



**ESTUDO E MONITORAMENTO DA ELETRODINÂMICA DA BAIXA
IONOSFERA EQUATORIAL UTILIZANDO DADOS DE RADARES**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Laís Maria Guizelli (UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: lais@dae.inpe.br

Dr. Clezio Marcos De Nardin (DAE /INPE, Orientador)

E-mail: denardin@dae.inpe.br

COLABORADORES

Aluno de Mestrado Juliano Moro (DAE/INPE)

Aluna de Mestrado Laysa Cristina Araújo Resende (DAE/INPE)

Aluno de Mestrado Pedro Daniel Santos Carvalho de Almeida(DAE/INPE)

Aluno de Doutorado Henrique Carlotto Aveiro (Cornell University – NY/EUA)

Julho de 2010

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS
Relatório Final de Atividades

Dados de Identificação

Bolsista:

Laís Maria Guizelli
Curso: Engenharia Elétrica
UNITAU: Universidade de Taubaté

Orientador:

Dr. Clezio Marcos De Nardin
Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE – /MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT
São José dos Campos - SP

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

O projeto foi desenvolvido na Divisão de Aeronomia (DAE) da Área de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sob a orientação do Dr. Clezio Marcos De Nardin, pesquisador da divisão.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS
Relatório Final de Atividades

*“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada. Caminhando e semeando, no fim terás o que colher.”
(Cora Coralina)*

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS
Relatório Final de Atividades

*Aos meus pais,
Elisabeth Guizelli e
José Joaquim de Moraes,
e ao meu orientador
Dr. Clezio Marcos De Nardin.*

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS
Relatório Final de Atividades

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro.

A Deus, pela vida.

Ao meu orientador Dr. Clezio Marcos De Nardin, pelo apoio, a fim de realizar um bom trabalho.

A minha família, pelo carinho e presença de todos os dias.

Aos meus amigos de trabalho, Laysa, Pedro, Juliano, Henrique e a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Em especial, a minha mãe Elisabeth Guizelli, pelo amor, esforço, atenção e por estar sempre ao meu lado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO	11
1.1	Introdução	11
1.2	Objetivo Científico	11
2	IONOSFERA TERRESTRE, TEORIA DO DÍNAMO ATMOSFÉRICO E ELETROJATO EQUATORIAL	12
2.1	Ionosfera Terrestre	12
2.1.1	Região D	12
2.1.2	Região E	13
2.1.3	Região F.....	13
2.2	Teoria do Dínamo Atmosférico na Região E.....	14
2.3	Eletrojato Equatorial (EEJ).....	14
2.3.1	Irregularidades do Eletrojato Equatorial	15
3	Instrumentação e Metodologia de Análise	17
3.1	Radar de Espalhamento Coerente em 50 MHz do INPE (RESCO)	17
3.1.1	Localização do Radar	17
3.1.2	Frequência de operação	17
3.1.3	Sistema de Sinal Pulsado.....	17
3.1.4	Frequência de Repetição de Pulso (PRF)	17
3.1.5	Potência do Transmissor.....	18
3.1.6	Sistema de Antenas.....	18
3.1.7	Sistema Transmissor.....	19
3.1.8	Sistema Receptor	19
3.2	Dados Coletados	19
3.3	Metodologia de Análise de Dados	20

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPCIAIS
Relatório Final de Atividades

4	Resultados e Discussões	22
4.1	Resultados das Análises dos dados do RESCO 50 MHz.....	22
4.2	Discussão dos Resultados	24
4.2.1	Horário de Início e de Fim do EEJ	24
4.2.2	Altura de Início e de Fim do EEJ	25
5	Trabalhos Publicados.....	26
5.1	Trabalhos Completos Publicados em Anais de Congressos	26
5.1.1	Congresso Internacional da Sociedade Brasileiro de Geofísica Espacial (CISBGF)	26
5.2	Resumos Publicados em Anais de Congressos.....	27
5.2.1	Seminário de Iniciação Científica do INPE 2009 (SICINPE).....	27
5.2.2	International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA).....	27
5.2.3	International Living With a Star (ILWS)	27
5.2.4	Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP (SIICUSP).....	28
5.3	Artigo Aceito Para Publicação.....	28
6	Conclusões.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1: Esquema das correntes ionosféricas e campos elétricos baseado na teoria do dínamo ionosférico.	14
Figura 2: 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.	15
Figura 3: 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.	18
Figura 4: Exemplo de mapa RTI de variação temporal de intensidade de potência em função da altura obtido pelo RESCO no Observatório Espacial de São Luís do INPE - MCT para o dia 20 de fevereiro de 2003.	19
Tabela 1: Dias dos dados de 2002, 2003 e 2004 selecionados para análise	21
Figura 5: Histograma de ocorrência de dias versus a hora de início (esquerda) e fim (direita), de observação das irregularidades do EEJ.....	22
Figura 6: Histograma de ocorrência de dias versus altura de observação das irregularidades do EEJ na hora de início (esquerda) e na hora de fim (direita) para dados de 2002, 2003. .	23
Figura 7:Histograma de ocorrência de dias versus a hora de início (esquerda) e fim (direita), de observação das irregularidades do EEJ incluindo o ajuste gaussiano.	23
Figura 8: Histograma de ocorrência de dias versus altura de observação das irregularidades do EEJ na hora de início (esquerda) e na hora de fim (direita), incluindo os ajustes gaussianos.....	24
Tabela 2: Informações do ajuste gaussiano para os horários de início e fim do EEJ	24
Tabela 3: Informações do ajuste gaussiano paraas alturas de início e fim do EEJ.....	25

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO

1.1 Introdução

Neste trabalho serão apresentadas as atividades desenvolvidas no período de agosto de 2009 até julho de 2010. Neste período foram desenvolvidas atividades teóricas e práticas relacionadas com o tema do projeto. Como atividade teórica foi realizada uma revisão bibliográfica sobre atmosfera neutra, ionosfera terrestre, eletrojato equatorial e funcionamento de radar. Como atividades práticas, foram processados e analisados os dados do Radar de Espalhamento Coerente (RESCO) que está instalado no Observatório Espacial de São Luís, OESLZ/INPE – MCT, no Maranhão, cujas coordenadas geográficas são 2,33° S e 44,20°.

