



Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE

Ministério da Educação - MEC
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Centro de Tecnologia - CT

ANÁLISE DO TEMPO DE CONVERGÊNCIA DA ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DE ESPECTROS DE POTÊNCIA DE IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS

**Aveiro, H.C.; Moor, L.P.; Rother, F.C.;
Denardini, C.M.; Schuch, N.J.; Abdu, M.A.**

OBJETIVOS

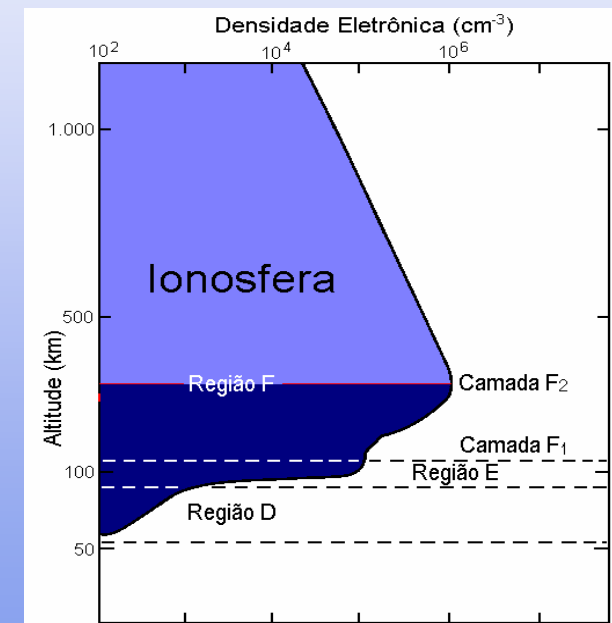
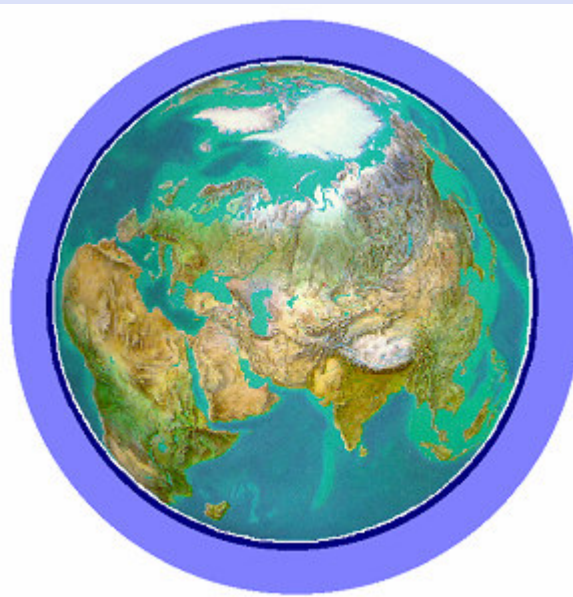
- Descrição da fenomenologia.
- Simulação de espectros de retro-espalhamento.
- Estimação de parâmetros.
- Resultados e conclusões.

