

# ESTÁGIO ATUAL DOS SISTEMAS DE SENSORIAMENTO REMOTO DE APLICAÇÃO CARTOGRÁFICA

M. I. C. de Freitas

Universidade Estadual Paulista - UNESP -

Departamento de Planejamento Regional - IGCE

Caixa Postal, 178 13500 - Rio Claro, SP, Brasil

## RESUMO

Este trabalho surge da necessidade de se ter um conhecimento mais atualizado dos diversos Sistemas de Sensoriamento Remoto que apresentam-se atualmente ou que estão para ser ativados. Objetiva-se abordar os principais sensores e câmaras visando suas aplicações à Cartografia e Fotointerpretação. Inicialmente apresenta-se a Fotogrametria Espacial (LFC, Câmara Métrica), seguida dos Sistemas de Imageamento Passivo (LANDSAT, MOMS, TERS, MAPSAT, etc.). Na sequência apresenta-se os Sistemas de Imageamento Ativo (RADAR, SLAR, SEASAT, ERS-1, RADARSAT, SIR-A, SIR-B). O trabalho contém um quadro comparativo relacionando os sensores levantados com suas principais características e recursos. Dentre estas características são mencionadas: modo de imageamento, órbita dos satélites, altitude, período, largura de faixa imageada, resolução, capacidade de visão estereoscópica, produtos disponíveis, aplicações a mapeamento e outros. Nota-se a constante evolução dos Sistemas de Imageamento com respeito à precisão, rapidez de imageamento e diversidade de informações obtidas.

## ABSTRACT

This work is based upon the need for a better and up-to-date knowledge of the existing Remote Sensing Systems or those ready to be activated. The objective is to discuss the principal sensors and cameras with regard to their applications on Cartography and Photo-interpretation. Initially the Spatial Photogrammetry (LFC, Metric Camera) is presented followed by the Passive Imaging Systems (LANDSAT, MOMS, TERS, MAPSAT, etc.). Next the Active Imaging Systems (RADAR, SLAR, SEASAT, ERS-1, RADARSAT, SIR-A, SIR-B) are shown. A comparative panel of the sensors studied with their main characteristics is presented. Among these characteristics some may be mentioned: imaging mode, satellite orbit, height, cycle, width of the imaged strip, resolution, possibility for stereoscopic vision, available products, mapping applications, etc. As a conclusion, the evolution of such systems with respect to accuracy, imaging speed and the increasing number of different products obtainable was noted.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o objetivo da maioria dos novos sensores é obter, a nível mundial, o mapeamento de áreas ainda não mapeadas ou a atualização de cartas já existentes, em escalas médias com a maior precisão possível. Para se atingir esta finalidade diversos recursos são utilizados como a estereoscopia, o aumento da resolução, o uso de veículos espaciais, etc.

Existem dois métodos básicos para produção e revisão de mapas que são: o Levantamento Terrestre e a Fotogrametria Convencional.

O Levantamento Terrestre, sendo mais lento e mais custoso, limita-se a pequenas áreas, restringindo-se a um nível de produção local ou regional,

não sendo possível aproveitá-lo para produção e revisão de mapas em escala média a nível mundial.

A Fotogrametria Convencional, embora aceitável para a obtenção de mapas e ortofotos, é um processo de mapeamento muito lento com respeito às demandas de produção e revisão de mapas. Isto não o faz viável para realizar um mapeamento mundial e atualização de mapas na escala 1:50.000.

Nesta busca de um método mais adequado para produção e atualização deste tipo de mapa surge a Fotogrametria Espacial. A idéia consiste no uso de câmaras em plataformas no espaço. Para testar tal método uma câmara RMK 30/23 foi utilizada na missão SPACELAB em 1983. Outra experiência foi o voo do Itek LFC no Ônibus Espa -

cial (Space Shuttle) em 1984.

Segundo Engel (1984), devido à qualidade que apresentam, a alta resolução, a capacidade de cobertura de grandes áreas, as técnicas de avaliação convencional e a alta fidelidade geométrica, estas câmaras são adequadas para produção:

1. Mapeamento fundamental da superfície terrestre em escala média;
2. Determinação Global do Modelo Digital do Terreno (DTM) para derivação de curvas de nível;
3. Densificação Global e combinação de redes de pontos de controle através do ajustamento de Aerotriangulação por Feixes (Bundle).

Consideram-se desvantagens da utilização destas câmaras a necessidade de se carregar grandes rolos de filme para o espaço e, posteriormente, recuperá-los.

