

Plasma Probe: Estudo de Bolhas de Plasma a Bordo do Primeiro Micro Satélite Científico Brasileiro

*M.A. Abdu/INPE; P.Muralikrishna/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE; J.H.A. Sobral/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE; S.Domingos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE; K.-I. Oyama/Institute of Space and Astron. Science - Japan

RESUMO

Plasma Probe é um conjunto de experimentos a serem realizados no primeiro microsatélite científico brasileiro e tem como objetivo principal de realizar medidas in loco de bolhas - regiões depletos de plasma em tubos de fluxo magnético - de plasma ionosférico. As medidas in loco dos parâmetros críticos de bolhas de plasma a serem realizadas pelo primeiro microsatélite científico brasileiro prometem oferecer sinergismo de dados a qual se constitui um requerimento fundamental para estudos mais detalhados de processos eletrodinâmicos de geração e desenvolvimento de bolhas de plasma. Pretende-se realizar medidas de densidade, temperatura e distribuição espectral das irregularidades, do plasma através de seguintes instrumentos. 1) Sensor de capacitância em alta frequência (High Frequency Capacitance Probe) para medir a densidade do plasma. 2) Sensor de Langmuir para medir o perfil da densidade eletrônica e o espectro espacial das irregularidades do plasma. 3) Sensor de temperatura, para medir temperatura de elétrons do plasma ionosférico. Este sensor será fabricado em colaboração com o Instituto de Ciências Espaciais e Astronautica - ISAS do Japão através de colaboração INPE-ISAS.

INTRODUÇÃO

O objetivo principal de Plasma Probe é esclarecer os mecanismos de geração de bolhas de plasma ionosférico, o seu desenvolvimento e decaimento, na ionosfera global em geral e da região brasileira em particular. Tal investigação visa esclarecer também a forte influência exercida pela bolha e a turbulência do plasma associada a ela nos diversos sistemas de aplicações espaciais (telecomunicação trans-ionosférica, geodésia espacial, sensoriamento remoto com radares espaciais etc.). Desde sua descoberta na década de 70 por radares, satélites e foguetes o fenômeno de bolha de plasma ionosférica vem sendo foco de investigações científica e tecnológica pelos grupos internacionais. As bolhas se desenvolvem na ionosfera noturna equatorial com a frequência de ocorrência controlada pela estação de ano e a longitude do setor equatorial. Sua descoberta na ionosfera brasileira foi documentada através de medidas por foguetes, fotômetros, e ionossondas a partir do território brasileiro (Kelly et al., 1976; Sobral et al., 1980; Abdu et al., 1981). Porém diversos aspectos deste fenômeno, principalmente, as condições ionosféricas ambientais e a eletrodinâmica que produzem

grande variabilidade, de um dia ao outro, na intensidade de sua ocorrência permanecem desconhecido até hoje. Por outro lado, maiores conhecimentos destes aspectos são fundamentais no sentido de alcançar nossos objetivos de melhorar a previsibilidade das ocorrências deste fenômeno. O experimento a ser realizado no primeiro microsatélite científico brasileiro tem como objetivo de realizar medidas in loco de bolhas visando estudar os aspectos acima propostos.

As bolhas de plasma são regiões depletos de plasma em tubos de fluxo magnético, localizado no equador magnético, e estendendo por milhares de quilômetros ao longo do campo magnético terrestre em dois hemisférios terrestres. A seção no plano equatorial tem dimensões de centenas de quilômetros em direção horizontal e vertical. As bolhas são produzidas em consequência de processos não lineares de instabilidade de plasma, o mais destacado delas sendo o mecanismo Rayleigh-Taylor. Processos de cascata resultam em geração de irregularidades de plasma, associada a bolha, cuja escala espacial varia de centímetros até dezenas de quilômetros. O conjunto de efeitos destas irregularidades nos sistemas de diagnósticos remotos é conhecido como "spread F" equatorial. O perfil vertical de densidade eletrônica medido por uma carga útil do INPE

