

Estudos Morfológicos das Depleções do Plasma Ionosférico por imagens digitalizadas

D. C. Santana¹; J. H. A. Sobral¹ e H. Takahashi¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Brasil

RESUMO

A ionosfera, ambiente natural de propagação dos sinais de comunicação, foi descoberta inicialmente devido a observação de variações periódicas nas medições do campo geomagnético que combinadas com a alta condutividade elétrica da ionosfera, podem alterar a trajetória desses sinais de comunicação. É uma região rica em fenômenos naturais de importância direta para o homem e o para meio ambiente. É justamente um desses fenômenos, denominado de depleções do plasma ionosférico, exclusivo das regiões equatoriais, que queremos enfatizar. Para o seu estudo, há várias técnicas desenvolvidas, das quais podemos citar a luminescência atmosférica, ou o *airglow*. O acompanhamento constante do *airglow* noturno permite realizar um estudo morfológico e dinâmico da ionosfera noturna. As imagens digitalizadas do *airglow* noturno são obtidas pelo imageador *all-sky* 180° que é um equipamento recém desenvolvido pelo grupo de pesquisa Luminescência Atmosférica - LUME, da área de Ciências Espaciais e Atmosféricas - CEA, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e encontra-se em operação desde outubro de 1997 no laboratório do LUME em Cachoeira Paulista (22.7°S, 45.0°W) – SP. O *airglow* noturno existe em vários comprimentos de onda sendo que para o registro das depleções do plasma ionosférico é necessário a emissão do OI 6300 Å ($\lambda = 630$ nm), uma luz vermelha de muita baixa intensidade, que está presente na termosfera. As depleções do plasma ionosférico variam a intensidade da emissão do OI 630 nm de acordo com o cotidiano e a estação do ano. Os nossos estudos focalizam as depleções do plasma ionosférico que ocorrem sobre a região de Cachoeira Paulista (22.7°S, 45.0°W) – SP, principalmente as fortíssimas ocorrências nas noites de 30/01/1998 e 26/08/1998. As imagens digitalizadas das depleções do plasma ionosférico via OI 630 nm obtidas pelo imageador *all-sky* 180° são analisadas e processadas por aplicativos computacionais em desenvolvimento na linguagem computacional *Interactive Data Language* – IDL, seguindo os padrões básicos para o desenvolvimento de um aplicativo computacional. Esses aplicativos computacionais introduzem uma nova técnica fotométrica para o estudo das depleções do plasma ionosférico.

INTRODUÇÃO

A ionosfera é a camada atmosférica terrestre localizada aproximadamente a uma altura de 60 km durante o dia e 90 km durante a noite se estendendo por cerca de 1000 km, como visto na figura 01. É formada por íons e elétrons livres que lhe dão a propriedade de conduzir correntes elétricas e energia térmica. Ficou conhecida por permitir as radiocomunicações a longas distâncias nas primeiras décadas desse século.

É formada em sua maior parte pela ação da radiação ultravioleta solar que arranca os elétrons das órbitas dos átomos neutros da atmosfera, gerando assim o par fotoelétron/ion positivo. O fotoelétron perde energia e, em subsequente equilíbrio térmico, compõe com o íon livre o plasma ionosférico. Durante a noite, elétrons e íons se recombinam aos poucos tornando o plasma mais rarefeito. Sua parte mais densa fica localizada em torno de 300 km de altura. O íon mais abundante presente na ionosfera é o oxigênio atômico O^+ . A ionosfera é um constituinte minoritário da atmosfera terrestre, seu peso é desprezível se comparado com ao peso da atmosfera não ionizada. Sua alta condutividade elétrica, num efeito combinado com o campo magnético terrestre, tem a propriedade de alterar consideravelmente a trajetória das ondas de rádio, refratando-as ou refletindo-as.

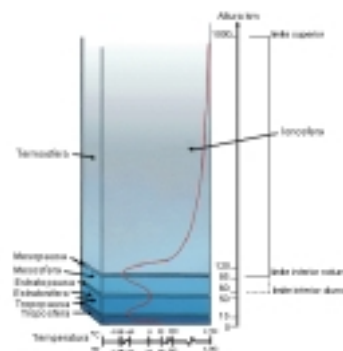


FIGURA 01 - localização da ionosfera através da ilustração das camadas atmosféricas em relação a temperatura.