No capítulo 2 deste relatório serão apresentados trabalhos de revisão teórica, a qual tem a finalidade e suprir parte do primeiro objetivo deste projeto (formação acadêmica da aluna), bem como de desenvolver os conceitos sobre a atmosfera neutra, a ionosfera terrestre e o eletrojato equatorial. No capítulo 3 serão apresentadas as instrumentações e as metodologias utilizadas para o desenvolvimento do trabalho. No capítulo 4 serão sumarizadas as discussões sobre os resultados observados nessa pesquisa, as quais cumprem os dois objetivos do projeto (formação acadêmica da aluna e o estudo e monitoramento da ionosfera na região próxima ao centro de lançamento de Alcântara). No 5º capítulo citaremos os trabalhos publicados em anais de eventos e submetidos para publicação, nos quais a aluna foi primeira autora ou contribui para o trabalho. Por fim, no capítulo 6, apresentamos as conclusões deste relatório.

1.2 Objetivo Científico

O principal objetivo científico deste projeto é caracterizar estatisticamente e analisar o comportamento da ionosfera tropical, com atenção voltada para a presença do eletrojato equatorial na região de São Luís - MA. O interesse nesta região tropical é devido a ela apresentar uma grande diversidade de fenômenos de interesse científico, os quais também são capazes de interferir nas comunicações transionosféricas. A outra motivação é a possibilidade dos resultados deste estudo levar ao desenvolvimento de ferramentas eficientes de Previsão do Clima Espacial Local, ou seja, ferramentas que nos permitam antever possíveis efeitos das atividades “eruptivas” solares no ambiente ionosférico sobre o território brasileiro. No ambiente espacial brasileiro, os efeitos do Clima Espacial são particularmente mais intensos devido à grande extensão territorial do país, sua localização geográfica na região equatorial e à ocorrência de anomalias regionais no campo magnético e em camadas ionosféricas. Os serviços gerados pelos sistemas estrangeiros não levam em conta os fenômenos típicos das regiões equatoriais. Portanto, é importante iniciarmos nossos esforços para estabelecer as bases de um sistema científico brasileiro para pesquisas,

monitoramento e previsão do Clima Espacial, capaz de realizar essas atividades de maneira a atender as necessidades regionais de maneira mais eficiente.

CAPÍTULO 2

2 IONOSFERA TERRESTRE, TEORIA DO DÍNAMO ATMOSFÉRICO E ELETROJATO EQUATORIAL

2.1 Ionosfera Terrestre

A região da atmosfera terrestre situada entre 60 e 2000 km de altitude é chamada Ionosfera. Ela é formada por um plasma originado principalmente pela fotoionização dos átomos e moléculas da atmosfera neutra. Quando os raios solares que são muito energéticos, ao atingem os constituintes neutros fazem com que estes liberem elétrons, formando os íons positivos, resultando no plasma ionosférico. Os principais constituintes iônicos do plasma ionosférico são o oxigênio atômico (O) e o óxido nítrico (NO). Imediatamente após a ionização começam as reações de recombinação que levam a perda do plasma, fazendo com que seus constituintes ionizados retornem a condição de constituintes da atmosfera neutra. A taxa de troca de densidade eletrônica é expressa pela equação da continuidade (Hargreaves, 1992).

$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - L - \nabla \cdot (N\mathbf{v}),$$

onde N é densidade do plasma, q é a taxa de produção, L é a taxa de perda por recombinação, $\nabla \cdot (N\mathbf{v})$ expressa a perda/ganho de elétrons por transporte, sendo \mathbf{v} a velocidade de transporte.

A constante criação e destruição do plasma indica que a estrutura ionosférica varia conforme a quantidade de radiação solar recebida. Além disso, a densidade ionosférica varia com o ciclo de atividade solar e a latitude. Os diferentes processos de ionização, a variação da densidade atmosférica e da absorção da quantidade de energia proveniente da radiação solar geram três regiões ionosféricas distintas, que são as regiões D, E e F.

2.1.1 Região D

A região D está localizada na porção inferior da ionosfera, entre ~ 60 e 90 km acima da superfície terrestre. É a menos densa em elétrons e praticamente desaparece durante a noite. Esta região é formada essencialmente por colisões de partículas energéticas com a atmosfera neutra. Esta região possui metais alcalinos (Na, K, Li) e as reações químicas mais importantes envolvem os seguintes elementos: O, O₃, NO₂, CO₂, H₂O. Ela também é responsável pela absorção das ondas de rádio em alta frequência (Rishbeth, 1969).

2.1.2 Região E

Essa camada inicia por volta dos 90 km e se estende até ~ 150 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 é da ordem de 5×10^9 elétrons/m³, enquanto que durante o dia ela pode ser da ordem de 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 desintegração meteórica pelo atrito com a atmosfera terrestre. E deve ser mencionado que estes íons são os responsáveis pela formação das camadas E esporádicas em médias latitudes (Kivelson, 1995).

2.1.3 Região F

A região F fica acima da região E, iniciando a ~ 150 km da superfície terrestre e estendendo-se até o limite superior da ionosfera (~ 2000 km). Essa região se subdivide em F1 e F2 e em determinados horários e latitudes pode aparecer a F3 (Abdu, 1997).

2.1.3.1 Camada F1

Esta porção da região F tem início por volta dos 150 km e estende-se por aproximadamente 20 - 40 km. A espécie neutra molecular predominante nessa região é o N₂. A espécie atômica predominante nessa região é o O (Kivelson e Russell, 1995). O íon majoritário é o O⁺, e sua concentração pode variar de $2,5 \times 10^{11}$ a 4×10^{11} m⁻³. Porém, à noite a densidade eletrônica dessa região se reduz (Kelley, 1989).

