

RADAR DIFUSÔMETRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (RADSER) - PROJETO SCATTER
ESTADO DA ARTE E APLICAÇÕES FUTURAS

João Vianeí Soares
Hermann Johann H.Kux
Instituto de Pesquisas Espaciais
Ministério da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

L.F. Rodrigues
F. Magina
J.L. Sarmento
L.M. Parada
L. Sacilotti
J.B.P. dos Reis
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Rodovia Presidente Dutra, km 40 - Caixa Postal 01
12630 - Cachoeira Paulista -SP, Brasil

RESUMO

O Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE optou pela realização de um Radar Difusômetro (RADSER) para apoiar seu programa de capacitação e pesquisa fundamental em Sensoriamento Remoto por Microondas, haja vista a grande tendência de utilização deste tipo de dados a partir da operacionalização dos radares à síntese de abertura, SAR (ERS-1, RADARSAT, JERS-1, além dos SARs do programa EOS), na próxima década. O RADSER é um radar de frequência modulada e onda contínua (FM-CW) que operará em bandas C (5.35 GHz) e X (9.65 GHz); em duas configurações de polarização (Horizontal e Vertical), podendo ainda obter o coeficiente de retro-difusão de alvos (função para a qual é originalmente designado, embora possa operar como imageador) entre 5° e 30° (visada lateral). O elenco de aplicações que se vislumbra para o sistema em questão é bastante amplo, podendo-se destacar as mais significativas: 1) estimativa de umidade à superfície de solos; 2) classificação e identificação de estado fenológico de culturas agrícolas; 3) estimativa da velocidade do vento na superfície do mar e 4) obtenção do espectro de vagas. As duas primeiras referem-se às "aplicações solo" e as duas últimas às "aplicações oceano". Descrevem-se aqui as características gerais do instrumento, a forma de apresentação dos dados, bem como algumas de suas aplicações em detalhe.

ABSTRACT

The Brazilian Space Research INPE, have decided to build an multiparameter Scatterometer (C and X bands, H and V polarization) in order to acquire technology in the field of Microwave Remote Sensing, since there is a great tendency of utilizing microwave data in the next decade (see for exemple, ERS-1, JERS-1, RADARSAT and the SAR's of the Eos program). The mainly application envisaged of such instrument are: 1) estimation of soil moisture; 2) crop classification and identification of phenological status; 3) sea surface wind speed and 4) wave pattern of the sea. The general characteristics are described here and the applications envisaged are pointed out in a more detailed manner.

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto ativo por microondas da superfície terrestre, entrou numa fase pré-operacional com o satélite oceanográfico americano SEASAT. Na próxima década vários radares serão embarcados a bordo de plataformas orbitais: experiência SIR-C/X-SAR a bordo do "Shuttle", o programa ERS-1 da agência espacial européia, o satélite JERS-1 do programa espacial japonês e os sistemas do programa Earth Observing System (EOS). Estes sistemas serão dotados de Radares à Síntese de Abertura, SAR (Synthetic Aperture Radar).

O Brasil necessita preparar-se para ser parceiro privilegiado das agências espaciais responsáveis por aqueles sistemas, em função de suas condições de cobertura de nuvens que dificultam sobremaneira, quando não impedem, a obtenção de imagens óticas e no infravermelho. Para se obter a melhor relação possível custo/benefício dos produtos gerados pelo SAR mencionados acima, o INPE necessita dotar-se de instrumentos que permitam estabelecer uma base de dados sobre a interação matéria-energia para os diversos alvos de interesse e que propiciem também o desenvolvimento de algoritmos temáticos para a utilização dos futuros dados SAR.

O radar difusômetro que é objeto deste artigo, e que será doravante referenciado como RADSER (Radar Difusômetro de Sensoriamento Remoto) tem dupla finalidade: preencher uma "lacuna" de pelo menos uma década, no que se refere à aplicação de tecnologia de microondas em sensoriamento remoto e atuar como ferramenta de pesquisa fundamental sobre retrodifusão de alvos, inclusive para fins de calibração de sensores orbitais. O RADSER deverá operar a bordo do avião de sensoriamento remoto do INPE, Bandeirante EMB 110.

