

# A Camada Ionosférica F3

Paulo F. Barbosa Neto\*,\*

I.S. Batista\*

M.A. Abdu\*

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Aluno de Mestrado, Bolsista do CNPq

Este trabalho apresenta uma análise de dados da digissonda instalada nas vizinhanças de Fortaleza com o objetivo de estudar a ocorrência de uma camada adicional, a camada F3, na ionosfera do equador magnético. Foram analisados 2 anos de dados obtidos na estação de Fortaleza (4°S, 38°W, 7°S latitude magnética) no período de setembro de 1994 a outubro de 1996. Observou-se a existência de horários e meses preferenciais para a ocorrência da camada adicional, os quais serão apresentados, preliminarmente, nesse resumo.

## INTRODUÇÃO

O campo geomagnético, próximo ao equador, orientado horizontalmente à superfície da Terra, combinado ao campo elétrico leste-oeste produzem uma deriva vertical  $E \times B$  que força o plasma para cima em latitudes próximas ao equador. Em seguida o plasma em altitudes maiores difunde-se para baixo, através das linhas de campo, sob a influência da gravidade e dos gradientes de pressão, ocasionando picos na densidade eletrônica que se desenvolvem, por volta de  $\pm 16^\circ$  de latitude. Estes picos causam uma depleção de plasma no equador, a anomalia equatorial. A deriva  $E \times B$  ascendente origina uma fonte de plasma, formada no topo da ionosfera durante a manhã, que eleva o plasma e sob condições adequadas de campo elétrico e vento, forma a camada F3, como mostra a Figura 1, em latitudes próximas ao equador.

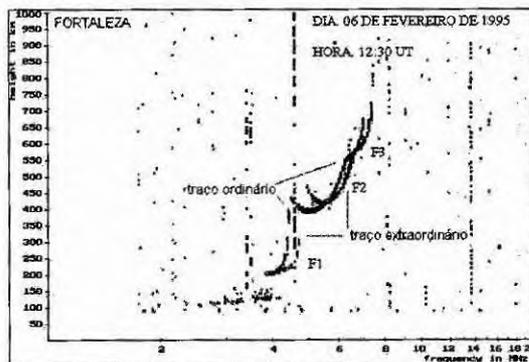


Fig. 1 Ionograma gerado pelo sistema CADI

A camada F3 pode possuir uma intensidade, a qual é fortemente dependente do movimento ascendente do plasma, maior que a intensidade da camada F2 durante algumas horas antes do meio-dia local e, uma vez formada, a camada adicional pode existir por longos períodos. A evidência direta da camada F3 foi observada em ionogramas registrados nas vizinhanças de Fortaleza e a evidência indireta da presença da camada F3 tem sido discutida em recentes

trabalhos de modelagem [Balan e Bailey, 1995; Balan et al., 1997]. Neste estudo será apresentada uma análise dos ionogramas registrados em Fortaleza para estudar a ocorrência da camada F3.

## A CAMADA F3

A associação entre o campo geomagnético norte-sul, quase horizontal à superfície terrestre, e o campo elétrico leste-oeste diurno produz uma deriva perpendicular  $E \times B$  ascendente que controla o transporte do plasma através das linhas do campo magnético. Durante o período diurno a deriva  $E \times B$  é ascendente e possui uma velocidade média de aproximadamente 20 m/s; durante o período noturno a deriva  $E \times B$  é ligeiramente maior mas possui direção oposta.

Durante as primeiras horas da manhã a deriva  $E \times B$  ascendente levanta o plasma, em latitudes próximas ao equador, elevando o pico de ionização e transportando ionização para latitudes maiores, uma vez que o plasma converge no topo da ionosfera. Este fluxo não resulta apenas do aumento da deriva  $E \times B$  ascendente, mas do efeito combinado do aumento da deriva, do aumento da pressão e do vento neutro, cuja presença torna a fonte assimétrica em relação ao equador; este processo acumulativo que aumenta com o aumento da deriva  $E \times B$  ascendente é responsável pela formação da camada F3. Uma vez formada, a camada adicional pode manter-se durante várias horas, principalmente, devido àquela convergência do plasma no topo da ionosfera. No seu período de desenvolvimento, mostrado na Figura 2, a concentração máxima de plasma da camada F3 pode tornar-se maior que a concentração máxima da camada F2 por um curto período de tempo, algumas horas antes do meio-dia e antes do decréscimo da velocidade da deriva.