A IONOSFERA

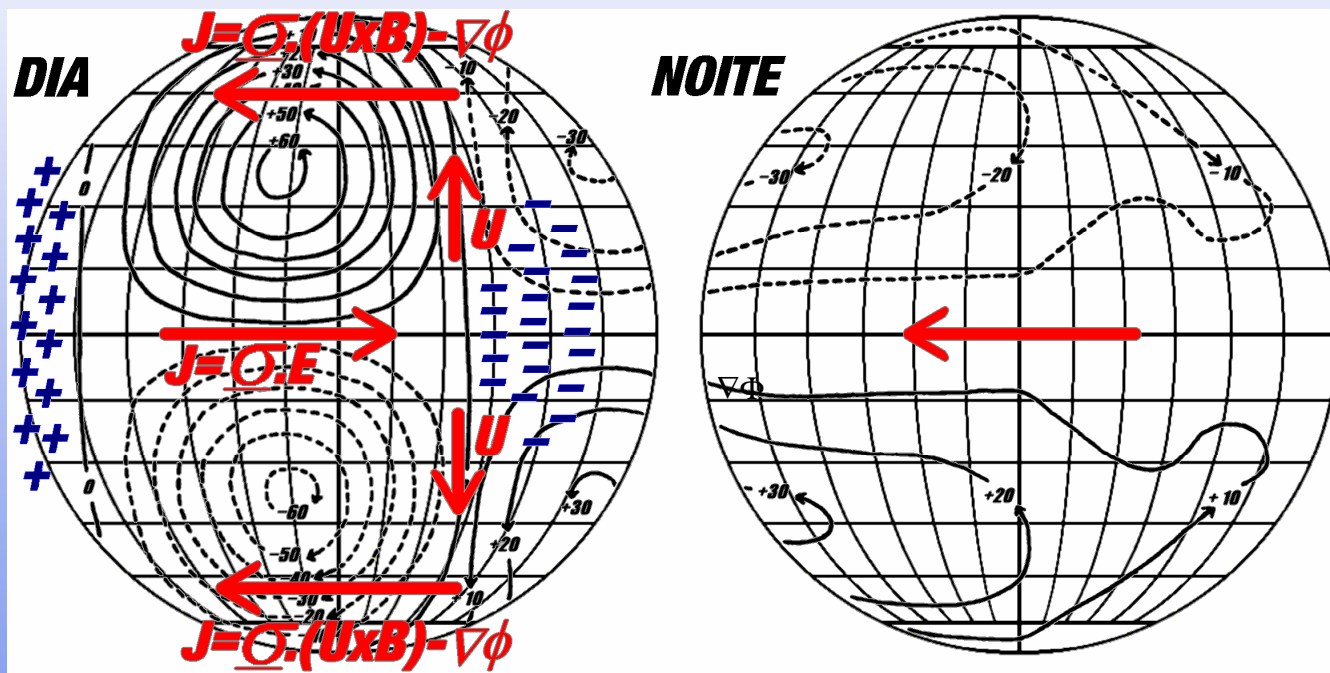
- Porção ionizada da atmosfera terrestre, que se localiza entre 70 km e 2000 km, aproximadamente;

- gerada principalmente pelas interações dos agentes ionizantes solares com os constituintes da atmosfera neutra.

- 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.