A primeira aplicação de interesse refere-se ao monitoramento ativo, a partir do espaço, do teor de umidade das camadas superficiais dos solos e da evaporação, mediante modelização das trocas de energia na interface solo/atmosfera. Este objetivo leva a definição de certas características do radar: Banda C, polarizações de emissão e de recepção horizontais. Outra aplicação de grande importância é a obtenção do coeficiente de retrodifusão para várias culturas anuais e perenes. Isto justifica a definição de um radar multiparamétrico, visto que em função das diferentes estruturas geométricas dos diversos alvos, tem-se respostas diferentes para diferentes combinações de frequência e de polarização. Projeta-se em função do exposto: bandas C e X, polarizações HH e VV e múltiplos ângulos de incidência. Além das aplicações sobre solo, o RADSER visa também aplicações oceanográficas, quais sejam estimativa de velocidade e direção do vento e espectro de vagas de determinada área de interesse. Estes aspectos são de suma importância para projetos e operação de plataformas marítimas.

Descrever-se-á aqui, de forma resumida, as características gerais do instrumento, enfocando o princípio de funcionamento e os aspectos funcionais dos diferentes subsistemas, bem como tratamento dos dados e possíveis aplicações.

2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A figura 2.1 mostra o princípio de funcionamento de um radar FM-CW para um alvo puntual.

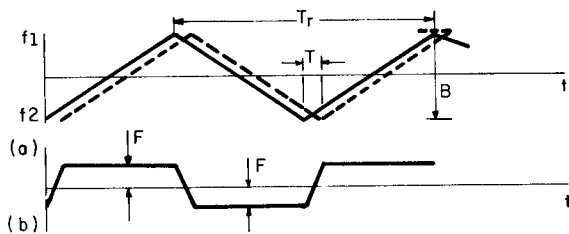


Fig. 2.1 - Princípio do radar FM

- Frequências emitidas e recebidas para um alvo puntiforme com um retardo T . (T_r é o período de repetição e B é a largura de banda).
- Frequência relativa na saída.

Supondo um alvo puntual a uma distância r , demonstra-se facilmente que a frequência relativa associa-se a esta distância pela relação:

$$F = \frac{4B}{C Tr} r \quad (1)$$

em que C é velocidade da onda eletromagnética (3×10^8 m/s).

A resolução radial dr , pode ser calculada por:

$$dr = \frac{C Tr}{4 B} df \quad (2)$$

onde df não pode ser determinada com uma precisão melhor que $1/T_i$ para um tempo de análise $T_i < T_r/2$. Então:

$$df_{min} = 2/T_r \quad (3)$$

e

$$dr_{min} = C/2B \quad (4)$$

Assim a resolução radial conhecida como "PORTA RADAR" é definida pela largura de banda B , que por sua vez é definida pela taxa do sinal modulante e pelo período de repetição deste mesmo sinal (fig. 2.1).

Tomando-se um período de repetição de 6ms, um tempo de análise de 4ms (2 vezes no ciclo) e uma banda de modulação de 240 MHz (160MHz úteis correspondendo a um t_i de 2ms em cada 1/2 período), tem-se uma resolução radial 0,94m para uma resolução em frequência de 500 Hz.

A geometria da medida no plano perpendicular à velocidade da aeronave acha-se na figura 2.2. A relação entre o ângulo de incidência I e a resolução no solo l correspondente à uma abertura δI e a uma altura de vôo H é:

$$l = \frac{2 H \delta I}{\cos^2 I} \quad (5)$$

Demonstra-se também que:

$$\delta I = \frac{\delta r}{2 \tan I (r - \delta r/2)} \quad (6)$$

Verifica-se que a resolução ao solo corresponde à resolução radial de 0,94m para $H=360m$ e $I=12^\circ$, seria de 4,3m. A resolução longitudinal S é definida pela abertura da antena de recepção a 3db no plano paralelo ao vetor velocidade, sendo a abertura de 3° teríamos $S = 19m$ para $H = 360m$.

