

# ESTUDO COMPARATIVO DAS VARIAÇÕES SAZONAIS DOS PARÂMETROS IONOSFÉRICOS DA REGIÃO-F OBTIDOS EM S.J. CAMPOS E O MODELO IRI - 2001

*Rodolfo de Jesus<sup>1</sup>, Yogeshwar Saha<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Bolsista, CNPq, Universidade do Vale do Paraíba/IP & D, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP, 12244-000, [rodolfodejesus21@yahoo.com.br](mailto:rodolfodejesus21@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Orientador, Universidade do Vale do Paraíba/IP & D, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP, 12244-000, [sahai@univap.br](mailto:sahai@univap.br)

**Resumo-** Este trabalho tem o objetivo de estudar as variações sazonais dos parâmetros ionosféricos da região-F obtidos entre o período de junho de 2003 e janeiro de 2004 (cobrindo três estações - inverno, primavera e verão, utilizando só dias geomagneticamente calmos), a partir de observações de uma ionossonda digital, localizada no campus da UNIVAP (São José dos Campos – SP); e comparar estas variações temporais com os resultados do modelo *International Reference Ionosphere (IRI) – 2001* para o mesmo período das observações. O modelo usado foi desenvolvido utilizando dados observados em vários lugares ao redor do mundo e é a principal ferramenta para prever as propriedades da ionosfera em uma determinada região. As comparações dos resultados do modelo IRI-2001 com as observações são importantes para o constante aperfeiçoamento do modelo. O presente estudo mostra que as previsões do modelo para as variações das frequências de pico da região-F estão bem próximas das variações observadas. Todavia, as comparações das variações da altura de pico da região-F do modelo com as observações apresentaram diferenças significativas.

**Palavras-chave:** Ionosfera, Camada F, ionossonda digital, modelo IRI-2001

**Área do Conhecimento:** I - Ciências Exatas e da Terra

## Introdução

A ionosfera é uma parte parcialmente ionizada da alta atmosfera terrestre e tem um papel muito importante na rádio-comunicação de longa distância. A ionosfera está localizada entre 70 km até várias centenas de quilômetros de altitude e é constituída de regiões (camadas) distintas. As principais camadas da ionosfera são a camada-D, localizada entre 70 e 90 km de altitude, a camada-E localizada entre 90 e 150 km de altitude, a camada-F1 localizada entre 150 e 200 km de altitude e a camada-F2 entre 200 e 1000 km de altitude.

As regiões da ionosfera são ionizadas pela radiação solar na faixa espectral do extremo ultravioleta (EUV) e dos raios X, que contêm energia suficiente para causarem apreciável fotoionização da atmosfera terrestre em grandes altitudes. Os raios ultravioletas de frequências maiores penetram mais fundo, produzindo camadas ionizadas na parte mais baixa da ionosfera. Reciprocamente, os raios ultravioleta de frequência mais baixa penetram menos, e formam camadas ionizadas nas regiões mais altas da ionosfera.

Todavia, o plasma ionosférico consiste numa mistura de cargas negativas (elétrons) e cargas positivas (íons), o que permitem a propagação trans-ionosférica ou reflexão de ondas eletromagnéticas, dependendo da faixa de

frequência. A parte superior da camada-F é a mais importante para as rádio-comunicações porque possui elevada densidade eletrônica entre 250 e 400 km, dependendo do tempo e do lugar. Por este motivo é a camada mais estudada pelo grupo de pesquisa em Física Espacial da UNIVAP.

Este trabalho tem o objetivo de estudar as variações sazonais dos parâmetros ionosféricos da região-F, obtidos em São José dos Campos (SJC; 23.2° S, 45.9° O, latitude dip 17.6° S) que está situado de baixo do pico da anomalia equatorial ionosférica. Foram analisados as observações ionosféricas obtidas durante o período de atividade solar média (anos 2003-2004) e estações inverno, primavera e verão. Os dias utilizados neste trabalho foram escolhidos considerando a atividade geomagnética calma ( $K_p \leq 3$  sendo este valor representado para 3 horas). As observações da ionosfera também foram comparadas com os resultados do modelo *International Reference Ionosphere (IRI) - 2001* [1] para o mesmo período das observações. O modelo IRI é utilizado para prever o comportamento da ionosfera em uma determinada região geográfica/geomagnética e foi desenvolvido utilizando dados observados em vários lugares do mundo.

