

[Imprimir](#)[Fechar](#)*Referência Completa*

Tipo da Referência	Conference Proceedings
Chave Secundária	INPE-11561-PRE/6949
Chave de Citação	Aveiro:2004:EsE1E1
Autor(es)	Aveiro, Henrique Carlotto
Título	Estudo Da Eletrodinâmica Do Eletrojato Equatorial Baseado em Dados Observacionais do Radar de Espalhamento Coerente de São Luís
Nome do Evento	Seminário de Iniciação Científica do INPE (SICINPE)
Localização do Evento	São José dos Campos
Data	03 e 04 de ago. 2004
Editora (Publisher)	INPE
Ano	2004
Páginas	1-60
Título do Livro	Anais
Endereço da Editora	São José dos Campos
Organização	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Repositório do Metadado	sid.inpe.br/marciana/2004/11.19.15.15.26
Resumo	<p>Com o objetivo de estudar a Ionosfera Equatorial foi construído, pela Divisão de Aeronomia da Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, CEA-INPE/MCT, um radar de espalhamento coerente, que detecta as irregularidades de plasma, com escala de 3 metros de comprimento perpendiculares às linhas de Campo Geomagnético. O radar, denominado Radar de Espalhamento Coerente de 50 MHz (RESCO), está instalado no Observatório Espacial de São Luís, OESLZ/INPE-MCT, no Maranhão, com coordenadas geográficas Lat. 2,33° S, Long. 44,20° O e com Lat. Geomagnética 0,5° S, operando durante duas semanas a cada mês, de acordo com o Calendário Geofísico Internacional. A análise espectral do sinal recebido pelo Radar RESCO, retro-espalhado das Irregularidades do Eletrojato permite determinar o deslocamento Doppler em frequência e identificar os tipos de espectros que caracterizam as suas Irregularidades. Ao analisarmos a variação temporal destes ecos recebidos, nota-se que, por vezes, eles apresentam picos espúrios em meio aos dados reais. Isso é devido a interferências na recepção do sinal retro-espalhado pelas Irregularidades do Eletrojato, resultando em dados incertos e/ou incorretos. Uma vez que o Grupo de Pesquisa, Parceria INPE-UFSM, procura estudar com melhor resolução espacial e/ou temporal a fenomenologia dos eventos observados e que os sistemas modernos estão em desenvolvimento constante, a eliminação destas interferências indesejadas é um fator importante. Para este fim desenvolveu-se uma rotina de software para corrigir o ruído durante o pré-processamento do sinal, a qual está incorporada à biblioteca de rotinas do Radar e sendo utilizada para as análises corriqueiras. Esta rotina de filtragem desenvolvida no software IDL®, denominada "Remove_Outliers.PRO", atualmente baseia-se na suavização</p>

por Média Móvel (apesar de outras técnicas de suavização estarem sendo consideradas) e no desvio padrão dos dados recebidos pelo Radar RESCO. Para a sua aplicação são necessários, além dos dados a ser suavizados, o intervalo de pontos tomados para suavização e o valor de desvio padrão aceitável. Os dados que estiverem fora dos limites estipulados matematicamente são alterados. Assim, os picos espúrios são eliminados, resultando em dados mais confiáveis para análise. Neste trabalho, apresentamos estudos do Eletrojato Equatorial utilizando dados observacionais do Radar RESCO, assim como os resultados da filtragem do ruído pela rotina de software "Remove_Outliers.PRO", analisados no CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS, e na Sede do INPE, em São José dos Campos.

Última Atualização do Metadado	2004:11.19.17.15.27 sid.inpe.br/banon/2003/08.15.17.40 sergio
Site	<iris.sid.inpe.br:1916>
Idioma	Portuguese
Detentor da Cópia	SID/SCD
Divulgação	
Formato	Papel
Area	CEA
Grupo(s)	DAE
Afiliação	UFSM/INPE, Bolsista PIBIC/CNPq-MCT
Usuário Avançado	sergio
Grupo de Usuários	sergio
Visibilidade	shown
Data de Acesso	19 nov. 2004
atualizar	

[Fechar](#)

Estudo Da Eletrodinâmica Do Eletrojato Equatorial Baseado em Dados Observacionais do Radar de Espalhamento Coerente de São Luís

Henrique C. Aveiro¹ (UFSM/INPE, Bolsista PIBIC/CNPq-MCT)
Mangalathayil A. Abdu² (DAE/CEA/INPE-MCT)

RESUMO

Com o objetivo de estudar a Ionosfera Equatorial foi construído, pela Divisão de Aeronomia da Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, CEA-INPE/MCT, um radar de espalhamento coerente, que detecta as irregularidades de plasma, com escala de 3 metros de comprimento perpendiculares às linhas de Campo Geomagnético. O radar, denominado Radar de Espalhamento Coerente de 50 MHz (RESCO), está instalado no Observatório Espacial de São Luís, OESLZ/INPE-MCT, no Maranhão, com coordenadas geográficas Lat. 2,33° S, Long. 44,20° O e com Lat. Geomagnética 0,5° S, operando durante duas semanas a cada mês, de acordo com o Calendário Geofísico Internacional.

A análise espectral do sinal recebido pelo Radar RESCO, retro-espalhado das Irregularidades do Eletrojato permite determinar o deslocamento Doppler em frequência e identificar os tipos de espectros que caracterizam as suas Irregularidades. Ao analisarmos a variação temporal destes ecos recebidos, nota-se que, por vezes, eles apresentam picos espúrios em meio aos dados reais. Isso é devido a interferências na recepção do sinal retro-espalhado pelas Irregularidades do Eletrojato, resultando em dados incertos e/ou incorretos. Uma vez que o Grupo de Pesquisa, Parceria INPE-UFSM, procura estudar com melhor resolução espacial e/ou temporal a fenomenologia dos eventos observados e que os sistemas modernos estão em desenvolvimento constante, a eliminação destas interferências indesejadas é um fator importante. Para este fim desenvolveu-se uma rotina de *software* para corrigir o ruído durante o pré-processamento do sinal, a qual está incorporada à biblioteca de rotinas do Radar e sendo utilizada para as análises corriqueiras. Esta rotina de filtragem desenvolvida no *software* IDL[®], denominada “Remove_Outliers.PRO”, atualmente baseia-se na suavização por Média Móvel (apesar de outras técnicas de suavização estarem sendo consideradas) e no desvio padrão dos dados recebidos pelo Radar RESCO. Para a sua aplicação são necessários, além dos dados a ser suavizados, o intervalo de pontos tomados para suavização e o valor de desvio padrão aceitável. Os dados que estiverem fora dos limites estipulados matematicamente são alterados. Assim, os picos espúrios são eliminados, resultando em dados mais confiáveis para análise.

Neste trabalho, apresentamos estudos do Eletrojato Equatorial utilizando dados observacionais do Radar RESCO, assim como os resultados da filtragem do ruído pela rotina de *software* “Remove_Outliers.PRO”, analisados no CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS, e na Sede do INPE, em São José dos Campos.

¹Aluno do Curso de Engenharia Elétrica, UFSM. E-mail: aveiro@lacesm.ufsm.br

²Pesquisador do Departamento de Aeronomia, CEA / INPE. E-mail: abdu@dae.inpe.br



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO

Número

PIBIC-031/04

Título

Estudos da Eletrodinâmica Eletrojato Equatorial Baseado em Dados Observacionais do Radar de Espalhamento Coerente de São Luís

Autor

Henrique Carlotto Aveiro

Tradutor

Não há

Editor

Origem	Projeto	Série	No. de Páginas	No. de Fotos	No. de Mapas
			60	0	0

Tipo

RPQ PRE NTC PRP MAN PUD TAE

Divulgação

Externa Interna Reservada Lista de Distribuição Anexa

Periódico / Evento

Seminário de Iniciação Científica do INPE - SICINPE 2004

Convênio

Autorização Preliminar

___/___/___
Data

Coordenador do PIBIC
Programa Institucional de Bolsas
de Iniciação Científica do INPE

Revisão Técnica

Solicitada

Dispensada

Recebida

___/___/___

Devolvida

___/___/___

Titular de Nível "A"

Assinatura do Revisor

Revisão de Linguagem

Solicitada

Dispensada

Recebida

___/___/___

Devolvida

___/___/___

Titular de Nível "A"

Assinatura do Revisor

Autorização Final

___/___/___
Data

Marcos Dias da Silva
Coordenador de Ensino, Desenvolvimento e Programas Especiais - INPE

Palavras Chave

Eletrodinâmica - Eletrojato - São Luís



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-11561-PRE/6949

**ESTUDOS DA ELETRODINÂMICA ELETROJATO EQUATORIAL
BASEADO EM DADOS OBSERVACIONAIS DO RADAR DE
ESPALHAMENTO COERENTE DE SÃO LUÍS**

Henrique Carlotto Aveiro

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica
(PIBIC/CNPq/INPE-MCT)

INPE
São José dos Campos
2004



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ESTUDOS DA ELETRODINÂMICA ELETROJATO EQUATORIAL
BASEADO EM DADOS OBSERVACIONAIS DO
RADAR DE ESPALHAMENTO COERENTE DE SÃO LUÍS**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC/CNPq/INPE-MCT**

PROCESSO Nº 107616/2003-3

Henrique Carlotto Aveiro (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: aveiro@lacesm.ufsm.br

Dr. Mangalathayil Ali Abdu (DAE/CEA/INPE, Orientador)
E-mail: abdu@dae.inpe.br

Santa Maria, Maio de 2004



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Bolsista:

Henrique Carlotto Aveiro

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – UFSM

Processo:

107616/2003-3

Orientador:

Dr. Mangalathayil Ali Abdu

Pesquisador Titular - Departamento de Aeronomia

Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Colaboradores:

Dr. Clezio Marcos De Nardin – Aluno de Pós-Doutorado – DAE/CEA/INPE

Dr. Nelson Jorge Schuch – Chefe do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
– CRSPE/INPE

Diego dos Santos – Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – UFSM

Maiquel dos Santos Canabarro – Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica –
UFSM

Rafael Krummenauer – Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – UFSM

Thiago Brum Pretto – Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – UFSM

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório Radiofrequência e Comunicações – LRC/CRSPE/INPE–MCT

Laboratório Ionosfera Rádio Propagação – LIRP/CRSPE/INPE–MCT

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/ UFSM

Observatório Espacial de São Luís – OSLZ/DAE/CEA/INPE–MCT



AGRADECIMENTOS

O Bolsista aproveita a oportunidade deste Relatório para agradecer ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica, ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT pela possibilidade de desenvolver suas potencialidades técnico-científicas, ao seu orientador de Projeto de Pesquisa Dr. Mangalathayil Ali Abdu, Pesquisador Titular do DAE/CEA/INPE-MCT, em São José dos Campos, SP, pela atenção que dedicou ao Bolsista durante este trabalho, em especial aos Pesquisadores Dr. Clezio Marcos De Nardin, Pós-Doutorando do DAE/CEA/INPE-MCT, em São José dos Campos, SP, pelas horas que deixou de lado sua pesquisa e família, para dedicar seu tempo a compartilhar suas idéias e a ensinar a Ciência ao Bolsista, ao Dr. Nelson Jorge Schuch, Coordenador da Ação de Implantação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, pela leitura, sugestões de novos textos e pelas longas conversas sobre a Ciência e a Vida, e aos Alunos Diego dos Santos, Maiquel dos Santos Canabarro, Rafael Krummenauer e Thiago Brum Preto, estudantes do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria no âmbito da Parceria INPE-UFSM e Alunos de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT, pelas discussões e sugestões para este Relatório.



SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE SIGLAS E/OU ABREVIATURAS.....	6
LISTA DE FIGURAS	7
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	9
CAPÍTULO 2 - A IONOSFERA TERRESTRE.....	11
2.1 IONOSFERA TERRESTRE	12
2.2 – REGIÕES IONOSFÉRICAS	12
2.2.1 – <i>Região D</i>	13
2.2.2 – <i>Região E</i>	14
2.2.3 – <i>Região F1</i>	14
2.2.4 – <i>Região F2</i>	15
2.3 – PRODUÇÃO IÔNICA.....	15
2.3.1 – <i>Fotoionização</i>	16
2.3.2 – <i>Ionização por Impacto</i>	16
2.4 – PERDA DE IONIZAÇÃO.....	16
2.4.1 – <i>Recombinação Química</i>	16
2.4.2 – <i>Transporte Vertical</i>	17
2.5 – CONDUTIVIDADE IONOSFÉRICA	17
2.6 – TEORIA DO DÍNAMO ATMOSFÉRICO DA REGIÃO E.....	20
2.7 – ELETROJATO EQUATORIAL	21
2.7.1 – <i>Irregularidades do Eletrojato Equatorial</i>	22
CAPÍTULO 3 - O RADAR DE ESPALHAMENTO COERENTE DE 50 MHZ DO INPE/MCT INSTALADO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DE SÃO LUÍS DO MARANHÃO	25
3.1 – ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA – RESCO	25
3.1.1 – <i>Frequência de Operação</i>	25
3.1.2 – <i>Sistema Pulsado</i>	26
3.1.3 – <i>Largura do Pulso</i>	26
3.1.4 – <i>Frequência de Repetição de Pulso</i>	27
3.1.5 – <i>Potência do Transmissor</i>	28
3.2 – DESCRIÇÃO DO SISTEMA – RESCO	28
3.2.1 – <i>Sistema de Antenas</i>	28
3.2.2 – <i>Sistema Transmissor</i>	29
3.2.3 – <i>Sistema Receptor</i>	30
3.2.4 – <i>Sistema de Controle e Armazenamento dos Dados</i>	31
3.3 – PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS DO RESCO.....	32
3.3.1 – <i>A Aplicação das Rotinas de Processamento dos Dados</i>	33
3.3.2 – <i>Modelo de Ajuste dos Espectros de Potência</i>	33
CAPÍTULO 4 - AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM SANTA MARIA, RS, PARCERIA INPE-UFSM DO PROGRAMA PIBIC/INPE-CNPQ/MCT	36
4.1 – A REVISÃO TEÓRICA.....	36
4.1.1 – <i>Ionosfera Terrestre</i>	36
4.1.2 – <i>O Sol</i>	37
4.1.3 – <i>Sondadores Ionosféricos</i>	38



