



**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE/MCT
UNIDADE REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS - RSU/INPE–MCT
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL SSO/RSU/INPE-MCT
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - UFSM**



LABORATÓRIO DE RADIOFREQÜÊNCIA E COMUNICAÇÕES

A IONOSFERA SOBRE A REGIÃO SUL DO BRASIL - CARACTERIZAÇÃO EM SANTA MARIA, RS

Autor

Cleomar Pereira da Silva

Orientadora

Dra. Inez Staciarini Batista

Co-Orientadores

Dr. Clezio M. De Nardin

Dr. Nelson J. Schuch



OBJETIVOS



✓ **Objetivo Inicial:**

Caracterizar o comportamento da Ionosfera da Região Sul do Brasil através da análise de dados obtidos com o Radar/Sondador Ionosférico DPS-4, em Santa Maria, RS.

✓ **Objetivos Relacionados:**

Caracterização da Ionosfera sobre a região de São Luís do Maranhão.

Análise do comportamento da altura real da camada F2 da Ionosfera e comparação com os valores previstos pelo modelo Ionosférico IRI.

Estudo, entendimento e monitoramento dos processos de derivas eletromagnética do plasma ionosférico como o *pre-reversal enhancement*.

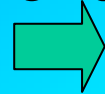


INTRODUÇÃO



✓ **Conhecimentos Físicos:**

Sol:

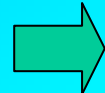


Estruturas Internas e Externas

Vento solar

Interações com a Magnetosfera Terrestre

Ionosfera:



Principais Fontes de Ionização

Divisão em Camadas Ionizadas

✓ **Conhecimentos Técnicos:**

Entender o princípio da utilização de um sondador ionosférico para medição da densidade eletrônica.

✓ **Redução, Análise de Dados e Comparação com Modelos.**

✓ **Resultados:**

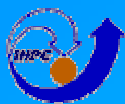
Observação de Fenômenos Físicos Específicos como o Pico de Pré-Reversão.



Sol



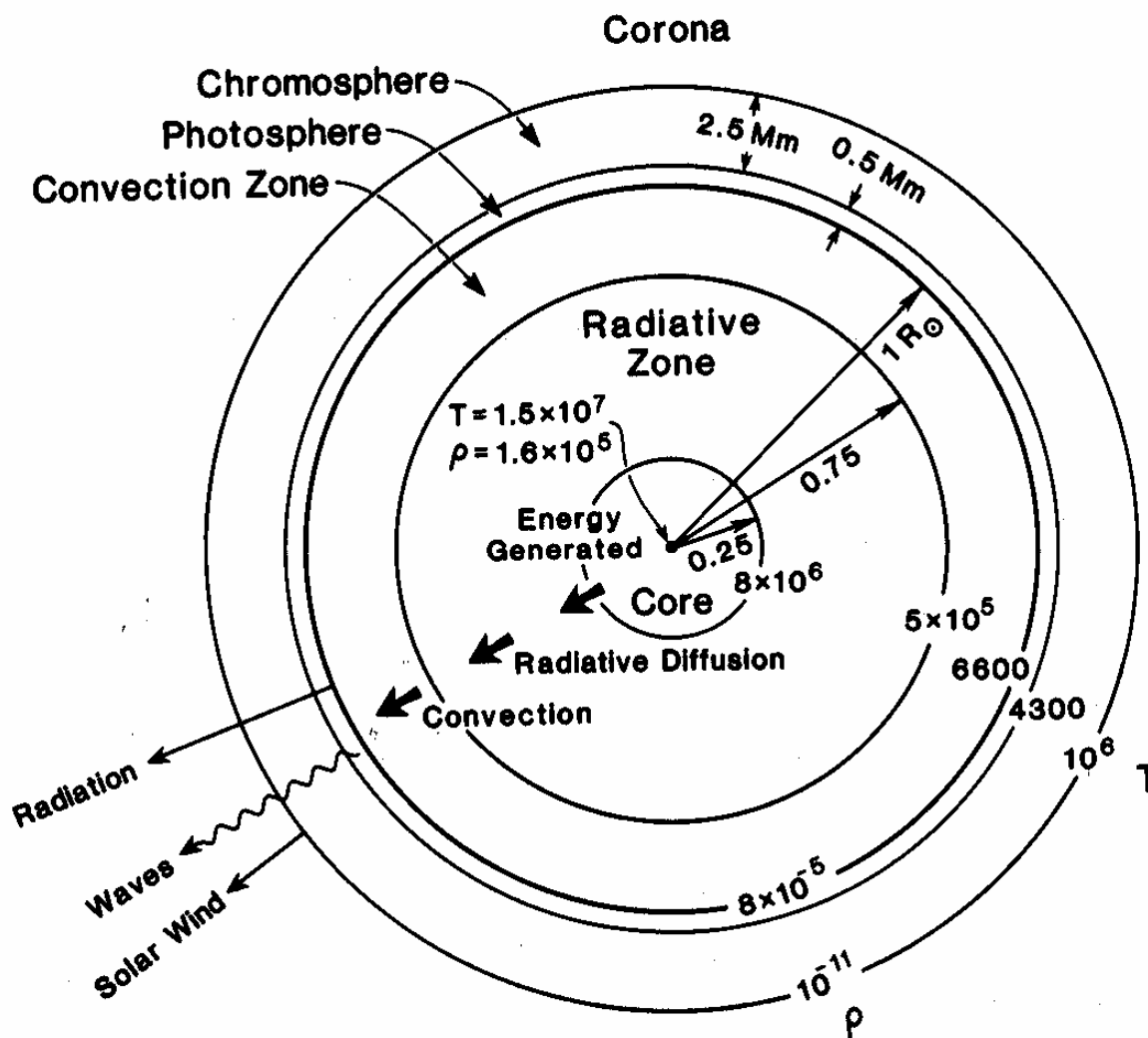
- ✓ Matéria no estado gasoso e altamente ionizada, comprimida pela sua própria atração gravitacional.
- ✓ **Composição**
Aproximada → 90% hidrogênio
10% hélio
Existem traços de outros elementos como: Carbono, Nitrogênio e Oxigênio
- ✓ **Massa** → $1,99 \times 10^{30}$ kg, cerca de 330.000 vezes a massa da Terra.
- ✓ **Raio** → 696.000 km, 109 vezes maior que o raio da Terra.



Estruturas Solares



- ✓ Núcleo
- ✓ Zona de Radiação
- ✓ Zona de Convecção
- ✓ Fotosfera
- ✓ Cromosfera
- ✓ Coroa Solar.



FONTE: Kivelson e Russel, 1995.



