



ESTUDO DA ABSORÇÃO MAGNETOHIDRODINÂMICA DE ONDAS ATMOSFÉRICAS NA REGIÃO F USANDO TÉCNICAS ÓTICAS E DE RÁDIO

Aline Amorim de Almeida (UNIVAP, Bolsista PIBIC/CNPQ)
E-mail: aline@laser.inpe.br

Dr. Alexandre Alvares Pimenta (DAE /CEA /INPE, Orientador)
E-mail: pimenta@laser.iinpe.br

Resumo

A partir de imagens all-sky provenientes de um imageador em solo instalado em Cachoeira Paulista, observamos estruturas em forma de frente de ondas na termosfera/ionosfera sobre a região tropical Brasileira. As observações mostraram estruturas propagando-se de sudeste para noroeste sobre todo o campo de visão do imageador em uma faixa de altitude de 220-300 km, que é a faixa de altitude típica da linha de emissão OI 630 nm. Essas observações não estão relacionadas com distúrbios geomagnéticos causados por tempestade magnética. Neste trabalho apresentamos e discutimos a absorção magnetohidrodinâmica das ondas atmosféricas como o principal mecanismo de dissipação dessas ondas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	4
CAPÍTULO 01	5
1. INTRODUÇÃO.....	5
CAPITULO 02	6
2. IONOSFERA.....	6
2.1. Características Gerais	6
2.2. Estruturas da Ionosfera	6
CAPÍTULO 03	8
3. INSTRUMENTAÇÃO	8
3.1. O imageador “All - Sky”	8
3.2. Ionossonda	9
4. AEROLUMINESCÊNCIA.....	10
4.1. Aspectos Gerais	10
4.2. OI 630 nm.....	10
CAPITULO 05	11
5. Técnicas de observação e medição.....	11
5.1. Irregularidades de Plasma.....	11
5.1.1. Bolhas de Plasma.....	11
5.1.2. DBS (Dark Band Structures).....	12
CONCLUSÃO.....	14

LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1 - As camadas da Ionosfera e sua altitude em relação a superfície da Terra..... 7
- Fig. 2 - Imageador CCD all-sky sendo: (1) lente do tipo all-sky ; (2) rack; (3) sistema telecêntrico de lentes; (4) roda de filtros de interferência ótica; (5) sistema de reconstrução da imagem; (6) câmara CCD; (7) sistema de refrigeração da câmara CCD e (8) microcomputador. 8
- Fig. 3 Gráfico representando a altura de pico da camada ionosférica do dia 28 de agosto de 2006 após ter analisado ianograma coletado pela ionossonda instalada em Cachoeira Paulista - SP..... 9
- Fig. 4 - Bolha de Plasma atravessando o campo de visão do imageador All-Sky na linha de emissão OI 630 nm no dia 27/02/2006 às 00:47:58 hora local..... 12
- Fig. 5 - Imagem obtida pelo imageador all-sky no dia 13 de julho de 2005 às 02:06:30 HL com o fenômeno atravessando o campo do imageador instalado em Cachoeira Paulista. 12

CAPÍTULO 01

1. INTRODUÇÃO

O estudo das irregularidades ionosféricas é muito importante para se entender os processos dinâmicos da alta atmosfera. Tais irregularidades podem interferir drasticamente na propagação de sinais de rádio empregados nas telecomunicações, bem como nos sinais empregados em sistemas de navegação e posicionamento, como os GPS. Neste trabalho apresentamos estruturas ondulatórias ou distúrbios ionosféricos propagantes denominados DBS (Dark Band Structures), onde foram analisados seus períodos e épocas de maior ocorrência, destacando-se como principais características a tendência de se alinharem de nordeste a sudoeste, propagando-se para o noroeste e que não estão relacionados com distúrbios geomagnéticos, pois foram observadas durante períodos calmos. Estruturas ondulatórias que se propagam na região ionosférica, ou distúrbios ionosféricos propagantes são geralmente interpretados como flutuações na densidade do plasma. Com imagens obtidas pelo imageador “All-Sky” localizado em Cachoeira Paulista, apresentamos a fundamentação teórica e os resultados obtidos.

CAPITULO 02

2. IONOSFERA

2.1. Características Gerais

A formação da ionosfera é essencialmente governada pela ação da radiação solar sobre os constituintes atmosféricos, através de processos como a foto ionização e a recombinação (radiativa ou dissociativa).