4.1.4 – <i>O Radar de Espalhamento Coerente de 50 MHz (RESCO)</i>	38
4.2 – ATIVIDADES DE PESQUISA RELACIONADAS COM O RADAR	38
4.2.1 – <i>Filtro Simples</i>	40
4.2.2 – <i>Filtro Savitzky-Golay</i>	40
4.2.3 – <i>Filtros Digitais Modernos</i>	41
4.2.4 – <i>Aplicação da Filtragem</i>	41
4.3 – PARTICIPAÇÃO EM ATIVIDADES DE EXTENSÃO / CONGRESSOS / CURSOS	44
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
APÊNDICE A	53
APÊNDICE B	54



LISTA DE SIGLAS E/OU ABREVIATURAS

CEA	- Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas
CRSPE	- Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CT	- Centro de Tecnologia
DAE	- Departamento de Aeronomia
EUV	- <i>Extreme Ultra Violet</i> (Ultra Violeta Extremo)
FFT	- <i>Fast Fourier Transform</i> (Transformada Rápida de Fourier)
LACESM	- Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria
OESLZ	- Observatório Espacial de São Luís do Maranhão
PRF	- <i>Pulse Repetition Frequency</i> (Frequência de Repetição de Pulso)
RESCO	- Radar de Espalhamento Coerente em 50 MHz instalado no OESLZ/INPE-MCT
RTI	- <i>Range Time Intensity</i> (Intensidade Temporal em Altura)
T/R	- Transmissão / Recepção
UFMS	- Universidade Federal de Santa Maria
VHF	- <i>Very High Frequency</i> (Frequência Muito Alta)



LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Classificação da Atmosfera neutra e da Atmosfera ionizada terrestre.	11
2.2 À esquerda, a localização das três camadas ionosféricas conhecidas no perfil ionosférico, com sua nomenclatura. E à direita, a dimensão aproximada da Ionosfera (em azul similar à esquerda) em relação à Terra.	13
2.3 Perfil de condutividade mostrando a variação das condutividades longitudinal σ_0 , Pedersen σ_1 e Hall σ_2 com a altura. Para conversão 1 e.m.u. (cgs) = 10^{11} S/m (SI).	19
2.4 Formação do sistema Sq de correntes, baseado na Teoria do Dínamo Atmosférico. No esquema são mostrados os ventos neutros \mathbf{U} no sentido dos pólos no lado iluminado pelo Sol, as correntes de altas latitudes $\mathbf{J} = \underline{\sigma} \cdot (\mathbf{U} \times \mathbf{B}) - \nabla\Phi$ que polarizam os terminadores e o Eletrojato Equatorial $\mathbf{J} = \underline{\sigma} \cdot \mathbf{E}$	21
2.5 Espectros de irregularidades Tipo 1, à esquerda, e irregularidades Tipo 2, à direita, dos dados do RESCO no dia 24 de janeiro de 2001, às 14 horas, para a altura de 105,2 km, medidas no Observatório Espacial de São Luís do Maranhão/INPE-MCT.	22
3.1 Fotografia do Observatório Espacial de São Luís do Maranhão do INPE-MCT, onde pode ser visto o conjunto de antenas do Radar de Espalhamento Coerente - RESCO.	29
3.2 Diagrama em blocos mostrando esquema de transmissão para radar usando 8 transmissores com divisores de potência e deslocadores de fase de baixa potência do Sistema Radar RESCO.	30
3.3 Diagrama em blocos mostrando esquema de recepção para o radar ionosférico, utilizando o sistema de chaves T/R para comutação entre os sistemas de transmissão e recepção do Sistema Radar RESCO.	31



3.4	Exemplo de mapa de variação temporal de intensidade de potência em função da altura obtido pelo RESCO no Observatório Espacial de São Luís do Maranhão do INPE-MCT.	34
3.5	Espectro de frequência simulado, em preto, e seu ajuste por Gaussianas, em azul. A linha tracejada vermelha indica o centro da distribuição, a linha verde indica o nível de ruído e a diferença entre as linhas vermelha e violeta indica os respectivos desvios padrões.	35
4.1	A estrutura solar interna e externa.	37
4.2	Variação temporal(número de pulsos emitidos) da tensão recebida pelo radar no dia 22 de janeiro de 2003 para a faixa de alturas 98,7 – 101,3 km, no Observatório Espacial do INPE-MCT de São Luís do Maranhão, reduzidos no CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.....	39
4.3	Dados de (a) Variação temporal (número de pulsos emitidos) da tensão recebida pelo radar no dia 22 de janeiro de 2003 para a faixa de alturas 98,7 – 101,3 km; (b) Valor suavizado por média móvel de 3 pontos; (c)Diferença entre a variação temporal da tensão e dados suavizados. Dados reduzidos e analisados no âmbito da Parceria INPE-UFSM, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.	42
4.4	Dados de (a) Variação temporal (número de pulsos emitidos) da tensão recebida pelo radar no dia 22 de janeiro de 2003 para a faixa de alturas 98,7 – 101,3 km; e (b) Dados filtrados da respectiva data e altura. Dados reduzidos e analisados no âmbito da Parceria INPE-UFSM, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.	43



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Neste relatório apresentamos as atividades relativas ao Projeto Estudos da Eletrodinâmica Eletrojato Equatorial Baseado em Dados Observacionais do Radar de Espalhamento Coerente de São Luís (Processo nº 107616/2003-3) desenvolvidas no período de julho de 2003 a maio de 2004 pelo aluno Henrique Carlotto Aveiro, bolsista de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq/MCT. Neste período, o aluno desenvolveu atividades de estudo teórico do tema e aplicou seus conhecimentos desenvolvendo uma rotina de programação para correção do ruído presente nos dados do radar de espalhamento coerente, equipamento utilizado para investigações do Eletrojato Equatorial. A intenção deste trabalho foi de melhorar a qualidade dos dados obtidos pelo retro-espalhamento do sinal nas irregularidades do Eletrojato Equatorial e, por consequência, permitir uma interpretação mais precisa dos resultados.

Devido os sistema modernos estarem em constante desenvolvimento, neste contexto, nosso Grupo de Pesquisa, Parceria INPE-UFSM, procura acompanhar as novas tecnologias, permitindo que, cada vez mais, estudos detalhados e com melhor resolução espacial e/ou temporal sejam realizados. Com isso, podemos descrever melhor a fenomenologia e/ou fornecer explicações mais detalhadas dos eventos observados.

Apresentamos no Capítulo 2 uma breve descrição da teoria necessária para a compreensão da Ionosfera, bem como a dinâmica do Eletrojato Equatorial. O Capítulo 3 descreve o *hardware* e o pré-processamento dos dados do equipamento utilizado para o estudo das irregularidades do Eletrojato: o Radar de Espalhamento Coerente em 50 MHz, RESCO. O Capítulo 4 é dedicado à apresentação das atividades desenvolvidas pelo bolsista: estudo teórico, aplicação tecnológica e participação em eventos



científicos. Por fim, no Capítulo 5, apresentamos as conclusões relativas às atividades relacionadas no período.



CAPÍTULO 2

A IONOSFERA TERRESTRE

A Atmosfera da Terra pode ser discutida em termos de uma mistura de dois componentes: o componente minoritário, a Atmosfera ionizada (Ionosfera) e o componente majoritário, a Atmosfera neutra. Considerada como um sistema estático, a Atmosfera neutra é descrita por quatro propriedades: pressão, densidade, temperatura e composição. Com essas propriedades podemos determinar o comportamento atmosférico e sua classificação. Essa classificação, por exemplo, é feita de acordo com as variações em altura da temperatura, da composição e do estado de mistura dos gases, embora a primeira citada seja a mais usada. A Figura 2.1 ilustra os termos usados para estas várias regiões. Da esquerda para direita vemos a classificação da Atmosfera de acordo com: a variação da temperatura; a variação da composição; o escape gasoso; e a densidade da Atmosfera ionizada.

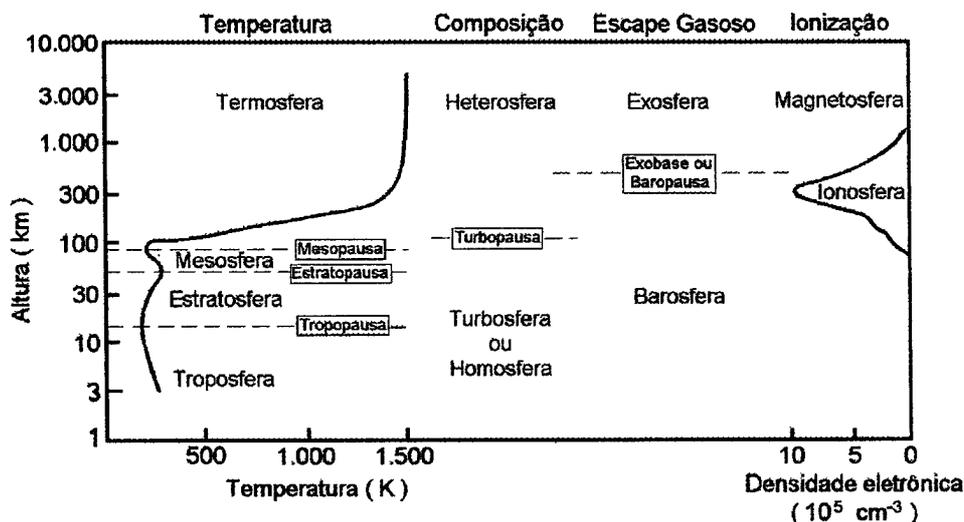


Fig. 2.1 – Classificação da Atmosfera neutra e da Atmosfera ionizada terrestre.
FONTE: Hargreaves (1992, p. 99).



2.1 Ionosfera Terrestre

A Ionosfera é a porção ionizada da Atmosfera terrestre, localizando-se entre aproximadamente 70 km até em torno de 2000 km de altitude. Ela é o resultado da interação dos agentes ionizantes solares e cósmicos com os constituintes da Atmosfera neutra, gerando uma camada condutora de plasma ionosférico. Uma vez formada a Ionosfera, seus íons e elétrons tendem a se recombinar e reagir com outras espécies de gases e produzir outros íons. Assim, há um equilíbrio dinâmico no qual a concentração líquida de elétrons livres, densidade eletrônica, depende da taxa relativa de produção e perda, também sendo considerado o efeito do transporte. Em termos gerais a taxa de troca de densidade eletrônica é expressa pela equação da continuidade (Hargreaves, 1992):

$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - L - \nabla \cdot (Nv), \quad (2.1)$$

onde q é a taxa de produção, L é a taxa de recombinação, $\nabla \cdot (Nv)$ expressa a perda de elétrons por transporte, sendo v a velocidade.

Na Ionosfera encontramos diversos íons, porém alguns merecem destaque especial. Na sua porção superior ela é formada, basicamente, pelo íon de oxigênio atômico (O^+), porém se destacam o óxido nítrico (NO^+) e o oxigênio molecular (O_2) nas regiões inferiores. O íon de nitrogênio, apesar de importante íon primário, apresenta reações de perda para NO^+ bastante eficientes.

2.2 – Regiões Ionosféricas

Devido as diferentes composições, processos de ionização, densidade eletrônica e altura, a Ionosfera é dividida em três regiões básicas: Região D, Região E e Região F,

que por sua vez é subdividida em regiões F1 e F2. A Figura 2.2 ilustra as três camadas com suas respectivas alturas e densidades eletrônicas.

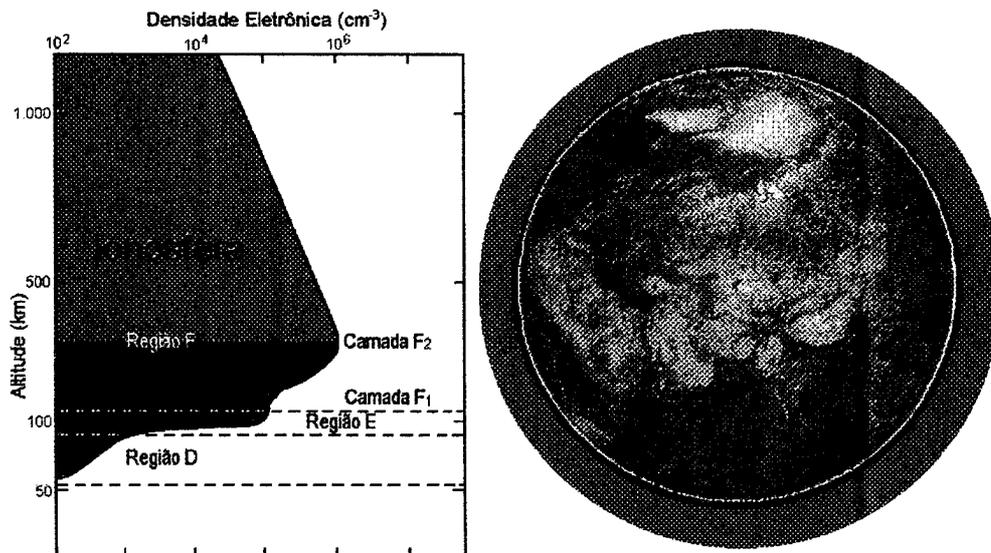


Fig. 2.2 – À esquerda, a localização das três camadas ionosféricas conhecidas no perfil ionosférico, com sua nomenclatura. E à direita, a dimensão aproximada da Ionosfera (em azul similar à esquerda) em relação à Terra.

