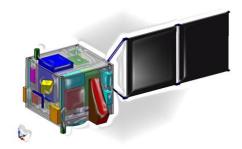


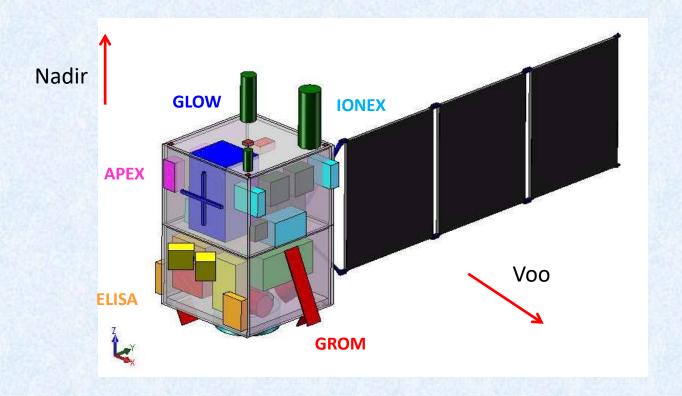
# MISSÃO EQUARS : ASPECTOS CIENTÍFICOS E INSTRUMENTAÇÃO EMBARCADA

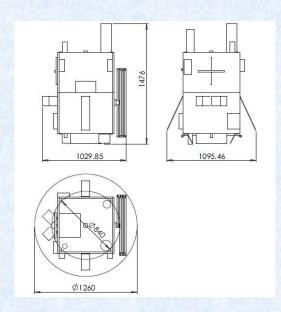
*Julho 2018* 

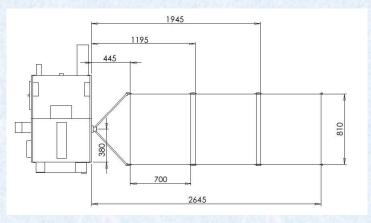


Ing Hwie Tan Laboratório Associado de Plasmas CTE-INPE

# **EQUARS – Equatorial Atmosphere Research Satellite**







Órbita: inclinação 15°

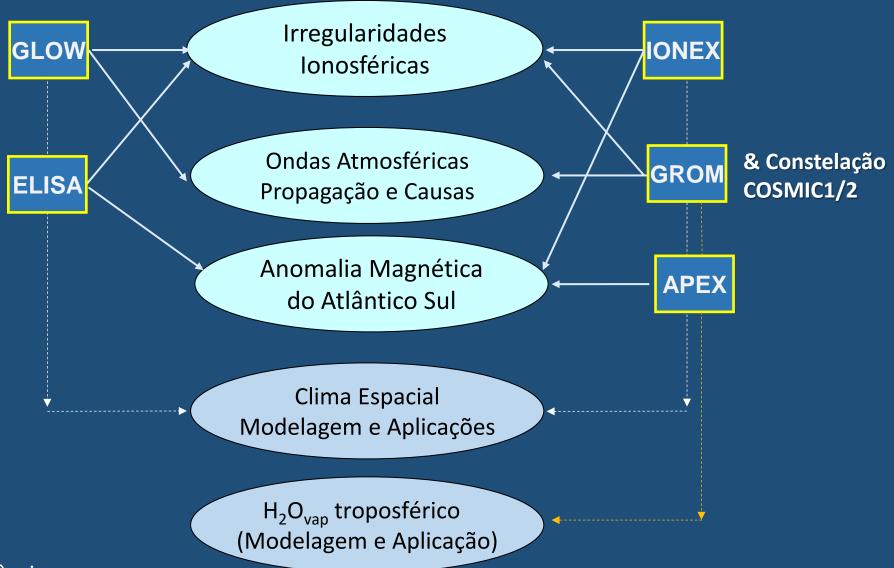
Massa do Satélite = 157 kg

Altitude = 637km

Consumo nominal total = 180,85W

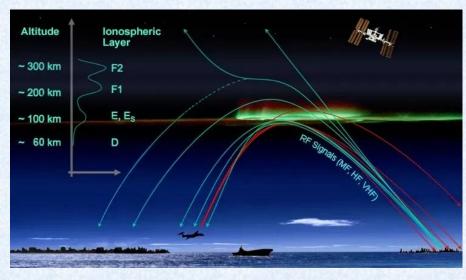
Missão: Monitoramento global da atmosfera na região equatorial, enfatizando processos dinâmicos, fotoquímicos, e mecanismos de transporte de energia entre a baixa, média e alta atmosfera e ionosfera.