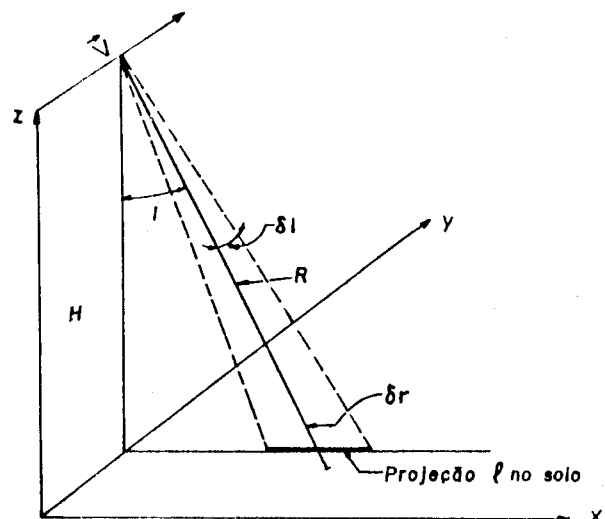


Fig. 2.2 - Geometria da medida

A figura 2.3 apresenta em um diagrama de blocos bastante simplificado, o princípio de funcionamento do radar FM, que acha-se descrito na sequência.

O modulador promove uma modulação triangular (figura 2.1) de largura de faixa B para a frequência central da onda transmitida. O sinal passa por um transmissor FM acoplado à antena de emissão. O sinal de retorno, após passar por um amplificador, é conduzido a um misturador onde encontrará uma amostra do sinal transmitido. A saída do misturador consiste da soma e da diferença entre os sinais; a soma é descartada e a diferença usada na discriminação dos alvos (ver figura 1 e equação 1). Esta diferença (frequência de vídeo) será amostrada num analisador de espectro, cujo visor ilustra os retornos para várias distâncias relacionadas às diversas frequências. Utiliza-se de um dispositivo chamado linha de retarde para simular um alvo a uma determinada distância e promover uma calibração interna do sistema.

O RADSER se divide basicamente em dois sistemas distintos, conforme a figura 2.4, o sistema em vôo (SV) é um sistema aerotransportado e tem por finalidade realizar a aquisição e pré-tratamento dos dados ainda em vôo, facilitando assim a operação de tratamento completo em solo. Os dados resultantes da operação citada são gravados em uma fita cartucho conforme veremos adiante. Ainda no sistema em vôo é gravada uma fita de vídeo tipo VHS com a imagem da área em estudo.

O sistema em solo (SS) consiste de um sistema à base de um microcomputador e a partir da fita cartucho recebida do sistema em vôo gera os diversos produtos usados na análise dos dados.

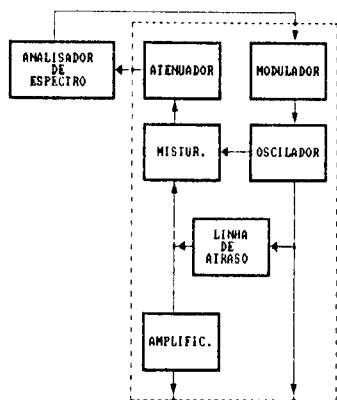


Fig. 2.3 - Diagrama em blocos simplificado do radar FM-CW

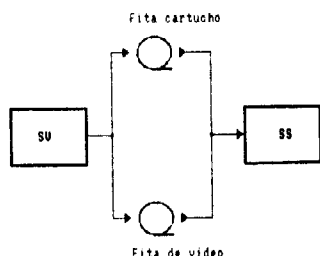


Fig. 2.4 - Sistemas inerentes ao RADSER

Na figura 2.5 apresenta-se um diagrama de blocos de todos os subsistemas que constam do sistema aerotransportado em questão, a ser implementado pela área de sensoriamento remoto do INPE.

Os subsistemas são 4:

- a) Subsistema Sensor de Microondas (SSM)
- b) Subsistema de Processamento de Sinal (SPS)
- c) Subsistema de Visualização, Gravação e Controle (SVC)
- d) Subsistema Central de Tempo (SCT)

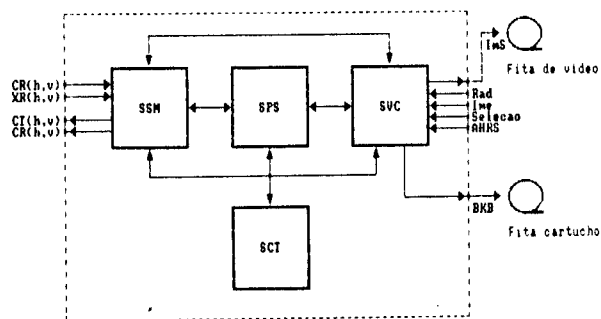


Fig. 2.5 - Diagrama de blocos com os subsistemas do sistema em vôo

Estes Subsistemas serão detalhados nas próximas seções.

