



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM FÍSICA
UNIDADE ACADÊMICA DE FÍSICA

Shayne Halyson Pereira de Melo

Estudo de Ondas Planetárias nas localidades de Ascension Island, São João do Cariri e Costa Rica

Campina Grande, Paraíba, Brasil

4 de julho de 2022

Shayne Halyson Pereira de Melo

Estudo de Ondas Planetárias nas localidades de Ascension Island, São João do Cariri e Costa Rica

Dissertação realizada sob orientação do Profs. Dr. Ricardo Arlen Buriti da Costa e Me. Robson Batista de Sousa, apresentada à Unidade Acadêmica de Física em complementação aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física.

Orientador: Professor Dr. Ricardo Arlen Buriti da Costa

Coorientador: Professor Me. Robson Batista de Sousa

Campina Grande, Paraíba, Brasil

4 de julho de 2022

M528e Melo, Shayne Halysn Pereira de.
Estudo de ondas planetárias nas localidades de Ascension Island, São João do Cariri e Costa Rica / Shayne Halysn Pereira de Melo. - Campina Grande, 2022.
78 f. il. color.

Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação: Prof. Dr. Ricardo Arlen Buriti da Costa, Prof. Dr. Robson Batista de Sousa."

Referências.

1. Radar Meteorológico. 2. Ventos Mesosféricos. 3. Ondas Planetárias. I. Costa, Ricardo Arlen Buriti da. II. Sousa, Robson Batista de. III. Título.

CDU 551.508.85(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

POS-GRADUACAO EM FISICA

Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

SHAYNE HALYSON PEREIRA DE MELO

Estudo de Ondas Planetárias nas localidades de Ascension Island, São João do Cariri e Costa Rica.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Física.

Avaliada como APROVADA em: 19/05/2022

Ricardo Arlen Buriti da Costa
Presidente da Comissão e Orientador

Robson Batista de Sousa
Coorientador

Igo Paulino da Silva
Examinador Interno

Fábio do Egito
Examinador externo



Documento assinado eletronicamente por **IGO PAULINO DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/06/2022, às 08:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **RICARDO ARLEN BURITI DA COSTA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 22/06/2022, às 09:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **FABIO DO EGITO GOMES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/06/2022, às 11:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **2495621** e o código CRC **E5C25D5A**.

Im memoriam a todos meus familiares, professores e amigos que se foram, mas que sempre me apoiaram na minha vida acadêmica.

Agradecimentos

- Primeiramente a Deus por ter me concedido a minha vida me dando forças por ter chegado até aqui neste momento.
- Ao prof. Dr. Ricardo Arlen Buriti da Costa, pela orientação, sugestão, estímulo e competência com que conduziu este trabalho.
- Ao prof. Me. Robson Batista de Sousa, pela sua coorientação, sugestão, estímulo e competência com que conduziu este trabalho.
- Aos Profs. da pós-graduação, pela colaboração que recebi durante a fase de preparação desta dissertação.
- A profa. Dra. Ana Roberta da Silva Paulino, que me ajudou bastante com o fornecimento dos dados de vento para o estudo de minha dissertação.
- Ao prof. Dr. Alyson José Alves Carvalho, que me ajudou bastante para a conclusão de minha dissertação.
- Em especial a minha esposa Rhawaya de Lima Silva, por sempre está ao meu lado me apoiando e compreendendo os meus momentos de ausência.
- Ao meu filho Pedro Henryque Cordeiro de Melo, por ser a minha maior fonte de inspiração e de incentivo para conseguir almejar todos os meus objetivos.
- Aos meus pais Leandro Lopes de Melo (pai) e Maria do Socorro Pereira de Melo (mãe), por ter me educado de forma tanto intelectual quanto acadêmica, fazendo com que eu consiga vencer todos os obstáculos da vida a serem conquistados.
- Aos meus familiares pelo apoio, confiança e incentivo.
- Aos colegas de pós-graduação e funcionários da Unidade Acadêmica de Física pela grata convivência durante a minha permanência na Unidade.
- Aos colegas que fiz no grupo de Altas Atmosferas: Rennan Rocha, Emerson, Joisley, Wellington e Luiz Fellip.
- À CAPES pelo suporte financeiro.
- A todos que direta ou indiretamente possibilitaram a conclusão deste trabalho.

*A maravilhosa disposição e harmonia do universo
só pode ter sido origem o segundo plano de um
Ser que tudo sabe e tudo pode. Isso fica sendo
a minha última e mais elevada descoberta.
(Isaac Newton)*

Resumo

Medidas de ventos foram coletadas pelo radar meteórico SKYiMET, para as localidades de Ascension Island (7.9°S; 14.3°O), São João do Cariri (7.4°S; 36.5°O) e Costa Rica (9.7°N; 83°O). Com isto, a análise sobre esses dados nos ventos mesosféricos será realizada através de ferramentas computacionais para a obtenção de possíveis ondas planetárias para o vento zonal e vento meridional para o mês de dezembro do ano de 2005. Assim, com a análise realizada, detectaram-se oscilações de espectros de energia apenas para o vento meridional em Ascension Island e São João do Cariri. As oscilações encontradas são assinaturas de ondas com períodos de 3-4 dias para a componente do vento meridional. Através dessas oscilações observadas serão calculadas as suas amplitudes e fases de cada altitude onde foram identificadas, o comprimento de onda vertical, as velocidades de propagação da onda e o comprimento de onda horizontal. Logo em seguida, será realizado um estudo sobre o comportamento e características dessas ondas com outros trabalhos já realizados, para poder identificá-las a qual categoria de ondas se enquadram.

Palavras-chave: Ventos Mesosféricos. Ondas Planetárias. Radar meteórico.

Abstract

Wind measurements were collected by SKYiMET meteoric radar, for the locations of Ascension Island (7.9°S; 14.3°W), São João do Cariri (7.4°S ; 36.5°O) and Costa Rica (9.7°N; 83°O). With this, the analysis of these datas in the mesospheric winds will be carried out through computational tools to obtain possible planetary waves for the zonal wind and meridional wind for the month of December of the year 2005. With the analysis performed, energy spectrum oscillations were detected only for the meridional wind in Ascension Island and São João do Cariri. The oscillations found are wave signatures with periods of 3-4 days for the meridional wind component. Through these observed oscillations their amplitudes and phases will be calculated for each altitude where they were identified, the vertical wavelength, the propagation speeds of the wave and the horizontal wavelength. Soon after, a study will be carried out on the behavior and characteristics of these waves with other works already carried out, in order to identify them to which category of waves they fit.

Keywords: Mesospheric Winds. Planetary waves. Weather radar.

Lista de ilustrações

Figura 2.1 – Formação da Atmosfera Terrestre.	29
Figura 2.2 – Distribuição vertical média da temperatura em (K) em função da altura em (km) de cada camada. Modelo obtido pelo The COSPAR International Reference Atmosphere (CIRA-86).	30
Figura 3.1 – Localização dos radares meteóricos.	39
Figura 3.2 – Formação do meteoro entrando em contato com a atmosfera.	40
Figura 3.3 – Esquema de antenas receptoras e transmissora do radar SKiYMET	41
Figura 3.4 – Esquema de captação dos meteoros do radar SKiYMET.	43
Figura 3.5 – Representação das componentes cartesianas para o cálculo da velocidade radial.	44
Figura 4.2 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento zonal, obtido em Ascension Island referente ao mês de dezembro do ano de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.	50
Figura 4.3 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento zonal, obtido em São João do Cariri referente ao mês de dezembro do ano de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.	51
Figura 4.6 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento zonal, obtido em Costa Rica referente ao mês de dezembro do ano de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.	53
Figura 4.8 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento meridional, obtido em Ascension Island referente ao mês de dezembro do ano de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.	54
Figura 4.10 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento meridional, obtido em São João do Cariri referente ao mês de dezembro do ano de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.	56
Figura 4.12 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento meridional, obtido em Costa Rica referente ao mês de dezembro do ano de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.	57
Figura 4.13 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento meridional, obtido em Ascension Island com período entre o dia 6 e 18 do mês de dezembro de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.	58
Figura 4.15 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento meridional, obtido em São João do Cariri com período entre o dia 6 e 18 do mês de dezembro de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.	59
Figura 4.16 – Fitting correspondente ao vento meridional, obtido em Ascension Island entre os dias 6 e 18 do mês de dezembro de 2005.	60
Figura 4.17 – Fitting correspondente ao vento meridional, obtido em São João do Cariri entre os dias 6 e 18 do mês de dezembro de 2005.	62

Figura 4.18–Gráficos (a) amplitude e (b) Fase correspondente ao vento meridional, obtido em Ascension Island e São João do Cariri entre o dia 6 e 18 do mês de dezembro de 2005. 64

Lista de tabelas

Tabela 3.1 – Parâmetros medidos pelo Radar SKiYMET.	42
Tabela 4.1 – Tabela Amplitude	65
Tabela 4.2 – Tabela Fase	65

Lista de abreviaturas e siglas

MLT	do Inglês; Mesosphere and Lower Thermosphere
UV	Ultravioleta
AM	Amplitude Modulada
QTDW	do Inglês; Quasi-two days wave
QBO	do Inglês; Quasi Biennial Oscillation
SKiYMET	do Inglês; all-Sky Interferometric Meteor Radar
MHz	Mega Hertz
sen	Seno
cos	Cosseno
AI	Ascension Island
SJC	São João do Cariri
CR	Costa Rica
SK	do Inglês; Slow Kelvin waves
FK	do Inglês; Fast Kelvin waves
UFK	do Inglês; Ultra-fast Kelvin waves

Lista de símbolos

CO_2	Gás Carbônico (Dióxido de Carbono)
H_2	Molécula de Hidrogênio
H_2O	Vapor d'água
O_2	Molécula de Oxigênio
K	Kelvin
km	Quilômetros
CH_4	Metano
O_3	Ozônio
N_2	Molécula de Nitrogênio
NO	Óxido Nítrico
λ	Comprimento de onda
Å	Angstrom
KHz	Quilo Hertz
MHz	Mega Hertz
h	Hora
ms^{-1}	Metro por segundo
m/s	Metro por segundo
R	Alcance do meteoro
T_R	Velocidade do pulso
c	Velocidade da luz
X	Direção leste-oeste (Zonal)
Y	Direção norte-sul (Meridional)
Z	Direção zênite (Vertical)
β	Beta

θ	Theta
φ	Phi
\vec{V}_R	Vetor velocidade radial
V_R	Velocidade radial
V_m	Velocidade média
u	Componente zonal
v	Componente meridional
w	Componente vertical
\hat{x}	Vetor unitário da componente X
\hat{y}	Vetor unitário da componente Y
\hat{z}	Vetor unitário da componente Z
ms	Milésimo de segundo
ϵ	Épsilon
a	Constante
b	Amplitude
d	Fase
T	Período
T_{total1}	Média do período Ascension Island
T_{total2}	Média do período São João do Cariri
λ_V	Comprimento de onda vertical
λ_V1	Comprimento de onda vertical em Ascension Island
λ_V2	Comprimento de onda vertical em São João do Cariri
α	Coefficiente angular
F_{AS82km}	Fase entre Ascension Island e São João do Cariri à 82 km
F_{S82km}	Fase em São João do Cariri à 82 km
F_{A82km}	Fase em Ascension Island à 82 km

V_{82km}	Velocidade de propagação da onda entre Ascension Island e São João do Cariri à 82 km
T_{AS82km}	Período da onda entre Ascension Island e São João do Cariri à 82 km
T_{A82km}	Período da onda em Ascension Island à 82 km
T_{S82km}	Período da onda em São João do Cariri à 82 km
λ_{H82km}	Comprimento de onda horizontal entre Ascension Island e São João do Cariri à 82 km
F_{AS91km}	Fase entre Ascension Island e São João do Cariri à 91 km
F_{S91km}	Fase em São João do Cariri à 91 km
F_{A91km}	Fase em Ascension Island à 91 km
V_{91km}	Velocidade de propagação da onda entre Ascension Island e São João do Cariri à 91 km
T_{AS91km}	Período da onda entre Ascension Island e São João do Cariri à 91 km
T_{A91km}	Período da onda em Ascension Island à 91 km
T_{S91km}	Período da onda em São João do Cariri à 91 km
λ_{H91km}	Comprimento de onda horizontal entre Ascension Island e São João do Cariri à 91 km
D_{AS}	Distância entre Ascension Island e São João do Cariri em km
km/dia	Quilômetro por dia
R^2	Coefficiente de determinação

Sumário

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	Justificativa da pesquisa	27
1.2	O problema de pesquisa	28
1.3	Objetivos	28
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1	Atmosfera terrestre	29
2.1.1	Troposfera	30
2.1.2	Estratosfera	31
2.1.3	Mesosfera	31
2.1.4	Termosfera	31
2.1.5	Exosfera	31
2.2	Ondas na atmosfera	32
2.2.1	Marés atmosféricas	32
2.2.2	Ondas de gravidade	32
2.2.3	Ondas planetárias	33
2.2.3.1	Ondas de quase 2 dias (QTDW)	33
2.2.3.2	Ondas de 3,5 dias	34
2.2.3.3	Ondas de 6,5 dias	35
2.2.3.4	Ondas de 10 dias	35
2.2.3.5	Ondas de 16 dias	36
2.2.3.6	Ondas de Kelvin	37
3	TÉCNICAS EXPERIMENTAIS	39
3.1	Radar Meteórico	39
3.2	Trilha Meteórica	40
3.3	Radar Meteórico SKiYMET	40
3.3.1	Parâmetros Medidos pelo Radar SKiYMET	41
3.4	Cálculo do vento	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1	Vento Zonal em Ascension Island	49
4.2	Vento Zonal em São João do Cariri	51
4.3	Vento Zonal em Costa Rica	52
4.4	Vento Meridional em Ascension Island	53
4.5	Vento Meridional em São João do Cariri	55
4.6	Vento Meridional em Costa Rica	56

4.7	Espectros do vento	57
4.7.1	Espectros do vento Meridional em Ascension Island	58
4.7.2	Espectros de Vento Meridional em São João do Cariri	58
4.8	Análise Harmônica para o Vento Meridional em Ascension Island e São João do Cariri	59
4.9	Cálculo para o Comprimento de Onda Vertical	65
4.10	Cálculo para a Velocidade de Propagação da Onda e o Comprimento de Onda Horizontal	67
4.11	Discursão sobre as oscilações de 3-4 dias no vento meridional	69
5	CONCLUSÕES	73
	REFERÊNCIAS	75

1 Introdução

O planeta Terra, desde de sua existência, sofreu alterações, sendo uma delas o surgimento de sua própria atmosfera, onde gases foram surgindo juntamente com as erupções vulcânicas e modificaram a estrutura do nosso planeta. Devido a essas modificações, camadas foram surgindo na atmosfera terrestre, sendo: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera, Termosfera e Exosfera, cada uma dessas camadas encontra-se a uma determinada altitude.

A dinâmica da alta atmosfera está sendo muito estudada nos dias atuais, pesquisadores estão descobrindo fenômenos muito recorrentes ao longo dos anos. As ondas planetárias é fenômeno que ocorre em qualquer altitude da atmosfera terrestre e pode ser observada com curtos e longos períodos de dias.

As ondas planetárias são fenômenos que possuem uma grande estrutura horizontal, essas ondas devem estar presentes ao redor de um círculo de longitude do globo terrestre. Essas ondas podem ser classificadas como ondas de 2, 3,5, 6,5, 10 e 16 dias. Na região MLT as ondas planetárias observadas são provenientes da baixa atmosfera e não localmente, assim como as ondas que são observadas na troposfera e na estratosfera. [FORBES et al., 1995]; [SALBY, 1981].

Essas ondas planetárias são decorrentes de processos dinâmicos conhecidos como Ondas de Rossby, Ondas de Rossby-gravidade e Ondas de Kelvin; que podem ser acompanhadas juntamente com as ondas de maré e ondas de gravidade. Elas podem ser observadas devido à implantação de radares e satélites, onde também foram observadas modificações na estrutura termodinâmica e eletrodinâmica de cada camada da atmosfera [LIMA et al., 2006].

1.1 Justificativa da pesquisa

O tema abordado nesta pesquisa possui diversos estudos de pesquisadores especializados, contudo, no processo aqui desenvolvido, percebemos que ainda é possível agregar contribuições científicas referentes as localidades de Ascension Island (7.9°S; 14.3°O), São João do Cariri (7.4°S; 36.5°O) e Costa Rica (9.7°N; 83°O). Neste trabalho, investigamos qual o tipo de onda planetária aparece no mês de dezembro de 2005. Uma das lacunas encontradas foi justamente análises para o ano de 2005 em Ascension Island. Posteriormente fizemos uma comparação com as localidades de São João do Cariri e Costa Rica, tendo em vista, encontrar as mesmas ondas planetárias, já que as três localidades estão em latitudes bem próximas.

Buscando estudar o comportamento das ondas planetárias observadas, a motivação para a escolha do tema partiu da lacuna já citada, como também das discussões com a parte orientadora. Na literatura encontram-se trabalhos acerca das ondas planetárias em Ascension Island (7.9°S; 14.3°O), São João do Cariri (7.4°S; 36.5°O) e Costa Rica (9.7°N; 83°O). Conforme dito, esse estudo é pioneiro referente ao ano de 2005 (mês de dezembro) na localidade de Ascension Island

(7.9°S; 14.3°O).

1.2 O problema de pesquisa

A questão norteadora dessa pesquisa é: **Quais os valores dos parâmetros físicos observados por ondas de escala planetária nas localidades de Ascension Island, São João do Cariri e Costa Rica no mês de dezembro de 2005?**

1.3 Objetivos

A partir da questão norteadora, foi traçado o seguinte objetivo geral:

- Determinar os parâmetros físicos das ondas de escala planetárias observadas nas localidades de Ascension Island (7.9°S; 14.3°O), São João do Cariri (7.4°S; 36.5°O) e Costa Rica (9.7°N; 83°O).

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Comparar os valores dos parâmetros físicos das oscilações de escala planetária observados nas localidades de Ascension Island (7.9°S; 14.3°O), São João do Cariri (7.4°S; 36.5°O) e Costa Rica (9.7°N; 83°O);
- Comparar os parâmetros físicos das oscilações de escala planetárias obtidos nesse trabalho com valores encontrados na literatura.

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma:

No Capítulo 1 está explícito a introdução, na qual são mencionadas algumas oscilações que se propagam na atmosfera, a justificativa do trabalho, o problema de pesquisa e os objetivos.

O Capítulo 2 é o de revisão bibliográfica. Nele está relatado desde a existência do planeta Terra e a formação das camadas da atmosfera, até os fenômenos existentes na atmosfera terrestre, tais como ondas de marés, ondas de gravidade e as ondas planetárias.

O capítulo 3 é o de Técnica experimental. Nele estão postas algumas informações sobre o radar SKiYMET, a trilha meteórica e como os ventos são calculados.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos e discursões para as oscilações de escala planetária nas localidades de Ascension Island, São João do Cariri e Costa Rica.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões e considerações finais com algumas sugestões para os trabalhos futuros.

2 Fundamentação Teórica

Esse capítulo tem como objetivo abordar o comportamento da atmosfera terrestre, realizando estudo de funcionamento de cada camada da atmosfera, como também a região MLT (Mesosphere and Lower Thermosphere)¹, que é de interesse para as nossas observações em busca de Ondas Planetárias .