Partículas de alta energia também podem penetrar na atmosfera promovendo a ionização de seus constituintes, embora este processo seja típico de regiões de altas latitudes.

Dependência da ionosfera com a radiação solar, mudanças na posição relativa entre Terra e Sol (rotação e translação), bem como mudanças nos padrões de radiação solar, irão influenciar como a ionosfera se comporta. Tendo assim variações como:

- Dia e Noite
- Sazonal (estação do ano)
- Geográfica
- Cíclica

2.2. Estruturas da Ionosfera

A ionosfera é a parte da atmosfera onde a concentração de elétrons e íons positivos livres, influencia a propagação das ondas de rádio. Está situada aproximadamente entre 60 km e 1000 km de altura. Normalmente a ionosfera se divide em três regiões, chamadas D, E e F:

Camada D - A mais próxima ao solo, fica entre os 70 e 90 km, é a que absorve a maior quantidade de energia eletromagnética.

Camada E - Acima da camada D, abaixo das camadas F1 e F2, sua altitude média é entre os 90 e os 130 km.

Camada F1 - A camada F1 está acima da camada E e abaixo da camada F2 ~130 até ~200 Km. Existe durante os horários diurnos.

Camada F2 - A mais alta das camadas ionosféricas, a camada F2, está acima de 200 km de altitude.

O presente estudo concentra-se nessa camada. Como mostra a figura a seguir:

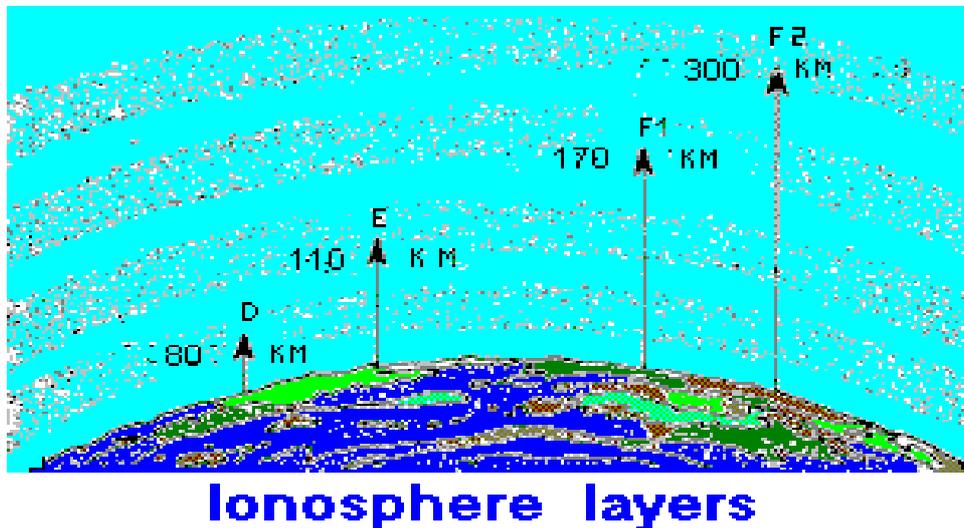


Fig. 1 - As camadas da Ionosfera e sua altitude em relação à superfície da Terra

FONTE: SILVA C.P. 2004

Cada região ou camada se sobrepõem em alguma extensão formando uma contínua, mas não uniforme área ionizada com ao menos 4 picos de intensidade de densidade iônica, chamadas regiões D, E, F1 e F2. Existem diferenças grandes entre os perfis das camadas de acordo com a estação do ano, devido à mudança da proximidade com o Sol e a sua posição no céu. Esta “posição” é chamada de ângulo de zênital.

CAPÍTULO 03

3. INSTRUMENTAÇÃO

3.1. O imageador “All - Sky”

O imageador "all-sky" é um instrumento óptico utilizado para fazer medições do airglow em diversos comprimentos de onda. Ele é formado por uma lente tipo all-sky que fornece um campo de visão de aproximadamente 180°, uma roda de filtros que seleciona o filtro para emissão desejada, um sistema telescópico que direciona a luz monocromática para a câmara CCD (matriz de células fotossensíveis) que reproduz as imagens do céu, além disso, todo o processo de captação das imagens é controlado por um microcomputador.