2.1.3.2 Camada F2

Esta camada localiza-se na parte mais alta da Ionosfera e seu máximo de concentração eletrônica pode atingir aproximadamente 10^{12} elétrons/m³, localizando-se em torno dos 300 km de altitude. Durante a noite a sua densidade eletrônica normalmente decai para cerca de 5×10^{10} elétrons/m³. 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 (Kelley, 1989).

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.

2.1.3.3 Camada F3

A camada F3 pode ser dividida em dois tipos, dependendo da época, ou seja, tipo 1, mais comum nos meses de verão, e do tipo 2 nos meses de inverno (Abdu, 1997). Esta camada surge em latitude muito próximas do equador magnético, devido à rápida elevação do

plasma ionosférico pelos processos eletrodinâmicos, abrindo espaço para que mais atmosfera neutra continue a ser ionizada abaixo.

2.2 Teoria do Dínamo Atmosférico na Região E

Os ventos neutros (\mathbf{U}), causados pelo aquecimento e pela diferença de pressão, arrastam as partículas neutras da região equatorial para os pólos. Ao encontrar o campo magnético da Terra praticamente vertical em altas latitude essas partículas são derivadas para o terminador do amanhecer ambos os hemisférios. Com isso, há uma polarização positiva o lado do amanhecer do terminador e negativa o lado do anoitecer. A diferença de potencial existente em torno do equador gera uma corrente denominada eletrojato equatorial (EEJ). Este esquema é mostrado na Figura 1 (Forbes, 1981).

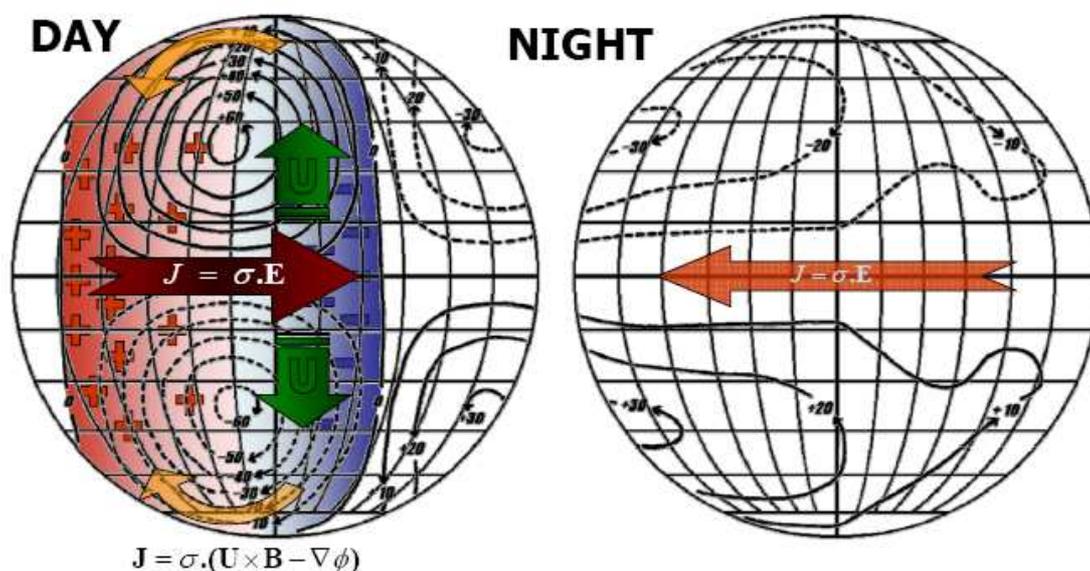


Figura 1: Esquema das correntes ionosféricas e campos elétricos baseado na teoria do dínamo ionosférico.

FONTE: Denardini (2004).

2.3 Eletrojato Equatorial (EEJ)

O eletrojato é uma corrente que flui ao longo do equador magnético na região E da ionosfera. Está confinado em uma faixa de 600 km de extensão na direção norte-sul, entre aproximadamente 90 e 120 km de altitude. Ele é controlado por um sistema global de campos elétricos produzidos pelo dínamo atmosférico mencionado acima. Ele ocorre nesta região devido à orientação horizontal do campo magnético e às condutividades ionosféricas locais (Denardini, 1999).

A região E apresenta uma gama de irregularidades em seu plasma. Algumas delas estão relacionadas com o eletrojato equatorial, as quais são nosso objeto de estudo. Nas seções a seguir apresentamos estas irregularidades e algumas de suas características.

2.3.1 Irregularidades do Eletrojato Equatorial

Estudos feitos utilizando radares VHF mostram dois tipos distintos de irregularidades no eletrojato equatorial. Irregularidades tipo 1 apresentam um pico de potência estreito e centrado sob o deslocamento Doppler, correspondente a velocidade íon acústica, que é em torno de 360 m/s. As irregularidades tipo 2 apresentam um espectro de potência mais espalhado e um deslocamento Doppler menor que o correspondente a velocidade íon acústica (Denardini, 1999). A Figura 2 mostra estes dois tipos de irregularidades.

