



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**ESTUDO DAS MARÉS ATMOSFÉRICAS NA ALTA  
ATMOSFERA DO SUL BRASILEIRO**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

**PROCESSO N<sup>o</sup> 118499/2007-6**

**Tiago Domingos dos Santos - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT  
Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica  
LMLA/CRS/CIE/INPE – MCT  
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais  
CRS/CIE/INPE – MCT  
E-mail: [tiagods@lacesm.ufsm.br](mailto:tiagods@lacesm.ufsm.br)**

**Dr. Barclay Robert Clemesha - Orientador  
Divisão de Aeronomia  
DAE/CEA/INPE-MCT  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
INPE - MCT**

**E-mail: [brc@laser.inpe.br](mailto:brc@laser.inpe.br)**

Santa Maria, Junho de 2008.



## **RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO PROGRAMA: PIBIC/INPE - CNPq/MCT**

### **PROJETO**

### **ESTUDO DAS MARÉS ATMOSFÉRICAS NA ALTA ATMOSFERA DO SUL BRASILEIRO**

Relatório elaborado por **Tiago Domingos dos Santos** relatando as  
atividades executadas por:

**PROCESSO Nº 118499/2007-6**

**Tiago Domingos dos Santos** - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT  
E-mail: [tiagods@lacesm.ufsm.br](mailto:tiagods@lacesm.ufsm.br)

**Dr. Barclay Robert Clemesha** – Orientador  
Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE-MCT  
E-mail: [brc@laser.inpe.br](mailto:brc@laser.inpe.br)

**Dr. Nelson Jorge Schuch** - Co-Orientador  
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT  
E-mail: [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)



## DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

**Título do Projeto:**

**ESTUDO DAS MARÉS ATMOSFÉRICAS NA ALTA ATMOSFERA  
DO SUL BRASILEIRO**

**Processo CNPq/MCT:** N° 118499/2007-6

**Bolsista:**

**Tiago Domingos dos Santos**  
Acadêmico do Curso de Física Bacharelado  
Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE/UFSM  
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

**Orientador:**

**Dr. Barclay Robert Clemesha.**  
Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE - MCT  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

**Co-Orientador:**

**Dr. Nelson Jorge Schuch**  
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE-MCT

**Colaboradores:**

- Dr. Paulo Prado Batista  
Pesquisador Titular – DAE/CEA/INPE – MCT
- Engenheiro Fernando Morais Santos  
DAE/CEA/INPE – MCT
- Engenheiro Sinval Domingues  
Centro Espacial de Cachoeira Paulista – INPE/MCT
- Cássio Espindola Antunes  
Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM



**Local de execução do projeto:**

- Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica - CRS/CIE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.
- Trabalho desenvolvido no âmbito da parceria: INPE/MCT – UFSM através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM, em Santa Maria, RS.



**Grupo de Pesquisa**  
**Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br**



**Identificação**

**Dados básicos**

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

**Status do grupo:** **certificado pela instituição**

**Ano de formação:** 1996

**Data da última atualização:** 18/06/2008 15:04

**Líder(es) do grupo:** Nelson Jorge Schuch - [nelson.schuch@pq.cnpq.br](mailto:nelson.schuch@pq.cnpq.br)

Ademar Michels - [michels@ct.ufsm.br](mailto:michels@ct.ufsm.br)

**Área predominante:** Ciências Exatas e da Terra; Geociências

**Instituição:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

**Órgão:** Coordenação de Gestão Científica - CIE

**Unidade:** Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

**Endereço**

**Logradouro:** Caixa Postal 5021

**Bairro:** Camobi

**CEP:** 97110970

**Cidade:** Santa Maria

**UF:** RS

**Telefone:** 33012026

**Fax:** 33012030

**E-mail:** [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

**Home page:** <http://>

**Repercussões dos trabalhos do grupo**

O Grupo de Pesquisa - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS: INTERAÇÃO TERRA-SOL do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, Lat. 29°26'24"S, Long. 53°48'38"W, Alt. 488m, em São Martinho da Serra, RS, criado por Nelson Jorge Schuch em 1996, colabora com pesquisadores da: UFSM (CT-LACESM), INPE (CEA, ETE, CPA), CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ON, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku e National Institute of Polar Research), EUA ((Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (University of Greifswald e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (Australian Government Antarctic Division e University of Tasmania), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO, AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Pequenos Satélites Científicos. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, os mecanismos de geração de energia no Sol, o Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Geoespaço com a Ionosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das intensas correntes induzidas na superfície da Terra. Pesquisas teóricas e observacionais utilizando-se de larga base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, bem como de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Marcelo Barcellos da Rosa, Ademar Michels.



Recursos humanos	
<b>Pesquisadores</b>	<b>Total: 32</b>
<a href="#">Ademar Michels</a>	<a href="#">Jean Carlo Santos</a>
<a href="#">Alan Prestes</a>	<a href="#">Jean Pierre Raulin</a>
<a href="#">Alicia Luisa Clúa de Gonzalez</a>	<a href="#">Joao Paulo Minussi</a>
<a href="#">Alisson Dal Lago</a>	<a href="#">Jose Humberto Andrade Sobral</a>
<a href="#">Antonio Claret Palerosi</a>	<a href="#">Mangalathayil Ali Abdu</a>
<a href="#">Barclay Robert Clemesha</a>	<a href="#">Marcelo Barcellos da Rosa</a>
<a href="#">Clezio Marcos De Nardin</a>	<a href="#">Nalin Babulal Trivedi</a>
<a href="#">Cristiano Max Wrasse</a>	<a href="#">Natanael Rodrigues Gomes</a>
<a href="#">Delano Gobbi</a>	<a href="#">Nelson Jorge Schuch</a>
<a href="#">Eurico Rodrigues de Paula</a>	<a href="#">Odim Mendes Junior</a>
<a href="#">Ezequiel Echer</a>	<a href="#">Osmar Pinto Junior</a>
<a href="#">Fabiano Luis de Sousa</a>	<a href="#">Otavio Santos Cupertino Durão</a>
<a href="#">Fábio Augusto Vargas dos Santos</a>	<a href="#">Petrônio Noronha de Souza</a>
<a href="#">Fernando Luis Guarnieri</a>	<a href="#">Polinaya Muralikrishna</a>
<a href="#">Hisao Takahashi</a>	<a href="#">Severino Luiz Guimaraes Dutra</a>
<a href="#">Ijar Milagre da Fonseca</a>	<a href="#">Walter Demetrio Gonzalez Alarcon</a>
<b>Estudantes</b>	<b>Total: 28</b>
<a href="#">Alan Carlos Klein</a>	<a href="#">Juliano Moro</a>
<a href="#">Antonio Marcos Martins Silveira</a>	<a href="#">Lilian Piecha Moor</a>
<a href="#">Bernardo Henz</a>	<a href="#">Lorenzo Marzari Félix</a>
<a href="#">Carlos Roberto Braga</a>	<a href="#">Lucas Lopes Costa</a>
<a href="#">Cassio Espindola Antunes</a>	<a href="#">Marcos Vinicius Dias Silveira</a>
<a href="#">César Augusto Daroit</a>	<a href="#">Mateus Sabadi Schuh</a>
<a href="#">Cristiano Sarzi Machado</a>	<a href="#">Nikolas Kemmerich</a>
<a href="#">Eduardo Ceretta Dalla Favera</a>	<a href="#">Rafael Lopes Costa</a>
<a href="#">Fabrício Deives Kummer</a>	<a href="#">Samuel Martins da Silva</a>
<a href="#">Fernando de Souza Savian</a>	<a href="#">Silvano Lucas Prochnow</a>
<a href="#">Igor Freitas Fagundes</a>	<a href="#">Tardelli Ronan Coelho Stekel</a>
<a href="#">Jean Carlos Daroit</a>	<a href="#">Tiago Domingos dos Santos</a>
<a href="#">Jose Fernando Thuorst</a>	<a href="#">Tiago Jaskulski</a>
<a href="#">Josemar de Siqueira</a>	<a href="#">Willian Rigon Silva</a>
<b>Técnicos</b>	<b>Total: 5</b>
Anderson Pereira Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica	
Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação	
Koiti Ozaki - Especialização - Analista de Sistemas	
Roben Castagna Lunardi - Graduação - Técnico em Computação	
Vinicius Ceregati Costa - Graduação - \Outra Função	
<b>Linhas de pesquisa</b>	<b>Total: 4</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA</a></li><li>• <a href="#">MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO</a></li><li>• <a href="#">MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL</a></li><li>• <a href="#">NANOSATC-BR</a></li></ul>	
<b>Relações com o setor produtivo</b>	<b>Total: 0</b>



Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	32
Estudante(s)	28
Técnico(s)	5



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



**Linha de Pesquisa**  
**AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA**

**Linha de pesquisa**

**AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA**

**Nome do grupo:** [Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br](#)

**Palavras-chave:** Aeronomia/Aeroluminescência-Fotômetros/Imageadores; Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS; Eletrojato Equatorial; Interações Sol - Terra; Ionosfera - Digissonda - Radares; Mesosfera - Radares - Rastros Meteóricos;

**Pesquisadores:**

[Barclay Robert Clemesha](#)  
[Clezio Marcos De Nardin](#)  
[Cristiano Max Wrasse](#)  
[Delano Gobbi](#)  
[Eurico Rodrigues de Paula](#)  
[Fábio Augusto Vargas dos Santos](#)  
[Hisao Takahashi](#)  
[Jean Pierre Raulin](#)  
[Mangalathayil Ali Abdu](#)  
[Marcelo Barcellos da Rosa](#)  
[Nelson Jorge Schuch](#)  
[Polinaya Muralikrishna](#)

**Estudantes:**

[Antonio Marcos Martins Silveira](#)  
[César Augusto Daroit](#)  
[Cristiano Sarzi Machado](#)  
[Eduardo Ceretta Dalla Favera](#)  
[Juliano Moro](#)  
[Lilian Piecha Moor](#)  
[Mateus Sabadi Schuh](#)  
[Tiago Domingos dos Santos](#)

**Árvore do conhecimento:**

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Aeronomia;  
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Interações Sol - Terra;  
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;

**Setores de aplicação:**

Aeronáutica e espaço



**Objetivo:**

Aeronomia dos fenômenos físicos, químicos e dinâmica da Atmosfera observando com radares, imageadores, fotômetros e aeroluminescência (perfis de ventos) das ondas atmosféricas: planetárias, de gravidade e marés atmosféricas; Pesquisas com radares e digissonda da dinâmica da Troposfera, Estratosfera, Ionosfera e Alta Atmosfera, investigando o acoplamento vertical e transporte de energia do Sistema Atmosfera-Ionosfera na Região Sul Brasileira. Vice-Líder: Marcelo Barcellos da Rosa.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por sempre estar no controle da minha vida, me guiando ao melhor caminho e me dando força nos momentos de fraqueza, tudo que tenho e sou vêm dele.

Ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pelo apoio e aprovação do Projeto de Pesquisa.

Ao Dr. Barclay Robert Clemesha, meu orientador, Pesquisador Titular do DAE/CEA/INPE-MCT, em São José dos Campos, SP, pela magnífica atenção e confiança dispensadas na minha orientação no Projeto de Pesquisa.

Ao Dr. Nelson Jorge Schuch, meu co-orientador, pelas preciosas orientações prestadas, sempre visando meu desenvolvimento acadêmico, profissional e pessoal.

Ao grande amigo e Pesquisador Dr. Marcelo Barcellos da Rosa, pelos valiosos conselhos dados ao bolsista, no campo técnico-científico e pessoal.

E por último, porém não menos importante, o meu agradecimento aos amigos e colegas de Laboratório, Cristiano Sarzi Machado e Mateus Sabadi Schuh, pelo companheirismo e ajuda prestada no dia a dia do Laboratório.



## RESUMO

Desde 2004 está em funcionamento o Radar de Rastros Meteóricos – *VHF All-Sky Interferometric Meteor Radar - SkiMET*, adquirido pelo Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT, como ferramenta de trabalho para o estudo da atmosfera. A instalação do Radar de Rastros Meteóricos, possibilita o estudo da Mesosfera no Sul do Brasil, especialmente o estudo relacionado ao fenômeno de marés atmosféricas, que juntamente com as ondas de gravidade e ondas planetárias apresentam grande relevância na fenomenologia do movimento da mesosfera e baixa termosfera. O SkiYmet é um radar interferométrico que utiliza uma antena, do tipo Yagi de três elementos, para emitir pulsos eletromagnéticos com frequência de 35,24 Mhz, e cinco antenas receptoras do tipo Yagi de dois elementos, dispostas em formato de cruz com espaçamento de  $2\lambda$  e  $2,5\lambda$ . Os pulsos são refletidos na faixa entre 80 e 100 Km de altura quando se chocam com os rastros ionizados deixados por um meteoro ao sofrer atrito com as partículas constituintes da atmosfera quando de sua precipitação. O pulso é refletido em forma de eco, sendo recebido pelas cinco antenas receptoras. Os sinais ecos, amplitude e fase, são registrados em arquivos pelo sistema do Radar. Assim, para cada sinal refletido, ou seja, para cada eco de meteoro, o SkiYMET determina através da correlação entre os sinais das antenas, do atraso do pulso eletromagnético, a altura, azimute e velocidade radial dos ventos, coletando um número suficiente de ecos de meteoros ao longo do dia. Isso permite um entendimento compreensivo do campo de ventos atmosféricos. A distribuição de meteoros na atmosfera se dá em função da altura, sendo máxima em torno de 93 km de altura e caindo até quase zero em 70 e 110 km. Em dias normais o radar faz cerca de 5000 detecções úteis. No caso de chuvas de meteoro, um número maior de detecções é executado. Os dados da rede SkiYMET, juntamente com dados de imageadores, de satélites e de outros instrumentos que medem ventos, permitem a elaboração do mapeamento climatológico da região mesosférica da atmosfera sobre o Brasil.