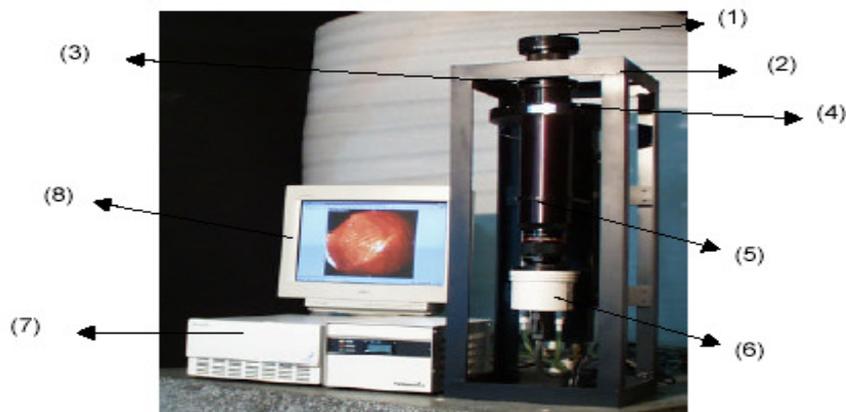


Fig. 2 - Imageador CCD all-sky sendo: (1) lente do tipo all-sky ; (2) rack; (3) sistema telescópico de lentes; (4) roda de filtros de interferência ótica; (5) sistema de reconstrução da imagem; (6) câmara CCD; (7) sistema de refrigeração da câmara CCD e (8) microcomputador.

FONTE: Santana (2000).

O imageador CCD All-sky necessita de céu claro para operar. Com isso, seu período de observação é de aproximadamente 13 dias por mês, em torno do período de lua nova. Se as condições meteorológicas não forem boas neste período, o imageador não opera. Seu campo de cobertura corresponde ao setor sudeste e parte do setor sul brasileiro e também a uma área equivalente sobre oceano atlântico.

3.2. Ionossonda

A ionossonda é um equipamento de rádio sondagem que é utilizado para determinação de parâmetros ionosféricos. Uma vez emitidos e recebidos os sinais, estes são processados que resulta em ianogramas. Como mostra a figura a seguir, através dos ianogramas obtidos pela ionossonda, inferimos alguns parâmetros ionosféricos tais como, a altura virtual da base da ionosfera ($h'F$), altura do pico da ionosfera ($hmF2$) e a densidade de plasma (ou elétrons) na altura do pico da ionosfera.

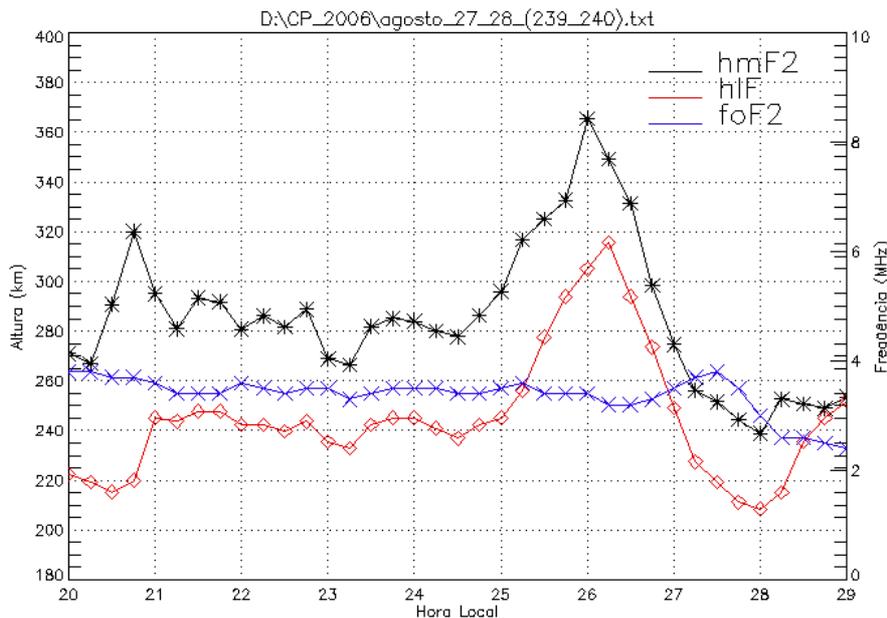


Fig. 3 Gráfico representando a altura de pico da camada ionosférica do dia 28 de agosto de 2006 após ter analisado ianograma coletado pela ionossonda instalada em Cachoeira Paulista - SP.