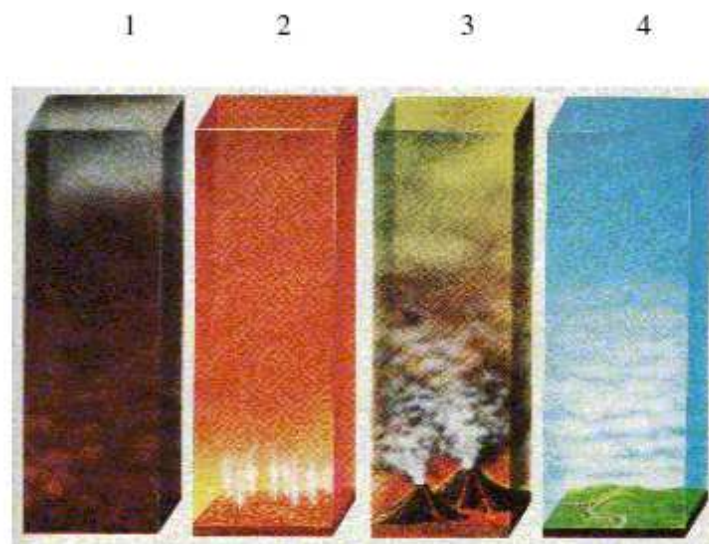
2.1 Atmosfera terrestre

O planeta Terra tem aproximadamente 5 bilhões de anos de existência, acredita-se que a formação da atmosfera terrestre originou-se partir de gases existentes no interior da Terra.

Nos primórdios da existência do planeta Terra, a atmosfera era conseqüentemente inadequada para que houvesse vida, havendo apenas o gás carbônico (CO_2), o hidrogênio (H_2) e o vapor d'água que eram liberados através das erupções vulcânicas [ATAÍDE et al., 2007].

A Figura 2.1 mostra como se comportava a atmosfera terrestre desde de sua criação até os dias atuais.

Figura 2.1 – Formação da Atmosfera Terrestre.



Fonte: ATAÍDE et al. [2007, p.03].

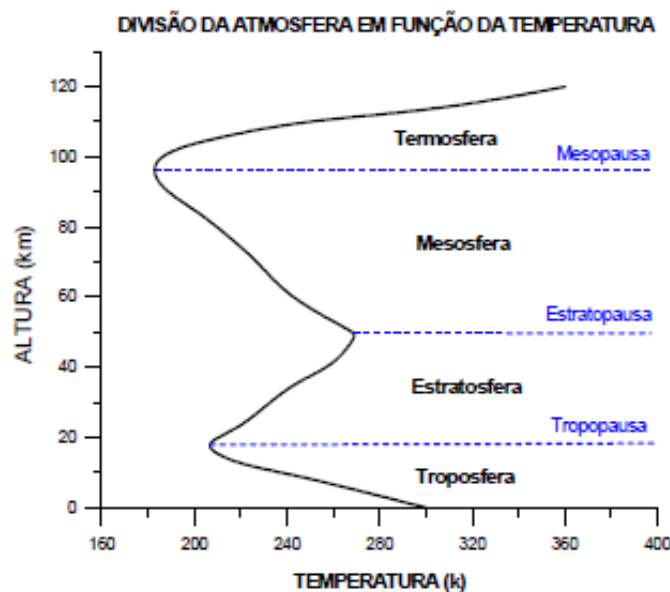
Como pode-se observar, a atmosfera terrestre foi sofrendo uma grande mudança. A ilustração 1 mostra a atmosfera no início de sua criação, quando havia a ausência de oxigênio (O_2) tornando-a inabitável. A ilustração 2, mostra a atuação dos raios ultravioleta (UV) atingindo o solo, considerando que não havia a camada de ozônio presente. A ilustração 3 já nos mostra a

¹ região conhecida como alta Mesosfera e baixa Termosfera

formação e liberação de gases de gases como CO_2 , H_2O e H_2 através das erupções vulcânicas. A ilustração 4 mostra a atmosfera nos dias atuais, a qual já possui o O_2 presente por volta de 4,6 bilhões de anos desde sua existência.

A atmosfera terrestre é constituída por cinco camadas, sendo elas: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera, Termosfera e Exosfera. Cada uma das camadas existentes possui um comportamento diferente em seu vertical do gradiente de temperatura, que são separadas por camadas conhecidas como regiões de transição denominadas por pausas, sendo elas: Tropopausa, Estratopausa e Mesopausa [ARANHA, 2006]. A Figura 2.2- mostra as camadas da atmosfera terrestre.

Figura 2.2 – Distribuição vertical média da temperatura em (K) em função da altura em (km) de cada camada. Modelo obtido pelo The COSPAR International Reference Atmosphere (CIRA-86).



Fonte: ARANHA [2006, p.03]

2.1.1 Troposfera

A Troposfera é a região da atmosfera terrestre que se estende de 0 a 20 km de altitude. Essa camada sofre variações de temperatura no decorrer dela, como por exemplo: em torno de 10 km nos pólos, a temperatura vai decrescendo e chegando em torno de 290 K [ARANHA, 2006]. Nas regiões de 11 km nos pólos e de 16 km na região equatorial, a temperatura decresce nessa altitude em torno de 300 K, até atingir uma temperatura de aproximadamente de 200 K [ALVES, 2007].

Na Troposfera a radiação solar que chega até a superfície terrestre é absorvida, fazendo com que ocorra um aquecimento causado pela absorção da radiação do infravermelho através dos gases: metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), vapor d'água (H_2O) e entre outros [ALVES, 2007].

2.1.2 Estratosfera

A Estratosfera é a região que se encontra acima da Troposfera da camada conhecida como Tropopausa, sua temperatura aumenta de acordo com a altitude, ao atingir uma altitude de 50 km, sua temperatura chega em torno de 270 K, isso é resultado da absorção da radiação do ultravioleta solar pelo ozônio (O_3) [ALVES, 2007].

A absorção da radiação realizada aumenta o grau de agitação das moléculas de ozônio ao colidirem com outras moléculas existentes, fazendo com que aconteça o aumento de temperatura. A camada de ozônio tem um papel muito fundamental na natureza, ela promove um balanceamento no calor, reduzindo a grande quantidade de raios ultra violetas que chegam a alcançar na superfície da terra [ATAÍDE et al., 2007].

Na Estratosfera ocorre um fenômeno conhecido como efeito estufa, esse fenômeno resulta no aquecimento da atmosfera terrestre que intensificado através da emissão de gases, como por exemplo, o gás carbônico (CO_2), que é produzido pela queima de combustíveis fósseis, sendo eles: carvão, gás natural e o petróleo. Esses combustíveis são responsáveis pela degradação dos seres vivos e do meio ambiente [ARANHA, 2006].

2.1.3 Mesosfera

A Mesosfera encontra-se acima da Estratosfera e da camada conhecida como Estratopausa, essa é a região responsável por ocorrer a remoção de calor. A temperatura decresce com a altitude. As temperaturas mais frias que acontecem na atmosfera terrestre ocorrem nessa região, chegando a temperaturas inferiores a 180 K, justamente na Mesopausa em torno dos 100 km. [ARANHA, 2006]. As baixas temperaturas na região mesosférica e na Mesopausa não são explicadas através de considerações radioativas, mas se faz necessário recorrer a processos dinâmicos referente aos movimentos ondulatórios e a transferência de momentum [ALVES, 2007].

2.1.4 Termosfera

A Termosfera encontra-se acima da Mesosfera e da camada conhecida como Mesopausa que vai de 85 até 550 km de altitude, nessa região a temperatura aumenta muito rapidamente, até atingir uma temperatura no valor de aproximadamente 1473 K que é a temperatura da exosférica [ARANHA, 2006]. A absorção do espectro de radiação solar diretamente no ultravioleta e no extremo do ultravioleta pelo oxigênio atômico causa um aumento de temperatura nessa região. [ALVES, 2007].

2.1.5 Exosfera

A Exosfera é a camada limite da atmosfera e encontra-se aproximadamente a uma altitude de 1000 km, também é conhecida como parte externa da atmosfera. Nessa camada o ar é muito rarefeito, fazendo com que as moléculas dos gases se dispersem frequentemente para o espaço. [ARANHA, 2006].

2.2 Ondas na atmosfera

As ondas na atmosfera são perturbações de ondulatórias que podem transmitir energia e momentum sem ocorrer o transporte de algum material [ARANHA, 2006]. As perturbações causam desequilíbrio na atmosfera, porém existem forças restauradoras que são opositoras a essas perturbações e fazem com que sejam suportadas as oscilações no meio atmosférico [FIDELIS et al., 2017]. Essas ondas podem se propagar com períodos de segundos ou períodos de anos. As ondas existentes na atmosfera são: marés atmosféricas, ondas de gravidade e ondas planetárias.

2.2.1 Marés atmosféricas

As marés atmosféricas são fenômenos decorrentes de oscilações que ocorrem em qualquer campo atmosférico com dimensão de escala global e com períodos que são submúltiplos dos dias solar e lunar [FIDELIS et al., 2017]. Essas marés são produzidas através da ação gravitacional do Sol e da Lua sobre a Terra, e também devido a ação térmica do Sol. [ALVES, 2007].

As marés atmosféricas possuem períodos sub-harmônicos do dia solar, podendo ser diurnas e semi diurnas, podem ser classificadas como marés migrantes e não migrantes [ARANHA, 2006]. As marés migrantes são aquelas que fazem o acompanhamento do movimento do Sol, esse fenômeno é distinto na alta Mesosfera e baixa Termosfera, realizando uma grande contribuição na dinâmica dessa região, gerando processos térmicos através da absorção dos raios solares. As marés não migrantes são produzidas através de um mecanismo térmico que é através da propagação dos raios solares. Esse mecanismo faz com que aconteça a liberação do calor latente associado a atividade convectiva da região da alta Troposfera equatorial e baixas latitudes. [FIDELIS et al., 2017].

2.2.2 Ondas de gravidade

As ondas de gravidade formam-se através do movimento ondulatório transversos e se propagam de forma tanto vertical como horizontal na atmosfera terrestre [FIDELIS et al., 2017]. Esses movimentos foram analisados por volta da década de 50, quando movimentos de pequena escala estavam sendo observados na alta atmosfera. [ATAÍDE et al., 2007].

As ondas de gravidade possuem forças restauradoras conhecidas como “buoyancy force”,² resultando em um deslocamento adiabático das parcelas de ar que são gerados através dos distúrbios [ANDRIOLI, 2012]. Além disso, a propagação das ondas de gravidade são de ordem bem pequena chegando a ser de centenas a milhares quilômetros, comparado com a escala global. [ALVES, 2007].

As ondas se propagam de forma ascendente na atmosfera, crescendo de forma exponencial em amplitude. Chegando ao nível crítico essas ondas quebram, fazendo um depósito de energia e momentum. Já as propagações verticais das ondas de gravidade, tanto a energia e momentum, são

² força de flutuabilidade

transportados para os níveis mais altos da atmosfera, realizando uma produção de temperatura nas camadas menos densas e flutuações nos ventos, sendo assim, suas magnitudes são de grandezas bem maiores, onde são provocadas nas camadas mais densas de onde elas são geradas. [ARANHA, 2006].

2.2.3 Ondas planetárias

As ondas planetárias são de grande estrutura horizontal, esse fenômeno possui uma estrutura do tamanho do globo terrestre, com períodos superiores maiores que um dia [ALVES, 2007]. Nas ondas planetárias existe a presença da força de Coriolis que variam de acordo com a latitude agindo na atmosfera terrestre como uma força externa, resultando em ondas horizontalmente transversais e com comprimentos de onda horizontal de dimensão de milhares de quilômetros, onde são conhecidas com ondas de Rossby. [FIDELIS et al., 2017].

As ondas de Rossby, devem a sua existência à conservação da vorticidade absoluta, decorrente da variação de parâmetros da força de Coriolis com a latitude, essas ondas ocorrem em uma atmosfera onde a temperatura potencial é constante para cada superfície de pressão. [LIMA, 2004].

A dinâmica vem sendo estudada na região MLT e uma variedade de oscilações tem uma periodicidade de diferentes escalas de espaço e tempo que se encontram nessa região [ARAÚJO et al., 2012]. Acredita-se que muitas dessas ondas planetárias são observadas na região MLT e propagam-se desde da baixa atmosfera de onde são geradas, sendo observadas na Troposfera e na Estratosfera [FORBES et al., 1995]; [SALBY, 1981]. De acordo com estudos realizados, mostram-se a existência de ondas planetárias com comportamentos diferentes, sendo classificadas como ondas de 2, 3,5, 6,5, 10 e 16 dias.

2.2.3.1 Ondas de quase 2 dias (QTDW)

As ondas de quase 2 dias são bem conhecidas na região MLT e ocorrem com bastante frequência nas regiões equatoriais. Esse tipo de oscilação de escala planetária que migra para o oeste, foi observada após o solstício de verão através de técnicas tanto terrestres como por satélites. Essas ondas planetárias possuem um período de 40 - 60 h, suas amplitudes são bem maiores para a componente do vento meridional do que a componente do vento zonal nas latitudes média e alta [LIMA et al., 2007]. No Hemisfério Sul no verão, essas ondas chegam a ter um período de 48 h [CRAIG et al., 1983], no Hemisfério Norte no verão essas ondas chegam a ter períodos que variam entre 43 - 53 h [MULLER; NELSON, 1978]; [THAYAPARAN et al., 1997]. As observações equatoriais e de baixas latitudes dessas ondas, detectaram sua presença também tanto no verão boreal quanto no austral. [HARRIS; VINCENT, 1993]; [GURUBARAN et al., 2001]; [LIMA et al., 2004].

Estas ondas planetárias de dimensão global também são identificadas e vistas como sendo bem características no região da alta Estratosfera e Mesosfera. Suas observações foram realizadas através de radares terrestres e dados de estudos de ventos mesosféricos. Com observações

realizadas em altitudes distintas, pode-se observar que a onda que se desloca para o oeste possui um número de onda zonal 3 e períodos próximos de 2,1 dias. Estas observações também relataram que ondas fortemente assimétricas são encontradas confinadas no solstício de verão obtendo amplitudes máximas em torno de julho a agosto no Hemisfério Norte, e em janeiro a fevereiro no Hemisfério Sul. [SALBY, 1981]; [PLUMB; VINCENT; CRAIG, 1987].

As ondas planetárias de 2 dias no Equador são observadas durante a maior parte do ano, onde são observadas as amplitudes máximas após o solstício de verão e chegando a uma velocidade de 50 ms^{-1} , essas ondas possuem evidências sobre o seu comportamento de interação não linear ressonante, sendo revelado pelo surgimento simultâneo de oscilações com períodos de 16 h e 9,6 h. Essas oscilações que são geradas no Equador, surgem através da interação com a maré solar ou através dos harmônicos superiores da própria onda. [WALTERSCHEID; VINCENT, 1996]

2.2.3.2 Ondas de 3,5 dias

As ondas planetárias de 3,5 dias são observadas através das oscilações entre um período de 3 a 4 dias, enquadrado-se como ondas ultra-rápidas de Kelvin. [SALBY et al., 1984] observou que as ondas ultra-rápidas de Kelvin sendo referidas como UFK(Ultra-fast Kelvin waves) possuem períodos entre 3 e 4 dias, com velocidade de fase horizontal entre 100 e 200 m/s e comprimento de onda vertical superior a 40 km. As ondas ultra-rápidas de Kelvin foram observadas também por [YOSHIDA et al., 1999] constatando uma periodicidade semi-anual dessas ondas devido uma possível interação de oscilação semi-anual da mesosfera.

Pelas observações realizadas em São João do Cariri em 2005 por [ALVES, 2007], foi utilizado a técnica da transformada de wavelet para as observações das ondas com um período 3,5 dias. Com isso, pode-se observar ondas para o ano todo para a componente zonal, já para a componente meridional as oscilações dos ventos observadas não apresentaram um perfil apreciável. Sugere-se que essas oscilações sejam ondas ultra-rápidas de Kelvin, considerando que os resultados obtidos são de mesma magnitude referente as ondas de Kelvin de 3,5 dias em Tirunelveli (8.7°N; 77.8°E), com amplitudes em torno de 10-15 m/s e comprimentos de verticais entre 31 e 57 km, para a componente zonal. [SRIDHARAN, 2002].

Para as observações realizadas por [LIMA et al., 2008], dados de ventos foram utilizados para a localidade de São João do Cariri, tendo em vista observar ondas de 3-4 dias para o ano de 2005, utilizou-se a técnica da Transformada de ondaletas de Morlet, onde indentificou uma energia espectral para o vento zonal durante o ano. Já para o vento meridional as amplitudes de 3-4 dias não obteve uma amplitude de forma apreciável, mas tendo em vista uma grande possibilidade de haver uma onda de Kelvin. Feitas as análises harmônicas, foram observadas que as amplitudes máximas para o vento zonal variaram de 18 a 25 m/s, seus perfis de fase mostraram que a fase é descendente e que seus comprimentos de ondas verticais estão estimados a cerca de 40 km para o primeiro e segundo episódio e de 80 km para o terceiro e quarto episódio. Em seguida foi realizada uma comparação através dos comprimentos de ondas, afirmando que o

primeiro e segundo episódio são de fato as ondas ultra-rápidas de Kelvin.

2.2.3.3 Ondas de 6,5 dias

Foram observadas oscilações de ondas planetárias com períodos de quase 5 dias que se propagaram na direção de leste-oeste e um número zonal igual a 1. Nas latitudes médias a estrutura dessa onda é de intensificação aproximadamente simétrica em torno do Equador. A onda de 5 dias na Troposfera apresenta um caráter de uma onda de Rossby externa, em que a fase apresenta uma pequena inclinação em relação a altura, assim não é capaz de se transportar calor ou momentum. [FIDELIS et al., 2017]

As ondas de 6,5 dias foram estudadas de certa forma para que fosse identificada qual era a fonte e mecanismo de geração dessa onda mesosférica. [SOUSA et al., 2012]. Foram atribuídos três mecanismos que se dão origem as essas oscilações de 6,5 dias que foram observadas na região MLT. Primeiramente foram observadas e pensaram que essas ondas se davam devido à manifestação de Rossby (1,-2) no qual a sua interação é referido a ondas de 5 dias, suspostamente deslocadas para períodos mais longos devido à interação com o vento zonal médio. [RIGGIN et al., 2006]; [LIEBERMAN, 2003]; [LIU, 2004]. O segundo mecanismo utilizado relata, que ondas de 6,5 dias possuem um comportamento forma instável, sendo distinta das ondas de 5 dias, onde são extraídas energias da regiões instáveis da alta Mesosfera, e essa realização e de escala global [MEYER; FORBES, 1997]. O terceiro mecanismo afirma, que essas ondas de 6,5 dias surgem justamente devido aos forçantes diretos ou de interação não-lineares, suspostamente a existência de ondas de 4 a 10 dias na baixa atmosfera. [TALAAT, 2002].

Nas estações do outono e primavera, as regiões com latitudes equatoriais que possuem onda de 6 - 7 dias, se amplificam quando sofrem um deslocamento da Estratosfera para a alta Mesosfera, fazendo com que sofra uma diminuição de fase em relação a altitude. Essas oscilações de 6,5 dias apresentam uma variabilidade anual e suas amplitudes são mais intensas, geralmente ocorrem na época da fase da QBO³ que é para o oeste. As amplitudes mais intensas foram observadas e apresentam uma velocidade de 20 ms⁻¹ em uma altitude acima de 90 km e com comprimento de onda vertical em torno de 100 km. [LIMA et al., 2005].

2.2.3.4 Ondas de 10 dias

As ondas de 10 dias foram observadas e identificadas como sendo (1,-3) [GOMES, 2013]. Essas ondas foram identificadas através de observações realizadas por satélite em uma altitude de aproximadamente de 50 km, onde suas observações mostraram que suas amplitudes máximas ocorrem em latitudes de 50° e 60°, sendo mais intensas no Hemisfério Norte do que no Hemisfério Sul durante o solstício inverno [HIROOKA; HIROTA, 1985]. Foram utilizados dados de vento da baixa Mesosfera e da alta Termosfera, e com esses dados foram mostrados que que essa onda possui um padrão bem irregular, mostrando um aumento e com manifestações durante o

³ Quasi Biennial Oscillation

solstício de inverno, e também apresentando essas manifestações durante o solstício de verão na mesma região onde foram observadas. [JACOBI; SCHMINDER; KÜRSCHNER, 1998].