## SUMÁRIO

TABELA.....	14
Tabela. 1: Valores dos parâmetros típicos de meteoróides, tal como massa (m), densidade ( $\rho$ ), raio (R) e magnitude absoluta visual ( $M_v$ ), em função das técnicas de observação de meteoros.....	14
CAPÍTULO 1.....	15
INTRODUÇÃO.....	15
CAPÍTULO 2.....	17
A ATMOSFERA TERRESTRE E SUA DINÂMICA.....	17
2.1 – DINÂMICA ATMOSFÉRICA.....	19
2.1.1 – MARÉS ATMOSFÉRICAS.....	20
2.1.1.1 - MODELOS NUMÉRICOS.....	21
2.1.1.1 – O MODELO GSWM.....	22
CAPÍTULO 3.....	23
TÉCNICAS DE MENSURAÇÃO DE VENTOS E TÉCNICAS OBSERVACIONAIS.....	23
3.1 – TÉCNICAS OBSERVACIONAIS.....	23
3.2 - TÉCNICAS OBSERVACIONAIS.....	24
3.2.1 - OBSERVAÇÃO VISUAL.....	24
3.2.2 – FOTOGRAFIA.....	25
3.2.3 – TELEVISÃO.....	25
3.2.4 – ESPECTROSCOPIA.....	25
3.2.5 – A TÉCNICA DO RADAR.....	26
CAPÍTULO 4.....	32
O RADAR SKIYMET.....	32
4.1 – O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO RADAR.....	32
4.2 – O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO RADAR.....	34
4.3 – DESCRIÇÕES DOS EQUIPAMENTOS.....	36
4.2.1 – SISTEMAS DE ANTENAS.....	37
4.2.2 – SISTEMA TRANSMISSOR.....	37
4.2.3 – SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS.....	38
4.2.4 – CARACTERÍSTICAS GERAIS.....	38
CAPÍTULO 5.....	40
PROGRAMAS UTILIZADOS NA ANÁLISE DE DADOS DO RADAR.....	40
SKIYMET.....	40
5.1 – INTRODUÇÃO.....	40
5.2 PROGRAMAS DO SISTEMA SKIYMET.....	40
5.3 - PROGRAMA “Winds Analysis”.....	41
5.4 - PROGRAMAS “Sequencial Meteor” E “Regress”.....	42
5.5 - PROGRAMAS “Select Radiants”.....	44
5.6 - PROGRAMAS “Wind Graph”.....	46
5.7 - PROGRAMAS “Height Distribution”.....	47
CAPÍTULO 6.....	49
CONCLUSÃO.....	49



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51
ANEXO .....	53

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Atmosfera distribuída em camadas. ....	17
Figura 2: Representação do radar bi-estático ( <i>forward-scatter</i> ). ....	28
Figura 3: Representação do radar Mono-estático ( <i>forward-scatter</i> ).....	28
Figura 4: Geometria da Reflexão - Funcionamento de um radar com uma antena transmissora ( $T_x$ ) e um par de antenas receptoras ( $R_{x1}$ ) e ( $R_{x2}$ ), separadas por uma distância $d$ . O alvo está a uma altura $z$ em relação ao solo e distância radial $R_r$ e ângulo zenital $\beta$ , em relação às antenas receptoras.....	29
Figura 5: Coordenadas da Coluna de Ionização do Meteoro.....	31
Figura 6: Princípio do Funcionamento do Radar SKiYMET. ....	34
Figura 7: Arranjo Típico das Antenas do SKiYMET. As dimensões mostradas são para frequência de operação de 35.24 MHz. ....	36
Figura 8: Diagrama de Bloco do <i>Hardware</i> do Radar Meteorológico – SKiYMET de Santa Maria, RS. ....	37
Figura 9: Sistema Transmissor (1), Sistema de Controle e Aquisição de Dados (2) e Sistema Receptor (3) do Radar Meteorológico - SKiYMET, do CRSPE/INPE, instalado no “Campus” da UFSM, em Santa Maria, RS.....	39
Figura 10: Sistema de Antenas: Transmissora (1) e Receptora (2) do Radar Meteorológico -SKiYMET, do CRSPE/INPE, instalado no “Campus” da UFSM, Santa Maria, RS.....	39
Figura 11: Programa “ <i>Winds Analysis</i> ”, capaz de efetuar cálculos com grandes quantidades de dados, calcula as componentes do vento em diversas faixas de altura em diversos intervalos de tempo e altura pré definidos pelo usuário. ....	42
Figura 12: Programa “ <i>Seqüencial Meteor</i> ”, desenvolvido pelo Dr. B. R. Clemesha. Este programa é capaz de calcular as componentes zonal e meridional dos ventos e também outros parâmetros.....	43
Figura 13: Programa “ <i>Regress</i> ” <i>pode</i> ser utilizado para determinação dos ventos a partir dos dados crus e para separar componentes diurnos e semidiurno das marés. ....	44



Figura 14: Interface do Programa “*Select Radiants*” desenvolvido pelo Dr. B. R. Clemesha que fornece as coordenadas equatoriais celestes (radiante) da fonte de meteoros..... 46

Figura 15: Interface do Programa “*Wind Graph*” , que plota os gráficos das componentes zonal e meridional dos ventos para diferentes faixas de altura. .... 47

Figura 16: Interface do Programa “*Height Distribution*” , que plota o gráfico da distribuição do número de meteoros que ocorrem na Atmosfera em função da altura. .... 48

## TABELA

Tabela. 1: Valores dos parâmetros típicos de meteoróides, tal como massa ( $m$ ), densidade ( $\rho$ ), raio ( $R$ ) e magnitude absoluta visual ( $M_v$ ), em função das técnicas de observação de meteoros.....27



## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

No presente relatório é apresentado as atividades desenvolvidas no período de Novembro de 2007 a Junho de 2008 do aluno de iniciação científica, **Tiago Domingos dos Santos**, no projeto “**Estudo das Marés Atmosféricas na Alta Atmosfera do Sul Brasileiro**”. Dando prosseguimento às atividades em andamento e em substituição ao aluno de iniciação científica, **Sandro Fettermann Bertagnoli**, que por motivos pessoais solicitou desligamento do Projeto.

Nesse período, fez-se necessário ao aluno, adquirir não somente conhecimentos físicos da alta e media atmosfera, mas também conhecimentos técnico-teóricos, do Radar de Rastros Meteoricos – All-Sky Interferometric Radar Meteor – SKiYMET . Esse instrumento de medida, Radar SKiYMET, adquirido pelo Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT, como ferramenta de trabalho para o estudo da atmosfera, mediante a Ação 1275, do PNAE1998 – 2007, PPA2000 – 2003. Sendo instalado temporariamente em área do “campus” da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, no âmbito da Parceria INPE/MCT – UFSM, equipamento essencial ao Projeto de Pesquisa desenvolvido pelo bolsista de iniciação científica.

Portanto no Capítulo (2), será apresentada, respectivamente, uma revisão teórica sobre a Atmosfera Terrestre e sua dinâmica. Apresentando de forma sucinta os principais fenômenos físicos que ocorrem na mesma e que fazem parte dos objetivos do Projeto.

No capítulo (3) são abordadas técnicas utilizadas em observações de meteoros e técnicas experimentais de mensuração de ventos em torno de 80 a 100 km, como o Radar de Rastros Meteoricos, Radar MF (medium frequency) e técnicas baseadas em foguetes. E no capítulo (4) é abordada, e descrita especificamente a técnica utilizada pelo Radar de Rastros Meteoricos – SKiYMET para detecção de meteoros e medidas de Ventos Médios. Enfim, o estudo da Mesosfera no Sul do Brasil.



No capítulo (5) será apresentado e descrito os programas comumente utilizados na análise dos dados do Radar de Rastros Meteóricos – SKiYMET, com os quais o aluno trabalhou.

A conclusão do trabalho, com uma análise geral dos resultados obtidos pelo Bolsista durante a vigência da Bolsa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, é apresentada no Capítulo (6).

## CAPÍTULO 2

### A ATMOSFERA TERRESTRE E SUA DINÂMICA

A Atmosfera Terrestre é mantida quase em equilíbrio estático sobre o planeta pela força gravitacional, no entanto, pode sustentar um grande numero de movimentos de natureza oscilatória. Podemos assim considerar a atmosfera um sistema oscilante cuja densidade, temperatura e constituintes atmosféricos variam com a altura.

O fato de os gases atmosféricos variarem de acordo com a altura, tornando-se mais rarefeitos a medida que esta aumenta, aliado ao fato de estarem sob ação direta do fluxo de energia solar ultravioleta produz a estratificação da atmosfera terrestre em camadas distintas, cada uma com características físicas e químicas próprias. A figura 1 ilustra esta estratificação vertical da atmosfera em função da temperatura.

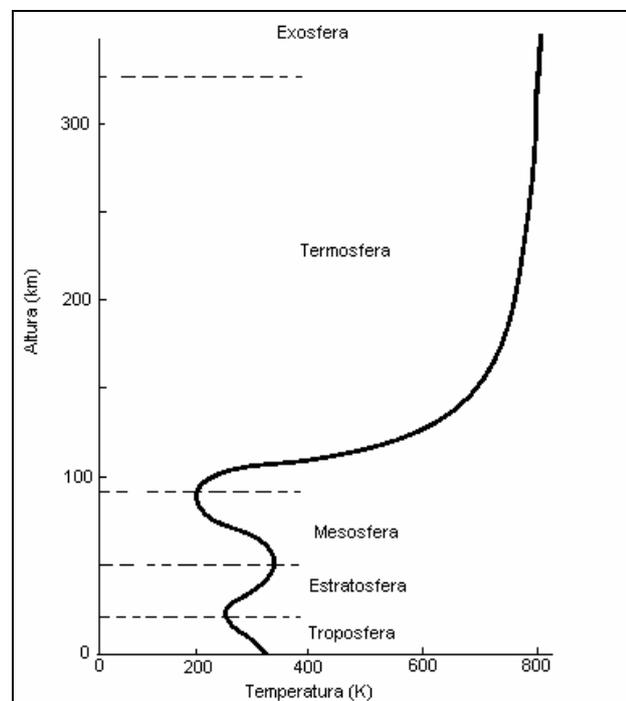


Figura 1: Atmosfera distribuída em camadas.

Fonte: Adaptada Kato

A camada mais próxima a terra é a **troposfera** que se encontra entre o solo e aproximadamente 15 km de altitude nessa camada o vapor da água absorve a radiação infravermelha fazendo com que a temperatura diminua com a altitude.

De 15 a 50Km, a temperatura aumenta com a altura, devido a radiação solar ultravioleta absorvida pela camada de ozônio sendo esta camada chamada de **Estratosfera**.

Na próxima camada chamada de **Mesosfera**, localizada na faixa de 50 a 90 km de altitude, a temperatura volta a diminuir atingindo seu valor mais baixo em torno de 90 km.

A camada seguinte é chamada de **termosfera**, situada na faixa de 90 a 400km de altitude, nesta a altura volta a aumentar. A próxima e mais externa camada à terra, é a **Exosfera**, situada acima de 400km de altitude. Nesta camada a densidade é extremamente baixa e a temperatura aumenta até um valor assintótico constante, conhecido como **temperatura exosférica**. Os limites das camadas, as chamadas pausas, estão localizados nos pontos de inflexão em que o **gradiente térmico é nulo**.

Portanto, as camadas mais externas da Atmosfera, a Mesosfera, Termosfera, e a Exosfera, diferem significativamente em sua composição, das regiões mais baixas, e contêm também uma proporção significativa de átomos e moléculas de gás ionizado (eletricamente carregado), que constituem a **Ionosfera**.

A **Ionosfera** é uma região onde a densidade dos íons e elétrons, é alta ao ponto de afetar a propagação de ondas eletromagnéticas. Seus limites não são bem definidos, no entanto, estima-se ela está situada aproximadamente entre 60 e 100Km de altura. A **Magnetosfera**, situada acima da Ionosfera, é a região onde o campo magnético terrestre controla o transporte de íons e elétrons.

Sabe-se que Atmosfera Terrestre é uma mistura de gases, dos quais o nitrogênio é o mais abundante. Até uma altura de aproximadamente 100 km, a mistura dos gases é praticamente constante, ou seja, a proporção de mistura de certo gás se mantém em relação a cada altura. Esta porção inferior da Atmosfera é a chamada **Homosfera**, na qual predomina a difusão turbulenta. A 100 km tem-se uma região de transição, a **Turbopausa**, acima da qual predomina a difusão molecular.

## 2.1 – DINÂMICA ATMOSFÉRICA

Além deste aquecimento diferencial em altura, a atmosfera está sujeita aos movimentos de rotação e translação. Estes produzem acúmulo de energia em pontos diferentes da atmosfera, gerando assim, oscilações complexas na atmosfera.

As principais oscilações observadas são especialmente o fenômeno de marés atmosféricas, que juntamente com as ondas de gravidade e ondas planetárias apresentam grande relevância na fenomenologia do movimento da mesosfera e baixa termosfera.

**Ondas de Gravidade** - Dada à estratificação da atmosfera, quando uma parcela de fluido é deslocada verticalmente, atua sobre a mesma uma força restauradora devida ao desbalanço entre a força do gradiente de pressão e a força de gravidade. As oscilações resultantes nos campos atmosféricos são chamadas de ondas de fluabilidade ou **ondas de gravidade** (Lourivaldo, 2004).

Sendo assim, são perturbações ondulatórias transversas que se propagam horizontalmente e verticalmente na atmosfera, tendo períodos característicos desde minutos até horas e escala espacial desde alguns quilômetros até milhares de quilômetros. Elas crescem exponencialmente em amplitude com a altura, devido ao decréscimo exponencial da densidade com a altura, até alcançarem um nível crítico onde elas quebram, depositando assim energia e momentum.

**Ondas Planetárias** - As **ondas de escala planetária** são de grande estrutura horizontal, da ordem do diâmetro terrestre, com períodos maiores do que um dia. A variação do efeito da força de Coriolis com a latitude age sobre a atmosfera como uma força externa, tendo como resultado ondas horizontalmente transversais com comprimentos de onda horizontais de milhares de quilômetros (Lourivaldo, 2004).

Processos convectivos, interações não lineares entre marés atmosféricas e ondas de gravidade ou modos diferentes de ondas de marés, variações isoladas na topografia, e aquecimento diferencial entre continentes e oceanos têm sido apontadas como fontes geradoras das ondas planetárias (Beer, 1974).

**Ventos Médios** - são oscilações de longos períodos, quase estacionários, e que compõe a atmosfera de fundo. Estes ventos surgem do principalmente devido ao gradiente latitudinal de insolação.