A partir desses ianogramas se podem detectar as irregularidades ionosféricas (Bolhas de Plasma) que começam a surgir a partir dos 250 km de altitude até aproximadamente 1.500 km. Então a ionossonda emite pulsos eletromagnéticos com frequência a partir de 500 kHz até 30 MHz esses pulsos se propagam para cima sendo refletidos pela densidade de íons que se encontra na alta atmosfera. No tempo de ida e volta desses pulsos é que se elaboram os ianogramas. E essas irregularidades (Bolhas de Plasma) são detectadas devido a espalhamentos de traço na região F. Existem ionossondas instaladas em várias localidades do Brasil: Cachoeira Paulista-SP, em São Luís do Maranhão, em Itaitinga/Fortaleza-CE, em São José dos Campos-SP.

CAPÍTULO 04

4. AEROLUMINESCÊNCIA

4.1. Aspectos Gerais

Na atmosfera noturna, íons e elétrons se recombinam formando átomos neutros que, sendo excitados, liberam energia na forma de fótons. Esse fenômeno luminoso é conhecido como aeroluminescência. Na região F da ionosfera, em torno de ~250 km de altura ocorre a emissão do oxigênio atômico em um comprimento de onda de 6300Å gerando uma luz vermelha.

4.2. OI 630 nm

As DBS são observadas pelo imageador all-sky na linha de emissão do oxigênio atômico OI630 nm. O OI630 nm é gerado em uma camada de aproximadamente 50 km de espessura na termosfera com pico a uma altura de aproximadamente 250 km. Na região de baixa latitude, a recombinação dissociativa do O₂⁺ na região F é um processo dominante para a produção de átomos de oxigênio excitados, os quais ao decaírem para o estado fundamental, liberam o excesso de energia na forma de radiação eletromagnética. O oxigênio atômico se origina na recombinação dissociativa do íon O₂⁺ com elétrons livres da região F, resultando na seguinte expressão :



Onde,

O₂⁺ = íon do oxigênio molecular ;

O* = átomo de oxigênio excitado ;

e = elétron ;

hν = energia do fóton ;

O fenômeno das Dark Band Structures (DBS) trata-se de uma instabilidade de plasma ionosférica, onde o plasma da camada F é empurrado para alturas superiores, causando a redução na intensidade da emissão OI 630nm.

CAPITULO 05

5. Técnicas de observação e medição

5.1. Irregularidades de Plasma

As irregularidades de plasma de grande escala da região F equatorial se manifestam como depleções na densidade do plasma devido às instabilidades na base na ionosfera. Tais irregularidades podem interferir na propagação de sinais de rádio empregados nas telecomunicações bem como nos sinais empregados em sistemas de navegação e posicionamento, como os GPS. Onde há ocorrência dessas irregularidades é na ionosfera equatorial depois do pôr-do-sol, quando sob a intensificação de campos elétricos zonais a camada ionosférica se eleva rapidamente na direção vertical dando origem a gradientes abruptos de densidade na base da camada, que através disso origina-se as irregularidades.

5.1.1. Bolhas de Plasma

As irregularidades ionosféricas de grande escala são normalmente denominadas bolhas de plasma. O fenômeno ocorre sempre no período da noite, têm tendência de se alinhar de norte a sul propagando-se para o leste quando observada pelo imageador. As bolhas de plasma ocorrem na faixa da ionosfera, acima de 350 km de altitude na emissão OI 630 nm. As bolhas podem atingir mais de 2.000 km de altitude. As bolhas ionosféricas são grandes irregularidades que ocorrem no plasma ionosférico. Estas têm a propriedade de interferir na propagação de ondas de RF. Para análises de bolhas de plasma temos a ionossonda (rádio) e também o imageador all-sky (óptico).

A ionossonda é essencialmente um sistema transmissor-receptor que emite pulsos de energia eletromagnética verticalmente em relação ao solo, tipicamente entre 1 e 25 MHz (*PIMENTA, A.A. tese de Doutorado, 2002*). Quando existem bolhas de plasma, o sistema transmissor-receptor sai de sincronismo, o que acarreta uma descontinuidade nos ionogramas, onde essa descontinuidade indica a presença de bolhas de plasma. E a outra forma de análises que é por imageamento também é bastante significativa pois possibilita observar grandes áreas horizontais, pelo imageador ter um campo de visão de 180° na emissão OI630 nm que corresponde a aproximadamente 350 km de altura. A

figura abaixo mostra a bolha de plasma atravessando o campo de visão do imageador do dia 27 de fevereiro de 2006 às 00:47:58 hora local localizado em Cachoeira Paulista-SP.