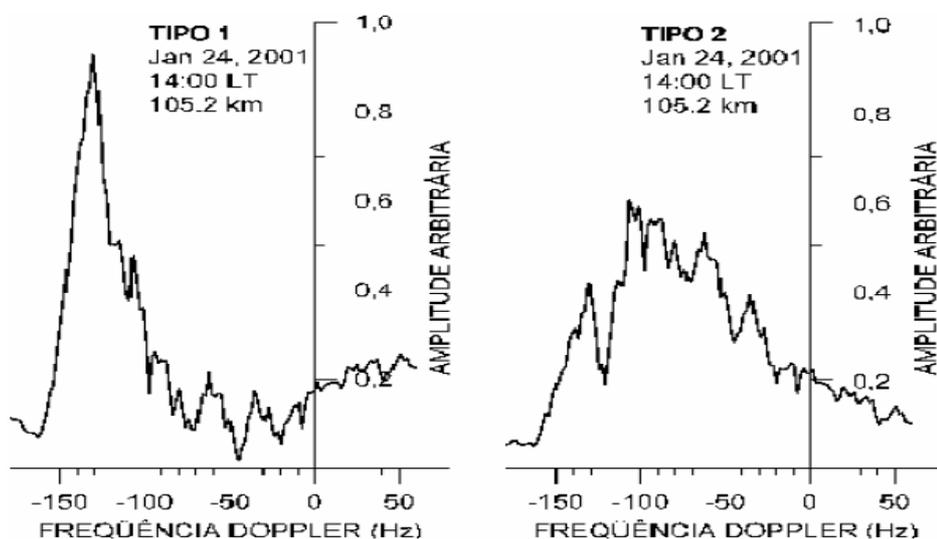


Figura 2: Espectros de irregularidades Tipo 1, à esquerda, e irregularidades Tipo 2, à direita, dos dados do Radar de Espalhamento Coerente em 50 MHz, no dia 24 de janeiro de 2001, as 14 horas, para a altura de 105,2 km, medidas no Observatório Espacial de São Luís do Maranhão/INPE - MCT.

FONTE: Denardini (2003).

Irregularidades tipo 1 ocorrem no plasma quando a força inercial nos íons associadas com uma perturbação de densidade excede a força do gradiente de pressão, a qual tende a destruir a perturbação causando a difusão através da linha de campo magnético, que normalmente ocorre quando a velocidade de deslocamento dos elétrons ultrapassa a velocidade íon acústica (Denardini 1999). Este tipo de irregularidade tende a aparecer em horários entre 10 e 13 horas local, levando em conta dias magneticamente calmos (Forbes, 1981).

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPCIAIS
Relatório Final de Atividades

Os ecos tipo 2 ocorrem em plasmas não homogêneos se um campo elétrico ambiente gerado pela diferença de densidade tem uma componente muito acentuada na direção paralela ao gradiente de densidade. Estas irregularidades podem aparecer desde os primeiros horários da manhã até o pôr-do-sol, considerando dias magneticamente calmos (Denardini 1999).

CAPÍTULO 3

3 Instrumentação e Metodologia de Análise

3.1 Radar de Espalhamento Coerente em 50 MHz do INPE (RESCO)

Nesta seção faremos uma breve descrição dos principais parâmetros que caracterizam o radar de São Luís do Maranhão.

3.1.1 Localização do Radar

Uma das condições para detecção de irregularidades de plasma é que o feixe do radar deve estar no plano normal à direção do campo geomagnético nas alturas da região E, já que as irregularidades são alinhadas ao campo. Sendo assim, o radar foi instalado em São Luís que está localizado sob o equador magnético e próximo ao centro do eletrojato equatorial (Denardini, 1999).

3.1.2 Frequência de operação

Frequências inferiores a 30 MHz e superiores a 54 MHz são reservadas a radiodifusão e TV, sendo assim, o RESCO só poderia operar dentro desta faixa dos 30-54 MHz. A frequência escolhida foi a de 50 MHz, visto que as irregularidades de grande tamanho são muito mais frequentes, por isso o comprimento da onda emitida pelo radar deve ser grande e por tanto a frequência de operação não deve ser muito alta (Aveiro, 2005).

3.1.3 Sistema de Sinal Pulsado

O sistema de transmissão utilizado é o sistema pulsado, pois este sistema permite facilmente determinar a altura do espalhamento do sinal. Com a utilização deste método deve se tomar um cuidado específico. O período entre pulsos deverá ser suficientemente grande para evitar ambigüidade no recebimento.

3.1.4 Frequência de Repetição de Pulso (PRF)

A PRF deve ser maior que duas vezes o máximo deslocamento Doppler esperado, tomando cuidado para este valor não ser muito alto, o que causaria ambigüidade na determinação da altura. O RESCO pode identificar irregularidades tanto nas alturas da região E, quanto nas alturas da região F, que se propagam com velocidades diferentes.

Levando em conta que na região E as irregularidade se propagam a uma velocidade máxima de 4000 m/s e considerando 120 km como a altura máxima para esta camada,

temos uma PRF limitada de 266,6 a 1080 Hz. Na região F, as irregularidades se propagam a no máximo 200 m/s e levando em conta que a altura máxima desta região seja 800 km, a PRF seria de 133,4 a 162 Hz.

Portanto, 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 captarmos irregularidades da região E, era necessário que a potência transmitida fosse de alguns quilowatts, já irregularidades da região F requerem uma potência de dezenas de quilowatts.

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.

3.1.6 Sistema de Antenas

O sistema de antenas do radar é composto por 768 dipolos de cabo coaxial, dispostos no arranjo de 32 x 24, ilustrado na Figura 3. As 32 antenas são dispostas em grupos de 4 antenas para sua alimentação pelos 8 transmissores. Cada antena do arranjo consiste de 24 dipolos ligados em série, dois a dois, alinhados no sentido norte-sul, resultando num ganho total para a antena de 32.5 dB.



Figura 3: 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. Clezio Marcos De Nardin.

3.1.7 Sistema Transmissor

O sistema transmissor do RESCO é composto de um oscilador de 30 MHz, um oscilador de 80 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.

3.1.8 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 ao conjunto de antenas 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 imposto no momento da transmissão.

3.2 Dados Coletados

O radar RESCO emite pulsos, em uma frequência de 50 MHz. Esses pulsos são retro-espalhados nas irregularidades de plasma do EEJ e sua energia é posteriormente detectada como um eco, que são armazenados pelo sistema de recepção do radar. Nesta fase os sinais analógicos são transformados para sinais digitais de 16 bits. Depois de feita a gravação, é aplicada a rotina de pré-processamento dos dados do radar RESCO, e obtém-se um mapa da variação de intensidade de potência, mapa RTI (*Range-Time-Intensity*), para determinado dia (Aveiro, 2005). A Figura 4 exemplifica um mapa RTI.