Estruturas Solares



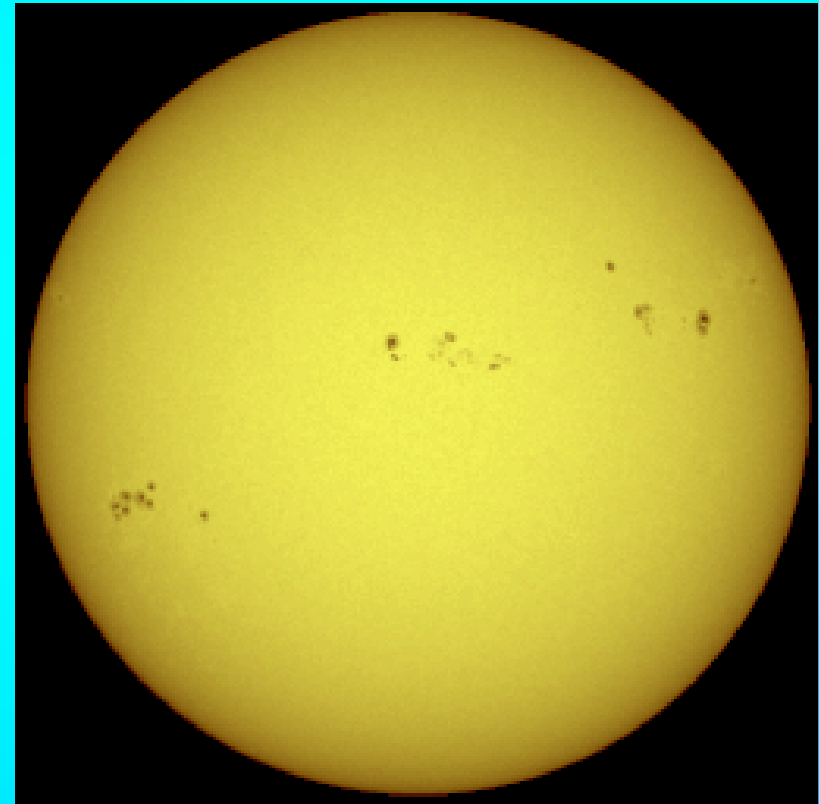
- ✓ **Núcleo:**
Fusão Nuclear.
Temperatura Aproximada:
 15×10^6 K.
- ✓ **Zona de Radiação:**
Caracterizada pelo
Transporte da Energia na
Forma de Luz.
- ✓ **Zona de Convecção:**
Apresenta Material em
Constante Ebulição.
- ✓ **Fotosfera:**
Superfície Visível do Sol.
Temperatura Aproximada:
 6×10^3 K.
- ✓ **Cromosfera:**
Camada Irregular Acima da
Fotosfera.
Temperatura Aproximada:
 2×10^4 K.
- ✓ **Coroa Solar:**
Camada Mais Externa do Sol.



Manchas Solares



- ✓ As manchas solares podem ser observadas no espectro da luz visível como regiões escuras da superfície solar.
- ✓ Elas possuem temperatura cerca de 2×10^3 K inferior à temperatura da fotosfera.
- ✓ A diferença de temperatura faz com que as manchas solares brilhem menos do que as suas vizinhanças e, devido ao contraste, causa a impressão de que elas são escuras.



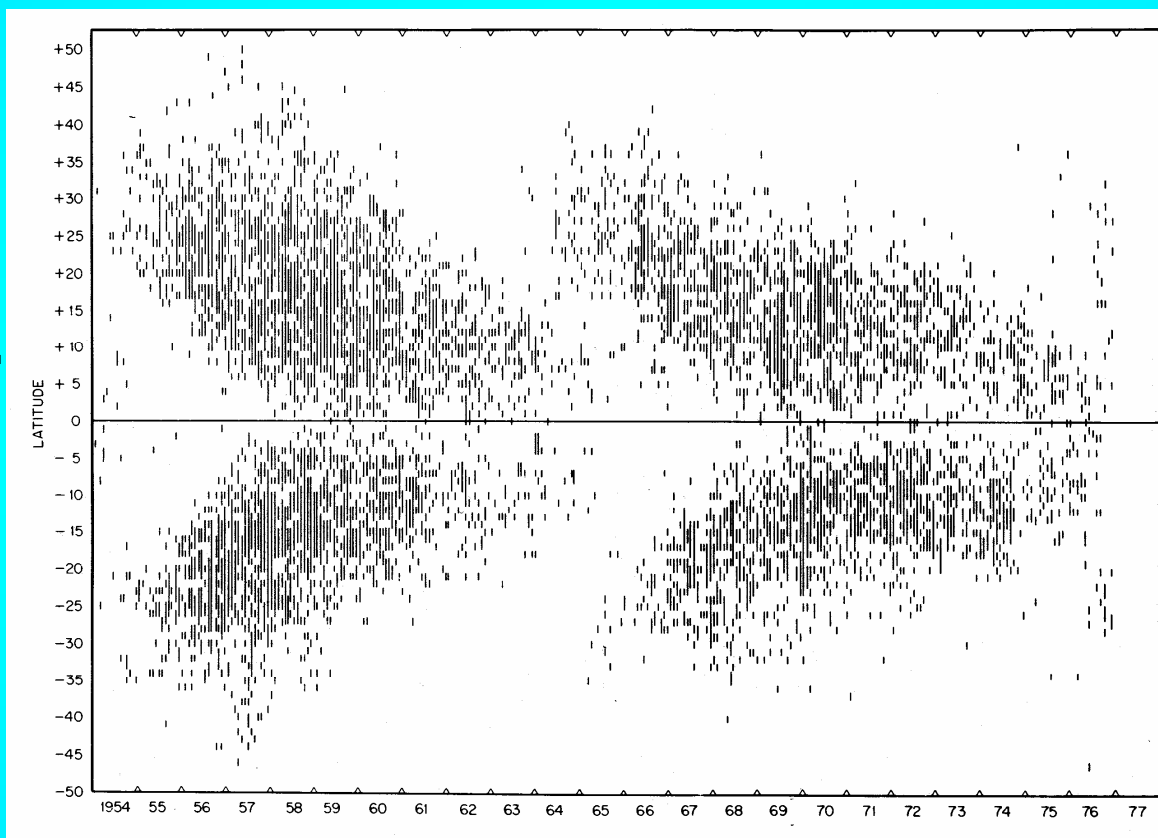
FONTE: Bilitza, 2004.



Ciclo Solar ou Ciclo de Manchas



- ✓ O número de manchas solares apresenta uma variação periódica em torno de onze anos.
- ✓ Diagrama borboleta de Maunder.
- ✓ Concentradas em duas bandas de latitude.
- ✓ **Mínimo de Maunder (1645 e 1715):**
O Sol passou por um período de inatividade prolongado .



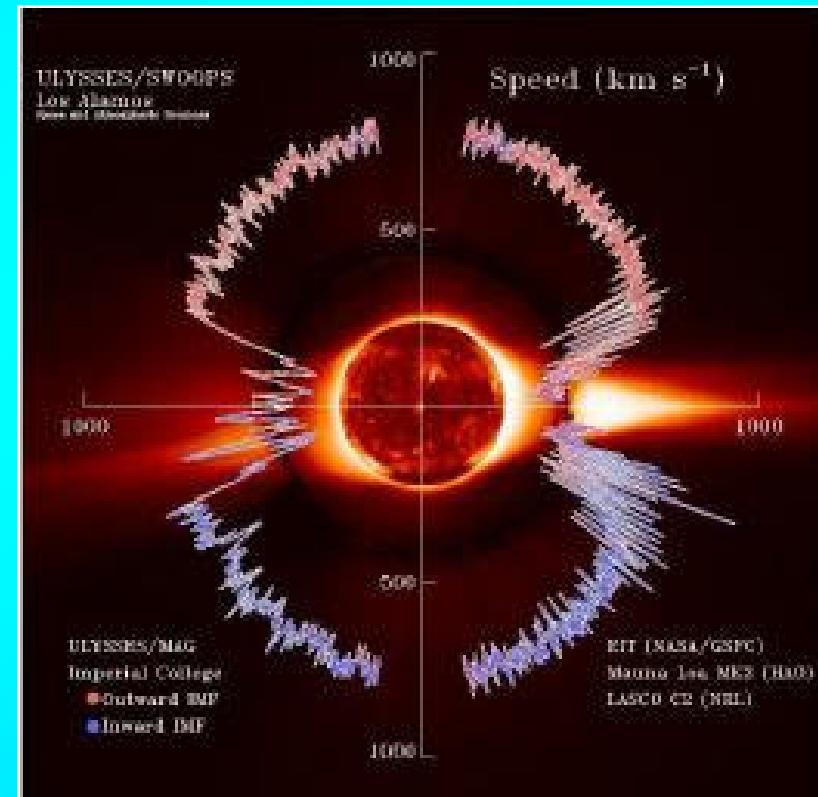
FONTE: Kivelson e Russel, 1995.