### **2.1.1 – MARÉS ATMOSFÉRICAS**

São oscilações com períodos e subperíodos do dia solar e lunar. Sua origem está associada à absorção de energia solar direta, principalmente pelo vapor d'água na troposfera que absorve os raios infravermelhos do sol e a camada de ozônio na estratosfera que absorve os raios ultravioletas.

O estudo das marés permite o mapeamento climatológico da atmosfera. Este mapeamento é feito por modelos de circulação geral, onde são previstas as características particulares de cada região atmosférica. Particularmente a região entre 80 e 100 km de altura possui um fluxo muito grande de partículas meteóricas que se movimentam sob a ação dos ventos neutros. A observação destes ventos é feita principalmente por radares meteóricos, os quais determinam os parâmetros atmosféricos, como temperatura, velocidade de vento, entre outros, a partir do movimento dos traços ionizados dos meteoros.

O nome, Marés Atmosféricas, vem da analogia com as marés marítimas. A energia absorvida diretamente pela atmosfera pelo vapor d'água e pelo ozônio se constitui em uma parcela muito reduzida da radiação total absorvida. Porém, é este tipo de energia que gera as marés atmosféricas. Foram estudadas com o intuito, inicialmente, de saber se a atração gravitacional causada pela lua e pelo sol sobre os oceanos, seria válida quando aplicada à atmosfera. Mais tarde, este objetivo foi direcionado a entender o comportamento atmosférico.

Este estudo da dinâmica da atmosfera é tremendamente importante, uma vez que as marés têm um papel preponderante no transporte de momento e energia para as camadas mais altas da atmosferas e também explicar efeitos em diversos campos da geofísica, como: campos elétricos ionosféricos, assimetrias latitudinais na anomalia na região F, geração de ventos médios, variações diárias no campo magnético e aquecimento da termosfera, entre outros.

Newton foi o primeiro a propor que as subidas e decidas do nível da água do

mar eram causadas pela atuação das forças gravitacionais do sol e da lua, combinadas com a rotação da terra, que gera uma força centrífuga. Newton também propôs a possibilidade da existência de marés atmosféricas, que dizia ser muito fraca pra ser detectada através de experimento.

O estudo destas marés foi retomado novamente no séc. XVII, por Laplace, que a inclui no seu Tratado sobre a Mecânica Celeste de 1799 (Chapman e Lindzen, 1970). Onde ele defendia que o fenômeno de subidas e decidas das marés oceânicas se deviam à presença de um corpo forçante que geraria a atração gravitacional. Esta teoria mostrou-se, posteriormente, mais apropriada para explicar as marés na atmosfera do que no oceano, devido às limitações das condições de contorno do mar (Chapman e Lindzen, 1970).

Em 1825 o próprio Laplace, ao estudar medidas de pressão de varias estações, conclui que a origem destas marés era térmica, devido ao seu período corresponder ao meio dia solar. Porém um problema nesta teoria é que segundo o físico francês a maré atmosférica possuía um ciclo semidiurno, enquanto seu forçante, o aquecimento solar possui um ciclo diurno. Lord Kelvin elaborou sua a Teoria da ressonância, na que ele propôs que deveriam existir modos livres de oscilação com períodos próximos de 12 horas.

Esta suposição deriva do fato de que os períodos de ressonância são dependentes da estrutura térmica da atmosfera, sendo esta baseada em perfis pouco precisos na época, que permitia a existência de modos de ressonância próximos de 12 horas. Com a utilização de foguetes nos estudos atmosféricos, após a Segunda Guerra Mundial, pôde-se determinar perfis atmosféricos mais realistas e descobriu-se que não havia modos ressonantes próximos há 12 horas. (Tokumoto, 2002).

#### **2.1.1.1 - MODELOS NUMÉRICOS**

A Teoria Clássica das Marés foi estabelecida considerando-se que a Atmosfera pudesse estar repartida em modos de oscilação horizontais, cada qual com sua estrutura vertical associada.

A partir de 1970, os estudos teóricos de marés atmosféricas incluíram muitos processos físicos que não foram considerados na Teoria Clássica, como a difusão turbulenta e molecular do calor e momento, resfriamento newtoniano, forças eletrodinâmicas, variações na composição, interações com Ventos Médios e gradientes meridionais de temperatura (PRETTO, 2007).

### **2.1.1.1 – O MODELO GSWM**

O Modelo GSWM - Global -Scale - Wave –Model, é descrito por Hagan et al. (1995, 1999, 2000). Constitui-se em um modelo numérico, bidimensional, linearizado para o cálculo das componentes horizontais, zonal e meridional e vertical do vento entre o solo e a Termosfera.

O Modelo GSWM utiliza as previsões de Marés e Ondas Planetárias como soluções para as equações linearizadas de Navier-Stokes. As Marés e Ondas Planetárias entram como perturbações, com períodos e números de ondas zonais característicos, sobre os Ventos Médios.

Considera que as Marés Atmosféricas são termicamente forçadas pela absorção do  $H_2O$ , (infravermelho), na Troposfera,  $O_3$ , (no ultravioleta), principalmente na Estratosfera  $O_2$  e  $N_2$ , (bandas de Schumann- Runge), na Baixa Termosfera e  $O$ , na Atmosfera Superior, (ultravioleta extremo), na Alta Termosfera (Tokumoto, 2002).

## CAPÍTULO 3

### TÉCNICAS DE MENSURAÇÃO DE VENTOS E TÉCNICAS OBSERVACIONAIS

#### 3.1 – TÉCNICAS OBSERVACIONAIS

Diversas técnicas estão sendo empregadas para a observação da dinâmica da atmosfera, em especial o movimento das camadas de ar. Estas técnicas têm a finalidade de medir parâmetros de fenômenos que ocorrem na atmosfera, tais como, ventos e ondas.

Em particular podemos citar as camadas a partir da Mesosfera, a ionosfera, por exemplo, cujas camadas ionizadas, têm a propriedade de poder refletir sinais de radar, além disso, entre 70 km e 110 km de altura existe a presença de meteoróides, que se desintegram no ar durante sua trajetória dando origem então a longos traços ionizados que são captados por radares meteorológicos.

Existem algumas técnicas baseadas em foguetes podemos citar a **Técnica de Partículas Cadentes**, essa técnica consiste em lançar um foguete com um grande número de dipolos refletores ( $\sim 10^6$ ) entre as alturas de 60 km a 100 km, depois se rastreia os dipolos refletores por radar, esta técnica permite a obtenção dos perfis verticais e dos ventos horizontais.

Temos também a **Técnica de Esferas Cadentes**, que consiste num foguete ser lançado portando esferas que depois de serem ejetadas do foguete se tornam balões inflados, que posteriormente são rastreados por radares de alta precisão a fim de determinar os ventos. Essa técnica se constitui no método mais usado atualmente para medição de *in-situ*.

Existe também a **Técnica das Granadas Acústicas** que consiste no lançamento de cargas explosivas por foguetes, em alturas previamente determinadas. Através de microfones sensíveis na superfície da Terra são registrados os tempos de chegada dos sons entre as detonações, que associados à posição das explosões podem

determinar a temperatura e a velocidade média do vento na região entre duas explosões consecutivas.

As técnicas baseadas em radiofrequência utilizam-se radares como o MF e MST e os meteoricos. Os **radares MF (medium frequency)**, como o próprio nome diz, operam em frequências médias e detectam o movimento das irregularidades das regiões Ionosféricas, a partir de 60 km. Já os radares MST (mesosphere – stratosphere – troposphere) operam na faixa do espectro VHF, detectando variações provocadas pelo movimento das camadas de ar desde a troposfera até a mesosfera.

A técnica do radar meteorico, por sua vez, é baseada na determinação da velocidade média dos ventos, a partir da velocidade radial dos traços meteoricos que vamos descrever a seguir.

### **3.2 - TÉCNICAS OBSERVACIONAIS**

Diversas técnicas têm sido utilizadas para estudar os meteoros, dentre as quais podemos citar: observações a olho nu, câmeras fotográficas Super-Schmidt (Jones & Hawkes, 1975), telescópios (Lovell, 1954), televisão (Naumann & Clifton, 1973; Hawkes & Jones, 1986; Hawkes, 1993) e radares (Kaiser & Class, 1952).

Todas essas técnicas com um interesse em comum, que é o de conseguir o máximo de informações a respeito dos meteoros, como a orientação de sua trajetória na atmosfera, posição angular, distancia e velocidade. Dados fotométricos e espectroscópicos podem também, fornecer informações sobre a magnitude e composição químicas do meteoro.

#### **3.2.1 - OBSERVAÇÃO VISUAL**

A observação de meteoros a olho nu ou com telescópio de grande abertura é o método mais antigo utilizado pelo homem. A simples contagem de meteoros feita por um observador, em intervalos de uma hora, é convertida em **taxa horária zenital (THZ)** de meteoros. Esta é a maior contribuição desta técnica. Em noites de Lua Nova, a THZ média é de 10 meteoros/hora.

### 3.2.2 – FOTOGRAFIA

O método fotográfico vem sendo utilizado desde 1885, o primeiro a utilizar esta técnica foi L. Weinek, que tirou a primeira fotografia de um meteoro em Praga, Republica Tcheca. As câmeras mais utilizadas para fotografar meteoros são usualmente chamadas de **pequenas câmeras**, para que haja uma distinção das **câmeras Super-Schmidt**. Àquelas conseguem detectar no máximo meteoros de magnitude zero. As Super-Schmidt, pelo fato de terem uma razão focal igual a 0,8 e um campo angular circular de 55°, com filmes de rápida velocidade, podem detectar meteoros abaixo de magnitude 4 (Whipple, 1954). Com duas supercâmeras consegue-se ainda determinar a velocidade dos meteoros (Jones & Hawkes, 1975).

### 3.2.3 – TELEVISÃO

Consiste em um sistema desenvolvido especialmente para o estudo dos meteoros chamado de LLLTV - *Low Light Level Television*. Em termos de desempenho observacional, este sistema é intermediário entre o fotográfico e o radio métrico, com radares. A magnitude limite da técnica televisiva é de magnitude 9.

No entanto este sistema tem um pequeno campo de visão, 15°, o que reduz o número de trilhas registradas e não permite uma boa qualidade na razão sinal-ruído para meteoros débeis e só pode ser usadas em noite muito escuras e limpas.

### 3.2.4 – ESPECTROSCOPIA

As linhas espectrais de meteoros são em sua maioria de emissão com baixo potencial de excitação. As duas componentes mais comuns e intensas são as linhas do dubleto de sódio, cor amarela, e do tripleto de magnésio, cor verde.

A análise de um espectro meteórico consiste em três etapas: a determinação da escala de comprimento de onda e identificação das linhas; a calibração das intensidades das linhas; e a interpretação Física do Espectro. O objetivo principal

desta análise consiste em conhecer a composição química do meteoróide que originou um dado meteoro (PRETTO, 2007).

### **3.2.5 – A TÉCNICA DO RADAR**

O **RADAR - *Radio Detection And Ranging***, é uma variação da técnica de radio. Um radar é composto basicamente por uma antena transmissora que emite pulsos eletromagnéticos na faixa de rádio frequências e por uma antena receptora.

Dependendo das características do meio pelo qual os pulsos transmitidos se propagam, estes podem ser refletidos ou espalhados. Os pulsos refletidos de forma especular são detectados pelo radar como **ecos** (Corrêa, 2003)

Foi adotado como ferramenta para se estudar a alta Atmosfera, acima de 80 km, em meados de 1925. No entanto as pesquisas tiveram de esperar o fim da segunda guerra mundial que começou no ano de 1939 e terminou em 1945, porque além dos radares disponíveis e a capacidade de desenvolvê-los estarem sendo utilizados para fins militares, muitos meteoros detectados neste período eram confundidos com aviões, porém notou-se que os ecos dos meteoros eram bem mais curtos no tempo que aqueles dos aviões sendo de milissegundos para o meteoro e minutos para o avião, e também pelo fator distancia em que o alvo se encontra normalmente dezenas de kilometros para aeronaves e centenas de kilometros para o caso do meteoróide.

Após o fim da 2ª. Guerra mundial, a técnica de radar passou ser usada novamente em programas de observações meteóricas.

A técnica de radar é uma ferramenta poderosa uma que é capaz de detectar e localizar objetos em condições climáticas adversas e identificar meteoros produzidos por partículas com massas tão pequenas quanto  $10^{-6}$  g. Essa massa é bem inferior à massa das partículas que produzem meteoros identificados por outras técnicas.

Partículas com esta massa têm dimensões da ordem de 80  $\mu\text{m}$  (Hughes, 1978), sendo as menores partículas que se pode associar aos meteoros. A tabela 1

mostra alguns parâmetros típicos dos meteoróides em função das técnicas de observação de meteoros.

TÉCNICAS	m (g)	$\rho$ (g cm <sup>-3</sup> )	R (cm)	M <sub>v</sub>
<i>Radar</i>	$\geq 10^{-6}$	3 – 0,3	$\geq 40 \times 10^{-4}$	Sem limite
<i>TV</i>	$\geq 10^{-4}$	0,8 – 0,3	$\geq 30 \times 10^{-3}$	$\geq 9$
<i>Telescópio</i>	$\geq 10^{-2}$	0,3	$\geq 20 \times 10^{-2}$	$\geq 6$
<i>Fotografia</i>	$\geq 10^{-1}$	0,3	$20 \times 10^{-2} - 10$	$\geq 4$
<i>Olho Humano</i>	$\geq 1$	0,3	$\geq 10$	$\geq 0,0$

Tabela. 1 – Valores dos parâmetros típicos de meteoróides, tal como massa (m), densidade ( $\rho$ ), raio (R) e magnitude absoluta visual (M<sub>v</sub>), em função das técnicas de observação de meteoros.

**FONTE: (Hughes, 1978)**

Existem duas técnicas básicas para radares: bi-estático ou *forward-scatter* e o mono estático ou *backscatter*. A diferença essencial entre estas técnicas é que a primeira consiste em ter um transmissor situado a centenas de quilômetros de distância dos receptores, enquanto que a segunda possui o transmissor no mesmo local dos receptores.

Nesta configuração, o radar bi-estático detecta meteoros com direções tangentes a elipsóides com focos no transmissor e no receptor (Figura 2). O radar mono-estático é o caso limite do radar bi-estático em que os focos são coincidentes, fazendo com que apenas os meteoros tangentes às esferas centradas nas antenas transmissoras e receptoras sejam detectados. Desta forma, só aqueles meteoros que estão contidos em planos que fazem 90° com a direção do pulso emitido pelo radar são detectados (Figura 3).

