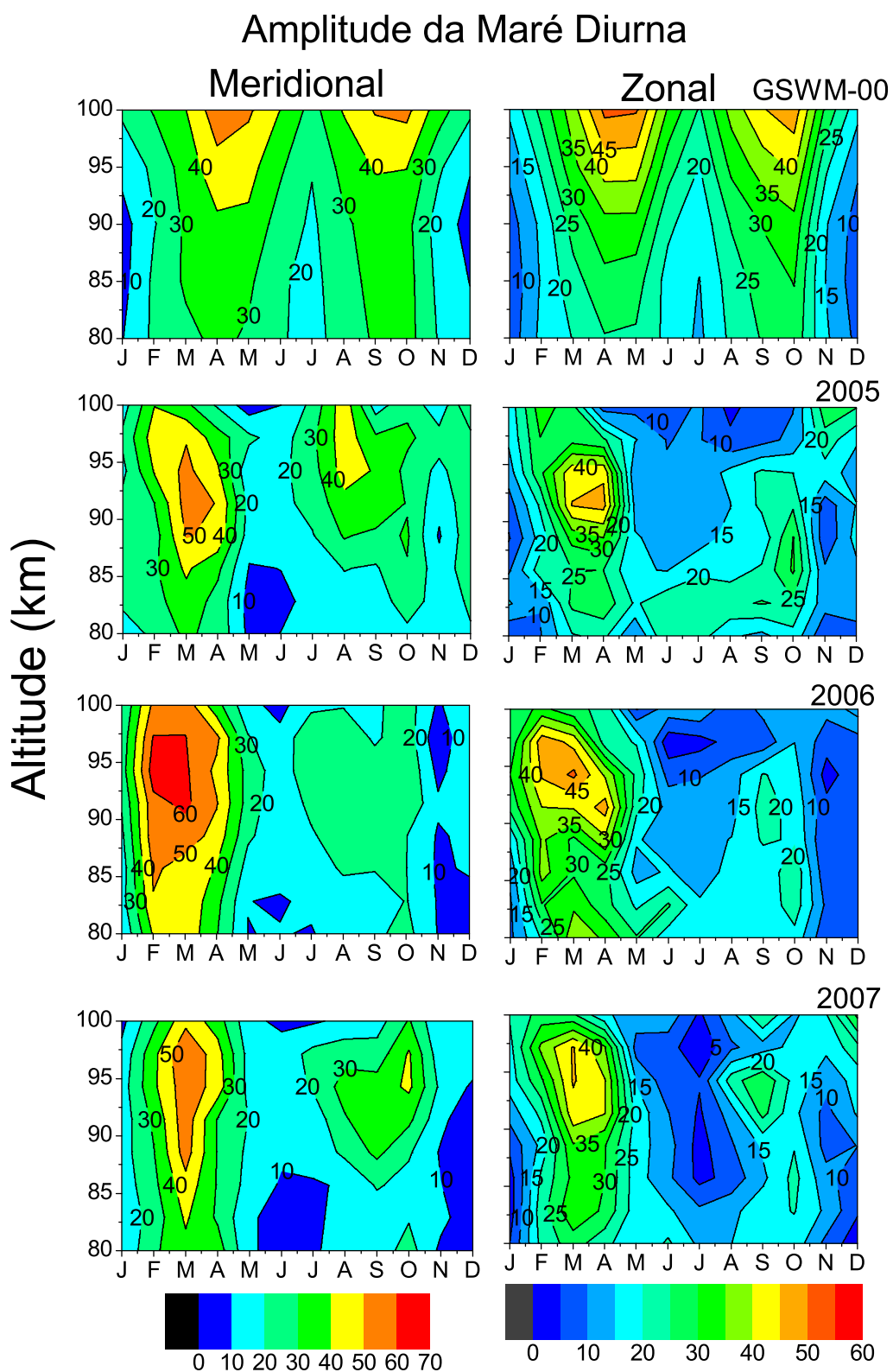


Figura 4.4 – Amplitude da Maré Diurna, para 2005, 2006, 2007 e o GSWM-00 em gráficos de contorno, realçando as variações sazonais.

No intuito de se obter maiores detalhes com respeito às variabilidades inter- anuais são apresentados na Figura 4.5 os gráficos de cada mês da amplitude variando com a altura sobrepostos aos valores para cada ano e para o modelo. Na parte superior da figura tem-se a componente meridional e na inferior a componente zonal. Analisando-se a componente zonal é possível notar que há boa concordância entre todos os dados inclusive com o modelo nos meses de Novembro e Dezembro. Nos meses de Abril a Outubro os dados do radar parecem concordar com os apresentados pelo modelo apenas em altitudes abaixo de 90 km, acima dessa altura a amplitude da maré diurna do modelo cresce com a altura, o que não é observado nos dados e com isso há total discordância entre os mesmos. A variabilidade inter-anual é claramente notada nos meses de Janeiro e Fevereiro, com 2006 tendo amplitudes bastante superiores aos demais, e em altas altitudes nos meses de Abril, Maio, Setembro, Novembro e Dezembro.

Para a componente Meridional os meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março apresentam amplitudes superiores às apresentadas pelo modelo. O mês de Julho concorda perfeitamente com o modelo inclusive por não apresentar variação inter-anual. Nos meses de Abril e Agosto as amplitudes dos dados são semelhantes às do modelo, mas nos demais meses há bastante discrepância já que esse possui seus valores aumentando com a altura. As variações inter- anuais mais acentuadas ocorrem nos meses de Fevereiro, com 2006 apresentando amplitudes muito superiores aos demais, e Dezembro com 2005 também apresentando amplitudes maiores. Abril, Maio, Agosto, Setembro, Outubro e Novembro apresentam variabilidades inter- anuais na faixa de 90 a 100 km, abaixo dessa faixa possuem valores coincidentes.

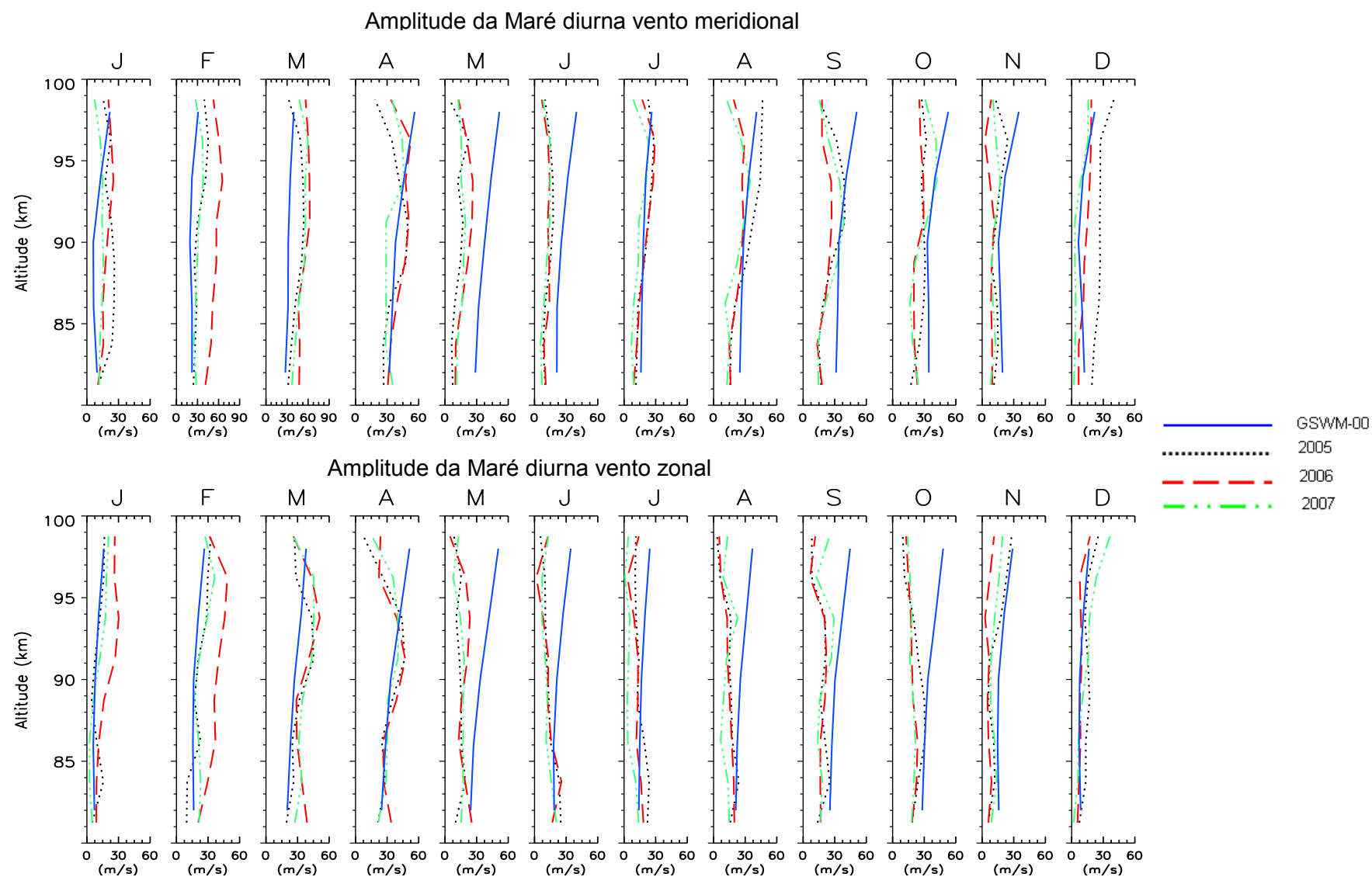


Figura 4.5 – Amplitude da Maré Diurna nas componentes zonal e meridional de forma a realçar a variabilidade inter-anual.

4.3. Fase da maré diurna

Na Figura 4.6 são apresentados gráficos de contorno para os valores da fase da maré diurna. As isolinhas representam hora de ocorrência de máxima amplitude da maré diurna variando em altura e tempo. As letras no eixo inferior representam a inicial de cada mês para os 3 anos de dados do radar, 2005 a 2007, além do modelo GSWM-00, nas componentes meridional a esquerda e zonal a direita. Nos painéis superiores são apresentados os gráficos de contorno para o modelo GSWM-00.

Pode-se observar em ambas as componentes a fase decrescente com a altura conforme a teoria apresentada na Seção 1.1.4. As variações sazonais são suaves e bastante semelhantes nas duas componentes, zonal e meridional, para o modelo. Porém, a componente zonal apresenta a fase adiantada em aproximadamente 6 horas com relação à componente meridional. Essa diferença de fase entre as componentes não é tão clara nos dados do radar. A fase varia bastante, mantendo o comportamento decrescente com a altura em ambas as componentes nos três anos de dados, com a componente zonal adiantada em relação a meridional durante quase todo o ano, exceto nos meses de Maio e Agosto. Nesses meses a fase, da componente zonal, apresenta variação abrupta com relação aos outros meses, tendo a hora de ocorrência de máxima amplitude aproximadamente as 20 h, próximo aos 100 km de altura, ao contrário dos outros meses onde a fase nessa altura ocorre ~8 h. Essa variação abrupta da fase entre os meses na componente zonal, não é observada nos dados do modelo GSWM-00.

Para a componente meridional o que é observado nos dados é que a hora de ocorrência da fase é entre 12 – 14 h, próximo aos 100 km de altura, e entre 2 – 4 h, do próximo dia, em torno dos 80 km. Já para a componente zonal ela ocorre, durante a maior parte do ano, entre 4 – 8 h, em torno de 100 km, e às 20 - 24 h, em torno de 80 km. Em outras palavras, significa que o comprimento

de onda da maré diurna é maior na componente meridional que na zonal. Com relação ao modelo a componente meridional possui um atraso de fase de aproximadamente 4h. Já para a componente zonal a fase inicia, com exceção dos meses de Maio e Agosto, aproximadamente no mesmo horário que o modelo, mas se estende por aproximadamente 8 horas a mais, indicando comprimento de onda menor nos dados que no modelo.

Pode-se observar também que na componente meridional há uma mudança abrupta de fase, no mês de Dezembro do ano 2006 que não é observada nos outros dois anos nem no modelo. Além disso, na mesma componente é observado um pequeno adiantamento da fase nos meses de inverno, de Maio a Agosto.

Principalmente na componente meridional é observada uma maior semelhança entre os anos de 2005 e 2007. Vincent et al (1998) relacionam essas diferenças inter-anuais às oscilações quase bienais, QBOs.

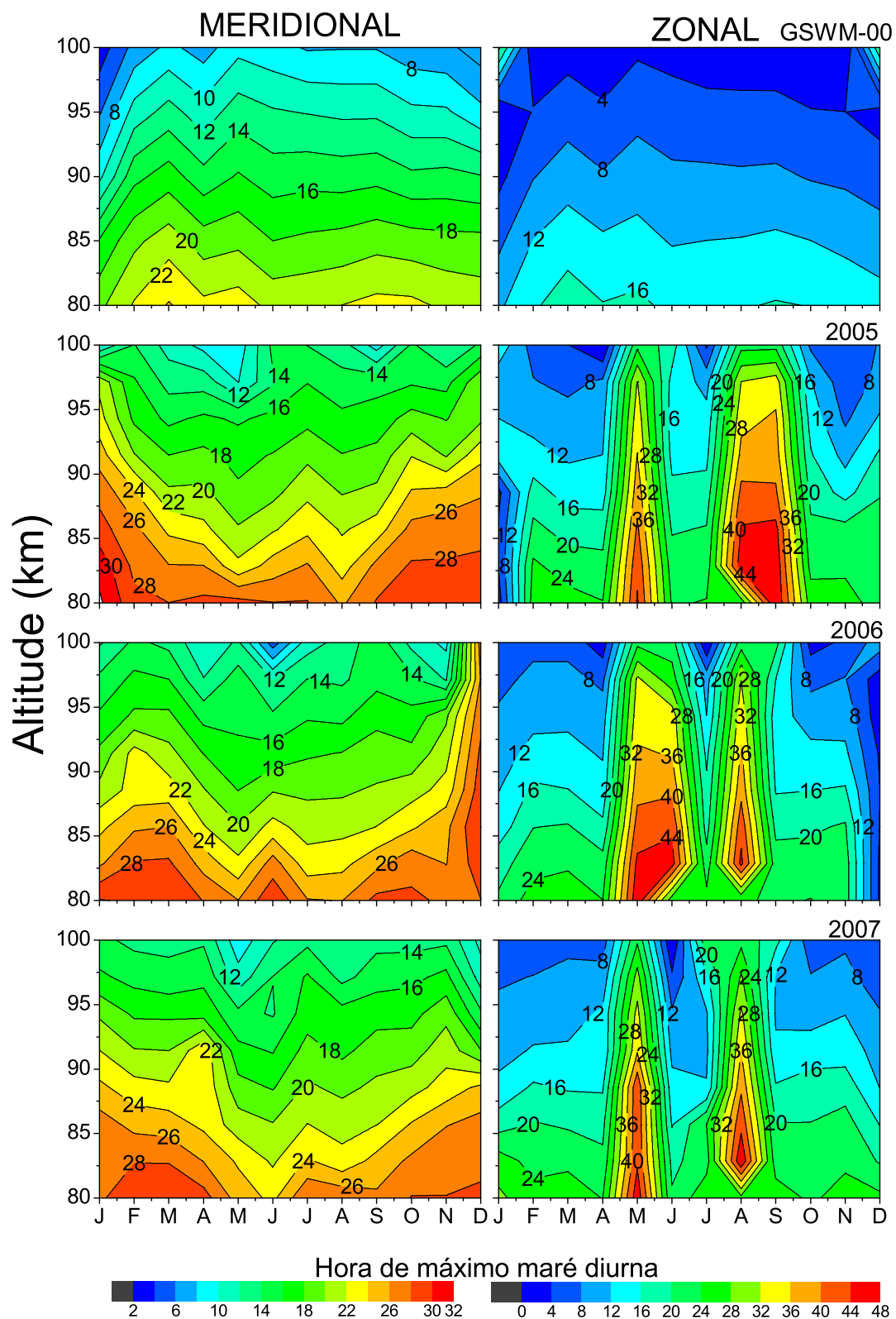


Figura 4.6 – Fase da maré diurna no período de 2005 a 2007 comparada com o modelo GSWM-00, para Santa Maria.

As variabilidades inter-anuais são melhor apresentadas na Figura 4.7, onde são apresentadas as fases dos três anos mais o modelo mês a mês. Pode-se observar claramente que o mês de Dezembro é o que apresenta maior variabilidade interanual, tanto na componente zonal quanto na meridional. Fica clara inclusive a maior divergência da componente zonal com o modelo GSWM-00 na hora de ocorrência da fase, sendo que o modelo está sempre adiantado com relação às observações. Ainda para a componente zonal são observadas variabilidades inter-anuais nas fases em quase todos os meses, mas acentuam-se nos solstícios.

Na componente meridional há grande semelhança com o modelo principalmente nos meses de Maio e Junho. Nessa componente são observadas poucas variações da fase entre os anos, mas o modelo estando com a fase geralmente adiantada com relação aos dados. As maiores variações entre os anos são observadas em Janeiro, Março, Abril, Junho, Novembro e Dezembro.