Vento Solar



- ✓ Fluxo de Plasma Ionizado que Pode Transportar Campo Magnético Solar.
- ✓ **Composição:**
 - Átomos De Hidrogênio Ionizados. Prótons e Elétrons
 - 5% de hélio ionizado
 - Uns Poucos Íons de Elementos mais Pesados.



FONTE: Bilitza, 2004.



Atividade Magnética e Índices Geomagnéticos



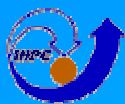
✓ **Atividade Magnética:**

Interação do campo magnético do vento solar com a Magnetosfera Terrestre podendo anular as suas linhas de campo, abrindo caminho para que partículas de alta energia penetrem em seu interior.

✓ **Tempestade Magnética:**

Resultada da Atividade Magnética quando ocorre a penetração de partículas de alta energia no interior da Magnetosfera Terrestre.

Pode ser observada através dos vários índices geomagnéticos.



Atividade Magnética e Índices Geomagnéticos



✓ Índice Dst:

Deduzido a partir da variação da magnitude da componente horizontal H do campo magnético terrestre tomada por magnetômetros (13 estações).

✓ Índice AE (*auroral electrojet*):

Diferença entre o maior e o menor valor registrado da Componente H.

✓ Índice AU (*Auroral Upper*):

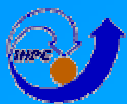
Envelope Superior da Variação da Componente Horizontal H.

✓ Índice AL (*Auroral Lower*):

Envelope Inferior da Variação da Componente Horizontal H.

✓ Índice Kp :

Os valores para o índice K variam de 0 (muito calmo) a 9 (muito perturbado) em uma escala logarítmica que possui cada intervalo subdividido em três partes.



Ionosfera

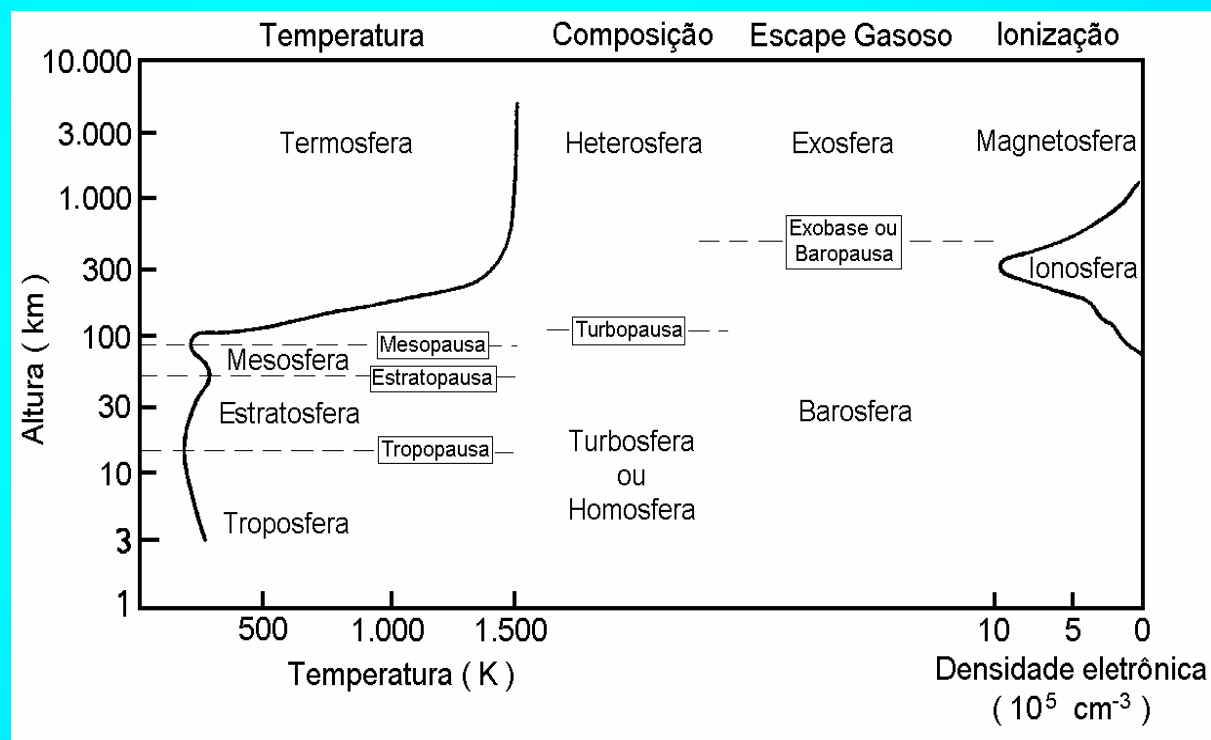


Classificação da Atmosfera Quanto à Temperatura:

- ✓ Troposfera (do solo até aproximadamente 10 km de altura)
- ✓ Estratosfera (entre 10 e 50 km)
- ✓ Mesosfera (entre 50 e 80 km)
- ✓ Termosfera (acima de 80 km)

Quanto ao Estado de Ionização:

- ✓ Atmosfera Neutra
- ✓ Atmosfera Ionizada ou Ionosfera



FONTE: Hargreaves (1992, p.99).



- ✓ Região Ionizada Compreendida Entre, Aproximadamente, 50 Km E 1000 Km De Altitude.
- ✓ **Formada Pela Ionização dos Gases Atmosféricos Através de:**
 - Fotoionização: Raios-X solares e a radiação EUV.
 - Raios Cósmticos.
- ✓ Equilíbrio Entre as Velocidades Relativas de Ionização e de Perda.

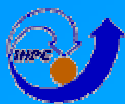
$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - L - \nabla \cdot (Nv)$$

q é a taxa de produção

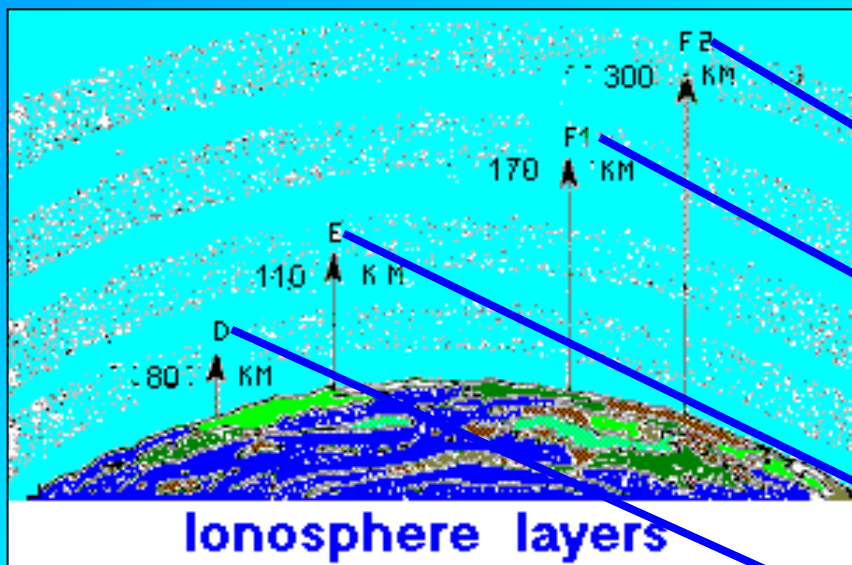
L é a taxa de perda

$\nabla \cdot (Nv)$ expressa a produção/perda de elétrons pelo transporte.

v a velocidade.