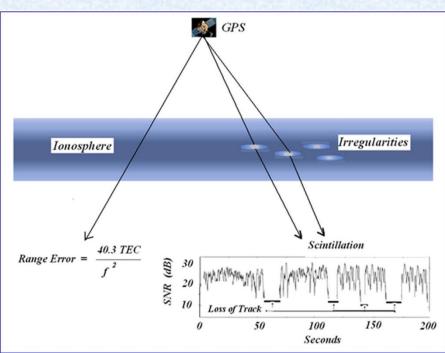
# **EQUARS - Instrumentação e Objetivos Científicos**



Relevância:

Carência de missões de investigação do sistema atmosfera-ionosfera na região equatorial





Irregularidades na **densidade de elétrons** da ionosfera com estruturas de pequena escala (50m a 10km) podem causar cintilações (flutuações na fase com perda de coerência) em sinais de GPS e de telecomunicação.

Estas irregularidades ocorrem perto do equador magnético, na região auroral e nas regiões polares, com características diferentes em cada região.

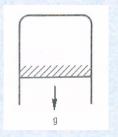
#### Na região equatorial:

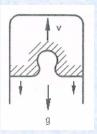
Pequenas irregularidades se formam dentro de estruturas maiores (~1000km) conhecidas como **Bolhas** de Plasma



#### Instabilidade de Raleigh-Taylor:

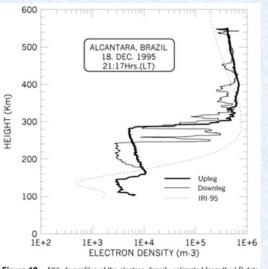
Um fluido pesado sobre outro leve está em equilíbrio instável. Qualquer perturbação na borda irá produzir "bolhas" – fluido menos denso irá subir.



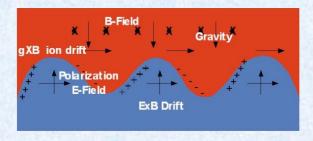


#### **Bolhas de Plasma**

Na ionosfera, bolhas de plasma (regiões com menor densidade de plasma) podem se formar na borda inferior da camada F, onde existe um gradiente acentuado de densidade eletrônica.

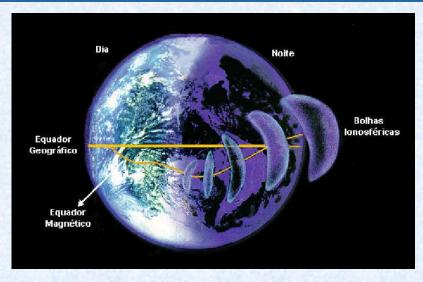


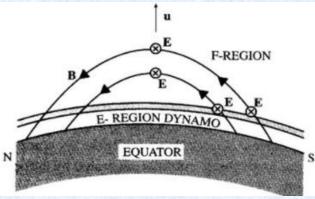


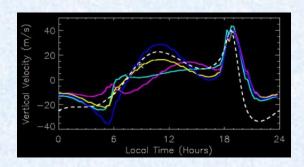


Nesse caso a instabilidade de Raleigh- Taylor envolve, além da força gravitacional, a ação do campo magnético terrestre e campos elétricos induzidos devido à ação dos ventos, ou provenientes do vento solar durante tempestades magnéticas.

A instabilidade evolui para escalas menores dentro da bolha (Spread-F / cintilação).







A instabilidade de Raleigh-Taylor é favorecida **pela subida da camada F** (deriva vertical) devido ao **aumento do gradiente de densidade** na borda inferior da camada.

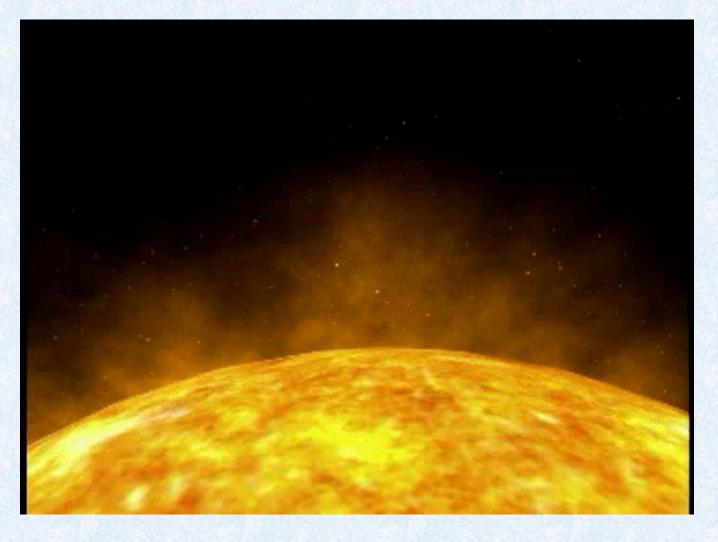
A deriva vertical da **camada F** é fortemente ligada aos campos elétricos gerados na **camada E**. Esta região é conhecida como **região de dínamo,** pois os íons se movem com a atmosfera (elétrons, não) o que permite correntes perpendiculares ao campo magnético gerando campos elétricos **E = v x B**.