As ondas de 10 dias na região MLT foram pouco estudadas, mas essas foram observadas ondas de vento e emissões aeroluminescentes na região MLT por [TAKAHASHI et al., 2013]. Observando os estudos realizados, as ondas de 10 dias aparecerem com frequência nas estações do outono e inverno.

2.2.3.5 Ondas de 16 dias

As ondas planetárias de 16 dias são designadas por oscilações que apresentam períodos entre 12 e 20 dias. De acordo com as soluções da equação de marés de Laplace, as ondas de 16 dias possuem estrutura horizontal e propagam-se na direção leste-oeste enquadrando-se como segundo modo (1,-4). [FIDELIS et al., 2017].

As ondas de 16 dias observadas no Hemisfério de verão foram as mesmas explicadas e decorrentes do hemisfério de inverno. Os estudos indicam que essas ondas são provenientes da concentração de momentum na Mesosfera geradas pelas ondas de gravidade que se propagam com ascendência depois das modulações das ondas de 16 dias decorrentes na Troposfera. [LUO et al., 2000].

O comportamento da onda de 16 dias no solstício de inverno para o Hemisfério Norte foram realizadas observações de ventos da região alta Mesosfera e baixa Termosfera (MLT), estudos comprovaram que a onda de 16 dias, próxima a Mesopausa, conseqüentemente surge através da propagação ascendente da perturbação da baixa Termosfera. [FORBES et al., 1995].

[WILLIAMS; AVERY, 1992] usaram dados de radar nas regiões da Troposfera-Estratosfera e Mesosfera e constataram nas medições oscilações com período de 12 e 19 dias em Poker Flat (65°N; 147°O). De acordo com as observações realizadas, no período do inverno a onda de 16 dias apresentou uma amplitude máxima na Estratosfera, com previsões teóricas já realizadas sobre ondas em torno de 85 km de altitude no verão. Dois mecanismos foram sugeridos para uma melhor explicação sobre essas ondas de 16 dias na região MLT durante o verão, sendo eles: O primeiro mecanismo relata as ondas de 16 dias canalizada no Equador pelo Hemisfério do inverno. O segundo mecanismo relata que as ondas de 16 dias que estão presentes na Mesosfera são resultado da deposição de momento na própria região da Mesosfera devido as ondas de gravidade que se propagam para cima depois que são moduladas por uma onda de 16 dias na região da Troposfera. [HOCKING, 2002]

Dados de ventos obtidos por radares meteorológicos foram utilizados por [JIANG et al., 2005] em Wuhan (30,6°N; 114,5°L) e em Adelaide (35°S; 138°L), para as ondas de 16 dias na região MLT. Com isso, foi observado amplitudes dessa onda na componente zonal, com mesma característica das ondas na componente meridional observadas na mesma localidade. Além disso, detectaram que os ventos na componente zonal sopram para o leste, favorecendo uma penetração dessa mesma onda na região MLT.

[LIMA et al., 2006] utilizou dados de radar meteórico para observações em Cachoeira Paulista (22,7°S; 45°O), foram encontradas oscilações de 16 dias no vento zonal nos meses entre abril de 1999 e abril de 2004. Seus resultados obtidos constataram que as ondas de 16 dias não possui um comportamento zonal concreto, mas apresenta uma grande variabilidade interanual. As observações realizadas tanto no inverno quanto no verão, reforça que existe a hipótese de penetração inter-hemisférica da onda.

2.2.3.6 Ondas de Kelvin

As ondas de Kelvin é um fenômeno exclusivamente da região equatorial e que possui propagação de onda na direção zonal de oeste-leste, sendo classificadas em três categorias: ondas de Kelvin lentas, ondas de Kelvin rápidas e ondas de Kelvin ultra-rápidas [GOMES, 2013].

Segundo [WALLACE; KOUSKY, 1968] as ondas de Kelvin lentas sendo referidas como SK(Slow Kelvin waves) foram observadas e identificadas oscilações com períodos em torno 15 dias e com escala horizontal de aproximadamente de 40.000 km. Essas ondas de Kelvin lentas possuem uma velocidade de propagação de fase entre 20 e 40 m/s e comprimento de onda vertical de aproximadamente 10 km.

De acordo com as observações de [HIROTA, 1978] as ondas de Kelvin rápidas sendo referidas como FK(Fast Kelvin waves) se propagam para o leste com períodos entre 7 a 10 dias, sua velocidade de fase são superiores das ondas de Kelvin lentas chegando entre 50 e 80 m/s e comprimento de onda vertical em torno de 20 km.

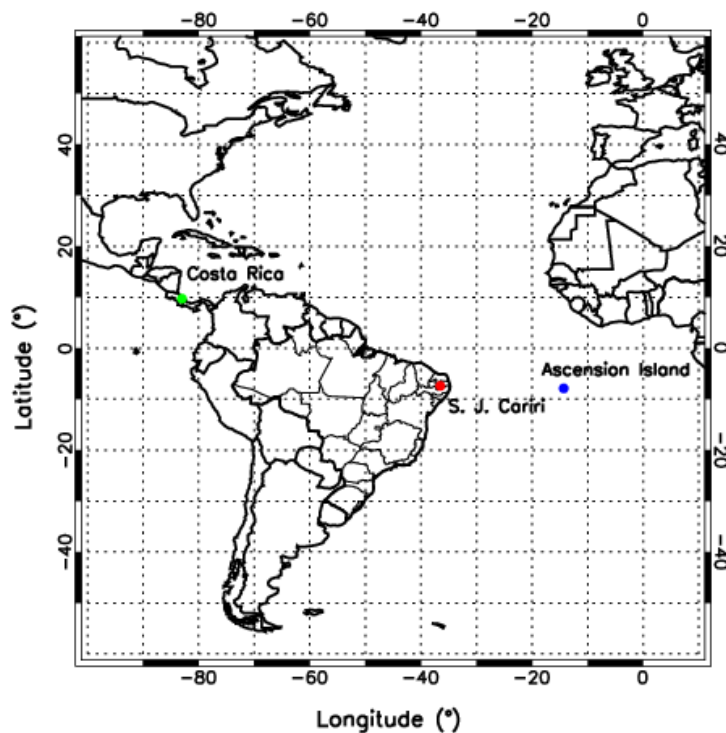
[SALBY et al., 1984] observou que as ondas ultra-rápidas de Kelvin sendo referidas como UFK(Ultra-fast Kelvin waves) possuem períodos entre 3 e 4 dias, com velocidade de fase horizontal entre 100 e 200 m/s e comprimento de onda vertical superior a 40 km. As ondas ultra-rápidas de Kelvin foram observadas também por [YOSHIDA et al., 1999] constatando uma periodicidade semi-anual dessas ondas devido uma possível interação de oscilação semi-anual da mesosfera.

3 Técnicas Experimentais

3.1 Radar Meteórico

A pesquisa desenvolvida neste trabalho foi realizada com dados de ventos fornecidos pelos radares meteóricos do SKiYMET (all-Sky Interferometric Meteor Radar), com o princípio de detectar ondas planetárias nas localizações de Ascension Island (7.9°S; 14.3°O), de São João do Cariri(7.4°S; 36.5°O) e de Costa Rica (9.7°N; 83°O). As observações realizadas são referentes ao mês de dezembro de 2005. A figura 3.1 mostra as localizações de onde foram realizadas as observações das ondas planetárias.

Figura 3.1 – Localização dos radares meteóricos.

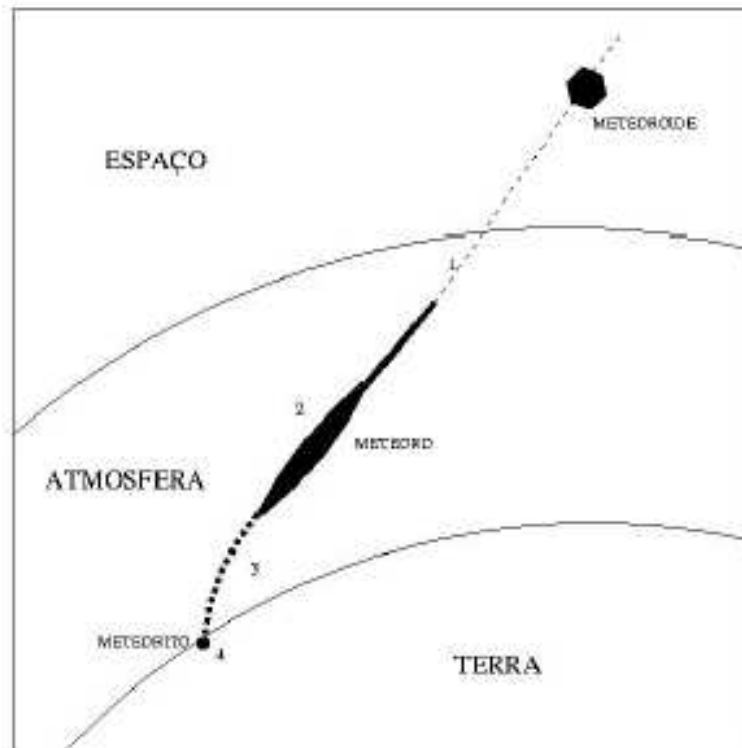


O radar meteórico é um instrumento utilizado para que se possa realizar o estudos dos ventos na região meteórica, na qual os dados são coletados através das trilhas meteóricas. Sendo assim, através dos dados pode-se realizar observações de diversos fenômenos, como marés diurnas, ondas de marés e ondas planetárias, o que nos propomos a realizar aqui, sendo possível calcular também parâmetros de temperatura através do decaimento dos sinais refletidos pelo radar.

3.2 Trilha Meteórica

Na região da atmosfera Terrestre entre 70 a 110 km de altitude os meteoróides que vem do espaço entra em contato, realizando um atrito com a atmosfera, e assim gerando uma trilha meteórica. Quando a trilha meteórica consegue resistir ao atrito com atmosfera e chegando até ao solo, a mesma é chamada de meteorito. Na figura 3.2 mostra o comportamento do meteoróide entrando em contato com a atmosfera.

Figura 3.2 – Formação do meteoro entrando em contato com a atmosfera.



Fonte:Paulino [2010, p.23].

Quando os meteoróides entram em contato com a atmosfera, é possível analisar o processo dinâmico existente, ele sofre ablação no decorrer de sua trajetória, deixando partículas de elétrons livres e trilhas de íons suspensas na atmosfera terrestre, fazendo com que surja uma trilha meteórica que é capturada através do movimento da órbita do planeta Terra.

3.3 Radar Meteórico SKiYMET

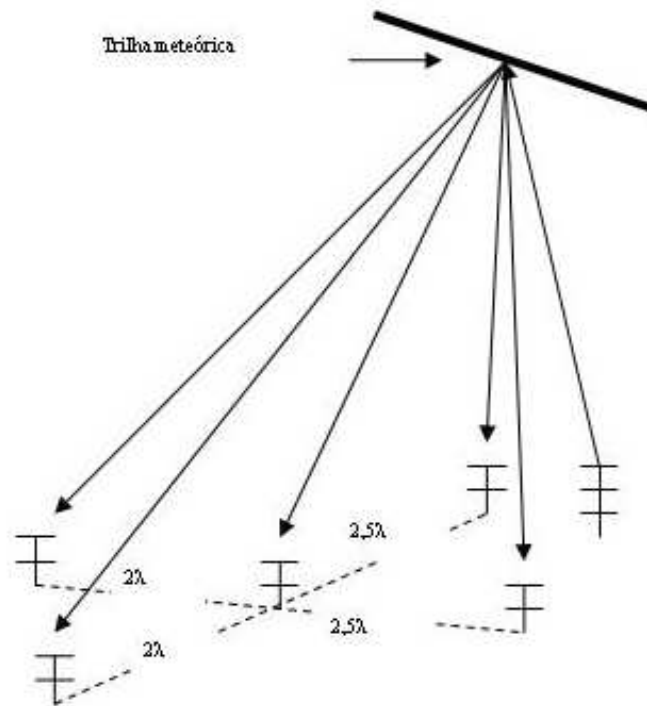
O Radar meteórico SKiYMET tem como sua funcionalidade, detectar e coletar dados de ventos através dos meteoros que entram na atmosfera da Terra. No próprio radar, existe uma única antena transmissora Yagi de três elementos e cinco antenas receptoras fincadas no solo em formato de cruz assimétrico.

No radar as diferenças de fases dos sinais emitidos, são captadas pelas antenas receptoras, que tem como funcionalidade, localizar a trilha meteórica que passa pelo céu, onde a configuração

interferométrica reduz a ambiguidade do ângulo de chegada dessa trilha.[HOCKING, 2001].

O sistema no qual o radar funciona é em uma frequência de 35,24 MHz, sendo com uma taxa de 2144 pulsos por segundo. O radar foi construído e programado, para realizar buscas de meteoros de forma automática, durante às 24 horas por dia, onde essas buscas são realizadas através de sinais meteóricos de forma sucessiva. Na figura 3.3, mostra como é forma que se encontra instaladas as antenas do radar SKiYMET.

Figura 3.3 – Esquema de antenas receptoras e transmissora do radar SKiYMET



Fonte:Paulino [2010, p.26].

No radar SKiYMET, suas antenas são instaladas e configuradas de forma assimétrica, onde entre a antena central para os dois pares de antenas da extremidade medem $2,0 \lambda$ e $2,5 \lambda$, permitindo com que seja determinada a trilha meteórica.[HOCKING, 2001].

3.3.1 Parâmetros Medidos pelo Radar SKiYMET

No radar SKiYMET, existem parâmetros que são medidos toda vez que um meteoro cruza pelo céu. Os principais parâmetros são o alcance, direção (posição angular), velocidade e o tempo de decaimento. Na tabela 3.1 mostra quais são os parâmetros medidos pelo radar SKiYMET.

Tabela 3.1 – Parâmetros medidos pelo Radar SKiYMET.

DADOS	DESCRIÇÃO
Date	Data de detecção
Time	Hora da detecção
File	O nome dos arquivos usados para salvar os dados brutos
Rge	Alcance de detecção
Ht	A altura corrigida acima do solo
Vrad	A velocidade radial da trilha em m/s
DelVr	O desvio da velocidade radial medida e obtida pelos 5 pares de antenas do interferômetro
Theta	O ângulo zênital de detecção em graus
Phi	O ângulo azimutal de detecção em graus medido no sentido anti-horário do leste
Ambig	O número de posições angulares aceitáveis
Delphase	O pior de fase entre as antenas em graus
File	O nome dos arquivos usados para salvar os dados brutos
Ant-pair	O par de antenas com o pior erro de fase
IREX	O canal receptor usado na análise de qualidade de teste. Sendo sempre 1 durante a operação normal
amax	O valor de pico da amplitude de eco do radar meteórico
Tau	Tempo de decaimento em segundos
vmet	Velocidade de entrada do meteoro em Km/s
snrdb	A relação sinal-ruído do meteoro

Fonte: [Paulino \[2010, p.27\]](#).

O radar meteórico fornece parâmetros como o alcance (R), que pode ser determinado através do produto do intervalo de tempo, onde um pulso é transmitido indo e voltando, quando passa o meteoro (T_R) e a velocidade do pulso, a qual é igual a velocidade da luz (c), dividido por 2. Logo temos a seguinte equação matemática. [[PAULINO, 2010](#)]

$$R = \frac{cT_R}{2} \quad (3.1)$$

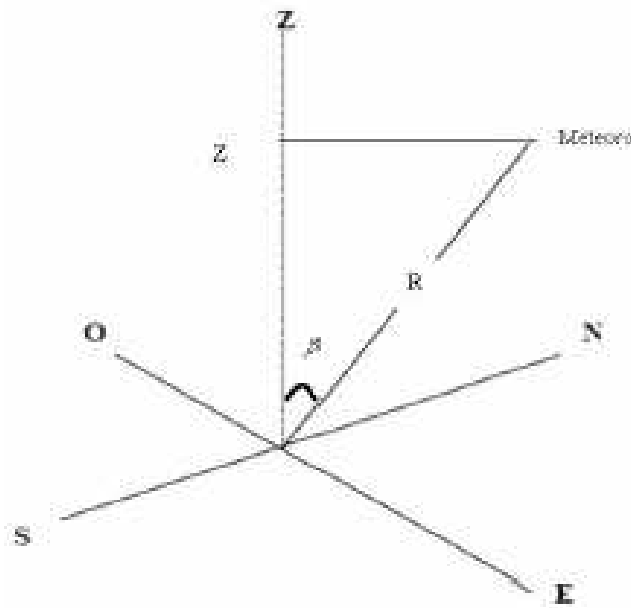
Na Figura 3.4 podemos observar como é realizada a captura da altura do meteoro.

De acordo com 3.4 têm-se que; o ângulo zênital β pode determinar a altura do meteoro, tendo o conhecimento do alcance eco, então a altura zênital, então:

$$Z = R \cos \beta \quad (3.2)$$

No radar meteorico SKiYMET, podem ser calculadas tanto a velocidade radial como também a velocidade geocêntrica. No caso da velocidade radial, esta é calculada através do

Figura 3.4 – Esquema de captação dos meteoros do radar SKiYMET.



Fonte:Paulino [2010, p.28].

Efeito Doppler, onde o sinal que é transmitido e recebido é através do deslocamento da trilha meteorica. Já a velocidade geocêntrica pode ser calculada através da entrada do meteoróide na atmosfera terrestre.

3.4 Cálculo do vento

De acordo com Paulino [2010], para realizar o cálculo do vento tem-se que observar as coordenadas cartesianas do plano, onde a componente X está na direção leste-oeste (Zonal), a componente Y está na direção norte-sul (Meridional) e a componente Z está na direção do zênite (Vertical). Analisando essas posições, o ângulo θ é o angulo que está no zênite e o ângulo ϕ é o que está no azimutal (medido no sentido anti-horário a partir dop leste).

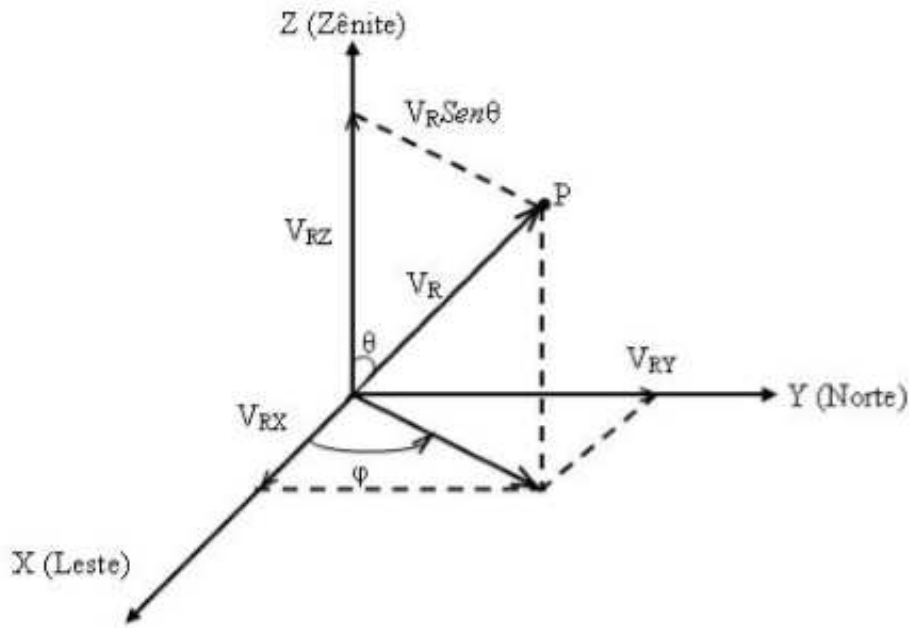
Na figura 3.5 mostra com é realizado o cálculo da velocidade radial da trilha meteórica através das componentes cartesianas em um plano.