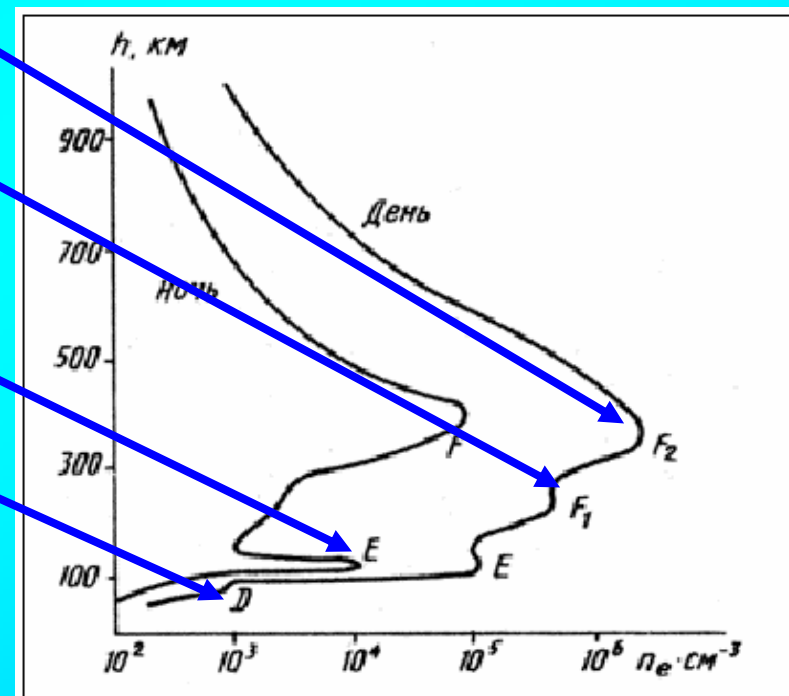
Camadas Ionosféricas



FONTE: <http://web.tiscali.it>

- ✓ **Camada D:** 60 km a 90 km
- ✓ **Camada E:** 90 e 140 km
- ✓ **Camada F1:** 160 e 180 km
- ✓ **Camada F2:** apresenta um pico de densidade eletrônica por volta dos 300 km.

Perfil de Densidade Eletrônica



FONTE: www.qrz.ru



Camadas Ionosféricas



✓ **Camada D:**

Responsável por grande parte da absorção das ondas de rádio.

Raios-X e Lyman- α .

Redução Acentuada Durante a Noite.

✓ **Camada E:**

Ultravioleta (80 e 102,7 nm)

N_2^+ , O_2^+ , O^+ e NO^+

Fe^+ , Mg^+ , Ca^+ e Si^+

✓ **Camada F1:**

Pico no perfil ou inflexão na curva devido a competição entre os processos de perdas lineares e quadráticas.

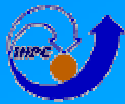
✓ **Camada F2:**

Concentra quase que a totalidade da densidade eletrônica do Perfil de Densidades.

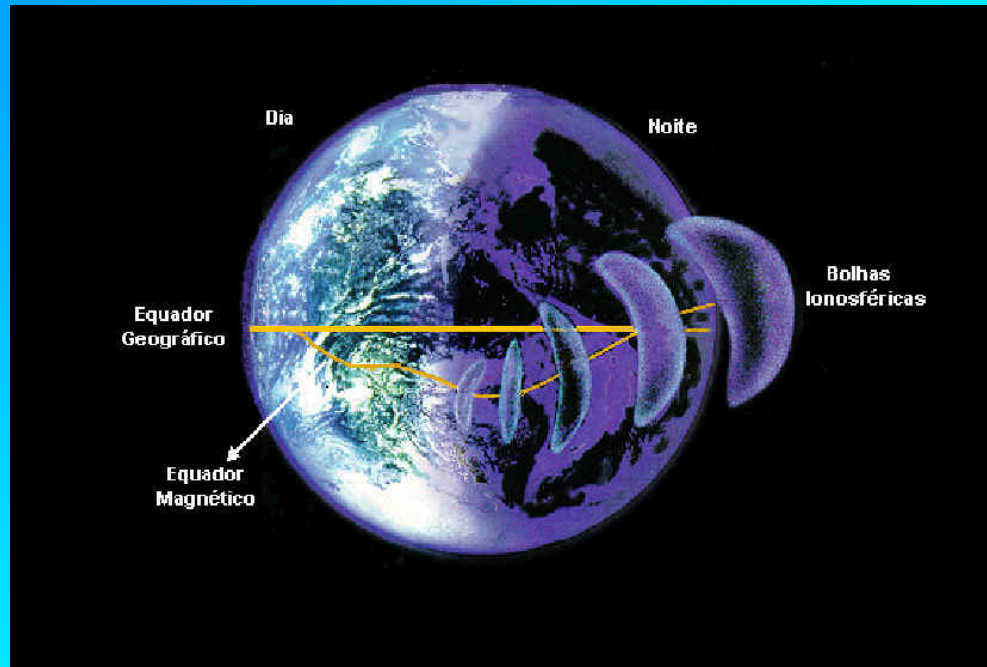
Bolhas de Plasma

Pico de Pré-Reversão

Anomalia Appleton



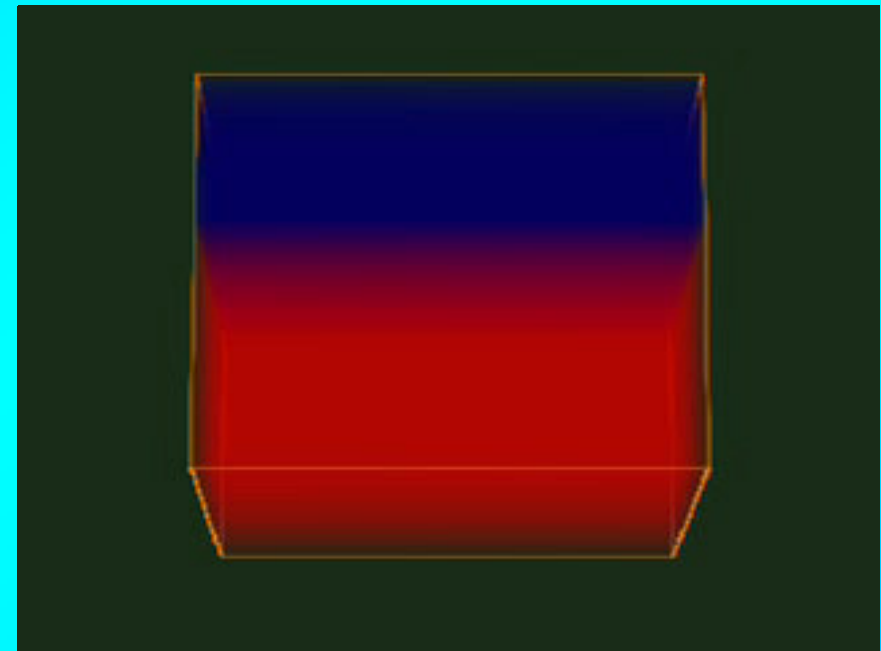
BOLHAS IONOSFÉRICAS



FONTE: M. A. Abdu , INPE, Brazil

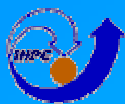
- ✓ Surgem no final da tarde e se desenvolvem para leste ao longo do equador magnético