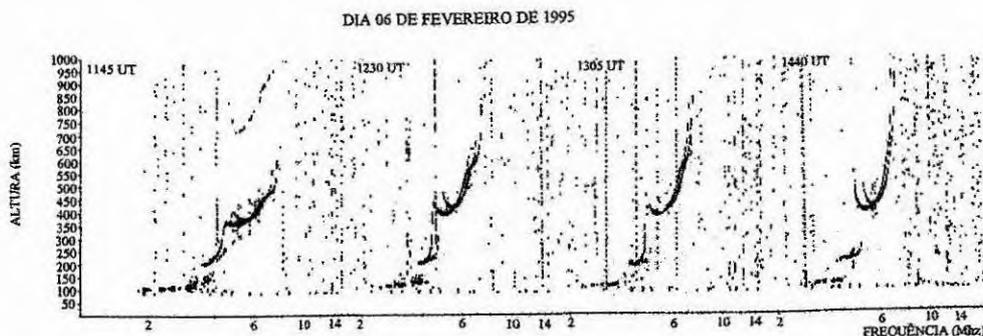


Fig.2 Desenvolvimento e decaimento da camada F3 em ionogramas registrados em Fortaleza no dia 06 de fevereiro de 1995, às 1145 UT, 1230 UT, 1305 UT, 1440 UT

No período de reversão a velocidade de deriva **ExB** da região F diminui, o plasma da região ocupada pela fonte tenta difundir-se para baixo ao longo das linhas de campo. Com a reversão da velocidade, a deriva **ExB** descendente torna-se forte e comporta-se como uma fonte na direção oposta. Portanto a ionização que estava no topo da região F, em torno do equador, é empurrada para baixo através das linhas de campo magnético pela deriva **ExB** descendente criando uma região de baixa pressão de plasma no topo da ionosfera. Para preencher esta região de baixa pressão o plasma flui na direção do equador em ambos os lados e é novamente empurrado para baixo através das linhas de campo. Este processo é acumulativo e aumenta com o aumento da deriva **ExB** descendente, a qual enfraquece ao por do Sol.

A fonte de plasma, que é a principal responsável pelo aumento noturno da ionização nas latitudes do equador, também proporciona condições favoráveis para a geração e propagação das bolhas de plasma e irregularidade. As bolhas e as irregularidades formam-se na base da região F, próxima ao equador, por volta do período de reversão da fonte de plasma e propagam-se para cima como bolhas de ar na água. Depois de alcançarem o topo da região F, as bolhas e irregularidades podem propagar-se para alturas maiores.

#### DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Neste trabalho foram analisados os ionogramas registrados pela CADI (Canadian Advanced Digital Ionosonde) cujos dados vão de setembro de 1994 a dezembro de 1996. Os ionogramas com estes dois anos de dados tiveram como objetivo definir os meses e horários preferenciais da ocorrência da camada adicional, a camada F3, após uma análise preliminar foi possível elaborar um gráfico de barras que define, a princípio, a ocorrência da camada para os 4 meses de dados escolhidos para esta análise preliminar, como mostra a Figura 3.

É possível observar que a ocorrência da camada é maior no mês de dezembro e vai diminuindo nos meses seguintes até atingir um número menor de ocorrência nos meses de março. Mas como as porcentagens foram realizadas baseadas nos dias em que existem dados o resultado final pode não ser tão

preciso, como mostra a Figura 4. Nesta figura observa-se que dos 31 dias de dezembro existem dados em apenas 17 dias. Nos dias que existem dados a camada não ocorre apenas em um único dia. Dessa forma, o alto valor da porcentagem de ocorrência em dezembro (94,12%) não pode ser considerado um valor muito representativo. Já nos demais meses os dias em que existem dados são maiores não prejudicando, dessa forma, o cálculo das porcentagens.

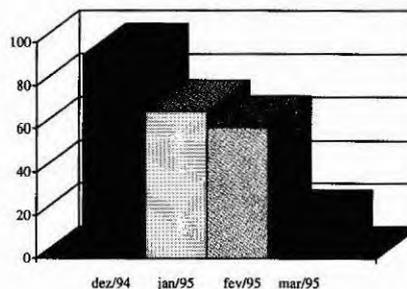


Fig. 3 Porcentagem de ocorrência da camada F3 nos meses mostrados

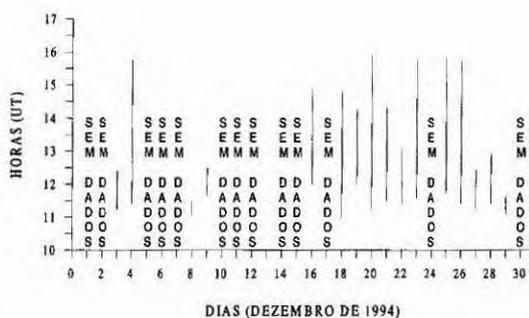


Fig. 4 Distribuição da ocorrência da camada adicional.