A deriva vertical é favorecida durante o **pôr do sol** devido a condições eletrodinâmicas únicas da ionosfera :
Gradiente em T aumenta vento leste, e aumento no gradiente zonal da condutividade geram **campos elétricos na camada E**, que **mapeiam através das linhas de campo magnético para a camada F** produzindo deriva vertical (por deriva ExB).

Os experimentos **GLOW**, **IONEX** e **GROM** irão investigar as características morfológicas e dinâmicas das bolhas de plasma e o gatilho da instabilidade provocadas por ondas atmosféricas.

O experimento ELISA irá investigar a influência da precipitação de elétrons na ionização da camada E no gatilho e evolução das bolhas.

Efeitos das explosões solares ( tempestades magnéticas)

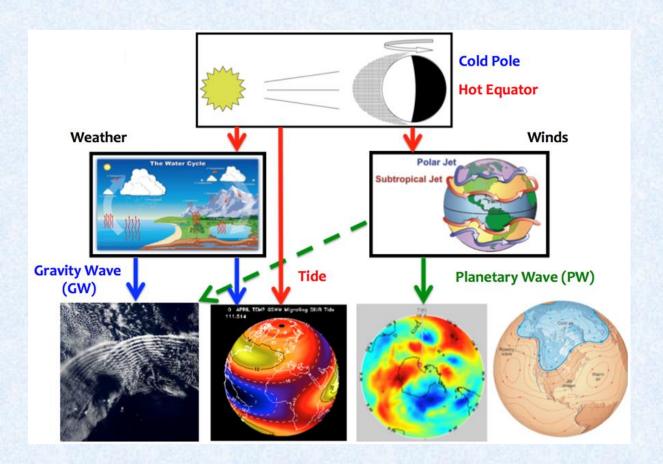


A passagem do vento solar na magnetosfera induz campos elétricos que conseguem penetrar na ionosfera equatorial no início e ao final das tempestades magnéticas e podem afetar a subida da camada F e as bolhas ionosféricas.

#### **Ondas Atmosféricas**

Ondas atmosféricas (oscilações em P, T e ventos):

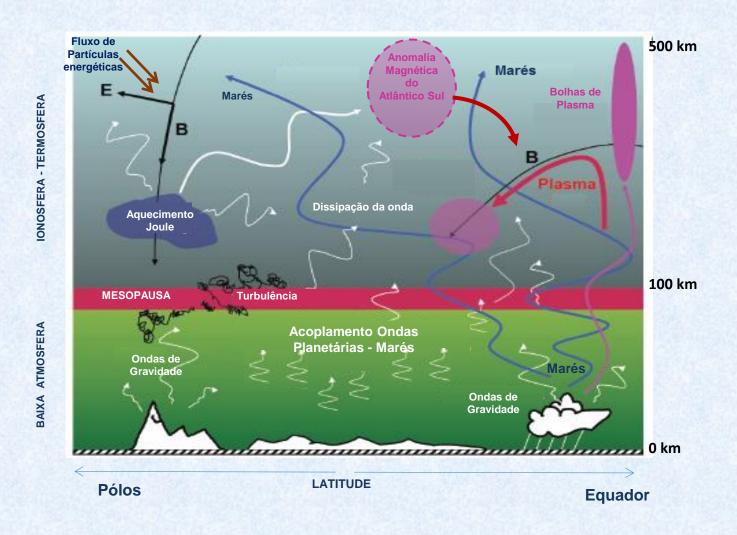
- de **gravidade** força restauradora gravitacional (escalas < 1km) não serão detectadas
- de maré ciclo térmico dia-noite. Períodos são harmônicos de 24h
- planetárias força restauradora de Coriolis. Períodos de 2-20 dias. Escalas planetárias (10.000 40.000km)
- interações entre as diversas ondas



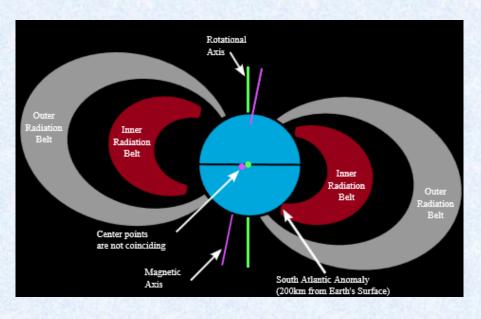
- Ondas planetárias na região equatorial são produzidas por sistemas convectivos (ex. choques de massas térmicas)
- Experimento GLOW medirá a estrutura e a velocidade de propagação horizontal de ondas planetárias e de maré (em 90km)
- Experimento GROM medirá a variabilidade da Temperatura neutra entre 10 e 50 km.