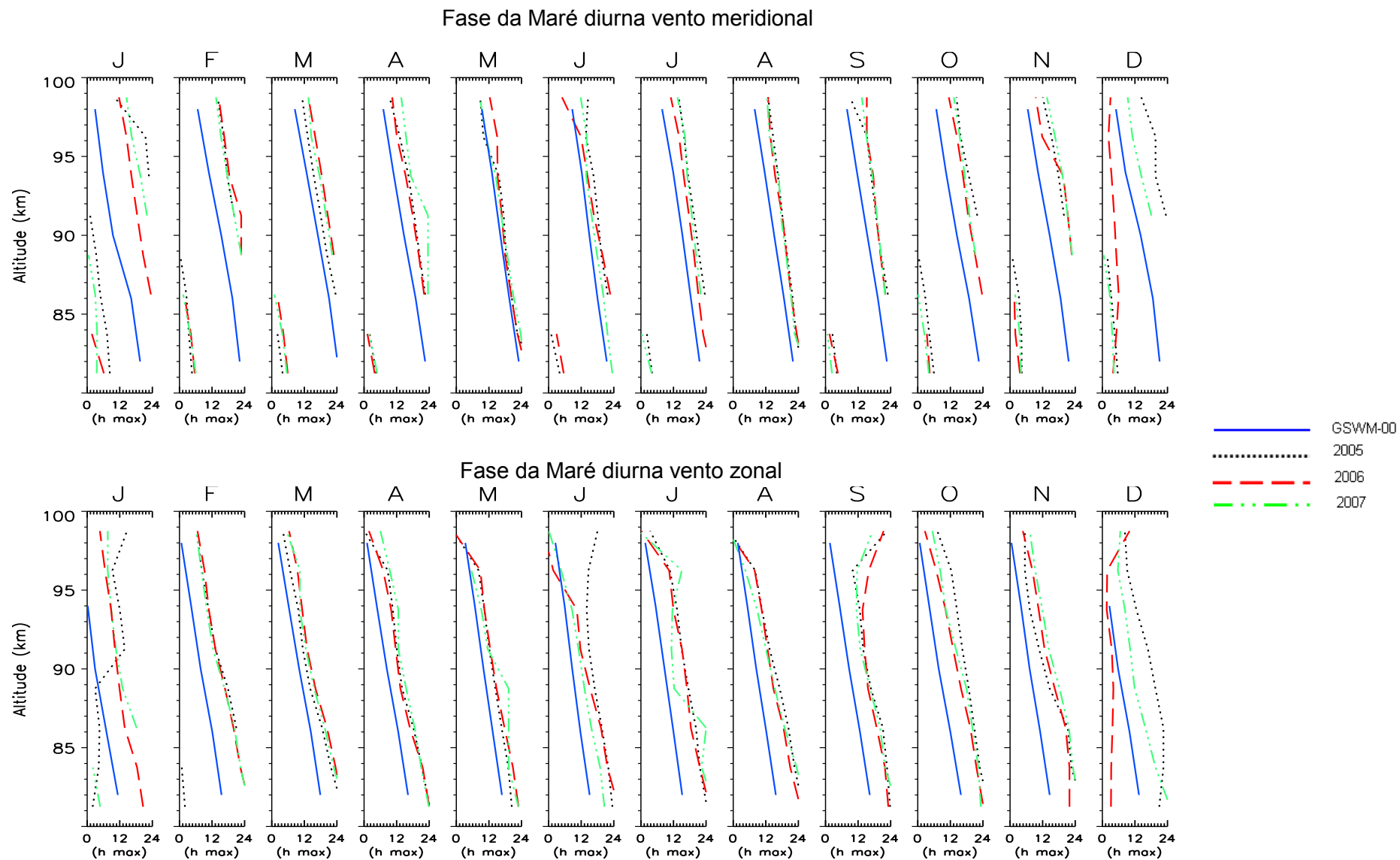


Figura 4.7 – Fase da maré diurna para a componente zonal e meridional realçando a variação inter-anual.

4.4. Amplitude da maré semidiurna

A amplitude da maré semidiurna, apresentada na Figura 4.8, possui valores consideravelmente menores que da maré diurna para ambas as componentes, como é mostrado no modelo GSWM-00, painéis superiores. Para a mesma imagem é mostrada, acima de 90 km, periodicidade semianual com picos nos equinócios. Abaixo dessa altura as variações sazonais são ínfimas, com pequenas variações em altura, tanto para o zonal quanto para o meridional.

Nos outros painéis da Figura 4.8 são apresentados os dados do radar meteorológico de Santa Maria. Na componente meridional pode-se observar total discordância com o modelo. Abaixo de 95 km nota-se periodicidade anual com máximo no solstício de verão. As amplitudes dos picos são bastante superiores às indicadas para mesmo período no modelo. Acima dessa altura as variações sazonais são pequenas, mas os valores das amplitudes também são maiores que as sugeridas pelo modelo, porém com variação entre os anos.

Já a componente zonal entra parcialmente de acordo com o modelo abaixo de 90 km com pequenas variações sazonais, contudo os dados apresentam amplitudes superiores ao modelo. Do mesmo modo que na componente meridional, há variações inter-anuais com aparente semelhança entre os anos de 2005 e 2007. Acima de 90 km os dados do radar entram em divergência com o modelo, mostrando um comportamento periódico quase anual com um pico bastante intenso localizado aproximadamente em abril, variando um pouco conforme o ano, em torno de ~96 km. Novamente as amplitudes apresentadas nos dados do radar são, na maioria das vezes, superiores às do modelo.

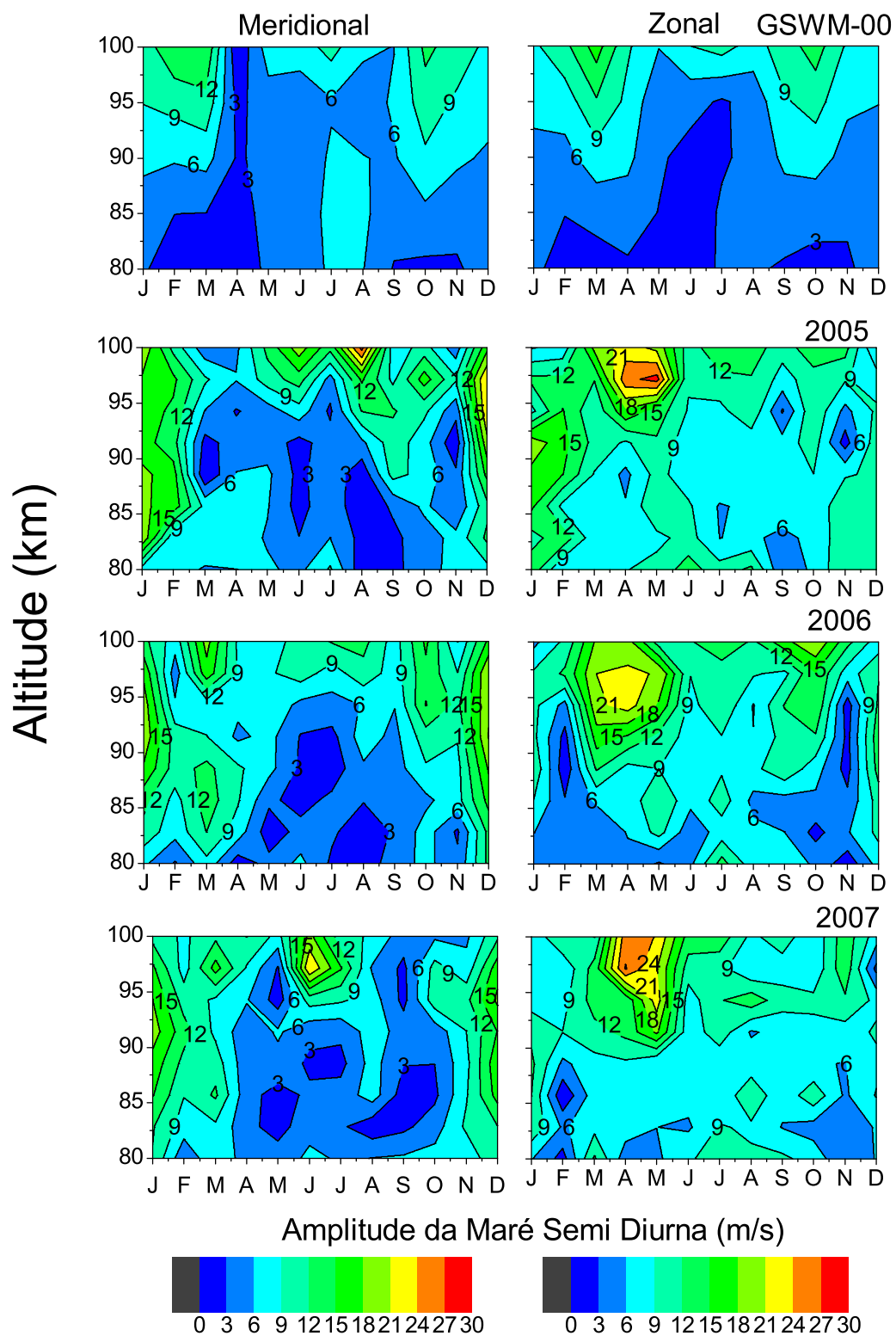


Figura 4.8 – Amplitude da Maré Semidiurna para o período de 2005, 2006 e 2007 e o GSWM-00, para a região de Santa Maria.

As variações inter-anuais podem ser melhor detalhadas com a análise da Figura 4.9. Nessa imagem é possível notar claramente na componente zonal que as amplitudes do modelo são inferiores às dos dados do radar em quase todos os meses. Podem-se observar, nessa mesma componente, alguns casos em que as variações interanuais são ressaltadas por uma diferença grande entre o comportamento de um ano com relação aos demais ou entre todos os três anos. Dentre esses casos pode-se citar Janeiro e Fevereiro de 2005, Março com relação a 2006, Maio, Outubro acima de 90 km, Novembro e Dezembro entre ambos os anos. Outros casos apresentam pequenas variações entre os anos, por exemplo, Abril, Agosto e Setembro. Já em Junho e Julho há boa coerência entre os anos.

Na Figura 4.9 é possível perceber que a componente meridional quase não possui variações interanuais abaixo de 93 km, com exceção do ano de 2005 em Janeiro, Fevereiro e Março e de 2006 em Abril. Acima de 93 km há marcantes diferenças entre todos os anos e meses com maior ou menor variação dependendo do caso.

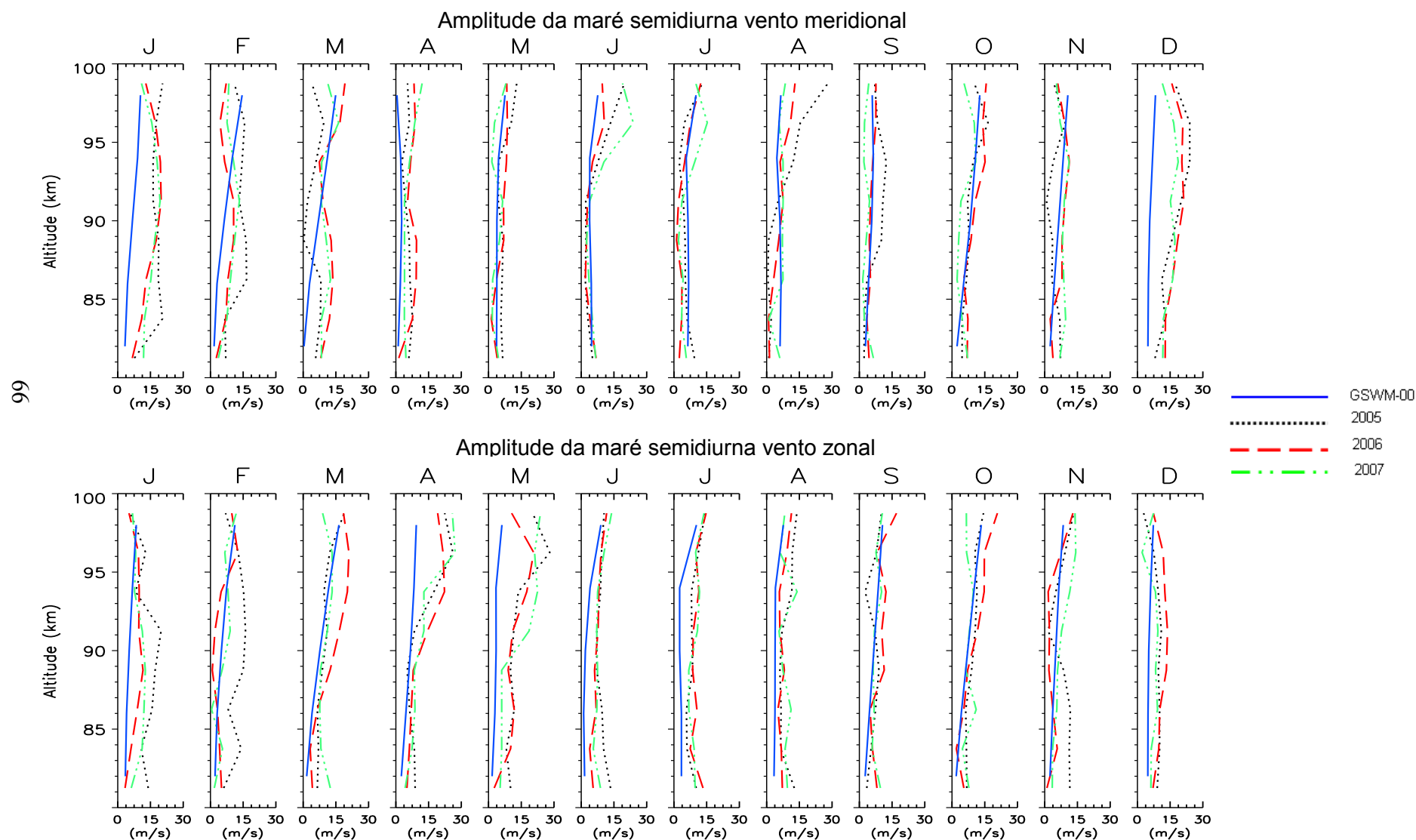


Figura 4.9 - Amplitude da maré semidiurna nas componentes, zonal e meridional realçando a variabilidade inter-anual.

4.5. Fase da maré semi diurna

A fase para a maré semidiurna, mostrada na Figura 4.10, apresenta comportamento quase evanescente, ou seja, a fase aproximadamente constante com altura, devido ao seu grande comprimento de onda. Nos painéis superiores dessa figura é mostrada a fase da maré semidiurna segundo o modelo GSWM-00. Neles é possível observar claramente esse comportamento principalmente na componente zonal. Na mesma componente o horário de máxima amplitude não possui muita variação sazonal e é constante em altura. Já na componente meridional do modelo esse comportamento da fase aprisionada com a altura é observado nos meses de Novembro a Maio, contudo há maior variação sazonal. Há notável diferença de fase de Março e Abril, com relação ao período de Maio a Dezembro. Nesse último período a fase possui pequenas diferenças com relação à altura, mas mantém o comportamento quase evanescente.

Os dados do radar meteórico de Santa Maria são apresentados nos demais painéis da mesma figura em suas componentes meridional, à esquerda, e zonal, à direita. Na componente meridional é possível observar nitidamente o comportamento da fase aprisionada com a altura durante quase todo o ano, com exceção do período entre Maio a Julho. Nesse período a fase tem comportamento decrescente com a altura nos anos de 2005 e 2007, com comprimento de onda vertical entre 30 a 40 km. No mesmo período de 2006 a fase é consideravelmente adiantada com relação aos outros anos, mas também apresenta pequeno comprimento de onda vertical. Essas variações inter-anuais são mais evidentes na Figura 4.11.