Além destas serão considerados os Sistemas de Imageamento Passivo. As missões espaciais com tais sistemas de imageamento como "line scanner", "push-broom scanner", possuem imagem unidimensional. A imagem total é integrada pelo movimento da plataforma com o movimento do imageador.

São consideradas vantagens destes sistemas a possibilidade de operar com um sistema digital não necessitando de carregar rolos de filme. Possuem, portanto, maior aplicação em satélites de longa vida quando se deseja imageamento multitemporal, propiciando estudos de interpretação e detecção de mudanças, além da forma digital dos dados ser muito apropriada à automação.

Serão considerados também os Sistemas de Imageamento Ativo. Sua principal vantagem é a penetração através de nuvens, que muitas vezes não é suficiente para compensar as desvantagens de uma geralmente restrita detectabilidade de detalhes topográficos.

Após esta introdução será realizada uma análise mais detalhada de cada sistema de sensoriamento citado.

## 2. FOTOGAMETRIA ESPACIAL

Inicialmente serão apresentadas as estações satélites experimentais operadas pelo homem que propiciam aos cientistas a possibilidade de fazerem observações e experimentos que não poderiam ser feitos na superfície da Terra.

### 2.1. Estação Espacial SKYLAB

Lançada em 73/74, apresenta órbita aproximadamente circular, altitude de 435 km, período de 93 minutos e frequência de imageamento de 5 dias desde que o ponto imageado esteja entre

50°N e 50°S. Esta estação espacial possui um "pacote" denominado Earth Resources Experiment Package (EREP) composto de 3 tipos de câmaras:

1º) S190A Multicâmara Array - com resolução espacial de 30 m a 80 m em 6 bandas. Apesar do interesse dos cientistas, estas imagens foram com o tempo sendo substituídas, no meio científico, pelas tomadas dos Satélites LANDSAT.

2º) S190B Earth Terrain Câmera - com alta resolução espacial (20 m) em uma banda. Ainda em uso pelos cientistas devido à alta resolução espacial e ao grande alcance dos ângulos solares.

3º) S192 13 Channel Multispectral Scanner. (CURRAN, 1985).

### 2.2. Space Shuttle

Lançado em abril de 1981, com altitude de 277 km, o veículo orbital pôde carregar e lançar satélites como os futuros da série LANDSAT, o Mission Modular Spacecraft Satellite (MMS), satélites militares e ainda dois "pacotes" de Sensoriamento Remoto (OSTA e SPACELAB).

O OSTA (Office of Space and Terrestrial Applications) contém:

- um radar de abertura sintética (SAR);
- um par de câmaras de TV: Feature Identification and Location Experiment (FILE);
- um imageador ótico: - Ocean Colour Experiment (OCE) em 1981  
- Large Format Camera (LFC) em 1984 (CURRAN, 1985).

### 2.3. LFC

O imageador ótico denominado Câmara de Grande Formato (LFC), componente do Space Shuttle, iniciou sua atividade em 1984 e foi projetado especificamente para aplicações de mapeamento. Foi lançado no Shuttle juntamente com 3 satélites de comunicação que acabaram por forçar o lançamento numa inclinação de 28,5° a 296 km de altitude. A curta duração e a baixa inclinação fazem com que estas missões não sejam ideais para tomada de fotografias e outras formas de Sensoriamento. Negociações têm sido feitas pretendendo uma alta inclinação, mais aceitável para extensas coberturas. (DOYLE, 1982)

A LFC tem capacidade de retorno e reutilização e tem como características a distância focal de 30,5 cm; formato de imagem de 23 x 46 cm (mais longo na direção da linha de voo); abertura de f/6,0; magazine com capacidade para 1.220 m de filme. (WOOD, 1979). A aderência do filme ao plano focal é feita através do efeito de "pressão diferencial" entre o cone e a câmara. A

LFC é dotada do Forward Motion Compensation (FMC) que é um dispositivo para compensação do movimento da imagem.

A tomada das fotografias pode ser feita com diversas superposições longitudinais tais como 80, 70, 60 e 10% sendo que a opção 80% proporciona melhor escolha da razão Base/Altura. (WOOD, 1979). A fig. 1 relaciona a superposição com a razão Base/Altura.

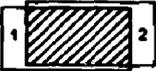
PARES DE FOTOS	SUPERPOSIÇÃO	B/H
	80%	0.3
	60%	0.6
	40%	0.9
	20%	1.2
	0%	N/A

Fig. 1: Relação entre superposição e razão Base/Altura na LFC (adaptado de ITEK OPTICAL SYSTEMS, p.5).