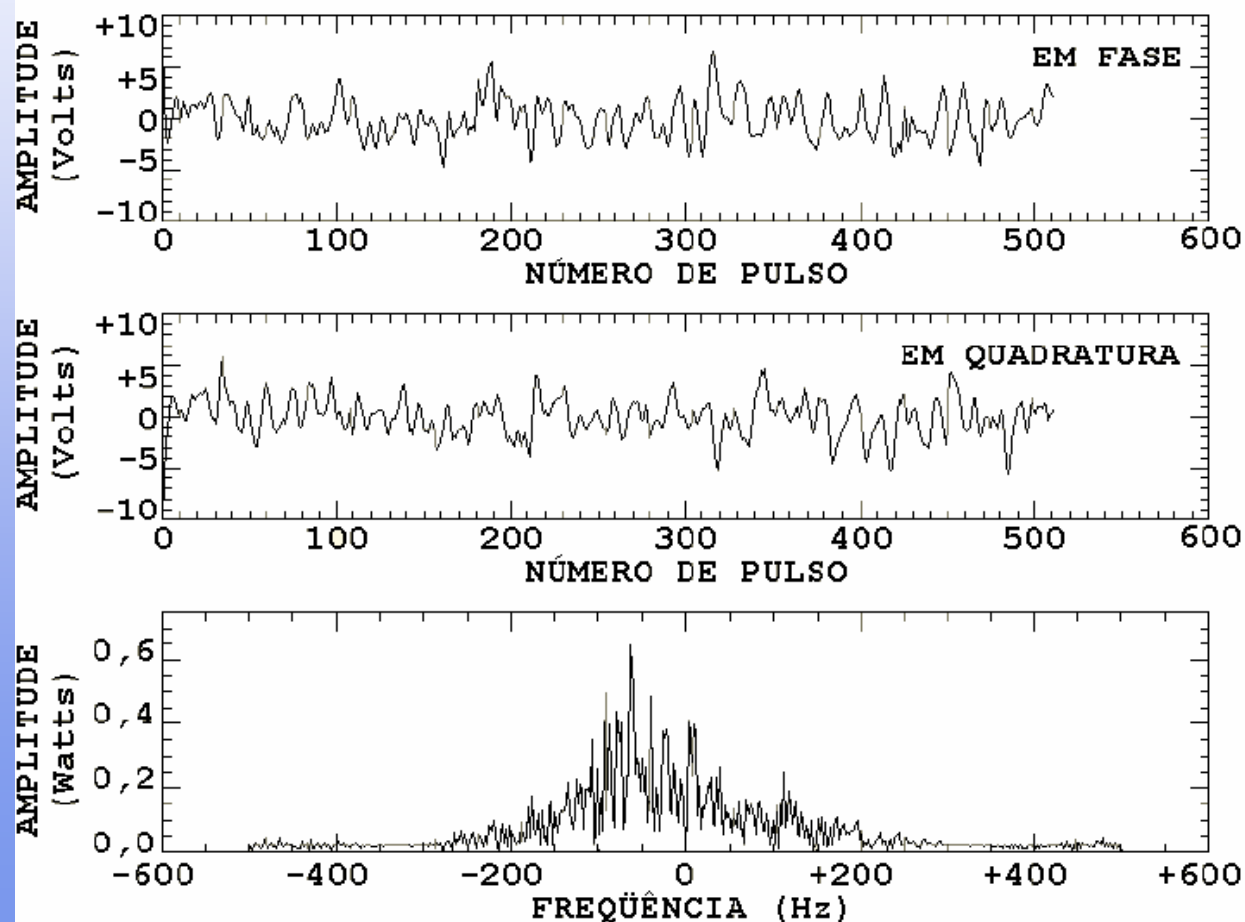
ELETROJATO E CORRENTES SQ



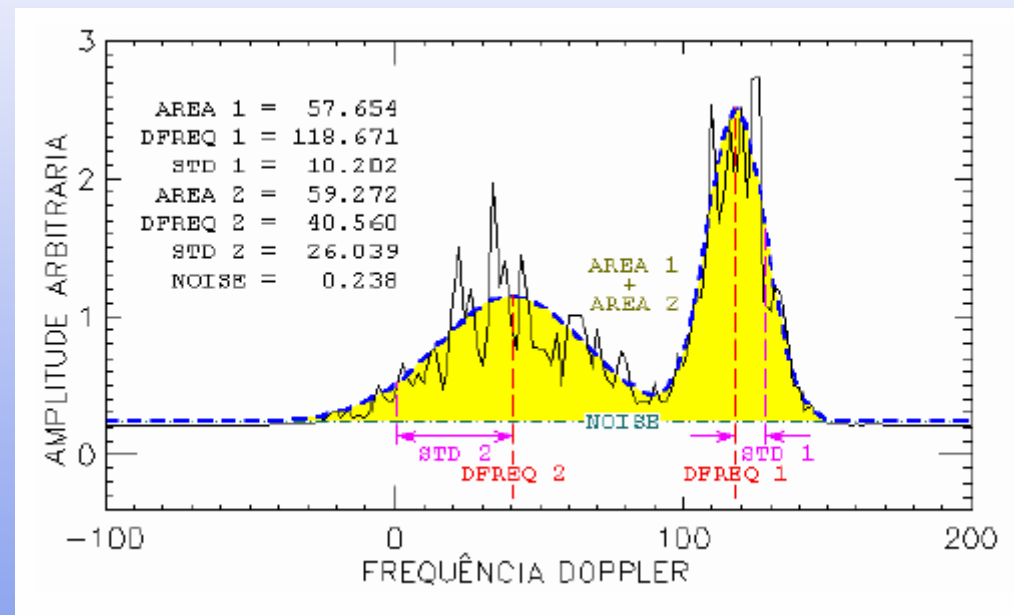
Formação do Sistema Sq de correntes, baseado na Teoria do Dínamo Atmosférico. No esquema são mostrados os ventos neutros U no sentido dos pólos no lado iluminado pelo Sol, as correntes de altas latitudes $J = \underline{\sigma} \cdot (\underline{U} \times \underline{B}) - \nabla \Phi$ que polarizam os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

DADOS ADQUIRIDOS

Exemplo de variação das componentes em fase e em quadratura com os pulsos recebidos e do espectro de potência obtido através da análise espectral. Dados de 06/12/2000, às 14 h 07 min 06 s, correspondente à 107,8 km de altitude.