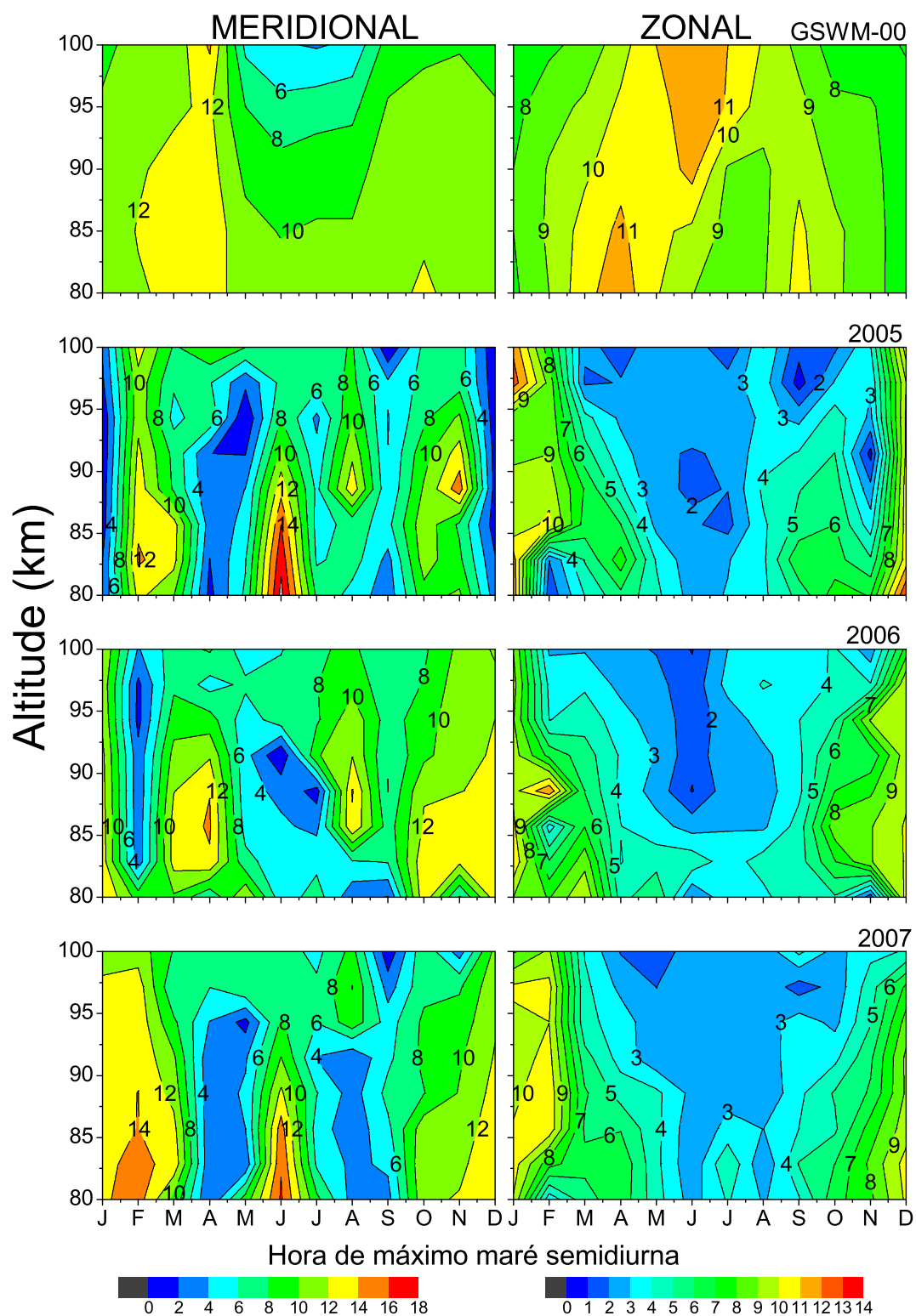


Figura 4.10 – Fase da maré diurna no período de 2005 a 2007 em comparação com o modelo GSWM-00.

Na componente zonal, da Figura 4.10, é notado o comportamento quase evanescente durante quase todo o ano, com exceção dos meses de Fevereiro e Março, nos três anos, Novembro de 2006 e Agosto a Outubro de 2005, onde o comprimento de onda vertical é pequeno. Entre os meses de Maio a Agosto a hora de ocorrência da fase é muito mais cedo que nos outros meses, entre 0 - 4 h. Nos meses de Setembro a Abril há diferença de fase de aproximadamente 1 h de um mês para o outro, com a fase atrasando de Setembro a Dezembro e adiantando de Janeiro a Abril. Esse comportamento não é observado no modelo, mostrando nitidamente a total divergência dos dados do radar ao modelo em quase todos os meses para ambas as direções horizontais.

Na Figura 4.11 são apresentadas com mais clareza as variações inter-anuais da fase da maré semidiurna. A componente zonal apresenta menos variações de um ano para outro que a meridional. É observado maior variabilidade inter-anual nos meses de Janeiro, Fevereiro principalmente com relação a 2006, Março e Abril abaixo de 90 km, Outubro, Novembro e Dezembro acima de 96 km. Nos demais meses as variações entre os anos são pequenas ~1 h de diferença de fase. Pode-se observar para a mesma componente grande divergência ao modelo principalmente nos meses de Março a Outubro, onde há grande atraso da fase do modelo com relação aos dados. Para a componente meridional, as discrepâncias com o modelo são relativamente menores, mas há maior variabilidade interanual. Essas variações são grandes em quase todos os meses com exceção apenas de Janeiro e Dezembro.

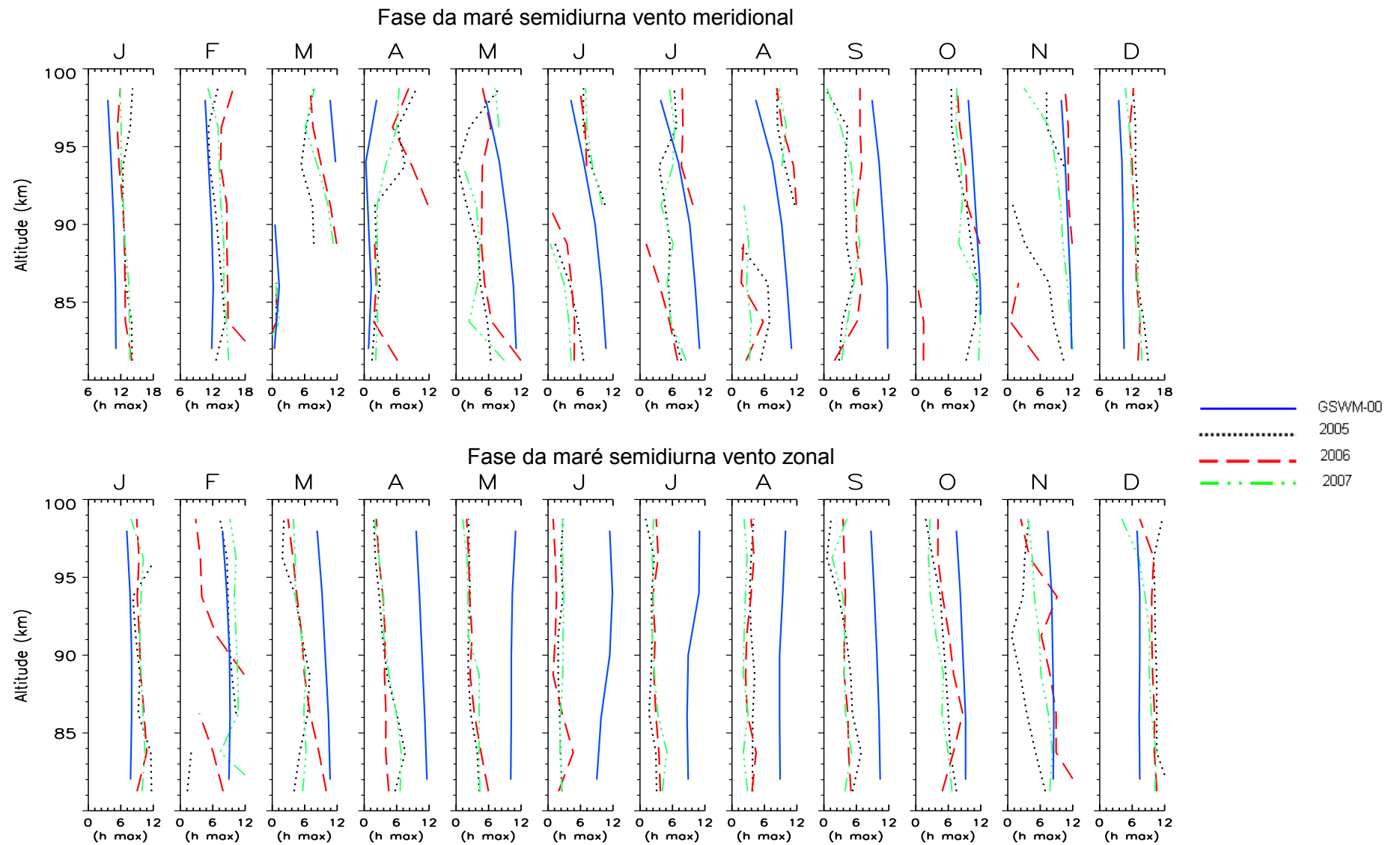


Figura 4.11 – Fase da maré semidiurna nas componentes, zonal e meridional, realçando a variação inter-anual.

4.6. Médias anuais

Com objetivo de melhor caracterização dos ventos dominantes na região de Santa Maria, foram calculadas as médias anuais. Do mesmo modo como descrito para as médias mensais, os meteoros ocorridos no ano inteiro foram agrupados em 24 h e então foram determinadas as amplitudes e fases correspondentes a cada modo de maré.

4.6.1. Média anual da amplitude da maré diurna

Na Figura 4.12 são apresentadas as médias anuais para os três anos de dados do radar meteorológico comparadas com a média do modelo GSWM-00. É possível observar a partir da figura que as variações inter-anuais existem mas são pequenas, exceto para o caso da componente zonal de 2005 abaixo de 90 km, a qual possui valores bem maiores que os outros dois anos. Nessa mesma componente, é clara a discrepância dos valores da amplitude sugerida pelo modelo com as apresentadas pelos dados. A média anual da amplitude apresentada pelo modelo GSWM-00 aumenta com a altura, afastando-se das médias apresentadas nos dados. Tanto para a componente zonal quanto para a meridional o máximo da amplitude é em torno de 92,5 km para os três anos de dados. Já no modelo a amplitude cresce com a altura, então, para a faixa de altura analisada, o máximo é em 100 km. Outra característica importante é o fato da componente meridional ser mais intensa que a zonal principalmente acima de 90 km.

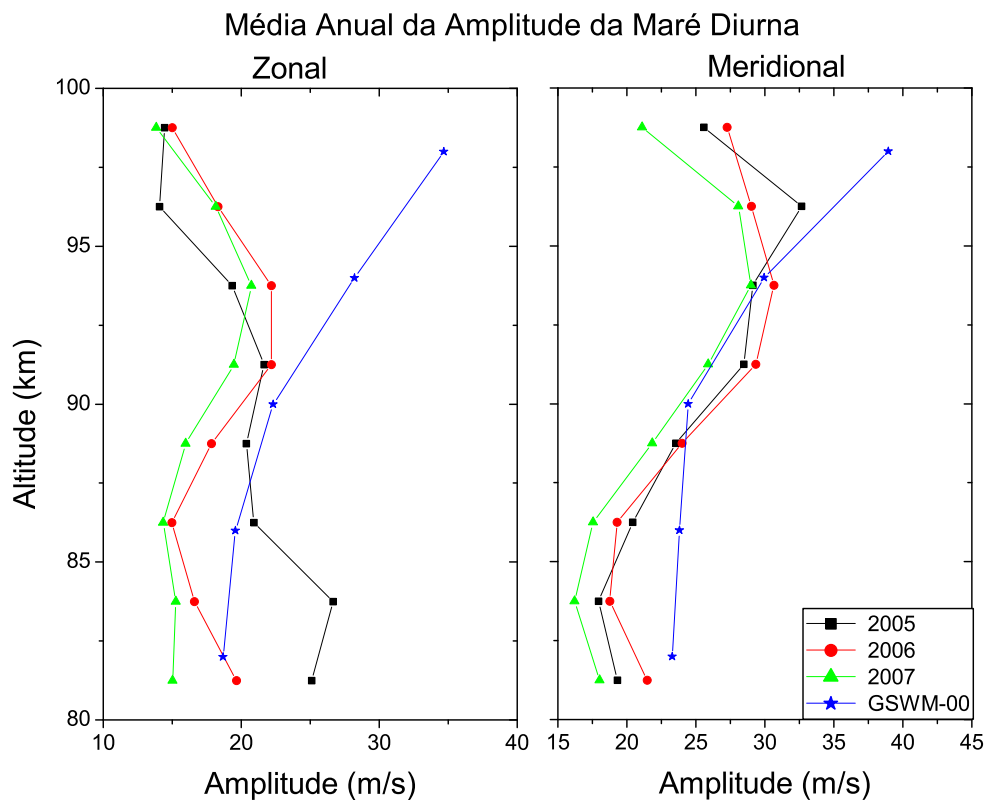


Figura 4.12 – Média anual para as componentes zonal e meridional da amplitude da maré diurna. Os dados do radar são apresentados nas linhas: preta, vermelha e verde, respectivamente, para os anos de 2005, 2006 e 2007. E na linha azul é apresentado o modelo GSWM-00.

4.6.2. Média anual da fase da maré diurna

A análise da média anual da fase da maré diurna, mostrada na Figura 4.13 permite dizer que há grande diferença de fase dos dados com relação ao modelo. Essa diferença de fase é de aproximadamente 6 h no caso zonal, abaixo de 94 km, e de aproximadamente 4 h no caso meridional. A média anual da fase da maré diurna mostra-se com pouca variabilidade inter-anual. Novamente o ano de 2005 na componente zonal apresenta uma pequena diferença de fase com relação às outras médias.

A inclinação das curvas da fase permite determinar o comprimento de onda da maré. Pode-se notar que a inclinação das curvas dos dados aproxima-se bastante ao modelo, tanto meridional quanto zonal, menos dos pontos do modelo indicados pelas setas. O comprimento de onda médio anual zonal medido é de ~24,5 km e do modelo é 21,7 km. E o comprimento de onda médio anual meridional é de 23,4 km para o GSWM e 21,9 km para os dados. Isso indica que os comprimentos de onda das médias anuais se aproximam bastante ao modelo.

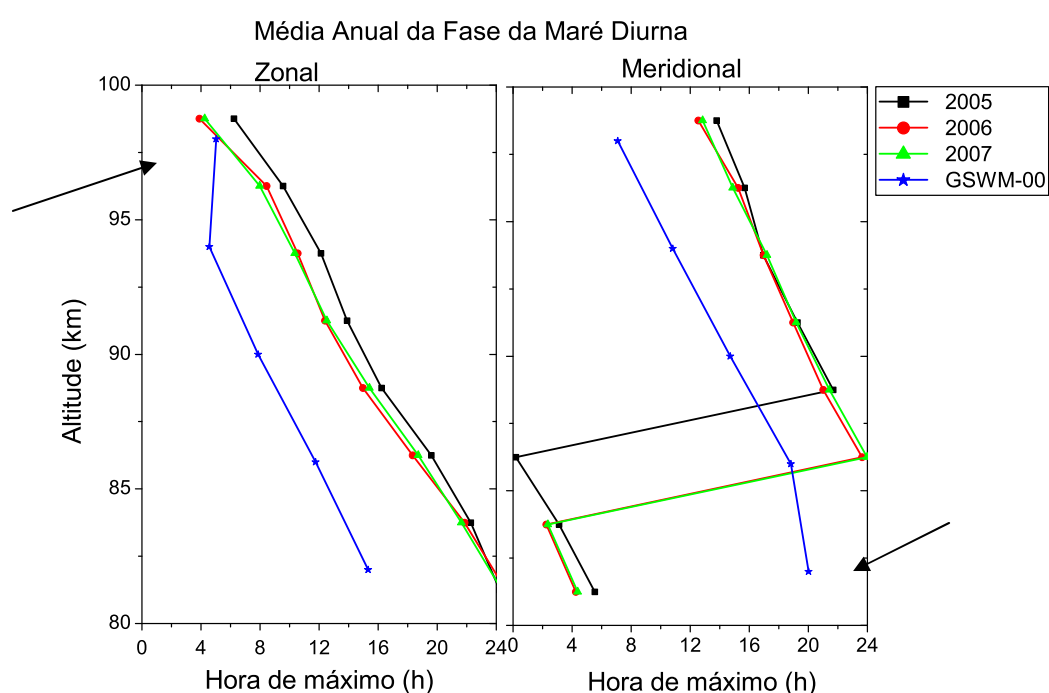


Figura 4.13 - Média anual para as componentes zonal e meridional da fase da maré diurna, nos anos de 2005 a 2007 comparados com o GSWM-00.

4.6.3. Média anual da amplitude da maré semidiurna

Na Figura 4.14 é mostrada a média anual para a componente semidiurna da maré nos anos 2005 a 2007 dos dados do radar comparadas ao modelo GSWM-00. Para a componente zonal o comportamento da amplitude determinada pelos dados do radar é bem parecido com o do modelo. Este comportamento da amplitude com a altura tem valores aproximadamente

constantes até 91,25 km, onde a amplitude passa a ter um comportamento crescente com a altura. As variações inter-anuais dessa componente estão presentes mas são pequenas, variando em torno de aproximadamente $\pm 1\text{m/s}$, com exceção do valor da amplitude em 100 km para o ano de 2005.

Na mesma Figura, nota-se que as variações entre os anos, para a componente meridional, são maiores e essa variação aumenta com o aumento da altura. Os valores parecem coincidir em baixas altitudes, mas diferem bastante acima 86 km. Diferente da componente zonal a média da amplitude semidiurna meridional tem comportamento quase constante com a altura até por volta de 95 km e então passa a ter comportamento crescente com a altura. Já o modelo mostra sempre um comportamento da amplitude crescendo com a altura, tanto para a componente meridional quanto para a zonal, porém com valores aproximados aos dos encontrados nos dados do radar.