FONTE: Adaptada de Kivelson e Russell (1995, p. 11).

2.2.1 – Região D

A Região D é a porção mais baixa da Ionosfera terrestre. Ela é uma camada que se inicia em torno dos 60 km e se prolonga até aproximadamente 95 km. Ela é muito importante do ponto de vista da radiopropagação (Kelley, 1989), pois pode atenuar, refletir e/ou absorver o sinal de rádio. No entanto, durante a noite essa camada tem sua densidade muito reduzida, a ponto de não ser detectada pela maioria dos equipamentos de rádio-sondagens utilizados para monitoramento ionosférico.

Dentre as camadas ionosféricas, a Região D é considerada a mais complexa do ponto de vista químico. Como causas principais podemos citar a alta pressão e a grande variedade



de fontes de ionização que contribuem para a produção iônica. Dentre as fontes de ionização, as principais são:

- a radiação na linha Lyman- α (1216 Å);
- a radiação na faixa do Ultravioleta Extremo (com λ entre 1027 e 1118 Å);
- a radiação na faixa dos Raios-X (com λ entre 2 e 8 Å);
- os raios cósmicos galácticos; e
- as partículas de origem solar ou auroral.

2.2.2 – Região E

Essa camada inicia por volta dos 90 km e se estende por aproximadamente 50 km. Durante a noite sua densidade eletrônica diminui significativamente, pois sua principal fonte produtora, o Sol, está ionizando o outro hemisfério. Nesse horário sua densidade eletrônica fica em torno de 5×10^9 elétrons/m³, enquanto que durante o dia é 10^{11} elétrons/m³. Ela possui dois íons majoritários: NO⁺ e O₂⁺, mas também é caracterizada pela presença de íons metálicos como Mg⁺ e Fe⁺. A presença destes íons metálicos é creditada à deposição de meteoros pelo atrito com a atmosfera terrestre. E deve ser mencionado que estes íons são os responsáveis pela formação das camadas E-espóradas em médias latitudes.

Também é na região E equatorial que temos a formação do eletrojato equatorial, o objetivo de estudo deste trabalho e que será melhor apresentado nas seções que se seguem. Por ora mencionamos que este é uma corrente eletrônica restrita à região ao longo do equador magnético.

2.2.3 – Região F1

Nessa camada encontramos o pico primário da camada F, e por isso recebe esse nome. Tem início por volta dos 140 km e estende-se por aproximadamente 20 - 40 km. A



espécie molecular predominante nessa região é o N_2 e o íon majoritário é o O^+ . Sua concentração de elétrons varia de $2,5 \times 10^{11}$ a 4×10^{11} elétrons/ m^3 . Porém, à noite a densidade eletrônica dessa região se reduz significativamente ao ponto desta camada ficar imersa na camada F2.

2.2.4 – Região F2

A Região F2 localiza-se na parte mais alta da Ionosfera e seu máximo de concentração eletrônica é aproximadamente 10^{12} elétrons/ m^3 , o que está em torno dos 300 km de altitude. No entanto, durante a noite sua densidade eletrônica decai para cerca de 5×10^{10} elétrons/ m^3 . Dentre todas as regiões, ela é a que apresenta a maior concentração de elétrons da Ionosfera Terrestre, mesmo durante a noite. Isso ocorre por diversos fatores, entre eles, ela possuir íons atômicos como espécie predominante, os quais possuem menor taxa de recombinação.

Há grande interesse no estudo da rádio propagação através desta região, devido ela possuir um grande número de irregularidades ionosféricas, as quais alteram significativamente as características do meio e apresentam um comportamento de difícil previsão.

2.3 – Produção Iônica

A ionização da Atmosfera neutra se dá basicamente através de duas fontes: os fótons e a precipitação de partículas de alta energia. Porém, para ocorrer a ionização, tanto as partículas energéticas, quanto os fótons ionizantes devem possuir energias superiores ao potencial de ionização ou à energia das ligações dos átomos ou moléculas da Atmosfera neutra. Na equação da continuidade (Equação 2.1), a produção iônica é representado pela variável “q”.



2.3.1 – Fotoionização

É o processo no qual a Ionosfera Terrestre absorve radiação, quase que exclusivamente solar. Apesar de quase a totalidade dos comprimentos de onda da radiação do Espectro Eletromagnético interagir com a Atmosfera Neutra Terrestre, existem duas faixas onde este processo é mais efetivo: na faixa espectral do Extremo Ultravioleta (EUV) e dos Raios-X. Além disso, a radiação conhecida com Lyman- α contribui significativamente para a produção iônica da Atmosfera Terrestre.

2.3.2 – Ionização por Impacto

É o processo no qual há o choque de partículas de alta energia com os constituintes da Atmosfera neutra. Essas partículas podem ser oriundas do espaço ou podem ser elétrons ou íons locais acelerados. Esse processo é particularmente importante em altas latitudes, já que a radiação solar não incide tão intensamente nessa região quanto no equador, devido ao ângulo de inclinação da Terra na eclíptica.

2.4 – Perda de Ionização

A perda de ionização são os processos que diminuem a densidade eletrônica da Ionosfera. Ela é representada basicamente pela recombinação química de íons e elétrons e pelos movimentos do plasma.

2.4.1 – Recombinação Química

A recombinação química engloba todos os processos de neutralização da Atmosfera Ionizada. Há uma vasta gama de reações químicas que contribuem para esta neutralização, porém destacamos duas classes: recombinação radioativa e recombinação



dissociativa. Na equação da continuidade, Equação 2.1, a recombinação química é representada pela variável “L”.

A recombinação radioativa é o processo de recombinação no qual uma carga positiva recombina-se com um elétron, liberando energia na forma de fótons, representado pela equação:



A recombinação dissociativa é o processo de recombinação na qual uma molécula de carga positiva (XY^+) entra em reação com um elétron, dissociando os dois elementos, representado pela equação:



2.4.2 – Transporte Vertical

O movimento do plasma de íons e elétrons acontece tanto horizontalmente, como verticalmente, porém este último costuma ser mais eficiente nos processos de perda da região F da Ionosfera. Na equação da continuidade, Equação 2.1, o transporte vertical é representado pelo termo “ $\nabla \cdot (Nv)$ ”.

2.5 – Condutividade Ionosférica

A condutividade elétrica de um dado meio é determinada pela razão entre a densidade de corrente, J em A/m^2 , e o campo elétrico, E em V/m : $\sigma = J / E = (n e v) / E$, onde v é a velocidade das partículas relevantes, n é a densidade eletrônica e e a carga da cada partícula.

Devido à complexidade gerada pela presença simultânea dos campos elétricos e magnéticos, convencionou-se apresentar a condutividade ionosférica em termos das suas componentes: ao longo do campo magnético; ao longo do campo elétrico e perpendicular a ambas. A componente da condutividade ao longo do campo magnético é dada por:

$$\sigma = \frac{ne^2}{m\nu}, \quad (2.4)$$

onde ν é a taxa de colisão com as partículas neutras (s^{-1})

No entanto, se considerarmos que há íons e elétrons, temos a condutividade σ_0 , conhecida como condutividade direta ou longitudinal. Ela representa a condutividade paralela ao campo geomagnético, \mathbf{B} .

$$\sigma_0 = n \cdot e^2 \cdot \left(\frac{1}{m_e \nu_e} + \frac{1}{m_i \nu_i} \right). \quad (2.5)$$

A condutividade Pedersen ou transversal (σ_1) refere-se a condutividade na direção da componente de \mathbf{E} perpendicular a direção de \mathbf{B} .

$$\sigma_1 = n \cdot e^2 \cdot \left(\frac{\nu_e}{m_e (\nu_e^2 + \Omega_e^2)} + \frac{\nu_i}{m_e (\nu_i^2 + \Omega_i^2)} \right). \quad (2.6)$$

A condutividade Hall (σ_2) refere-se a condutividade na direção perpendicular, simultaneamente, as direções de \mathbf{B} e da componente de \mathbf{E} perpendicular a direção de \mathbf{B} .

$$\sigma_2 = n \cdot e^2 \cdot \left(\frac{\Omega_e}{m_e (\nu_e^2 + \Omega_e^2)} - \frac{\Omega_i}{m_e (\nu_i^2 + \Omega_i^2)} \right). \quad (2.7)$$

Nas equações acima Ω_e e Ω_i são as frequências ciclotrônicas, ν_e e ν_i são as frequências de colisão, m_e e m_i são as massas dos elétrons e íons respectivamente, “e” é a carga dos elétrons e “n” é a densidade de plasma.

Uma distribuição em altura calculada da condutividade na Ionosfera de médias latitudes ao meio-dia é mostrado na Figura 2.3. Nesta Figura nota-se que os picos das condutividades Pedersen e Hall ocorrem na Região E, decaindo acentuadamente acima e abaixo deste máximo. No equador magnético esse pico fica em torno de 150 km para a condutividade Pedersen e 130 km para a Hall (Denardini, 1999).

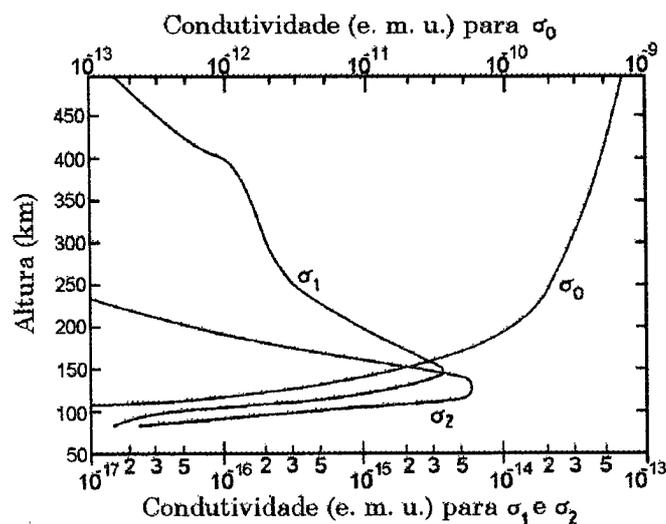


Fig. 2.3 – Perfil de condutividade mostrando a variação das condutividades longitudinal σ_0 , Pedersen σ_1 e Hall σ_2 com a altura. Para conversão 1 e.m.u. (cgs) = 10^{11} S/m (SI).
 FONTE: Akasofu e Chapman (1972, p. 244).

Utilizando estas três variáveis, σ_0 , σ_1 e σ_2 , chegamos a equação do tensor condutividade elétrica, $\underline{\sigma}$, o qual generaliza a relação de \mathbf{E} com \mathbf{J} , e é dado por:

$$\underline{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_0 \cdot \cos^2(I) + \sigma_1 \cdot \sin^2(I) & \sigma_2 \cdot \sin(I) & -(\sigma_0 - \sigma_1) \cdot \sin(I) \cdot \cos(I) \\ -\sigma_2 \cdot \sin(I) & \sigma_1 & -\sigma_2 \cdot \cos(I) \\ -(\sigma_0 - \sigma_1) \cdot \sin(I) \cdot \cos(I) & \sigma_2 \cdot \cos(I) & \sigma_1 \cdot \cos^2(I) + \sigma_0 \cdot \sin^2(I) \end{bmatrix}, \quad (2.8)$$



sendo “ T ” o ângulo da inclinação de \mathbf{B} . Na região do Equador Geomagnético este valor é nulo, logo, nesta região, o tensor condutividade $\underline{\sigma}$ resume-se a:

$$\underline{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_1 & -\sigma_2 \\ 0 & \sigma_2 & \sigma_1 \end{bmatrix}. \quad (2.9)$$

Usando, para a região equatorial, a relação $\mathbf{J} = \underline{\sigma} \cdot \mathbf{E}$, obtemos as seguintes equações:

$$\begin{cases} J_x = \sigma_1 \cdot E_x + \sigma_2 \cdot E_y, \\ J_y = -\sigma_2 \cdot E_x + \sigma_1 \cdot E_y. \end{cases} \quad (2.10)$$

Como y está na direção vertical, logo J_y deve ser zero, devido a queda acentuada da condutividade mostrada na Figura 2.3. Assim, resolvendo o sistema anterior temos:

$$J_y = \left(\sigma_1 + \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1} \right) E_x \Rightarrow J_y = \sigma_3 \cdot E_x, \quad (2.11)$$

onde σ_3 é a condutividade Cowling, a condutividade na direção do Eletrojato Equatorial.

2.6 – Teoria do Dínamo Atmosférico da Região E

Com a incidência da radiação solar na Terra, há o aquecimento da Atmosfera neutra. O aquecimento leva a expansão da Atmosfera, fazendo com que estas moléculas colidam com elétrons e íons, arrastando-os. Além do aquecimento solar, a atração lunar também é responsável pelas marés atmosféricas provocando o surgimento de ventos neutros \mathbf{U} . Estes ventos sopram para os pólos durante o dia, através do Campo Geomagnético induzindo campos elétricos $\mathbf{E} = \mathbf{U} \times \mathbf{B}$ em altas latitudes, devido a inclinação do Campo

Magnético. Estes fenômenos polarizam o terminador do lado do amanhecer positivamente e negativamente do lado do anoitecer.

2.7 – Eletrojato Equatorial

Um dos efeitos do Dínamo Atmosférico da Região E é polarizar o lado do amanhecer positivamente e negativamente o lado do anoitecer. Como a condutividade ionosférica na região do Equador Geomagnético, Condutividade Cowling, é máxima entre 90 e 120 km de altura, possuímos nesta região uma corrente fluindo de oeste para leste no lado do amanhecer e de leste para oeste do lado do anoitecer, Figura 2.3, porém os valores das correntes não são idênticos para os dois lados, já que a condutividade ionosférica depende diretamente da densidade eletrônica (veja as Equações 2.5 a 2.7). Esta corrente que circula pela região equatorial numa faixa de 6° de latitude é denominada Eletrojato Equatorial.