De acordo com as componentes da figura 3.5, o vetor velocidade radial pode ser escrito matematicamente da seguinte forma:

$$\vec{V}_R = V_{RX}\hat{x} + V_{RY}\hat{y} + V_{RZ}\hat{z} \quad (3.3)$$

Como o vetor velocidade radial possui seus respectivos vetores unitários \hat{x} , \hat{y} e \hat{z} , pode-se fazer a decomposição de cada uma dessas componentes, sendo elas:

Figura 3.5 – Representação das componentes cartesianas para o cálculo da velocidade radial.



Fonte:Paulino [2010, p.30].

$$V_{RX} = V_R \operatorname{sen} \theta \cos \varphi, \quad (3.4)$$

$$V_{RY} = V_R \operatorname{sen} \theta \operatorname{sen} \varphi, \quad (3.5)$$

$$V_{RZ} = V_R \cos \theta \quad (3.6)$$

Substituindo as equações 3.4, 3.5 e 3.6 na equação 3.3, temos:

$$\vec{V}_R = V_R (\operatorname{sen} \theta \cos \varphi \hat{x} + \operatorname{sen} \theta \operatorname{sen} \varphi \hat{y} + \cos \theta \hat{z}) \quad (3.7)$$

Tomando o vetor \vec{l} como:

$$\vec{l} = (\operatorname{sen} \theta \cos \varphi \hat{x} + \operatorname{sen} \theta \operatorname{sen} \varphi \hat{y} + \cos \theta \hat{z}) \quad (3.8)$$

A equação do vetor velocidade pode ser escrita da seguinte forma:

$$\vec{V}_R = V_R \vec{l} \quad (3.9)$$

Observando a equação de outra forma matematicamente temos,

$$\vec{V}_m = u \hat{x} + v \hat{y} + w \hat{z} \quad (3.10)$$

Tem-se que u é a componente zonal, v é a componente meridional e w é a componente vertical. Assim, pode-se escrever a velocidade radial como sendo o produto escalar da projeção do vento médio sobre o vetor \vec{l} , logo;

$$V_R = \vec{V}_m \cdot \hat{l} \quad (3.11)$$

Logo a equação para o cálculo de apenas um meteoro pode ser escrita da seguinte forma:

$$V_R = u \sen \theta \cos \varphi + v \sen \theta \sen \varphi + w \cos \theta \quad (3.12)$$

Como foi dito, a equação 3.12 é para o cálculo de apenas um meteoro, sendo que o radar meteórico fornece um conjunto de valores para a velocidade radial, com isso, foi implementado um algoritmo capaz de realizar o cálculo da componentes zonal, meridional e zenital do vento. Então, para determinar o vento é escolhido um determinado intervalo de tempo e altura para poder aplicar o método dos mínimos quadrados para os meteoros ali compreendidos.

Na detecção dos meteoros, existe um algoritmo que realiza a filtragem dos dados, onde os que possuem uma ambiguidade maior ou igual a dois, tempo de decaimento menor do que 15 ms, velocidades radiais maiores do que 15 m/s e ângulo zenital fora do intervalo de ($10^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$), são retirados. Quando ocorre o decaimento de meteoros no mesmo instante, são selecionados aqueles que possuem uma diferença de alcance de 6 km de altitude, se caso ocorra uma diferença menor de 6 km, esses sinais são originados do mesmo eco e aplica-se o que possuir uma amplitude maior.

Existe um outro processo de filtragem que é realizado para que se possa calcular as componentes do vento, no caso é analisado a diferença da velocidade radial fornecida pelo radar e a velocidade radial calculada pelo método dos mínimos quadrados, onde é menor que 100 m/s, caso não seja calculado, o meteoro será desconsiderado. Então, para que se possa encontrar as componentes do vento, o método dos mínimos quadrados é utilizado para minimizar o erro calculado, no caso o erro é dado pela seguinte equação matemática.

$$\epsilon_i = V_{Ri} - (u \sen \theta_i \cos \varphi_i + v \sen \theta_i \sen \varphi_i + w \cos \theta_i) \quad (3.13)$$

Para se calcular o menor estiva do erro, utiliza-se a função em termos de componentes do vento u , v e w . Logo é escrita a equação da seguinte forma:

$$f(u, v, w) = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 \quad (3.14)$$

Fazendo a substituição da equação 3.13 na equação 3.14, têm-se:

$$f(u, v, w) = \sum_{i=1}^n [V_{Ri} - (u \sen \theta_i \cos \varphi_i + v \sen \theta_i \sen \varphi_i + w \cos \theta_i)]^2 \quad (3.15)$$

Tomando $A = \text{sen } \theta_i \cos \varphi_i$, $B = \text{sen } \theta_i \text{sen } \varphi_i$ e $C = \cos \theta_i$, temos:

$$f(u, v, w) = \sum_{i=1}^n [V_{Ri} - (uA + vB + wC)]^2 \quad (3.16)$$

Para estimar os coeficientes do mínimo da função, aplica-se a derivada da função f em termos de cada uma das componentes:

$$\frac{\partial f(u, v, w)}{\partial u} = 0 \quad (3.17)$$

$$\frac{\partial f(u, v, w)}{\partial v} = 0 \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial f(u, v, w)}{\partial w} = 0 \quad (3.19)$$

Derivando as equações 3.17, 3.18, e 3.19, obtemos:

$$\begin{aligned} & \bullet \frac{\partial}{\partial u} \sum_{i=1}^n [V_R - (uA + vB + wC)]^2 = 0 \\ & 2 \sum_{i=1}^n [V_R - (uA + vB + wC)](-A) = 0 \\ & - \sum_{i=1}^n V_R A + u \sum_{i=1}^n A^2 + v \sum_{i=1}^n BA + w \sum_{i=1}^n CA = 0 \\ & \sum_{i=1}^n V_R A = u \sum_{i=1}^n A^2 + v \sum_{i=1}^n BA + w \sum_{i=1}^n CA \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned} & \bullet \frac{\partial}{\partial v} \sum_{i=1}^n [V_R - (uA + vB + wC)]^2 = 0 \\ & 2 \sum_{i=1}^n [V_R - (uA + vB + wC)](-B) = 0 \\ & - \sum_{i=1}^n V_R B + u \sum_{i=1}^n AB + v \sum_{i=1}^n B^2 + w \sum_{i=1}^n CB = 0 \\ & \sum_{i=1}^n V_R B = u \sum_{i=1}^n AB + v \sum_{i=1}^n B^2 + w \sum_{i=1}^n CB \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$\begin{aligned}
& \bullet \frac{\partial}{\partial v} \sum_{i=1}^n [V_R - (uA + vB + wC)]^2 = 0 \\
& 2 \sum_{i=1}^n [V_R - (uA + vB + wC)](-C) = 0 \\
& - \sum_{i=1}^n V_R C + u \sum_{i=1}^n AC + v \sum_{i=1}^n BC + w \sum_{i=1}^n C^2 = 0 \\
& \sum_{i=1}^n V_R C = u \sum_{i=1}^n AC + v \sum_{i=1}^n BC + w \sum_{i=1}^n C^2
\end{aligned} \tag{3.22}$$

De acordo com a resolução das derivadas parciais para cada uma das componentes do vento, obteve-se as equações 3.20, 3.21 e 3.22. Assim, temos o seguinte sistema de equações:

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n V_R A &= u \sum_{i=1}^n A^2 + v \sum_{i=1}^n BA + w \sum_{i=1}^n CA \\
\sum_{i=1}^n V_R B &= u \sum_{i=1}^n AB + v \sum_{i=1}^n B^2 + w \sum_{i=1}^n CB \\
\sum_{i=1}^n V_R C &= u \sum_{i=1}^n AC + v \sum_{i=1}^n BC + w \sum_{i=1}^n C^2
\end{aligned} \tag{3.23}$$

Resolvendo a 3.23, pode-se encontrar as melhores estimativas das componentes do vento u , v e w .

4 Resultados e Discussões

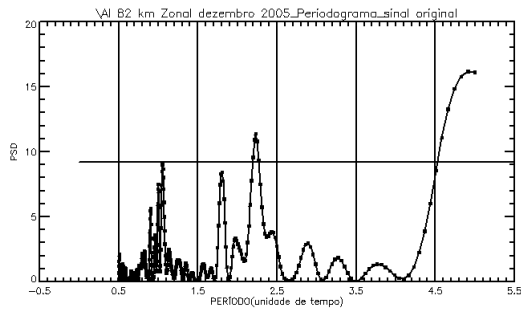
4.1 Vento Zonal em Ascension Island

Para a detecção do espectro no vento zonal em Ascension Island em dezembro de 2005, foi utilizado o periodograma do Lomb-Scargle para a obtenção do espectro de energia. Assim foi escolhido um período entre 0,5 e 5 dias para 7 (sete) altitudes distintas, observando o comportamento se há existência de ondas planetárias.

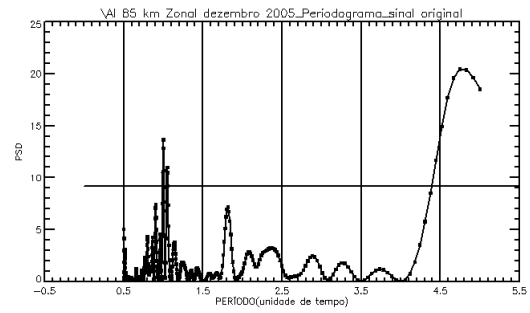
A Figura 4.2 mostra o comportamento dos espectros de energia em todas as altitudes durante os dias 1 e 31 de dezembro de 2005, realizadas pelo periodograma do Lomb-Scargle.

De acordo com a técnica utilizada do Lomb-Scargle, observa-se que espectros de energia foram detectados para o vento zonal. Para a altitude de 82 km foram detectados 2 (dois) picos, onde o mais intenso encontra-se entre os períodos de 4,5 e 5 dias e o menos intenso entre os períodos de 2 e 2,5 dias. Para a altitude de 85 km foi detectado apenas 1 (um) pico entre os períodos de 4,5 e 5 dias e juntamente acompanhado com uma pequena intensidade da onda de maré diurna.

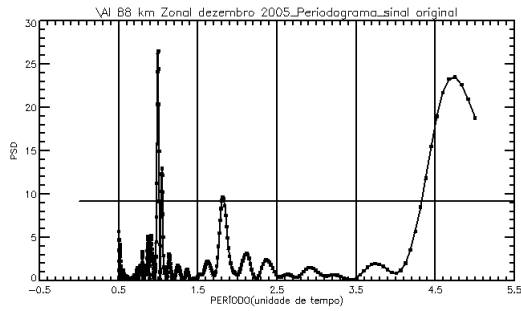
Para a altitude de 88 km foram detectados 2 (dois) picos, sendo o mais intenso entre os períodos de 4,5 e 5 dias e 1 (um) pico bem menos intenso entre os períodos de 1,5 e 2 dias e juntamente acompanhado com uma forte presença da maré diurna. Nas altitudes de 91 km e 94 km foram detectados apenas 1 (um) pico em ambos os gráficos entre os períodos de 4,5 e 5 dias e juntamente acompanhados com uma maré diurna bem intensa. Já para a altitude de 97 km foi detectado um pico centrado no período de 4,5 dias e juntamente acompanhado com um forte presença da maré diurna. Para a altitude de 99 km um leve pico foi detectado entre os períodos de 4 e 4,5 dias mais nada tão relevante que possa ser considerado uma onda que esteja acima do nível de confiança que é acima de 90%.



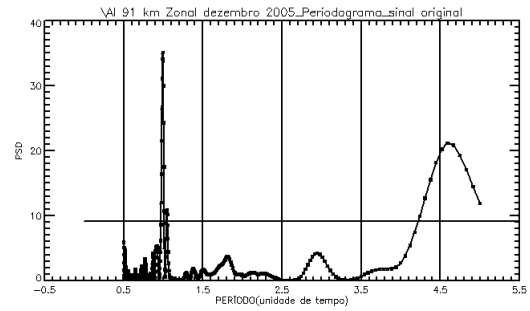
(a) Zonal 82 km



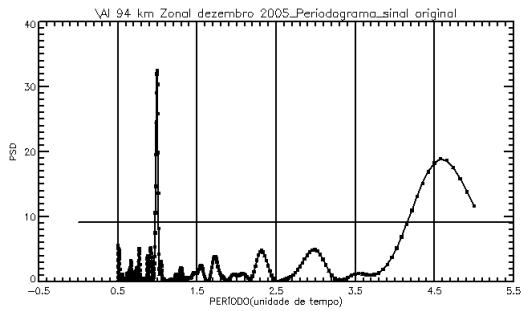
(b) Zonal 85 km



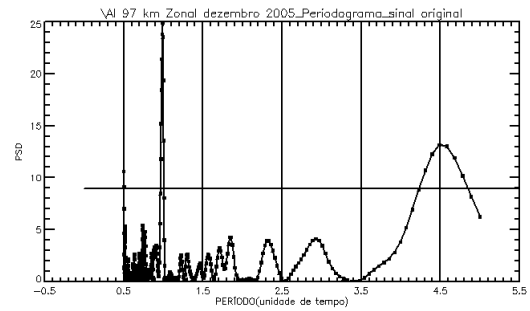
(c) Zonal 88 km



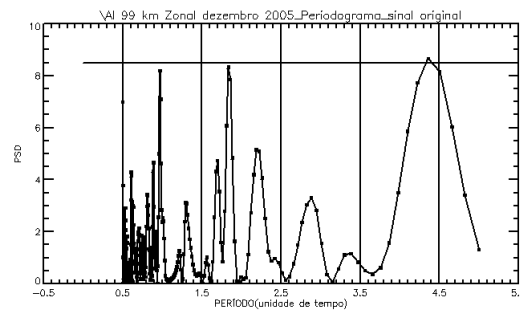
(d) Zonal 91 km



(e) Zonal 94 km



(f) Zonal 97 km



(g) Zonal 99 km

Figura 4.2 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento zonal, obtido em Ascension Island referente ao mês de dezembro do ano de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.

4.2 Vento Zonal em São João do Cariri

Para a detecção do espectro no vento zonal em São João do Cariri em dezembro de 2005, foi utilizado a mesma técnica do periodograma do Lomb-Scargle para a obtenção de espectros de energia. O mesmo período utilizado para Ascension Island, foi escolhido para São João do Cariri entre 0,5 e 5 dias para 6 (seis) altitudes distintas.

A Figura 4.3 mostra o comportamento dos espectros de energia em todas as altitudes durante o dia 1 e 31 de dezembro de 2005, realizadas pelo periodograma do Lomb-Scargle.

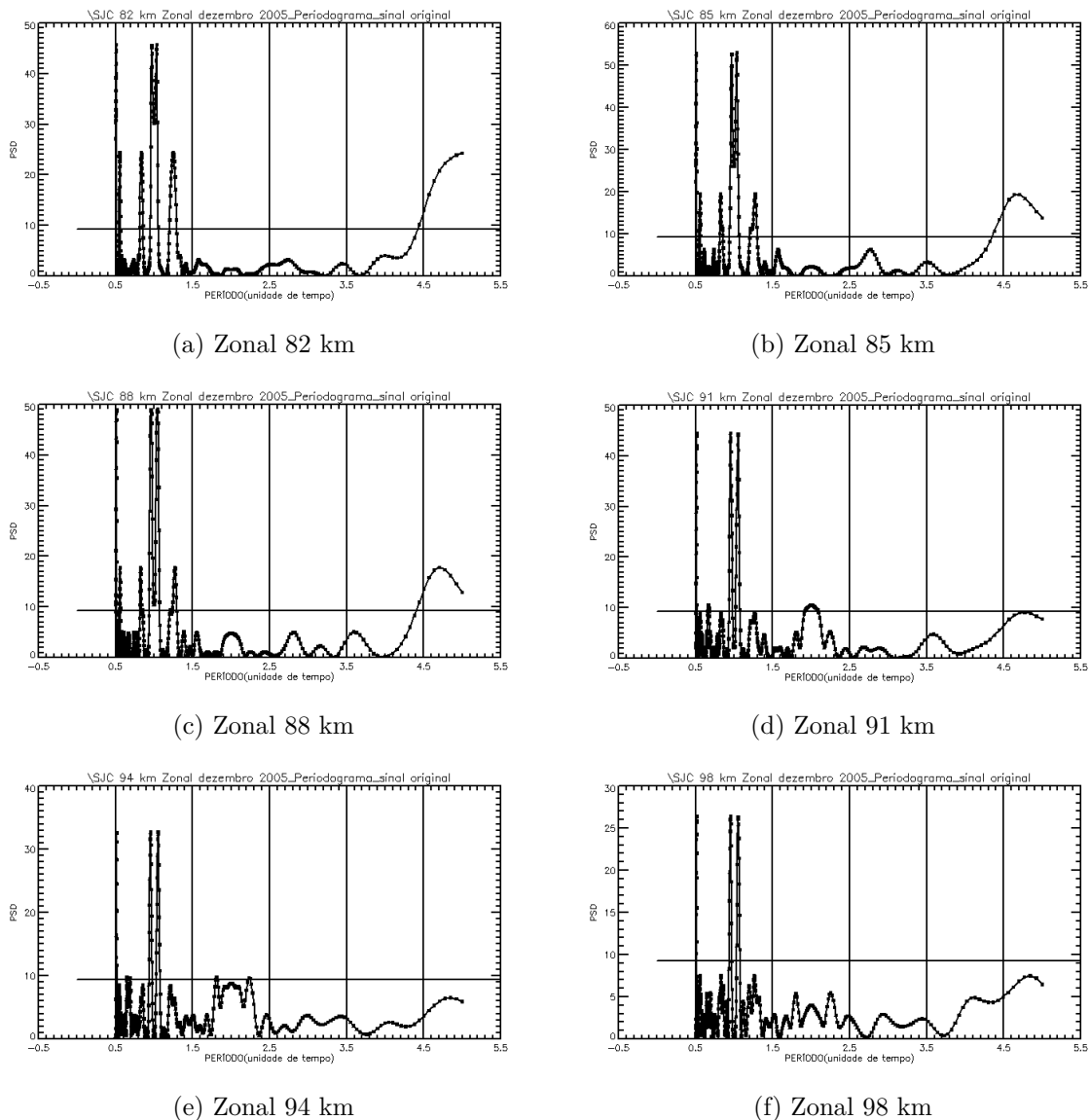


Figura 4.3 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento zonal, obtido em São João do Cariri referente ao mês de dezembro do ano de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.

De acordo com a técnica utilizada do Lomb-Scargle, observar-se que espectros de energia foram detectadas para o vento zonal. Para as altitudes de 82 km, 85 km e 88 km foram detectados 2 (dois) picos para cada gráfico, sendo entre os períodos de 4,5 e 5 dias e no período de $\sim 1,3$ dias, sendo todos juntamente acompanhados de um forte intensidade da maré diurna. Para a altitude de 91 km foi detectado apenas um leve pico no período de ~ 2 dias e juntamente acompanhado da maré diurna bem intensa.

Para a altitude de 94 km foram detectados 2 (dois) picos bem leves, sendo um no período de $\sim 1,8$ dias e o outro período de $\sim 2,3$ dias e juntamente acompanhado da maré diurna bem intensa. Já para a altitude de 98 km foi detectado apenas a presença de uma forte maré diurna, mas não foi detectado nenhuma oscilação acima do nível de confiança que é de 90%.

4.3 Vento Zonal em Costa Rica

Para a detecção do espectro no vento zonal em Costa Rica em dezembro de 2005, também foi utilizada a mesma técnica do periodograma do Lomb-Scargle para a obtenção do espectro de energia. O mesmo período utilizado para Ascension Island e São João do Cariri foi escolhido da mesma forma para Costa Rica entre 0,5 e 5 dias para 6 (seis) altitudes distintas.