Teoria de Rayleigh-Taylor

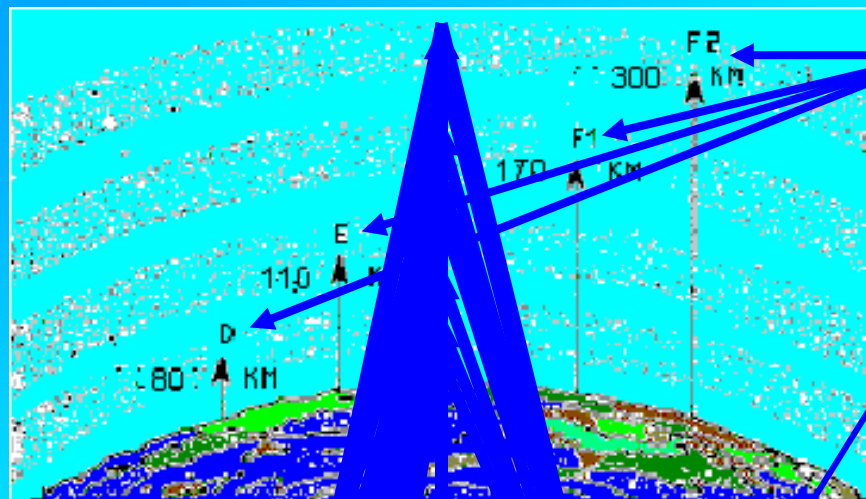


FONTE: fluid.stanford.edu

- ✓ Supõe um equilíbrio instável, com um meio mais denso sendo sustentado por um meio menos denso.