#### **Ondas Atmosféricas**

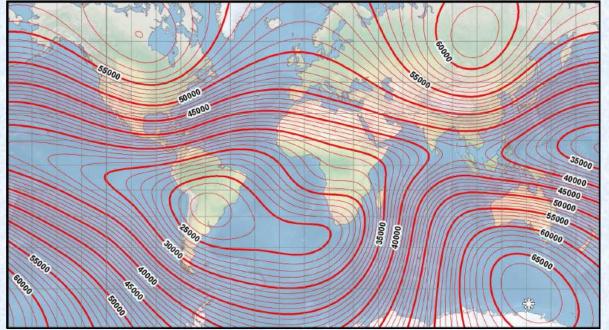
- Acoplamento atmosfera ionosfera através das ondas atmosféricas.
- Na propagação vertical as amplitudes aumentam para conservar energia pois a densidade atmosférica diminui com altitude
- Na mesopausa elas "quebram" e transferem (dissipam) energia.
   Nessa altitude os processos eletrodinâmicos entre as camadas E e F entram em ação.



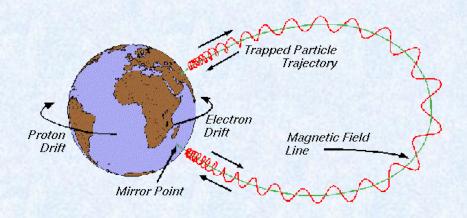
# Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS)

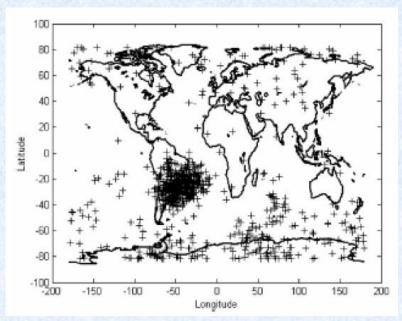


- O campo magnético terrestre assemelha-se ao campo de um ímã dipolar localizado perto do centro da Terra.
- O eixo do dipolo magnético terrestre é inclinado em relação ao eixo geográfico em um ângulo de 11,5°
- O centro do dipolo n\u00e3o coincide com o centro da Terra
- Há portanto uma região onde o campo magnético é mínimo, localizado no Atlântico Sul (o mínimo hoje está sobre o Paraguai)



# Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS)

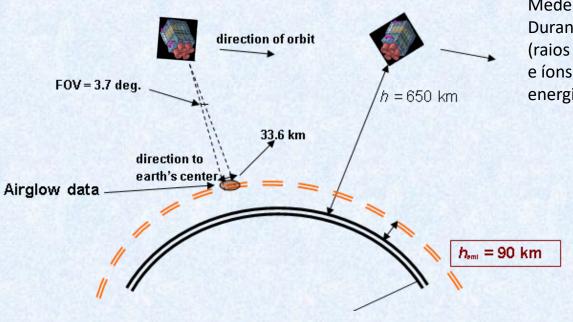




Distribuição de SEUs ("Single Event Upset") no acelerômetro MOPITT do satélite Terra

- Partículas carregadas tem trajetórias helicoidais em torno do campo magnético.
- Dependendo da componente perpendicular da velocidade, a componente longitudinal **inverte** quando encontra um campo magnético mais intenso.
- Partículas "presas" formam os dois Anéis de Radiação (Anéis de Van Allen)
- Na Anomalia, devido ao campo menos intenso, as partículas carregadas precisam descer mais para serem refletidas, podendo atingir a atmosfera e causar ionização.
- Aumento da ionização na camada E da ionosfera afeta a formação e evolução das bolhas ionosféricas (aumento da condutividade e do gradiente de condutividade no por do sol).
- Fluxos de partículas que precipitam na anomalia serão medidos pelos experimento ELISA (elétrons de 1 a 27 keV) e APEX (elétrons, prótons e alfas de 0,1 a 160 MeV).
- IONEX irá medir ne Te

#### **GLOW – 4 Channel Airglow Photometer**



Canal	Emissor	λ (nm)	Altitude (km)
1	O (1D , 3P)	630.0	250
2	O2 ( $b^1\Sigma + - X^3\Sigma^-$ ) (0-0)	~ < 762.0	95
3	O2 (rotacionais)	~ > 762.0	95
4	BackGround NIR	710.0	-

Inferir as relações de acoplamento entre atmosfera neutra e ionizada, de modo a avançar no entendimento do gatilho físico na geração e evolução das bolhas de plasma

Mede a aeroluminescência atmosférica.