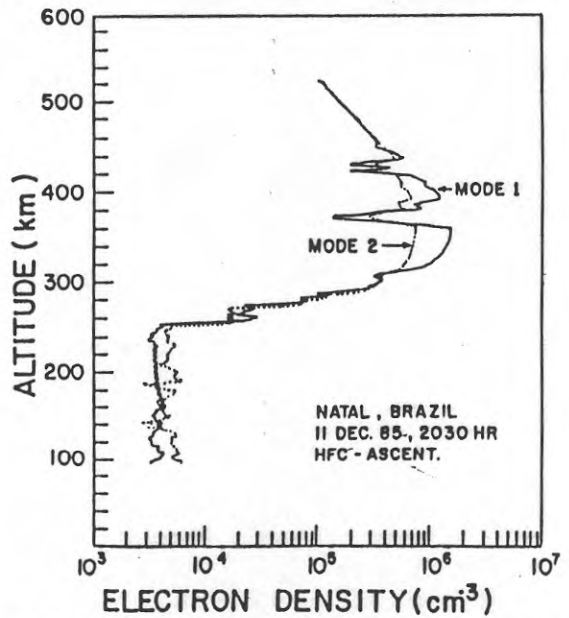


Fig. 1. Perfil de densidade eletrônica obtida a partir de medidas realizadas com uma sonda de HFC lançada a bordo de um foguete SONDA III, do Centro de lançamento em Natal, Brasil.

montado num foguete SONDA III que foi lançado da base da Barreira do Inferno (Natal) está mostrado na Figura 1 (Abdu et al., 1991). O INPE já opera em Cachoeira Paulista, São Luiz e Fortaleza instrumentos de radio e ótica (Digissonda, fotômetros, imageador etc.) de sensoriamento remoto das bolhas de plasma. Os dados fornecidos por estes instrumentos já resultaram em importantes estudos das características dinâmicas das bolhas sobre a região equatorial brasileira (veja, por exemplo, Abdu, et al. 1991; Batista et al., 1990, Klobuchar e Abdu, 1989, Sobral, 1991)

As medidas in loco dos parâmetros críticos de bolhas de plasma a serem realizadas pelo primeiro microsatélite científico brasileiro prometem oferecer sinergismo de dados a qual se constitui um requerimento fundamental para estudos mais detalhados de processos eletrodinâmicos de geração e desenvolvimento de bolhas de plasma. Convém ressaltar que o desenvolvimento de bolhas atinge sua intensidade máxima em torno de 2200 hora local e a órbita "sun synchronous" do satélite brasileiro, também localizado no meridiano em torno de 2200 horas locais oferece condições perfeitas de observações de bolhas. Os instrumentos a bordo do microsatélite brasileiro (realizando medidas em orbitas a altura de 800km) fornecerão dados diretos de bolhas por extensa duração e em escala global. Tais dados serão complementados pelas medidas remotas e simultâneas dos mesmos fenômenos com os instrumentos de superfície (Digissonda, Fotômetros, polarímetros, imageadores, Fabri-Perot Interferômetro) os quais o INPE opera em diversos locais no Brasil. Esta possibilidade do sinergismo em conjunto de dados, a ser alcançado através desta proposta, é inédita.

Um outro aspecto importante se refere a possibilidade de estudar o acoplamento eletrodinâmico envolvendo processos de alta e baixa latitudes. As bolhas de plasma da região equatorial podem ser produzidas também pelos campos elétricos magnetosféricos que penetram a latitude equatorial através da ionosfera polar (Szuszczewicz et al., 1988). Portanto, a órbita polar do satélite brasileiro permitirá estudos inéditos sobre o papel magnetosférico nos mecanismos de geração de bolhas de plasma equatorial.

Os resultados esperados das medidas permitirão melhores previsibilidade dos eventos de Spread F (ou seja, bolhas de plasma) na ionosfera equatorial e seus efeitos nos sistemas de aplicações espaciais, além de aprimorar nosso conhecimento da eletrodinâmica e o ambiente espacial sobre Brasil em relação de outras regiões da Terra.

DETALHES TÉCNICOS DOS EXPERIMENTOS

Sonda de Capacitância em Alta Frequência (HFC)

Este experimento é projetado para medir, com alta precisão, a distribuição de

densidade eletrônica no trajeto do satélite. Seus resultados serão utilizados para comparação e normalização de medidas feitas pela sonda de Langmuir.