Para todos os meses determinou-se, ainda, o horário preferencial para a formação da camada F3 (Figura 5). Nesta análise preliminar é possível observar que a camada F3 ocorre com mais frequência em uma faixa que vai das 11:00 UT às 12:55 UT. No mês de

dezembro a ocorrência é maior na faixa que vai das 11:00 UT às 11:55 UT, sendo que esta faixa sofre uma diminuição nos meses de janeiro, fevereiro e março. Em oposição a esta diminuição de ocorrência nas faixas, a faixa que vai das 12:00 UT às 12:55 UT sofre um aumento nos meses de janeiro, fevereiro e março, sendo que neste mês, de março, também existe um aumento da faixa que vai das 14:00 UT às 14:55 UT (40%) igualando-se assim a faixa das 12:00 UT às 12:55 UT (40%).

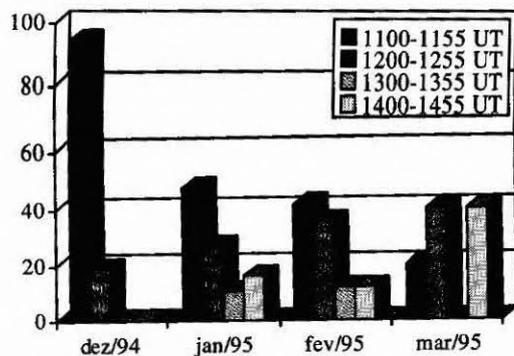


Fig. 5 Horário preferencial para a formação da camada F3.

A análise dos dados ionosféricos de Fortaleza permitem a identificação de uma camada ionosférica adicional, a camada F3, a qual ocorre apenas em uma faixa estreita de latitude em torno do equador magnético (entre  $-1^\circ$  e  $-8^\circ$  de latitude magnética). Observa-se que a ocorrência da camada está restrita aos horários da manhã, entre 0830 LT e 1230 LT (1100 UT e 1530 UT). O modelo ionosférico SUPIM (Sheffield University Plasmaphere-Ionosphere Model) tem previsto a existência dessa camada, e as previsões estão de acordo com as observações (Balan e Bailey, 1995; Balan et al., 1997).

#### REFERÊNCIAS

- Balan, N., Bailey, G.J., Equatorial plasma fountain and its effects: Possibility of an additional layer, *J. Geophys. Res.*, 100, 21,421, 1995.
- Balan, N., Bailey, G.J., Abdu, M.A., Oyama, K.I., Richards, P.G., Macdougall, J., Batista, I.S., Equatorial plasma fountain and its effects over tree location: Evidence for additional layer, the F3 layer, *J. Geophys. Res.*, 102, 2047, 1997.

dezembro a ocorrência é maior na faixa que vai das 11:00 UT às 11:55 UT, sendo que esta faixa sofre uma diminuição nos meses de janeiro, fevereiro e março. Em oposição a esta diminuição de ocorrência nas faixas, a faixa que vai das 12:00 UT às 12:55 UT sofre um aumento nos meses de janeiro, fevereiro e março, sendo que neste mês, de março, também existe um aumento da faixa que vai das 14:00 UT às 14:55 UT (40%) igualando-se assim a faixa das 12:00 UT às 12:55 UT (40%).

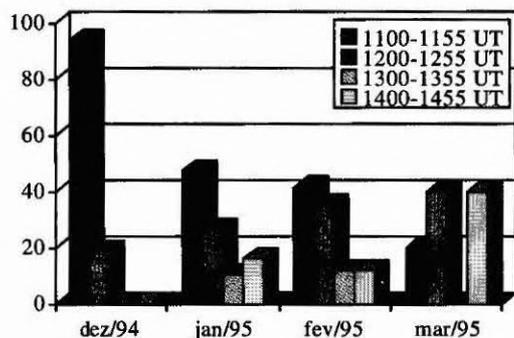


Fig. 5 Horário preferencial para a formação da camada F3.

A análise dos dados ionosféricos de Fortaleza permitem a identificação de uma camada ionosférica adicional, a camada F3, a qual ocorre apenas em uma faixa estreita de latitude em torno do equador magnético (entre  $-1^{\circ}$  e  $-8^{\circ}$  de latitude magnética). Observa-se que a ocorrência da camada está restrita aos horários da manhã, entre 0830 LT e 1230 LT (1100 UT e 1530 UT). O modelo ionosférico SUPIM (Sheffield University Plasmaphere-Ionosphere Model) tem previsto a existência dessa camada, e as previsões estão de acordo com as observações (Balan e Bailey, 1995; Balan et al., 1997).

#### REFERÊNCIAS

- Balan, N., Bailey, G.J., Equatorial plasma fountain and its effects: Possibility of an additional layer, *J. Geophys. Res.*, 100, 21,421, 1995.
- Balan, N., Bailey, G.J., Abdu, M.A., Oyama, K.I., Richards, P.G., Macdougall, J., Batista, I.S., Equatorial plasma fountain and its effects over tree location: Evidence for additional layer, the F3 layer, *J. Geophys. Res.*, 102, 2047, 1997.