Durante o dia, a alta atmosfera é bombardeada por fótons (raios solares). Isso provoca excitação dos átomos, moléculas e íons. Quando chega a noite, eles devolvem toda essa energia recebida em forma de luz.

Duas linhas são monitoradas:

630 nm da reação

$$0++02 \rightarrow 02++0$$

O2+ + 
$$\mathbf{e} \rightarrow 20^*$$
 \* = estado excitado

TEC máximo em ~ (250 ± 30) km (pico camada F) Traçador das Bolhas de plasma

**762 nm** – linhas rotacionais do O2\* resultante de recombinação de O produzido por fotólise durante o dia.

$$0 + 0 + m \rightarrow 02^* + m$$

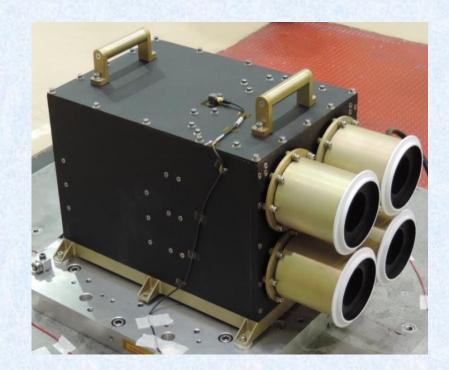
m representa a atmosfera (O2 + N2) que fornece energia cinética

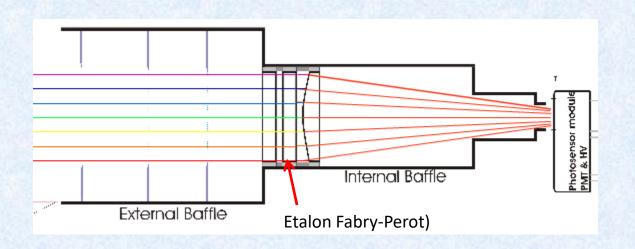
Fornece densidade e temperatura de O ( $\sim$ T $_{atm}$ ) em (95 ± 8) km (onde ocorre recombinação de O)

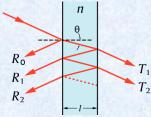
Traçador das Ondas planetárias

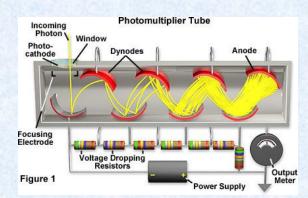
(de maré e planetárias)

Massa (kg)	12 ± 0.5	
Dimensõess (mm)	462.9 × 274.0 × 266.0 (±0.1)	
Potencia (W)	9.9	
Temperatura Op. (°C)	-10 to 35	
Sensor Ótico	Hamamatsu Photosensors (photocounting mode)	
Direção de visada/ FOV (º)	Nadir / 3.75 (linear)	
Operação	< 50% (somente a noite)	
Taxa de dados por órbita	7.2 Mbits	
Communicação	Serial EIA-422 & TC pulses	

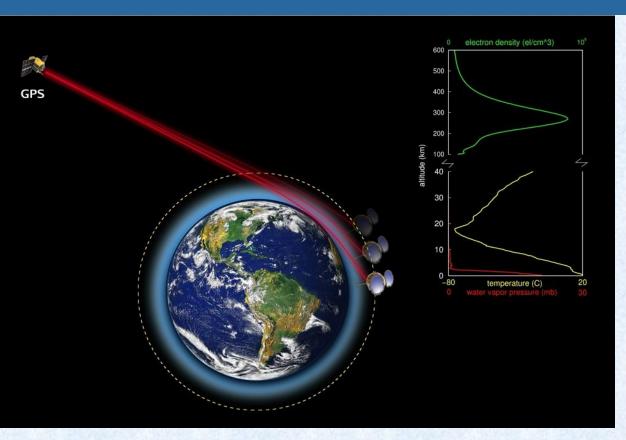








#### **GROM – GPS Radio Occultation Measurement**



- Modelagem da distribuição de vapor d'agua
- Modelagem da geração e propagação de ondas atmosféricas
- Dados do TEC em conjunto com dados do plasma ionosférico identificam mecanismos de geração e propagação de bolhas ionosféricas
- Aplicações em modelos meteorológicos (vapor d'água e T)
- Aplicações para modelos prognósticos de clima espacial