Os Sistemas da Digissonda

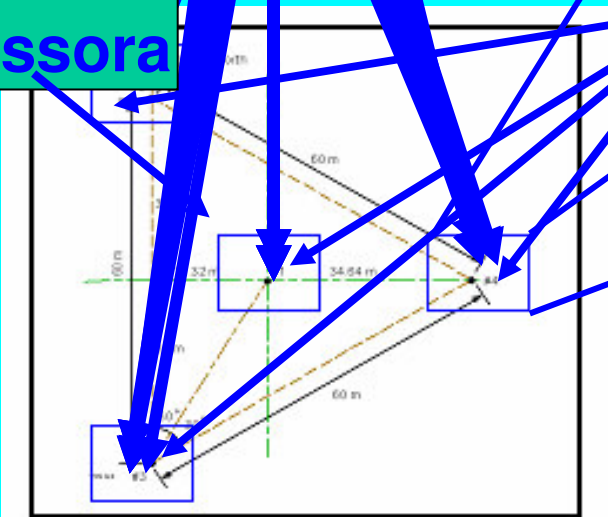


Camadas da Ionosfera



Antena Transmissora

4 Antenas Receptoras de Loop-cruzado



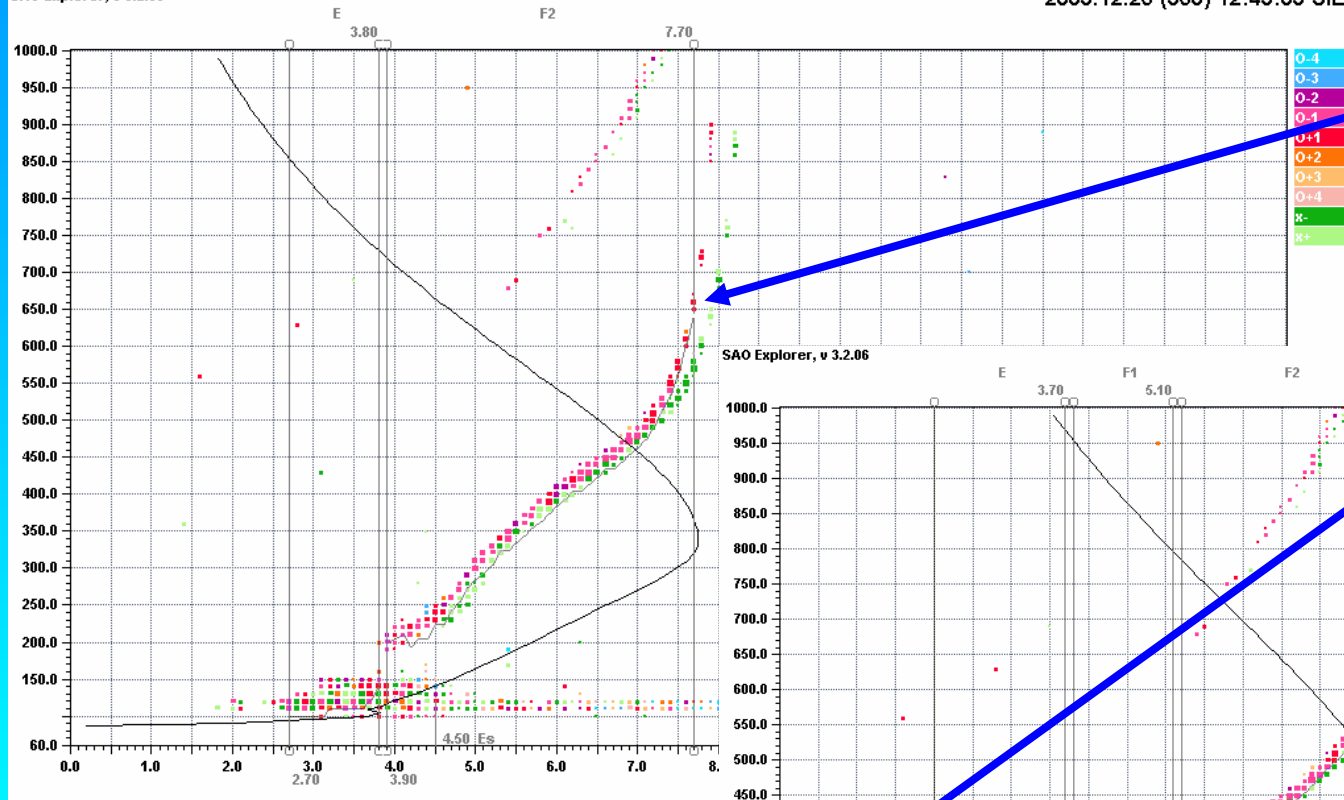
Transceptor Integrado



Processamento Automático de Ionogramas & a Correção Manual

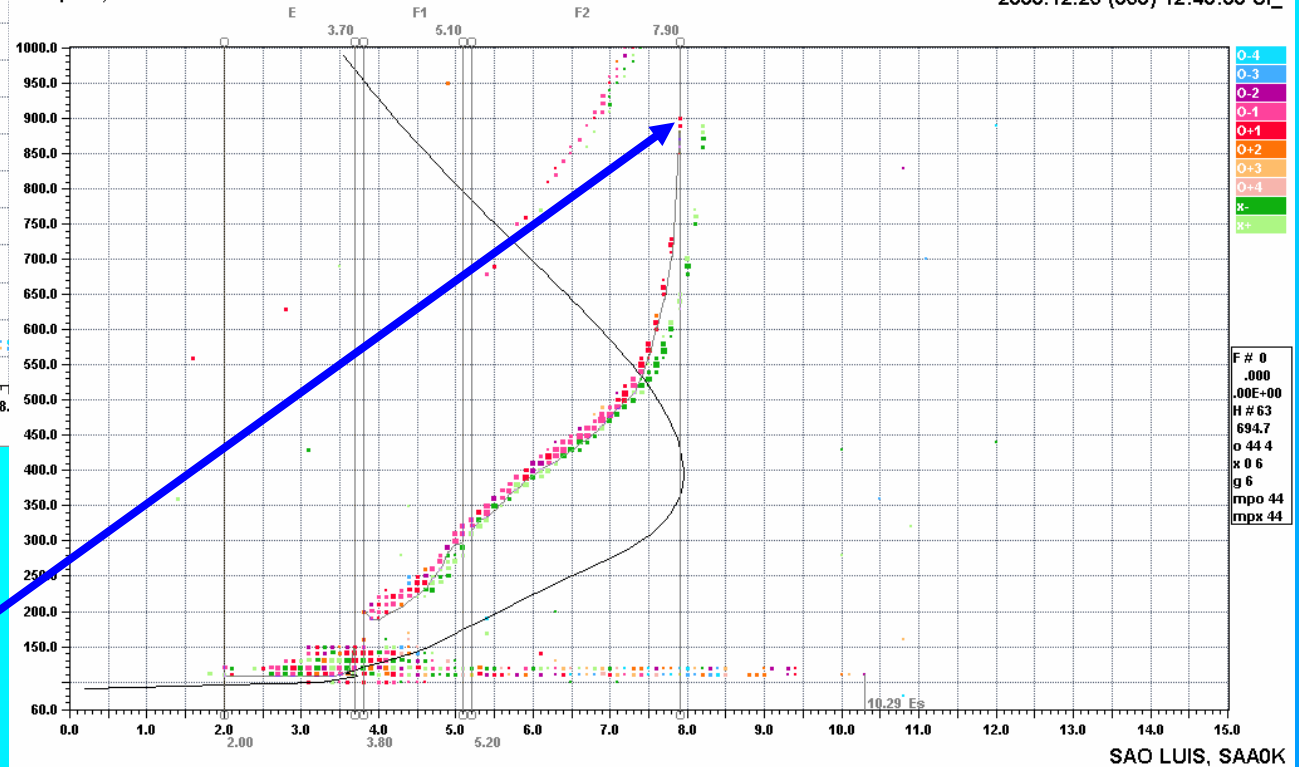


SAO Explorer, v 3.2.06 2003.12.26 (360) 12:45:05 SIE

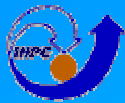


Antes

SAO Explorer, v 3.2.06 2003.12.26 (360) 12:45:05 SI_



Depois

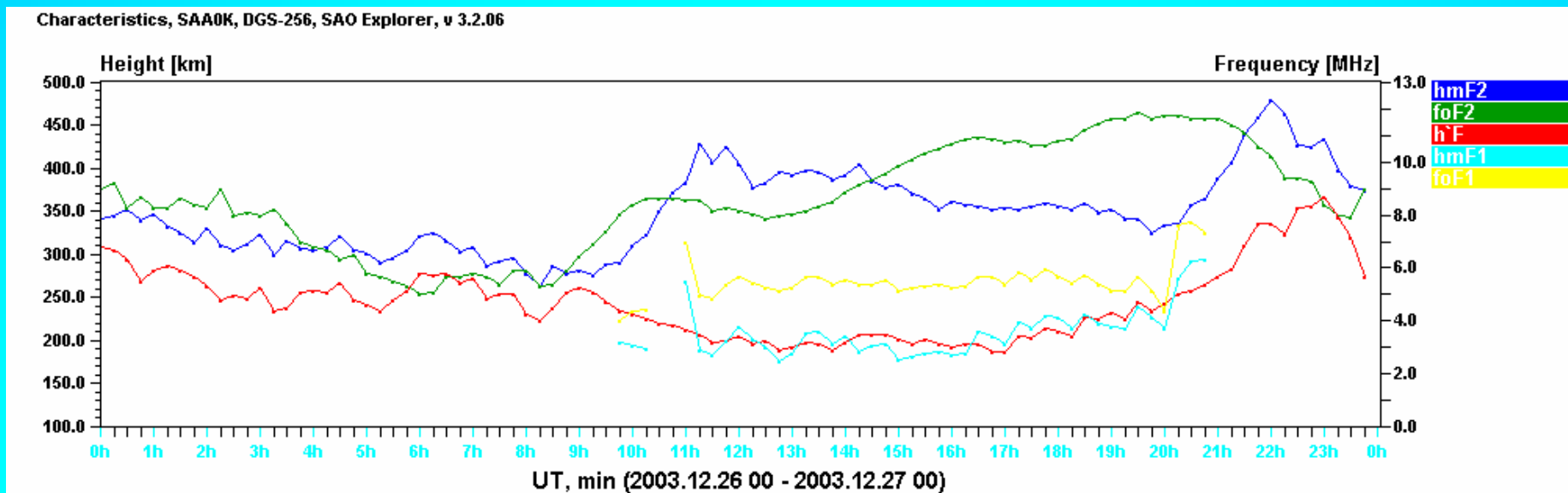


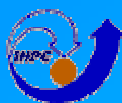
Parâmetros Seleccionáveis de Saída do SAO-X



Total records: 96 Station Number: 903 Name: SAO LUIS Model: DGS-256 URSI code: SAA0K

Show	Color	Title	Value	Q	D	Flags	Characteristic description
<input checked="" type="checkbox"/>	Blue	hmF2	425.4	/		V	Peak height F2-layer
<input checked="" type="checkbox"/>	Green	foF2	8.250	/		EV	F2 layer critical frequency
<input checked="" type="checkbox"/>	Red	h'F	199.3	/		V	Minimum virtual height of F trace
<input checked="" type="checkbox"/>	Cyan	hmF1	200.9	/		V	Peak height F1-layer
<input checked="" type="checkbox"/>	Yellow	foF1	5.35	/		EV	F1 layer critical frequency





Seleção do Período de Dados Analisados



Condição Magnética	Estação	Meses	Dias
Calma	Solstício de Verão	Novembro	19
		Dezembro	16, 17, 18, 19, 23, 26
	Solstício de Inverno	Maió	20
		Agosto	05
	Equinócio de Primavera	Agosto	27
		Setembro	15
		Outubro	23
	Equinócio de Outono	Fevereiro	24, 25
		Março	24, 25, 26
	Perturbada	Solstício de Verão	Janeiro
Equinócio de Outono		Fevereiro	19, 20



Redução dos Dados e Cálculos de Derivas

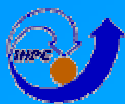


- ✓ SAO Explorer (SAO-X)
- ✓ Altura Real do Pico da Camada F2 ($hmF2$)
- ✓ Altura Virtual da Base da Camada F ($h'F$)
- ✓ *International Reference Ionospheric Model (IRI)*
- ✓ Cálculo da derivada temporal