MODELO DE AJUSTE



Modelo de ajuste:

$$S(f) = \frac{P_1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(f - f_{d1})^2}{2\sigma_1^2}\right] + \frac{P_2}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(f - f_{d2})^2}{2\sigma_2^2}\right] + P_N$$

MÍNIMOS ERROS QUADRÁTICOS I

$$P_i = \frac{1}{\sigma_i \cdot \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(y_i - y(x_i, \mathbf{a}))^2}{2 \cdot \sigma_i^2} \right]$$

$$P = \prod_{i=1}^n P_i = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} \cdot \prod_{i=1}^n \sigma_i} \exp \left[-\frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y(x_i, \mathbf{a}))^2}{\sigma_i^2} \right]$$

$$\frac{\partial P}{\partial \mathbf{a}} = 0 \Leftrightarrow \frac{\partial}{\partial \mathbf{a}} \left[-\frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y(x_i, \mathbf{a}))^2}{\sigma_i^2} \right] = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial \mathbf{a}} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y(x_i, \mathbf{a}))^2}{\sigma_i^2} = 0$$

MÍNIMOS ERROS QUADRÁTICOS

Distribuição Chi-quadrada:

$$\chi^2 \equiv \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y(x_i, \mathbf{a}))^2}{\sigma_i^2}$$

Método Gradient-Search:

$$\nabla \chi^2 = \frac{\partial}{\partial \mathbf{a}} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y(x_i, \mathbf{a}))^2}{\sigma_i^2}$$

Expansão em Série de Taylor:

$$\chi^2(\mathbf{a}_{j+1}) \approx \chi_j^2 + \nabla \chi_j^2 \cdot \delta \mathbf{a} + \frac{1}{2} \cdot \delta \mathbf{a} \cdot \mathbf{H}_j \cdot \delta \mathbf{a}$$

**Passo de busca
de parâmetros:**

$$\delta \mathbf{a} = \mathbf{a}_{j+1} - \mathbf{a}_j$$

MÍNIMOS ERROS QUADRÁTICOS III

$$\mathbf{H} = \frac{\partial^2 \chi^2}{\partial \mathbf{a}_l \partial \mathbf{a}_m}$$

$$\nabla \chi_j^2 + \mathbf{H}_j \cdot \delta \mathbf{a} = 0$$

$$\delta \mathbf{a} = -\mathbf{H}_j^{-1} \cdot \nabla \chi_j^2$$

$$\nabla \chi_j^2 = \frac{\partial \chi_j^2}{\partial \mathbf{a}_l} = -2 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y(x_i, \mathbf{a}_j))}{\sigma_i^2} \cdot \frac{\partial y(x_i, \mathbf{a}_j)}{\partial \mathbf{a}_l}$$

$$\mathbf{H}_j = \frac{\partial^2 \chi_j^2}{\partial \mathbf{a}_l \partial \mathbf{a}_m} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2} \cdot \frac{\partial y(x_i, \mathbf{a}_j)}{\partial \mathbf{a}_l} \cdot \frac{\partial y(x_i, \mathbf{a}_j)}{\partial \mathbf{a}_m} - 2 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y(x_i, \mathbf{a}_j))}{\sigma_i^2} \cdot \frac{\partial^2 y(x_i, \mathbf{a}_j)}{\partial \mathbf{a}_l \partial \mathbf{a}_m}$$

$$\mathbf{H}_j = 2 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2} \cdot \frac{\partial y(x_i, \mathbf{a}_j)}{\partial \mathbf{a}_l} \cdot \frac{\partial y(x_i, \mathbf{a}_j)}{\partial \mathbf{a}_m}$$