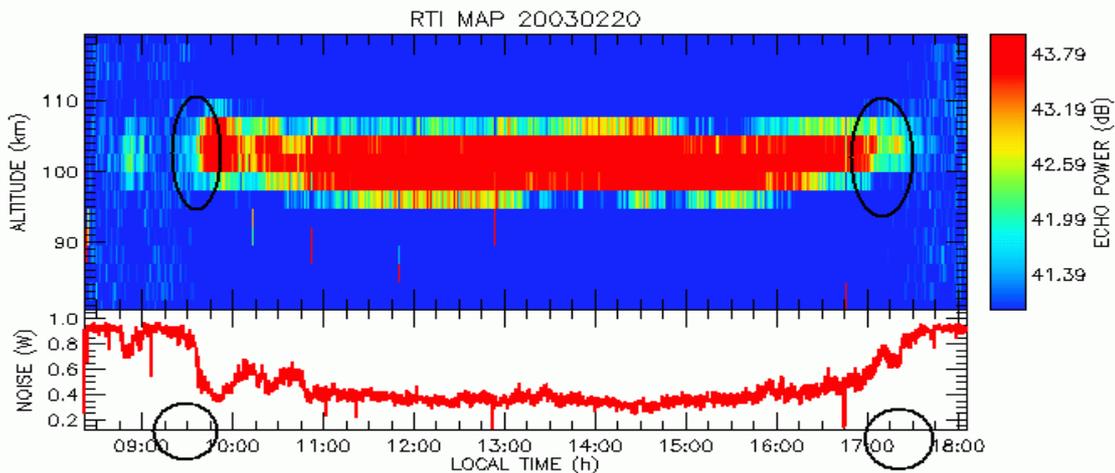


Figura 4: Exemplo de mapa RTI de variação temporal de intensidade de potência em função da altura obtido pelo RESCO no Observatório Espacial de São Luís do INPE - MCT para o dia 20 de fevereiro de 2003.

3.3 Metodologia de Análise de Dados

Neste período de bolsa foram desenvolvidos procedimentos para estabelecer uma metodologia de análise de dados. Para tanto, os mapas RTI foram analisados de forma manual. Os horários de inícios e fim de ocorrência de irregularidades de 3-metros foram escolhidos baseados numa experiência de análise de dados desenvolvidas na bolsista. Além disso, foram investigadas as alturas destas irregularidades no EEJ nos horários de início e fim. Foram analisados dias de 2002, 2003 e 2004 como mostra a Tabela 1.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPCIAIS
Relatório Final de Atividades

Tabela 1: Dias dos dados de 2002, 2003 e 2004 selecionados para análise

2002	
Janeiro	22,23,28,29,30
Fevereiro	14,15,16,20,21,22,23, 24,25,26,27,28
Março	19,20,21,22,25,26,27,28
Abril	22,23,24,25,26,29,30
Maiο	2,3,20,21,22,23,24,27,28,29,31
Junho	20,21,24,25,26,27,28
Julho	22,23,25,26,29
Agosto	1,14,19,26,27,29
Setembro	10,11,12,13,17,18,19,20
Novembro	5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18, 19, 20,21,22,23,24,25,26,27,28, 29,30
Dezembro	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12
2003	
Janeiro	20,21,22,23,24,27,28,29,30,31
Fevereiro	17,18,19,20,21,24,25,26,27,28
Março	17,18,24,25,26,27,28,31
Abril	1,2,3,14,15,16,22,23,24
Maiο	19,20,21,22,23,26,27,28,29
2004	
Abril	26,27,28,29,30
Agosto	1,4
Setembro	10,13,14,15,16
Outubro	11,13,14,18
Novembro	11,12,16,17,18
Dezembro	6,14

CAPÍTULO 4

4 Resultados e Discussões

Neste capítulo apresentamos os resultados das análises realizadas pela bolsista sob o conjunto de dados selecionados, mencionadono capítulo anterior.

4.1 Resultados das Análises dos dados do RESCO 50 MHz

Os resultados das análises de dados foram agrupados em forma de histogramas para caracterizar um comportamento médio de longo prazo, objetivo deste trabalho.

Nos histogramas da Figura 5, observamos, a esquerda, a distribuição da densidade o número de dias em que o EEJ começou no período entre 07:45 e as 11:15 (LT), para os dados da Tabela 1. O histograma da direita representa o número de dias cujo EEJ terminou entre as 15:45 às 19:15 (LT).

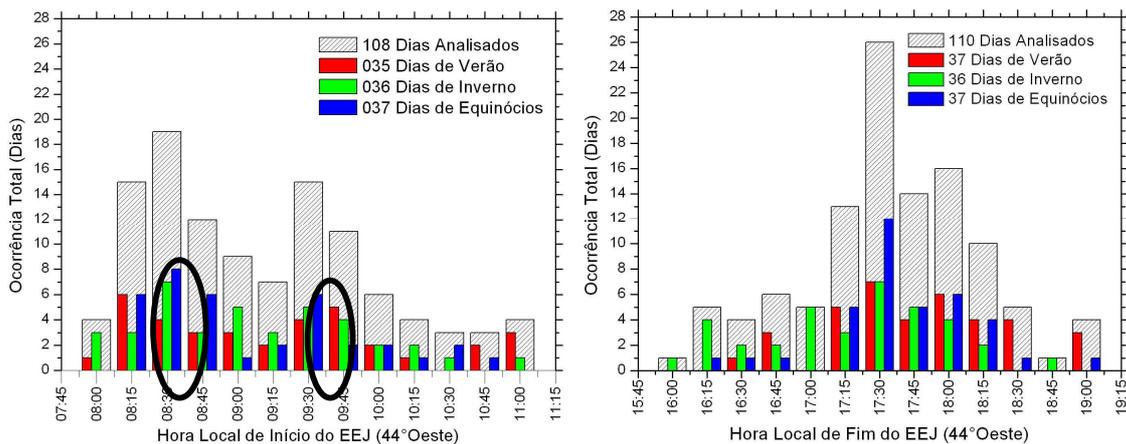


Figura 5: Histograma de ocorrência de dias versus a hora de início (esquerda) e fim (direita), de observação das irregularidades do EEJ.