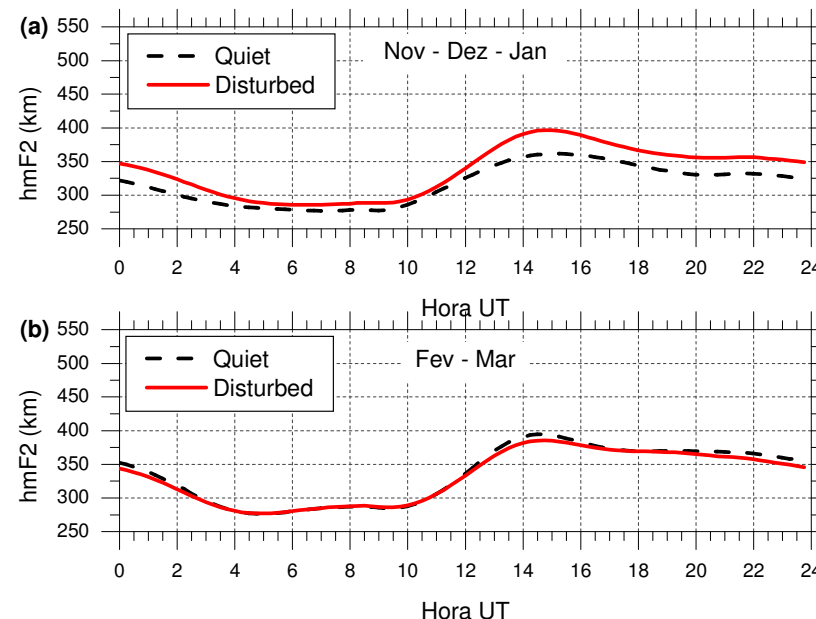
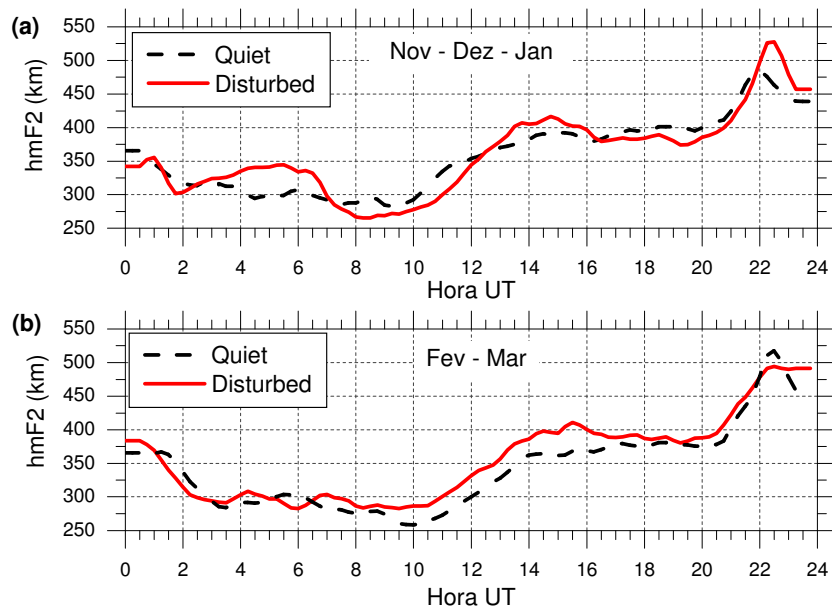
$$V_z = \frac{\Delta h' F}{\Delta t}$$

do parâmetro $h'F$ que, sob determinadas circunstâncias (Abdu et al., 1981 e Bittencourt e Abdu, 1981), pode ser representativa da deriva vertical da camada F da Ionosfera (V_z).

- ✓ $\Delta h' F$ é a Variação Da Altura Virtual Da Camada F
- ✓ Δt é o Intervalo de Tempo Decorrido Entre Duas Sondagens Sucessivas.

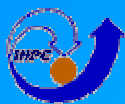


Resultados Obtidos e Discussão



As variações da altura real da camada F2 obtidas pela Digisonda e as previstas pelo modelo ionosférico IRI apresentam sensíveis diferenças entre às 18 e 23 horas (UT).

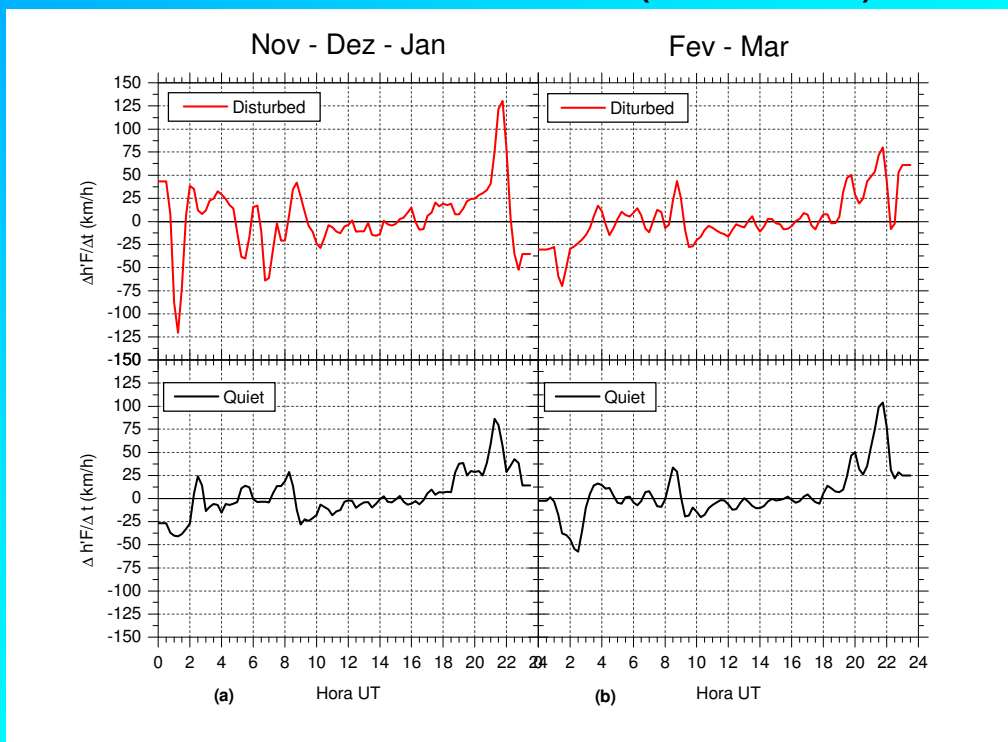
Estes resultados estão de acordo com observações anteriores feitas na região brasileira (por exemplo Abdu et al., 2004; Batista e Abdu, 2004).



Resultados Obtidos e Discussão

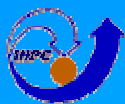


Variação horária da velocidade de deriva vertical ($\Delta h'F / \Delta t$)



As maiores velocidades de subida da camada F se encontram entre 20-22 horas UT, aumento este, que é conhecido como pico de pré-reversão da deriva vertical.