3. SUBSISTEMAS DO RADSER

3.1 SUBSISTEMA SENSOR DE MICROONDAS-SSM

O Subsistema Sensor de Microondas tem por finalidade a transmissão de um sinal modulado linearmente em frequência (FM-CW), e a recepção deste mesmo sinal, após sua reflexão no alvo. O sensor opera em banda X e banda C, polarizações H e V, alternativamente, sendo o sinal de dados de saída analógico e de baixa frequência. A informação desejada é extraída da variação de potência ao longo do espectro, devido aos diferentes coeficientes de retroespalhamento, distâncias e ângulo de incidência de cada alvo.

3.2 SUBSISTEMA DE PROCESSAMENTO DE SINAL-SPS

O subsistema funciona recebendo os dados do Subsistema Sensor de Microondas, paralelizando-os e realizando a Transformada Rápida de Fourier (FFT). Os dados aí gerados são entregues ao Subsistema de Visualização, Gravação e Controle.

3.3 SUBSISTEMA DE VISUALIZAÇÃO, GRAVAÇÃO E CONTROLE (SVC)

O Subsistema tem a função de controlar todos os processos do sistema, realizar a gravação de todos os dados necessários no processamento em solo e amostrar em vídeo os sinais de imagem e controle.

3.4 SUBSISTEMA CENTRAL DE TEMPO (SCT)

O subsistema tem a função de gerar clocks e sinais, que sincronizam os eventos do sistema.

4. RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DO RADSER

A tabela 4.1 resume as principais características do sistema proposto.

5. INSTALAÇÃO DO SISTEMA NO AVIÃO EMB110

5.1 INFORMAÇÕES GERAIS

O objetivo desta interface é coordenar a instalação do RADSER na aeronave do INPE. A seguir temos uma relação das antenas e demais equipamentos a serem instalados:

- 2 antenas de emissão banda X,
- 2 antenas de emissão banda C,
- 1 antena de recepção banda X,
- 1 antena de recepção banda C,
- 1 antena Altímetro (Recepção),
- 1 câmera de vídeo,
- 1 radiômetro PRT 5 (8 - 12 μm), deverão ser instalados próximo à porta ventral do avião.

No rack existente dentro da aeronave serão instalados equipamentos, tipo:

- transmissores/receptores de microondas
- gravador de fita cartucho
- micro dedicado e analisador de espectro
- fonte de alimentação

No compartimento eletrônico deverá ser instalado o AHRs (Altitude Heading Reference System).

5.2 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

A aeronave possui uma fonte de 28VDC/200A e um inversor para 110V e 26V / 400Hz. Para atender o sistema a ser instalado será necessário um inversor para 110V / 60Hz - 500W, a partir do 28VDC.

6. SISTEMAS EM SOLO (SS)

O sistema em solo (SS) é baseado em um microcomputador PC-AT com diversos periféricos e tem a finalidade de receber os dados do sistema em vôo (SV), na fita cartucho, tratá-los e apresentá-los de uma forma interpretável ao usuário do sistema. Há também um vídeo cassete player e uma TV, com a finalidade de se verificar a fita de vídeo que foi gravada durante o vôo.

O microcomputador aqui usado poderá ser usado no sistema em vôo desde que seja adequado para suportar as vibrações da aeronave.

A figura 6.1 ilustra o diagrama de blocos do sistema em solo.

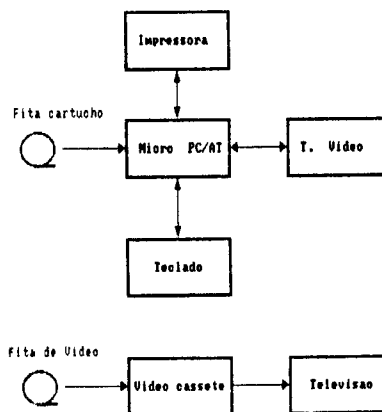


Fig. 6.1 - Diagrama em blocos do Sistema em Solo (SS)