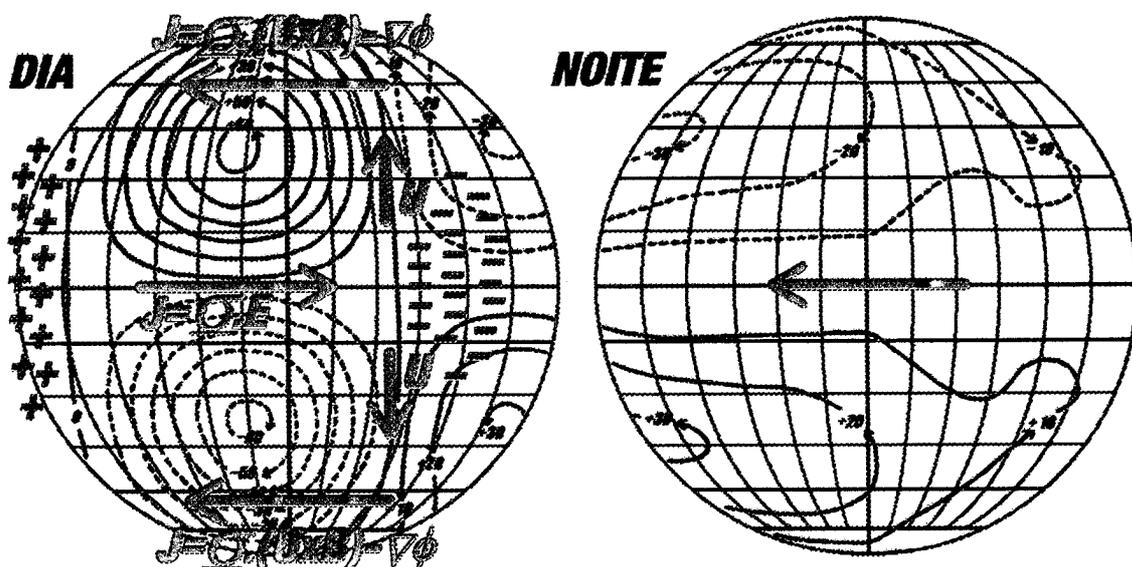


Fig. 2.4 – Formação do Sistema Sq de correntes, baseado na Teoria do Dínamo Atmosférico. No esquema são mostrados os ventos neutros \mathbf{U} no sentido dos pólos no lado iluminado pelo Sol, as correntes de altas latitudes $\mathbf{J} = \sigma \cdot (\mathbf{U} \times \mathbf{B}) - \nabla\Phi$ que polarizam os terminadores e o Eletrojato Equatorial $\mathbf{J} = \sigma \cdot \mathbf{E}$.

FONTE: Adaptada de Chapman e Bartels (1940, p. 228).

2.7.1 – Irregularidades do Eletrojato Equatorial

Como mostrado anteriormente, o Eletrojato faz parte do sistema de correntes e campos elétricos controlados pela ação do Dínamo Atmosférico. Estudos feitos utilizando radar VHF mostraram dois tipos distintos de irregularidades no Eletrojato Equatorial: irregularidades Tipo 1 e Tipo 2, ver Figura 2.5.

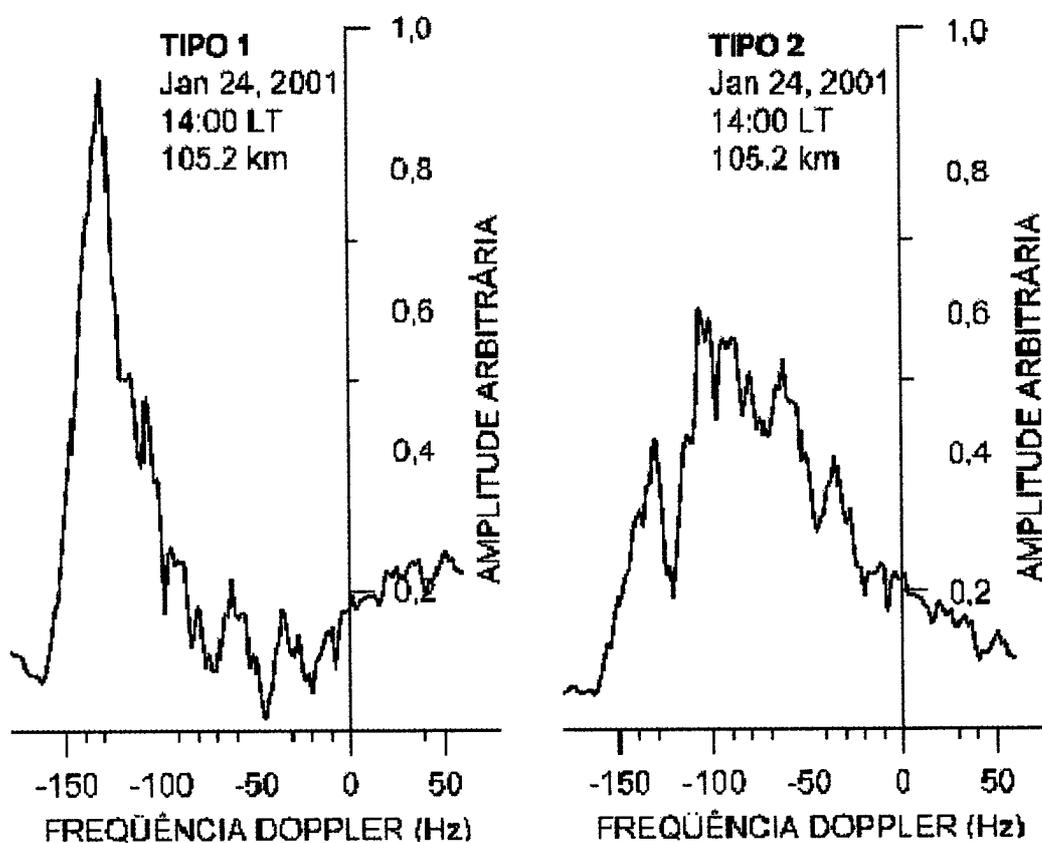


Fig. 2.5 – Espectros de irregularidades Tipo 1, à esquerda, e irregularidades Tipo 2, à direita, dos dados do Radar de Espalhamento Coerente em 50 MHz, no dia 24 de janeiro de 2001, as 14 horas, para a altura de 105,2 km, medidas no Observatório Espacial de São Luís do Maranhão/INPE-MCT.

Irregularidades relacionadas à instabilidade de dois-feixes, *two-stream*, são conhecidas como ecos Tipo 1 e são caracterizadas por um espectro fino de alta amplitude. A teoria



desta instabilidade mostra que ela se aplica a ondas propagando-se num cone de ângulo θ , dado por:

$$V_d \cdot \cos\theta = C_s(1 + \psi), \quad (2.12)$$

onde V_d é velocidade relativa entre elétrons e íons, C_s é a velocidade íon-acústica, aproximadamente 360 m/s, e

$$\psi = \frac{v_e \cdot v_i}{\Omega_e \cdot \Omega_i} \cdot \left(\sin^2 \alpha + \frac{\Omega_e^2}{v_e^2} \cdot \cos^2 \alpha \right), \quad (2.13)$$

onde α é o ângulo entre a onda e o campo magnético, v e Ω são a colisão e girofrequência dos elétrons e íons (Hargreaves, 1992). O valor que a velocidade íon-acústica deve ser excedida depende de ψ , que, por sua vez, depende de α . Para propagação normal ao campo, $\alpha=90^\circ$, ψ é aproximadamente 0,3 na Região E, mas aumenta rapidamente como α afasta-se de 90° , já que Ω_e é em torno de 100 vezes maior que v_e . Este é o motivo pelo qual ondas eletrostáticas geradas por este mecanismo costumam propagar-se na direção normal ao campo magnético e porque a diferença de velocidades é próxima a velocidade íon-acústica.

Em dias magneticamente calmos, ecos relacionados com esse tipo de irregularidade são esperados em horários entre as 10 e 13 horas local (Forbes, 1981).

Irregularidades relacionadas à instabilidade deriva de gradiente, *Gradient Drift*, são conhecidas como ecos Tipo 2 e são caracterizadas por um espectro mais largo e de amplitude inferior às irregularidades Tipo 1. Este tipo de instabilidade ocorre em plasmas não homogêneos quando campos elétricos de polarização, E_p , possuem uma componente muito acentuada na direção paralela ao gradiente de densidade. Devido a existência do campo magnético, B , obtemos uma força vertical $E_p \times B$, a qual pode estar



orientada para cima ou para baixo, dependendo da distribuição de densidade da região perturbada.

Em dias magneticamente calmos, ecos relacionados com esse tipo de irregularidade podem aparecer desde os primeiros horários da manhã até o pôr-do-sol (Denardini, 1999).



CAPÍTULO 3

O RADAR DE ESPALHAMENTO COERENTE EM 50 MHZ DO INPE/MCT INSTALADO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DE SÃO LUÍS DO MARANHÃO

Com o objetivo de estudar as Bolhas Ionosféricas e o Eletrojato Equatorial foi construído pela Divisão de Aeronomia da Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, CEA-INPE/MCT, um radar de espalhamento coerente, que detecta as irregularidades de plasma, com escala de 3 metros de comprimento perpendiculares às linhas de Campo Geomagnético. A análise espectral dos ecos recebidos das irregularidades do Eletrojato permite determinar o deslocamento Doppler em frequência e identificar os tipos de espectros que caracterizam as suas irregularidades. O radar, denominado Radar de Espalhamento Coerente de 50 MHz (RESCO), está instalado no Observatório Espacial de São Luís, OESLZ/INPE-MCT, no Maranhão, com coordenadas geográficas Lat. 2,33° S, Long. 44,20° O e com Lat. Geomagnética 0,5° S, operando durante duas semanas a cada mês, de acordo com o Calendário Geofísico Internacional.

3.1 – Especificações do Sistema – RESCO

Os parâmetros do radar foram escolhidos de acordo com o tipo de estudo a ser conduzido. A seguir consta a explicação dos parâmetros mais relevantes, bem como das considerações para suas escolhas.

3.1.1 – Frequência de Operação

Usualmente, frequências na porção inferior da banda VHF são usadas para estudos utilizando radares de espalhamento coerente. A frequência de operação do radar é um importante parâmetro, pois ela seleciona a escala da irregularidade que vai ser sondada. Os ecos coerentes de irregularidades são obtidos quando a escala da irregularidade é



metade do comprimento de onda correspondente da frequência do radar e resultam na recepção num sinal mais forte. Frequências abaixo de 30 MHz e acima de 54 MHz não podem ser utilizadas pois entram na faixa do Espectro reservado para radiodifusão e TV. Com base nos dados acima, entre outras características desejadas, 50 MHz foi a frequência de operação escolhida para o Radar RESCO.

3.1.2 – Sistema Pulsado

Sistemas de onda contínua são ideais para medir deslocamento Doppler, porém, para este Radar, também é necessário uma boa medição da altura da fonte e sistemas pulsados podem mais facilmente obter estes dois parâmetros. O único cuidado a ser tomado é que a Frequência de Repetição de Pulsos (*Pulse Repetition Frequency – PRF*) deverá ser maior que duas vezes o máximo deslocamento esperado. Assim o sistema pulsado foi escolhido para o Radar RESCO.

3.1.3 – Largura do Pulso

Num sistema de radar pulsado simples a relação sinal-ruído do eco refletido é proporcional à potência média do radar (Skolnik, 1961). A potência média aumenta com a largura do pulso e com a frequência de repetição de pulsos para uma dada potência de pico. No entanto, a PRF é limitada para evitar ambigüidades nas medidas de altura e, além disso, a largura do pulso é inversamente proporcional à resolução em altura.

A resolução em altura é dada por:

$$dh = \text{sen}(\theta) dR + \frac{h}{\tan(\theta)} d\theta, \quad (3.1)$$



onde:

h = altura zenital do solo ao ponto de reflexão (m);

R = distância em linha reta do ponto de reflexão ao radar (m);

dh = resolução em altura (m);

θ = ângulo de elevação de R em relação ao plano do solo (rad);

dR = resolução em altura = $c \cdot \tau / 2$, onde c é a velocidade da luz (m/s) e τ é a largura do pulso (μs);

$d\theta$ = ângulo de abertura do feixe da antena (rad).

Como descrito na Seção 2.2, a Região E estende-se de 90 a 120 km, enquanto que a Região F, localiza-se entre 120 a 400 km. Desta forma, os requisitos de resolução são diferentes para estas duas regiões ionosféricas, levando a escolha da largura do pulso ser variável de 5 a 100 μs .

3.1.4 – Frequência de Repetição de Pulso

Como mencionado anteriormente, pelo critério de Nyquist, a “PRF” deve ser maior que duas vezes o máximo deslocamento Doppler esperado. Porém, este parâmetro não pode ser muito alto pois causaria ambigüidades nas medições de altura. Além disso, as velocidades e as alturas são diferentes para as regiões E e F. e, conseqüentemente, as “PRF's” serão diferentes para estas duas regiões.

No caso da Região E, assumindo a velocidade máxima de propagação das irregularidades nesta região como sendo 400 m/s e considerando 120 km como a altura máxima para esta camada, temos uma “PRF” limitada de 266.6 a 1080 Hz. Para a Região F, assumindo a velocidade máxima de 200 m/s para as irregularidades e tomando 800 km como a altura máxima desta região, resultamos numa “PRF” limitada de 133.4 a 162 Hz.



Desta forma, para satisfazer os requisitos para ambas as regiões, foi escolhida para o radar uma “PRF” variável entre 100 e 1000 Hz.

