

RENÉ ANTONIO NOVAES
PAULO ROBERTO MARTINI
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

RESUMO

Este trabalho apresenta, de forma sintética, os aspectos técnicos dos principais eventos dentro da tecnologia de Sensoriamento Remoto Orbital, bem como as perspectivas, em termos de aplicações, para o quadriênio 1982-1986, especialmente no Brasil.

ABSTRACT

This paper reports briefly on the technical aspects of the main events related with orbital Remote Sensing technology in the near future. Perspectives in terms of applications, for the coming years (1982-1986) specially in Brasil, are also discussed.

1. INTRODUÇÃO

Em julho de 1982, o lançamento do LANDSAT-1 estará completando a primeira década. Coincidentemente ou não, nesta data entrará em órbita o LANDSAT-D, o primeiro de uma segunda geração de satélites de sensoriamento remoto.

Como as primeiras atividades em sensoriamento remoto no País datam de 1968, o Brasil vem acompanhando o seu desenvolvimento tecnológico e científico. Em 1973, um ano, portanto, depois do lançamento do LANDSAT-1, entrou em operação a Estação Receptora de Cuiabá. Em outubro de 1982, dois meses depois do lançamento do LANDSAT-D, a Estação de Cuiabá estará apta a receber os dados multiespectrais do novo satélite.

A segunda geração de satélites de sensoriamento remoto pode ser definida como a geração dos satélites mapeadores, dadas suas características superiores no que concerne às resoluções espaciais, espectrais, temporais e radiométricas. Este avanço significativo em termos tecnológicos irá refletir certamente no campo científico e no das aplicações espaciais em recursos naturais e meio ambiente.

Neste contexto o objetivo deste trabalho é apresentar, ainda que de forma sintética, os aspectos técnicos dos principais eventos dentro da tecnologia do sensoriamento remoto orbital, bem como tratar das perspectivas em termos de aplicações dentro dos próximos 4 anos, especialmente no nosso País.

2. MAPEADOR TEMÁTICO

2.1 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

O principal equipamento a bordo do LANDSAT-D será o Mapeador Temático (Thematic Mapper), o primeiro de uma segunda geração de sistemas sensores desenvolvidos para a observação da terra. O Mapeador Temático está apoiado na tecnologia do Varredor Multiespectral (MSS), embora tenha sido aperfeiçoado para garantir um desempenho técnico superior. As bandas espectrais do TM (Thematic Mapper) são mais estreitas e permitirão a coleta de dados em 7 diferentes regiões do espectro eletromagnético: 3 no visível, 2 no infravermelho próximo, 1 no infravermelho médio e 1 no infravermelho termal (Tabela 1); além disso possuem uma resolução espacial de 30 m nas bandas do visível e do IR refletido e de 120 m na do IR termal.

O Mapeador Temático irá operar a 705 km de altitude, com uma largura de faixa no terreno de 185 km e uma repetitividade de 16 dias.

A resolução radiométrica do Mapeador Temático será de 256 níveis de quantização, bastante superior portanto aos 64 e 128 do MSS.

TABELA 1

BANDAS DO "THEMATIC MAPPER"

BANDAS	INTERVALO ESPECTRAL				
1	0,45	a	0,52	μ m	
2	0,52	a	0,60	μ m	
3	0,61	a	0,69	μ m	
4	0,76	a	0,90	μ m	
5	1,55	a	1,75	μ m	
6	10,4	a	12,5	μ m (termal)	
7	2,08	a	2,35	μ m	

2.2 - SIMULAÇÕES

As simulações do Mapeador Temático foram realizadas pela NASA em sítios selecionados, para avaliar o desempenho do sensor bem como para desenvolver os sistemas de processamento de dados. Para efeito de comparação a taxa de transmissão de dados do TM será de 65 megabytes/seg, em contraponto aos 15 megabytes/seg do MSS dos 3 primeiros LANDSAT.

A Tabela 2 mostra algumas aplicações bem como os respectivos canais mais apropriados para desenvolvê-las. Os experimentos de simulação desenvolvidas comprovam significativamente as expectativas (Tucker and Justice, 1981; Daedalus Interprises Applications; 1981).