7. TRATAMENTO DO SINAL

7.1 A EQUAÇÃO RADAR

A equação radar aplicada ao radar de retro espalhamento RADSER para um elemento superfície S_i apresenta a seguinte formulação:

$$Pr_i = A Pt \frac{\lambda^2}{(4\pi)^3} Goe Gor$$

$$S_i \iint \frac{Ger(l,m) \sigma^0(x,y) ds}{r^4} \quad (7)$$

- em que Pr_i = potência recebida
- Pt = potência transmitida
- A = ganho do receptor
- λ = comprimento de onda
- Goe e Gor = ganhos máximos das antenas de emissão e de recepção
- $Ger(l,m)$ = ganho relativo em função da posição do alvo (l,m) no referencial cuja origem é a antena de recepção
- r = distância radar-alvo
- $\sigma^0(x,y)$ = coeficiente de retro-espalhamento no ponto (x,y)
- S_i = elemento de resolução

l e m são os dois ângulos em relação ao eixo da antena de recepção que permitem definir a direção do alvo; m (resp. l) é o ângulo que faz o raio vetor alvo-antena com a projeção do eixo do lóbulo principal no plano vertical perpendicular ao vetor velocidade da aeronave (resp. no plano vertical paralelo ao vetor velocidade da aeronave).

Considera-se $\sigma^0(x,y)$ constante sobre o elemento de superfície S_i para extraí-lo da integral. Isto implica que o cálculo da integral (eq. 7) se faz utilizando os parâmetros do radar pré-estabelecidos e as variáveis de serviço relativas aos movimentos da aeronave que são gravadas em conjunto com o espectro de frequência obtido na saída do transformador de Fourier.

Apresenta-se na figura 7.1 um diagrama de blocos simplificado relativo ao tratamento do sinal, para obtenção do coeficiente de retro-espalhamento ($\text{dB m}^2/\text{m}^2$).

8. APLICAÇÕES

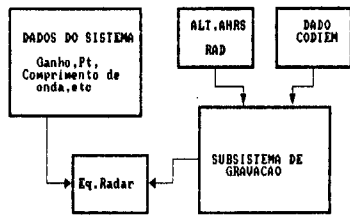


Fig. 7.1 - Diagrama de blocos para obtenção do coeficiente de retrodifusão

Os dados oriundos do subsistema de gravação foram definidos no parágrafo 5.5.

Nota - Os dados RAD não são utilizados no cálculo de σ^0 , mas serão formatados e gravados simultaneamente no arquivo de dados já tratados.

7.2 EFEITO DO ROLAMENTO E DA CABRAGEM DA AERONAVE

Como as antenas são presas de forma rígida em relação a aeronave, os movimentos de rolamento (movimento em relação ao eixo longitudinal) e de cabragem (movimento em relação ao eixo transversal) modificam o ângulo que o eixo das antenas faz com um alvo no solo. O rolamento modifica o apontamento do alvo no interior do lóbulo principal, como mostra a figura 7.2. Isto implica numa mudança no ângulo m e consequentemente no ganho G (1,m).

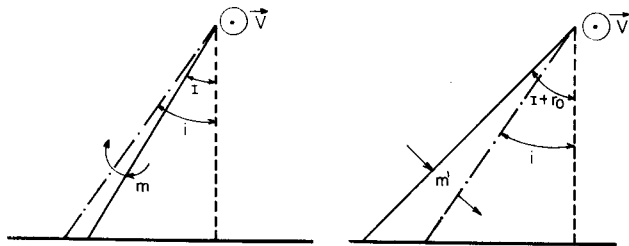


Fig. 7.2 - Efeito do rolamento sobre o ângulo de apontamento no interior do lóbulo de um alvo a uma incidência i , sendo o ângulo de apontamento da antena.

A cabragem implica em primeira ordem apenas numa variação da posição da área iluminada, visto que a resolução longitudinal acha-se definida pelo lóbulo nesta direção. Não há portanto apontamento longitudinal, mas uma integração sobre o lóbulo. A cabragem modifica pois a posição do lóbulo e uma modificação na superfície e equivalente no solo.

Demonstra-se facilmente que para ângulos de incidência superiores a 10 graus e um ângulo de cabragem entre -5 e 5 graus o efeito da cabragem é desprezível.

Uma das aplicações bem estabelecidas para o uso de radares é a estimativa da umidade volumétrica (cm^3/cm^3) da camada superficial de solos (0-10cm). Vários experimentos demonstram a aptidão de sistemas microondas para tal tarefa (Soares et al., 1987; Soares et al., 1988; Bernard et al., 1986; Ulaby et al., 1976a, 1976b, 1979). Verifica-se que existe uma relação bem definida e frequentemente linear (para umidade entre 10 e 35 cm^3/cm^3) entre o coeficiente de retrodifusão radar, σ^0 e a umidade à superfície do solo. Tal comportamento decorre do fato de que a constante dielétrica da água é em torno de 80 enquanto que para solos secos este valor é da ordem de 3.