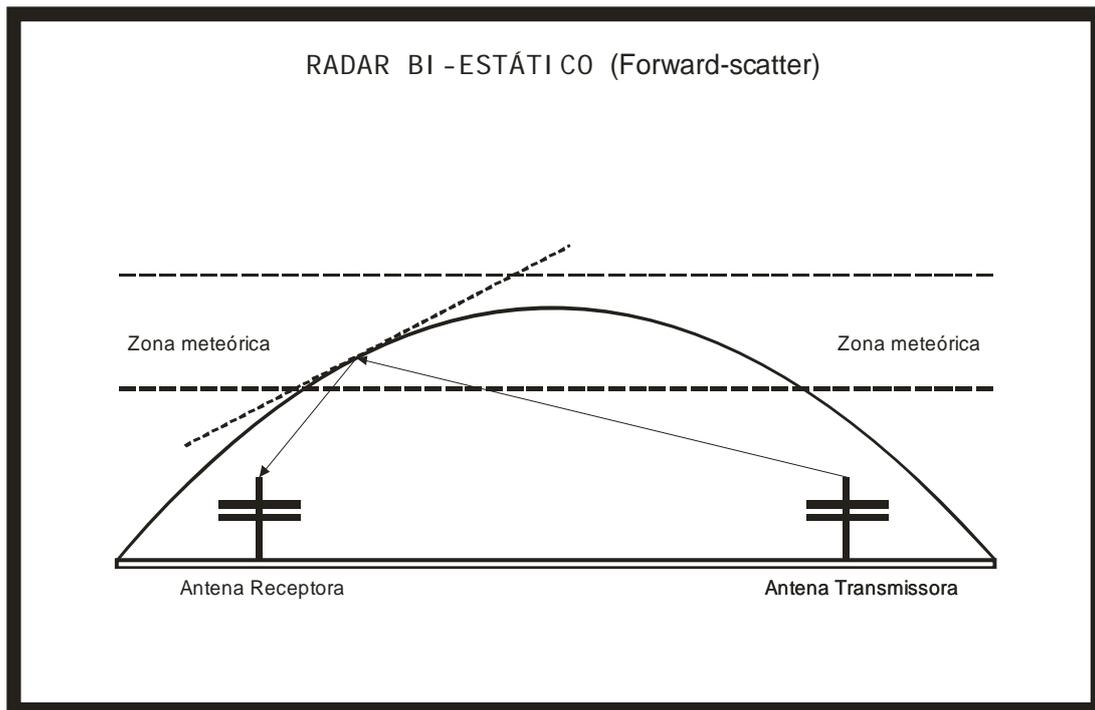


Figura 2: Representação do radar bi-estático (*forward-scatter*).

FONTE: Adaptado de Corrêa (2003, p. 44).

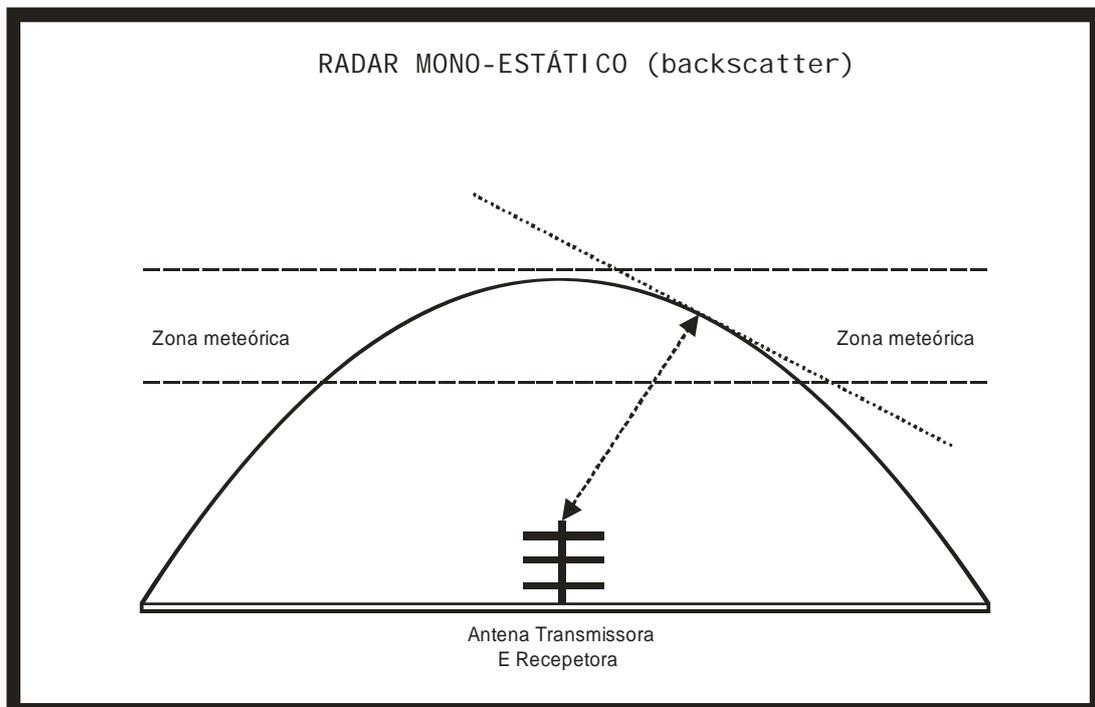


Figura 3: Representação do radar Mono-estático (*forward-scatter*).

FONTE: Adaptado de Corrêa (2003, p. 44).

Os parâmetros de um meteoro fornecidos pelo radar são posição angular, e velocidade. O alcance do radar ( $R$ ) é determinado pelo intervalo  $\Delta t$  que o pulso transmitido com a mesma velocidade da luz ( $c$ ), leva para ir até o meteoro e voltar. O alcance é dado pela equação:

$$R = c \frac{\Delta t}{2}$$

A posição angular do meteoro pode ser determinada a partir da direção de chegada, ou fase, da frente de onda refletida pela trilha do meteoro. Na prática isso é feito com um sistema interferométrico (Felli & Spencer, 1988).

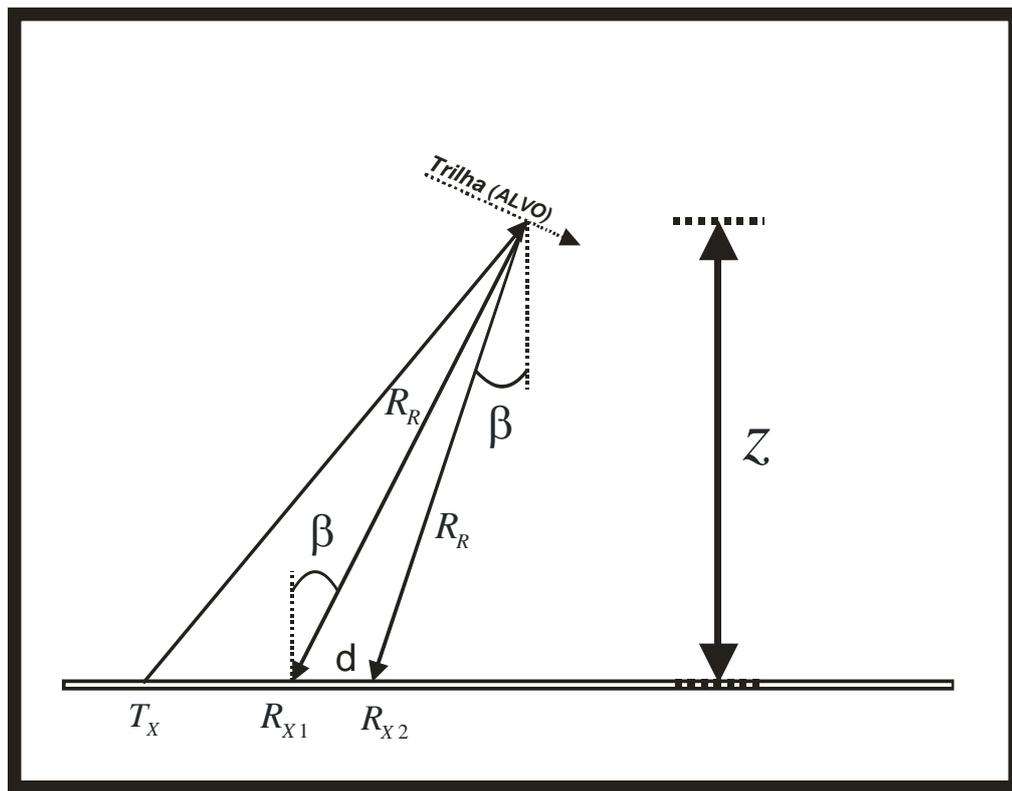


Figura 4: Geometria da Reflexão - Funcionamento de um radar com uma antena transmissora ( $T_X$ ) e um par de antenas receptoras ( $R_{X1}$ ) e ( $R_{X2}$ ), separadas por uma distância  $d$ . O alvo está a uma altura  $z$  em relação ao solo e distância radial  $R_R$  e ângulo zenital  $\beta$ , em relação às antenas receptoras.

FONTE: Adaptado de Tokumoto (2002, p. 81).

A antena transmissora emite pulsos eletromagnéticos cujas potências e frequências são definidas de acordo com o tipo de radar. Estes pulsos são refletidos na forma de ecos pelo elemento espalhador (alvo), que no caso da Atmosfera podem ser as camadas ionosféricas ou traços meteóricos. As antenas receptoras detectam estes ecos, e por funções de correlação de fases determinam a direção do alvo. (Tokumoto, 2002).

### 3.2.2.1– ALCANCE DO ECO

Uma das funções importantes do radar é determinar a distancia em que a trilha meteórica “alvo” estava quando o sinal eletromagnético foi refletido. No caso particular dos meteoros ela é efetuada pela medida do tempo de atraso do sinal refletido pela trilha meteórica em relação ao sinal transmitido. O alcance então é calculada pela relação a seguir.

$$R_R = \frac{cT_R}{2} \quad (4)$$

Onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo e  $T_R$  é o intervalo de tempo entre o sinal transmitido e o sinal recebido. Após determinarmos a distância  $R_R$  pode-se determinar a altura do meteoro a partir do ângulo zenital  $\beta$ .

$$z = R_R \cos \beta \quad (4)$$

### 3.2.2.2– PRINCIPIO DOPPLER

Os radares meteóricos determinam ventos na mesosfera através da medida do deslocamento Doppler do sinal refletido por vários traços meteóricos, que persistirem o tempo suficiente para se fazer as medidas de vento ( $t \geq 0,1s$ ). A expressão do deslocamento Doppler em frequência dos ecos meteóricos é dada por:

$$f_d = -\frac{2f_R}{c}V_R \quad (4)$$

onde  $f_d$  é a frequência Doppler,  $f_R$  é a frequência do radar e  $V_R$  é a velocidade radial de afastamento ou de aproximação do eco em relação ao radar.

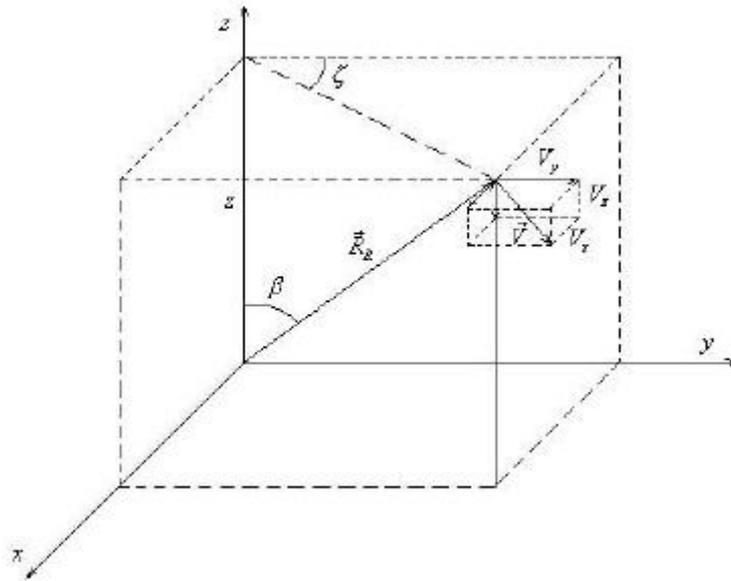


Figura 5: Coordenadas da Coluna de Ionização do Meteoro.  
FONTE: Adaptado de Manning et al. (1950, p. 878).

## CAPÍTULO 4

### O RADAR SKIYMET

O Sistema Radar de Rastro Meteórico – “*HF/VHF All-Sky Interferometric Meteor Radar – SKiYMET*” é um Sistema instrumental de pesquisa científica utilizado para observar meteoros e/ou objetos artificiais, que são atraídos pelo campo gravitacional da Atmosfera Terrestre. Com estas observações, diversos parâmetros astronômicos e atmosféricos são determinados.

O SKiYMET é desenvolvido em parceria pelas Empresas Genesis Software Pty, da Austrália e MARDOC Inc, do Canadá e utiliza como técnica básica a rádiointerferometria. Este Sistema opera com uma repetição muito alta de pulsos, PRFs, acima de 2000 Hz. Esta taxa mais alta de pulsação é útil pois permite a determinação de parâmetros não acessíveis aos sistemas mais antigos, como, por exemplo, a velocidade de entrada do meteoro.

#### **4.1 – O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO RADAR**

Os radares meteóricos determinam ventos na mesosfera a partir do deslocamento Doppler do sinal refletido por vários traços meteóricos, que persistirem tempo suficiente para se fazer medidas de ventos ( $t \sim 1s$ ). Estes sinais refletidos são oriundos de uma antena transmissora que emite radiação eletromagnética sobre um ângulo sólido grande, cuja potência e frequência são definidas de acordo com o tipo de radar.

Esta radiação é refletida na forma de ecos ao se chocarem com o rastro ionizado deixado pelo meteoro ao sofrer ablação, e posteriormente carregado pelos ventos neutros.

Quando um meteoro penetra na atmosfera, ele entra com uma grande velocidade, entre 11 e 72 km/s, as partículas cósmicas sofrem ablação e produzem colunas ionizadas, denominada traços ionizados, estes traços são transladados pelos

ventos neutros e podem ser detectados por técnicas visuais ou de radio frequência como já citado acima.