A técnica consiste na determinação da capacitância de um eletrodo esférico de diâmetro 35mm montado numa haste na extremidade de um dos painéis solares do satélite. Uma vez que a capacitância é uma função da constante dielétrica do plasma, e esta constante dielétrica depende da densidade numérica de elétrons, a determinação da capacitância possibilita a determinação da densidade eletrônica. Sensores deste tipo, desenvolvidos no INPE já foram lançados varias vezes a bordo de foguetes tipo SONDA III (Brasileiro) e Black Brant X (Americano) com pleno êxito (Abdu et al, 1988, Muralikrishna e Abdu, 1991, 1992).

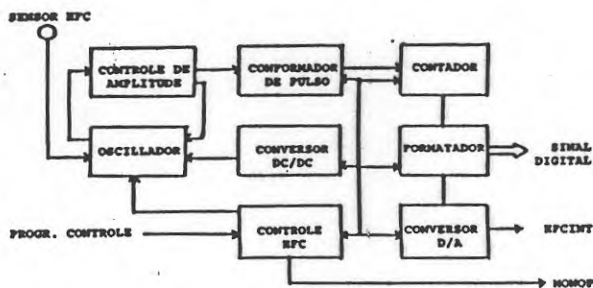


Fig. 2. Diagrama de blocos do experimento HFC a ser lançado a bordo do primeiro microsateélite científico brasileiro.

Como ilustrado na Figura 2 o sensor do experimento HFC é usada como um capacitor que faz parte de um oscilador tipo "clapp". A capacitância varia com as variações da densidade eletrônica ao longo do trajeto do satélite, variando a frequência do oscilador que é media a bordo do satélite. A partir da mudança na frequência do oscilador poder-se-á determinar a densidade eletrônica.

A variação da frequência é inversamente proporcional à frequência do oscilador para uma dada densidade eletrônica. Quanto menor a frequência melhor será a sensibilidade das medidas. Mas esta é valida somente quando a frequência é bem acima da frequência do plasma ionosférico local o qual pode variar por 2 ordens de grandeza de fora para dentro de bolhas de plasma. Portanto, para aumentar a sensibilidade das medidas em todas as faixas da densidade eletrônica, o experimento é projetado para operação em dois modos correspondendo às duas frequências diferentes. A sonda HFC poderá ser operada em qualquer um dos modos (Modo 1 da frequência baixa em torno de 5MHz. e Modo 2 da frequência alta em torno de 10MHz.) ou nos dois modos alternadamente. A escolha do modo de operação será feita usando telecomandos.

Sonda de Langmuir (LP)

A sonda de Langmuir é usada para medição de concentração de elétrons ou íons num plasma ionizado através da determinação da corrente entre o plasma e o sensor. Esta técnica já está muito bem desenvolvida e existe ampla literatura ao seu respeito (veja, por exemplo, Chen, 1965; Boyd, 1974; Szuszczewicz e Holmes, 1976). O INPE já construiu sondas deste tipo e lançou com pleno sucesso a bordo de foguetes tipo SONDA III (veja por exemplo Muralikrishna, 1991)

Um sensor metálico na forma de uma esfera de diâmetro 35mm é montado numa haste na extremidade de um dos painéis solares do satélite. A corrente de elétrons e íons recolhida pelo sensor depende da forma geométrica do sensor, da potencial do sensor, das características físicas do plasma ambiental e da velocidade do sensor. O sensor pode ser mantido no potencial do plasma ambiental ou num potencial negativo para recolher corrente de íons positivos ou num potencial positivo para recolher corrente de elétrons. No experimento proposto aqui o potencial do sensor será escolhido entre os quatro valores predeterminados (-2V, 0V, +2V e +4V) por um telecomando.

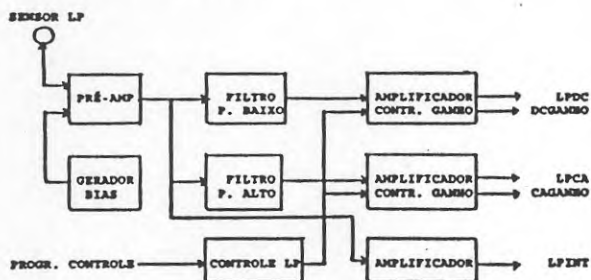


Fig. 3. Diagrama de blocos do experimento LP a ser lançado a bordo do primeiro micro-satélite científico brasileiro.