A Figura 4.6 mostra o comportamento dos espectros de energia em todas as altitudes durante o dia 1 e 31 de dezembro de 2005, realizadas pelo periodograma do Lomb-Scargle.

De acordo com a técnica do Lomb-Scargle realizada, observar-se que não houve nenhum espectro de energia detectado para o vento zonal, porém para as altitudes de 82 km e 85 km foram detectadas a presença de uma forte maré diurna. Já para as altitudes de 88 km e 91 km também foram detectadas a presença da maré diurna só que com uma intensidade bem menor. Nas altitudes de 94 km e 98 km nenhum espectro de energia foi detectado acima do nível de confiança que é 90%.

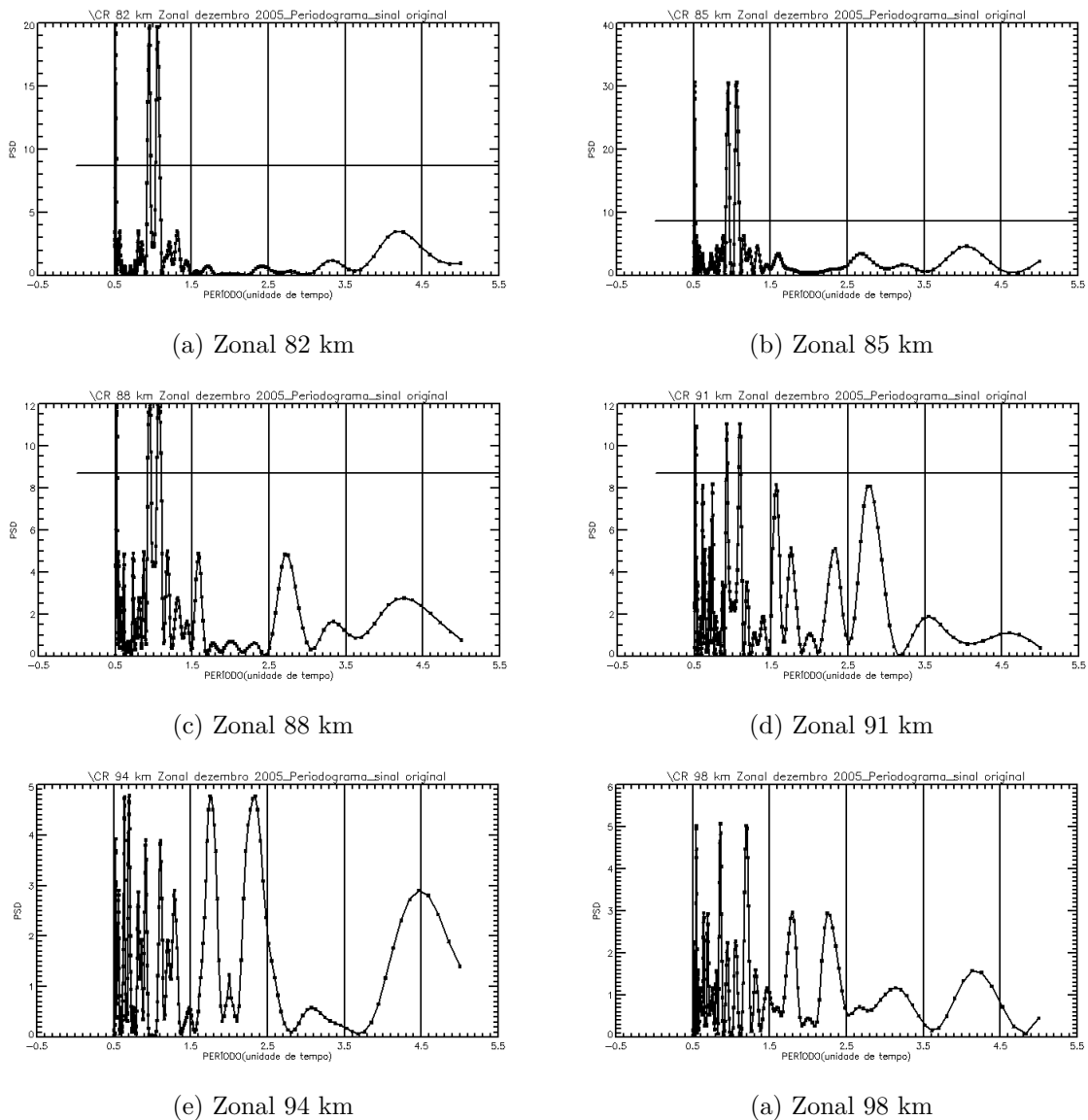
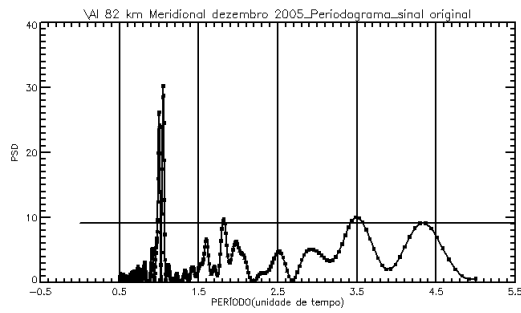


Figura 4.6 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento zonal, obtido em Costa Rica referente ao mês de dezembro do ano de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.

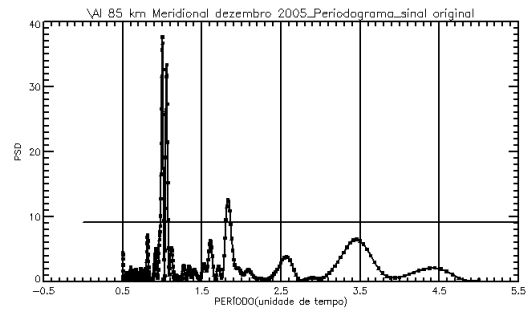
4.4 Vento Meridional em Ascension Island

Para detectar supostas oscilações de espectro de energia para o vento meridional em Ascension Island em dezembro de 2005, a técnica do Lomb-Scargle também foi utilizada. Assim o periodograma do Lomb-Scargle foi colocado em prática para as 7 (sete) altitudes distintas. Para isso, foi adotado o mesmo período entre 0,5 e 5 dias, observando o comportamento se há existência de ondas planetárias.

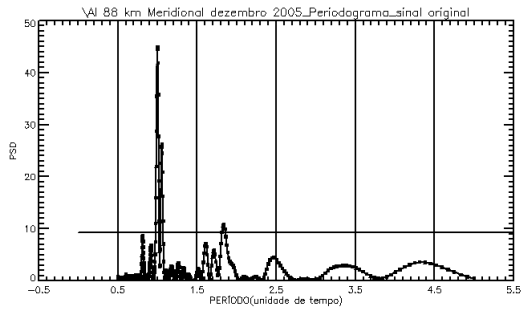
A Figura 4.8 mostra o comportamento dos espectros de energia em todas as altitudes durante o dia 1 e 31 de dezembro de 2005, realizadas pelo periodograma do Lomb-Scargle.



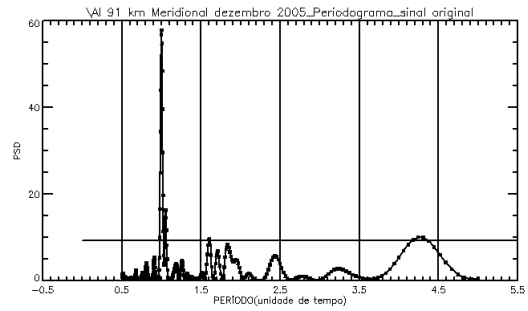
(a) Meridional 82 km



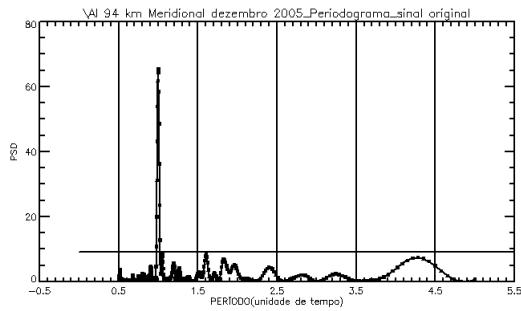
(b) Meridional 85 km



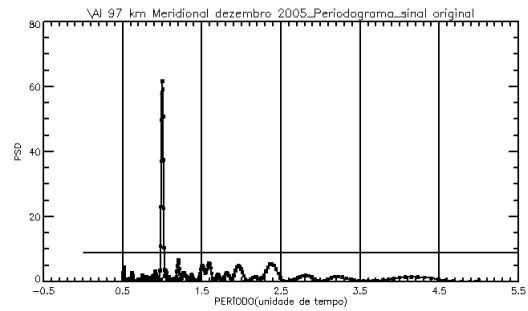
(c) Meridional 88 km



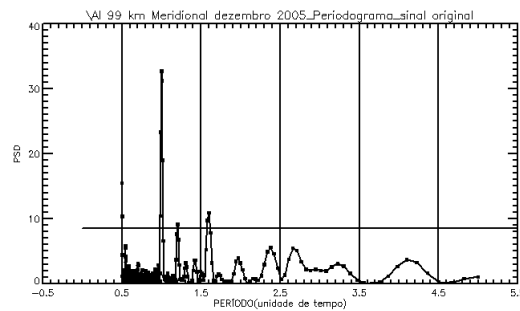
(d) Meridional 91 km



(e) Meridional 94 km



(a) Meridional 97 km



(b) Meridional 99 km

Figura 4.8 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento meridional, obtido em Ascension Island referente ao mês de dezembro do ano de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.

Pela técnica utilizada pelo o periodograma do Lomb-Scargle, observa-se que espectros de energia foram detectados para o vento meridional. Para a altitude de 82 km foram detectados 2 (dois) leves picos, sendo um centrado no período de 3,5 dias e o outro período em \sim de 1,8 dias e juntamente acompanhado com uma presença forte da maré diurna. Para as altitudes de 85 km e 88 km foram detectados apenas 1 (um) pico levemente acentuado no período de \sim 1,8 dias e juntamente acompanhado com uma onda de maré diurna bem intensa em ambas as altitudes.

Na altitudes de 91 km foram detectados 2 (dois) picos levemente acentuados, sendo um entre os períodos de 4 e 4,5 dias e o outro período em \sim 1,6 dias e juntamente acompanhado com uma maré diurna bem intensa. Já para as altitudes de 94 km e 97 km nenhum espectro de energia foram detectados, mas apresenta uma forte maré diurna bem intensa. Para a altitude de 99 km foram detectados uma forte presença da maré diurna e 2 (dois) leves picos acentuados, sendo um no período em \sim 1,6 dias e o outro no período de \sim 1,3 dias acima do nível de confiança que é de 90%.

4.5 Vento Meridional em São João do Cariri

Na detecção do espectro de energia no vento meridional em São João do Cariri em dezembro de 2005, foi utilizado da mesma forma o periodograma do Lomb-Scargle para observar-se supostas oscilações. Assim, foi realizado o periodograma para 6 (seis) altitudes distintas com um período entre 0,5 e 5 dias.

A Figura 4.10, mostra o comportamento dos espectros de energia em todas as altitudes durante o dia 1 e 31 de dezembro de 2005, realizadas pelo periodograma do Lomb-Scargle.

Como pode ser observado, o periodograma do Lomb-Scargle detectou espectros de energia para algumas altitudes no vento meridional. Na altitude de 88 km foi detectado um leve pico entre os períodos de 3 e 3,5 dias com uma forte presença da maré diurna. Para as altitudes de 91 km e 94 km foram detectados dois picos levemente acentuados e centrados nos períodos de 2,5 dias e juntamente acompanhado com uma forte intensidade da onda de maré. Já para as altitudes de 82 km, 85 km e 98 km, mostram uma forte intensidade da maré diurna presente, porém nenhum pico foi detectado acima do nível de confiança que é de 90%.

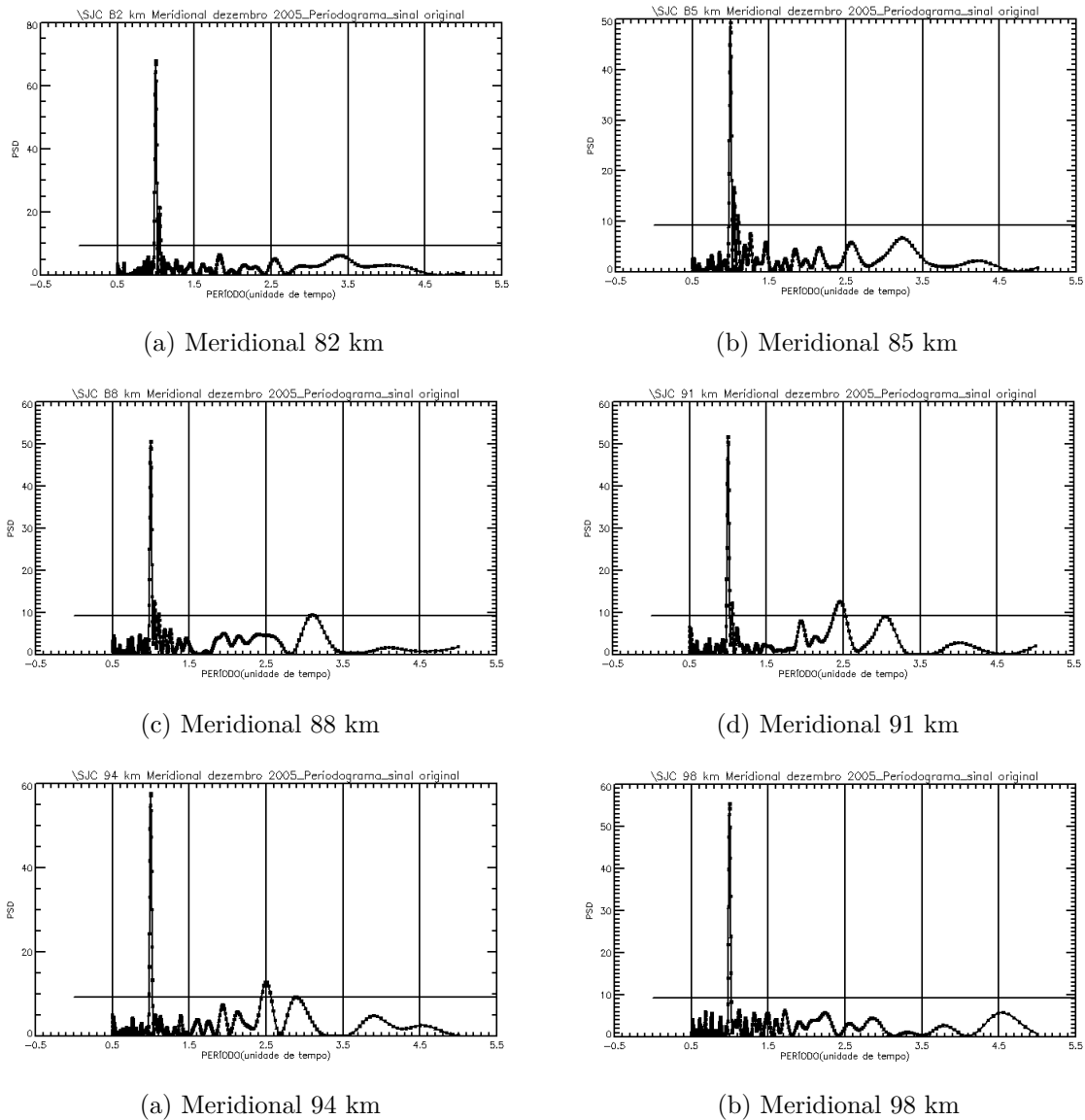


Figura 4.10 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento meridional, obtido em São João do Cariri referente ao mês de dezembro do ano de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.

4.6 Vento Meridional em Costa Rica

Na detecção do espectro de energia no vento meridional em Costa Rica em dezembro de 2005, também foi utilizado da mesma forma a técnica do periodograma do Lomb-Scargle para observar-se supostas oscilações. Com isso, foram delimitado da mesma forma para as 6 (seis) altitudes distintas com um período entre 0,5 e 5 dias.

Na figura 4.12, mostramos o comportamento dos espectros de energia em todas as atitudes durante o dia 1 e 31 de dezembro de 2005, realizadas pelo periodograma do Lomb-Scargle.

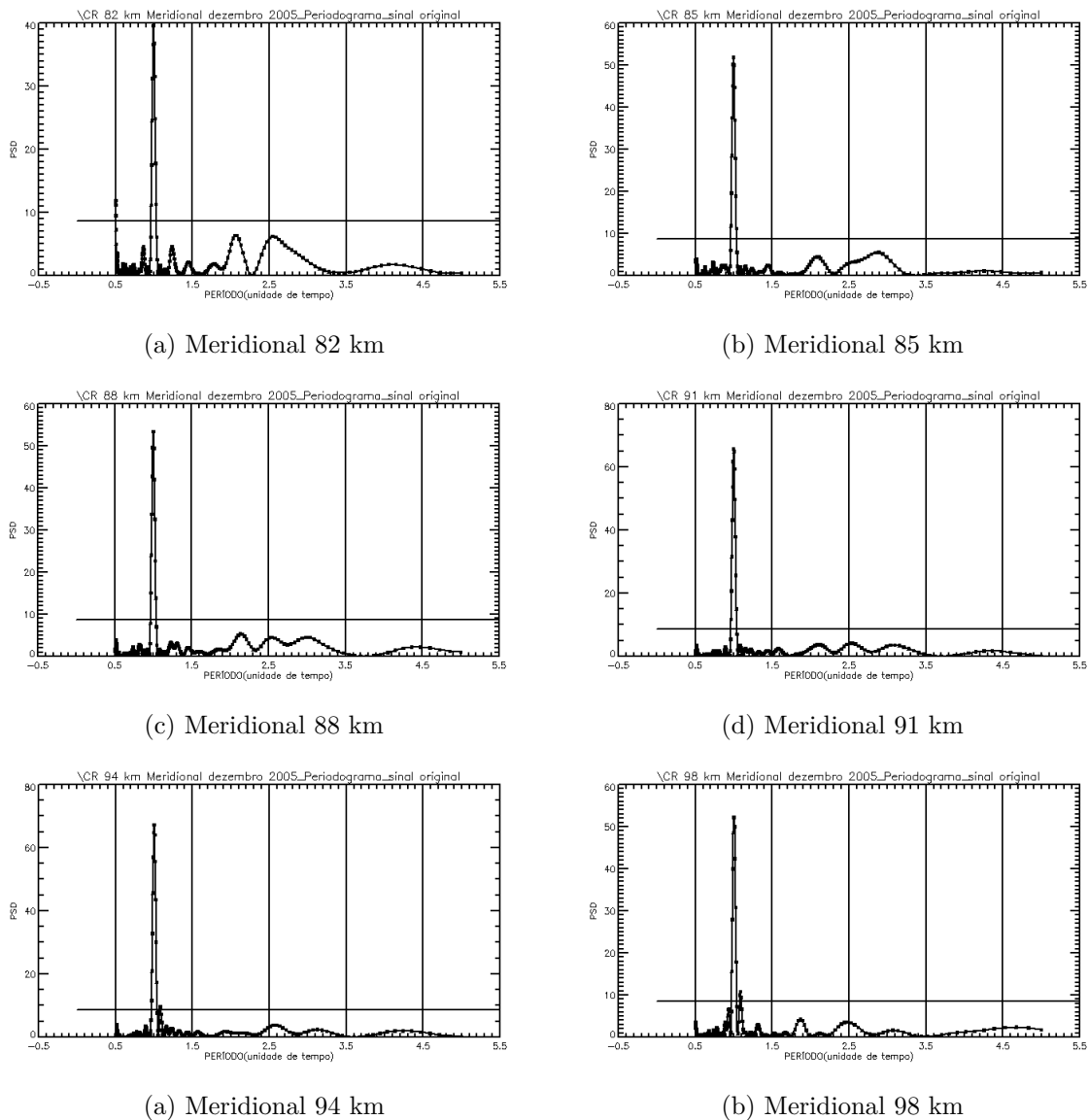


Figura 4.12 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento meridional, obtido em Costa Rica referente ao mês de dezembro do ano de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.