3.1.5 – Potência do Transmissor

Para estudarmos as irregularidades das regiões E era necessário um transmissor de alguns quilowatts, no entanto para estudar ecos de espalhamento-F com boa precisão fazia-se necessário um transmissor de dezenas de quilowatts (Janardhanan, 1983).

Como resultado destes requisitos foi escolhido a utilização de oito transmissores de 15 kW, totalizando a potência de 120 kW. Além disso, um sistema de 8 transmissores permite que a refrigeração seja feita com ventilação forçada, diminuindo os custos de instalação e operação de radares deste tipo.

3.2 – Descrição do Sistema – RESCO

O Sistema completo do Radar RESCO pode ser dividido basicamente em 4 partes: Sistema de Antenas, Sistema Transmissor, Sistema Receptor, e Sistema de Controle e Armazenamento de Dados do radar. À seguir é dada uma breve descrição de cada um dos sistemas, sendo que partes comuns aos sistemas transmissor e receptor, que são os osciladores, serão descritas no sistema transmissor apenas com caráter didático.

3.2.1 – Sistema de Antenas

O Sistema de Antenas do Radar RESCO é composto por 768 dipolos de cabo coaxial, dispostos no arranjo de 16 x 48, ver Figura 3.1. As 16 antenas são dispostas em pares para sua alimentação pelos 8 transmissores. Cada antena do arranjo consiste de 48 dipolos ligados em série, dois a dois, alinhados no sentido norte-sul, resultando num ganho total para a antena de 32.5 dB.



Fig. 3.1 – Fotografia do Observatório Espacial de São Luís do Maranhão do INPE/MCT, onde podem ser visto o conjunto de antenas do Radar de Espalhamento Coerente - RESCO. FONTE: Cortesia Dr. Mangalathayil Ali Abdu.

Como as irregularidades são posicionadas na direção das linhas do Campo Magnético Terrestre outro fator determinante foi a escolha da largura do feixe nos sentidos norte-sul e leste-oeste. Para a largura do feixe no sentido norte-sul foi escolhido o valor de 3° , no sentido leste-oeste foi escolhida uma largura de feixe de 5° .

3.2.2 – Sistema Transmissor

O Sistema Transmissor do RESCO é composto de um oscilador de 30 MHz, um oscilador de 50 MHz, dois moduladores de pulso, um misturador, um amplificador de 80 MHz, um divisor de potência, oito deslocadores de fase, oito transmissores e oito módulos duplexadores-pré-amplificadores. A potência de pico (120 kW) é dividida igualmente entre os transmissores, assim resultando na irradiação de 15 kW de pico em cada um deles.

A saída de cada um dos dois osciladores à cristal (de 30 MHz e 80 MHz) é conectada a um modulador de pulso e ao receptor. Os dois moduladores recebem os sinais senoidais

gerados no controlador do radar e os modula, cada um com sua devida portadora. O misturador recebe os sinais pulsados em 80 MHz e 30 MHz e coloca na sua saída a diferença de frequência entre eles, um sinal pulsado de 50 MHz. No amplificador de frequência intermediária (FI) 50 MHz, o sinal é filtrado e amplificado. Sua saída conecta-se ao divisor de potência, onde posteriormente o sinal é dividido igualmente em oito partes. Um sinal de controle do radar determina a modificação na fase que ocorrerá nos deslocadores de fase, de acordo com o interesse do operador. O sinal chega aos oito transmissores, onde cada um é conectado a um módulo pré-amplificador-duplexador. Os duplexadores habilitam o uso da mesma seção da antena para transmissão e recepção.

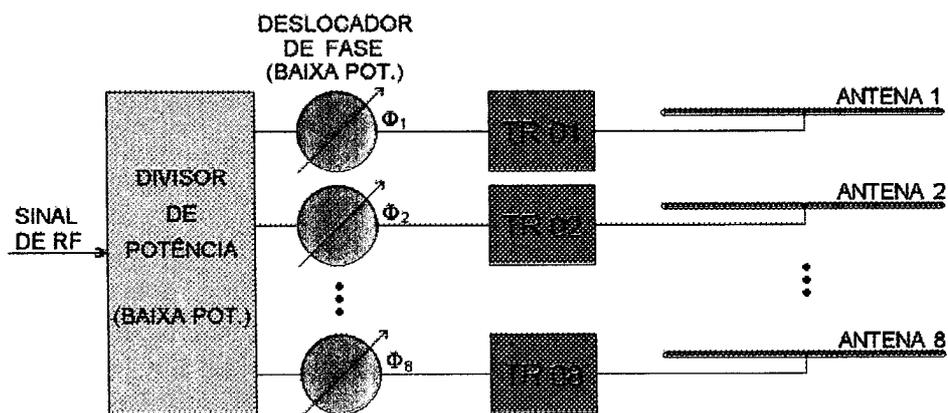


Fig. 3.2 – Diagrama em blocos mostrando esquema de transmissão para radar usando 8 transmissores com divisores de potência e deslocadores de fase de baixa potência do Sistema Radar RESCO.

FONTE: Adaptado de Denardini(1999, p. 61).

3.2.3 – Sistema Receptor

O Sistema Receptor do RESCO é composto basicamente de oito pré-amplificadores, oito deslocadores de fase, um combinador e um circuito receptor. Na recepção, o sinal chega a antena e é encaminhado através do módulo pré-amplificador-duplexador aos deslocadores de fase. Os deslocadores de fase são idênticos aos utilizados no sistema transmissor e são controlados da mesma forma, recebendo o mesmo deslocamento. Após, o circuito combinador soma os oito sinais, que posteriormente chegam ao circuito

receptor. O circuito receptor amplifica o sinal, converte para uma FI 30 MHz e o divide em duas partes idênticas. Uma das partes é passada a um detector de fase junto com a saída do oscilador de 30 MHz. A outra parte do sinal é passada a um segundo detector junto com a saída do oscilador de 30 MHz defasado eletricamente de 90°. As saídas dos dois detectores de fase chegam cada uma a um filtro onde são removidas as frequências indesejadas geradas nos processos de detecção de fase. Estas duas saídas do receptor são chamadas de sinal em fase e sinal em quadratura e contém as informações desejadas do sinal retroespalhado do radar.

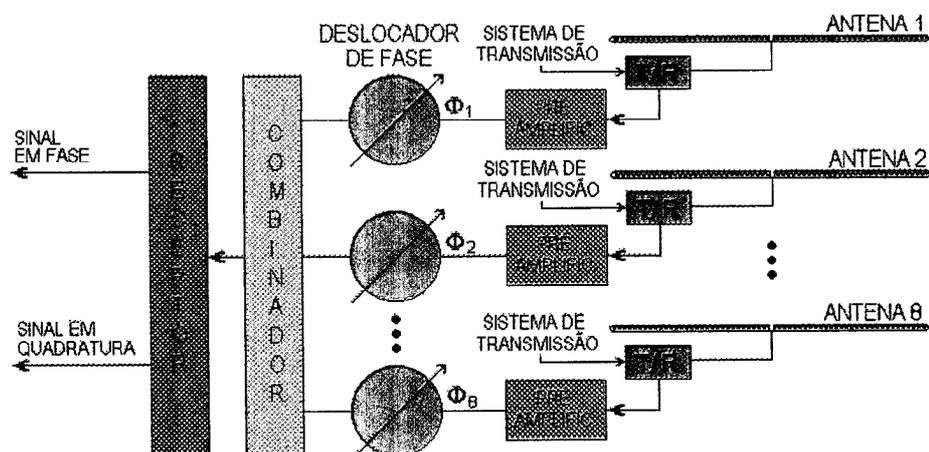


Fig.3.3 – Diagrama em blocos mostrando esquema de recepção para o radar ionosférico, utilizando o sistema de chaves T/R para comutação entre os sistemas de transmissão e recepção do Sistema Radar RESCO.
FONTE: Denardini(1999, p. 63).

3.2.4 – Sistema de Controle e Armazenamento dos Dados

O sistema controlador do Radar RESCO é responsável por gerar os sinais de controle do sistema de armazenamento de dados e da alteração da posição do feixe da antena entre oblíquo e vertical.

Esta unidade controla as variáveis do sinal transmitido, sendo a largura de pulso variável de 20 μ s até 100 μ s e taxa de repetição de pulsos variável de 1000 Hz a 50 Hz,



correspondendo a um período entre pulsos de 1 ms até 20 ms. Este sistema ainda é responsável pelas variáveis de controle da recepção, como atenuação exigida pela unidade de aquisição de dados, tempo entre a transmissão do sinal e início da amostragem e número de amostras do sinal recebido.

A unidade de armazenamento dos dados consiste de um circuito de interface e um computador para armazenamento dos dados. Nesta unidade os sinais analógicos dos dois canais, sinal em fase e em quadratura são convertidos em dados digitais de 16 bits para posterior gravação. Ao serem gravados, os dados são colocados no arquivo conforme a ordem que chegam, ou seja, é colocado o sinal em fase, parte real, de uma dada altura, após o sinal em quadratura, parte imaginária desta mesma altura, repetindo-se até que todos os arquivos tenham sido salvos.

Juntamente com os dados é gravado um outro arquivo, de nome “RDATA.HDR”. Este arquivo contém as informações sobre a taxa de repetição de pulso (IPP), largura de pulso (PW), tempo de atraso (TD), tempo de intervalo (TI), tempo de amostragem (SW), número de pulsos (NP), número de alturas (NG), feixe (BEAM) e tempo de repetição por feixe (RT).

3.3 – Pré-processamento dos Dados do RESCO

O sinal retroespalhado recebido pelo Radar RESCO contém uma distribuição estatística do deslocamento Doppler em frequência. Como o sinal é retro-espalhado sobre um vasto volume, que consiste de um grande número de alvos discretos com uma distribuição estatística de velocidades em torno da velocidade média (correspondente à real velocidade de deslocamento das irregularidades), é necessário fazer uma análise espectral do sinal recebido para determinarmos estas frequências.

Como a análise a ser feita envolve o cálculo da potência espectral utilizando dados complexos, um computador é necessário para fazer este serviço. Um algoritmo de



Transformada Rápida de Fourier, *Fast Fourier Transform* (FFT), é usualmente empregado para análise da potência espectral, reduzindo consideravelmente o número de cálculos necessários.

Após serem processados nas rotinas desenvolvidas no software IDL[®] (Interactive Data Language), os dados brutos fornecem-nos como principal resultado um mapa da variação temporal de intensidade versus altura, no qual podemos verificar a presença do Eletrojato Equatorial.

3.3.1 – A Aplicação das Rotinas de Processamento dos Dados

A rotina de pré-processamento do Radar RESCO inicia separando os dados dos dois canais por altura, agrupando e salvando num arquivo adicional. Após as componentes em fase (A) e quadratura (B) são agrupados resultando num número complexo ($A + iB$). A FFT é aplicada a este número complexo, resultando num espectro para uma dada altura e para o tempo correspondente à aquisição do eco recebido. Agrupando vários espectros consecutivos obtemos um espectrograma, que é um mapa que mostra a variação do deslocamento Doppler em frequência em função do tempo. A integração em frequência de cada espectro de potência componente dos espectrogramas resulta na variação da potência total de sinal retro-espalhado ao longo do período de aquisição para a faixa de altura correspondente. Agrupando o resultado de todos os espectrogramas no seu respectivo tempo e altura, obtemos um mapa da variação de intensidade de potência, mapa RTI, para o dia de aquisição (Figura 3.4).

3.3.2 – Modelo de Ajuste dos Espectros de Potência

Ao invés de cada espectro ser representado por um conjunto de pontos, ele pode ser representado por algum ajuste que reduza o volume de dados. Para isto, utilizamos no RESCO um ajuste por curvas Gaussianas. O motivo de escolhermos esse ajuste para modelar os dados dos espectros de potência do Radar, se deve ao fato dele se adaptar

muito bem as curvas de experimentos de retro-espalhamento nas irregularidades do Eletrojato Equatorial.

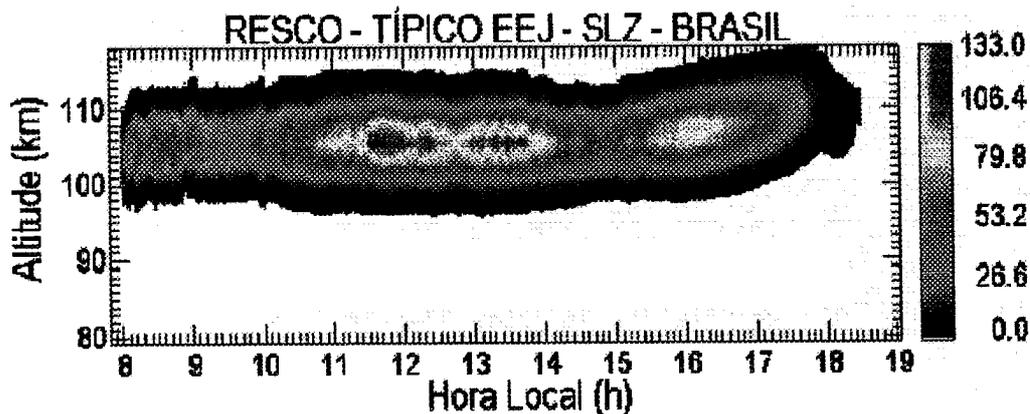


Fig. 3.4 – Exemplo de mapa de variação temporal de intensidade de potência em função da altura obtido pelo RESCO no Observatório Espacial de São Luís do INPE-MCT.

O ajuste por curvas Gaussianas nada mais é que substituir o conjunto de pontos pelo valor da área, desvio padrão e posição central da curva. A equação matemática que representa a curva Gaussiana é dada por:

$$y = \frac{A}{2 \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2}}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-x_0}{\sigma} \right)^2} + y_0, \quad (3.2)$$

onde x_0 é o centro da distribuição de potência, σ é o desvio padrão, A é a área abaixo da curva e y_0 é o nível da linha base.