Uma das simulações mais interessantes é a que compara a resolução espacial do MSS com a do TM utilizando um "scanner" multiespectral da Daedalus, aerotransportado. Estas imagens foram obtidas a 70.000 pés com I FOV de 1,3 miliradianos, o que resulta numa resolução espacial nominal de 30 metros. A área teste foi a costa da Califórnia. Os resultados mostram um realçamento notável dos atributos espaciais representados por: leitos dos rios, canais fluviais, estradas, contorno de campos de cultivo, quadras urbanas, cais, embarcações, pontes, contornos de plumas com diferentes concentrações de sedimentos em suspensão (Figuras 1 e 2).

TABELA 2
 APLICAÇÕES PRINCIPAIS DO TM

BANDA	APLICAÇÕES PRINCIPAIS
1	MAPEAMENTO DE ÁGUAS COSTEIRAS DIFERENCIAÇÃO SOLO/VEGETAÇÃO
2	DETECÇÃO DE RADIAÇÃO VERDE REFLETIDA PELA VEGETAÇÃO SAUDÁVEL
3	DIFERENCIAÇÃO ENTRE ESPÉCIES DE PLANTAS
4	PESQUISAS EM BIOMASSAS. DELINEAÇÃO DE CORPOS SUSPENSOS EM ÁGUA
5	MEDIÇÃO DO CONTEÚDO DE UMIDADE DA VEGETAÇÃO
6	MEDIÇÃO DO GRAU DE "STRESS" DAS PLANTAS PELO CALOR
7	MAPEAMENTO HIDROTÉRMAL E GEOLÓGICO EM GERAL

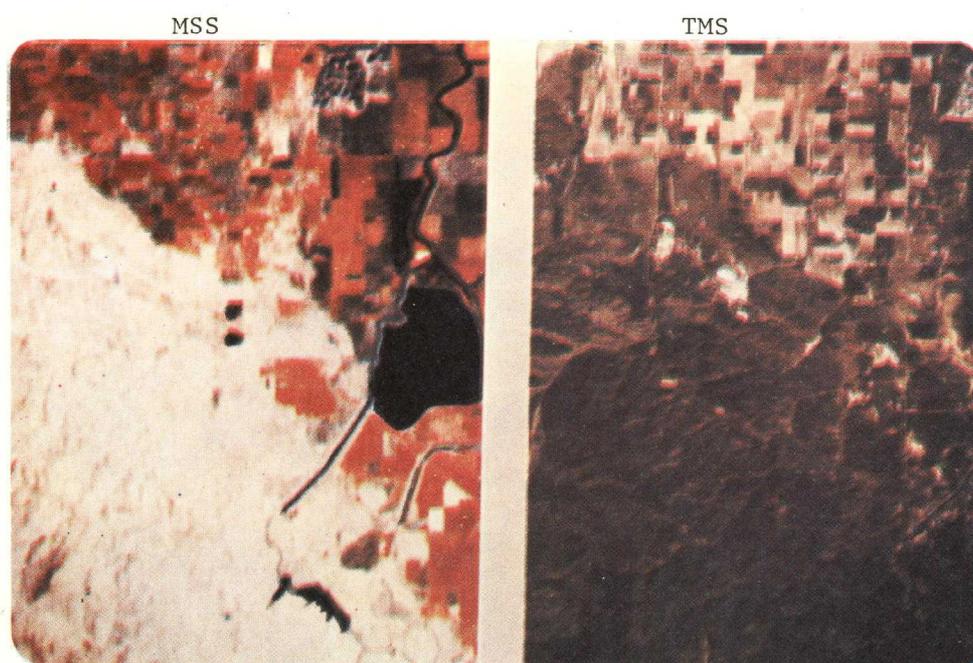


Fig. 1 - Comparação entre a resolução espacial do MSS (80 m) e do TM (30 m).
 FONTE: Daedalus Enterprises, INC. (1981)

	SIR-A 1 e 2	SIR-A 3	SIR-A 4	SIR-A 5
Frequência	Banda L	Banda L	Banda L e Banda X ou Banda C	
Ângulo de Visada	Fixo: 47°	Variável e opcional (20°-70°)	Variável e opcional (20°-70°)	Características identicas ao SIR-A 4 exceto que o recobri- mento será sa- zonal.
Estereoscopia	Não	Sim	Sim	
Calibração	Não	Sim	Sim	
Resolução	40 m	10-30 m	10-30 m	
Faixa do Terreno	50 km	35-125 km	35-125 km	
Gravação	Ótica	Digital e Ótica		
Processamento	Ótico	Digital e Ótico		