A Figura 3 mostra o funcionamento do experimento LP. A corrente recolhida pelo sensor de LP é convertida por um potencial num pré-amplificador de alta impedância. Posteriormente os componentes cd e ca do sinal são separadas usando filtros e amplificados separadamente. O sinal cd contém informação sobre a densidade eletrônica e o sinal ca sobre as irregularidades de plasma.

Sensor de Temperatura Eletrônica (ETP)

O sensor de temperatura eletrônica, basicamente é uma modificação de uma sonda de ressonância no qual a curva característica entre a corrente recolhida e o potencial aplicada numa sonda de Langmuir é deformada pela superposição de um potencial rf sobre o potencial dc aplicado ao sensor. Num sensor de temperatura eletrônica a frequência do sinal rf deve ser suficientemente abaixo da

frequência de plasma dos elétrons e acima de frequência de plasma dos íons. (veja, Oyama, 1991)

Num ETP o sinal rf é aplicado no sensor com duas amplitudes alternadamente superposto num potencial constante e os desvios nas curvas I-V introduzidos pelo rf são medidos em termos de variações de corrente recolhida pelo sensor. A razão entre os dois desvios é usado para determinar a temperatura eletrônica.

Uma placa usado para fazer circuito impresso é cortado numa forma circular de diâmetro 100mm. Tirando a parte metálica da placa ao longo de um diâmetro a placa é transformada em dois sensores semi-circulares. A placa é montada na extremidade de um dos painéis solares do satélite. O sinal rf (30kHz) gerado num oscilador é modulado para gerar dois sinais de rf com amplitudes a e 2a e aplicado num dos dois sensores semi-circulares (Figura 4). Nenhum

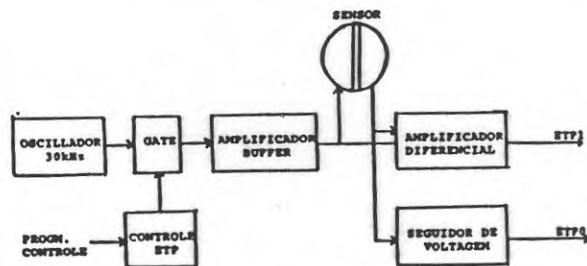


Fig. 4. Diagrama de blocos do experimento ETP a ser lançado a bordo do primeiro micro-satélite científico brasileiro.

potencial é aplicado no outro sensor que, portanto, poderá fornecer as variações de potencial fluctuante do sensor. A diferença de potencial entre os dois sensores é amplificada num amplificador diferencial. Esta diferença de potencial é relacionada com a temperatura eletrônica.

PRÉ-PROCESSAMENTO E CONTROLE DE DADOS A BORDO

Os experimentos LP, HFC e ETP poderão fornecer dados em tempo real durante o período de contato de satélite com a estação (ou com as estções) de terra. Porém, há um número muito grande de orbitas (maximo 6) sucessivas sem contato com a estação de terra. Usando um sistema de pré-processamento de dados a bordo do satélite junto com a memória de 25Mbyte a bordo é possível operar os experimentos durante a não visibilidade do satélite, armazenar os dados dos experimentos e posteriormente transmitir os dados armazenados para a estação de terra quando o satélite entra na sua visibilidade. Com o objetivo de reduzir o maximo possível a necessidade de memória a bordo um sistema de

pré-processamento de dados do experimento LP é proposto (Figura 6). O sinal ca do experimento LP será processado num analisador espectral FFT. Isso possibilitará a armazenagem de todos os dados recolhidos durante a não visibilidade do satélite pela estação de terra.

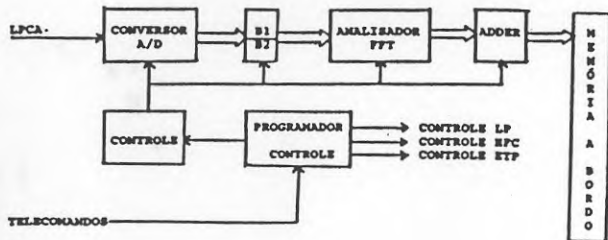


Fig. 5. Diagrama de blocos do sistema de processamento de dados de "Plasma Probe" a bordo do primeiro microsatélite científico brasileiro.

A unidade de controle de dados também abrigará um sistema para recepção dos telecomandos transmitidos da estação de terra com a finalidade de controlar a operação dos experimentos LP, HFC e ETP. Este sistema chamado "unidade central de controle" também comandará as unidades de controle dos experimentos LP, HFC e ETP.