Como coexistem dois tipos de irregularidades no Eletrojato Equatorial, individualmente, cada espectro é ajustado pelo somatório de duas Gaussianas. Assim, ao invés de cada espectro ser representado por um conjunto de pontos, ele será representado pelos parâmetros de duas curvas. Para isso necessitamos de sete parâmetros: área, posição



central e desvio padrão de cada uma das Gaussianas, e nível de ruído comum as duas curvas (Figura 3.5).

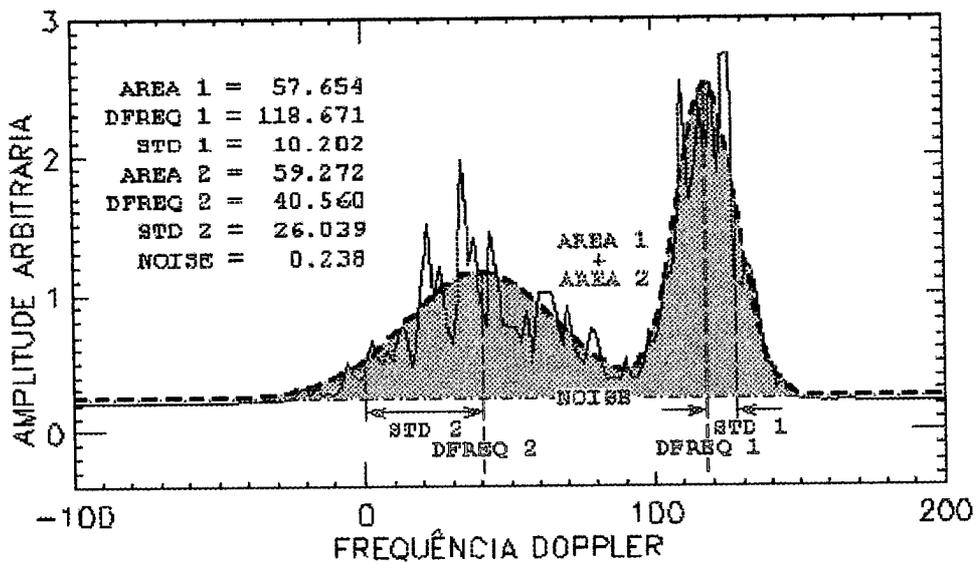


Fig. 3.5 – Espectro de frequência simulado (em preto) e seu ajuste por Gaussianas (em azul). A linha tracejada vermelha indica o centro da distribuição, a linha verde indica o nível de ruído e a diferença entre as linhas vermelha e violeta indica os respectivos desvios padrões.

FONTE: Denardini (2003, p.13)



CAPÍTULO 4

AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM SANTA MARIA, RS, PARCERIA INPE - UFSM NO PROGRAMA PIBIC / INPE – CNPq / MCT

O estudo da Eletrodinâmica do Eletrojato Equatorial envolveu basicamente duas partes: a revisão teórica básica e as atividades relacionadas com o Radar RESCO do Observatório Espacial do INPE / MCT em São Luís do Maranhão. Além destes dois objetivos básicos cabe salientar os seus resultados: participação em eventos e em elaboração de trabalhos científicos.

4.1 – A Revisão Teórica

Na primeira fase da vigência da Bolsa de Iniciação Científica do Programa PIBIC / INPE - MCT, foi desenvolvido um estudo teórico dos temas: Ionosfera Terrestre, Sol, sondadores ionosféricos e Radar de Espalhamento Coerente em 50 MHz – RESCO do Observatório Espacial do INPE/MCT de São Luís do Maranhão, atividades desenvolvidas em Santa Maria, RS, no âmbito da Parceria INPE – UFSM, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE / INPE - MCT.

Nas seguintes sub-seções apresentamos um resumo dos conceitos estudados.

4.1.1 – Ionosfera Terrestre

O estudo da Ionosfera Terrestre baseou-se nos processos que a caracterizam, bem como suas regiões e irregularidades de plasma. No estudo da Ionosfera ainda foram revisados a Eletrodinâmica do Eletrojato Equatorial e suas irregularidades. Um breve resumo do estudo é mostrado no Capítulo 2.

4.1.2 – O Sol

O Sol é uma estrela de 695.990 km de raio que existe há aproximadamente $4,57 \times 10^9$ anos. A massa dele é em torno de $1,989 \times 10^{30}$ kg. Ele é formado principalmente de hidrogênio (70%) e hélio (28%). Além do calor e da luz visível, o Sol emite luz na faixa do infravermelho, ultravioleta, raios-X e ondas de rádio, que juntos somam $3,846 \times 10^{33}$ erg/s. Diferente da Terra, o Sol não apresenta a mesma velocidade de rotação em todas as latitudes. Isto ocorre por ele não ser uma estrutura rígida e sim, uma massa gasosa. Seu período de rotação aumenta com a latitude, durando 25.4 dias terrestres no equador e 33 dias na latitude 75° (Hargreaves, 1992). Devido a apresentar variações na composição química e na forma de condução do calor, o Sol é dividido basicamente em cinco regiões: Parte Interior, Protosfera, Cromosfera, Coroa Solar e Região de Transição (Figura 4.1).

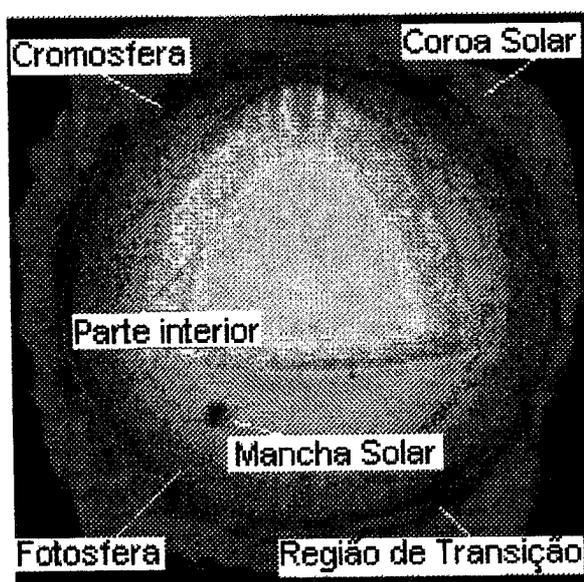


Fig. 4.1 – A estrutura solar interna e externa.

FONTE: Adaptado de Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará. As atividades do Sol – O Sol por dentro e por fora, 2003.



4.1.3 – Sondadores Ionosféricos

A ionossonda, sondador ionosférico, é essencialmente um radar pulsado no qual as frequências de estudo podem ser variadas de 1 a 40 MHz. Naturalmente, a varredura completa terá de ser coberta por uma série de faixas de frequência. O equipamento é feito para medir diretamente o tempo que um pulso de onda de rádio leva para subir até a Ionosfera e voltar, em função da frequência da onda (Davies, 1965). Como principal produto, ela fornece um gráfico da altura versus tempo, fazendo um perfil da Ionosfera no local de observação/operação da ionossonda.

Com a evolução tecnológica, a pesquisa ionosférica é feita hoje com ionossondas digitais. Este equipamento possui maior versatilidade do que sua versão analógica, possuindo funções como, por exemplo, medição de derivas e ângulo de chegada. Exemplos de ionossondas digitais são a “Digisonde Portable Sounder (DPS-4)” e a “Canadian Advanced Digital Ionosonde (CADI)”.

4.1.4 – O Radar de Espalhamento Coerente de 50 MHz (RESCO)

O Radar de Espalhamento Coerente (RESCO) foi desenvolvido pelo INPE/MCT para estudar as características das bolhas de plasma e irregularidades do Eletrojato na Ionosfera Equatorial (Janardhanan, 1983). Este Radar opera na frequência de 50 MHz, assim estudando as irregularidades de 3 m presentes na Ionosfera daquela região. Uma descrição mais detalhada do equipamento e seus sub-sistemas é mostrada no Capítulo 3.

4.2 – Atividades de Pesquisa Relacionadas com o Radar

A segunda fase do Plano de Trabalho proposto no Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT, para ser desenvolvido no CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS, diz respeito a utilização dos dados obtidos da operação do Sistema RESCO, no Maranhão, bem como, a aplicação do tratamento necessário para obtermos melhor qualidade na análise.

Durante o período, desenvolveu-se uma rotina de *software* para corrigir o ruído durante o pré-processamento do sinal, a qual já está completamente incorporada à biblioteca de rotinas do Radar e sendo utilizada para as análises atuais. Para isto, fez-se um resumo teórico interdisciplinar sobre filtragem de sinais e programação na linguagem IDL[®].

Ao analisarmos a variação temporal (número de pulsos emitidos) da tensão, podemos notar que ela apresenta picos espúrios, conhecidos como *outliers*, em meio aos dados (veja a Figura 4.2). Isto deve-se a presença constante de interferência na recepção do sinal retro-espalhado pelas irregularidades do Eletrojato, resultando em dados incorretos.

Para contornar este problema decidimos pela utilização de uma correção nos pontos que apresentam *outliers*, utilizando uma técnica de processamento de sinais: a filtragem. Dentre os tipos de filtros, resolvemos escolher entre três hipóteses: filtro simples, filtro Savitzky-Golay e/ou filtros digitais.

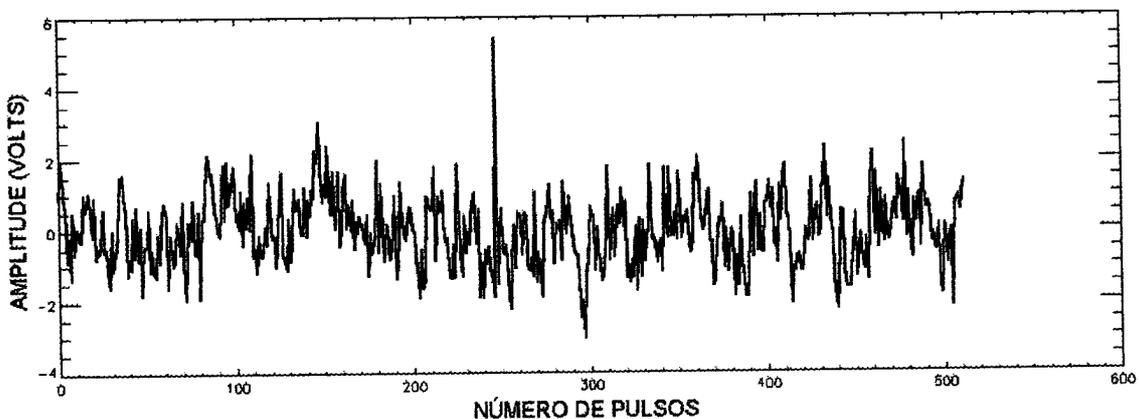


Fig. 4.2 – Variação temporal (número de pulsos emitidos) da tensão recebida pelo Radar RESCO, no dia 22 de janeiro de 2003, para a faixa de alturas 98,7 – 101,3 km, no Observatório Espacial do INPE/MCT de São Luís do Maranhão, reduzidos no CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.

4.2.1 – Filtro Simples

O filtro simples nada mais é do que um algoritmo para suavizar os dados. O nosso método de suavização, neste caso, é a aplicação, em programação, da média móvel, a qual é dada pela equação:

$$R_i = \frac{1}{w} \cdot \sum_{j=-(w-1)/2}^{j=(w-1)/2} A_{i+j}, \quad (4.1)$$

onde A é o vetor fornecido, i é o índice do ponto central da janela de suavização, j é o indicador de seqüência da janela, w é o número de pontos utilizados pela janela de suavização e R é o vetor resultante.

Este filtro funciona muito bem para vetores de dados com baixa freqüência, no entanto para valores em alta freqüência este filtro costuma diminuir a amplitude dos dados. Assim, ele pode ser classificado como um filtro passa-baixa.

4.2.2 – Filtro Savitzky-Golay

O filtro Savitzky-Golay, conhecido como Mínimos Quadrados ou DISPO, “*Digital Smoothing Polynomial*” – Suavizador Polinomial Digital, é um tipo particular de filtro passa-baixa. A idéia principal deste filtro é de aproximar a função base dentro da janela de suavização não por uma constante, a qual estima a média, mas por um polinômio de ordem maior, tipicamente quadrático ou quártico (Press et al, 1992). Para cada ponto nós utilizamos Mínimos Quadrados, formando um polinômio para os pontos dentro da janela, substituindo-os formando um novo vetor com os dados filtrados.



4.2.3 – Filtros Digitais Modernos

Filtros digitais se referem a avaliação dos efeitos no domínio da frequência de qualquer sistema digital ou algoritmo de processamento para os quais há uma entrada e uma saída (Smith, 1999). Eles são usados, em geral, para dois propósitos: separação de sinais que estão combinados e restauração de sinais que foram distorcidos de alguma forma. Neste caso, analisaremos somente o segundo, que é o propósito de nosso trabalho relativo aos dados do Radar RESCO.

Os filtros digitais podem ser classificados basicamente em dois tipos: recursivos ou não-recursivos. Os filtros recursivos são os filtros que apresentam seus valores de saída como função de valores passados. Ele calcula o valor de saída como combinação linear da função de saída passada e funções de entrada presente e passadas. Os filtros não-recursivos nunca se utilizam de valores passados, somente da entrada presente.

4.2.4 – Aplicação da Filtragem

Como resultado da análise dos tipos de filtros, foi escolhido o filtro simples. Embora tivéssemos escolhido o tipo de filtro, ainda faltava definirmos de que forma selecionaríamos os pontos com picos espúrios e o número de pontos utilizados para média móvel.