De acordo com as observações realizadas pelo o peridograma do Lomb-Scargle, observar-se que para as altitudes de 82 km, 85 km, 88 km, 91 km, 94 km e 98 km foram detectados a presença de uma forte intensidade da maré diurna, porém nenhum espectro de energia para todas as altitudes no vento meridional foram detectadas acima do nível de confiança que é de 90%.

4.7 Espectros do vento

Pelas observações realizadas em todas as altitudes para o vento zonal e vento meridional, foram delimitado os períodos entre os dias 6 e 18 para obter-se uma melhor precisão para análise dos espectros de energia para as localidades de Ascension Island, São João do Cariri e Costa Rica em dezembro de 2005. Com as observações realizadas, os dados analisados que mais

chamaram atenção foram para as localidades de Ascension Island e São João do Cariri, onde foram detectados espectros de energia mais relevantes.

4.7.1 Espectros do vento Meridional em Ascension Island

Utilizando o periodograma do Lomb-Scargle para o vento meridional em Ascension Island em dezembro de 2005 entre os dias 6 e 18, foram observados e detectados espectros de energia apenas para 2 (duas) altitudes.

Para a altitude de 82 km foi observado uma oscilação de forte intensidade centrado no período de 3,68 dias e juntamente acompanhado da maré diurna bem intensa. Já para a altitude de 91 km mostra oscilação de intensidade bem menor detectado no períodos de 3,94 dias e também juntamente acompanhado da maré diurna. A figura 4.13 mostra o comportamento da oscilação em Ascension Island entre 6 a 18 dias em dezembro de 2005.

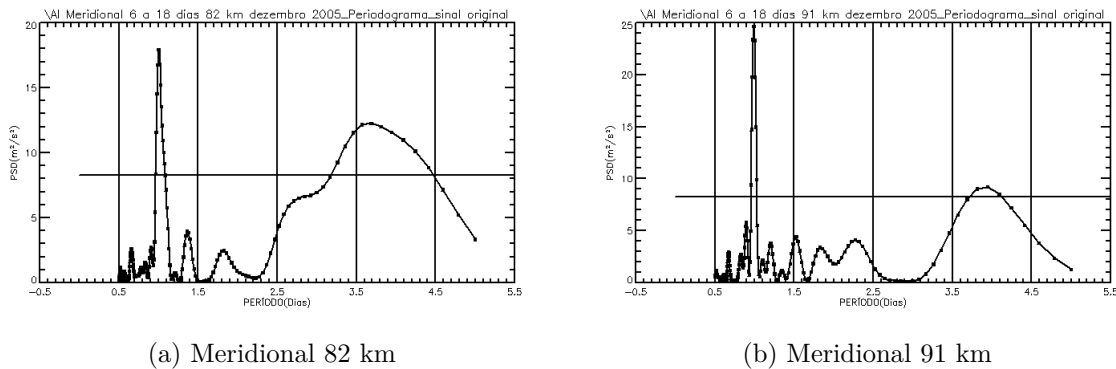


Figura 4.13 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento meridional, obtido em Ascension Island com período entre o dia 6 e 18 do mês de dezembro de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.

4.7.2 Espectros de Vento Meridional em São João do Cariri

Utilizando o periodograma do Lomb-Scargle para o vento meridional em São João do Cariri em dezembro de 2005 entre os dias 6 e 18, foram observados e detectados espectros de energia para 4 (quatro) altitudes. A figura 4.15 mostra o comportamento da oscilação em São João do Cariri em dezembro de 2005.

Pelas observações realizadas, tem-se que para as altitudes de 82 km e 85 km mostra-se oscilações elevadas com períodos em 3,45 dias para 82 km e 3,35 dias para 85 km e juntamente em ambas as altitudes acompanham-se a maré diurna de forma bem intensa. Na altitude de 88 km mostra-se 2 (dois) picos, sendo que o pico mais elevado encontra-se uma oscilação com período em 3,25 dias e o pico menos elevado encontra-se uma oscilação com período em 2,46 dias e juntamente acompanhado da maré diurna bem intensa. Já para a altitude de 91 km também encontra-se 2 (dois) picos, onde o pico menos elevado possui uma oscilação com período em 2,41 dias e o pico mais elevado encontra-se uma oscilação com período em 3,25 dias e juntamente acompanhado da maré bem intensa.

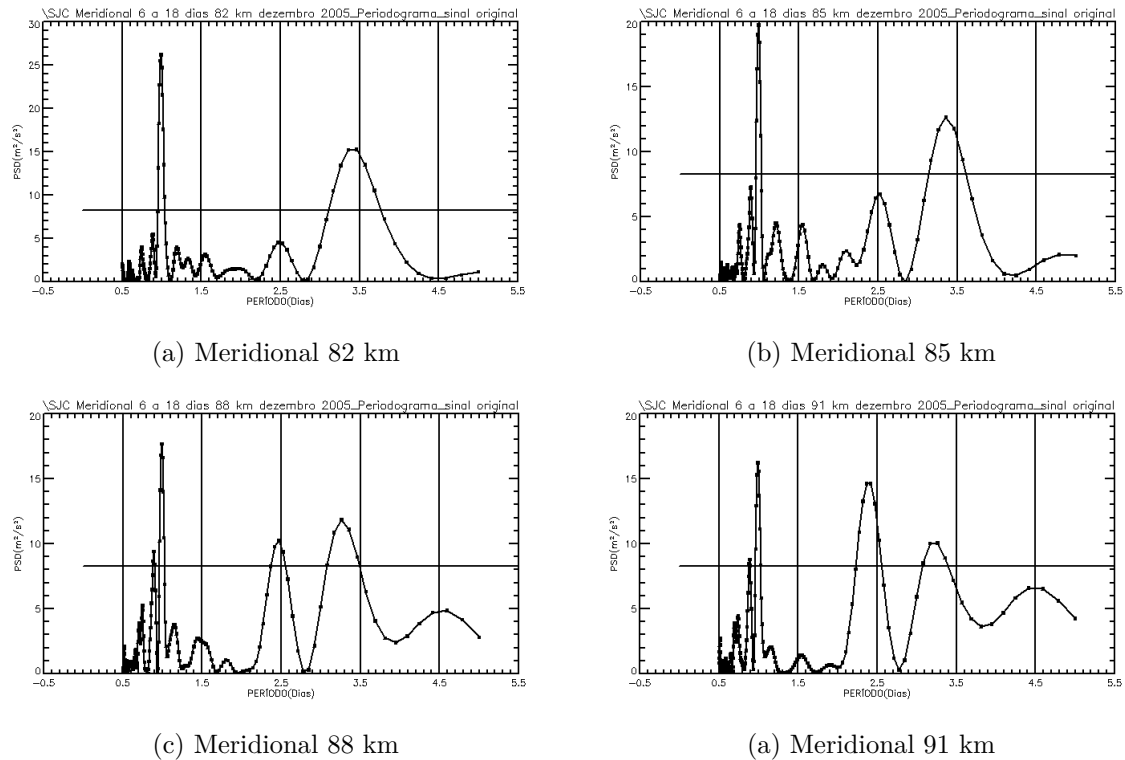


Figura 4.15 – Periodograma do Lomb-Scargle correspondente ao vento meridional, obtido em São João do Cariri com período entre o dia 6 e 18 do mês de dezembro de 2005. A linha horizontal indica o nível de confiança de 90%.

Analizando as 2 (duas) localidades aqui estudadas, observar-se que apenas foram detectadas oscilações em Ascension Island para as altitudes de 82 e 91 km, e em São João do Cariri foram detectadas oscilações para as altitudes de 82 km, 85 km, 88 km e 91 km, não sendo detectadas nas demais altitudes para ambas as localidades. O fator que pode ter ocasionado esse tipo de comportamento é devido a algum processo dinâmico que está diminuindo a sua intensidade para as demais altitudes.

4.8 Análise Harmônica para o Vento Meridional em Ascension Island e São João do Cariri

De acordo com os espectros de ventos obtidos com a técnica do periodograma do Lomb-Scargle para as altitudes de 82 km e 91 km em Ascension Island e para as altitudes 82 km, 85 km, 88 km e 91 km em São João do Cariri, observar-se que no intervalo entre os dias 6 e 18 houveram oscilações muito em comum para o vento meridional, sendo oscilações bem próximas ao período de 3,5 dias para todas essas altitudes. Esse tipo de oscilação de 3,5 dias geralmente são conhecidas como ondas ultra rápidas de Kelvin, mas como foram detectadas no vento meridional será realizado uma análise harmônica nesses intervalos de dias.

Para realizar a análise harmônica foi utilizado um fitting nas oscilações entre os os dias 6 e 18, para obter os respectivos valores das amplitudes e das fases para cada oscilação.

A seguir, tem-se a equação da função de onda que será utilizada para encontrar os parâmetros de amplitude e fase.

$$y = a + b \cdot \left[\frac{2\pi \cdot (x - d)}{T} \right] \quad (4.1)$$

onde a é o parâmetro de ajuste que está relacionado com a amplitude inicial da onda, o b é a amplitude, o x são os dias corridos, d é a fase e o T é o período da onda.

A Figura 4.16 mostra o fitting realizado para as altitudes de 82 km e 91 km para a localidade de Ascension Island entre os dias 6 e 18 de dezembro de 2005.

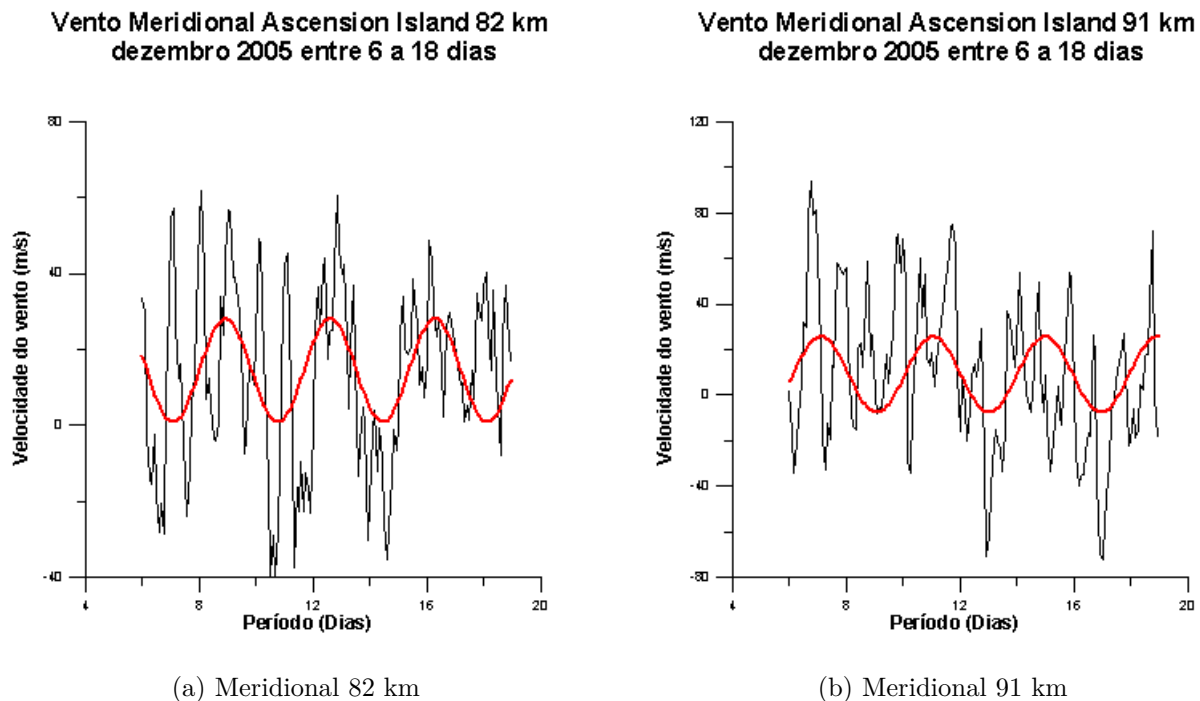


Figura 4.16 – Fitting correspondente ao vento meridional, obtido em Ascension Island entre os dias 6 e 18 do mês de dezembro de 2005.

De acordo com os gráficos apresentados os reajustes das fases serão realizados, os resultados obtidos são para uma melhor precisão de observação das ondas nos valores aqui apresentados, ou seja, o cálculo a ser realizado será para observação dessa onda nos primeiros respectivos valores que estão entre os dias 6 e 18 de dezembro de 2005. Assim, o deslocamento realizado é um adiantamento da fase da onda que será observado a oscilação partindo sempre do pico máximo de todas as oscilações nas respectivas altitudes que foram encontradas em Ascension Island e São João do Cariri.

Pelo fitting realizado para as altitudes correspondentes, têm-se que na Figura 4.16a para a altitude de 82 km no vento meridional, a amplitude obtida foi com um valor correspondente de -13,60 m/s e a fase foi de -0,29 dias, sendo que esses valores foram realizados um reajuste em seus respectivos valores. A seguir será realizado o seguinte cálculo matemático para o reajuste da fase.

$$\begin{aligned}(-0,29) + \frac{3,68}{2} &= 1,55 \\ 1,55 + 3,68 &= 5,23 \\ 5,23 + 3,68 &= 8,91\end{aligned}\tag{4.2}$$

De acordo com reajuste de fase realizado, o resultado obtido na equação 4.2 é no dia 8,91. Aplicando a mudança de sinal da amplitude e utilizando o valor obtido da fase reajustada na equação 4.2 e substituindo na equação 4.1, obtêm-se a mesma oscilação dos valores originais dados através da análise harmônica realizada, só que com uma melhor observação gráfica para a fase.

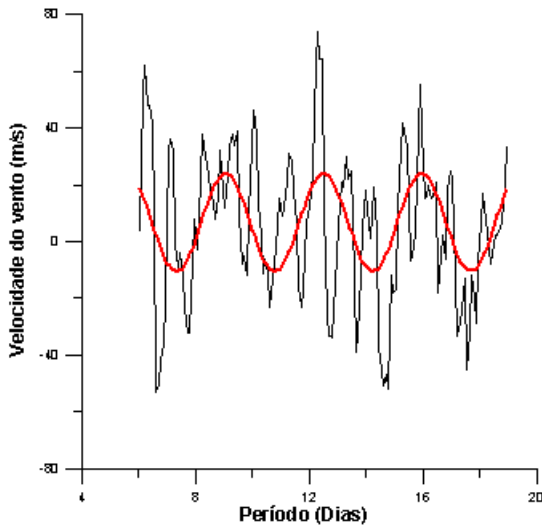
Para a Figura 4.16b referente a altitude de 91 km no vento meridional, a amplitude encontrada foi de 16,61 m/s e a fase foi de -0,78 dias. A seguir será realizado também o cálculo matemático para o reajuste da fase.

$$\begin{aligned}(-0,78) + 3,94 &= 3,16 \\ 3,16 + 3,94 &= 7,10\end{aligned}\tag{4.3}$$

De acordo com reajuste de fase realizado, o resultado obtido na equação 4.3 é no dia 7,10. Utilizando a amplitude e o valor obtido da fase reajustada na equação 4.3 e substituindo na equação 4.1, obtêm-se a mesma oscilação dos valores originais dados através da análise harmônica realizada, só que com uma melhor observação gráfica para a fase.

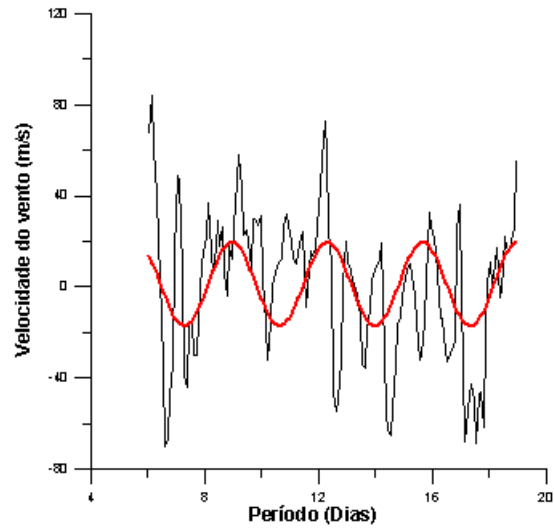
A Figura 4.17, mostra o fitting realizado para as altitudes de 82 km, 85 km, 88 km e 91 km de altitude para a localização de São João do Cariri.

Vento Meridional São João do Cariri 82 km
dezembro 2005 entre 6 a 18 dias



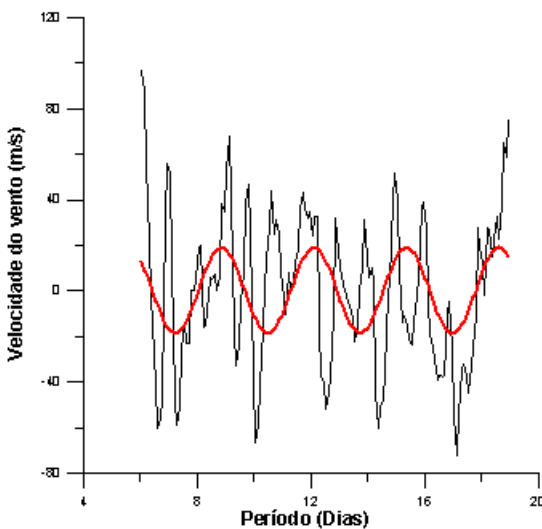
(a) Meridional 82 km

Vento Meridional São João do Cariri 85 km
dezembro 2005 entre 6 a 18 dias



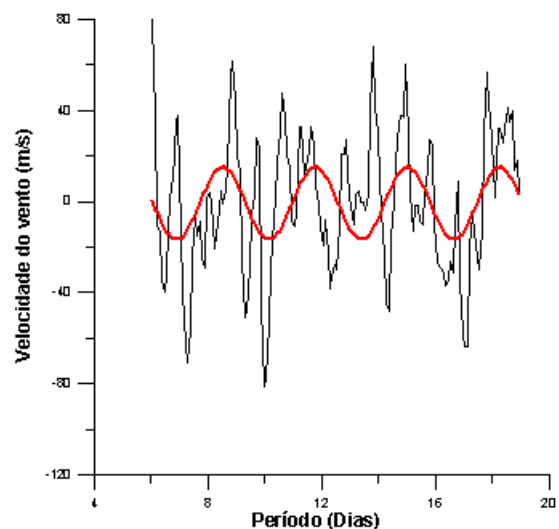
(b) Meridional 85 km

Vento Meridional São João do Cariri 88 km
dezembro 2005 entre 6 a 18 dias



(c) Meridional 88 km

Vento Meridional São João do Cariri 91 km
dezembro 2005 entre 6 a 18 dias



(d) Meridional 91 km

Figura 4.17 – Fitting correspondente ao vento meridional, obtido em São João do Cariri entre os dias 6 e 18 do mês de dezembro de 2005.

Pelo fitting realizado para as respectivas altitudes, têm-se que na Figura 4.17a para a altitude de 82 km no meridional, a amplitude obtida foi de $-17,16$ m/s e sua fase com um valor correspondente de $0,43$ dias. A seguir será realizado também o cálculo matemático para o reajuste da fase.

$$\begin{aligned}
0,43 + \frac{3,45}{2} &= 2,155 \\
2,155 + 3,45 &= 5,605 \\
5,605 + 3,45 &= 9,055
\end{aligned}
\tag{4.4}$$

De acordo com reajuste de fase realizado, o resultado obtido na equação 4.4 é no dia 9,055. Aplicando a mudança de sinal da amplitude e utilizando o valor obtido da fase reajustada na equação 4.4 e substituindo na equação 4.1, obtêm-se a mesma oscilação dos valores originais dados através da análise harmônica realizada, só que com uma melhor observação gráfica para a fase.