Muitas são as aplicações da estimativa de umidade de solos, como por exemplo nos balanços de água e energia no solo, na definição de época de plantio (em função da necessidade de água para a germinação de sementes), na previsão de tratos culturais e na estimativa de produtividade das culturas agrícolas.

Prevê-se, neste contexto, uma série de campanhas que permitam a calibração do RADSER em termos de umidade de superfície (0-10cm). Estas campanhas visam também à inversão de algoritmos fisicamente fundamentados nos balanços de água e energia na interface solo/atmosfera, incluindo dados meteorológicos que conduzam à estimativa de evapotranspiração na escala espacial de interesse (Soares et al., 1988).

O INPE acha-se engajado na avaliação de dados do satélite europeu ERS-1 a ser lançado em 1990. Para tanto submeteu-se a proposta "A study on the interaction mechanisms between microwave radiation, bare soils and crops, at two distinct floodplain areas, respectively in NE and SE Brazil" em resposta ao "Announcement of Opportunity", A0, da ESA/ERS-1. Tal proposta, já aceita, inclui a utilização do RADSER na aquisição de dados como input na conversão dos níveis de cinza da imagem em σ^0 para uma calibração relativa do ERS-1. Submeteu-se (também aceita) ainda a proposta "Microwave remote sensing data as a tool to monitor the hydrologic cycle of floodplain area in NE Brasil", em resposta ao SIR-C/X-SAR A0. Este projeto de pesquisa enfatiza a necessidade de vôos simultâneos do sistema RADSER quando das passagens do Shuttle (ônibus espacial americano) a bordo do qual voarão os SAR's (Bandas L, C e X, polarizações H, V e cruzadas, múltiplos ângulos de incidência).

Em se tratando de classificação de culturas e identificação do estado fenológico de plantas, abre-se um grande espectro de aplicações, entre as quais se encontram o estabelecimento de um banco de dados relativo ao estudo e modelagem das propriedades de retrodifusão para diferentes culturas tropicais, e a relação temporal entre coeficiente de retrodifusão e índice de área foliar (LAI), para as mais variadas combinações de frequência, ângulo de incidência e polarização, passíveis de serem obtidas pelo RADSER. Na proposta SIR-C/X-SAR, propõe-se uma primeira avaliação destas potencialidades para culturas irrigadas do nordeste brasileiro (Pe-

trolina, perimetro irrigado de Bebedouro) como um dos objetivos específicos.

No que se refere a aplicações em zonas de densa cobertura vegetal (Florestas) a pesquisa mostra resultados ainda incipientes. Não obstante, numa campanha chamada "Radar Observation of the Guiana Rain Forest" demonstrou-se que o sinal radar é capaz de penetrar a floresta e "trazer de volta" informações sobre o solo sob a biomassa e os autores propuseram um modelo simples para caracterizar as propriedades de retro-espalhamento e absorção da floresta (Bernard et al., 1987). O RADSER, de características similares ao radar utilizado na campanha da Guiana, pode e deve ser usado em experimentos que conduzam à compreensão dos mecanismos que modulam o coeficiente de retrodifusão, o que seria da maior importância na extração de informações de imagens SAR tomadas sobre a Amazônia. Nesta filosofia propõe-se também uma campanha anual para o RADSER no contexto da proposta "Long-term monitoring of the Amazon ecosystems through the Eos: From patterns to processes" submetida pelo INPE em resposta ao Eos AO.

Outras aplicações de grande interesse de um sistema como o RADSER são seguramente as aplicações oceanográficas, quais sejam estimativa de velocidade e direção do vento e espectro de ondas de determinada região de interesse, parâmetros importantes para projetos e operação de plataformas marítimas.