Tab. 3: Características dos diversos experimentos relativos ao SIR-A programados para o Space Shuttle

FONTE. Dellwig e Bare, 1981

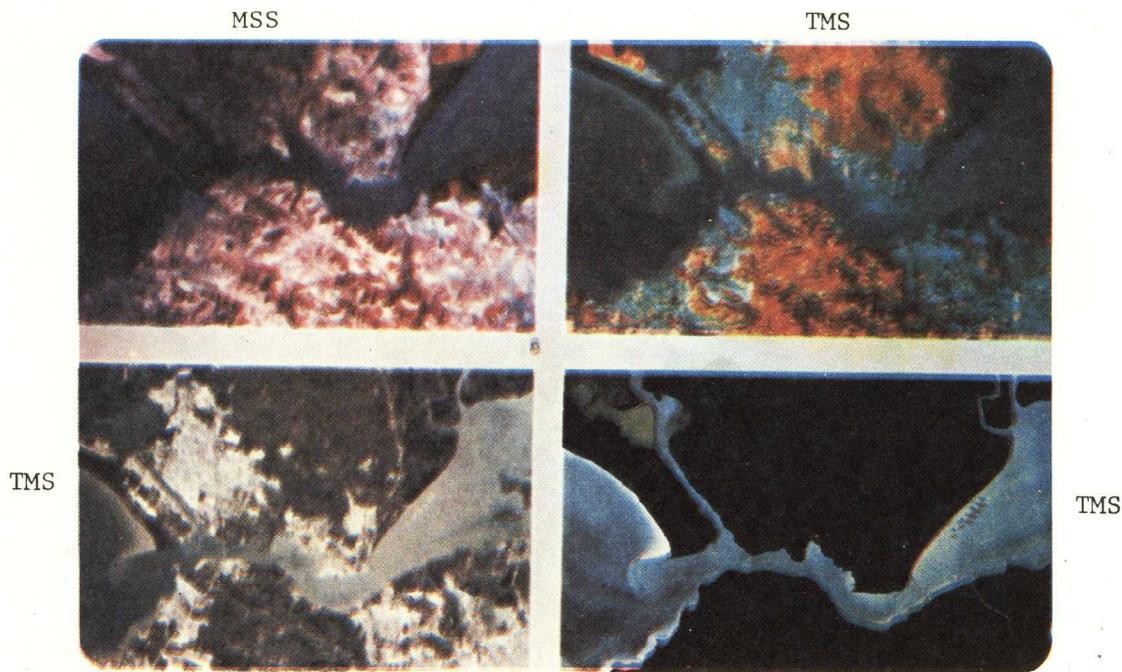


Fig. 2 - Comparação entre a resolução espacial do MSS (80 m) e do TM (30 m).

FONTE: Daedalus Enterprises, INC. (1981).

3. SPOT (HIGH RESOLUTION VISIBLE - HRV)

3.1. ESPECIFICAÇÕES

O primeiro satélite SPOT (Système Probaire d'Observation de la Terre), com lançamento previsto para 1984, levará a bordo dois dispositivos sensores idênticos e de alta resolução, que operam nas faixas do visível e do infravermelho próximo. Cada HRV conterá um módulo multiespectral (2 bandas no visível, uma no infravermelho) e um módulo pancromático de banda larga.

Estes sistemas sensores possuem duas importantes características que mostram um expressivo avanço na tecnologia do Sensoriamento Remoto orbital. A primeira é o uso de detetores do tipo CCD (charge coupled device) que utilizam varredura eletrônica. Estes detetores são distribuídos linearmente de tal modo que cada um deles faz o imageamento de uma linha contínua do terreno na mesma direção de deslocamento do satélite. Com estes dispositivos poder-se-ão garantir resoluções espaciais de 20 m com o módulo multiespectral (3000 elementos CCD) e de 10 m com o módulo pancromático (6000 elementos CCD). A segunda característica é a capacidade dos HRV de imagear fora do nadir num ângulo de 27° com relação à vertical. Esta característica permitirá uma resolução temporal superior, ou seja, 7 observações diferentes em cada período (26 dias) no equador e 11 observações numa latitude de 45° . Isto possibilitará também a visão estereoscópica, a partir das imagens gravadas, durante sucessivas passagens na vizinhança do alvo ou cena.