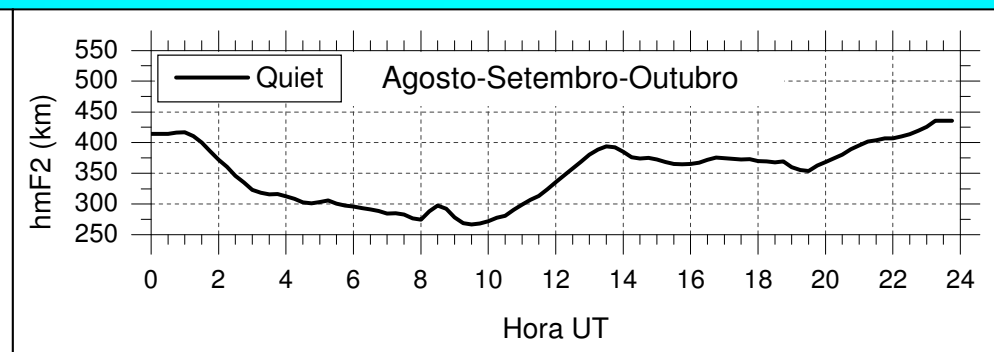
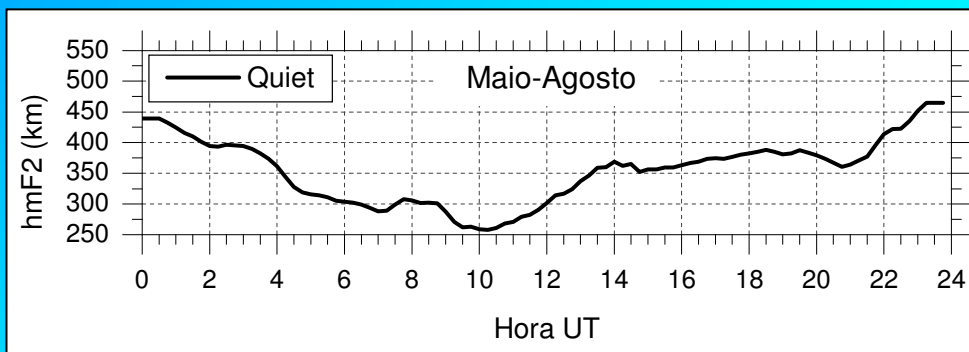
A deriva calculada só é representativa da deriva eletromagnética vertical do plasma ionosférico, nos horários próximos ao pôr do Sol, quando a camada F se encontra em altitudes nas quais os efeitos de recombinação são menos importantes.



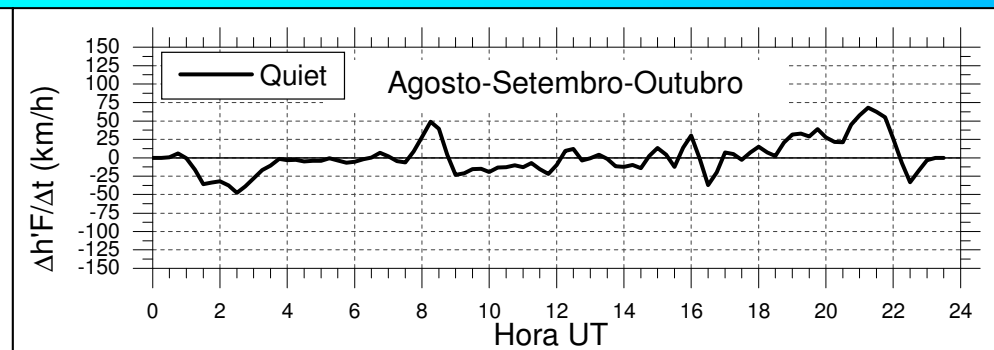
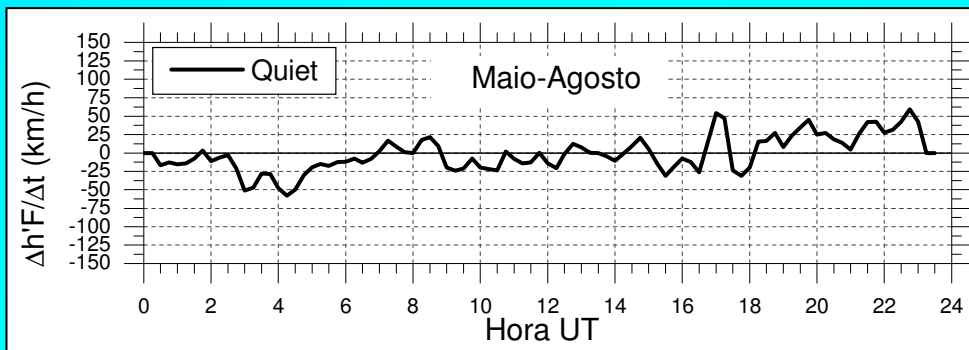
Resultados Obtidos e Discussão

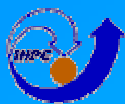


Variação horária da altura real do pico da camada F2



Variação horária da velocidade de deriva vertical ($\Delta h'F / \Delta t$)

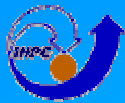




Atividades Complementares do Acadêmico



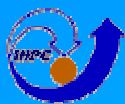
- ✓ Treinamento com o Software de Análises de Dados de Digisonda, o SAO-X.
- ✓ Interação com Colegas de Laboratório, Pesquisadores da Comunidade Científica Nacional e Internacional.
- ✓ Participação em 7 Trabalhos em Congressos de Iniciação Científica Sendo 3 como Autor Principal:
 - XIX Jornada Acadêmica Integrada – JAI.
 - XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2004.
 - Ninth International Congress of the Brazilian Geophysical Society – CISBGF.
- e 4 como Co-Autor:
 - XIX Jornada Acadêmica Integrada – JAI.
 - XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2004.
 - Ninth International Congress of the Brazilian Geophysical Society – CISBGF.
 - V Salão de Iniciação Científica da PUCRS.



CONCLUSÕES



- ✓ A caracterização da Ionosfera sobre qualquer região do País é de grande importância para as comunicações e outras áreas da atividade Humana.
- ✓ A caracterização da Ionosfera da Região Sul do Brasil tem sua importância devida ao fato de Santa Maria estar localizada a sudoeste do centro da Anomalia Magnética do Atlântico Sul Brasileira (AMAS), região onde o campo magnético terrestre é mínimo.
- ✓ No caso da Região Equatorial, a caracterização da Ionosfera tem sua importância no monitoramento dos fenômenos da Ionosfera Termosfera Equatorial, tais como: a anomalia Appleton, as bolhas de plasma e o pico de pré-reversão.
- ✓ No Projeto foram apresentados os resultados dos estudos efetuados da amplitude do pico de pré-reversão entre períodos magneticamente calmos e perturbados dos solstícios e equinócios do ano de 2003, observado em dados de Digissonda sob o equador magnético.



AGRADECIMENTOS



- ✓ À Orientadora Dra. Inez Staciarini Batista, Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE-MCT.
- ✓ Ao Co-orientador Dr. Clezio Marcos De Nardin, Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE-MCT.
- ✓ Em especial ao Dr. Nelson Jorge Schuch, chefe do RSU/CEP/INPE – MCT, e Coordenador das Ações de Implantação e Funcionamento do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.
- ✓ Ao Ex-Coordenador do programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT Dr. Luiz Carlos Gadelha de Souza.
- ✓ Ao Coordenador do programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT Dr. José Carlos Becceneri.
- ✓ À Dra. Damaris Kirsch Pinheiro, Diretora do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/UFSM.
- ✓ Aos Membros da Banca Examinadora e aos Colegas do Laboratório Henrique Carlotto Aveiro, Luzia Lux Lock, Maiquel dos Santos Canabarro, Diego dos Santos, Thiago Brum Preto e demais colegas pelo apoio ao longo do Projeto.