Para a Figura 4.17b referente a altitude de 85 km no meridional, a obtenção da amplitude foi de -18,41 m/s e a fase foi de 0,59 dias. A seguir será realizado também o cálculo matemático para o reajuste da fase.

$$\begin{aligned}
0,59 + \frac{3,35}{2} &= 2,265 \\
2,265 + 3,35 &= 5,615 \\
5,615 + 3,35 &= 8,965
\end{aligned}
\tag{4.5}$$

De acordo com reajuste de fase realizado, o resultado obtido na equação 4.5 é no dia 8,965. Aplicando a mudança de sinal da amplitude e utilizando o valor obtido da fase reajustada na equação 4.5 e substituindo na equação 4.1, obtêm-se a mesma oscilação dos valores originais dados através da análise harmônica realizada, só que com uma melhor observação gráfica para a fase.

A Figura 4.17c para a altitude de 88 km, ao utilizar a mesma técnica do fitting, o valor da amplitude encontrado foi de -18,77 m/s e sua fase de 3,99 dias. A seguir será realizado também o cálculo matemático para o reajuste da fase.

$$\begin{aligned}
3,99 + \frac{3,25}{2} &= 5,615 \\
5,615 + 3,35 &= 8,865
\end{aligned}
\tag{4.6}$$

De acordo com reajuste de fase realizado, o resultado obtido na equação 4.6 é no dia 8,865. Aplicando a mudança de sinal da amplitude e utilizando o valor obtido da fase reajustada na equação 4.6 e substituindo na equação 4.1, obtêm-se a mesma oscilação dos valores originais dados através da análise harmônica realizada, só que com uma melhor observação gráfica para a fase.

Já para a Figura 4.17d referente a altitude de 91 km no meridional, o valor da amplitude obtida foi de -15,83 m/s e sua fase foi de 0,40 dias. A seguir será realizado também o cálculo matemático para o reajuste da fase.

$$\begin{aligned}
 0,40 + \frac{3,25}{2} &= 2,025 \\
 2,025 + 3,25 &= 5,275 \\
 5,275 + 3,25 &= 8,525
 \end{aligned}
 \tag{4.7}$$

De acordo com reajuste de fase realizado, o resultado obtido na equação 4.7 é no dia 8,525. Aplicando a mudança de sinal da amplitude e utilizando o valor obtido da fase reajustada na equação 4.7 e substituindo na equação 4.1, obtem-se a mesma oscilação dos valores originais dados através da análise harmônica realizada, só que com uma melhor observação gráfica para a fase.

Como pode-se observar, alguns valores das amplitudes e os valores das fases sofreram reajustes para que pudessem ser encontrados nos intervalos de 6 a 18 dias para todas as altitudes que foram detectadas oscilações com espectros de energia no período de 3,5 dias. Em seguida a Figura 4.18, será apresentado os gráficos de amplitudes e fases referente as localizações de Ascension Island e São João do Cariri.

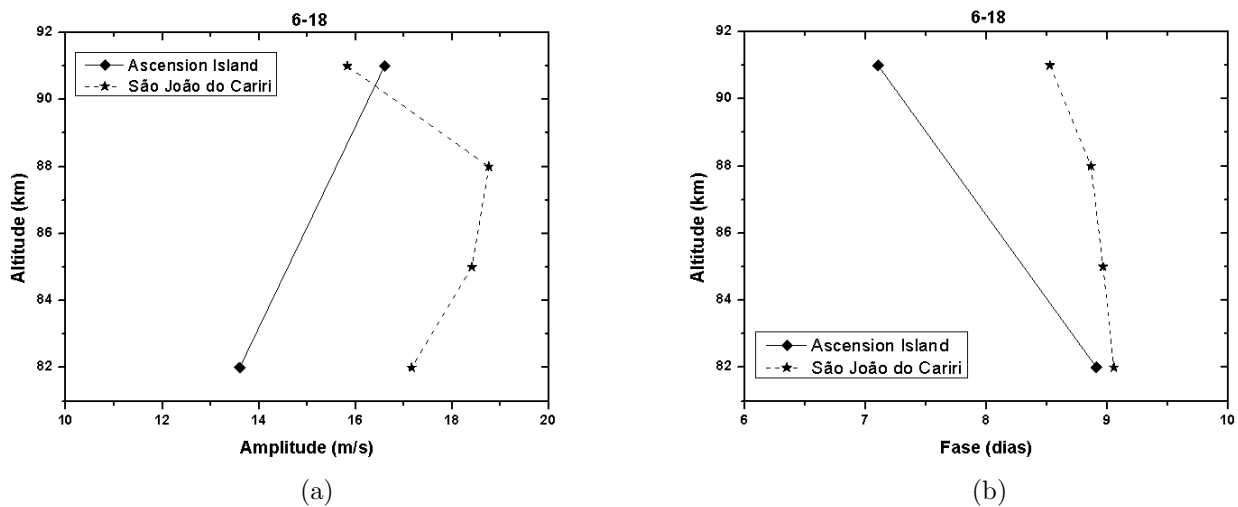


Figura 4.18 – Gráficos (a) amplitude e (b) Fase correspondente ao vento meridional, obtido em Ascension Island e São João do Cariri entre o dia 6 e 18 do mês de dezembro de 2005.

De acordo com os gráficos de amplitude e fase mostrados nas Figuras 4.18a e 4.18b. A seguir, a tabela mostra os valores das amplitudes e fases reajustadas, com seus respectivos valores dentro do intervalo de 6 a 18 dias para o vento meridional para o mês de dezembro do ano 2005 para Ascension Island e São João do Cariri.

Como pode ser visto na Tabela 4.1 referente a amplitude e na Tabela 4.2 referente a fase, para as altitudes de 85 km e 88 km não foram detectadas oscilações para o período de 3,5 dias entre o intervalo de dias 6 e 18 para a localização de Ascension Island.

Tabela 4.1 – Tabela Amplitude

ALTITUDE	AMPLITUDE ASCENSION ISLAND	AMPLITUDE SÃO JOÃO DO CARIRI
82 KM	13,60 m/s	17,16 m/s
85 KM	—	18,41 m/s
88 KM	—	18,77 m/s
91 KM	16,60 m/s	15,83 m/s

Fonte: Própria.

Tabela 4.2 – Tabela Fase

ALTITUDE	FASE ASCENSION ISLAND	FASE SÃO JOÃO DO CARIRI
82 KM	8,91 dias	9,055 dias
85 KM	—	8,965 dias
88 KM	—	8,865 dias
91 KM	7,10 dias	8,525 dias

Fonte: Própria.

4.9 Cálculo para o Comprimento de Onda Vertical

Para realizar o cálculo do comprimento de onda vertical para Ascension Island e São João do Cariri, alguns parâmetros foram ajustados para se obter os resultados, primeiro foi realizada uma média referentes aos períodos obtidos pelo peridograma do Lomb-Scargle.

Para os períodos de Ascension Island, temos:

$$T_1 = 3,68 \text{ dias} \text{ e } T_2 = 3,94 \text{ dias}$$

Realizando a média dos períodos T_1 e T_2 , pela seguinte equação obtemos:

$$\begin{aligned} T_{total1} &= \frac{T_1+T_2}{2} \\ T_{total1} &= \frac{3,68+3,94}{2} \\ T_{total1} &= 3,81 \text{ dias} \end{aligned} \tag{4.8}$$

Para os períodos de São João do Cariri, temos:

$$T_1 = 3,45 \text{ dias} ; T_2 = 3,35 \text{ dias} ; T_3 = 3,25 \text{ dias} \text{ e } T_4 = 3,25 \text{ dias}$$

Realizando a média dos períodos T_1 ; T_2 ; T_3 e T_4 , pela seguinte equação obtemos:

$$\begin{aligned}
T_{total2} &= \frac{T_1+T_2+T_3+T_4}{4} \\
T_{total2} &= \frac{3,45+3,35+3,25+3,25}{4} \\
T_{total2} &= 3,325 \text{ dias}
\end{aligned} \tag{4.9}$$

Com a média dos períodos obtidos, agora pode-se calcular o comprimento de onda vertical da onda. Mas primeiramente, será realizado um fitting linear para que possamos obter o valor do coeficiente angular.

Para o cálculo do comprimento de onda vertical para Ascension Island e São João do Cariri, temos a seguinte equação:

$$\lambda_V = \alpha T \tag{4.10}$$

onde α é o coeficiente angular.

Para Ascension Island, temos:

$$\begin{aligned}
\lambda_{V1} &= \alpha \cdot T_{total} \\
\lambda_{V1} &= (-4,97238) \cdot 3,81 \\
\lambda_{V1} &= -18,9448 \text{ km}
\end{aligned} \tag{4.11}$$

Para São João do Cariri, temos:

$$\begin{aligned}
\lambda_{V2} &= \alpha \cdot T_{total} \\
\lambda_{V2} &= (-15,73801) \cdot 3,325 \\
\lambda_{V2} &= -52,3289 \text{ km}
\end{aligned} \tag{4.12}$$

Observando os valores das equações 4.11 e 4.12, têm-se que seus respectivos valores foram negativos, esse resultado obtido é devido os seus gráficos de fase serem descendentes.

Então, observa-se que o comprimento de onda vertical em Ascension Island obteve um valor de $\lambda_{V1} = -18,9448 \text{ km}$ e o comprimento de onda vertical em São João do Cariri obteve um valor de $\lambda_{V2} = -52,3289 \text{ km}$. Para chegar-se a esses respectivos valores, sabe-se que foi realizado um fitting apenas para 2 (duas) respectivas altitudes em Ascension Island e um fitting para 4(quatro) altitudes em São João do Cariri, onde foram detectadas as oscilações. Assim, através de um software os parâmetros de amplitude e fase são calculados como também e fornecido o coeficiente de determinação indentificado pela letra R^2 responsável por esses valores atribuídos.

Para Ascension Island em 82 km de altitude o valor de $R^2 = 0.160719$ e na altitude de 91 km o valor de $R^2 = 0.119471$. Já para São João do Cariri em 82 km de altitude o valor de $R^2 = 0.199216$, na altitude de 85 km o valor de $R^2 = 0.163425$, na altitude de 88 km o valor de $R^2 = 0.152882$ e na altitude de 91 km de altitude o valor de $R^2 = 0.130536$. Os respectivos valores de R^2 para todas as altitudes em ambas localidades, encontram-se com valores respectivamente muito baixos de acordo com o esperado.

4.10 Cálculo para a Velocidade de Propagação da Onda e o Comprimento de Onda Horizontal

De acordo com os parâmetros obtidos, observa-se que têm-se oscilações com espectros de energia para as altitudes de 82 e 91 km em Ascension Island e São João do Cariri. Com isso, pode-se calcular a velocidade de propagação como também o comprimento de onda horizontal de Ascension Island até São João do Cariri.

Primeiramente, calculando a diferença de fase entre Ascension Island e São João do Cariri para a altitude de 82 km, têm-se:

$$\begin{aligned} F_{AS82km} &= F_{S82km} - F_{A82km} \\ F_{AS82km} &= 9,055 - 8,91 \\ F_{AS82km} &= 0,145 \text{ dia} \end{aligned} \quad (4.13)$$

Como a distância entre Ascension Island e São João do Cariri é $D_{AS} = 2400 \text{ km}$ e a diferença de fase entre Ascension Island e São João do Cariri a 82 km é $F_{AS82km} = 0,145 \text{ dias}$. Assim pode-se calcular a velocidade de propagação da onda pela seguinte equação matemática:

$$\begin{aligned} V_{82km} &= \frac{D_{AS}}{T_{AS82km}} \\ V_{82km} &= \frac{2400}{0,145} \\ V_{82km} &= 16.551,00 \text{ km}/\text{dia} \end{aligned} \quad (4.14)$$

Com a velocidade de propagação já calculada na equação 4.14, calcula-se em seguida a média dos períodos entre Ascension Island até São João do Cariri a 82 km entre o intervalo de 6 a 18 dias de dezembro de 2005, têm-se que:

$$\begin{aligned} T_{AS82km} &= \frac{T_{A82km} + T_{S82km}}{2} \\ T_{AS82km} &= \frac{3,68 + 3,45}{2} \\ T_{AS82km} &= 3,57 \text{ dias} \end{aligned} \quad (4.15)$$

Com isso, pode-se calcular o comprimento de onda horizontal para a altitude de 82 km pela seguinte equação:

$$\begin{aligned}\lambda_{H82km} &= V_{82km} \cdot T_{AS82km} \\ \lambda_{H82km} &= 16.551,00 \cdot 3,57 \\ \lambda_{H82km} &= 60.320,69 \text{ km}\end{aligned}\tag{4.16}$$

Assim pode-se afirmar que o comprimento de onda horizontal é uma onda que desloca-se de leste-oeste, ou seja, sai de Ascension Island até São João do Cariri onde a mesma foi obtida pela equação 4.16 mostrando um valor de $\lambda_{H82km} = 60.320,69 \text{ km}$.

Agora para a altitude de 91 km entre Ascension Island e São João do Cariri será realizado o mesmo procedimento de cálculo. Primeiramente irá ser calculado a diferença de fase entre Ascension Island e São João do Cariri para a altitude de 91 km, tem-se que:

$$\begin{aligned}F_{AS91km} &= F_{S91km} - F_{A91km} \\ F_{AS91km} &= 8,525 - 7,10 \\ F_{AS91km} &= 1,425 \text{ dia}\end{aligned}\tag{4.17}$$

Como a distância entre Ascension Island e São João do Cariri é $\lambda_{AS} = 2400 \text{ km}$ já vista na equação 4.14 e a diferença de fase que sai de Ascension Island e chega até São João do Cariri a 91 km é $F_{AS91km} = 1,425 \text{ dias}$. Assim pode-se calcular a velocidade de propagação da onda pela seguinte equação matemática:

$$\begin{aligned}V_{91km} &= \frac{D_{AS}}{T_{AS91km}} \\ V_{91km} &= \frac{2400}{1,425} \\ V_{91km} &= 1.684,22 \text{ km/dia}\end{aligned}\tag{4.18}$$

Com a velocidade de propagação já calculada na equação 4.18, calcula-se em seguida a média dos períodos entre Ascension Island até São João do Cariri a 91 km entre o intervalo de 6 a 18 dias, tem-se que:

$$\begin{aligned}T_{AS91km} &= \frac{T_{A91km} + T_{S91km}}{2} \\ T_{AS91km} &= \frac{3,94 + 3,25}{2} \\ T_{AS91km} &= 3,60 \text{ dias}\end{aligned}\tag{4.19}$$

Com isso, pode-se calcular o comprimento de onda horizontal para a altitude de 91 km pela seguinte equação:

$$\begin{aligned}
\lambda_{H_{91km}} &= V_{91km} \cdot T_{AS_{91km}} \\
\lambda_{H_{91km}} &= 1.684, 22 \cdot 3, 60 \\
\lambda_{H_{91km}} &= 6.063, 20 \text{ km}
\end{aligned} \tag{4.20}$$

Assim pode-se afirmar que o comprimento de onda horizontal é uma onda que desloca-se de leste-oeste, ou seja, sai de Ascension Island até São João do Cariri onde a mesma foi obtida pela equação 4.20 mostrando um valor de $\lambda_{H_{91km}} = 6.063, 20 \text{ km}$.

4.11 Discursão sobre as oscilações de 3-4 dias no vento meridional

De acordo com as oscilações entre 3-4 dias observadas através do periodograma do Lomb-Scargle para o mês de dezembro de 2005 de 6 a 18 dias, a energia espectral detectada foi para a componente meridional para Ascension Island nas altitudes de 82 e 91 km, sendo que sua maior intensidade e para a altitude de 82 km. Já para São João do Cariri foram detectadas nas altitudes de 82, 85, 88 e 91 km, onde possui uma intensidade maior na altitude de 82 km da mesmo forma que foi observado em Ascension Island.

De acordo com os cálculos realizados para as altitudes de 82 e 91 km, observa-se uma grande discrepância nos valores obtidos. Para Ascension Island foram idetificadas ondas com períodos entre 3-4 dias com comprimento de onda vertical $\lambda_{V1} = 17 - 19 \text{ km}$. Já para São João do Cariri foram idetificadas ondas com períodos entre 3-4 dias com comprimento de onda vertical $\lambda_{V2} = 51 - 53 \text{ km}$.

Além do comprimento de onda, foram realizados cálculos da velocidade de propagação dessa onda como também o comprimento de onda horizontal entre Ascension Island e São João do Cariri. Assim para a altitude de 82 km os resultados obtidos foram para a velocidade de propagação $V_{82km} = 16.551, 00 \text{ km/dia}$ ou $V_{82km} = 191, 57 \text{ m/s}$ e comprimento de onda horizontal $\lambda_{H_{82km}} = 60.320, 69 \text{ km}$. Já para a altitude de 91 km os resultados obtidos foram para a velocidade de propagação $V_{91km} = 1.684, 22 \text{ km/dia}$ ou $V_{91km} = 19, 5 \text{ m/s}$ e comprimento de onda horizontal $\lambda_{H_{91km}} = 6.063, 20 \text{ km}$.

[YOUNGER, 2006] investigou ventos médios, marés e ondas de baixa frequência na região MLT sobre Ascension Island (7.9°S; 14.3°O) entre outubro de 2001 e outubro de 2002. Assim, suas observações detectaram assinaturas de marés de 8, 12 e 24 horas, ondas de 2 dias e ondas de baixa frequência correspondentes a períodos de 5 e 6,5 dias. Com isso, ondas com períodos de 3 dias associados a ondas ultra-rápidas de Kelvin foram também observadas, mostrando uma equipartição aproximada entre as componentes zonal e meridional. Foi realizado uma investigação mais detalhada utilizando wavelet e nela pode-se observar que as ondas com períodos próximos a 3 dias as amplitudes zonais são maiores do que as amplitudes meridionais, sugerindo que essas ondas observadas sobre Asencion Island sejam as ultra-rápidas de Kelvin mas apenas em rajadas muito curtas. Com a investigação examinada, a amplitude da onda aumentou

com a altitude chegando aproximadamente a 30 ms^{-1} em altitudes de aproximadamente 97 km, o comprimento de onda vertical chegando a 47 km, podendo ser interpretada como uma onda ultra-rápida de Kelvin, mas como ocorre ondas infrequentes sobre Ascension Island sugere-se que nesses períodos próximos a 3 dias as ondas observadas sejam ondas de inércia-gravidade ou ondas mistas de Rossby-gravidade.

Segundo [YOUNGER, 2006] devido as amplitudes serem bastantes infrequentes sobre a Ascension Island sugere-se que a presença das ondas ultr-rápidas de Kelvin sejam apenas em momentos específicos. Utilizando o filtro passa banda para a componente zonal e componente meridional do vento do dia 1º de julho a 16 de agosto de 2002 para as altitudes de 81 km ,90 km e 97 km observou-se oscilações com periodos entre 2,5 e 3,75 dias.