3.2. SIMULAÇÕES

As razões de ordem técnica para a escolha das bandas da configuração multiespectral, das HRVs, segundo Chevrel et alii (1981), foram as seguintes:

- 1) Relação consistente entre a reflectância espectral e as propriedades de vegetação.
- 2) Boa discriminação entre áreas florestadas e entre diferentes tipos de solos.
- 3) Compatibilidade na interpretação das assinaturas espectrais obtidas pelo Mapeador Temático e HRV.
- 4) Resolução e sensibilidade radiométricas ampliadas para pesquisa e inventário de água superficial.
- 5) Definição de uma banda específica com penetração relativa na água.

A configuração pancromática de banda larga e alta resolução (10 m) foi definida no sentido de prover uma grande capacidade para análises texturais, servindo de apoio às análises tonais mais próprias de serem feitas com os dados multiespectrais (Chevrel et alii, 1981).

Dentre as dezenas de simulações realizadas para avaliar o desempenho dos HRV-SPOT, selecionou-se a realizada no SE da Córsega. A simulação foi feita por um Scanner Daedalus aerotransportado a uma altitude de 4.000 m. Os intervalos espectrais do MSS Daedalus foram com

binados linearmente compatibilizando-os com as bandas do SPOT.

A qualidade dos dados pode ser observada na composição colorida e na imagem pancromática da região. A primeira tem excelente informação espectral, com diferentes pa-

drões de água, e a segunda possui expressivos atributos espaciais, com o traçado de estradas (Subcenas 1 e 2 da figura 3).

A combinação das duas fotografias (Subcena 3) numa composição multiespectral qualifica sobremaneira a informação contida através de discriminação: estradas, construções isoladas, padrões d'água, fumaça, etc.

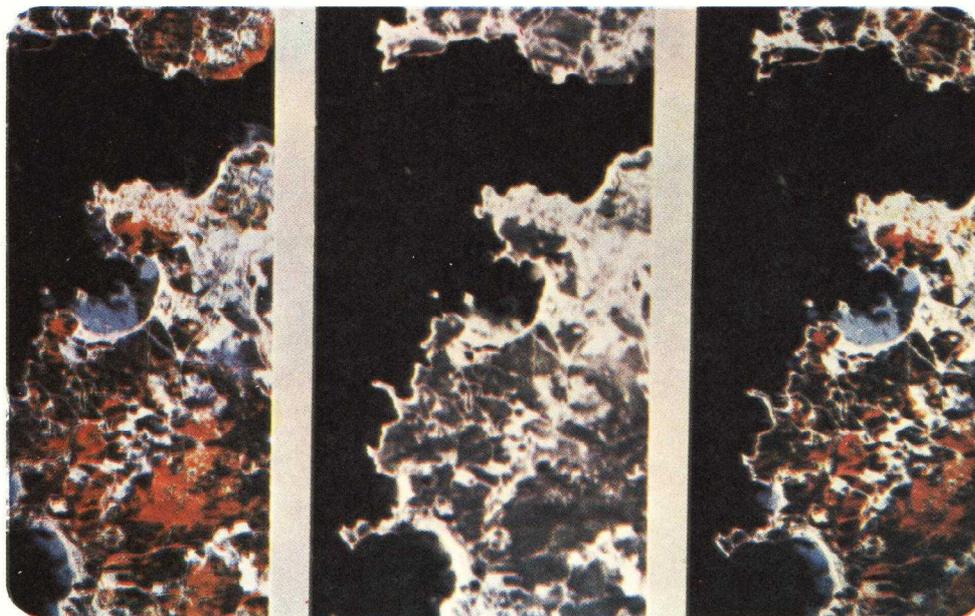


Fig. 3 - Simulação do HRV-SPOT

FONTE: Daedalus Enterprises, INC, 1981.