DEPLEÇÕES DO PLASMA IONOSFÉRICO

Devido a sua complexidade e variabilidade, a ionosfera necessita ser monitorada continuamente através de intensas atividades de medidas de modo a fornecer um quadro claro da dinâmica da região. Com o advento dos satélites artificiais norte-americanos no início dos anos 60, como meio de comunicação, a ionosfera foi “substituída” pelos satélites de comunicação, os quais funcionam de forma muito mais eficiente pois recebem, amplificam e retransmitem em direção à Terra as ondas de rádio. As comunicações via satélite passaram então a ser feitas em frequências muito elevadas, da ordem de GHz (10^9) nas quais interferências ionosféricas deveriam ser desprezíveis. Entretanto, no início dos anos 70, para a surpresa dos especialistas norte americanos, as comunicações via satélites sofreram altíssimas interferências ionosféricas na região equatorial. Muitos pesquisadores consideram até hoje tal fenômeno como sendo a maior surpresa daquela década no campo de estudos da rádio propagação ionosférica. Inicialmente, tais interferências eram inexplicáveis e representavam um desafio para os cientistas. Descobriu-se depois que decorriam de fortíssimas irregularidades na distribuição de elétrons e íons no plasma ionosférico. Tais fenômenos ionosféricos constituem o que se denomina “depleções do plasma ionosférico” (Sobral, *et al.* 1980 a, 1980b).

CARACTERÍSTICAS DAS DEPLEÇÕES DO PLASMA IONOSFÉRICO SOBRE A REGIÃO BRASILEIRA

As depleções do plasma ionosférico são imensas regiões do espaço onde a densidade do plasma ionosférico é drasticamente reduzida. Estendem-se ao longo das linhas de força do campo magnético terrestre alcançando extensões de 10000 km e cerca de 150 km a 300 km na direção perpendicular se estabelecendo na alta ionosfera como ilustrado na figura 02. Ocorrem sempre após o por do sol e principalmente no período noturno até a meia-noite, não obstante durante algumas fases do ano aparecem durante a noite toda até o amanhecer. Na região sudeste geralmente acontecem entre os meses de outubro a março e marcadamente variam de características com o ciclo de atividade solar cujo o período é de cerca de 11 anos. O observatório óptico da divisão de Aeronomia do INPE, localizado em Cachoeira Paulista (22.7°S, 45.0°W)-SP, detectou pela primeira vez, utilizando técnicas óticas, a ocorrência das depleções do plasma ionosférico sobre o continente sul americano em 1976. Tais observações também foram as primeiras observações internacionais (Sobral, *et al.* 1980 a, 1980b, 1991). Naquela época quase nada se conhecia cientificamente sobre o fenômeno.

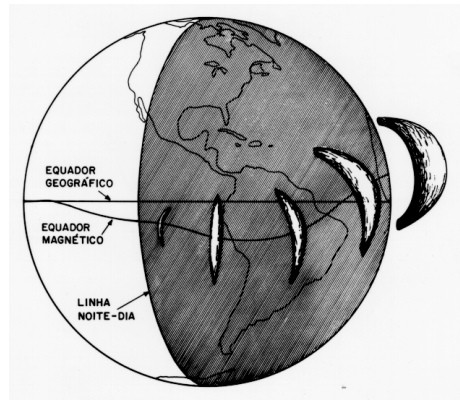
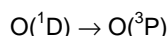


FIGURA 02 - exemplo do trajeto das depleções do plasma ionosférico.