REFERÊNCIAS

ABDU, M.A.; BITTENCOURT, J.A.; BATISTA, I.S., Magnetic Declination Control of the Equatorial F Region Dynamo Field Development and Spread-F, *J. Geophys. Res.*, 86, 11443-11446, 1981.

ABDU, M.A.; MURALIKRISHNA, P.; BATISTA, I.S.; CHAVES, A.H.P., On the rocket-induced wave disturbances in the daytime equatorial ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 93, 2758-2760, 1988.

ABDU, M.A.; P. MURALIKRISHNA; I.S. BATISTA and J.H.A. SOBRAL, Rocket Observation of Equatorial Plasma Bubbles over Natal, Brazil using a High Frequency Capacitance Probe, *J. Geophys. Res.*, 96, 7689-7695, 1991.

BATISTA, I.S.; M.A. ABDU; R.A. MEDRANO, Magnetic activity effects on range type spread-F and vertical plasma drift at Fortaleza and Huancayo as studied through ionosonde measurements and theoretical modeling, *Annales Geophysicae*, 8(5), 357-364, 1990.

BOYD, R.L.F., *Space Physics - the study of Plasma in Space*, Calrendon Press, Oxford, 1974, pp. 13-18.

CHEN, F.F., *Electric Probes in Plasma diagnostic techniques*, edited by R.H. Huddlestone and S.L. Leonard (Academic, New York), 1965.

KELLEY, M.C., HAERENDEL, G., KAPPLER, H.; VALENZUELA, A; BALSLEY, B.B.; CARTER, D.A.; ECKLUND, W.L.; CARLSON, C.W.; HAUSLER, B.; and TORBERT, R., Evidence for a Raleigh-Taylor instability and upwelling of depleted density regions during equatorial spread-F, *Geophys. Res. Lett.*, 3, 448-450, 1976.

KLOBUCHAR, J.A.; M.A. ABDU, Equatorial ionospheric irregularities produced by the Brazilian Ionospheric Modification Experiment (BIME), *J. Geophys. Res.*, 94, 2721-2726, 1989.

MURALIKRISHNA, P.; ABDU, M.A., In-Situ Measurement of Ionospheric Electron Density by Two Techniques: A Comparison, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 53(8), 787-793, 1991.

MURALIKRISHNA, P and M.A. ABDU, Nighttime F-Region Plasma Structures Observed by Rocket-Borne Langmuir and High Frequency Capacitance Probe from Natal, Brazil, *Geofisica International*, 31(1), 59- 63, 1992. OYAMA, K.I., Electron temperature measurements carried out by the Japanese Scientific Satellites, *Adv. Space Res.*, 11(10), 147-148, 1991.

SOBRAL, J.H.A.; ABDU, M.A.; ZAMLUTTI, C.J.; BATISTA, I.S., Association Between Plasma-Bubble Irregularities and Airglow Disturbances Over Brazilian Low Latitude, *Geophys. Res. Letters*, 7, 980-982, 1980.

SOBRAL, J.H.A.; M.A. ABDU, Latitudinal gradient in the plasma bubble zonal velocities as observed by scanning 630nm airglow measurements, *J. Geophys. Res.*, 95, 8253-8257, 1990.

SOBRAL, J.H.A.; ABDU, M.A., Solar Activity Effects on Equatorial Plasma Bubble Zonal Velocity Gradient as Measured by Airglow Scanning Photometers, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 53(8), 729-742, 1991.

SZUSZCZEWICZ, E.P.; and HOLMES, J.C., A pulsed probe technique for simultaneous in-situ measurements of density, temperature, density fluctuation power spectra and ambient electric fields, in *Effect of the Iono. on Space Systems and Comms.*, ed. J. Goodman, U.S. Goot, Printing office, p. 446, 1976.

SZUSZCZEWICZ, E.P.; ROELOF, R.; SCHUNK, R.; FEJER, B.G.; WOLF, R.; LEITINGER, R.; ABDU, M.A.; REDDY, B.M. JOSELYN, J.; WILKINSON, R.; WOODMAN, R., SUNDIAL: A world-wide study of interactive ionospheric processes and their role in the transfer of energy and mass in the sun-earth system, *Annales Geophysicae*, 6, 3-18, 1988.