4. RADAR IMAGEADOR DO SPACE SHUTTLE (SIR)

Com relação às pesquisas que envolvem sensores da região de microondas, o INPE está participando do SERGE (Shuttle Experiment Radar for Geological Exploration) que consiste na obtenção de imagens de radar de visada lateral a bordo de missões da espaçonave COLUMBIA.

A primeira dessas missões foi realizada em Novembro de 1981 e envolveu a utilização do SIR-A (Shuttle Imaging Radar A). Este sistema de radar de visada lateral opera na faixa de 1,275 Gigahertz (correspondente a um comprimento de onda de 23 cm), a cerca de 275 km de altitude e com um ângulo de visada de 47° com relação ao nadir.

As características desse sistema sensor permitem a obtenção de imagens em faixas com 50 km de largura ao longo das órbitas. A resolução geométrica das imagens é da ordem de 40-100 m, ou seja, da ordem da grandeza das imagens LANDSAT, o que permite combinações entre elas. A polarização utilizada é HH, ou se-

ja, a radiação é enviada com polarização horizontal e recebida do mesmo modo. Muito embora isto implique maior amplitude do sinal recebido, a interação com os alvos é mais superficial.

Combinações de imagens SIR com imagens LANDSAT deverão aperfeiçoar as metodologias de classificação automática, pois um canal totalmente distinto será adicionado. Tendo em vista que os azimutes de iluminação do SIR-A serão bem diferentes daqueles utilizados no Projeto RADAMBRASIL, será possível uma análise da importância daqueles ângulos na definição da estrutura geológica das regiões em estudo. Além disto, as órbitas com imagens deste radar se cruzam em quatro partes do território nacional, com cerca de 90° de diferença nos azimutes de visada, o que permite estudos similares. (Figura 4).

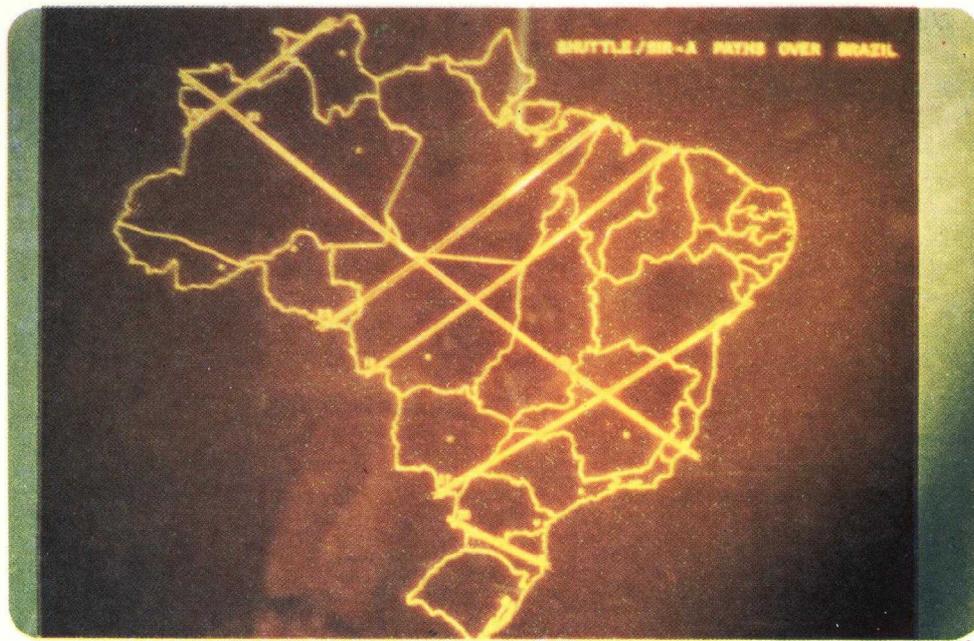


Fig. 4 - Órbitas do SIR-A sobre o território brasileiro.

FONTE: Dellwig e Bare, 1981.

O SIR-A opera em comprimentos de onda maiores do que aqueles utilizados no Projeto RADAMBRASIL (este com 3 cm e aquele com 23 cm); é de se esperar, portanto, maior penetração no terreno e na cobertura vegetal. Desse modo, poderá ser feito um estudo comparativo dos coeficientes de espalhamento de diferentes materiais naturais nas duas faixas espectrais. Estes estudos poderão permitir uma melhor definição e/ou especificação dos próximos sistemas de imageamento por radar, para a abordagem de problemas mais específicos. Nesse sentido já está sendo projetado para as próximas missões do Shuttle um radar que operará em duas frequências e com possibilidades de múltipla polarização. Nos próximos experimentos do Shuttle também estão previstas saídas digitais para os dados coletados bem como estereoscopia (Tabela 3), (Dellwig and Bare, 1981).