A distribuição destes meteoros se apresenta de forma desigual para diferentes alturas, com máximo em torno de 93 km, caindo até quase zero em 70 e 110 km. No intervalo de 80 e 100 km os efeitos do campo magnético sobre a dinâmica das partículas, podem ser desprezados e desta forma, os traços meteóricos se movimentam exclusivamente sob a ação dos ventos neutros. As translações dos elétrons vão produzir um efeito Doppler, no sinal refletido pelo traço meteórico.

A partir deste deslocamento, da posição do meteoro determinada pelo o ângulo de chegada e o atraso do eco, podemos determinar: a velocidade radial da trilha meteórica, sua posição, velocidade e a direção dos ventos que o transportou.

Para fazermos a determinação dos ventos por medidas de radar temos que assumir a existência de ventos uniformes na altura desejada, com aproximadamente 1 km de espessura, com a mesma direção e velocidade de ventos. Também definimos um sistema de coordenadas polares esféricas com eixo Z na direção vertical. A velocidade do vento é dada por  $\mathbf{V}$  onde  $V_z$ ,  $V_x$ ,  $V_y$  são as componentes vertical, zonal e meridional de  $\mathbf{V}$ , o ângulo azimutal é definido por  $\zeta$  e o ângulo zenital por  $\beta$ . Temos que:

$$\mathbf{V}_R = (V_x \cos \zeta + V_y \sin \zeta) \sin \beta + V_z \cos \beta$$

Dividindo-se ambos os membros por  $\sin \beta$ , temos:

$$\mathbf{V}_R = (V_x \cos \zeta + V_y \sin \zeta + V_z \cot \beta) \sin \beta$$

Para determinarmos os valores das componentes  $V_z$ ,  $V_x$ ,  $V_y$  temos que fazer uma regressão múltipla em:  $V_R / \sin \beta$  em relação a  $\cos \zeta$ ,  $\sin \zeta$  e  $\cot \beta$ .

A figura 6 ilustra o princípio de funcionamento do radar, acima descrito.

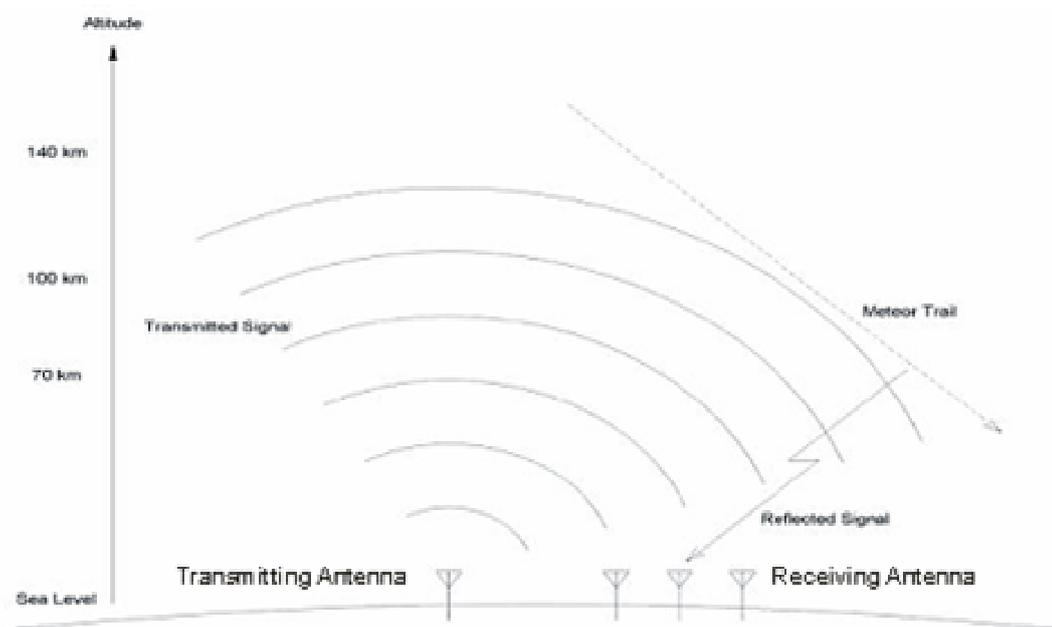


Figura 6: Princípio do Funcionamento do Radar SKiYMET.

FONTE: SKiYMET Meteor Radar Reference Manual.

Observando como os ventos que transportam os rastros de meteoros se comportam com o tempo, podem ser feitas deduções sobre a velocidade e direção do vento atmosférico na altitude em que os meteoros foram observados. O instrumento detecta um número suficiente de ecos de meteoros ao longo do dia para permitir um desenho compreensivo do campo dos ventos atmosféricos.

#### 4.2 – O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO RADAR

O SKiYMET, cujo diagrama de bloco é apresentado na figura 8, possui um programa próprio para detectar e discriminar meteoros de outros eventos. A detecção é feita a partir de dois estágios de análises consecutivos. O primeiro consiste na identificação de candidatos a meteoro por um programa denominado “detector”.

Nessa etapa, são armazenados os dados de possíveis meteoros para serem re-analisados posteriormente. Estes arquivos preliminares incluem apenas os dados obtidos 1s antes e até 3s após o registro da amplitude máxima do sinal do possível meteoro. O segundo estágio da análise, “skiycorr”, re-avalia os ecos registrados,



porém com muito mais detalhes, para confirmar se o eco foi ou não gerado por um meteoro.

O primeiro estágio, detecção de meteoros, é o processo mais difícil da análise de meteoros (Hocking et al., 2001). O objetivo deste estágio é encontrar os ecos de meteoros e distingui-los daqueles, de curta duração, que não são devido aos meteoros mas sim a alguma interferência. As características que permitem distinguir os meteoros dos demais eventos são as curtas durações do eco dos meteoros, trilhas subdensas, o crescimento rápido e a queda temporal quase-exponencial do sinal detectado.

Se o sinal cresce lentamente, o dado é rejeitado como sendo ou de um avião, ou como ecos vindos da camada-E da Ionosfera, ou como algum outro tipo de contaminação.

É preciso ainda garantir que o eco dure relativamente pouco, menos que 2s ou 3s. Uma aeronave, por exemplo, dura cerca de 10 s ou mais para atravessar a zona do feixe de radiação emitido pelo radar. Assim, se a amplitude do sinal recebido retornar ao normal em 3s, maior é a possibilidade que um meteoro tenha gerado tal eco.

Contudo, apenas este teste não é suficiente para garantir que o sinal é de fato produzido por um meteoro. É necessário verificar se a amplitude média é comparável ao ruído após 3s do pico e se o meteoro surge repentinamente dentro de um tempo de 0,3 s ou menos. No segundo estágio da análise, confirmação de meteoros, os dados gravados na primeira etapa são submetidos a testes mais rigorosos, a fim de assegurar que os “possíveis meteoros” registrados sejam realmente meteoros. Estes eventos são analisados através do programa “skycorr” que repete alguns passos da etapa anterior, porém com maior exigência nos critérios de rejeição.

Uma vez conhecidos os verdadeiros meteoros, o programa passa então a determinar a localização destes meteoros no céu, alcance, azimuth e distância zenital, bem como realiza uma série de cálculos que determinam o tempo de duração, a velocidade radial e a velocidade de entrada destes meteoros. Os resultados desta análise são gravados em arquivos ASCII, formato de texto, a partir dos quais podem ser feitos diversos estudos sobre os meteoros.

### 4.3 – DESCRIÇÕES DOS EQUIPAMENTOS

Na sua configuração usual o Radar SKiYMET utiliza uma antena para a transmissão e cinco antenas para recepção. Na figura 4.2.1 é uma ilustração de uma configuração típica do radar. Uma antena Yagi de 3 elementos é utilizada para transmissão, e cinco antenas Yagi usadas para recepção.

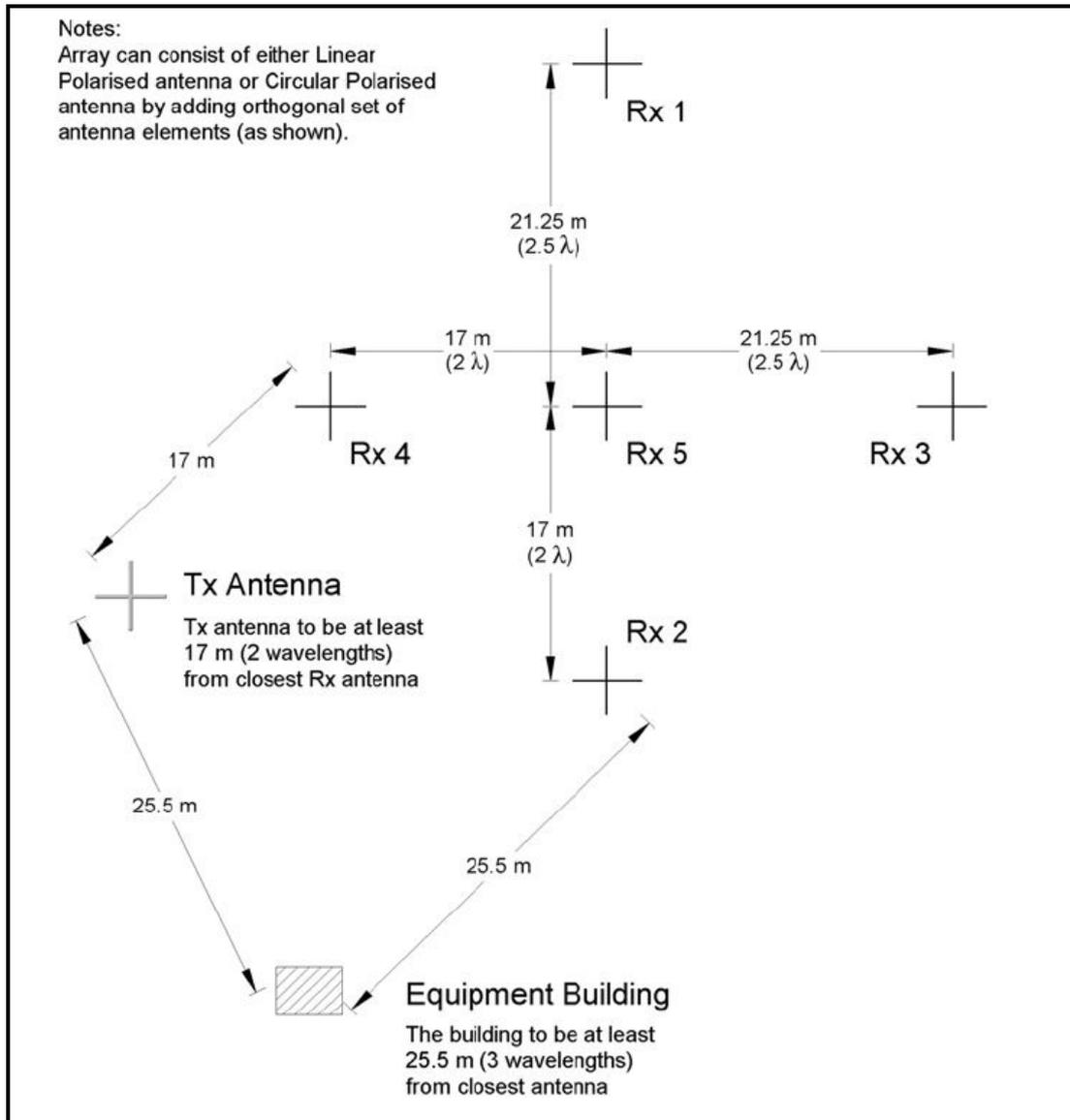


Figura 7: Arranjo Típico das Antenas do SKiYMET. As dimensões mostradas são para frequência de operação de 35.24 MHz.

FONTE: SKiYMET Meteor Radar Reference Manual.

E na imagem 8 é mostrada em forma de diagrama de blocos o hardware utilizado na configuração descrita acima.

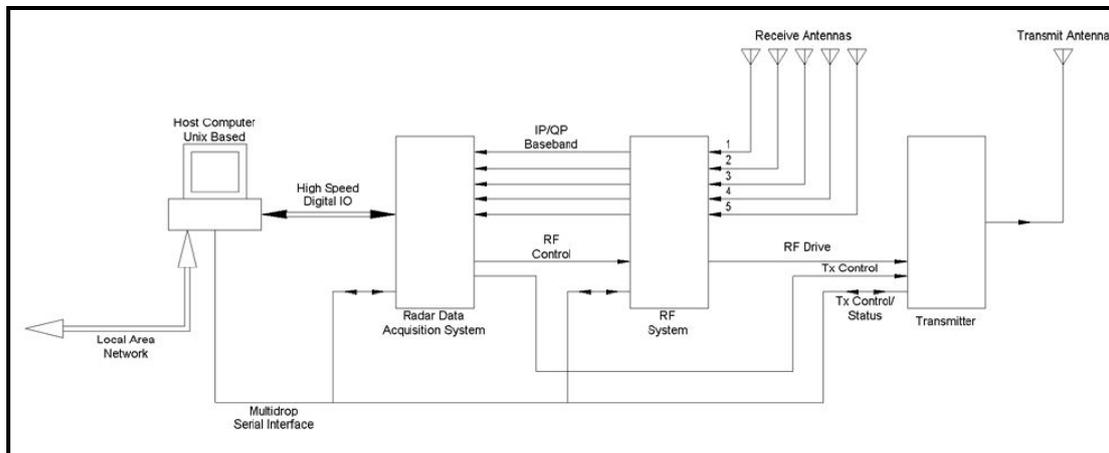


Figura 8: Diagrama de Bloco do *Hardware* do Radar Meteorológico – SKiYMET de Santa Maria, RS.  
FONTE: SKiYMET Meteor Radar Reference Manual.

#### 4.2.1 – SISTEMAS DE ANTENAS

##### Transmissão:

- 1 antena Yagi de 3 elementos, cabos alimentadores passa baixa.

##### Recepção:

- 5 antenas Yagi de 2 elementos espaçado para formar um interferômetro  $2,0\lambda$  ou  $2,5\lambda$ .

#### 4.2.2 – SISTEMA TRANSMISSOR

- Estado sólido, refrigerado a ar com potência de 12 kW, operando em modo pulsado;
- Frequência fixa de operação de 35,24 MHz;
- Ciclo ativo de 15 %;
- Geração digital de pulsos;
- Largura de pulsos de 13,3  $\mu$ s;
- Protegido contra superaquecimento, ciclo ativo excessivo e potência refletida excessiva.