9. CONCLUSÕES

Em função do amplo espectro de aplicações para o RADSER e da capacitação tecnológica que a realização de tal instrumento proporcionará, o INPE estará dando um passo muito importante para entrar definitivamente em Sensoriamento Remoto por Microondas, integrando-se, desta forma, às agências internacionais que se preparam para atuar massivamente nesta área a partir do início da próxima década.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARD, R.; SOARES, J.V. & VIDAL-MADJAR, D. Differential Bare Field Drainage Properties From Airborne Microwave Observations. Water Resources Research, 22(6): 869-875, 1986.
- BERNARD, R.; LANCELIN, P. & LAURENT, G. Radar Observation of the Guyana Rain Forest. Centre de Recherches en Physique de L'Environnement. CRPE/CNET/CNRS. Note Technique CRPE/156.
- SOARES, J.V.; BERNARD, R. & VIDAL-MADJAR, D. Spatial and Temporal Behavior of a Large Agricultural Area as Observed From Airborne C-band Scatterometer and Thermal Infrared Radiometer. International Journal of Remote Sensing, 8(7): 981-996, 1987.
- SOARES, J.V.; BERNARD, R.; TACONET, O.; VIDAL-MADJAR, D. & WEILL, A. Estimation of Bare Soil Evaporation From Airborne Measurements. Journal of Hydrology, 99, 281-296, 1988.

ULABY, F.T.; BATLIVALA, P.P.; Optimum radar parameters for mapping soil moisture. IEEE Trans. GE-14 (2), 81-93, 1976.

ULABY, F.T.; BATLIVALA, P.P. Optimum radar parameters for mapping soil moisture and soil texture. Part I. Bare soil. IEEE Trans. GE-16 (4) 286-295, 1976.

ULABY, F.T.; BRADLEY, G.A.; DOBSON, M.C. Micro wave backscatter dependence on surface roughness, soil moisture, and soil texture. Part II. Vegetation covered soil. IEEE Trans. GE-17 (2), 33-40, 1979.

<u>TIPO</u>	<u>FM-CW</u>
Frequência	: 5.35 GHz - Banda C 9.65 GHz - Banda X
Faixa de Modulação	: 240MHz (ajustável)
Modulação	: Triangular - período de 6ms
Potência	: 15 mW (11.6 dBm) - em baixa potência 2 W (22 dBm) - em alta potência
<u>Antenas de Emissão:</u>	
Banda C	: 2, sendo uma para polarização H e outra para polarização V Gama de frequências: 5,25 a 5,45 GHz Abertura a meia-potência (3 dB): Plano paralelo ao vetor velocidade do portador (Plano E) : $40^{\circ} \pm 1^{\circ}$ Plano perpendicular ao vetor velocidade do portador (Plano H): $35^{\circ} \pm 1^{\circ}$ Nível relativo dos lóbulos secundários: Plano E: < - 14 dB Plano H: < - 14 dB
Banda X	: 2, sendo uma para H e outra para V Gama de frequências: 9,5 a 9,8 GHz Abertura a 3 dB - Plano E: $36^{\circ} \pm 1^{\circ}$ Plano H: $32^{\circ} \pm 1^{\circ}$ Nível relativo dos lóbulos secundários Plano E: < - 14 dB Plano H: < - 13 dB
<u>Antenas de Recepção:</u>	
Banda C	: 01 antena com radome para ambas as polarizações H e V gama de frequências: 5.25 a 5.45 GHz Abertura a meia-potência: Plano E: $3,5^{\circ} \pm 0,35^{\circ}$ Plano H: $25^{\circ} \pm 2,5^{\circ}$ Nível relativo dos lóbulos secundários Plano E : < - 20 dB Plano H : < - 20 dB
Banda X	: 01 antena com radome para ambas as polarizações H e V gama de frequências: 9,5 a 9,8 GHz Abertura a meia-potência: Plano E: $3,5 \pm 0,35$ Plano H: $25 \pm 2,5$ Nível relativo dos lóbulos secundários Plano E: < - 20 dB Plano H: < - 20 dB
Ganho do receptor	: 105 dB
Ganho do amplificador de vídeo e B.F.	: 70 dB
Processamento do Sinal	Transformada de Fourier, 1024 pontos Resolução 500 Hz Sincronismo com a modulação do sinal Banda de análise - 0 - 500 KHz
Gravação dos dados	: Fita streammer (BKP)
Visualização a bordo	: Analisador de espectro e monitor de TV. Superposição gráfica de espectros com sinal de vídeo.
Calibração interna	: Dispositivo de onda acústica do tipo linha de atraso. Retarde: $2\mu s$ Atenuação 61.5 dB. Atenuação do acoplador 30 dB.
Dados auxiliares	: Clock parâmetros de vôo: rolamento, cabragem, azimute, altitude barométrica

TABELA 4.1 - Resumo das Características do RADSER