## Materiais e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido utilizando as observações da *Canadian Advanced Digital Ionosonde (CADI)*; [2] instalada em SJC, obtidos durante os dias calmos dos meses de junho, julho, setembro, outubro, dezembro de 2003 e janeiro de 2004. Os ionogramas obtidos da CADI são analisados utilizando-se o programa *Univap Digital Ionosonde Data Analysis (UDIDA)* [aqui faltou referência]. Os parâmetros ionosféricos da região-F utilizados neste trabalho são altura mínima virtual (h'F), frequência máxima de reflexão (foF2), e altura virtual correspondendo para  $0,834foF2$  (hpF2). Utilizou-se o hpF2 no lugar do hmF2 (altura real máxima da região-F), pois a obtenção do parâmetro hpF2 é mais acessível do que o parâmetro hmF2, além de ser bem próximo do hmF2, especificamente durante a noite [3]. A Figura 1 mostra um exemplo de um ionograma típico obtido em SJC durante o dia.

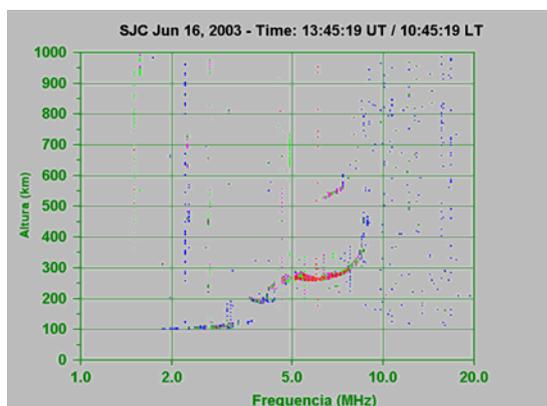


Figura 1- Ionograma típico obtido em São José dos Campos durante o dia em 16 de junho de 2003, às 13:45 *Universal Time (UT)*. Explicar um pouco o ionograma, porque cores diferentes, como encontrar a altura da camada, etc

## Resultados

Tabela 1 mostra os números de dias geomagneticamente calmos, nas observações utilizadas neste trabalho e também indica os dias observados com presença de irregularidades ionosféricas noturna durante cada estação.

Tabela 1- Meses utilizados em cada estação e os números de dias calmos e dias com irregularidades ionosféricas em cada estação.

Estações	Meses	Números de dias calmos/ com irregularidades
Inverno	Junho e julho de 2003	8 / 3 (F)*
Primavera	Setembro e outubro de 2003	15 / 11 (R)**
Verão	Dezembro de 2003 e janeiro de 2004	12 / 9 (R)**

\* F – Espalhamento do tipo frequência.

\*\* R – Espalhamento do tipo *range*.

A Figura 2 apresenta as médias das observações (azul) e os resultados do modelo IRI-2001 do parâmetro ionosférico foF2 para estação de inverno. As partes hachuradas representam os dados durante a noite (entre 18:00 e 06:00 horas local). A Figura 3 e a Figura 4 são similares à Figura 2, mas para as estações primavera e verão, respectivamente.

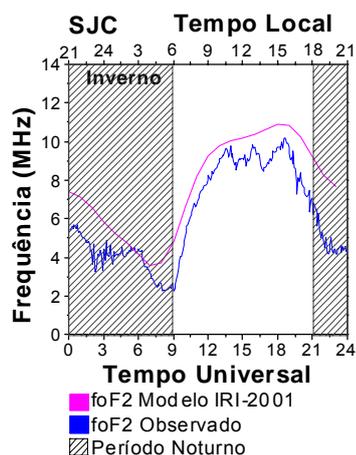


Figura 2- Variação temporal das médias da frequência máxima de reflexão, observadas durante os meses de junho e julho de 2003 e os resultados obtidos do modelo IRI-2001 durante este mesmo período.

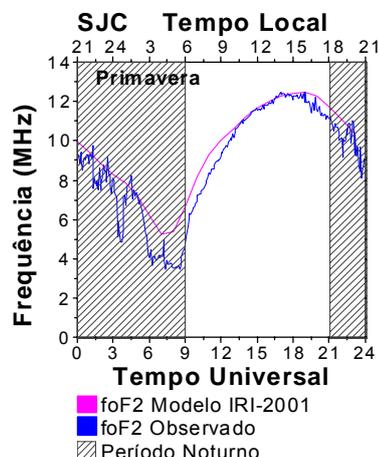


Figura 3- Variação temporal das médias da frequência máxima de reflexão, observadas durante os meses de setembro e outubro de 2003 e os resultados obtidos do modelo IRI-2001 durante este mesmo período.