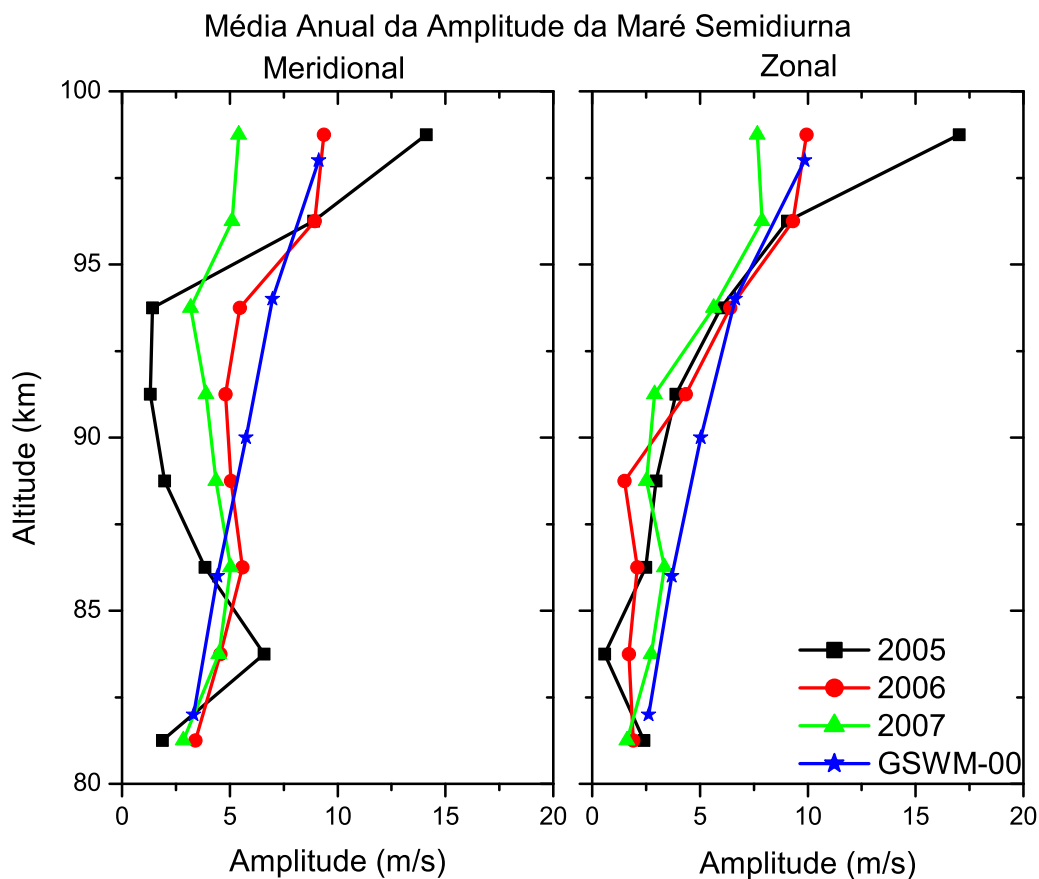


Figura 4.14 – Média anual para as componentes zonal e meridional da amplitude da maré semidiurna. Os dados do radar são apresentados nas linhas: preta, vermelha e verde, respectivamente, para os anos de 2005, 2006 e 2007. E na linha azul é apresentado o modelo GSWM-00.

4.6.4. Média anual da fase da maré semidiurna

A Figura 4.15 apresenta as médias anuais para a fase da maré semidiurna nos três anos de dados do radar e no modelo GSWM-00. Na componente zonal é possível notar claramente o comportamento quase evanescente da fase semidiurna com a altura, tanto para os dados quanto para o modelo. Porém há uma grande diferença de fase entre ambos, de aproximadamente 3 h em baixas altitudes e ~6 h em alturas mais elevadas. Há concordância total entre os anos de 2005 e 2007, mas com um comportamento um pouco diferente do ano 2006, abaixo de 88 km.

Já a componente meridional mostra um comportamento quase evanescente no modelo, mas nos dados é notado esse comportamento somente abaixo de 90 km. Acima dessa faixa de altura é observada uma mudança de fase em todos os anos, reduzindo a inclinação da curva e conseqüentemente uma redução do comprimento de onda da maré semidiurna acima de 90 km. A hora média anual de ocorrência da fase não difere muito de um ano para o outro, e acima de 90 km aproxima-se a média apresentada pelo modelo. Isso não é verdade para a faixa de altura abaixo de 90 km, onde há uma grande diferença de fase entre as médias anuais dos dados e a média do modelo, sendo que a fase dos dados está aproximadamente 7 h adiantada com relação ao modelo.

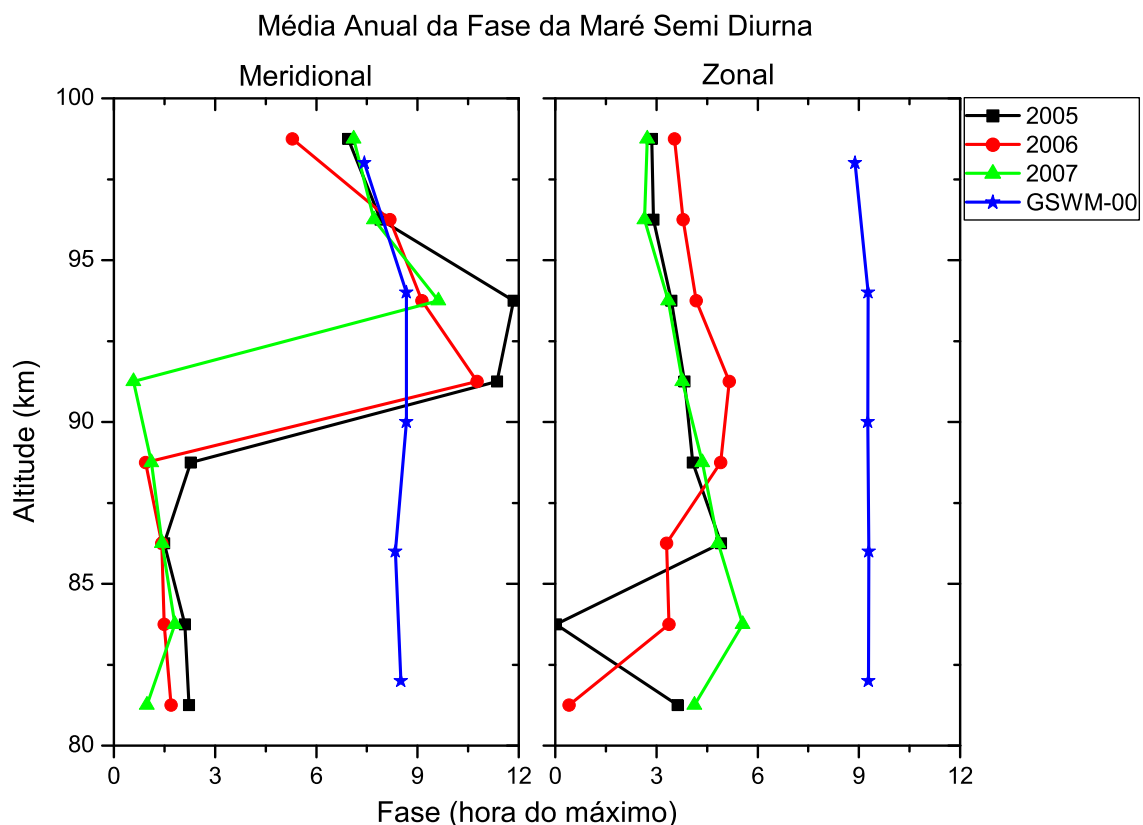


Figura 4.15 – Média anual para as componentes zonal e meridional da fase da maré semidiurna. Os dados do radar são apresentados nas linhas: preta, vermelha e verde, respectivamente, para os anos de 2005, 2006 e 2007. E na linha azul é apresentado o modelo GSWM-00.

4.6.5. Razão entre a amplitude da maré diurna e semidiurna

A razão entre as amplitudes das marés diurna e semidiurna foi calculada, com o objetivo de investigar a dominância de cada modo em cada faixa de altura. Na Figura 4.16 são apresentadas as razões entre as amplitudes, diurna e semidiurna, das marés para os três anos, bem como para o modelo GSWM nos ventos zonais e meridionais. Pode-se observar no vento meridional que no ano de 2005, entre 86 a 96 km, as razões têm forte discrepância com as demais, chegando a ser aproximadamente o dobro. Para os outros anos na componente meridional as razões têm boa concordância com a razão do modelo. Já para a componente zonal, abaixo de 92 km, todos parecem concordar bem com o modelo, exceto o ano de 2005 em 82,5 km cuja razão é cerca de 5 vezes maior que a média das demais. Mas, acima dessa altura, a razão do modelo cresce com a altura o que não é observado nos dados. Será necessário checar o porquê dessas diferenças. Contudo, é possível perceber que a componente diurna é muito mais forte que a semidiurna, mostrando assim a sua dominância.

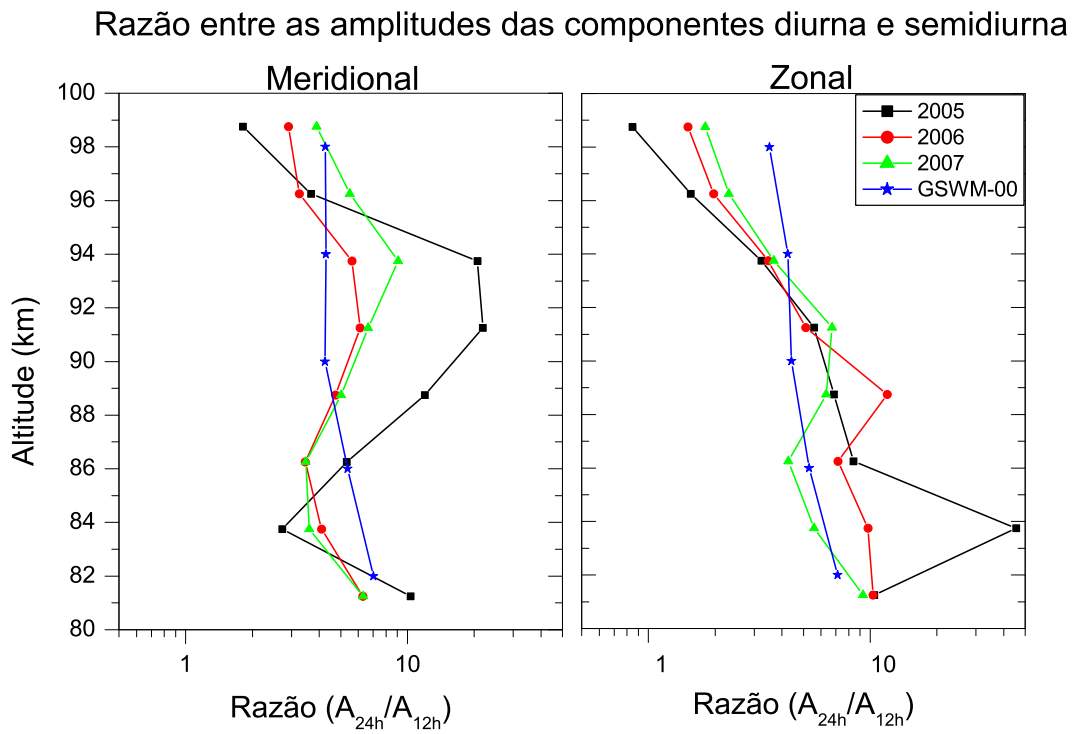


Figura 4.16 - Razões das componentes, diurna e semidiurna, para 2005 a 2007 bem como para o modelo GSWM-00 , em escala logarítmica.

É interessante notar que, para as razões entre as amplitudes diurna e semidiurna, as discrepâncias entre modelo e os dados são bem menores. Ou seja, as deficiências do modelo se aplicam quase igualmente à diurna e semidiurna.

5. COMPARAÇÕES COM OUTROS RESULTADOS

5.1. Comparações entre as três estações brasileiras de radar meteórico

Com o objetivo de melhor avaliar os ventos dominantes, na região de Santa Maria, foram feitas comparações com os dados obtidos em outras duas estações de radares meteóricos localizados no Brasil. Uma das estações está na região equatorial, em São João do Cariri (7°S, 36°O) e a outra na região tropical, em Cachoeira Paulista (23°S, 45°O). A localização dessas estações é bastante estratégica, possibilitando um bom estudo latitudinal dos ventos entre 80-100 km. Para essa comparação foram escolhidos os meses característicos de cada estação: Dezembro (solstício de verão), Março (equinócio de outono), Junho (solstício de inverno) e Setembro (equinócio de primavera). A partir das componentes do vento, meridional e zonal, foi realizada a análise harmônica da mesma forma que previamente explicada na Seção 3.2.

5.1.1. Vento médio

Na Figura 5.1 é apresentado o vento médio para as três estações brasileiras em quatro meses de 2005. A linha vermelha tracejada representa a estação de São João do Cariri (Cariri), a linha preta pontilhada representa Cachoeira Paulista (CP) e a linha azul com traços e pontos representa Santa Maria (SM). Os painéis à esquerda mostram os valores da componente meridional, já os painéis da direita, a componente zonal do vento. A linha preta contínua na vertical indica onde a velocidade do vento é zero.

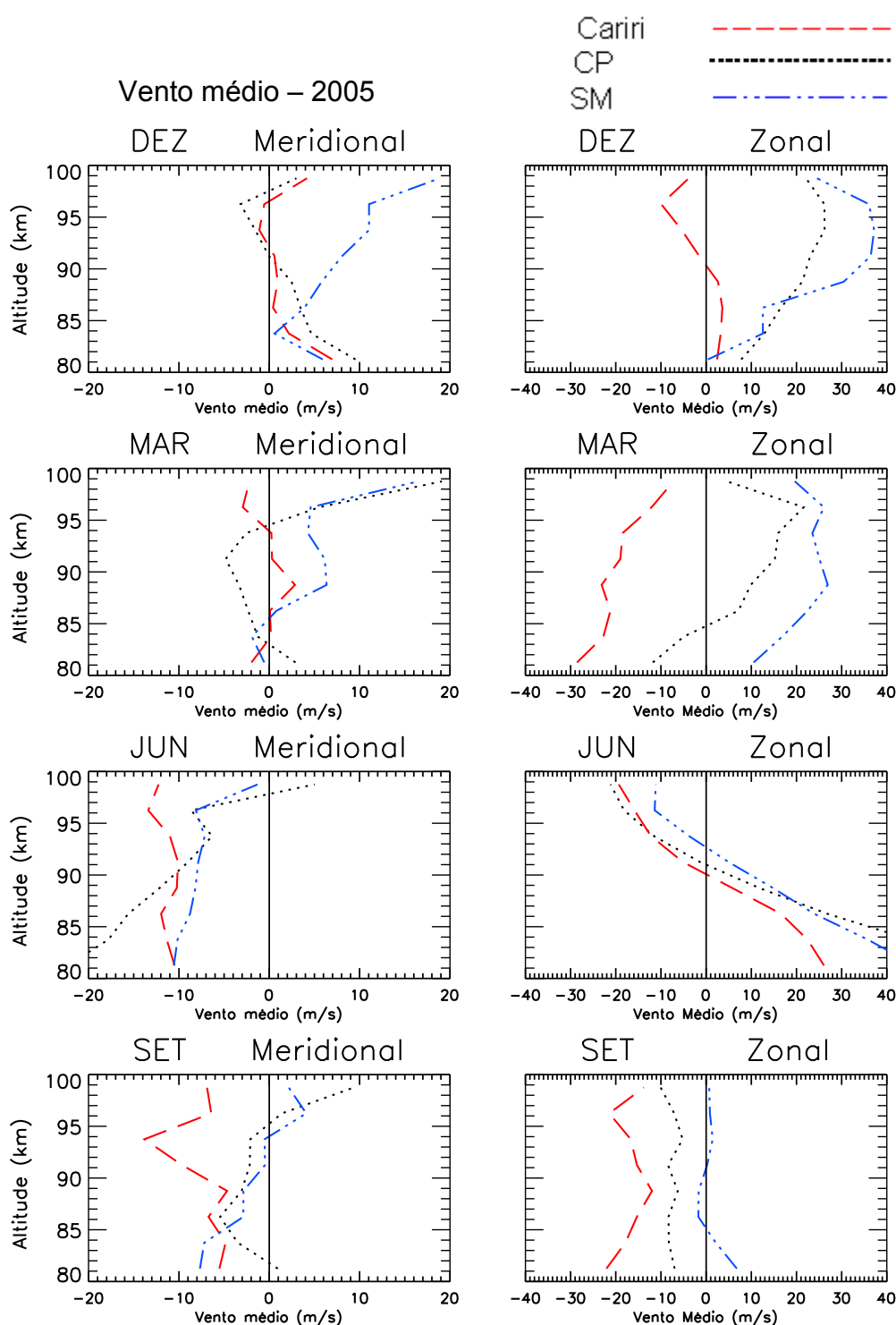


Figura 5.1 – Vento médio para três estações brasileiras São João do Cariri (7°S , 36°O) (linha tracejada vermelha), Cachoeira Paulista (23°S , 45°O) (linha pontilhada preta) e Santa Maria (30°S , 54°O) (linha com pontos e traços azul). Painéis à esquerda representam a componente meridional e à direita zonal, nos quatro meses representativos de cada estação do ano de 2005.

Pode-se notar que os valores do vento médio meridional são, na sua maioria, menor que a componente zonal. A componente meridional é predominantemente para sul em Cariri nos quatro meses analisados. Somente em algumas faixas de altura nos meses de Dezembro e Março é que o mesmo sopra para norte. CP e SM têm muita semelhança no comportamento do vento médio meridional durante quase todo o período, exceto no mês de Dezembro, sendo que SM geralmente possui o vento um pouco mais intenso que CP. Pode-se observar que há gradiente do vento em latitude, ou seja, o vento muda de sentido com relação a latitude. Há também inversão do sentido do vento, em alguns meses com a altura.

É observado, a partir da Figura 5.1, que o vento zonal não possui muita variação com altura, com exceção do mês de Junho onde todos mostram grande variação do vento invertendo o sentido do vento em aproximadamente 90 km. Em Cariri, a componente zonal só tem sentido para leste nos meses de solstício, abaixo de 90 km, nos demais meses o sentido é para oeste. CP e SM têm bastante semelhança no comportamento do vento médio zonal. Nessa componente também é observado claramente o gradiente do vento com relação à latitude. Há tendência de inverter o sentido do vento, que é para oeste em Cariri, para soprar para leste com o aumento da latitude, em todos os meses analisados.