$$\alpha \equiv \frac{\mathbf{H}}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 \chi^2}{\partial \mathbf{a}_l \partial \mathbf{a}_m} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2} \cdot \frac{\partial y(x_i, \mathbf{a})}{\partial \mathbf{a}_l} \cdot \frac{\partial y(x_i, \mathbf{a})}{\partial \mathbf{a}_m}$$

$$\beta \equiv -\frac{\nabla \chi^2}{2} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial \chi^2}{\partial \mathbf{a}_l} = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y(x_i, \mathbf{a}_j))}{\sigma_i^2} \cdot \frac{\partial y(x_i, \mathbf{a}_j)}{\partial \mathbf{a}_l}$$

$$\mathbf{a}_{j+1} = \mathbf{a}_j + \alpha_j^{-1} \cdot \beta_j$$

TEMPO DE CONVERGÊNCIA

Gráfico de iterações médias x SNR

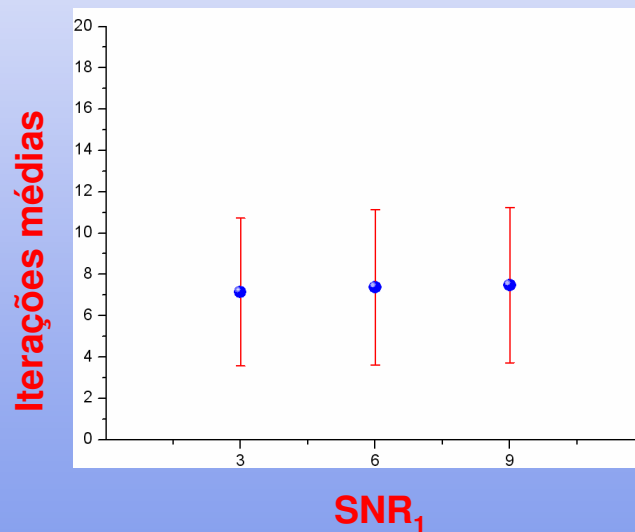
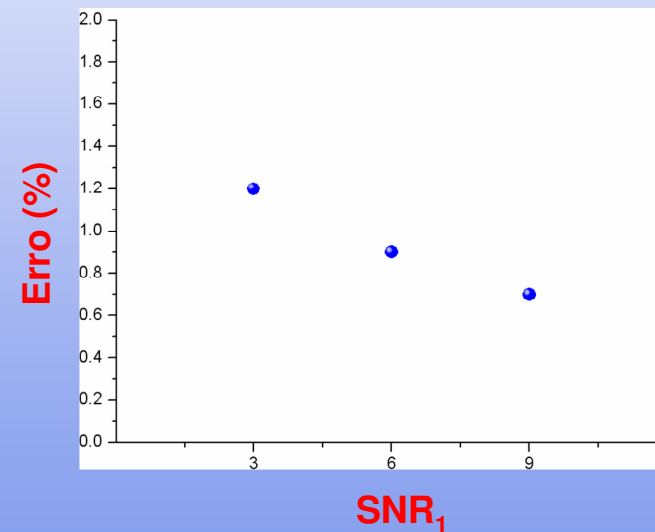


Gráfico de erro x SNR



RESULTADOS E CONCLUSÕES

- SNR não influi no número médio de iterações para sucesso do ajustes;
- Quanto maior a relação sinal/ruído da curva a ser ajustada, maiores são as chances de convergência do ajuste;
- Espectros de horários em que o EEJ possua maior potência obterão melhores resultados na estimação dos parâmetros;
- Melhor ajuste dos espectros, uma vez que a partir dos parâmetros das irregularidades, podemos determinar os campos elétricos presentes no EEJ e deduzir as induções magnéticas na superfície, como por exemplo, na região do Centro de Lançamento de Alcântara.

Agradecimentos

H. C. Aveiro gostaria de agradecer ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, PIBIC/CNPq – INPE, que financia seu projeto de iniciação científica.



Contato:
aveiro@lacesm.ufsm.br