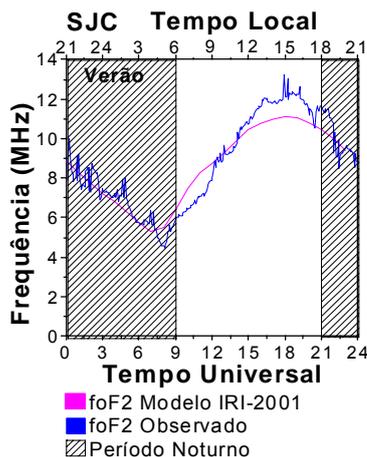


Figura 4- Variação temporal das médias da frequência máxima de reflexão, observadas durante os meses de dezembro de 2003 e janeiro de 2004 e os resultados obtidos do modelo IRI-2001 durante este mesmo período.

A Figura 5 apresenta as médias das observações dos parâmetros ionosféricos h'F (preto) e hpF2 (azul) e os resultados do modelo IRI-2001 (rosa) do parâmetro ionosférico hmF2 para estação de inverno. As partes hachuradas representam os dados durante a noite (entre 18:00 e 06:00 horas locais). A Figura 6 e a Figura 7 são similares à Figura 5, mas para as estações primavera e verão, respectivamente.

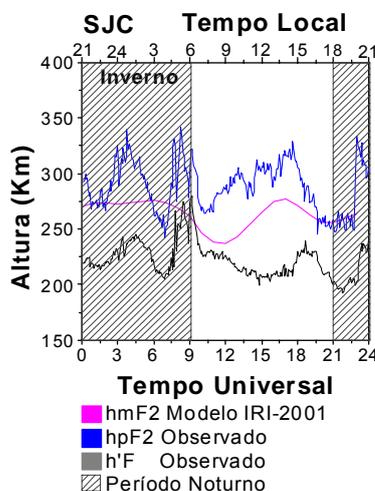


Figura 5- Variação temporal das médias das alturas da camada-F, observadas durante os meses de junho e julho de 2003 e os resultados obtidos do modelo IRI-2001 durante este mesmo período.

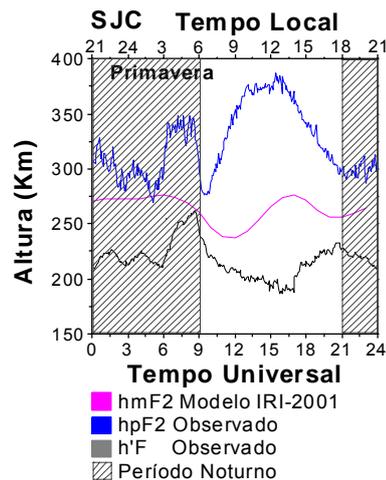


Figura 6- Variação temporal das médias das alturas da camada-F, observadas durante os meses de setembro e outubro de 2003 e os resultados obtidos do modelo IRI-2001 durante este mesmo período.

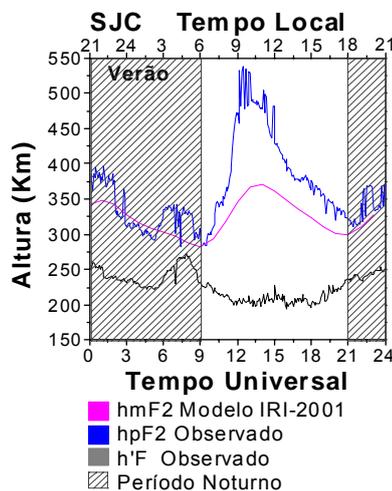


Figura 7- Variação temporal das médias das alturas da camada-F, observadas durante os meses de dezembro de 2003 e janeiro de 2004 e os resultados obtidos do modelo IRI-2001 durante este mesmo período.

### Discussão

A ionosfera tem um papel importante no ambiente terrestre porque tem forte influência no acoplamento entre os processos das regiões abaixo (ex: variações troposféricas) e acima (ex: variações solares e geomagnéticas). Existe variabilidade introduzida pelos processos meteorológicos (propagação para cima), com dissipação, reflexão e interferência de ondas de grande escala, como por exemplo, ondas de gravidade e ondas planetárias. A ionosfera também está sujeita à variabilidade diária da atividade geomagnética. Como este trabalho considerou apenas os dias calmos, onde a influência da atividade magnética é desprezível, as variabilidades diárias talvez tenham alguma

influência das variações da radiação solar, como sugerido por Mendillo e colaboradores [4].

Uma importante característica da região-F na baixa latitude é a presença de anomalia ionosférica equatorial que apresenta picos em densidade de plasma ionosférico a  $\pm 15^\circ$  latitude dip e mínimo sobre o equador magnético. Este é o resultado da subida do plasma ionosférico na região do equador magnético durante o dia e consequente difusão do plasma ao longo das linhas de campo magnético para as regiões de baixa latitude. Os picos alcançam distância máxima do equador magnético no período da tarde ( $\cong 15:00$ , hora local) [5].