[YOUNGER, 2006] observou que no período de 3,3 dias entre os dias 12 e 31 de julho de 2002 os perfis de amplitude e fase foram calculados através do método dos mínimos quadrados para ajustar a onda senoidal, observou-se que para a componente zonal para as altitude entre 81 km e 97 km a amplitude aumenta com a elevação da altitude, a fase diminui com elevação da altitude e o comprimento de onda vertical correspondente a $47 \pm 4 \text{ km}$ indicando uma onda ascensente. Para observar se a onda é realmente uma ultra-rápida de Kelvin, foi realizado uma observação para altitude de 97 km devido as oscilações para componente meridional serem desprezíveis, sendo realizado a relação de dispersão das ondas de Kelvin para o vento zonal. Assim, foram encontrados valores correspondentes a uma onda ultra-rápida de Kelvin, com comprimento de onda vertical $\sim 47 \text{ km}$, comprimento de onda zonal de $\sim 43,300 \pm 5,400 \text{ km}$ sendo muito próximo a uma circunferência de 39,640 km do círculo de latitude de 8°S .

De acordo com as análises realizadas por [YOUNGER, 2006] em Ascension Island, o comportamento da componente zonal para onda de 3 dias pode ser comparado com a componente meridional devido essa igualdade aproximada entre as componentes zonal e meridional. Para explicar essa equipartição aproximada de variância dessas ondas, o fato que pode ser consideradas como ondas mistas de Rossby-gravidade ou ondas de inércia-gravidade ao longo do período. As ondas de inércia-gravidade assumem um tipo de comportamento com períodos bem próximo a 3 dias e amplitude com variância zonal e meridional aproximadamente iguais, e esse tipo de comportamento foi observado em Ascension Island com períodos de 3,4 dias.

Segundo [KOVALAM et al., 1999]; [TSUDA et al., 2002] e [YOSHIDA et al., 1999] essas ondas foram interpretadas como ondas ultra-rápidas de Kelvin por obterem valores de amplitudes entre $\sim 10 - 30 \text{ ms}^{-1}$ e com períodos bem próximos a 3 dias. [RIGGIN et al., 1997] calcularam os comprimentos de onda verticais das ondas ultra-rápidas de Kelvin e obteve valores entre 87 - 116 km e concluíram que esses comprimentos de onda verticais são características das ondas ultra-rápidas de Kelvin do tipo onda zonal número 1. [KOVALAM et al., 1999] utilizou dados de Pontianak e Christmas Island para calcular os comprimentos de onda verticais e obteve valores entre 53 - 80 km, como também calculou a diferença de fase entre essas localidades e obtendo novamente valores característicos de uma onda ultra-rápida de Kelvin do tipo onda zonal número 1.

De acordo com as observações realizadas por [KOVALAM et al., 1999]; [TSUDA et al., 2002] e [RIGGIN et al., 1997] todos observaram um aumento na amplitude na componente zonal para a componente meridional com espectros de energia bem próximo ao período de 3 dias. Assim, com as observações realizadas as amplitudes na componente meridional apresentam oscilações com uma variabilidade interanual entre os períodos de 3 a 3,8 dias.

Realizando uma comparação com as informações obtidas de outros trabalhos citados, percebe-se que uma perturbação diferente de zero para componente meridional ocorre, com oscilações em períodos próximos a 3,5 dias e com o aumento da amplitude ao diminuir a altitude. De fato existe duas observações interessantes a serem analisadas. A primeira é que de fato ocorreu oscilações na componente meridional, porém em minhas observações realizadas não ocorreram oscilações na componente zonal, mas em outros trabalhos realizados foram detectadas a presença de ondas ultra-rápidas de Kelvin. A segunda observação a ser realizada é o fato de que a amplitude na componente meridional ela tende a aumentar com a diminuição da altitude, porém em minhas observações a amplitude em Ascension Island sofreu uma diminuição em sua amplitude nas altitudes de 82 km a 91 km, já para São João do Cariri ela sofreu um aumento em sua amplitude nas altitudes de 88 km a 91 km, porém para as altitudes de 82 km a 85 km sofreu novamente uma diminuição em sua amplitude.

Devido as observações realizadas na componente meridional com outros trabalhos aqui citados, essas oscilações decorrentes de fato não possuem características que podem ser consideradas como ondas de inércia-gravidade ou ondas de Rossby-gravidade. Em outros trabalhos será realizado uma pesquisa sobre esses tipos de oscilações decorrentes em Ascension Island e São João do Cariri em diferentes anos do mês de dezembro para a componente meridional, analisando se esse comportamento é de fato característico do mês de dezembro, como também em qual categoria de onda planetária se enquadram.

5 Conclusões

De acordo com os dados de ventos obtidos pelo Radar SKiYMET, nas localidades de Ascension Island, São João do Cariri e Costa Rica, pode-se observar que com a análise realizada, existem oscilações de ondas para um período de aproximadamente 3-4 dias para o vento meridional, o mesmo não obteve sucesso em Costa Rica.

Com isso, a objetivação primária deste trabalho foi encontrar as amplitudes e fases dessas oscilações em Ascension Island e São João do Cariri, para que em seguida, pudesse realizar os cálculos do comprimento de onda vertical, a velocidade de propagação e o comprimento de onda horizontal. Mas para se chegar aos respectivos resultados, ferramentas computacionais foram utilizadas para a obtenção desses resultados.

Através do periodograma do Lomb-Scargle, a técnica foi utilizada para localizar oscilações para o vento zonal e meridional para as 3 (três) localidades, mas só foram detectadas as oscilações para o vento meridional em Ascension Island e São João do Cariri para um período entre 3-4 dias. Assim, os valores das amplitudes e fases da onda para cada altitude foram encontradas através da equação da função de onda 4.1. Logo em seguida, foram realizados a construção dos gráficos de amplitude e fase, para caracterizar e confirmar que a onda realmente é ascendente tanto para a localidade de Ascension Island como também para a localidade de São João do Cariri.

Com todos os parâmetros observados pelos programas utilizados, chega-se aos cálculos e aos seus respectivos resultados, sendo eles: Comprimento de onda vertical, velocidade de propagação da onda e o comprimento de onda horizontal, tendo objetividade final deste trabalho de dissertação realizar uma comparação com estudos já realizados para a caracterização da onda. Assim, pode-se concluir que as ondas de aproximadamente 3-4 que apareceram em Ascension Island e São João do Cariri não são assinaturas de ondas ultra-rápidas de Kelvin, devido a mesma ser um fenômeno de característica do vento zonal e não do meridional. Mas o surgimento desses espectros no vento meridional mostra que de fato é algum que conseqüentemente já foi mostrado nos estudos realizados por [YOUNGER, 2006] e outros, onde ele relata o surgimento dessas ondas em diferentes meses do ano a quais foram analisadas, essas oscilações aparecem com amplitudes com um tipo de comportamento relativamente iguais para o vento zonal e para o vento meridional. Conseqüentemente essas ondas identificadas não são ondas ultra-rápidas de Kelvin apesar de obterem períodos bem próximos, provavelmente ocorreu uma perturbação no vento mesosférico onde apareceu em Ascension Island e São João do Cariri e não apareceu em Costa Rica. Pela característica dessa onda pode ser levantado uma hipótese que essas ondas podem ser outros tipos de ondas, como ondas de inércia-gravidade ou até mesmo ondas de Rossby. [LIEBERMAN, 2003]. Porém em minha análise houve discrepância para de fato poder realmente afirmar que essas ondas são de inércia-gravidade ou de Rossby-gravidade, já que suas características não coincidem com as observações realizadas.

Apesar de não afirmar de forma mais concreta a respeito dessas ondas de aproximadamente 3-4 dias para o vento meridional e qual tipo de onda realmente se trata, o que pode-se afirmar é que esse comportamento não é característica de uma onda ultra-rápida de Kelvin. Em trabalhos futuros busco dar continuidade e mais ênfase em análises para o mesmo vento meridional nas localidades de Ascension Island e São João do Cariri para diferentes anos do mês de dezembro, observando se esse mesmo comportamento de ondas com o período de aproximadamente 3-4 dias voltam a surgirem de forma frequente, como também analisar de forma mais concreta qual tipo de ondas possuem esse comportamento.

Referências

- ALVES, E. *Identificação de Ondas Atmosféricas Ultra-Rápidas de Kelvin nos Ventos Meteóricos Sobre São João do Cariri-PB (7, 4°S; 36, 5°O)*. Tese (Doutorado) — Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Universidade Federal de Campina . . . , 2007. Citado 5 vezes nas páginas 30, 31, 32, 33 e 34.
- ANDRIOLI, V. F. Variância e fluxo de momento devidos às ondas de gravidade na região mlt. São José dos Campos (INPE), 2012. Citado na página 32.
- ARANHA, S. L. Estudo de ondas planetárias na ionosfera em baixas latitudes e região equatorial. *Universidade do Vale do Paraíba (Dissertação de Mestrado)*, São José dos Campos, 2006. Citado 4 vezes nas páginas 30, 31, 32 e 33.
- ARAÚJO, L. R. d. et al. Sazonalidade de ondas planetárias nos ventos meteóricos observados em são joão do cariri-pb e em cachoeira paulista-sp. Universidade Estadual da Paraíba, 2012. Citado na página 33.
- ATAÍDE, J. S. P. d. et al. Caracterização do movimento vertical de ondas de gravidade através de dados de radar meteórico e imageador de aeroluminescência. Universidade Federal de Campina Grande, 2007. Citado 3 vezes nas páginas 29, 31 e 32.
- CRAIG, R. et al. Simultaneous observations of the quasi 2-day wave in the northern and southern hemispheres. *Journal of atmospheric and terrestrial physics*, Elsevier, v. 45, n. 8-9, p. 539–541, 1983. Citado na página 33.
- FIDELIS, J. B. S. et al. Identificação de assinaturas de ondas planetárias na região d da ionosfera através de dados de vlf. Universidade Estadual da Paraíba, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 32, 33, 35 e 36.
- FORBES, Y. I. P. M. E. H. S. M. F. V. A. H. M. C. E. M. J. M. et al. Quasi 16-day oscillation in the mesosphere and lower thermosphere. *Journal of Geophysical Research*, American Geophysical Union, v. 100, 1995. Citado 3 vezes nas páginas 27, 33 e 36.
- GOMES, F. do E. Efeitos das ondas planetarias na aeroluminescência. São José dos Campos (INPE), 2013. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 37.
- GURUBARAN, R. R. S. S. T. R. S. et al. The mesospheric quasi-2-day wave over tirunelveli (8.7°n). *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Elsevier Science, v. 63, 2001. Citado na página 33.
- HARRIS, T. J.; VINCENT, R. A. The quasi-two-day wave observed in the equatorial middle atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, American Geophysical Union, v. 98, 1993. Citado na página 33.
- HIROOKA, T.; HIROTA, I. Normal mode rossby waves observed in the upper stratosphere. part ii: Second antisymmetric and symmetric modes of zonal wavenumbers 1 and 2. *Journal of the atmospheric sciences*, v. 42, n. 6, p. 536–548, 1985. Citado na página 35.
- HIROTA, I. Equatorial waves in the upper stratosphere and mesosphere in relation to the semiannual oscillation of the zonal wind. *Journal of the Atmospheric Sciences*, American Meteorological Society, v. 35, p. 714–722, 1978. ISSN 0022-4928,1520-0469. Disponível em: <<http://>

[//doi.org/10.1175/1520-0469%281978%29035%3C0714%3AEWITUS%3E2.0.CO%3B2](http://doi.org/10.1175/1520-0469%281978%29035%3C0714%3AEWITUS%3E2.0.CO%3B2)>.

Citado na página 37.

HOCKING, B. V. B. F. W. Real-time determination of meteor-related parameters utilizing modern digital technology. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Elsevier Science, v. 63, p. 155–169, 2001. ISSN 1364-6826. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/s1364-6826%2800%2900138-3>>. Citado na página 41.

HOCKING, Y. L. A. M. C. M. T. T. J. M. W. The 16-day wave in the mesosphere and lower thermosphere: simultaneous observations at saskatoon (52°n, 107°w) and london (43°n, 81°w), canada. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Elsevier Science, v. 64, 2002. Citado na página 36.

JACOBI, C.; SCHMINDER, R.; KÜRSCHNER, D. Planetary wave activity obtained from long-period (2–18 days) variations of mesopause region winds over central europe (52 n, 15 e). *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Elsevier, v. 60, n. 1, p. 81–93, 1998. Citado na página 36.

JIANG, G.-y. et al. The 16-day waves in the mesosphere and lower thermosphere over wuhan (30.6 n, 114.5 e) and adelaide (35 s, 138 e). *Advances in Space Research*, Elsevier, v. 35, n. 11, 2005. Citado na página 36.

KOVALAM, T. N. R. A. V. I. M. R. T. T. S. et al. Longitudinal variations in planetary wave activity in the equatorial mesosphere. *Earth Planets and Space*, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, v. 51, p. 665–674, 1999. ISSN 1343-8832,1880-5981. Disponível em: <<http://doi.org/10.1186/BF03353224>>. Citado 2 vezes nas páginas 70 e 71.

LIEBERMAN, R. S. The 6.5-day wave in the mesosphere and lower thermosphere: Evidence for baroclinic/barotropic instability. *Journal of Geophysical Research*, American Geophysical Union, v. 108, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 73.

LIMA, H. T. E. de O. A. A. M. R. B. P. B. B. C. L. M. et al. 3-4 day kelvin waves observed in the mlt region at 7.4° s, brazil. *Geofísica Internacional*, jan 2008. Citado na página 34.

LIMA, L. et al. The 6.5-day oscillations observed in meteor winds over cachoeira paulista (22.7 s). *Advances in Space Research*, Elsevier, v. 36, n. 11, p. 2212–2217, 2005. Citado na página 35.

LIMA, L. et al. 16-day wave observed in the meteor winds at low latitudes in the southern hemisphere. *Advances in Space Research*, Elsevier, v. 38, n. 11, p. 2615–2620, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 37.

LIMA, L. et al. Quasi-two-day wave observed by meteor radar at 22.7 s. *Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics*, Elsevier, v. 66, n. 6-9, p. 529–537, 2004. Citado na página 33.

LIMA, L. M. Observações de ondas planetárias na região da mesopausa equatorial e de baixas latitudes do hemisfério sul. São José dos Campos (INPE), 2004. Citado na página 33.

LIMA, L. M. et al. Mesospheric 2-day waves observed simultaneously in the equatorial and low latitudes regions of brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, Vol. 25(Supl. 2), 2007. Citado na página 33.

LIU, H.-L. The 6.5-day wave and its seasonal variability in the middle and upper atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, American Geophysical Union, v. 109, 2004. Citado na página 35.

- LUO, Y. et al. The quasi 16-day oscillations in the mesosphere and lower thermosphere at saskatoon (52° n, 107° w), 1980–1996. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Wiley Online Library, v. 105, n. D2, p. 2125–2138, 2000. Citado na página 36.
- MEYER, C. K.; FORBES, J. M. A 6.5-day westward propagating planetary wave: Origin and characteristics. *Journal of Geophysical Research*, American Geophysical Union, v. 102, 11 1997. Citado na página 35.
- MULLER, H.; NELSON, L. A travelling quasi 2-day wave in the meteor region. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, Elsevier, v. 40, n. 6, p. 761–766, 1978. Citado na página 33.
- PAULINO, A. R. da S. *Maré Lunar Observada com radar meteórico em três latitudes no Brasil*. Dissertação (Mestrado) — INPE, São José dos Campos, 2010. Citado 5 vezes nas páginas 40, 41, 42, 43 e 44.
- PLUMB, R.; VINCENT, R.; CRAIG, R. The quasi-two-day wave event of january 1984 and its impact on the mean mesospheric circulation. *Journal of the atmospheric sciences*, v. 44, n. 20, p. 3030–3036, 1987. Citado na página 34.
- RIGGIN, D. M. et al. Radar observations of a 3-day kelvin wave in the equatorial mesosphere. *Journal of Geophysical Research*, American Geophysical Union, v. 102, p. 26141, 1997. ISSN 0148-0227,2156-2202. Disponível em: <<http://doi.org/10.1029/96jd04011>>. Citado 2 vezes nas páginas 70 e 71.
- RIGGIN, R. A. V. H.-L. L. R. S. L. R. G. R. J. M. R. I. C. J. M. M. G. M. D. P. S. J. F. Y. M. A. H. M. C. E. M. D. M. et al. Observations of the 5-day wave in the mesosphere and lower thermosphere. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Elsevier Science, v. 68, 2006. Citado na página 35.
- SALBY, M. L. Rossby normal modes in nonuniform background configurations. part ii. equinox and solstice conditions. *Journal of the Atmospheric Sciences*, American Meteorological Society, v. 38, 09 1981. Citado 3 vezes nas páginas 27, 33 e 34.
- SALBY, M. L. et al. Evidence for equatorial kelvin modes in nimbus-7 lims. *Journal of the atmospheric sciences*, American Meteorological Society, v. 41, n. 2, p. 220–235, 1984. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 37.
- SOUSA, R. B. d. et al. Estudo da onda planetária de 6, 5 dias nos campos de vento e temperatura em 7, 4° se 22, 7° s. Universidade Federal de Campina Grande, 2012. Citado na página 35.
- SRIDHARAN, R. R. S. G. S. Radar observations of the 3.5-day ultra-fast kelvin wave in the low-latitude mesopause region. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Elsevier Science, v. 64, p. 1241–1250, 2002. ISSN 1364-6826. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/s1364-6826%2802%2900072-x>>. Citado na página 34.
- TAKAHASHI, C. W. K. S. F. E. Y. M. S. K. H. et al. Planetary wave induced wind and airglow oscillations in the middle latitude mlt region. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Elsevier Science, v. 98, 6 2013. Citado na página 36.
- TALAAT, E. R. The 6.5-day wave in the tropical stratosphere and mesosphere. *Journal of Geophysical Research*, American Geophysical Union, v. 107, 2002. Citado na página 35.

THAYAPARAN, T. et al. Simultaneous observations of the 2-day wave at london (43 n, 81 w) and saskatoon (52 n, 107 w) near 91 km altitude during the two years of 1993 and 1994. In: SPRINGER. *Annales Geophysicae*. [S.l.], 1997. v. 15, n. 10, p. 1324–1339. Citado na página 33.

TSUDA, I. R. S. Y. F. I. T. N. A. N. S. M. O. S. R. V. T. et al. Long-term variations of atmospheric wave activity in the mesosphere and lower thermosphere region over the equatorial pacific. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Elsevier Science, v. 64, p. 1123–1129, 2002. ISSN 1364-6826. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/s1364-6826%2802%2900063-9>>. Citado 2 vezes nas páginas 70 e 71.

WALLACE, J. M.; KOUSKY, V. Observational evidence of kelvin waves in the tropical stratosphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, American Meteorological Society, v. 25, p. 900–907, 1968. ISSN 0022-4928,1520-0469. Disponível em: <<http://doi.org/10.1175/1520-0469%281968%29025%3C0900%3A0EOKWI%3E2.0.CO%3B2>>. Citado na página 37.

WALTERSCHEID, R. L.; VINCENT, R. A. Tidal generation of the phase-locked 2-day wave in the southern hemisphere summer by wave-wave interactions. *Journal of Geophysical Research*, American Geophysical Union, v. 101, 11 1996. Citado na página 34.

WILLIAMS, C. R.; AVERY, S. K. Analysis of long-period waves using the mesosphere-stratosphere-troposphere radar at poker flat, alaska. *Journal of Geophysical Research*, American Geophysical Union, v. 97, 1992. Citado na página 36.

YOSHIDA, T. N. T. T. A. S. S. et al. Seasonal variations of 3.03.8-day ultra-fast kelvin waves observed with a meteor wind radar and radiosonde in indonesia. *Earth Planets and Space*, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, v. 51, p. 675–684, 1999. ISSN 1343-8832,1880-5981. Disponível em: <<http://doi.org/10.1186/BF03353225>>. Citado 3 vezes nas páginas 34, 37 e 70.

YOUNGER, N. M. P. Waves with period near 3 days in the equatorial mesosphere and lower thermosphere over ascension island. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Elsevier Science, v. 68, p. 369–378, 2006. ISSN 1364-6826. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.jastp.2005.05.008>>. Citado 3 vezes nas páginas 69, 70 e 73.