5.1.2. Maré diurna

As amplitudes da maré diurna, para os três radares meteorológicos brasileiros, são apresentadas na Figura 5.2 nos meses representativos das 4 estações do ano. A componente zonal, painéis à direita da figura, mostra bastante semelhança entre CP e SM, porém as amplitudes para SM são sempre maiores que CP. Cariri apresenta os valores de amplitude crescendo com altura, já SM e CP apresentam grande variação com altura somente no equinócio de outono, onde claramente é notado um pico da amplitude em aproximadamente 90 km.

A componente meridional da amplitude da maré diurna é mostrada nos painéis à esquerda na Figura 5.2. Pode-se observar que os valores das amplitudes dessa componente são maiores que os da zonal. Nos meses de equinócio é claramente observado para as estações de CP e SM, valores mais elevados que nos meses de solstício. Cariri não mostra essa característica, mantendo os valores de amplitude em aproximadamente 25 m/s durante o mês de Dezembro, nos meses de Março e Junho é visto um pico de amplitude em torno de 90 km e no mês de Setembro tem comportamento crescente com altura até alcançar ~35 m/s. No solstício de verão as amplitudes para as três estações variam entre 15 a 40 m/s.

Na figura 5.3 é apresentada a fase da maré diurna. A componente meridional apresenta pouca variabilidade da fase nas três estações principalmente nos meses de equinócio. No mês de Dezembro, Cariri apresenta a fase adiantada aproximadamente 3 h com relação a SM acima de aproximadamente 84 km e CP tem a fase muito parecida com SM. Em Junho, Cariri tem a fase atrasada em ~6h com relação às outras duas estações, SM e CP.

Amplitude da maré diurna – 2005

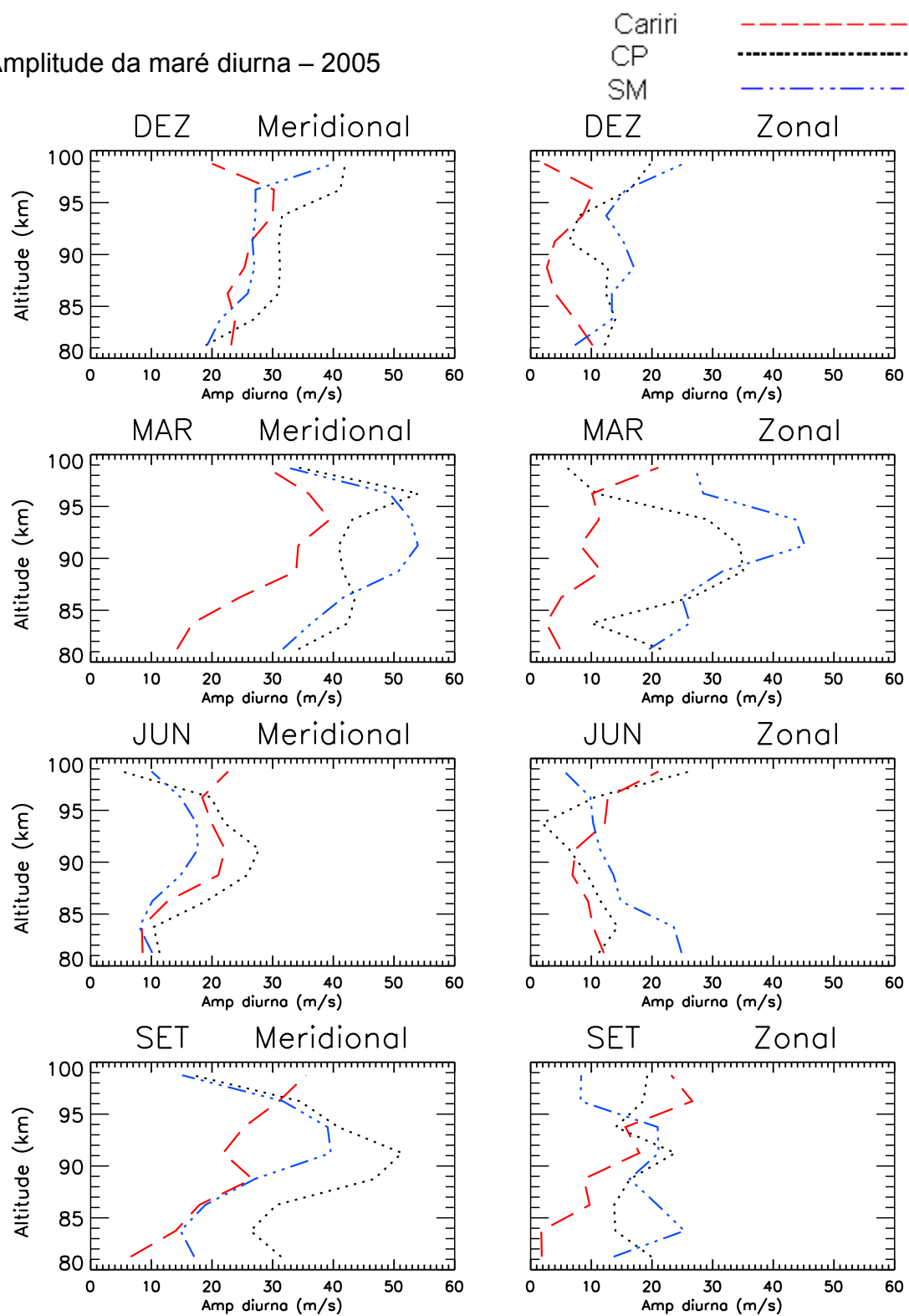


Figura 5.2 – Idem a Figura 5.1, mas para a amplitude da maré diurna.

Fase da maré diurna – 2005

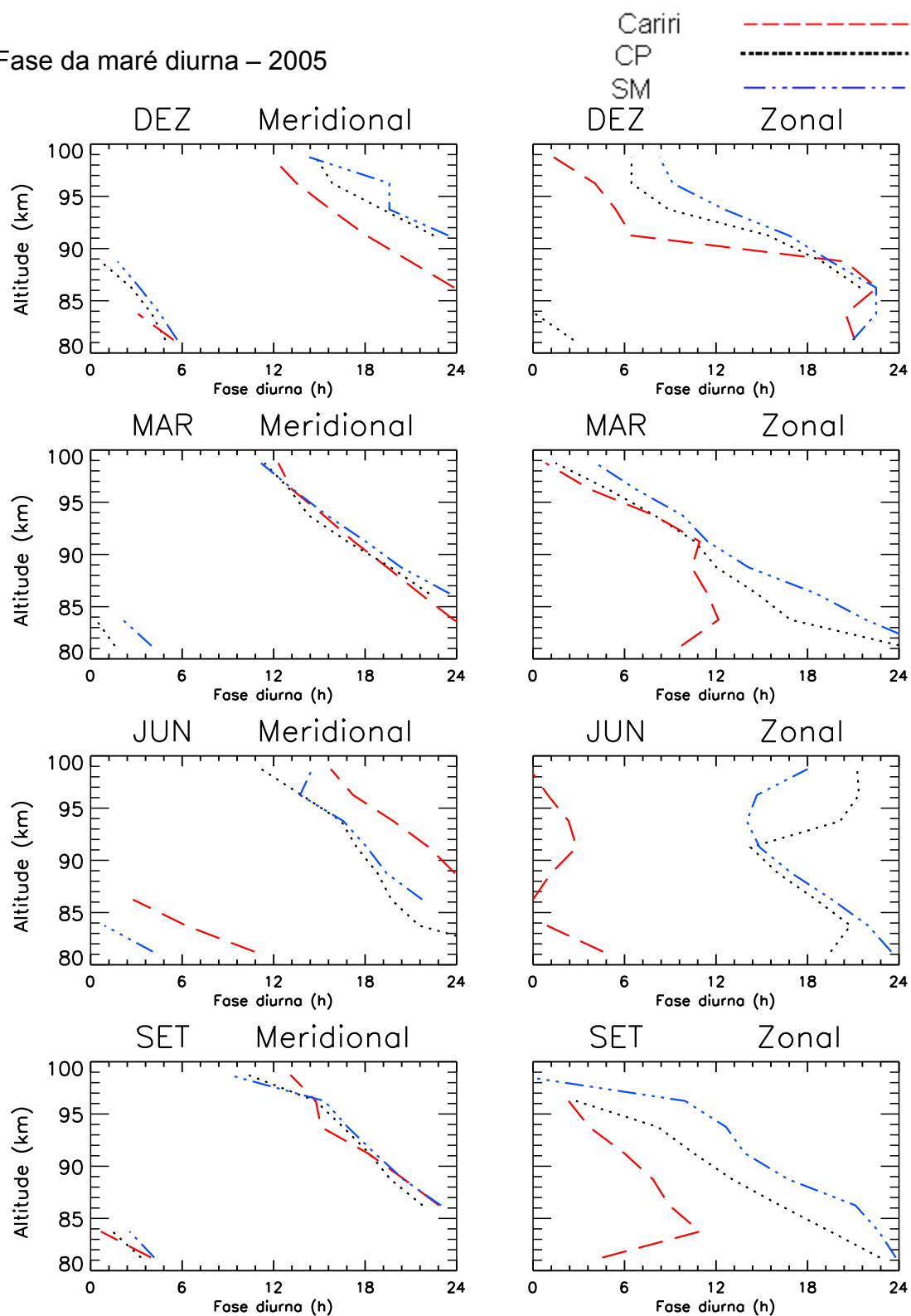


Figura 5.3 –. Idem a Figura 5.1, mas para a fase da maré diurna

Com relação a componente zonal da fase há bastante diferença entre as latitudes. CP e SM apresentam semelhanças também nessa componente, mas com SM apresentando a fase sempre um pouco atrasada que CP. Cariri apresenta comportamento da fase quase evanescente em quase todo o período analisado, ressalvo para Dezembro.

5.1.3. Maré semidiurna

Na Figura 5.4 são apresentadas as amplitudes da maré semidiurna, medidas nas três estações previamente citadas, Cariri (linha vermelha), CP (linha preta) e SM (linha azul). Pode-se notar para a componente zonal (zonal) que o comportamento da amplitude muda bastante nesses três locais analisados. Cariri apresenta pouca variação entre os meses aqui analisados mas com variação em altura, mantendo uma amplitude entre 1 e 10 m/s. CP e SM apresentam maiores amplitudes que Cariri principalmente nos meses de solstício. No equinócio de outono é notável a discrepância de CP com relação aos outros dois locais de observação.

Para a componente meridional SM e CP apresentam boa concordância da amplitude no mês de Dezembro abaixo de ~90 km, com SM apresentando maiores amplitudes que CP acima dessa altura. Cariri apresenta comportamento distinto nesse mesmo mês, com valores menores para amplitude e com pico em ~94 km. No mês de Junho Cariri e SM apresentam valores de amplitude crescentes com altura mas CP apresenta amplitude máxima em torno de 94 km. Nos meses de equinócio ambas as estações diferem bastante entre si, Cariri apresenta maiores amplitudes seguida de CP.

Amplitude da maré semidiurna – 2005

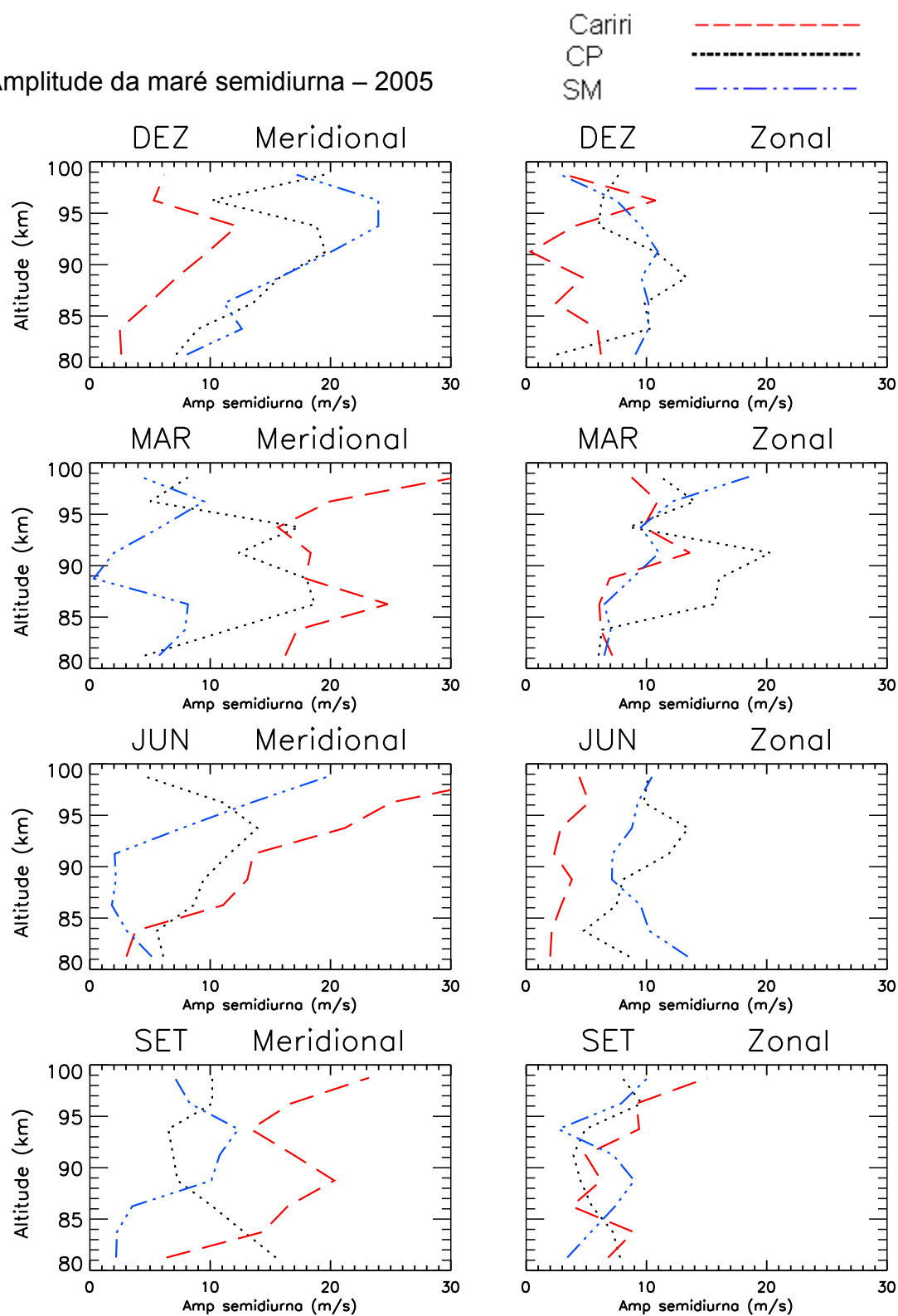


Figura 5.4 – Idem a Figura 5.1 mas para a amplitude da maré semidiurna.

Fase da maré semidiurna – 2005

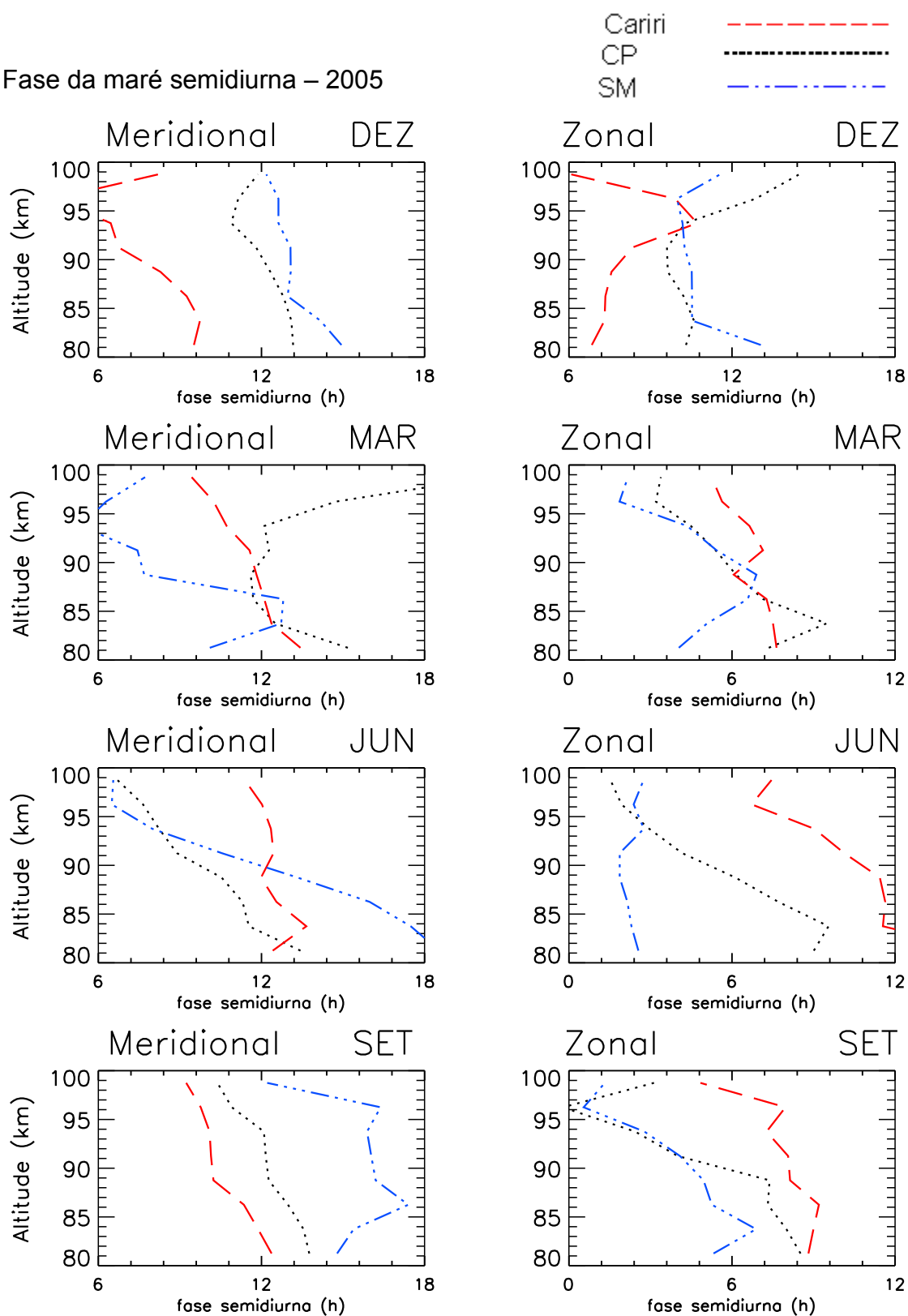


Figura 5.5 – Idem a Figura 5.3 mas para a maré semidiurna.