5. CÂMERA CCD (Ranvaud, 1981)

O dispositivo sensor a ser colocado a bordo do terceiro e quarto satélite brasileiro é a câmera CCD (charge coupled device). As vantagens de utilizar a tecnologia "push broom" e não dispositivos de varredura mecânica se relacionam diretamente com a redução de peso, volume e consumo de energia, limitações sempre impostas à carga útil. Desta forma o elemento detetor da câmera multiespectral será formado por 4 barras de CCD, sendo que uma barra (1728 elementos) por banda espectral.

As bandas espectrais estão sendo selecionadas em função de alta prioridade de observação dos recursos hídricos e da vegetação. A banda de 0,45-0,51 μm é uma banda de alto contraste entre o solo nu e a vegetação; é de interesse direto, portanto, ao monitoramento de áreas desmatadas. A água, por outro lado, é relativamente transparente nesta região. Desta forma estudos de sedimentação e de águas costeiras/continentais poderão ser desenvolvidas. Esta banda não está prevista no SPOT e no LANDSAT-D. A banda 0,53-0,59 μm correspondente ao pico verde da vegetação; a banda 0,61 μm - 0,69 μm à região de observação da clorofila; e a banda de 0,79-0,90 μm à região de alta reflectância da vegetação (Figura 5).

A resolução geométrica da câmera CCD será de $7,8 \times 10^{-5}$ raios que, a uma altura de 640 km, corresponderá a um elemento de resolução no terreno de 50 m.

A resolução temporal prevê 35 dias para um ciclo completo de recobrimento, uma repetitividade, portanto, de 35 dias. Um espelho oscilante poderia permitir observações de até 440 quilômetros lateralmente ao Nadir. Neste caso, a repetitividades para determinação dos alvos poderia chegar a 4 dias. Estas modificações estão sendo consideradas para serem incorporadas no sistema sensor do satélite brasileiro de Sensoriamento Remoto.

Relativamente ao LANDSAT-3, elevando em conta as necessidades de usuários nacionais, as contribuições da câmera CCD são as seguintes:

- 1) Resolução espacial de 50 m.
- 2) Bandas espectrais mais adequadas para a detecção de clorofilas, para o estudo da vegetação e das anomalias geobotânicas.
- 3) Bandas espectrais mais estreitas que permitem melhor discriminação e identificação de cada cultura.
- 4) Hora local de observação às 08:30 o que permitirá o imageamento da região Amazônica com menor porcentagem de cobertura de nuvem. A experiência do uso do LANDSAT tem mostrado que às 09:20 horas já existe maior adensamento de nuvens na região Amazônica, o que prejudica seriamente o seu imageamento.

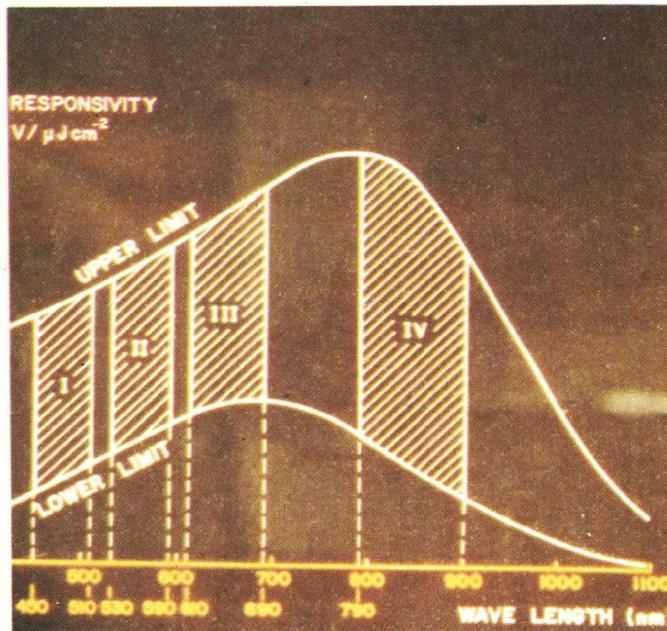


Fig. 5 - Bandas Espectrais da câmera CCD

FONTE: Ranvaud, 1981.