A forma escolhida foi de suavizar os dados brutos por média móvel de 3 pontos, calculando a diferença entre os dados suavizados e brutos. Desta diferença retiramos um desvio padrão, o qual é multiplicado pelo valor 3, resultando no valor aceitável (Figura 4.3). Com isto, verificamos todos os pontos que possuem valor acima do aceitável, sendo substituídos pelo seu respectivo valor de média móvel de 3 pontos, originando os dados filtrados (ver Figura 4.4).

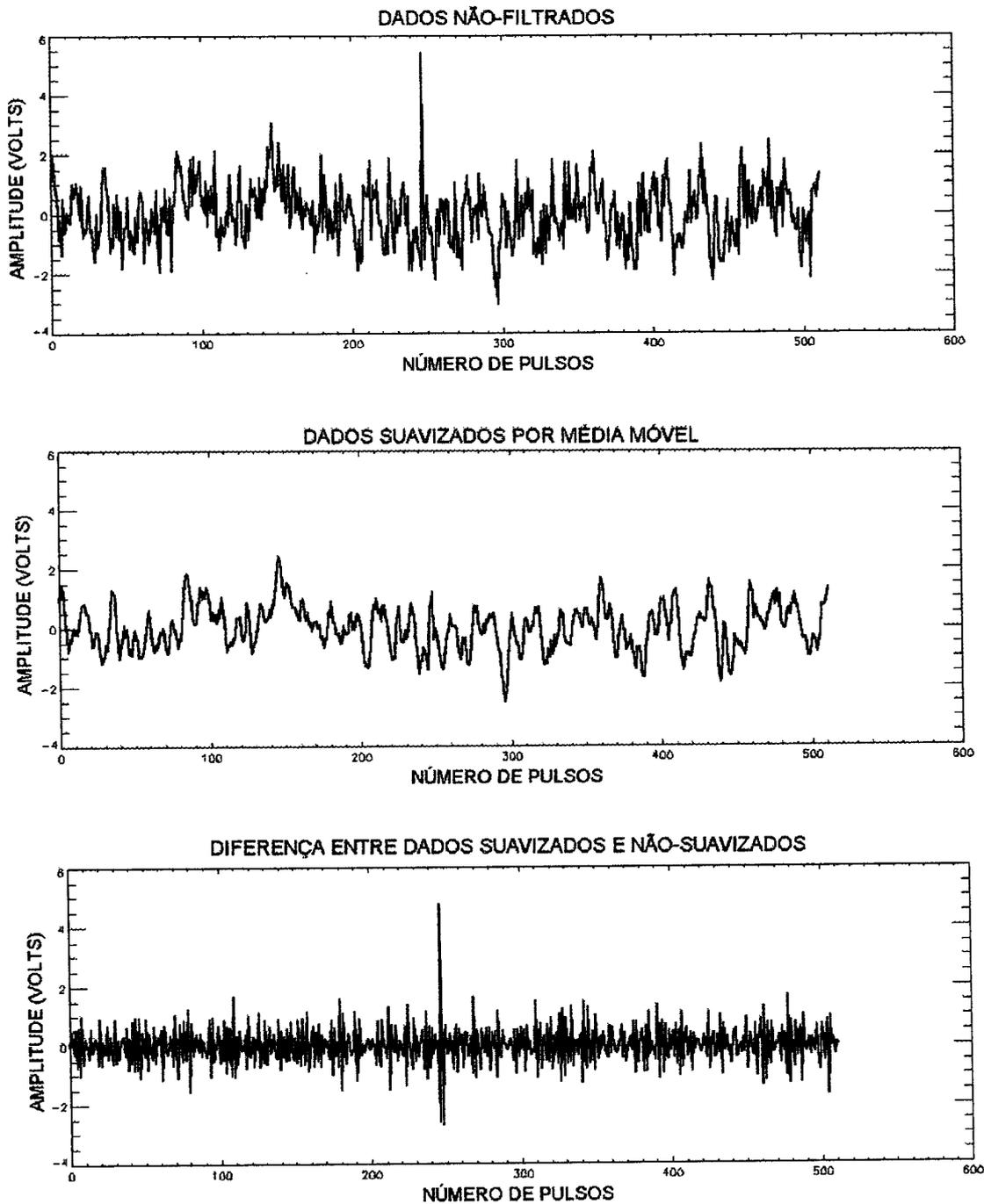


Fig. 4.3 – Dados de (a) Variação temporal (número de pulsos emitidos) da tensão recebida pelo Radar RESCO no dia 22 de janeiro de 2003, para a faixa de alturas 98,7 – 101,3 km no Observatório Espacial de São Luís do Maranhão; (b) Valor suavizado por média móvel de 3 pontos; (c) Diferença entre a variação temporal da tensão e dados suavizados. Dados reduzidos e analisados no âmbito da Parceria INPE-UFSM, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.

Sendo definida a forma matemática da eliminação de *outliers* que aplicaríamos a nossos dados, passamos a segunda parte do Projeto PIBIC/INPE-CNPq/MCT: a aplicação em *software*. Esta rotina de programação, chamada “Remove_Outliers”, foi desenvolvida a princípio para aplicação nos dados do Radar RESCO, no entanto, posteriormente ela foi alterada para tornar-se genérica, assim servindo para a remoção de *outliers* de qualquer vetor, apenas fornecendo para ele o próprio vetor, o número de pontos da média móvel e o desvio padrão a ser considerado. A rotina completa pode ser encontrada no Apêndice A.

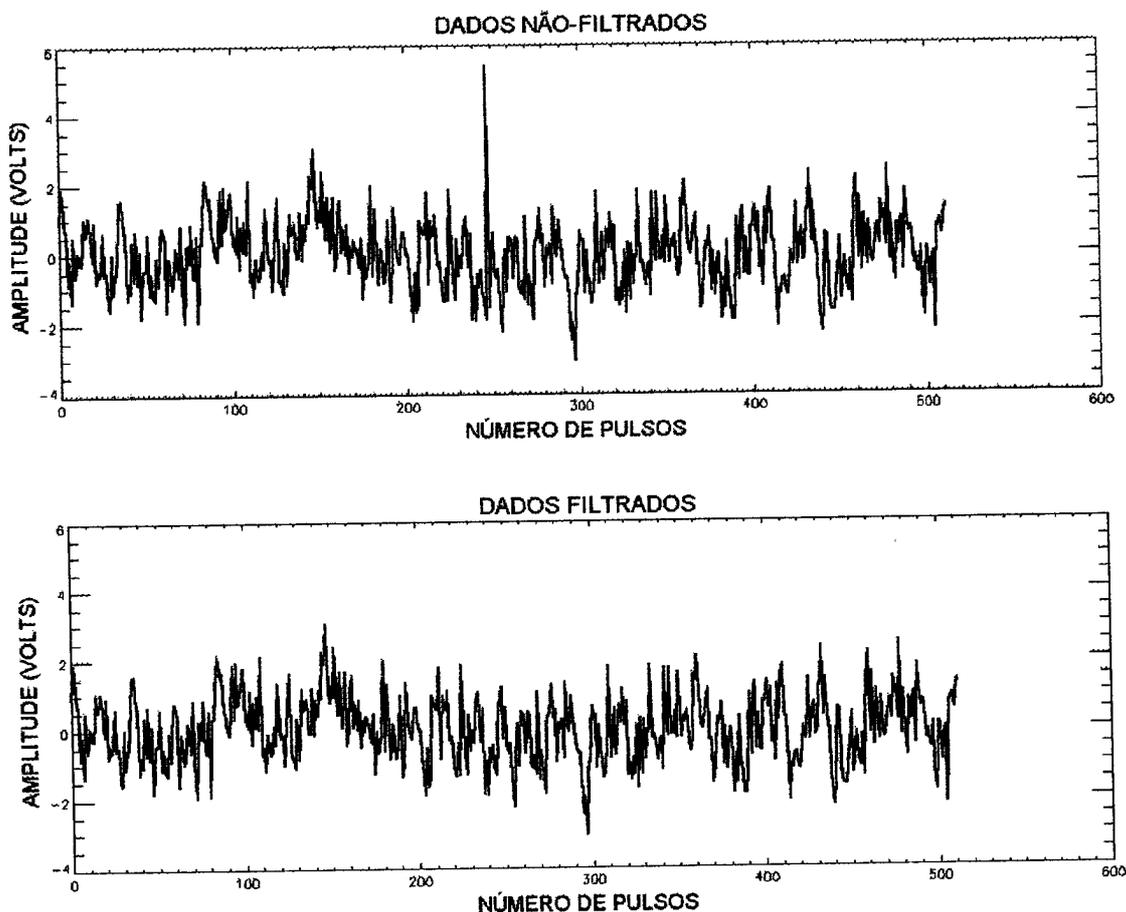


Fig. 4.4 – Dados de (a) Variação temporal (número de pulsos emitidos) da tensão recebida pelo Radar RESCO no dia 22 de janeiro de 2003, para a faixa de alturas 98,7 – 101,3 km no Observatório Espacial de São Luís do Maranhão; e (b) Dados filtrados da respectiva data e altura. Dados reduzidos e analisados no âmbito da Parceria INPE-UFSM, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.



Finalmente, destacamos através do exemplo apresentado na Figura 4.4, o êxito obtido por essa rotina. Nesta figura podemos observar a eliminação do pico espúrio que originalmente aparecia em torno do pulso 250, sem a alteração nos dados do Radar.

4.3 – Participação em Atividades de Extensão / Congressos / Cursos

Durante o período do Projeto, o bolsista também participou de congressos, cursos e atividades de extensão. Estas atividades são de grande valia para o desenvolvimento pessoal e profissional dos Bolsistas de Iniciação Científica e permitem que o futuro cientista entre em contato com a sociedade que almeja participar. Além disso, permitem que o Bolsista de Iniciação Científica apresente alguns resultados preliminares para críticas e sugestões, elevando o nível de seu trabalho. Sendo assim, listamos a seguir os eventos dos quais participamos; juntamente com os títulos dos trabalhos apresentados. Os certificados encontram-se no Apêndice B.

Atividades de Extensão – Participação com Apoio Técnico

1 - Título: Varredura Eletrônica em Concurso de Admissão aos Cursos de Formação de Sargentos/2004

Local: Centro Universitário Franciscano - Campus I

Forma de participação: Apoio tecnológico

Período: 28 e 29 de julho de 2003

Carga horária: 12 horas

Cursos – Participação como Aluno

1 - Título: Tópicos em Clima Espacial

Local: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT, Santa Maria

- RS



Ministrante: Dr. Alisson Dal Lago, Dr. Luís Eduardo Antunes Vieira, Msc. Alan

Prestes, pesquisadores do INPE, São José dos Campos

Período: 5 a 8 de agosto de 2003

Carga horária: 32 horas

2 - Título: Rádio Sondagem Atmosférica

Local: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT, Santa Maria - RS

Ministrante: Dr. Martín F. Sarango, pesquisador do Jicamarca Radio Observatorio (JRO), Lima – Peru.

Período: 8 de agosto de 2003

Carga horária: 9 horas

3 - Título: Curso Tópicos em Observações Científicas da Cooperação Brasil-Japão

Local: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT, Santa Maria - RS

Ministrante: Dr. Kazuo Makita, Dr. Masahori Nishino e Dr. Tatsuo Torii.

Período: 22 de agosto de 2003

Carga horária: 8 horas

4 - Título: IDL e Métodos Matemáticos

Local: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT, Santa Maria - RS

Ministrante: Dr. Clezio Marcos Denardini, pesquisador do INPE, São José dos Campos.

Período: 5 a 9 de janeiro de 2004

Carga horária: 40 horas

5 - Título: First Latin-American Advanced School on Space Environment (ASSE 2004)

Local: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos - SP



Ministrantes: R. P. Kane, X. Moussas, M.A. Abdu, P. M. Kintner, D. O. Gómez, R. Bruno, V. Jatenco-Pereira, D. Nordemann, O. Mendes Jr, J. F. Valdés-Galícia, J. P. Raulin, M. Kayano, M. O. Domingues, J. A. Valdivia, E. L. Rempel, E. M. Gouveia dal Pino, B. R. Clemesha, D. Marsh, B. Mendoza, S. Dasso, W. D. Gonzalez.