Na Figura 5.5 é apresentada a fase para a maré semidiurna medida nas mesmas estações previamente detalhadas. Na componente meridional, painéis à esquerda da figura, são observadas variações da fase entre os três pontos de observações. Em Dezembro SM e CP apresentam a fase aprisionada com altura entre 1 - 2 h ou entre 13 – 14 h. Cariri apresenta fase decrescente com altura em quase todos os meses analisados. Em Junho as fases apresentam comportamento decrescente com altura em SM e CP, Cariri apresenta a fase aprisionada entre 13 – 14 h ou entre 1 – 2 h. Em Setembro ambas as estações apresentam comportamento quase evanescente, com atraso de ~2 h de Cariri para CP, SM tem a fase aprisionada entre 12 e 18 h, ou entre 0 e 6 h, variando com altura e bem adiantada com relação a CP.

Os painéis à direita da figura mostram a componente zonal do vento. Pode-se perceber claramente a variação da fase para esses diferentes locais. Nos meses de equinócio parece que há uma maior concordância da fase principalmente entre CP e SM, acima de 85 km, abaixo dessa altura CP passa a concordar mais com Cariri que tem a fase adiantada, ~6 h em Março e ~4 em Setembro, com relação a SM, dependendo da altura. Nos meses de solstício, ambas as estações têm comportamento quase evanescente. No solstício de verão CP e SM têm as fases bastante parecidas, mas divergindo com o aumento da altura, bastante distintas de Cariri cuja fase está aprisionada entre 6 – 12 h ou entre 12 – 20 h. já em Junho, Cariri tem a fase bastante adiantada dos outros dois locais de observação, ~10 h com relação a SM e ~3 h com relação a CP, dependendo também da altura.

5.2. Variabilidade da maré com a latitude

Vincent et al. (1998) realizaram um estudo comparando dados do radar MF de Adelaide (35°S, 138°O), sul da Austrália, com outras duas estações, uma equatorial, Christmas Island (2°N, 157°O) no centro do Pacífico, e outra em região tropical Kauai (22°N, 160°O). A localização destes radares é de grande

importância para o estudo principalmente da maré diurna que está confinada em regiões equatoriais (VINCENT et al. 1998). Essas localizações vêm a contribuir significativamente para a discussão do presente trabalho, já que Santa Maria (30°S; 54°O) está em latitude similar a de Adelaide, Cachoeira Paulista (23°S, 45°O) é comparada a estação de Kauai no hemisfério norte e São João do Cariri (7°S, 36°O) está em uma latitude equatorial equivalente a de Christmas Island. Na análise da maré diurna e semidiurna, Vincent et al. (1998) compararam médias de vários anos de dados de quatro meses representativos das estações do ano para as três diferentes localizações. Na Seção 5.1 do presente trabalho, são apresentados resultados semelhantes, porém, para um único ano de 2005.

Vincent et al (1998) relatam que Kauai está localizado próximo ao máximo do modo (1,1) do campo de vento, enquanto os ventos da maré diurna em Adelaide são também fortemente influenciados por esse modo. Além disso, Vincent et al. (1998) justificam que a posição equatorial de Christmas Island faz-se ideal para o estudo da influência dos modos simétricos e anti-simétricos que contribuem, respectivamente nas componentes zonal e meridional do vento.

Embora no trabalho de Vincent et al. (1998) algumas estações de radares encontram-se no hemisfério norte (HN), as comparações foram realizadas entre sazonalidades compatíveis, exemplo solstício de verão HN com solstício de verão hemisfério sul (HS). Comparando os resultados obtidos por Vincent et al. (1998) com os das três estações brasileiras, detalhados na Seção 5.1, notam-se algumas semelhanças e discrepâncias. Seguem abaixo, algumas dessas semelhanças e divergências com respeito à maré diurna:

- As amplitudes da maré diurna na componente meridional nem sempre são maiores que da componente zonal (VINCENT et al 1998), diferente do observado nas estações brasileiras, onde a amplitude da maré diurna da

componente meridional é sempre maior que a zonal para todas as latitudes observadas;

- Em SM não é observado o pico de amplitude na componente zonal no equinócio de primavera, diferente do que é observado em Adelaide;
- Cariri apresenta relativamente boa concordância com Christmas Island (CI). Outro ponto divergente é que a fase zonal, no equinócio de primavera, apresenta comportamento quase evanescente em Cariri e não em CI. Além disso, no solstício de verão, a componente zonal está com a fase adiantada em relação a componente meridional, ao contrário do que é observado em CI;
- CP nos meses de equinócio difere bastante de Kauai, o qual apresenta valores semelhantes para ambas componentes com pico em ~90 km. CP apresenta esse pico na componente zonal somente no equinócio de outono e na componente meridional somente no equinócio de primavera. Nos meses de solstícios há grandes diferenças dos resultados encontrados em CP, onde as amplitudes meridionais são maiores que as zonais, para os encontrados em Kauai, cujas componentes apresentam amplitudes bastante parecidas. A fase da maré diurna em CP concorda bastante com a de Kauai;

As mesmas comparações também foram realizadas com a maré semidiurna. Semelhanças e discrepâncias entre os resultados obtidos por Vincent et al. 1998 e os apresentados na Seção 5.3, são citados abaixo:

- As amplitudes da maré semidiurna, em suas componentes zonal e meridional, são bastante parecidas concordando com Adelaide. Algumas pequenas diferenças são observadas na variação da amplitude com a altura. A maior diferença é observada no solstício de verão, onde as amplitudes em Adelaide tem um máximo de 15 m/s em ~83 km, e SM apresenta valores da

componente meridional bem maiores que a zonal, chegando a um valor máximo de ~30 m/s;

- A componente zonal da fase da maré semidiurna em SM tem comportamento quase evanescente em todos os meses, o que difere bastante de Adelaide. Já a componente meridional da fase em SM concorda mais com Adelaide;
- O comportamento da amplitude da maré semidiurna em Cariri difere bastante de CI, principalmente a componente meridional com valores de amplitude bastante superiores aos de CI;
- O comportamento da fase em Cariri é bastante semelhante ao de CI, com exceção da componente zonal no solstício de verão;
- Já para CP, a amplitude da maré semidiurna no equinócio de outono tem valores entre 10 e 20 m/s diferente de Kauai que apresenta valores máximos de ~10 m/s. Os meses de solstício têm grandes diferenças também, principalmente, na componente meridional do solstício de inverno;
- A fase difere muito entre CP e Kauai. No equinócio de outono a fase tem comportamento quase evanescente com altura em CP, para ambas as componentes, com diferenças de fase entre elas;
- No equinócio de primavera, o comportamento da fase em Kauai é quase evanescente e com atraso de fase de ~9 h com relação a CP na componente meridional. Já na componente zonal, o comportamento em CP é evanescente, em baixas alturas, e depois passa a ser decrescente, já em Kauai é somente evanescente;

- Nos meses de solstício, CP tem a componente meridional da fase aprisionada em ~12 h estando adiantada ~6 h com relação à Kauai. Porém, a componente zonal da fase em CP concorda com a de Kauai.

5.3. Ventos predominantes

Malinga e Poole (1997) em seu trabalho sobre ventos dominantes e marés atmosféricas observadas sobre Grahamstown (33,3°S, 26,5°L), utilizando radar meteorológico, porém sem resolução com altura, encontraram vento médio zonal predominante para leste (MA ~ 17 m/s) e o vento médio meridional é predominantemente para norte e muito fraco. A média anual (MA) do vento médio para SM mostrou comportamento semelhante para a componente zonal (~20 m/s), já a componente meridional mostra comportamento dependente da altura, soprando para Sul abaixo de 88 km e para norte acima dessa altura.

Batista et al. (2004), em seus estudos sobre os ventos dominantes e marés na região de Cachoeira Paulista (22,7°S, 45°O), encontraram variação anual acima de 90 km para o vento médio zonal e abaixo dessa altura comportamento semi-anual. Comparando esses resultados aos de Santa Maria por estar também no hemisfério sul (HS), nota-se divergência, já que o vento médio zonal em SM apresenta, em todas as faixas de altura, domínio da variação anual, e uma equivalência dos dois modos, anual e semianual, somente em 90 km, para o vento médio zonal.

Malinga et al. (1998) compararam dados simultâneos de ventos em duas estações localizadas em latitudes próximas a 30°S, Adelaide (35°S, 138°O) (AD) e Grahamstown (33,3°S, 26,5°L) (GT). O radar de AD é um radar de reflexão parcial e opera em média frequência, já o de GT é um radar meteorológico sem resolução com altura. Para a comparação entre os dados de ambas as estações, Malinga et al. (1998) realizaram uma integração em altura nos dados do radar de AD. Além disso foram tomadas as médias de vários anos de

dados, de 1987 a 1993, para os meses de verão (Janeiro, Fevereiro e Dezembro). Eles encontraram diferenças significativas com respeito ao vento predominante zonal, ao passo que, o meridional é bastante parecido. Essa diferença pode surgir da presença de modos não migrantes da maré (MALINGA et al., 1998).

No intuito de melhorar a comparação entre os resultados de SM com o trabalho acima descrito, foi realizada uma média ponderada nos três anos de dados dos respectivos meses de SM. Essa média ponderada foi baseada em uma distribuição meteórica normal centrada em 90 km. Os resultados da média sazonal sobre todos os anos (MS) de SM são comparados com os resultados obtidos por Malinga et al. (1998). O vento médio predominante zonal em SM (MS: 19,2 m/s) está entre os valores encontrados para AD (MS: 11 ± 1 m/s) e o de GT (MS: 31 ± 2 m/s). Já a componente meridional tem valores muito parecidos nas três localizações SM (MS: 8,62 m/s), GT (MS: 11 ± 1 m/s) e AD (MS: 7 ± 1 m/s).

Zhang et al. (2004) realizaram um estudo sobre o vento médio e as componentes de marés sobre a região de Wuhan, China (30°N , 114°L) usando radar MF. Para tal eles usaram os períodos de 11 a 25 de Fevereiro e 28 a 13 de Março, realizando análise harmônica a cada 36 h e extraíndo uma média de todo o período. Como a localização desse radar é no HN, devemos compará-lo com períodos correspondentes a mesma sazonalidade local, ou seja, final do inverno (Agosto – Setembro, HS). O vento médio encontrado para Wuhan entre 80 a 98 km varia de - 10 m/s a 45 m/s para a componente zonal (+ para leste) e entre - 40 m/s a 20 m/s para a componente meridional (+ para norte), em ambas as componentes os valores decrescem com o aumento da altura (ZHANG et al., 2004). Esses valores são bastante diferentes dos encontrados para SM, na componente zonal, entre 0 m/s a 30 m/s em Agosto e entre 0 m/s e 15 m/s em Setembro, ambos os meses mantêm os valores todos positivos, ou seja, o vento sopra pra Leste. Já na componente meridional os valores de

SM em Agosto variam de -15 m/s a 0 m/s e em Setembro de -10 m/s a 10 m/s, assim concordam um pouco mais com os de Wuhan, porém com comportamento crescendo com altura e valores mais baixos.

Malinga e Poole (1997) observaram uma possível influência do vento predominante zonal no comportamento da maré diurna. Os mesmos autores ainda relatam que o vento predominante zonal é associado ao aumento (decréscimo) da amplitude durante o equinócio (solstício) e atraso na fase zonal durante o solstício.

5.4. Variabilidade sazonal da maré diurna

As variações sazonais da maré, também são analisadas por Vincent et al. (1998). Um dos principais resultados encontrados para Adelaide sobre a variabilidade sazonal é o fato da variação semi-anual da maré diurna estar presente nas duas componentes do vento, meridional e zonal, em mesma intensidade (Vincent et al., 1998). Esse resultado é um pouco diferente do que foi encontrado para Santa Maria, onde a variação semi-anual é identificada somente na componente meridional e com máximo do equinócio de outono bem mais forte que o de primavera. Além disso, SM apresenta as amplitudes da componente meridional bastante superiores às da componente zonal. A fase em Adelaide tem comportamento variável durante o ano, adiantando-se de Janeiro a Junho em 4 – 6 h, e depois retardando (VINCENT et al. 1998). Esse comportamento é observado em SM somente na componente meridional.

O instrumento Wind Imaging Interferometer (WINDII), abordo do satélite UARS, infere vento entre 90 - 110 km, durante o dia e a noite, a partir da emissão do oxigênio atômico O (1s), na linha verde. McLandress et al. (1996) estudaram as marés usando o instrumento WINDII. Para a latitude de 35°S, de Adelaide, eles encontraram que a amplitude da maré diurna é maximizada em Março e Outubro, com valores de pico acima de 35 m/s em ambas as componentes. As

altitudes de máxima amplitude são aproximadamente (90-92 km) (VINCENT et al., 1998). Esse resultado concorda bastante com aquele encontrado para Santa Maria usando o radar meteorológico.

Para a maré diurna CP apresenta amplitude máxima em torno de 90 km, indicando dissipação acima dessa altura (BATISTA et al., 2004), concordando com SM. A dissipação é mais forte no vento meridional de Abril a Outubro em CP. A componente zonal, da amplitude da maré diurna, no período de Março de 2000 a Fevereiro de 2001 em CP concorda bastante com as características observadas em SM. Já em outros períodos CP não apresenta características semelhantes às de SM. Na componente meridional da maré diurna SM apresenta os valores mais altos (no máximo do equinócio de outono), e mais baixos (no mínimo do solstício de inverno), que os valores observados por Batista et al. (2004) em CP. O mínimo da amplitude do solstício de verão não é observado em SM no ano de 2005. A fase da maré diurna em SM não apresenta a brusca variação observada, nos meses de Novembro/ Dezembro e Janeiro em ambas componentes para CP, por Batista et al. (2004). Ao contrário, essa variação em SM é somente observada na componente zonal nos meses de Maio e Agosto. A componente zonal da fase mostra comprimento de onda vertical em SM, ~27 km, parecido com o encontrado por Batista et al. (2004) para CP (entre 25 – 30 km), porém, bem menor que o predito pelo GSWM-00 de 40 km. Já a componente meridional de CP concorda com o GSWM-00 no comprimento de onda vertical (~27 km) (Batista et al., 2004), um pouco menor que SM (~32 a 40 km) que apresenta variações intra e inter- anuais.

Zhang et al. (2004) observaram que a amplitude da maré diurna aumenta com a altura em Wuhan, abaixo de 92 km (para a componente zonal) e 94 km (para a componente meridional) e então decresce com altura de ~20 m/s para ~12 m/s. Entretanto os dados do GSWM-02 mostram que ambas as componentes tem crescimento da amplitude com o aumento da altura (ZHANG et al., 2004).

Comparando com os dados de SM, a componente meridional apresenta comportamento bastante semelhante ao de Wuhan. Em uma média aritmética realizada com os meses de agosto e setembro para os três anos, os valores acima de 94 km decrescem de 34 m/s para 20 m/s. Já a componente zonal tem comportamento bem diferente, com bastante variação dos valores em relação à altura. Mas também é diferente dos valores sugeridos pela versão GSWM-00. A explicação dada por Zhang et al. (2004) é que essas diferenças sejam causadas por interações não lineares onda-onda, que diminuem a energia da maré diurna, conseqüentemente diminui a amplitude, o que não é observado no GSWM por ser um modelo linear.

A amplitude da maré diurna tanto a componente zonal quanto a meridional são muito parecidas em AD (~ 10 m/s), o mesmo é observado para GT com exceção do mês de Janeiro onde MS: 21 ± 2 m/s (zonal) e MS: 12 ± 2 m/s (meridional) (Malinga et al., 1998). Em SM não há esse comportamento parecido entre as componentes MS: 16,7 m/s (zonal) e MS: 24,2 m/s (meridional). A fase da maré diurna observada em SM é bem parecida (MS: 12,5 h (zonal) e 20,7 h (meridional)) com as observadas por Malinga et al. (1998) em GT (MS: $11,5 \pm 0,3$ h (zonal) e $18 \pm 0,5$ h (meridional)) e AD (MS: $14,5 \pm 0,2$ h (zonal) e $21 \pm 0,3$ h (meridional)).