6. PERSPECTIVAS EM APLICAÇÕES

É natural que o aperfeiçoamento tecnológico dos sensores e plataformas irá se refletir na área de aplicações, ampliando significativamente seu limiar e definindo novos rumos.

As seções que se seguem refletem a atual expectativa com relação aos resultados e metas que poderão ser alcançadas com as novas tecnologias nas áreas de aplicação onde o INPE mantém um grande esforço de pesquisa.

6.1 - AGRICULTURA

Em Agricultura as principais metas que poderão ser atingidas com o advento dos novos sistemas sensores são:

- 1) Avaliar o impacto da resolução espacial e das características espectrais do Mapeador Temático na identificação de culturas e estimativas de áreas cultivadas.
- 2) Definir o comportamento espectral de culturas de expressão econômica em diferentes níveis de coleta de dados e sob diferentes condições agrônomicas e ambientais.
- 3) Desenvolver sistemas experimentais de avaliação em áreas plantadas com soja, milho e trigo.
- 4) Desenvolver um sistema experimental de avaliação em áreas plantadas com cana-de-açúcar e sua operacionalização para todo o território nacional.

6.2 - FLORESTAS

Os resultados e metas a serem alcançados na área de floresta são os seguintes:

- 1) Definir um sistema de avaliação de áreas de reflorestamento e sua operacionalização para todo o País.
- 2) Operacionalizar um sistema de monitoramento do processo de ocupação da Amazônia Legal.
- 3) Desenvolver método para mapeamento da vegetação natural, baseado principalmente em processamento digital.
- 4) Avaliar o volume de madeira em povoamentos florestais artificiais.
- 5) Estudar a fitossanidade de áreas florestais.
- 6) Avaliar os dados do Mapeador Temático quanto à: diferenciação entre coníferas e folhosas em função de geometria e posição da folha; determinação de "stress" e quantidade de biomassa; determinação de conteúdo hídrico; estudo sobre o vigor de espécies florestais.

6.3 - ANÁLISE AMBIENTAL

O Mapeador Temático abre novas perspectivas de pesquisa e de aplicações de dados orbitais em Análise Ambiental; desta forma o maior empenho de pesquisa será no sentido de avaliar as potencialidades dos dados do LANDSAT-D.

A nível de pesquisa, poderão ser avaliados os efeitos da resolução e sensibilidade radiométrica sobre a precisão de classificação

do uso da terra. Classificações mais refinadas poderão ser obtidas pelo maior número de faixas espectrais disponíveis e pela melhor resolução espacial. A disponibilidade de três canais na região do infravermelho poderá ser de grande valia para a geomorfologia fluvial, tendo em vista a possibilidade de identificar diferentes níveis de terraços e depósitos fluviais por diferenças nos teores relativos de umidade.

O aumento da resolução espacial (30 m) abre amplas perspectivas para o monitoramento de áreas urbanas, visto que a identificação de classes de uso do solo urbano tem, até agora, sido limitada.

Os estudos relativos ao levantamento de área submetidas a processos de erosão de solo também se beneficiarão com a disponibilidade dos dados do Mapeador Temático, visto que, até agora, eles têm sido limitados devido à baixa resolução dos dados MSS face à escala do fenômeno em estudo. Um esforço significativo será aplicado no estudo ambiental de áreas criticamente envolvidas com extração minéria. Significativas contribuições são esperadas dos dados IR próximo e termal do TM no que se refere a: estudos da combustão espontânea de rejeitos de carvão; estudos de descargas industriais térmicas; estudos dos processos de assoreamento de rios por produtos finos lixiviados; estabelecimento de modelos de bacias hidrográficas mais comprometidas com a atividade de mineração.

6.4 - OCEANOGRAFIA

Dados as características especiais de espectrais superiores do Mapeador Temático, as pesquisas em Oceanografia serão concentradas no manuseio desses dados e no desenvolvimento de aplicações em regiões costeiras e marinhas.