A Figura 6 representa histogramas das ocorrências em dias versus a altura do EEJ. O histograma a esquerda mostra a altura do EEJ quando ele surge. O histograma o da direita, a altura do EEJ quando ele termina.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPCIAIS
Relatório Final de Atividades

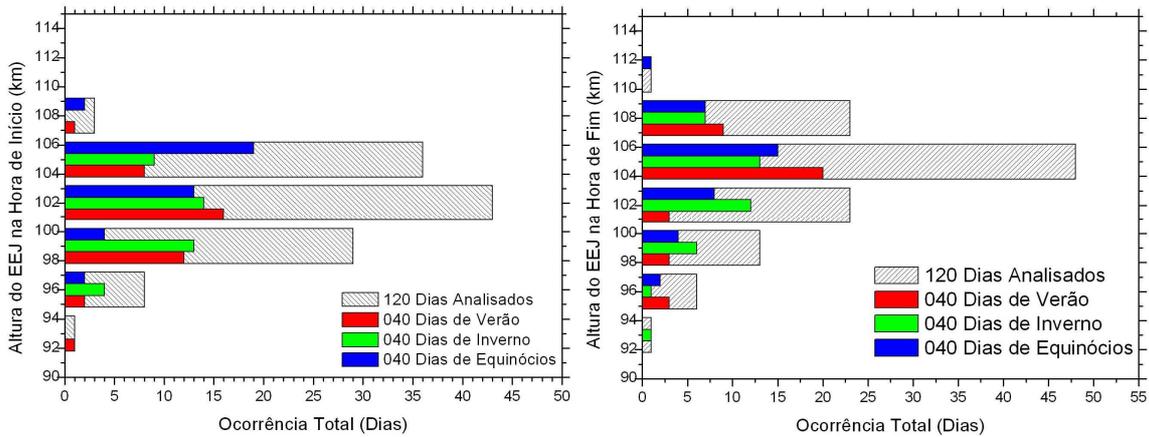


Figura 6: Histograma de ocorrência de dias versus altura de observação das irregularidades do EEJ na hora de início (esquerda) e na hora de fim (direita) para dados de 2002, 2003.

Com a expansão deste estudo, foi feito um ajuste gaussiano realizado com o auxílio do software matemático OriginTM sobre cada histograma individualmente. Observe que o ajuste gaussiano permite uma melhora na análise da estatística.

Na Figura 7, temos a esquerda, os dias em que o EEJ começou no período entre 07:45 e as 11:15 (LT), para os dias de 2002, 2003, 2004. A direita representa o número de dias cujo EEJ terminou entre as 15:45 às 19:15 (LT). Para as duas imagens foram incluídos os ajustes gaussianos

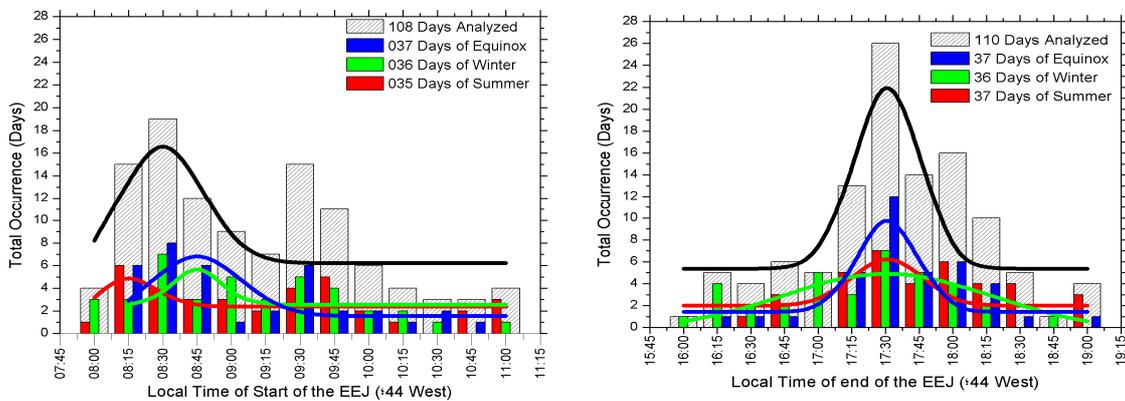


Figura 7: Histograma de ocorrência de dias versus a hora de início (esquerda) e fim (direita), de observação das irregularidades do EEJ incluindo o ajuste gaussiano.

A Figura 8 representa histogramas das ocorrências em dias versus a altura do EEJ, para os anos de 2002, 2003, 2004. O histograma a esquerda mostra a altura do EEJ quando ele surge. Já o da direita, a altura do EEJ quando ele termina. Ambas as imagens incluem os ajustes gaussianos calculados.