#### **4.2.3 – SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS**

- 5 receptores com detecção coerente de componentes de fase/quadratura;
- PRF de 2144 Hz;
- Intervalo de altura de 70 a 140 Km;
- Intervalo de amostragem de 2 Km;
- Digitalização de 12 bits;
- Relógio GPS em tempo real chaveado, para temporização exata;
- Computador com plataforma UNIX, interligado à INTERNET permitindo o acesso remoto, o controle e a transferência de dados;
- *Software* incluindo aquisição de dados, detecção, análise, amostragem e controle do sistema. Funções de controle e amostragem on-line.

#### **4.2.4 – CARACTERÍSTICAS GERAIS**

- Tensão exigida: 110/120 ou 220/240 V  $\pm$  10 %, 50-60 Hz, fase simples;
- Potência dissipada - Transmissor: 500 VA (aprox.);
- Potência dissipada - Sistema de aquisição de dados (c/ PC): 300 VA;
- Condições de operação – Transmissor: 30°C máx;
- Condições de operação – Sistema de aquisição de dados: 35°C máx.
- Sistema de aquisição de dados incluindo o PC
- Dimensões – Sistema de Aquisição de Dados: 604 mm de altura x 553 mm de largura x 600 mm de profundidade;
- Peso: 40 kg (aprox.).

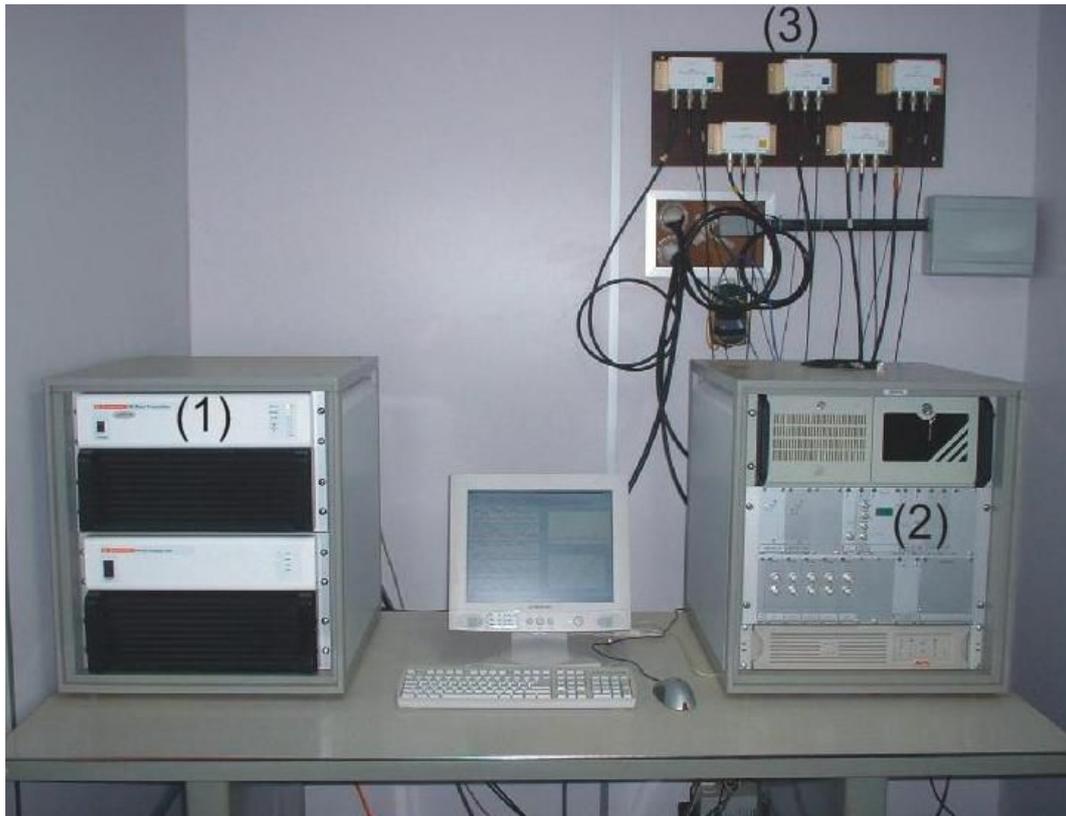


Figura 9: Sistema Transmissor (1), Sistema de Controle e Aquisição de Dados (2) e Sistema Receptor (3) do Radar Meteorico - SKiYMET, do CRS/CIE/INPE - MCT, instalado no “Campus” da UFSM, em Santa Maria, RS.

FONTE: Adaptado de (PRETTO), (2007, p. 41).

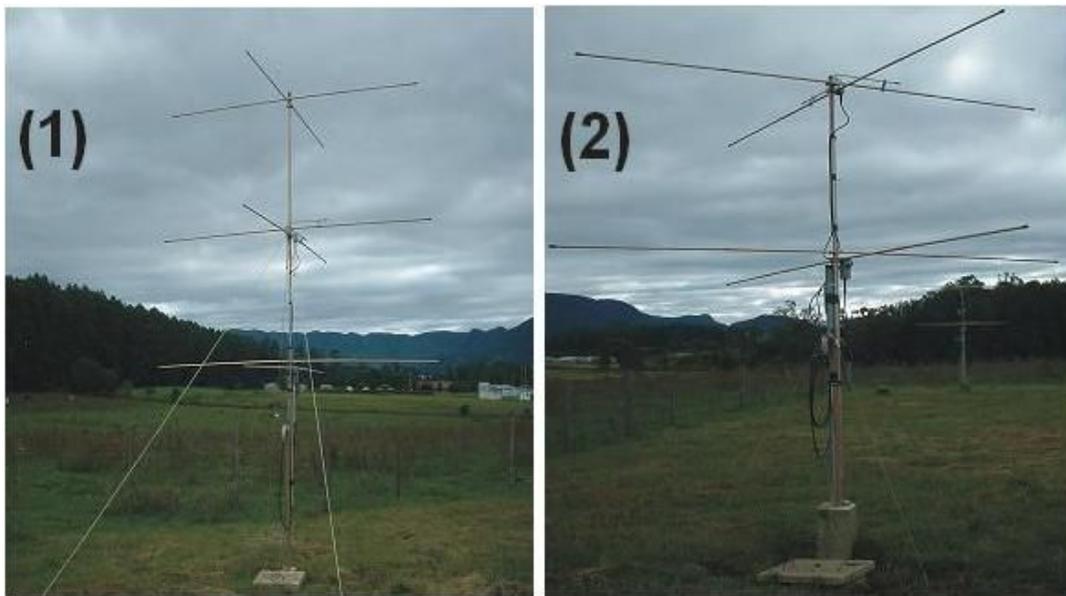


Figura 10: Sistema de Antenas: Transmissora (1) e Receptora (2) do Radar Meteorico -SKiYMET, do CRS/CIE/INPE - MCT, instalado no “Campus” da UFSM, Santa Maria, RS.

FONTE: Adaptado de (PRETTO), (2007, p. 42).



## CAPÍTULO 5

### PROGRAMAS UTILIZADOS NA ANÁLISE DE DADOS DO RADAR SKiYMET

#### 5.1 – INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo abordar e explicar os programas utilizados pelo aluno na análise dos dados do Radar de Rastros Meteóricos SKiYMET.

#### 5.2 PROGRAMAS DO SISTEMA SKiYMET

O programas de aquisição de dados do Sistema SKiYMET opera em uma plataforma UNIX e utiliza uma interface gráfica para exibir os resultados em tempo real. O software monitora as condições de operação do Radar registrando, em um arquivo em disco, os dados de desempenho do sistema.

Todos os dias as medidas realizadas pelo Radar são armazenadas em arquivos no Disco Rígido (HD), do Computador do sistema, uma cópia diária é feita destes arquivos e transferida remotamente para outros servidores via TCP/IP.

As principais medidas fornecidas pelo programa incorporado ao Sistema SKiYMET são: data e hora (ano, mês, dia, hora, minuto, segundo e milissegundo); o alcance do eco; a altura do meteoro; a distância zenital e o ângulo azimutal do meteoro; o nível de ambigüidade; o erro de fase entre os pares de antenas; o tempo de duração da trilha meteórica; e velocidade de entrada do meteoróide na Atmosfera. Posteriormente, são listados todos os parâmetros medidos pelo sistema de aquisição de dados do Radar.

Na redução de dados do SKiYMET, os dados coletados são armazenados em três tipos de arquivos: os arquivos crus, *raw*, os de temperatura, *temperature*, e os de ventos, *winds*, sendo apenas os arquivos crus e os de ventos utilizados para este estudo.



Os arquivos crus, que chamaremos aqui de *MPD*, devido a sua extensão *\*.mpd*, podem ser acessados utilizando o “*Microsoft Excel*” para fazer ajustes de campos, bem como gerar gráficos de vários modos.

Os arquivos crus contêm os seguintes parâmetros:

- Date – Data de detecção na forma AAAA/MM/DD;
- Time – Tempo de detecção na forma H:MM:SS.CCC;
- File: Extensão do arquivo de evento confirmado (CEV)
- Range – Range (distância radial) do eco detectado em quilômetros;
- Ht – Altura do eco em quilômetros;
- Vrad – Velocidade radial (ao longo da linha de visada) em m/s;
- delVr – Erro na velocidade radial do eco;
- Theta – Ângulo zenital do eco;
- Phi0 – Ângulo azimutal do eco (no sentido positivo a partir do Leste);
- Ambig – Nível de Ambigüidade (ecos com o mesmo range).
- Delphase – Maior erro de fase entre canais (graus);
- Antpair – Par de antenas que mostra o maior erro de fase;
- Tau – Tempo de decaimento;
- Snrdb – Sinal de ruído em dB.

Com os arquivos de ventos, aqui chamados *HWD*, devido à extensão *\*.hwd*, podemos plotar gráficos dos Ventos Médios e suas componentes zonais e meridionais. Diversos programas para a análise dos dados dos arquivos *MPD* e *HWD* foram desenvolvidos pelos Pesquisadores da Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT, Dr. Barclay Robert Clemesha e Dr. Paulo Batista, sendo que alguns são apresentados aqui.

### 5.3 - PROGRAMA “Winds Analysis”

Sabe-se que ventos contêm componentes em dois planos: plano horizontal e vertical. A análise do plano vertical é descartada, pois nesta a amplitude muito é

baixa se comparada a componentes do plano horizontal. Assim, trabalham-se apenas os componentes dos ventos no plano horizontal: a componente zonal (L – O) e a componente meridional (N – S).

O programa “Winds Analysis” é usado para calcular essas componentes dos ventos em diversas faixas de altura e em diversos intervalos de tempo pré-definidos. Ele utiliza os dados com extensão \*.mpd obtidos pelo Sistema SKiYMET, sendo capaz de efetuar cálculos com grandes quantidades de dados.

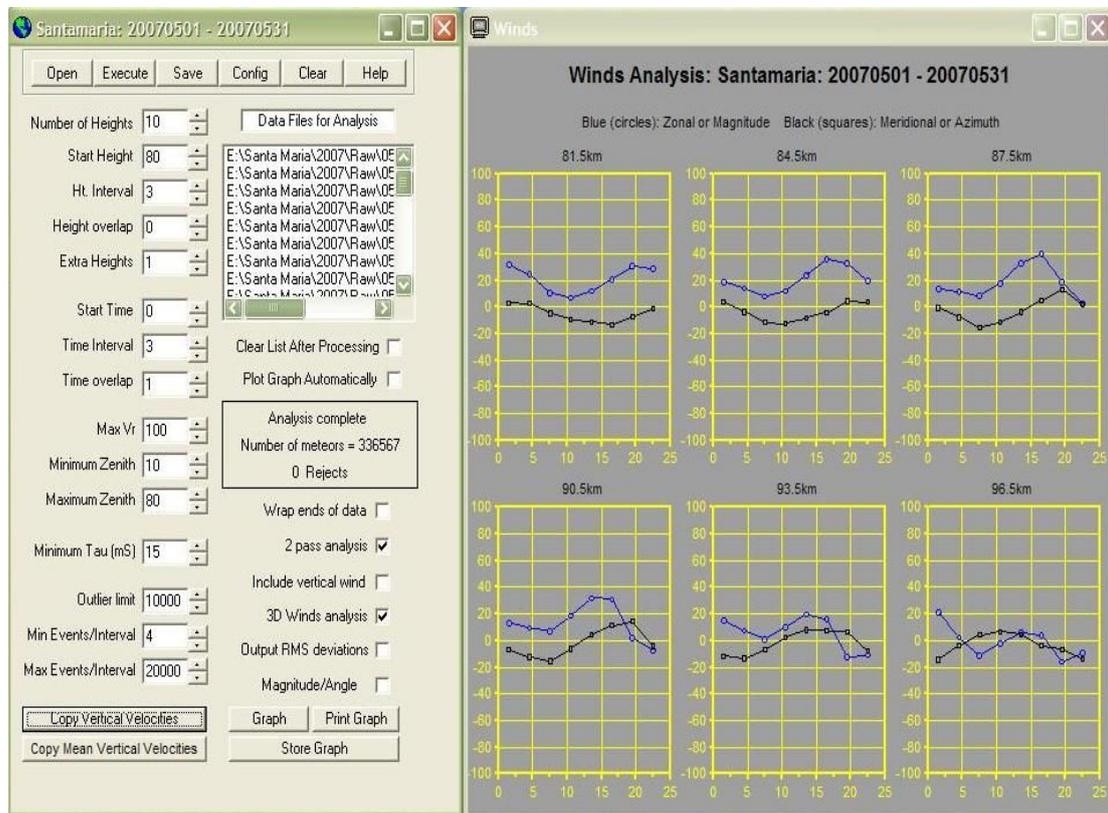


Figura 11: Programa “Winds Analysis”, capaz de efetuar cálculos com grandes quantidades de dados, calcula as componentes do vento em diversas faixas de altura em diversos intervalos de tempo e altura pré definidos pelo usuário.