Neste sentido, as bandas 2 e 3, que compreendem os intervalos de comprimentos de ondas de 0,52-0,69 μm , serão utilizadas especialmente para definir padrões de circulação das águas, com base no comportamento das partículas em suspensão e em sua qualificação espectral e espacial em áreas costeiras e lagunares. Esses canais poderão contribuir também para a identificação de áreas biologicamente produtivas, através do estudo da coloração da água do mar com base no conteúdo de clorofila nelas existentes.

A banda 7, de comprimento de onda de 10,4 μm - 12,5 μm , será de extrema utilidade no estudo da estrutura térmica da água (seja do mar, de rios ou lagos), com base na distribuição da temperatura. Isso levará a um conhecimento maior de fenômenos como a ressurgência, frentes oceanográficas e identificação de áreas favoráveis à captura de peixes pelágicos.

6.5 - RECURSOS MINERAIS

A meta principal da área de Recursos Minerais será avaliar o desempenho dos dados do Mapeador Temático, bem como adquirir experiência na análise dos dados do Mapeador Temático. Desta forma, pesquisas estão sendo planejadas no sentido de avaliar as novas bandas e as combinações espectrais mais apropriadas para a discriminação de associações rocha-solo-vegetação.

Os principais objetivos são:

- 1) Realizar testes preliminares do desempenho do Mapeador Temático, buscando critérios para uma avaliação mais completa;
- 2) Comparar e analisar os dados TM e MSS e as características espectrais, geométricas, radiométricas e espaciais de passagens noturnas e diurnas;
- 3) Fazer pesquisas preliminares relativas a aplicações do TM;
- 4) Avaliar os níveis de contribuição das bandas do TM em diferentes ambientes geológicos e sob várias condições de cobertura de solo e de vegetação como:
 - zonas de alteração limonítica associadas com rochas mineralizadas em ferro;
 - áreas de argilo minerais de origem hidrotermal;
 - áreas de argilo minerais de origem intertropical;
 - áreas com associações geobotânicas;
 - regiões em que fatores geológicos controlam a umidade do solo;
 - alvos geológicos sujeitos a variações radiométricas e termométricas sensíveis.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando-se as tendências que a tecnologia vem tomando em todo o mundo e as decisões brasileiras quanto à recepção do LANDSAT D, e principalmente, o desenvolvimento do satélite doméstico de Sensoriamento Remoto, tem-se a garantia de mais uma década de intensas atividades dentro deste campo.

E o Brasil, com dimensões quase continentais, com imensas áreas muito pouco conhecidas, será um dos países que mais se beneficiará com as aplicações destas tecnologias: aumentando o nível de conhecimento de nossas riquezas para possibilitar um maior desenvolvimento econômico e tornando mais eficiente o monitoramento e o controle do nosso meio ambiente para buscar o equilíbrio necessário a melhores condições de vida.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CENTRE NATIONAL D'ESTUDES SPATIALES (CNES):
Spot: satellite based remote sensing system. Toulouse, France, 1981. Catálogo.
- CHEVREL, M.; COURTOIS, M.; WEILL, G. The SPOT satellite remote sensing mission. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47 (8): 1148-1158, 1981.
- DAIDALUS INTREPRESES. *Daidalus scanner application warlmede 1981.* Ann Arbor, MI, 1981. Catálogo.
- DELLWIG, L.F.; BARE, J.E. *SERGE-Shuttle experimental radar for geological exploration.* Lawrence KS. The University of Kansas Center for Research, May, 1981. 49 p.
- ENGEL, J.L. *Thematic Mapper; an interim report an anticipated performance.* Santa Barbara Ca, American Institute of Aeronautics, 1980. 12 p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE).
"Proposal for Analysis and evaluation of LANDSAT D image data". São José dos Campos, INPE, abr. 1982. (INPE-2366-PPR/072).
- RANVAUD, R.D.P.K.C. The CCD camara. *Latin American Satellite Remote Sensing Users Meeting.* São José dos Campos, Nov. 30 Dec. 2, 1981.
- TWEKER, C.J.; JUSTICE, C.O. Thematic Mapper Simulator data. *International journal of Remote Sensing*, 2 (1): 783-785, Jan/mar. 1981.