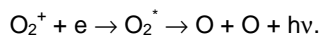
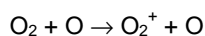
As depleções do plasma ionosférico são mais fortes, em termos de grau de depleção, durante os máximos do ciclo de atividade solar, por razões ainda não esclarecidas. No próximo máximo de atividade solar que ocorrerá por volta dos anos 2000-2001, essas depleções poderão interferir com mais intensidade nas telecomunicações provocando blecautes nas telecomunicações HF ou via satélite como é o caso dos sistemas residências de recepção com antena parabólica os quais poderão sofrer degradação no sinal e apresentar sinais de interferências. Já foi comprovado, no máximo do ciclo solar passado, mais especificamente por volta de 1990, que as antenas parabólicas residenciais de diâmetros menores tais como as de 1,80m, sofreram fortíssimas interferências. É importante notar que as depleções do plasma ionosférico não ocorrem em países de primeiro mundo pelo fato de estarem afastados da zona tropical sendo um fenômeno exclusivo da região equatorial.

LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA OI 630 nm

A luminescência atmosférica, ou *airglow*, é uma radiação tênue, amorfa e constante cuja emissão é proveniente de átomos e moléculas excitadas existentes na atmosfera principalmente nas altitudes entre 80 km e 300 km. Pode ser observado em qualquer latitude e existe em vários comprimentos de onda dependendo do elemento químico que a gerou. Nesse trabalho utiliza-se apenas a emissão emitida pelo oxigênio atômico no comprimento de onda de 630 nm, uma luz vermelha, que serve para diagnosticar a ionosfera quanto a sua dinâmica e a sua morfologia. Tal linha provém do oxigênio que popula a ionosfera noturna através da transição fotoemissiva



Essa luz aumenta ou diminui de intensidade quando a ionosfera baixa ou sobe de altura, respectivamente. Outra maneira de baixar a intensidade dessa luz é durante a ocorrência de depleções do plasma ionosférico. A figura 03 ilustra a altura de emissão do 630 nm. O *airglow* é gerado a partir de duas reações químicas, e a última reação da emissão do oxigênio atômico em 630 nm ou 6300Å inicia-se da recombinação dissociativa do íon O_2^+ com elétrons livres na região superior da ionosfera que é dada por:



onde o O_2^* representa a instabilidade do oxigênio molecular.

O oxigênio atômico resulta da reação entre o estado fundamental do $O(^3P)$ e dos estados excitados dos $O(^1S)$ e $O(^1D)$.

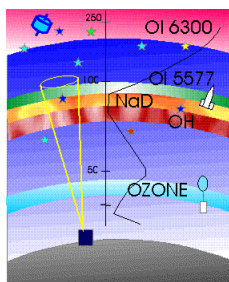


FIGURA 03 - localização da emissão 630 nm.

O *airglow* permite estudar:

- os processos químicos, iônicos e dinâmicos que regem a distribuição vertical dos vários constituintes atmosféricos;
- os processos de excitações que geram emissões óticas;
- a geração e propagação de irregularidades do plasma da ionosfera noturna; e
- os processos ligados à deposição de partículas neutras energéticas na alta atmosfera.

IMAGEADOR

O desenvolvimento de um novo instrumento pelo INPE, o imageador *all-sky* 180°, introduziu uma nova metodologia de estudos ionosféricos. Esse novo instrumento registra o *airglow* noturno num ângulo de visada *all-sky* de 180° grau como visto na figura 04a. O imageador foi primeiramente construído com uma câmera fotográfica em sua base e, com o avanço da tecnologia, foi construído um segundo imageador substituindo a câmera fotográfica pela câmera digital (CCD). O imageador *all-sky* encontra-se em funcionamento em Cachoeira Paulista-SP sendo a área de atuação vista na figura 04b.

Seu princípio de funcionamento é baseado na intensidade do *airglow*: no caso do *airglow* OI 630 nm, a intensidade (I) é proporcional a densidade eletrônica, $I \propto [O_2][e]$. Dessa forma, as depleções do plasma ionosférico causam uma redução na intensidade do *airglow* OI 630 nm que é prontamente detectada pelo imageador. Os pontos claros vistos na figura 04c são estrelas e as manchas escuras são as depleções do plasma ionosférico. Para a ocorrência da noite 26/08/98 há um total de 21 imagens indo das 19:56:20 hs até às 03:39:32 hs e para a noite de 30/01/98 há um total de 55 imagens indo das 19:48:33 hs até às 03:49:14 hs.