Malinga e Poole (1997) encontraram uma variabilidade sazonal da amplitude maré diurna em GT com máxima amplitude no outono e um segundo máximo na primavera. Os máximos da maré diurna são atribuídos à reduzida dissipação durante os equinócios (MALINGA e POOLE, 1997). A maré diurna é geralmente maior que a semidiurna com ambas as componentes de maré, tendo mais energia no fluxo leste-oeste se comparada ao fluxo norte-sul (MALINGA e POOLE, 1997). Em SM também é observado que a componente diurna é muito mais forte que a semidiurna, na razão entre as componentes apresentada na Seção 4.6.5 do presente trabalho. Para a maré diurna nota-se que o fluxo zonal não tem mais energia que o meridional, ao contrário, o

meridional é mais forte que o zonal; no caso da maré semidiurna ambas componentes tem amplitudes semelhantes, como visto nas Seções 4.6.1 e 4.6.3, respectivamente.

5.5. Variabilidade da maré semidiurna

Vincent et al. (1998) notaram que a maré semidiurna em Adelaide apresenta um ciclo anual tanto na amplitude quanto na fase. As maiores amplitudes são observadas próximas ao solstício de verão e então diminuem para alcançarem valores mínimos em torno do solstício de inverno (VINCENT et al., 1998). Eles também observam em Adelaide um avanço da fase de 6 h do verão para o inverno com uma particular mudança rápida em Março e Setembro/Outubro. A maré semidiurna em Adelaide tem comportamento próximo ao clássico, com amplitudes aproximadamente iguais em ambas as componentes e com a fase zonal avançada por 3 h da componente meridional, como esperado para o HS. A variabilidade da maré semidiurna em SM é aproximadamente anual, na amplitude e na fase, concordando com Adelaide. Quanto às amplitudes maiores serem localizadas no solstício de verão, apenas a componente meridional concorda com Adelaide, já a zonal tem as mais altas amplitudes centradas no equinócio de outono.

McLandress et al. (1996) usando o WINDII encontraram máxima amplitude para a maré semidiurna acima de 25 m/s em Fevereiro a Abril para a componente meridional e entre Abril e Junho na componente zonal para a latitude de 35°S. Esse resultado para a componente zonal concorda um pouco mais com os resultados encontrados em SM.

A amplitude da maré semidiurna, em GT, tem máxima amplitude no outono (Malinga e Poole, 1997). Modelos teóricos sugerem que aumento da excitação dos modos de mais alta ordem poderia ser responsável pela variação da amplitude da maré semidiurna (MALINGA e POOLE, 1997).

Para a amplitude da maré semidiurna a componente meridional do vento em CP concorda com SM acima de 94 km, mas abaixo dessa altura é bastante diferente. Em Batista et al. (2004) não é observada com clareza a variação anual em CP como observado em SM. CP, embora não concorde plenamente com SM, também discorda bastante com o GSWM-00 principalmente no comportamento da maré semidiurna. O comportamento da componente zonal da fase semidiurna em CP discorda de SM quase o ano todo, exceto pela mudança de fase entre Janeiro e Fevereiro observada por Batista et al. (2004) em CP, a qual também observada em SM. Porém, em SM essa variação se repete de Agosto a Outubro de 2005 e em Novembro de 2006, o que não é observado em CP. O comportamento quase evanescente da fase é observado em SM durante o ano todo para a componente zonal, já Batista et al. (2004) observam isso somente em alguns meses para CP. A fase meridional é mais bem comportada em CP, com a fase decrescente com altura seguindo aproximadamente o modelo GSWM-00 (Batista et al., 2004), já em SM há grandes variações na fase semidiurna meridional.

A amplitude da maré semidiurna em ambas componentes, zonal e meridional, é centrada em ~ 10 m/s tanto para GT quanto para AD (MALINGA et al., 1998), similares aos resultados para SM (MS: 9,7 m/s (zonal) e 14, 6 (meridional). A fase da maré semidiurna é bastante parecida entre GT (MS: $7,8 \pm 0,3$ h (zonal) e $9,9 \pm 0,3$ h (meridional)) e AD (MS: $7,3 \pm 0,1$ h (zonal) e $10,7 \pm 0,1$ h (meridional)) (MALINGA et al., 1998), mas com ~ 2 h de diferença para SM (MS: 9,1 h (zonal) e 8,4 h (meridional)).

A análise da maré semidiurna também resulta em grande diferença entre os dados e o modelo para Wuhan, tanto na amplitude quanto na fase (ZHANG et al., 2004). As amplitudes nos dados de Wuhan são superiores às apresentadas pelo GSWM-02 (ZHANG et al., 2004), isso também é observado em SM, os dados tem amplitudes maiores que o modelo.

Pancheva et al. (2002) analisaram os dados de observações de ventos médios e marés atmosféricas na região MLT realizadas na campanha Planetary-Scale Mesopause Observing System (PSMOS) durante os meses de Junho a Agosto de 1999. Eles detectaram discrepâncias entre as amplitudes predeterminadas para a maré semidiurna no verão pelo GSWM-00 e os dados observacionais coletados em aproximadamente 22 bases de coletas de dados de ventos na região MLT. As amplitudes observadas são 2 ou mais vezes maiores que as do modelo (PANCHEVA et al., 2002). Algumas discrepâncias são observadas próximas ao solstício de Junho, quando a fase semidiurna do hemisfério de verão está adiantada ~2h em relação ao modelo (PANCHEVA et al., 2002).

6. CONCLUSÕES

Medidas de vento médio e marés atmosféricas sobre a região de Santa Maria (29,7°S, 53,8°O) foram realizadas para o período de 2005 a 2007 usando radar meteorológico do tipo SKiYMET. A análise desses resultados possibilita afirmar que:

O vento médio zonal na região de Santa Maria é predominante para leste enquanto que o meridional tem comportamento dependente da altura, com fluxo para Sul abaixo de 88 km e para Norte acima dessa altura. Além disso, o vento médio zonal apresenta variabilidade anual, que é diferente da apresentada pelo modelo HWM-93 (HEDIN et al., 1996). Com relação à variação do vento médio com a latitude é observado um gradiente do vento médio entre São João do Cariri (7°S, 36°O), Cachoeira Paulista (23°S, 45°O) e Santa Maria, variando com as estações do ano.

A maré diurna é muito mais intensa que a semidiurna como esperado para a região analisada. Comparações realizadas entre os dados do radar SKiYMET – Santa Maria e o modelo global GSWM-00 mostram divergências nos valores da amplitude da maré diurna, tanto na componente zonal quanto na meridional. Há periodicidade semi-anual na amplitude da maré diurna somente na componente meridional, com o máximo do equinócio de outono bem mais intenso que o do equinócio de primavera. Para a componente zonal é observado periodicidade anual. Esses resultados são bastante distintos dos apresentados no modelo GSWM-00 por Hagan et al. (2001). A análise da fase sugere que o comprimento de onda vertical da maré diurna zonal (~27 km) é bem menor que o predito pelo modelo GSWM-00 (~40 km).

A variabilidade da amplitude da maré diurna com a latitude é maior no equinócio de outono, quando a amplitude observada na região equatorial diverge mais daquelas das médias latitudes. Esse resultado concorda com o

observado por Vincent et al. (1998). A componente zonal da fase da maré diurna mostra grande variabilidade com a latitude tanto do horário de ocorrência do máximo quanto no comprimento de onda vertical, ao contrário da componente meridional que se mantém mais estável com a latitude.

Observa-se também, para Santa Maria, uma variabilidade inter-anual da maré diurna. A maré diurna geralmente mostra maior variabilidade entre os anos na amplitude e fase que a maré semidiurna (MALINGA e POOLE, 1997). Vincent et al. (1998) encontraram variabilidade inter-anual na amplitude da maré diurna em latitude próxima a de Santa Maria. Essa variabilidade é mais forte no equinócio de Março, com periodicidade de aproximadamente 2 anos, devido à oscilação quase bienal (QBO) (VINCENT et al., 1998).

Para a maré semidiurna nota-se em Santa Maria grande divergência com o GSWM-00 em ambas as componentes do vento. A amplitude predita pelo modelo é subestimada para Santa Maria concordando com os resultados de Zhang et al (2004) para Wuhan (30°N , 114°L). É observada variabilidade anual da componente zonal da amplitude com máximo no outono, concordando com os resultados obtidos por Malinga e Poole (1997) para Grahamstown ($33,3^{\circ}\text{S}$, $26,5^{\circ}\text{O}$) e por McLandress et al. (1996) usando o WINDII para 35°S . Já a componente meridional da amplitude em Santa Maria concorda com os resultados de Batista et al. (2004) para Cachoeira Paulista acima de 94 km, mas abaixo dessa altura o comportamento é bastante diferente. A fase da maré semidiurna tem comportamento quase evanescente durante quase todo o ano nas duas componentes do vento.

Há grande variabilidade latitudinal da maré semidiurna tanto na amplitude quanto na fase. Vincent et al. (1998) também relatam a variabilidade latitudinal da maré semidiurna notando grande divergência com o GSWM-00.

As grandes divergências entre o GSWM-00 e os resultados das observações sobre Santa Maria podem estar em três principais fatores: 1) Pancheva et al (2002) observaram que o vento médio zonal de fundo, usado no GSWM-00 entre 88-96 km de altura, está em bastante divergência com dados observacionais da campanha PSMOS; 2) A existência de modos não migrantes sobrepostos aos modos migrantes de marés poderia explicar algumas das divergências entre os dados e o GSWM-00 (MALINGA et al., 1998); 3) A explicação dada por Zhang et al. (2004) é que essas diferenças sejam causadas por interações não lineares onda-onda, não consideradas na versão usada do GSWM-00.

Comparações entre radar MF e radar meteorológico, ambos em Adelaide, mostraram algumas diferenças acima de 90 km (e.g. CERVERA e REID, 1995; VINCENT et al., 1998). Os dados de vento mostraram que os ventos obtidos pelo radar meteorológico tendem a ser maior que os obtido pelo radar MF, mas houve excelente concordância entre o vento médio e os ajustes harmônicos (VINCENT et al., 1998). Assim algumas diferenças entre os resultados de Adelaide e de Santa Maria podem ser causadas por diferenças nos instrumentos.

7. TRABALHOS FUTUROS

A partir da análise realizada nesse trabalho podem-se realizar os seguintes trabalhos:

1. Determinação do fluxo de momento devido às ondas de gravidade;
2. Análise da temperatura calculada através do radar meteórico SKiYMET pelo método de Hocking (Hocking, 1999; Hocking and Hocking, 2002)
3. Em colaboração com modeladores no modelo GSWM, poderia ser realizada a implementação dos principais fatores das possíveis causas das divergências ocorridas entre os dados e o modelo. Exemplo: forçantes de marés não-migrantes, interações não lineares entre diferentes modos de ondas, além de implementar os dados de entrada do vento médio zonal de fundo com dados reais de campanhas globais.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATCHELOR, G.K. **An introduction to fluid dynamics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1967. p 615.

BATISTA, P.P; Clemesha, B.R.; Tokumoto, A.S.; Lima, L.M., Structure of the mean winds and tides in the meteor region over Cachoeira Paulista, Brazil (22.7oS; 45oW) and its comparison with models. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v 66, p 623 – 636, 2004.

BEER, T. **Atmospheric waves**. Londres: Adam Hilder, 1974. p 300.

BEVINGTON, P.R. **Data reduction and error analysis for the physical sciences**, 1969, New York: McGraw-Hill Book Company, p 336.

CEVERA, M. A.; Reid, I. M., Comparisons of simultaneous wind measurements using colocated VHF meteor radar and spaced antenna radar systems, **Radio Sci.**, v 30, p 1245-1261, 1995.

CHAPMAN, S.; Lindzen, R. S., **Atmospheric tides**: thermal and gravitational, 1970, New York: Gordon and Breach, p 200.

FORBES, J. M.; Groves, G. V., Diurnal propagating tides in the low- latitude middle atmosphere, **J. Atmos. Terr. Phys.**, v 49, p 153-164, 1987.

FORBES, J.M, Tidal and Planetary Waves, p 67-87, 1987, In: JOHNSON, R.M. and P.L. Killeen, **The upper mesosphere and lower thermosphere**: a review of experiment and theory, 1995, Washington: American Geophysical Union, Geophysical Monography Series, v 87.

FORBES, J.M.; Garrett, H. B., 1979. Theoretical studies of Atmospheric Tides. **Reviews of Geophysics and Space Physics**, v 17, n 8, Nov. 1979, doi:0034-6853/79/009R-090650.

FORBES, J.M.; Roble, R.G.; Fesen, C.G., Acceleration, heating and compositional mixing of the thermosphere due to upward-propagating tides. **Journal of Geophysical Research**, v 98, p 311–321. 1993.

FRITTS, D. C.; Alexander, M. J., Gravity wave dynamics and effects in the middle atmosphere, **Rev. Geophys.**, v 41, n 1, 1003, p 3.1-3.64, 2003. [online]. Disponível em: <<http://www.agu.org/journals/rg/rg0301/2001RG000106/>>. Acesso em 20 de out de 2007. doi:10.1029/2001RG000106.

GROVES, G. V. Hough components of water vapour heating. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**, v 44, n.3, p. 281-290, July 1982.

HAGAN, M. E.; Forbes, J. M., Migrating and nonmigrating diurnal tides in the middle and upper atmosphere excited by tropospheric latent heat release, **Journal of Geophysical Research**, v 107, n D24, p 4754, 2002. doi: 10.1029/2001JD001236,

HAGAN, M. **The Global-Scale Wave Model (GSWM)**. Disponível em: <<http://web.hao.ucar.edu/public/research/tiso/gswm/model.html>>. Acesso em 05 Dez. 2007.

HAGAN, M.E.; Burrage, M.D.; Forbes, J.M.; Hackney, J.; Randel, W.J.; Zhang, X., GSWM-98: Results for migrating solar tides. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, no. A4, p. 6813-6827, Apr. 1999.

HAGAN, M.E.; Forbes, J.M.; Vial, F., On modeling migrating solar tides. **Geophysical Research Letters**, v 22, n 8, p 893-896, Apr. 1995.

HAGAN, M.E.; Roble, R.G.; Hackney, J., Migrating thermospheric tides. **Journal of Geophysical Research**, v 106, n A7, p 12739-12752, July 2001.

HAGAN, M.E.; Roble, R.G.; Hackney, J., Modeling thermospheric tides. **Journal of Geophysical Research**, v 106, n A7, p 3563-3566, Nov. 2000.

HEDIN, A. E; Fleming, E.L.; Manson, A.H.; Schmidlin, F.J.; Avery, S.K.; Clark, R.R.; Franke, S.J.; Fraser, G.J.; Tsuda, T.; Vial, F.; Vincent, R.A., Empirical Wind Model for the Upper, Middle and Lower Atmosphere, **J. Atmos. Terr. Phys.**, v 58, p 1421-1447, 1996.

HEDIN, A. E, et al., Revised Global Model of Thermosphere Winds Using Satellite and Ground-Based Observations, **Journal of Geophysical Research**, v 96, p 7657-7688, 1991.

HEDIN, A. E.; Spencer, N. W.; Killeen, T. L, Empirical Global Model of Upper Thermosphere Winds Based on Atmosphere and Dynamics Explorer Satellite Data, **Journal of Geophysical Research.**, v 93, p 9959-9978, 1988.

HOCKING, W. K., Temperature using radar-meteor decay times, **Geophysics Research Letters**, v 26, p 3297-3300, 1999.

HOCKING, W. K.; A. Hocking, Temperature tides determined with meteor radar, **Annales Geophysicae**, v 20, p 1447-1467, 2002.

HOCKING, W. K.; Fuller, B.; Vandepeer, B. Real-time determination of meteor-related parameters utilizing modern digital technology. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v 63, n 2-3, p 155-169, Jan.-Feb. 2001.

HONG, S.S.; Wang, P.H., On the thermal excitation of atmospheric tides, **Bull. Geophys.**, v 19, p 56-83, 1980.

KATO, S. **Dynamics of the upper atmosphere**. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1980, p 233.

MALINGA, S. B; Poole, L. M. G., Atmospheric tides observed at Grahamstown (33.3°S, 26.5°E). **Journal of. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v 59, p 2037-2050, 1997.

MALINGA, S. B; Poole, L. M. G.; Vincent, R. A., Simultaneous observations of atmospheric summer tides at Grahamstown (South of Africa) and Adelaide (Australia). **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v 60, p 1459-1469, 1998.

MCLANDRESS, C.; Shepherd, G. G.; Solheim, B. H., Satellite observations of thermospheric tides: Results from the Wind Interferometer on UARS, **Journal of Geophysical Research** v 101, p 4093-4114, 1996.

MURGATROYD, R. J. Dynamical modelling of the stratosphere and mesosphere, p 105-121, In: Fiocco, G. ed. **Mesospheric models and related experiments**, 1970, Dordrecht: D.Reidel Publishing Company.

PANCHEVA, D.; Mitchell, N.J.; Hagan, M.E.; Manson, A.H.; Meek, C.E.; Luo, Yi; Jacobi, Ch.; Kürschner, D.; Clark, R.R.; Hocking, W.K.; MacDougall, J.; Jones, G.O.L.; Vincent, R.A.; Reid, I.M.; Singer, W.; Igarashi, K.; Fraser, G.I.; Nakamura, T.; Tsuda, T.; Portnyagin, Yu.; Merzlyakov, E.; Fahrutdinova, A.N.; Stepanov, A.M.; Poole, L.M.G.; Malinga, S.B.; Kashcheyev, B.L.; Oleynikov, A.N.; Riggini, D.M., Global-scale tidal structure in the mesosphere and lower thermosphere during the PSMOS campaign of June–August 1999 and comparisons with the global-scale wave model. **Journal of. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v 64, p 1011-1035, 2002.