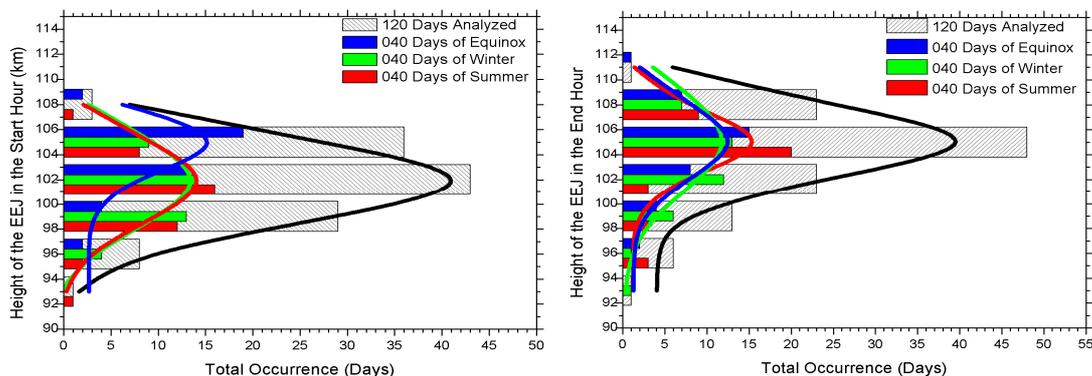


Figura 8: Histograma de ocorrência de dias versus altura de observação das irregularidades do EEJ na hora de início (esquerda) e na hora de fim (direita), incluindo os ajustes gaussianos.

4.2 Discussão dos Resultados

4.2.1 Horário de Início e de Fim do EEJ

Em termos gerais, o ajuste gaussiano evidenciou que o EEJ tende a aparecer por volta das 8:30 LT, exceto no verão. Com relação à hora do fim do EEJ notamos que o EEJ diminui no período das 17:15 às 18:00, tendo o centro por volta das 17:30. Contudo, um fato marcante é a variabilidade do inverno. Os resultados são apresentados na Tabela 1

Tabela 2: Informações do ajuste gaussiano para os horários de início e fim do EEJ

	Estação do Ano	Centro (hh:mm)	Desvio Padrão (hh:mm)
Início	Equinócios	08:30	00:17
	Inverno	08:30	00:08
	Verão	08:15	00:08
Fim	Equinócios	17:30	00:10
	Inverno	17:30	00:46

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPCIAIS
Relatório Final de Atividades

Verão	17:30	00:12
-------	-------	-------

4.2.2 Altura de Início e de Fim do EEJ

Em geral as alturas no início do EEJ tanto do inverno quanto do verão apresentam seu centro em 102 km, nos equinócios em 105 km. Nas alturas do fim do EEJ verifica-se uma ascensão no seu centro ao longo do período. Na tabela 2 estão sumarizados os resultados.

Tabela 3: Informações do ajuste gaussiano para as alturas de início e fim do EEJ

	Estação do Ano	Centro (km)	Desvio Padrão (km)
Início	Equinócios	105	1,700
	Inverno	102	3,400
	Verão	102	2,916
Fim	Equinócios	105	2,510
	Inverno	105	3,665
	Verão	105	1,909

CAPÍTULO 5

5 Trabalhos Publicados

Neste capítulo, apresentamos os resultados da interação da bolsista com a comunidade científica em nível de iniciação científica e com os pesquisadores presentes nos congressos internacionais de sua área de atuação. Aqui também estão refletidas parte das atividades complementares de formação do bolsista realizadas durante o período de bolsa 2009 - 2010 referentes ao assunto deste relatório. Essas atividades têm como objetivo o desenvolvimento pessoal e profissional da bolsista.

5.1 Trabalhos Completos Publicados em Anais de Congressos

5.1.1 Congresso Internacional da Sociedade Brasileiro de Geofísica Espacial (CISBGF)

GUIZELLI, L.M., DENARDINI, C. M., AVEIRO, H. C., ALMEIDA, P. D. S. C., RESENDE, L. C. A. Diurnal Variation of the Occurrence of Plasma Irregularities in the Equatorial Electrojet Over Brazilian Sector

RESENDE L. C. A., DENARDINI C. M., BASTISTA I. S., GUIZELLI, L. M., ALMEIDA P. D. S. C., AVEIRO H. C. Study of Ionospheric Sporadic E-Layers at São Luís – MA (Brazil) During Storm-Time: Observations on the Maximum and Minimum Phases of Solar Cycles 23.

ALMEIDA P. D. S. C., DENARDINI C. M., AVEIRO H. C., RESENDE L. C. A., GUIZELLI, L. M., Analysis of Solar Tidal Signatures in Ionospheric Electric Currents Observed by Magnetometers.

DENARDINI C. M., OLÍVIO, E. P. A., AVEIRO H. C., ALMEIDA P. D. S. C., RESENDE L. C. A., GUIZELLI, L. M., WRASSE, C.M., BAGESTON, J.V. New Features of the Field-Aligned-Integrated Conductivity Model for the Brazilian Equatorial E-Region and the Implication on the Collision Rates

Local: Salvador - Bahia

Período: 24 a 29 de Agosto de 2009

5.2 Resumos Publicados em Anais de Congressos

5.2.1 Seminário de Iniciação Científica do INPE 2009 (SICINPE)

GUIZELLI, L. M., DENARDINI C. M., AVEIRO H. C., ALMEIDA P. D. S. C., RESENDE L. C. A. Climatologia, Estudo e Monitoramento da Eletrodinâmica da Baixa Ionosfera Equatorial

Local: INPE – São José dos Campos – SP

Período: 06 a 08 de Julho de 2009

5.2.2 International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA)

RESENDE L. C. A., DENARDINI C. M., GUIZELLI, L. M., ALMEIDA P. D. S. C., AVEIRO H. C. Studies of the Space Weather Effects on the Ionospheric Environment at the Brazilian Sector During Disturbed Periods as Seen in the E-Region Parameters.

ALMEIDA P. D. S. C., DENARDINI C. M., BATISTA, P.P., AVEIRO H. C., RESENDE L. C. A., GUIZELLI, L. M., Analyses of the Correlation Between Counter Equatorial Electrojet Detection and Gravity Waves Observation.

AVEIRO H. C., DENARDINI C. M., ALMEIDA P. D. S. C., RESENDE L. C. A., GUIZELLI, L. M., ABDU, M.A. Multiresolution Analysis of Prompt Penetration Electric Fields: Cases Study.