O ângulo de curvatura depende :

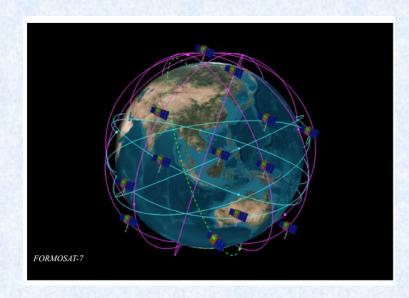
- Conteúdo Eletrônico Total (TEC)
- Pressão, temperatura e quantidade de vapor d'água

$$n \propto C_1 P/T + C_2 P_w/T^2 + C_3 N_e/f^2$$

Com o perfil de refratividade pode-se derivar

- perfis de temperatura (entre 10 e 50km),
- umidade (de 1 a 9km)
- TEC (entre 50 e 500km)

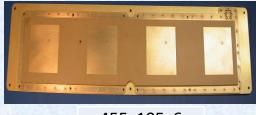
Cooperação com a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para a recepção e disponibilização dos dados da constelação COSMIC-1/2



Massa (kg)	6.1	
Dimensões (mm)	240x201x105	
Potencia (W)	23	
Temperature Op. (°C)	-10 to 40	
Sensor	IGOR™ Integrated GPS Occultation Receiver	
Direção de Visada	-Oz (25 deg) (antenna diagrams)	
Operação	100%	
Taxa de dados por orbita	72.61 Mbits	
Communicação	Serial EIA-422 & TC pulses	



#### **Occultation Antennas**



455x105x6

#### **Precision Orbit Antennas**



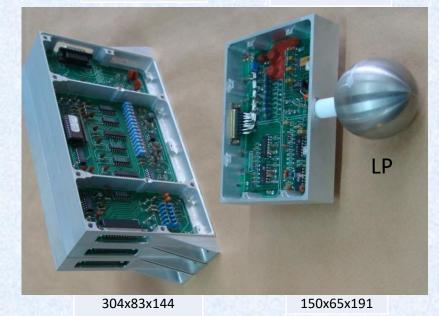
130x130x5

# **IONEX – Ionospheric Experiment**



250x125x150

150x65x191



• Três sondas eletrostáticas : LP (Langmuir Probe)

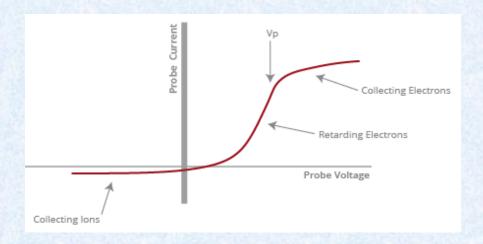
HFC (High Frequency Capacitance Probe)

**ETP** (Electron Temperature Probe)

#### medem:

- Densidade numérica de elétrons e íons positivos
- Temperatura dos elétrons
- Distribuição espectral das flutuações da densidade numérica dos elétrons

Massa (kg)	4.2	
Dimensões	ver figuras	
Potencia (W)	7.5	
Temperature Op. (°C)	-10 to 50	
Sensores	LP, HFC, ETP	
Direção de Visada	Vetor velocidade orbital	
Operação	100%	
Taxa de dados por orbita	13.1 Mbits	
Communicação	Serial EIA-422 & TC pulses	



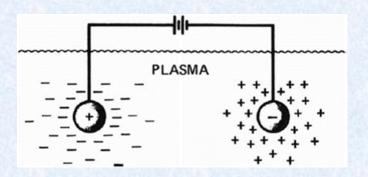
 Langmuir Probe (LP) - medida da densidade e temperatura de elétrons e suas flutuações

$$I = enA[V_S - V_e \exp(-eV / kT_e)] \qquad (V < V_p)$$

$$T_e = \frac{e}{k} \frac{V_2 - V_1}{\ln(I_2) - \ln(I_1)}$$

$$I = enA \left\{ V_S \exp\left(\frac{eV}{kT_i}\right) - V_e \left[1 - \exp\left(\frac{eV}{kT_e}\right)\right] \right\}$$