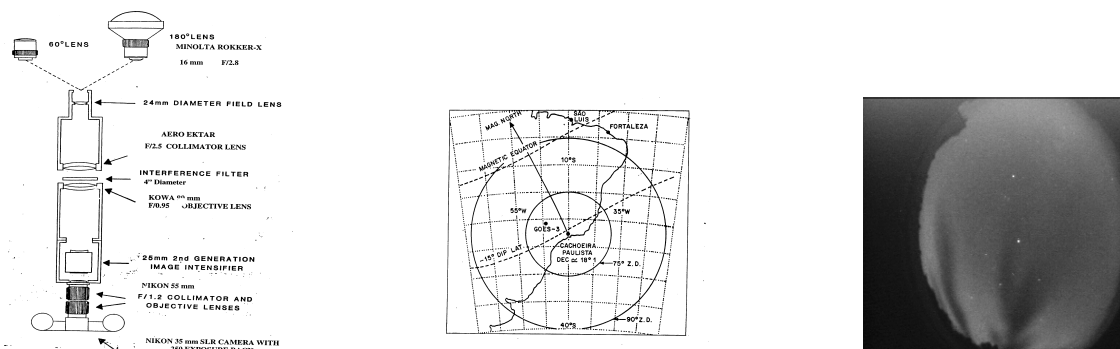


FIGURA 04 – esquema do imageador *all-sky* com câmera fotográfica (a), área de atuação do imageador *all-sky* em torno de Cachoeira Paulista-SP(b) e exemplo de uma imagem registrada pelo imageador *all-sky* em Cachoeira Paulista para o dia 01/02/1998 às 21:57:48hs(c).

RESULTADOS

Baseado em imagens cotidianas e principalmente nas imagens das fortíssimas ocorrências de 30/01/98 e 26/08/98, após o desenvolvimento completo dos aplicativos computacionais, os resultados esperados desse estudo das depleções do plasma ionosférico são:

- 1- obter os perfis latitudinais e longitudinais da intensidade do *airglow* OI 630 nm;
- 2- obter os gradientes latitudinais e longitudinais do *airglow* OI 630 nm;
- 3- interpretar os gradientes na região de Cachoeira Paulista - SP; e
- 4- interpretar os gradientes projetados no plano equatorial.

E ainda, conseqüentemente, podemos, por exemplo, utilizar o perfil meridional de intensidade do *airglow* para estudar as suas variações ao longo do meridiano.

CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos pretende-se realizar um estudo inédito de ampla abrangência da morfologia e dinâmica da ionosfera noturna. Esse estudo inédito e amplo se baseia em uma nova técnica de análise e processamento de imagens digitalizadas do *airglow* OI 630 nm utilizando um aplicativo computacional relativamente complexo e sofisticado que ainda está em desenvolvimento.

Essa nova técnica trará contribuições inestimáveis ao aperfeiçoamento do conhecimento da ionosfera noturna e da atmosfera superior brasileira.

Referências

- SOBRAL, J. H. A.; ABDU, M. A. .; BATISTA, I. S. "Airglow Studies on Ionosphere Dynamics over Low Latitude in Brazil". *Ann. Geophys.* 36(2), 199-204, 1980a
- SOBRAL, J. H. A.; ABDU, M. A. .; BATISTA, I. S.; ZAMLUTTI, C. J. "Association between Plasma Bubble Irregularities and Airglow Disturbances over Brazilian Low Latitudes". *GRL*, 11(7), 980-982, 1980b
- SOBRAL, J. H. A.; ABDU, M. A. .; ZAMLUTTI, C. J.; BATISTA, I. S. "Wave Disturbances in the Low Latitudes Ionosphere and Equatorial Ionospheric Plasma Depletions". *JGR*, 86(A3), 1374-1378, 1981a
- SOBRAL, J. H. A. "Correction". *JGR*, 86, 876, 1981b
- SOBRAL, J. H. A.; ABDU, M. A. "Solar Activity Effects on Equatorial Plasma Bubble Zonal Velocity and its Latitude Gradient as Measured by Airglow Scanning Photometers". *JATP*, 53(8), 729-743, 1991