Fonte: Imagem do autor 16/06/2008

#### 5.4 - PROGRAMAS “Sequential Meteor” E “Regress”

Os programas “Sequential Meteor” e “Regress” utilizam dados com extensão \*.mpd, para realizar medidas referentes aos ventos. O programa “Sequential Meteor”

separa as componentes zonal e meridional em função decimal do dia e por altura para uma seqüência de dias. Os dados tratados podem ser copiados e trabalhados no programa “Microsoft Excel”.

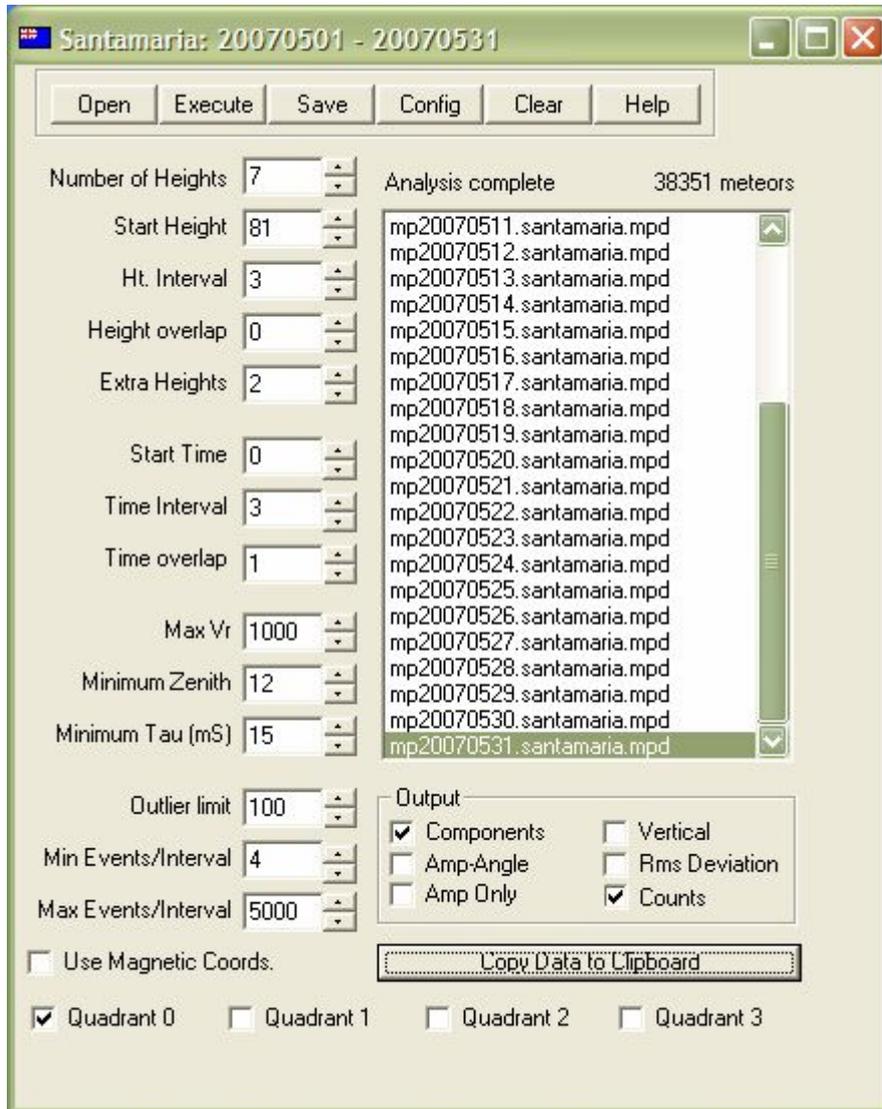


Figura 12: Programa “*Seqüencial Meteor*”, desenvolvido pelo Dr. B. R. Clemesha. Este programa é capaz de calcular as componentes zonal e meridional dos ventos e também outros parâmetros.

Fonte: Imagem do autor 16/06/2008

O programa “*Regress*” é de aplicação geral para fazer regressões polinomiais, quadráticas e lineares em harmônicos, podendo ser usado para determinação dos ventos a partir dos dados crus, e para separar componentes diurnos e semidiurno das marés.

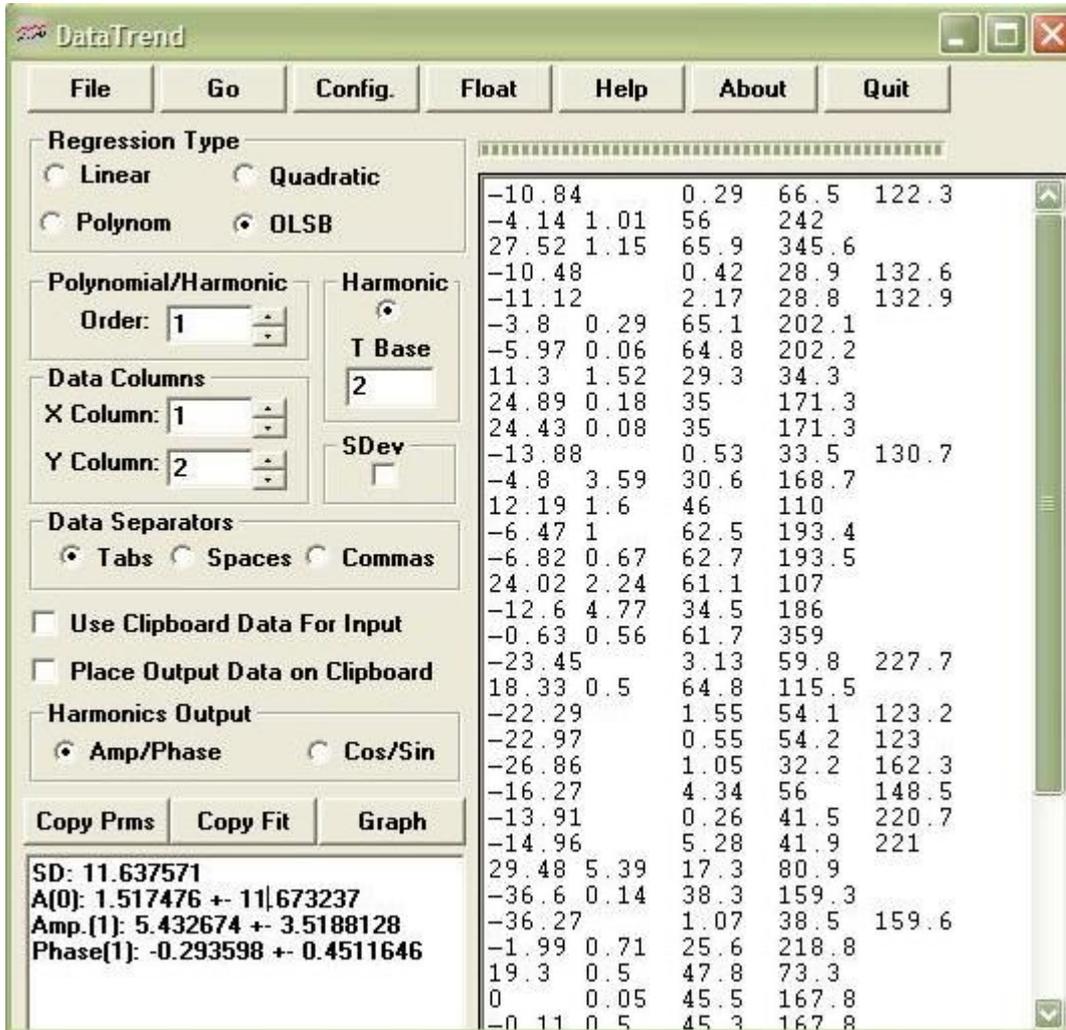


Figura 13: Programa “Regress” pode ser utilizado para determinação dos ventos a partir dos dados crus e para separar componentes diurnos e semidiurno das marés.

Fonte: Imagem do autor 16/06/2008

## 5.5 - PROGRAMAS “Select Radiants”

Este programa calcula a probabilidade de distribuição do radiante das chuvas de meteoros em Declinação e Ascensão Reta que é o ponto exato em que os meteoros entram na esfera celeste. O radar não pode determinar exatamente o radiante de um meteoro. A direção determinada pelo radar (azimute e elevação) é perpendicular ao rastro do meteoro.

Conseqüentemente, sabemos que o radiante do meteoro está dentro do plano perpendicular à direção do eco do meteoro. A intersecção deste plano com a esfera



celeste define um arco, e sabemos que o radiante se localiza em algum ponto deste arco. Observando vários meteoros da mesma chuva, em posições diferentes no céu, podemos definir um arco diferente para cada meteoro.

Se todos os meteoros pertencem à mesma chuva, e desprezando erros de medida, todos os arcos cruzarão em um só ponto, sendo este o radiante da chuva. Na realidade existem meteoros esporádicos cujos riantes são aleatórios, de tal maneira que nem todos os arcos irão se cruzar no mesmo ponto, mas ainda assim é fácil identificar o radiante de uma chuva como correspondente ao ponto onde os maiores números dos arcos se cruzam.

Para isso determinar o radiante, o programa “*Select Radiants*” executa uma técnica dividindo o céu em setores ou “caixinhas” de  $2^\circ \times 2^\circ$ , e em seguida é realizada a contagem da quantidade de arcos que passam por cada caixinha. O setor através do qual passa o maior número de arcos indica a direção do radiante da chuva. Para cada meteoro detectado, o arco na esfera celeste é determinado como função da elevação e azimute do eco, da latitude e longitude do radar, e da hora local sideral.

Assim, possíveis riantes são acumulados em um arranjo de “caixinhas” de  $2^\circ \times 2^\circ$ . Para cada meteoro, o programa incrementa a contagem da “caixinha” que corresponde ao possível radiante. Um gráfico mostra a seção da Declinação e Ascensão Reta do radiante de fluxo máximo de meteoros. Clicando na janela dos riantes, este gráfico mostra a seção da Declinação e Ascensão Reta para outros riantes.

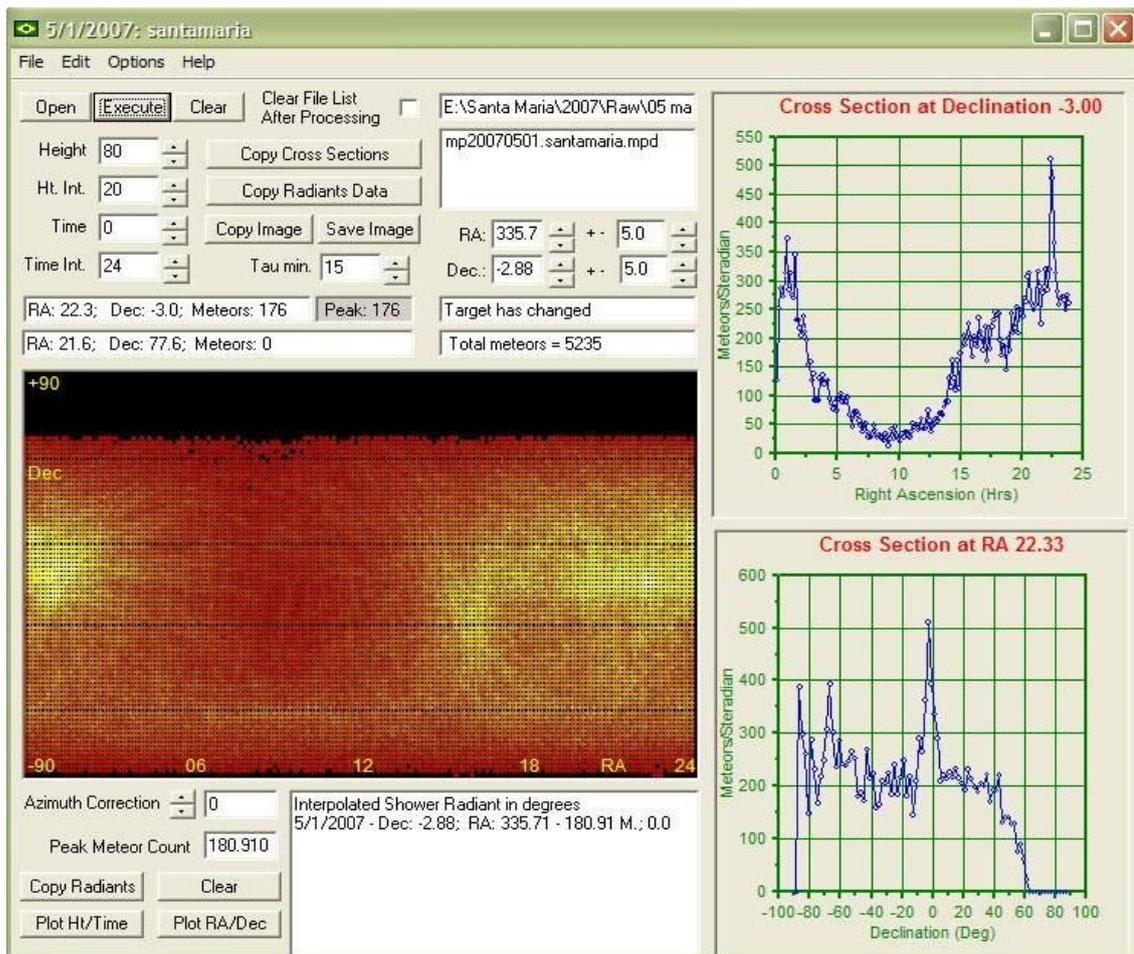


Figura 14: Interface do Programa “*Select Radiants*” desenvolvido pelo Dr. B. R. Clemesha que fornece as coordenadas equatoriais celestes (radiante) da fonte de meteoros.

Fonte: Imagem do autor 16/06/2008

## 5.6 - PROGRAMAS “Wind Graph”

O programa “*Wind Graph*”, assim como o “*Winds Analysis*”, plota os gráficos das componentes zonal e meridional dos ventos para diferentes faixas de altura. Porém, ele se utiliza dos dados com extensão \*.hwd para realizar essas medidas e possui as faixas de altura pré-definidas.