Período: 22 a 27 de março de 2004

Carga horária: 40 horas

Congressos – Participação com Apresentação de Trabalhos Científicos

1 - Título: Estudo da Ionosfera Terrestre Utilizando o Digital Portable Sounder

Autores: Henrique C. Aveiro, Rafael Krummenauer, Maiquel S. Canabarro, Clezio Marcos Denardini, Mangalathayil Ali Abdu, Nelson Jorge Schuch, Thiago Brum Pretto

Evento: XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos

Local: Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Itajaí - SC

Período: 9 a 11 de outubro de 2003

2 - Título: Caracterização do Nível de Rádio Interferência no Observatório Espacial do Sul na Faixa de 10 - 240 MHz

Autores: Noli José Kozinieski, Henrique C. Aveiro, Rafael Krummenauer

Evento: XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos

Local: Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Itajaí - SC

Período: 9 a 11 de outubro de 2003

3 - Título: SKiYMET – Radar de Rastros Meteoricos Operando em 35.24 MHz

Autores: Thiago Brum Pretto, Rafael Krummenauer, Henrique C. Aveiro, Evanir N. Valigura, Paulo P. Batista, Barclay R. Clemesha, Nelson J. Schuch

Evento: XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos



Local: Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Itajaí - SC

Período: 9 a 11 de outubro de 2003

4 - Título: Projeto de um Correlacionador Híbrido para o Telescópio Rádio Interferômetro

Autores: Rafael Krummenauer, Delx C. Lunardi, Noli J. Kozenieski, Thiago B. Pretto, **Henrique C. Aveiro**, Maiquel S. Canabarro, Nelson J. Schuch

Evento: XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos

Local: Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Itajaí - SC

Período: 9 a 11 de outubro de 2003

5 - Título: Riômetro Imageador Utilizado para o Monitoramento Ionosférico no Observatório Espacial do Sul – SSO (29°S, 53°O)

Autores: Maiquel S. Canabarro, Rafael Krummenauer, **Henrique C. Aveiro**, Evanir N. Valigura, Masanori Nishino, Nelson J. Schuch

Evento: XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica em Engenharia – IV Feira de Protótipos

Local: Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Itajaí - SC

Período: 9 a 11 de outubro de 2003

6 - Título: Utilização de receptores GPS para estudos das irregularidades ionosféricas no Observatório Espacial do Sul

Autores: Maiquel S. Canabarro, Nelson J. Schuch , Evanir N. Valigura , **Henrique C. Aveiro**, Rafael Krummenauer

Evento: XVIII Jornada Acadêmica Integrada - JAI

Local: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria - RS

Período: 14 a 16 de outubro de 2003



7 - Título: Caracterização do Nível de Rádio Interferência no Observatório Espacial do Sul

Autores: Noli José Kozinieski, **Henrique C. Aveiro**, Rafael Krummenauer

Evento: XVIII Jornada Acadêmica Integrada - JAI

Local: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria - RS

Período: 14 a 16 de outubro de 2003

8 - Título: Receptores GPS Aplicados no Estudo de Irregularidades Ionosféricas

Autores: Maiquel S. Canabarro, Eurico R. de Paula, **Henrique C. Aveiro**, Rafael Krummenauer, Thiago B. Pretto, Evanir N. Valigura, Kazuo Makita, Nelson J. Schuch

Evento: XV Salão de Iniciação Científica – XII Feira de Iniciação Científica

Local: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre - RS

Período: 24 a 28 de novembro de 2003

9 - Título: Effects of the October 2003 Magnetic Storm over GPS scintillations at three sites in the Brazilian Territory

Autores: Canabarro, M. S., **H. C. Aveiro**, T. B. Pretto, R. Krumenauer, D. dos Santos, S. Monteiro, Luiz Felipe C. de Rezende, Sérgio W. G. da Silveira, E. R. de Paula, N. J. Schuch

Evento: VII Latin-American Conference on Space Geophysics

Local: Hotel Village Eldorado Atibaia, Atibaia - SP

Período: 29 de março a 2 de abril de 2004



CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

O estudo da Eletrodinâmica do Eletrojato Equatorial é de grande importância, pois ela participa do controle dos fenômenos Ionosfera-Termosfera Equatorial na Região do Centro Espacial do Centro de Lançamento de Alcântara do DEPF – Comando da Aeronáutica do Ministério da Defesa, Região que deve ser cientificamente melhor caracterizada e monitorada. Necessitamos, aprimorar tecnologicamente, o Radar RESCO e com este intuito resolvemos melhorar a qualidade dos dados obtido pelo RESCO. Por este motivo desenvolvemos uma rotina em *software*, que além da programação, envolve processamento de sinais digitais, estatística e o conhecimento do próprio Eletrojato.

A rotina desenvolvida, denominada “Remove_Outliers”, obteve o êxito desejado, como comprovado na Seção 4.2.4, pois ela remove os picos espúrios dos dados. No entanto, como aprimoramento tecnológico do filtro simples por média móvel, está sendo desenvolvida uma rotina para aplicação do filtro Savitzky-Golay, ao pré-processamento dos dados. No entanto, também não é totalmente descartada a aplicação de filtros digitais modernos.

Além de ter obtido o sucesso desejado na filtragem dos dados, a rotina de programação desenvolvida pelo Bolsista, em Santa Maria, RS, para a redução do ruído nos dados do Radar RESCO, foi de grande importância para o desenvolvimento científico do bolsista, pois desta forma ele adquiriu conhecimento multidisciplinar, desenvolvendo suas capacidades de pesquisa, planejamento e experimentação.

Por incentivo da Coordenação de Ação de Implantação do CRSPE/INPE-MCT, a participação em eventos foi muito importante para o bolsista, pois desta forma ele interagiu com outros pesquisadores de áreas como: Clima Espacial, Aeronomia,



Geomagnetismo, Astrofísica, Meteorologia, Computação e Engenharias. Dentre todos os eventos científicos, o de maior importância foi VII Latin-American Conference on Space Geophysics, COLAGE, pois neste podemos ter conhecimento e poder acompanhar as pesquisas realizadas em outros institutos, como por exemplo, no Rádio Observatório de Jicamarca, no Peru, conhecido pelos seus radares de estudo ionosférico.

Finalmente, o Bolsista de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT, Projeto de Pesquisa desenvolvido no âmbito da Parceria INPE-UFSM, no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE-INPE/MCT, em Santa Maria, no Rio Grande do Sul, as atividades técnicas relacionadas ao Radar RESCO, instalado e em operação no Observatório Espacial do INPE/MCT em São Luís do Maranhão, cumpriu o cronograma estabelecido no Projeto sendo: leitura de bibliografia científica referente ao trabalho a ser desenvolvido, treinamento em familiarização de aplicativos de *software* de processamento de dados do Radar RESCO, realização das tarefas de redução e processamento de dados, análise de dados visando os objetivos pretendidos e formação científica complementar. Portanto, consideramos este relatório, bem como suas atividades, satisfatórias e aprovadas.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akasofu, S. I.; Chapman, S. *Solar-Terrestrial physics*. Oxford: Oxford University Press, 1972.
- Chapman, S.; Bartels, J. *Geomagnetism*. London: Oxford University Press, 1940. v. 2
- Davies, K. *Ionospheric Radio Propagation*. National Bureau of Standards Monograph 80, 1965.
- Denardini, C. M. *Desenvolvimento de um sistema de correção de fase para o radar ionosférico de São Luís do Maranhão*. São José dos Campos: INPE, 1999. (INPE-7174-TDI/676).
- Denardini, C. M. *Estimação de parâmetros de dados físicos*. São José dos Campos: INPE, 2003. (INPE-10047-PUD/130).
- Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará. *As atividades do Sol – O Sol por dentro e por fora*. [online]. <<http://www.fisica.ufc.br/ativsolar/ativsolar1.htm>>, Jun. 2003.
- Forbes, J. M. *The equatorial electrojet*. **Reviews of Space Geophysics and Space Physics**, v. 19, n.3, p. 469-504, Aug. 1981.
- Hargreaves, J. K. *The solar-terrestrial environment*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- Janardhanan, K. V. *A coherent VHF backscatter radar for INPE*. São José dos Campos: INPE, 1983. (INPE-2808-NTI/180).



Kelley, M. C. *The Earth's Ionosphere*. San Diego: Academic Press, 1989.

Kivelson, M. G; Russel, C. T. *Introduction to space physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

Press, W. H.; Teukolsky, S. A.; Vetterling, W. T.; Flannery, B. P. **Numerical recipes in C: the art of scientific computing**. 2.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

Smith, S. W. *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. 2.ed. California Technical Publishing, 1999.

Skolnik, M. I. *Introduction to radar systems*. New York: McGraw Hill, 1962.



APÊNDICE A

ROTINA DE APLICAÇÃO DAS CORREÇÕES DE PICOS ESPÚRIOS NO SINAL RECEBIDO DO RADAR RESCO

```
FUNCTION REMOVE_OUTLIERS, DataVector=DataVector, DataSmooth=DataSmooth, $
    OutL_Level=OutL_Level

----- ABSTRACT
;
;       This function removes the outliers from data vector. It will
; return an error flag (-1) in case of mistaken data.
----- CAPTION
; DataVector           generic vector with the raw data
; DataSmooth           number of points for the running average
; OutL_Level           number of acceptable standard deviations
;
;
-----
; By:      Henrique C. Aveiro - aveiro@lacs.m.ufsm.br
; Date:    February 17, 2004
; Modification : March 5, 2004 (denardin@dae.inpe.br -> generalize routine)
; Modification : March 10, 2004 (denardin@dae.inpe.br -> changed function)
-----

; verifies constants and flags needed for this routine -----
IF (N_ELEMENTS(DataVector) EQ 0) THEN BEGIN
    DataVector = -1 ; enable flag of Error
    GOTO, End_of_Routine ; jump to the end of routine
ENDIF
IF (N_ELEMENTS(DataSmooth) EQ 0) THEN DataSmooth = 3 ; running average with 3 points
IF (N_ELEMENTS(OutL_Level) EQ 0) THEN OutL_Level = 3 ; minimum level to 3 Std Deviations

; smoothes the data vector by "DataSmooth" points -----
SmoothData = SMOOTH(DataVector, DataSmooth, /NAN) ; applies running average

; gets the high frequency variations from the data -----
HiFreqData = DataVector - SmoothData ; takes the difference

; calculates the standard deviation of high frequency variations -----
HiFreq_Std = STDDEV(HiFreqData, /NAN) ; takes the std deviation
Acceptable = HiFreq_Std * OutL_Level ; gets the minimum level

; gets where the high frequency variations overtakes the limit -----
HiFreq_Idx = WHERE(ABS(HiFreqData) GT Acceptable) ; gets the indices

; changes points that overtook the limits -----
IF (HiFreq_Idx[0] NE -1) THEN DataVector[HiFreq_Idx] = SmoothData[HiFreq_Idx]

-----
;
End_of_Routine: ; label for error flag on
RETURN, DataVector ; return the vector
END ; end of routine
```



APÊNDICE B

DIPLOMAS DE ATIVIDADES DE EXTENSÃO / CONGRESSOS / CURSOS

CONGRESSOS

B.1 – Estudo da Ionosfera Terrestre Utilizando o Digital Portable Sounder

CURSOS

B.2 – Tópicos em Clima Espacial

B.3 – Rádio Sondagem Atmosférica

B.4 – Tópicos em Observações Científicas da Cooperação Brasil-Japão

B.5 – IDL e Métodos Matemáticos

B.6 – First Latin-American Advanced School on Space Environment



CRICTE
 XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e IV Feira de Protótipos 2003
 UNIVALI

Certificamos que

Henrique Cabotto Chaves

Participou do XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE 2003, e IV Feira de Protótipos, realizado de 9 a 11 de outubro de 2003, na Universidade do Vale do Itajaí, Santa Catarina, Brasil, apresentando o trabalho:

ESTUDO DA IONOSFERA TERRESTRE UTILIZANDO O DIGITAL PORTABLE SOUNDER

UNIVALI
 UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
 CAMPUS SÃO JOSÉ DO ITAJAÍ

Prof. Valdir Guilherme Filho, Dr.
 Pró-Reitor de Pesquisa, Pós-Graduação,
 Extensão e Cultura

Prof. Fernando Luis Brient, M.Sc.
 Diretor da Centro de Ciências
 Tecnológicas do Terra e do Mar - CITMAR

Prof. Sônia Santos, M.Sc.
 Presidente da Comissão Organizadora
 do XVIII CRICTE e IV FEIRA DE PROTÓTIPOS



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA

ATESTADO

Atestamos que o acadêmico **HENRIQUE CARLOTTO AVEIRO** participou do **Curso Tópicos em Clima Espacial**, proferido pelos Dr. Alisson Dal Lago, Dr. Luís Eduardo Antunes Vieira e Msc. Alan Prestes no período de 05 a 08 de agosto de 2003, com uma carga horária de 45 horas, realizado dentro da Parceria INPE – UFSM no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM e no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/CEP/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

Santa Maria, 11 de maio de 2004.

Prof.ª Damiana Kirsch Pinheiro
Diretora do LACESM/CT/UFSM



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA



ATESTADO

Atestamos que o acadêmico **HENRIQUE CARLOTTO AVEIRO** participou do **Curso Rádio Sondagem Atmosférica**, proferido pelo Dr. Martin F. Sarango no dia 08 de agosto de 2003, com uma carga horária de 9 horas, realizado dentro da Parceria INPE – UFSM no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM e no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/CEP/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

Santa Maria, 11 de maio de 2004.

Prof.ª Damiana Kirach Pinheiro
Diretora do LACESM/CT/UFSM



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS

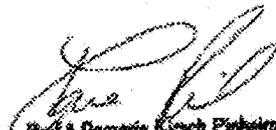


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA

ATESTADO

Atestamos que o acadêmico **HENRIQUE CARLOTTO AVEIRO** participou do **Curso Tópicos em Observações Científicas da Cooperação Brasil-Japão** proferido pelos Dr. Kazuo Makita, Dr. Masanori Nishino e Dr. Tatsuo Torii, no dia 22 de agosto de 2003, com uma carga horária de 8 horas, realizado dentro da Parceria INPE – UFSM no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM e no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/CEP/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

Santa Maria, 11 de maio de 2004.


Prof.ª Damaris Kirsch Pinheiro
Diretora de LACESM/CT/UFSM



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS

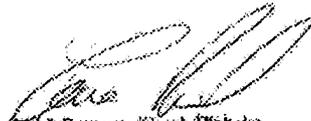
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA



ATESTADO

Atestamos que o acadêmico **HENRIQUE CARLOTTO AVEIRO** participou do **Curso IDL e Métodos Matemáticos**, proferido pelo Dr. Clezio Marcos De Nardin, no período de 05 a 09 de janeiro de 2004, com uma carga horária de 45 horas, realizado dentro da Parceria INPE – UFSM no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM e no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/CEP/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

Santa Maria, 11 de maio de 2004.


Prof.ª Damaris Kirsch Pinheiro
Diretora do LACESM/CT/UFSM



VII COLAGE

7th LATIN-AMERICAN CONFERENCE ON SPACE GEOPHYSICS

Space Sciences for the XXI Century

CERTIFICATE

We certify that Henrique Carlos Avelar

attended the First Latin American Advanced School on Space Environment (ASSE 2004) held at the National Institute for Space Research (INPE - São José dos Campos, SP, Brazil) from 22 to 27 of March, 2004.

São José dos Campos, March 27th, 2004.

Official Certificate