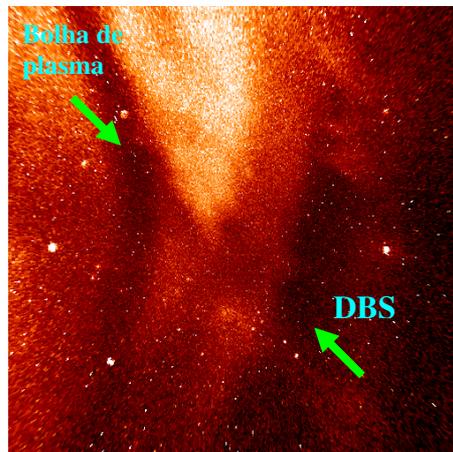


Fig. 4 - Bolha de Plasma atravessando o campo de visão do imageador All-Sky na linha de emissão OI 630 nm no dia 27/02/2006 às 00:47:58 hora local.

5.1.2. DBS (Dark Band Structures)

Com imagens obtidas pelo imageador All-Sky, na linha de emissão OI 630nm, observou-se a propagação de bandas escuras, as quais foram denominadas DBS (Dark Band Structures). A Figura 04 ilustra um evento observado na noite de 03 de julho de 2005 às 02:06:30 hora local, com um imageador All-Sky localizado em Cachoeira Paulista .

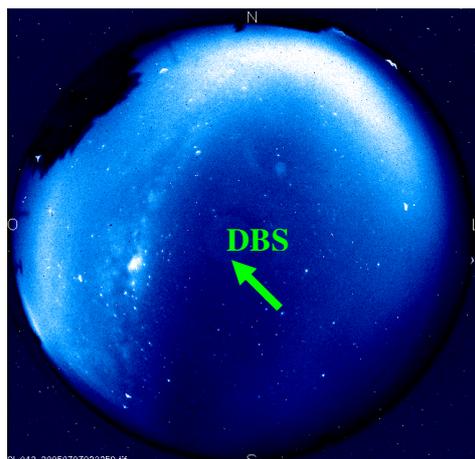


Fig. 5 - Imagem obtida pelo imageador all-sky no dia 13 de julho de 2005 às 02:06:30 HL com o fenômeno atravessando o campo do imageador instalado em Cachoeira Paulista.

A mais notável característica das DBS é sua tendência de se alinhar de nordeste a sudoeste, propagando-se para o noroeste. Outra característica importante é que a maior ocorrência do fenômeno se dá em períodos de atividade solar mínima, atividade solar ascendente e atividade solar descendente, sendo que, em períodos de máxima atividade solar não há registros da ocorrência do fenômeno. Isso implica que a ocorrência das DBS não se deve a condições de distúrbios geomagnéticos.

CONCLUSÃO

Foram analisadas imagens obtidas pelo imageador all-sky na emissão OI630 nm e da ionossonda ambos localizado em Cachoeira Paulista. Com base nos resultados apresentados as principais características dessas irregularidades ionosféricas como as DBS que têm tendência de se alinhar do nordeste a sudoeste , propagando-se para o noroeste a uma altitude de aproximadamente 300 km; não estão relacionados a distúrbios geomagnéticos ; e que a ocorrência deste fenômeno se dá preferencialmente, em períodos de atividade solar mínima e atividade solar ascendente e descendente. E as bolhas de plasma que tem tendência de se alinhar de norte a sul propagando-se para o leste estas têm a propriedade de interferir na propagação de ondas de RF.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PIMENTA, A.A. **Estudo da deriva zonal e dinâmica das bolhas de plasma na região tropical.** 2003. 194p. (INPE-9546-TDI/827). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2002.

AMORIM , D.C.M. **Frentes de onda na termosfera observadas com o imageador all-sky na linha de emissão OI630 nm no setor brasileiro de baixas latitudes.** Trabalho final de iniciação científica, 2007.

PIMENTA, A.A., FAGUNDES, P.R., BITTENCOURT, J.A., SAHAI, Y., GOBBI, D., MEDEIROS, A.F., TAYLOR, M.J., TAKAHASHI, I. **Ionospheric plasma bubble zonal drift: a methodology using OI630 nm all-sky imaging systems.** Adv. Space Res. Vol. 27, n 6-7, p. 1219-1224, 2001.

CÂNDIDO, C. M. N. **Estudos de irregularidades no plasma da camada ionosférica F equatorial e de baixas latitudes no setor longitudinal brasileiro.** 2008. 286p. (INPE-15246-TDI/1333). Tese de Doutorado (Geofísica Espacial).