$$(V > V_p)$$

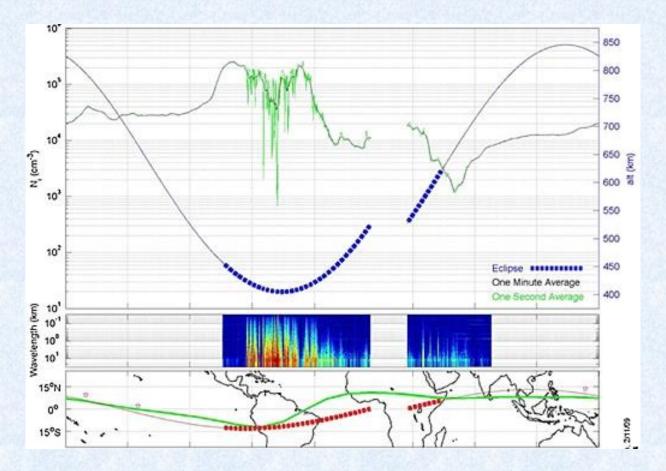


High Frequency Capacitance Probe (HFC) –
mede a capacitância da bainha, que depende da
constante dielétrica do plasma, proporcional à
densidade de elétrons.

$$n = \frac{2.f^2 \Delta f(C_s + C_0)}{81.f_0 S.C_0}$$

 Electron Temperature Probe (ETP) – Sinal de RF com amplitudes a e 2a é superposta a V. A razão entre as variações em corrente conrrespondentes a cada amplitude de RF fornece T<sub>e</sub>

$$R = \frac{I_0(2ea / kT_e) - 1}{I_0(ea / kT_e) - 1}$$



Source: Langmuir probe data satellite (C-NOFS)

- Estudo da morfologia das irregularidades ionosféricas (cintilação e bolhas)
- Estudo da região de transição do plasma 'normal' para a região de depleção de plasma (critérios eletrodinâmicos de estabilidade)
- Efeito da precipitação de partículas na região da AMAS sobre a densidade e temperatura dos elétrons da camada F
- Assimilação de dados do modelo numérico SUPIM, atualmente utilizado pelo EMBRACE

## **ELISA – Electrostatic Analyser**



Detector +V
L→

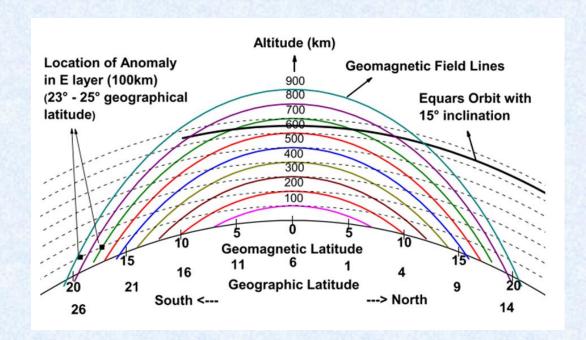
$$E = \frac{qV}{2\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}$$

Mass a(kg) 5.2 Dimensões ver figuras Potencia(W) 6.4 Temperature Op. (°C) -10 to 50 **Channel Electron Multipliers** Sensor "norte e oeste" Direção de VIsada Operação 100% Taxa de dados por orbita 3.8 Mbits

Serial EIA-422 & TC pulses

Communicação

- Varredura em V:
   16 faixas de energia entre 1keV e 27 keV
- Tempo de contagem 250ms (total 4s) ou 50ms (total 0,8s)
- Medida do espectro de energias de elétrons que precipitam na AMAS



Medida do espectro de energias de elétrons entre 1keV < E < 27keV que ionizam preferencialmente a **camada E** da ionosfera

- Fluxos na região equatorial é de 2 a 4 ordens de grandeza menores do que nas regiões aurorais
- As dimensões do analisador foram maximizados para aumentar seu Fator Geométrico (sensibilidade).
- Aparecimento das camadas E esporádicas devido à precipitação de elétrons
- Cálculo da condutividade na camada E da ionosfera devido à ionização produzida pelo fluxo de elétrons
- Aumento da condutividade traz vários efeitos eletrodinâmicos que afetam a geração e propagação das **bolhas ionosféricas**
- Confirmação direta, através de medidas in situ, da precipitação de elétrons na região SAMA.