Local: Sopron – Hungria

Período: 23 a 30 de Agosto de 2009

5.2.3 International Living With a Star (ILWS)

GUIZELLI, L. M., DENARDINI C. M., ALMEIDA P. D. S. C., AVEIRO H. C., RESENDE L. C. A. Occurrence Of EEJ Irregularities Under Disturbed Magnetic Activity VS Quiet Conditions .

DENARDINI C. M., AVEIRO H. C., ALMEIDA P. D. S. C., RESENDE L. C. A., GUIZELLI, L. M., SOBRAL, J.H.A., ABDU, M.A. A Case Study on Prompt Penetration Electric Fields .

RESENDE L. C. A., DENARDINI C. M., AVEIRO H. C., ALMEIDA P. D. S. C., GUIZELLI, L. M., Observations of Solar Flare Effects in the Sporadic-E-Layers During Storm-Time in October 2003 at São Luíz – MA (Brazil).

ALMEIDA P. D. S. C., DENARDINI C. M., AVEIRO H. C., RESENDE L. C. A.,
GUIZELLI, L. M., BATISTA, P.P. Analysis of Solar Tidal Signatures in
Ionospheric Electric Currents Observed by Magnetometers.

Local: Ubatuba – São Paulo

Período: 4 a 9 de Outubro de 2009

5.2.4 Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP (SIICUSP)

GUIZELLI, L. M., DENARDINI C. M., ALMEIDA P. D. S. C., RESENDE L. C. A.
Estimativa de horários e alturas de início e fim da observação de
irregularidades do Eletrojato Equatorial baseado em ajustes
gaussianos sobre a distribuição das ocorrências.

Local: São Carlos – São Paulo

Período: 09 a 11 de Novembro de 2009

5.3 Artigo Aceito Para Publicação

DENARDINI, C. M., AVEIRO, H. C., ALMEIDA, P. D. S. C., RESENDE, L. C. A.,
GUIZELLI, L. M., MORO, J., SOBRAL, J. H. A., ABDU, M. A. Daytime
efficiency of different time scale prompt penetration electric fields to
equatorial latitudes. In: Journal of Atmospheric and Solar-
Terrestrial Physics, 2010.

CAPÍTULO 6

6 Conclusões

Cientificamente, o estudo dos fenômenos que ocorrem na ionosfera equatorial é de grande importância para que se possa estabelecer mecanismos de previsão. Neste sentido, os esforços para formação da bolsista na área de ciência especial se concentraram, principalmente, no estudo sobre um dos fenômenos que ocorre na camada E ionosférica, o eletrojato equatorial.

Através dos dados adquiridos pelo RESCO, foi analisado manualmente os mapas RTI. Utilizando estes mapas observamos o horário de início e fim do EEJ, e suas respectivas alturas. Através do software OriginTM, foram plotados os resultados em forma de histogramas. Com a expansão deste estudo, foi feito um ajuste gaussiano realizado com o auxílio do software matemático OriginTM sobre cada histograma individualmente. Este ajuste gaussiano permitiu uma melhora na análise da estatística.

Este estudo mostrou uma estatística de ocorrência de irregularidades de plasma de escala de 3 m, observadas pelo radar RESCO em SLZ. Apesar de conhecido pela prática tal estudo revelou os horários médios e alturas médias de ocorrência destas irregularidades para o período de estudo. E, foi constatado que as irregularidades do EEJ estão presentes desde as 8:15 até as 18:00(LT), podendo haver variações entre as estações do ano. Quanto à altura o EEJ apresenta uma altura menor na sua formação e maior no esvanecimento.

Do ponto de vista de desenvolvimento da bolsista, através da realização destas atividades, ela teve contato com os dados do radar RESCO, desenvolveu seu conhecimento sobre o equipamento, aprendeu a organizar os dados e realizar análises estatísticas, realizou ajustes de curvas às séries de dados, relacionando análise estatística com métodos computacionais de análises e desenvolveu sua capacidade de interpretação física dos resultados.

Com respeito ao aprimoramento do seu profissionalismo, neste período de projeto a bolsista apresentou capacidade de interagir profissionalmente com os diversos integrantes do grupo de pesquisas ionosféricas do INPE, com os quais ela foi capaz de colaborar com esforço integrado de pesquisa.

Além disso, ela adquiriu a capacidade de elaborar trabalhos científicos, executá-los e compilar seus resultados, culminando com a preparação de trabalho para apresentação em eventos científico compatível com o seu grau de conhecimento, bem como em eventos científicos internacionais.

Pelo exposto, considero que ela atendeu a todos os requisitos do programa PIBIC do INPE e considero este relatório aprovado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdu, M. A., Sastri, J. H., MacDougall, J., Batista, I. S., Sobral, J. H. A. Equatorial disturbance dynamo electric field longitudinal structure and spread F: a case study from GUARA/EITS campaigns. *Geophysical Research Letters*, v. 24, n. 13, p. 1707-1710, July 1997.
- Aveiro, H.C. Estudo da Eletrodinâmica do Eletrojato Equatorial Baseado em Dados Observacionais de Radares Coerentes, Ionossondas Digitais e Magnetômetros. 2005. INPE.
- Denardini, C. M. Dissertação de Mestrado. Desenvolvimento de um Sistema de Correção de Fase para o Radar Ionosférico de São Luís do Maranhão. São José dos Campos, 1999. INPE.
- Denardini, C. M. Tese de Doutorado. Estudo da Eletrodinâmica da Ionosfera Equatorial Durante o período de Máxima Atividade Solar. São José dos Campos, 2004. INPE.
- Forbes, J. M. *The equatorial electrojet*. *Reviews of Space Geophysics and Space Physics*, v.19, n.3, p. 469 – 504, 1981.
- Hargreaves, J. K. *The solar-terrestrial environment*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- Kelley, M. C. *The Earth's Ionosphere*. San Diego: Academic Press, 1989.
- Kivelson, M. G., Russell, C. T. ed. *Introduction to space physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- Rishbeth, H., Garriott, O. K. *Introduction to ionospheric physics*. New York: Academic, 1969.