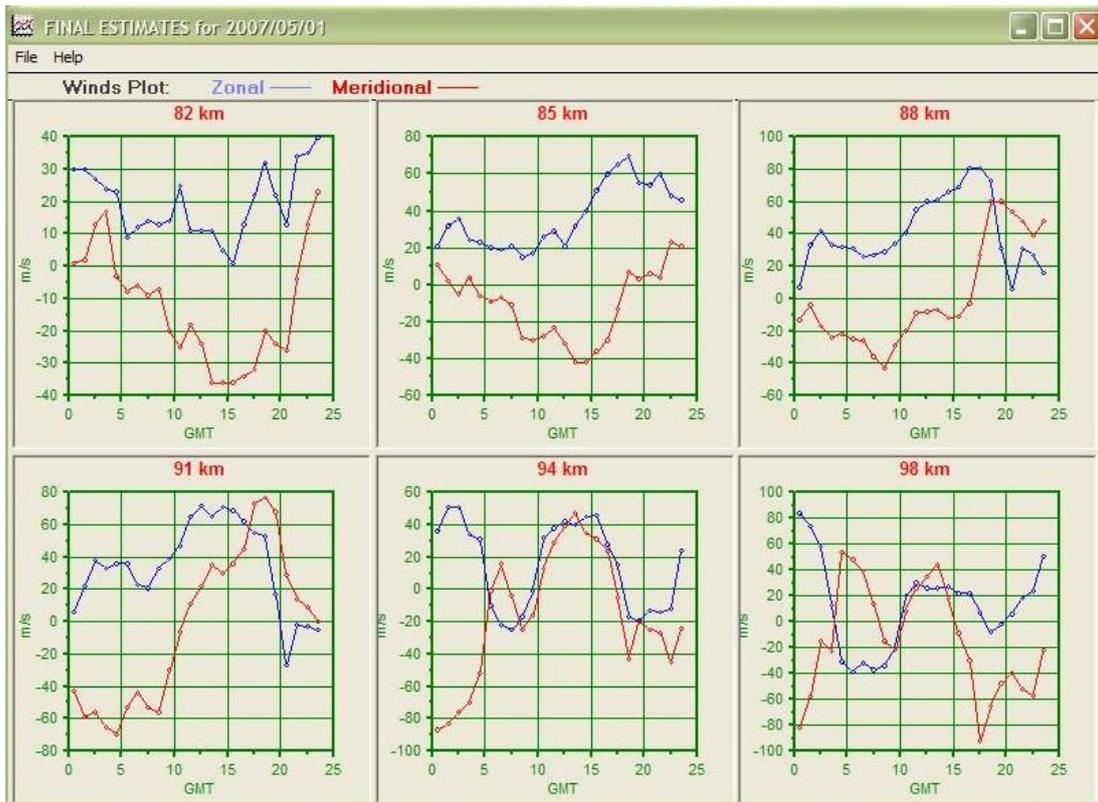


Figura 15: Interface do Programa “Wind Graph”, que plota os gráficos das componentes zonal e meridional dos ventos para diferentes faixas de altura.

Fonte: Imagem do autor 16/06/2008

## 5.7 - PROGRAMAS “Height Distribution”

O programa “*Height Distribution*” utiliza os dados de extensão \*.mpd e fornece a distribuição do número de meteoros que ocorrem na Atmosfera, em função da altura que deve ser uma curva bem suave. Este programa é importante na verificação da operação confiável do Radar. Uma vez que a maior distribuição de meteoros ocorre na faixa dos 90 km de altura, assim sendo se há uma contagem maior de meteoros em outra altura que não seja em torno de dessa, há algum problema no sistema ou uma interferência.

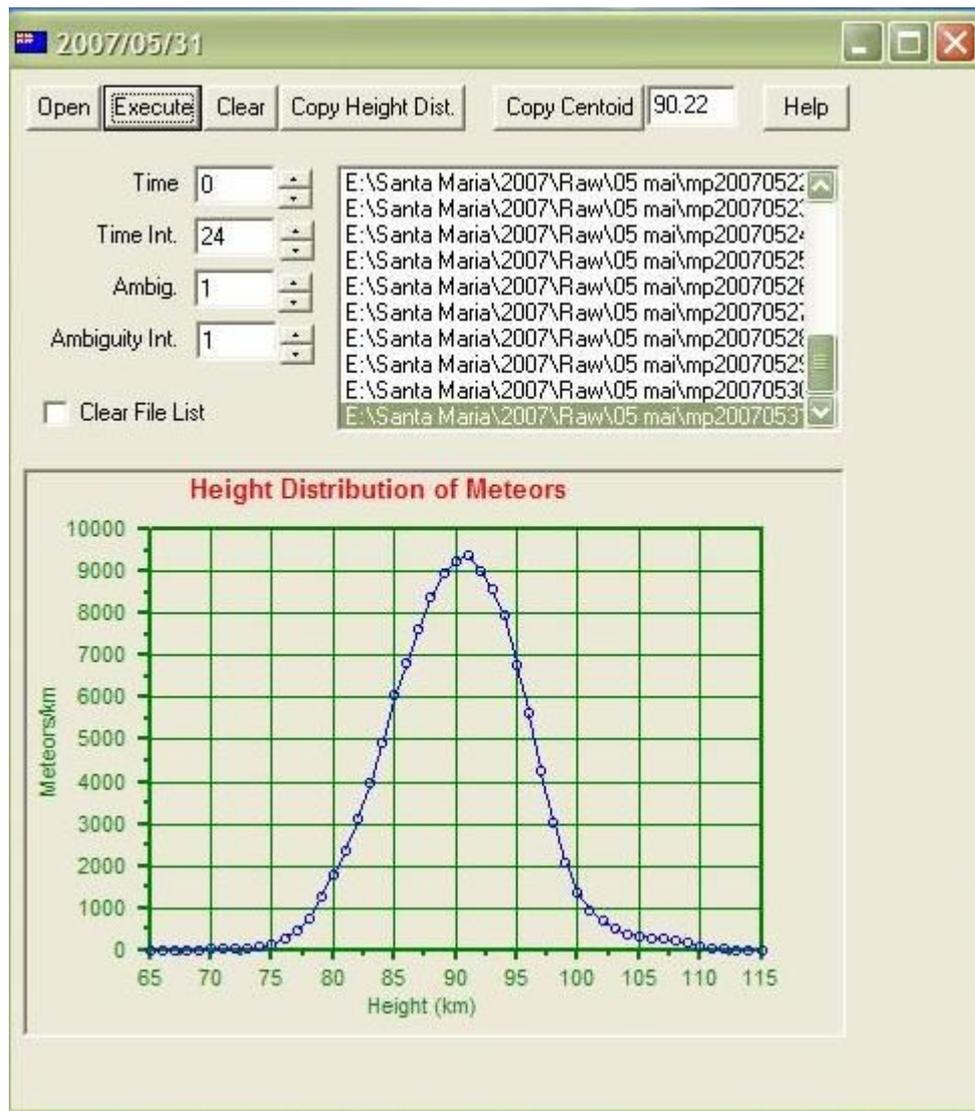


Figura 16: Interface do Programa “*Height Distribution*”, que plota o gráfico da distribuição do número de meteoros que ocorrem na Atmosfera em função da altura.

Fonte: Imagem do autor 16/06/2008



## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÃO

Durante o período de vigência da Bolsa de Iniciação Científica PIBIC/INPE – CNPq/MCT no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT, o Aluno de iniciação científica esteve muito ligado ao Sistema do Radar e revisou bibliografia e estudos iniciais em Aeronomia, com enfoque na Área de Física da Alta Atmosfera, e familiarizou-se com o *hardware* e *software* do Radar de Rastros Meteóricos SKiYMET , e com os programas utilizados na análise de dados obtidos pelo mesmo.

O Bolsista deu prosseguimento às atividades que estavam sendo desenvolvidas pelo aluno Sandro Fetermann Bertagnolli que por motivos pessoais solicitou desligamento do Projeto. O bolsista prosseguiu organizando o banco de dados do Radar e acompanhando a operação rotineira do equipamento.

Assim, a participação no Projeto de Pesquisa permitiu ao Bolsista, ampliar o seu desenvolvimento técnico-científico, adquirindo conhecimentos multidisciplinares e extracurriculares, muito relevantes para seu crescimento acadêmico, profissional e social. Além disso, a participação no Projeto oportunizou a aplicação de grande parte dos conhecimentos adquiridos pelo Acadêmico no Curso de Graduação em Física da UFSM, relacionando Teoria à Pesquisa.

Após a realização deste Relatório Final, ficam registradas algumas considerações finais:

Com a aquisição do Radar de Rastros Meteóricos – SKiYMET, pelo CRS/CIE/INPE - MCT no Sul do Brasil, os ventos da região da Mesopausa estão sendo medidos continuamente em três locais na América do Sul: São João do Cariri (7.5°S, 36.5°O), Cachoeira Paulista (22.7°S, 45.0°O) e Santa Maria (29.7°S, 53.7°O), colocando o Brasil na Rede Internacional de Radares, possuindo equipamentos sofisticados para estudos e pesquisas da Mesosfera local e das Ciências Atmosféricas da América do Sul.



Os dados dos radares Brasileiros auxiliam pesquisadores na compreensão dos processos das marés atmosféricas e de ondas planetárias no Hemisfério Sul.

No entanto, atualmente, por motivos técnicos específicos, o radar se encontra temporariamente desativado passando por manutenção, devido ao fato de que alguns dos componentes de sua CPU se encontram danificados, pelo desgaste natural.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Batista, P. P.; Clemesha, B. R.; Simonich, D. M.; Taylor, M. J.; Takahashi, H.; Gobbi, D.; Medeiros, A. F. d. **Simultaneous lidar observations of a sporadic sodium layer, a "wall even" in the OH and OI5577 airglow images and the meteor winds.** *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 64:1327-1335, 2002.
2. Clemesha, B. R.; Batista, P. P.; Simonich, D. M. **Simultaneous measurements of meteor winds and sporadic sodium layers in the 80 - 110 Km region.** *Advances in Space Research*, 27(10):1679-1684, 2001.
3. Clemesha, B. R.; Medeiros, A. F. d.; Gobbi, D.; Takahashi, H.; Batista, P. P.; Taylor, M. **Multiple wavelength optical observations of a long-lived meteor trail.** *Geophysical Research Letters*, 28:2779-2782, 2001.
4. Corrêa, J. A S. *Estudo de meteoros e investigações de seus efeitos na Ionosfera com dados do Radar SKiYMET e GPS.* São José dos Campos: INPE, 2003. (INPE-9843- TDI/866).
5. Diego dos Santos; Thiago Brum Pretto. **ESTUDO DAS MARÉS ATMOSFÉRICAS NA ALTA ATMOSFERA DO SUL BRASILEIRO - VIAGEM TÉCNICO-CIENTÍFICA A SEDE DO INPE EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS.**
6. Diego dos Santos. **ESTUDO DAS MARÉS ATMOSFÉRICAS NA ALTA ATMOSFERA DO SUL BRASILEIRO - RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA.**
7. Elisa Borstmann Jensen. **ESTUDO DAS MARÉS ATMOSFÉRICAS NA ALTA ATMOSFERA DO SUL BRASILEIRO - RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA.**
8. Fleming, E.L., Chandra, S., Burrage, M.D., Skinner, W.R., Hays, P.H., Solheim, B.H., Shepherd, G.G. Climatological mean wind observations from the UARS highresolution Doppler imager and wind imaging interferometer: Comparison with current reference models. *Journal of Geophysical Research*. v 101, n.D6, Apr. 1996.
9. Hocking, W.K.; Singer, W.; Bremer, J.; Mitchell N.J.; Batista, P. P.; Clemesha, B. R.; Donner M. **Meteor radar temperatures at multiple sites derived with Skiyet radars and compared to OH, rocket and lidar measurements**
10. Hocking, W.K.; Fullere, B.; Vandeppeer, B. **Real-time determination of meteor-related parameters utilizing modern digital technology.** *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics* 63: 155-169, 2003.



11. Hocking, T. T. a. W. K. **A long-term comparison of winds and tides measured at London, Canada (43°N,81°W) by co-located MF and meteor radars during 1994-1999.** *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 64:931-946, 2002.
12. 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.
13. **Radar Systems – Operating System User Manual**, Material Técnico fornecido pela Genesis Software Pty Ltde Mardoc Inc., Versão 1.0, 2002.
14. Scheer, J.; Reisin, E.R.; Batista, P. P.; Clemesha, B. R.; Takahashi, H. **Detection of meteor radar Wind signatures related to strong short-duration Day-to-day airglow transitions at sites 2600 km** 67: 611 – 621, 2005.
15. **SKiYMET Meteor Radar Reference Manual**, Material Técnico fornecido pela Genesis Software Pty Ltde Mardoc Inc., Versão 1.5, 2003.
16. Thiago Brum Pretto. **RADAR DE RASTROS METEÓRICOS, ESTUDO APLICADO DO SISTEMA SKiYMET – RELATÓRIO FINAL DE CONCLUSÃO DE CURSO.**
17. Tokumoto, A. S. *Ventos na Região de 80-100 Km de altura sobre Cachoeira Paulista (22,7° W) medidos por Radar Meteórico.* São José dos Campos: INPE, 2002. (INPE-9126-TDI/815).



## **ANEXO**

**TRABALHOS CIENTÍFICOS  
DE  
TIAGO DOMINGOS DOS SANTOS  
ACEITOS COMO  
CO-AUTOR**



**MACHADO, Cristiano Sarzi; SCHUH, Mateus Sabadi; SANTOS, Tiago Domingos dos; SCHUCH, Nelson Jorge; ROSA, Marcelo Barcellos da; TAKAHASHI, Hisao; GOBBI, Delano; MAKITA, Kazuo. MONTHLY PROFILES OF AIRGLOW EMISSIONS (OI 557.7 AND OI 630 NM) AT THE SOUTH REGION OF BRAZIL. 37<sup>th</sup> COSPAR Scientific Assembly 2008, Motreal, Canada;**

**MACHADO, Cristiano Sarzi; SCHUH, Mateus Sabadi; SANTOS, Tiago Domingos dos; SCHUCH, Nelson Jorge; ROSA, Marcelo Barcellos da; TAKAHASHI, Hisao; GOBBI, Delano; MAKITA, Kazuo. A COMPARATIVE STUDY OF AIRGLOW INTENSITY AT TWO DIFFERENT SITES WITH THE SAME GEOMAGNETIC LATITUDE: SOUTHEASTERN (22.7°S, 45°W, -34°DIP LAT) AND SOUTHERN BRAZIL (29°S, 53°W, -33°DIP LAT). 37<sup>th</sup> COSPAR Scientific Assembly 2008, Motreal, Canada.**