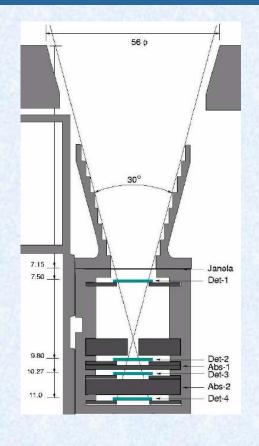
Linhas de campo magnético interceptadas pelo EQUARS durante sua órbita

<u>Simulação</u>

# **APEX – Alpha Proton and Electron Monitoring Experiment**



Massa (kg)	3.0
Dimensões	Ver figuras
Potencia (W)	3.2
Temperature Op. (°C)	-10 to 40
Sensor	Silicon Photodiodes
Direção de visada/ FOV (º)	-Oy / 30 deg.
Operação	100%
Taxa de Dados por orbita	1.7 Mbits
Communicação	Serial EIA-422 & TC pulses

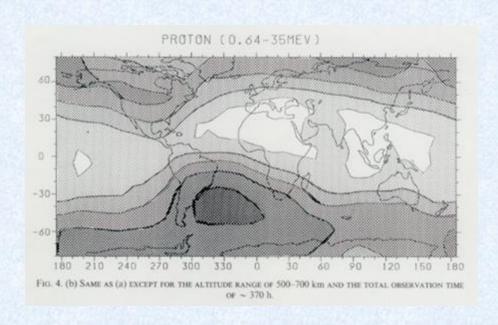


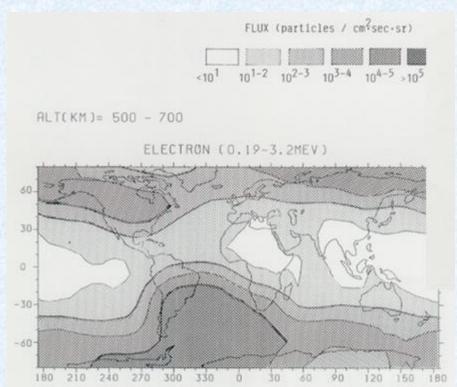
- Quanto maior a energia da partícula maior o número de detectores ela irá penetrar
- A perda de energia nos detectores identifica a partícula :

10<sup>-1</sup> MeV para elétrons 1 MeV para prótons 10MeV para alfas

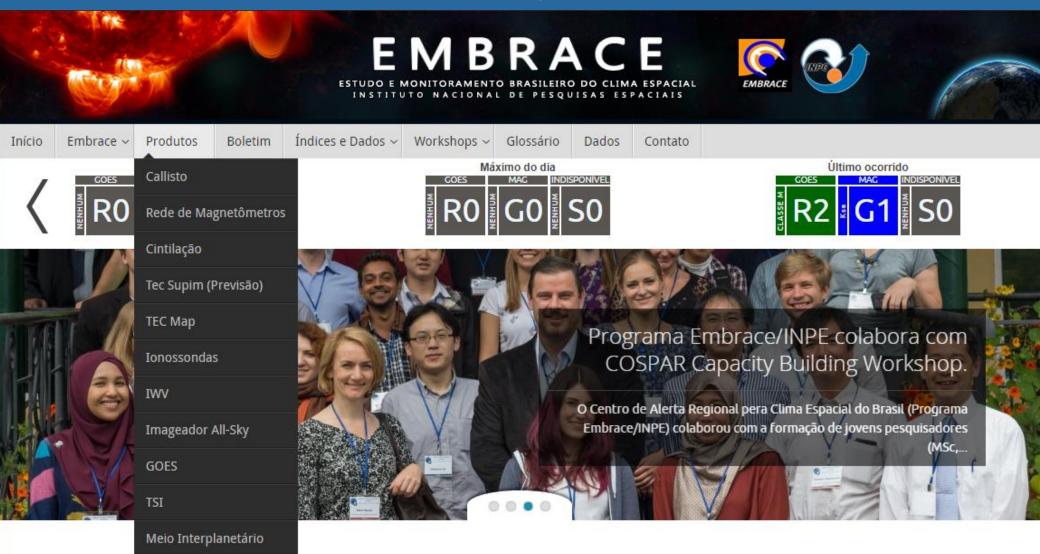
Partícula	E1 (MeV)	E2 (MeV)	E3 (MeV)	E4 (MeV)
Elétron	> 0,1	> 0,3	> 1,2	>3,4
Proton	> 3,5	> 8,2	> 24	>42
Alfa	> 14	> 31	> 92	>170

- Monitoramento contínuo do fluxo de partículas alfa, próton e elétron para formar uma base de dados para a modelagem do ambiente de partículas na magnetosfera interna.
- Identificação da região de risco de danos a sistemas espaciais
- Monitoramento dos fluxos de partículas em regime magneticamente perturbado, para estudos de fenômenos de difusão e precipitação de partículas





# **Clima Espacial**



#### Missão

Monitorar o ambiente do espaço Sol-Terra, a magnetosfera, a atmosfera superior e os efeitos de correntes induzidas no solo para prever possíveis influências nas atividades tecnológicas e econômicas.