PANCHEVA, D.V.; Mukhtarov, P.J.; Mitchell, N.J.; Fritts, D.C.; Riggini, D.M.; Takahashi, H.; Batista, P.P.; Clemesha, B.R.; Gurubaran, S.; Ramkumar, G., Planetary wave coupling (5–6-day waves) in the low-latitude atmosphere–ionosphere system. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v.70, p.101–122, 2008.

STROBEL, D.F., Parametrization of the atmospheric heating rate from 15 to 120 km due to O₂ and O₃ absorption of solar radiation. **Journal of Geophysical Research**, v. 83, p. 6225-6230, 1978.

VINCENT, R. A.; Kovalam, S.; Fritts, D. C. ; Isler, J. R., Long-term MF radar observations of solar tides in the low-latitudes mesosphere: Interannual

variability and comparisons with the GSWM, **Journal of Geophysical Research.**, v 103, p 8667-8683, 1998.

WILLIAMS, C. R.; Avery, S. K., Non-migrating diurnal tides forced by deep convective clouds, **Journal of Geophysical Research.**, v 101, p 4079-4091, 1996.

ZHANG, S. D; Yi, F.; Hu, X., MF radar observation of mean wind and tides of winter mesopause (80-98 km) region over Wuhan (30°N, 114°E). **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v 66, p 15-25, 2004.

APÊNDICE A – PROGRAMA DESENVOLVIDO PARA CÁLCULO DOS VENTOS

```
;
;-----
;Este programa carrega vários arquivos de dados do Radar Meteorológico, calculando as componentes do
;vento zonal, meridional e vertical
;É necessário entrar com o valor das respectivas variáveis para que os arquivos corretos sejam carregados
;criado em: 10/10/2007
;modificado em: 06/02/2008 e 28/02/2008
;Por: Vânia Fátima Andrioli
;-----
;Entrada de valores
;ANO:      Entre com o valor do ano (AAAA) que você deseja abordar os dados
;MES:      Entre com o valor do MES (MM)
;RADAR:    É o nome do local onde o radar que se deseja trabalhar está instalado. Deve ser em letras
;minúsculas e sem espaço
;N_DIAS:    É o número de dias do determinado intervalo em que se deseja. No caso de ser um mês
;completo, é o número de dias do mês.
;OBS: caso não se deseja iniciar no dia 01, deve ser indicado na variável 'D' o dia respectivo de (START)
;LOCAL:     É o endereço da localização dos dados
;N_ALTURAS: É o número de faixas de alturas que você deseja tomar
;START_HEIGHT: É a altura mínima em que você deseja iniciar a medida
;HEIGHT_INT: É o intervalo entre uma altura e outra, ou seja, a escala de altura
;THETAMIN : É o ângulo zenital mínimo para que o eco possa ser considerado de meteoro e não de
;avião
;THETAMAX:  É o ângulo zenital máximo para que não seja ruído
;TAUMIN:    É o tempo mínimo de decaimento
;VRADMAX:   É a velocidade máxima permitida ao rastro meteorológico
;-----

PRO vento
contador = 0L
restore, 'F:\meus_prog\template.save' ;restaura o arquivo template criado pra identificar cada tipo de
variável
;-----
; Entrada de variáveis

ANO = '2007'
MES = '12'
DIA_START = '01'
DIA_END = '16'
RADAR = 'santamaria'
TITULO = RADAR + '_' + ANO + MES + DIA_START + '_' + ANO + MES + DIA_END
N_DIAS = 16.
N_ALTURA = 8.
START_HEIGHT = 80.
HEIGHT_INT = 2.5
THETAMIN = 10
THETAMAX = 70
TAUMIN = 0.015
VRADMAX = 150
N_MET = 7
IniPos          = INTARR(24, N_ALTURA)
EndPos          = INTARR(24, N_ALTURA)
```

```

Result          = FLTARR(24, N_ALTURA, 3,15000)
Resultado        = FLTARR(24,N_ALTURA,3)
metdescartado    = 0
TOTALMET         = 0

;-----
;Lê o arquivo de dados

FOR D =1,N_DIAS DO BEGIN
N_DIAS_Str = (D GE 10) ? STRING(D, FORMAT='(I2.2)') : '0'+STRING(D,$ FORMAT='(I1.1)')
LOCAL = 'F:\dados_santa_maria\2007\Raw\12 dez\mp' + ano + mes +N_DIAS_Str+ $ '.' + radar +'.mpd'

;-----
;identifica Cada variável
      Time    = arquivo.field03
      range    = arquivo.field05
      High     = arquivo.field06
      Vrad     = arquivo.field07
      Theta    = arquivo.field09
      Phi      = arquivo.field10
      ambg     = arquivo.field11
      tau      = arquivo.field16
      amax     = arquivo.field15

TOTALMET = TOTALMET + N_ELEMENTS(amax)
; transforma o tempo para forma decimal de hora
Mins = DOUBLE(STRMID(time, 03, 02)) / 60
Sec   = DOUBLE(STRMID(time, 08, 04)) / 10 ; toma a fração de minutos em horas
Secs = (sec+DOUBLE(STRMID(time, 06,02)))/3600 ; toma a fração de seg em horas
Hora = DOUBLE(STRMID(time, 00, 02)) + Mins + Secs ; decimal de horas

      Time0 = DBLARR (1)
      High0 = FLTARR (1)
      Vrad0 = FLTARR (1)
      Theta0 = FLTARR (1)
      Phi0 = FLTARR (1)
      Tau0 = FLTARR (1)
      Ambg0 = FLTARR (1)

;-----
;Faz a identificação dos ecos que ocorrem no mesmo instante e toma o que tem a ;máxima amplitude
n = N_ELEMENTS(TIME)
FOR k=0L,n-1 do begin
      Time_Act = Hora[k]
      range_act = Range[k]
      Position = WHERE(HORA EQ Time_Act AND ((Range - range_act) LT 6))

      IF (N_ELEMENTS(Position) GT 1) THEN BEGIN
            Pos1 = WHERE(AMAX[Position] EQ MAX(AMAX(Position)))
            Pos1 = Position[0]+Pos1
            k = k + N_ELEMENTS(Position)
            metdescartado = metdescartado + N_ELEMENTS(Position)-1
      ENDIF ELSE Pos1 = k

```

```

        Time0 = [Time0, Hora[pos1[0]]]
        High0 = [High0, High[pos1[0]]]
        Vrad0 = [Vrad0, Vrad[pos1[0]]]
        Theta0 = [Theta0, Theta[pos1[0]]]
        Phi0 = [Phi0, Phi[pos1[0]]]
        Tau0 = [Tau0, Tau[pos1[0]]]
        ambg0 = [ambg0, ambg[pos1[0]]]
    ENDFOR

    SizeArr = N_ELEMENTS(Time0)
    Time0 = Time0(1:SizeArr-1)
    High0 = High0(1:SizeArr-1)
    Vrad0 = Vrad0(1:SizeArr-1)
    Theta0 = Theta0(1:SizeArr-1)
    Phi0 = Phi0(1:SizeArr-1)
    Tau0 = Tau0(1:SizeArr-1)
    ambg0 = ambg0(1:SizeArr-1)

;-----
;retorna um vetor com a posição das ambiguidades menores de 2 e que tenha theta e ;Vrad dentro dos
limites

positions = WHERE(ambg0 LT 2 AND Theta0 GE THETAMIN AND Theta0 LE $ THETAMAX AND
tau0 GE TAUMIN AND Vrad0 LE VRADMAX )

Time1 = Time0[positions]
High1 = High0[positions]
Vrad1 = Vrad0[positions]
Theta1 = Theta0[positions]*2*PI/360
Phi01 = Phi0[positions]*2*PI/360

;retira o primeiro valor do vetor pois esse valor é zero pela concatenação
SizeArr1 = N_ELEMENTS(Time1)
Time1 = Time1(1:SizeArr1-1)
High1 = High1(1:SizeArr1-1)
Vrad1 = Vrad1(1:SizeArr1-1)
Theta1 = Theta1(1:SizeArr1-1)
Phi01 = Phi01(1:SizeArr1-1)

;Realiza a separação dos ecos em faixas de altura e tempo armazenando na variável ;Result(24,6,3,15000)

FOR ii=0,N_ALTURA-1 DO BEGIN
    FOR JJ = 0,23 DO BEGIN
        Hmin = START_HEIGHT + ii*HEIGHT_INT
        Hmax = Hmin + HEIGHT_INT
        tmin = JJ
        tmax = JJ +1
        Posicoes = WHERE(High1 GE Hmin AND High1 LT Hmax AND time1 GE $
tmin AND time1 LT tmax)
        IF ((POSICOES[0] NE -1) AND (N_ELEMENTS(POSICOES) GE N_MET)) THEN BEGIN
            Phi02 = PHI01[POSICOES]
            theta02 = THETA1[POSICOES]
            Y = Vrad1[POSICOES]
            EndPos(JJ,II) = N_ELEMENTS(POSICOES) + IniPos(JJ,II) - 1
            Result (JJ,II,0,IniPos(JJ,II):EndPos(JJ,II)) = theta02
        ENDIF
    ENDFOR
ENDFOR

```

```

        Result (JJ,II,1,IniPos(JJ,II):EndPos(JJ,II)) = Phi02
        Result (JJ,II,2,IniPos(JJ,II):EndPos(JJ,II)) = Y
        IniPos(JJ,II) = EndPos(JJ,II) + 1
    ENDIF ELSE metdescartado = metdescartado + $ N_ELEMENTS(Posicoes)
ENDFOR
ENDFOR
ENDFOR

;Faz o primeiro cálculo das componentes do vento, por regressão múltipla
FOR II=0,N_ALTURA-1 DO BEGIN
    FOR JJ = 0,23 DO BEGIN
        Resultado(JJ, II, *) = CALCULA(Result(JJ,II,0:EndPos(JJ,II)), $
            Result(JJ,II,1:EndPos(JJ,II)),Result(JJ,II,2:EndPos(JJ,II)))
    ENDFOR
ENDFOR

;-----
;Second pass
; Utiliza as componentes calculas no primeiro passo e verifica pela equação
; Vrad = Vzonal*cos(phi)*sen(theta) + Vmeridional*sen(phi)*sen(theta) + Vz*cos(theta)
; Se diferença entre a velocidade calculada e a velocidade medida é menor que 100m/s, ;senão, descarta

FOR II=0,N_ALTURA-1 DO BEGIN
    FOR JJ = 0,23 DO BEGIN
        Theta03 = FLTARR(1)
        Phi03 = FLTARR(1)
        Vra = FLTARR(1)
        fim = N_ELEMENTS(Result[JJ,II,1:EndPos(JJ,II)])

        FOR n=0,fim-1 DO BEGIN
            V = vsecond(Resultado(JJ,II,0), Resultado(JJ,II,1), Resultado(JJ,II,2),$
                (Result(JJ,II,0,n)), (Result(JJ,II,1,n)))
            dif = ABS(V - Result(JJ,II,2,n))

            IF dif LT 100 THEN BEGIN

                Theta03 = [Theta03, Result(JJ,II,0,n)]
                Phi03 = [Phi03, Result(JJ,II,1,n)]
                Vra = [Vra, Result(JJ,II,2,n)]

            ENDIF ELSE BEGIN
                metdescartado = metdescartado + 1
                Resultado (JJ,II,*) = 0.
            ENDELSE
        ENDFOR

        IF (N_ELEMENTS(theta03) GE N_MET+1) THEN BEGIN

            SizeArr2 = N_ELEMENTS(Theta03)
            Theta03 = Theta03(1:SizeArr2-1)
            Phi03 = Phi03(1:SizeArr2-1)
            Vra = Vra(1:SizeArr2-1)
            Resultado(JJ, II, *) = CALCULA(Theta03, Phi03,Vra)

        ENDIF ELSE metdescartado = metdescartado + N_ELEMENTS(theta03)
    ENDFOR
ENDFOR

```

```

        ENDFOR
    ENDFOR

;-----
;elabora o gráfico com 6 alturas diferentes
!P.MULTI = [0,3,4]
WINDOW, XSIZE=1024, YSIZE=700
!P.COLOR = 0 & !P.background = -5

PLOT, Resultado(*,0,0),CHARSIZE=2, LINESSTYLE=0, YRANGE=[-100,100],$
      TICKLEN = 1, TITLE = STRING (START_HEIGTH+HEIGHT_INT/2) + 'km'
OPLOT, Resultado(*,0,1), LINESSTYLE=1

PLOT, Resultado(*,1,0), LINESSTYLE=0, CHARSIZE=2, YRANGE=[-100,100],$
      TICKLEN = 0.5, TITLE = STRING (START_HEIGTH+HEIGHT_INT/2+HEIGHT_INT) + 'km'
OPLOT, Resultado(*,1,1), LINESSTYLE=1
OPLOT, Resultado(*,1,2),LINESSTYLE=2

PLOT, Resultado[* ,2,0], LINESSTYLE=0, CHARSIZE=2, YRANGE=[-100,100],$
      TICKLEN = 0.5, TITLE = STRING (START_HEIGTH + HEIGHT_INT/2+2*HEIGHT_INT) + 'km'
OPLOT, Resultado[* ,2,1], LINESSTYLE=1
OPLOT, Resultado[* ,2,2], LINESSTYLE=2

PLOT, Resultado[* ,3,0],LINESSTYLE=0,CHARSIZE=2,YRANGE=[-100,100],$
      TICKLEN = 0.5, TITLE = STRING $ (START_HEIGTH+HEIGHT_INT/2+3*HEIGHT_INT) + 'km'
OPLOT, Resultado[* ,3,1],LINESSTYLE=1
OPLOT, Resultado[* ,3,2],LINESSTYLE=2

PLOT, Resultado[* ,4,0], LINESSTYLE=0,CHARSIZE=2, YRANGE=[-100,100],$
      TICKLEN = 0.5, TITLE = STRING (START_HEIGTH+HEIGHT_INT/2+4*HEIGHT_INT) + 'km' ;
OPLOT, Resultado[* ,4,1],LINESSTYLE=1
OPLOT, Resultado[* ,4,2],LINESSTYLE=2

PLOT, Resultado[* ,5,0],LINESSTYLE=0, CHARSIZE=2,YRANGE=[-100,100],$
      TICKLEN = 0.5, TITLE = STRING (START_HEIGTH+HEIGHT_INT/2+5*HEIGHT_INT) + 'km'
OPLOT, Resultado[* ,5,1],LINESSTYLE=1
OPLOT, Resultado[* ,5,2],LINESSTYLE=2

PLOT, Resultado[* ,6,0], LINESSTYLE=0,CHARSIZE=2, YRANGE=[-100,100],$
      TICKLEN = 0.5, TITLE = STRING (START_HEIGTH+HEIGHT_INT/2+6*HEIGHT_INT) + 'km' ;
OPLOT, Resultado[* ,6,1],LINESSTYLE=1
OPLOT, Resultado[* ,6,2],LINESSTYLE=2

PLOT, Resultado[* ,7,0],LINESSTYLE=0, CHARSIZE=2,YRANGE=[-100,100], TICKLEN = 0.5, $
      TITLE = STRING (START_HEIGTH+HEIGHT_INT/2+7*HEIGHT_INT) + 'km' , XTITLE = TITULO
OPLOT, Resultado[* ,7,1],LINESSTYLE=1
OPLOT, Resultado[* ,7,2],LINESSTYLE=2

;-----
;salva o gráfico como figura *.bmp
WRITE_BMP, 'F:\Ventos\graficos\'+'titulo'+test.bmp', TVRD()

```

```

:-----
; Salva os valores do vento em 3 arquivos *.txt
openw, Lun, 'F:\Ventos\2007\Inf met\' + titulo + '.txt', /GET_LUN
printf, Lun, 'Num de meteoros descartados = ', metdescartado
Printf, Lun, 'Num total de meteoros = ', TOTALMET
FREE_LUN, Lun

tempo          = INDGEN(24)+0.5
X              = TRANSPOSE(tempo)
Zonal          = TRANSPOSE(Resultado[,*,0])
Meridional     = TRANSPOSE(Resultado[,*,1])
Vertical       = TRANSPOSE(Resultado[,*,2])
Z              = [X,Zonal]
M              = [X,Meridional]
V              = [X,Vertical]

openw, Lun, 'F:\Ventos\2007\' + titulo + '_zonal.txt', /GET_LUN
printf, Lun, (Z), FORMAT = '(9F)'
FREE_LUN, Lun

openw, Lun, 'F:\Ventos\2007\' + titulo + '_meridional.txt', /GET_LUN
printf, Lun, (M), FORMAT = '(9F)'
FREE_LUN, Lun

openw, Lun, 'F:\Ventos\2007\Vertical\' + titulo + '_vertical.txt', /GET_LUN
printf, Lun, (V), FORMAT = '(9F)'
FREE_LUN, Lun

END

```

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

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

Manuais Técnicos (MAN)

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

Notas Técnico-Científicas (NTC)

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

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

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

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

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

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

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

Programas de Computador (PDC)

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

Pré-publicações (PRE)

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