As leituras cuidadosas das Figura 2, Figura 3 e Figura 4 mostram que as variações médias de foF2 observadas e obtidas pelo modelo para diferentes estações estão bem próximos. Isto indica que a previsão do modelo simula bem as observações. Também as Figuras mostram que ambos; o modelo e as observações, apresentam picos de densidade eletrônica  $\pm$  às 15:00, tempo local e diminuição gradual ao longo da noite devido ao processo de recombinação iônica.

Em baixas latitudes o campo elétrico de dínamo é gerado pelos ventos termosféricos equatoriais. Durante o dia o campo elétrico de dínamo está na direção leste e induz movimento do plasma para cima, sendo que o contrário acontece durante a noite. As observações (Figura 5 e Figura 6) mostram que durante o dia a altura do pico da camada-F (hpF2) está maior do que durante à noite, menos no inverno, quando a incidência de raios solares é menor (Figura 7).

Todavia as Figuras 5, 6 e 7 mostram que as comparações das variações da altura de pico da região-F do modelo com as observações apresentaram diferenças significativas. As Figuras mostram ainda que as variações em hpF2 e h'F são bem similares durante o período da noite indicando que a camada-F está se movimentando por completo para cima e para baixo. Mas durante o dia os comportamentos das variações entre hpF2 e h'F são diferentes (oposto), talvez pela presença da ionização em baixo da camada-F2 em forma de camada-F1.

Pode-se mencionar que as irregularidades no plasma ionosférico na região equatorial indicam que a região-F não é homogênea. Elas ocorrem normalmente durante o período da noite sendo geradas por instabilidades no plasma, apresentando-se como espalhamento nos ionogramas da região-F. As irregularidades tem grande escala de *range type spread-F (R)* e pequena escala de *frequency type spread-F (F)*. O tamanho das irregularidades varia entre alguns centímetros e algumas centenas de quilômetros. Sobre o Brasil, irregularidades de grandes escalas ocorrem com maior intensidade entre os meses de outubro e março. Pode-se observar forte presença

de espalhamento do tipo *range* durante a primavera e verão (Tabela 1). Às vezes, o espalhamento na região-F é muito severo e este degrada bastante a qualidade da comunicação que são transmitidas através das ondas de rádio.

## Conclusão

Neste trabalho foram apresentadas as observações da região-F, obtidas em SJC durante várias estações, ao longo do período de atividade solar média. As observações foram comparadas com os resultados do modelo IRI-2001 para o mesmo período das observações.

Este estudo mostrou que as previsões do modelo para as variações das frequências de pico da região-F estão bem próximas das variações observadas. Todavia, as comparações das variações da altura de pico da região-F do modelo com as observações, apresentaram diferenças significativas. Isto indica que o parâmetro ionosférico hmF2 do modelo IRI-2001 precisa ser melhorado.

**Agradecimentos:** Gostaria de agradecer o Prof. P. R. Fagundes, Chefe do Laboratório de Física Espacial e Astronomia da UNIVAP, pelo apoio recebido para desenvolver este trabalho. Também gostaria de agradecer o CNPq pelo apoio financeiro (bolsa IC).

## Referências

- [1] IRI-2001, Internet site address: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/model/models/iri.html> acessado em 01/06/2005.
- [2] GRANT, I. F., MACDOUGALL, J. W., RUOHONIEMI, J.M., BRISTOW, W. A., SOFKO, G. J., KOEHLER, J. A., DANSKIN, D., AND ANDRE, D., Comparison of plasma flow velocities determined by the ionosonde Doppler drift technique, SuperDARN radars, and patch motion, *Radio Sci.*, V.30, 1537-1549, 1995.
- [3] DANILOV, A. D., e MOROZOVA, L. D., Ionospheric storms in the F2 region. Morphology and Physics (Review), *Geomag. Aeron.*, V.25, 593-605, 1985.
- [4] MENDILLO, M., RISHBETH, H., ROBLE, R.G. and WROTEN, J. Modelling F2-layer seasonal trends and day-to-day variability driven by coupling with the lower atmosphere. *J. Atmos. Sol-Terr. P hys.*, V.64, 1911-1931, 2002.
- [5] BASU, S., e DAS GUPTA. A., Latitude variation of electron content in the equatorial region under magnetically quiet and active conditons, *J. Gephys. Res.*, V.73, 5599, 1968.