As missões do Shuttle normalmente duram de 7 a 14 dias (ITEK OPTICAL SYSTEMS). A LFC, tendo o space Shuttle como veículo condutor, está na dependência de outros objetivos da missão que alteram a linha de voo, a inclinação, etc. Para se solucionar este problema uma alternativa seria a Multimission Modular Spacecraft (MMS). Este seria o condutor da LFC e a troca do filme se faria no Space Shuttle no espaço. São consideradas desvantagens desta alternativa o alto custo deste investimento, a curta vida útil devido à proximidade da Terra e a dificuldade de controle da órbita, mesmo se colocando propulsores no satélite. (TOMMASELLI, 1984).

São dois os locais de lançamento: o Kennedy Space Center (Flórida) e o Vandenberg Air Force Base (Califórnia).

A resolução no terreno é de 10 a 15 m e é obtida para altitudes nominais do Shuttle (DOYLE, 1982).

Quanto à aplicação, as fotografias adquiridas da LFC com detalhes planimétricos e de relevo são viáveis para a produção de mapas na escala 1:50.000 desde que as regiões apresentem adequado controle geodésico. A

LFC proporciona um uso eficiente de  $m\bar{e}$  todos aerofotogramétricos para produção e atualização de mapas devido à compatibilidade que seu formato apresenta com relação às técnicas de produção e à alta resolução apresentada.

## 2.4. Câmara Métrica

A Câmara métrica é um dos dois instrumentos desenvolvidos pela Alemanha que fazem parte da bagagem do SPACELAB a bordo do Shuttle. Seu lançamento foi em novembro de 1983. São algumas de suas características o formato de imagem de 23 x 23 cm; a resolução fotográfica de aproximadamente 20m e a distância principal de 30,5 cm.

Quanto às suas aplicações, KONECNY (1984) afirma que há possibilidade da utilização das imagens da Câmara Métrica para: mapeamento e revisão de mapas planimétricos, medições de altitudes e mapeamento temático para geologia, uso da terra, hidrologia e florestas.

A Câmara Métrica nada mais é do que a câmara ATLAS A, isto é, a fase A do Programa de desenvolvimento das Câmaras ATLAS.

A fase B das câmaras ATLAS apresenta características semelhantes à Fase A sendo algumas alterações o uso da distância focal de 60 cm, a adição do FMC e o suporte de um "pallet" exterior.

A ATLAS C, planejada para lançamento em 1987, considera para suporte o sistema de câmara em satélites de voo livre que operarão independentemente do SPACELAB.

## 3. SISTEMAS DE IMAGEAMENTO PASSIVO

### 3.1. LANDSAT-1, -2, -3.

Estes satélites fazem parte da primeira geração de satélites de Recursos da Terra. Inicialmente denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite) e com projeto básico no Satélite Meteorológico Nimbus, os Satélites LANDSAT apresentam órbita quase circular, quase polar, síncrona com o sol, com altitude variando de 880 km a 940 km e cujo objetivo principal é ser ferramenta básica no inventário e manejo de recursos naturais.

São constituídos de dois tipos de sensores:

1º) Imageador Multispectral (MSS - Multispectral Scanning System)

2º) Conjunto de 3 câmaras Vidicon (RBV - Return Beam Vidicon).

O Sensor MSS é composto de 4 canais multispectrais (LANDSAT-3 apresenta o 5º canal na faixa termal) cobrindo, através de linhas de varredura

transversais ao deslocamento do satélite, uma faixa de aproximadamente 185 km de largura no terreno.

O sensor RBV é composto de 3 câmaras de TV (no LANDSAT-3 o RBV apresenta 2 câmaras panorâmicas) gerando imagens consecutivas de perspectiva central e que, devido a problemas de funcionamento, foi deixado de lado.

São produtos LANDSAT básicos gerados pelas estações de processamento:

- Quick Look: reprodução em tela ou filme 70 mm que apresenta distorções radiométricas e geométricas.

- Bulk: Reprodução em negativo 70 mm que apresenta distorções radiométricas e geométricas grosseiras;

- Precision: Trata-se da imagem "Bulk" refinada através da correção das distorções por processo de retificação analítica.

Restrições como órbita limitada, razão base/altura desfavorável e pequena ondulação do terreno em relação à altura do satélite tornam impossível se fazer estereocompilações de imagens pois não é possível se formar modelo estereoscópico. Trabalha-se com imagens individuais ou mosaicos. O período dos satélites é de 103 minutos, deslocando-se ao redor da Terra 14 vezes ao dia e a intervalos de 18 dias o mesmo local é novamente imageado.

A imagem MSS é obtida através de varreduras transversais ao sentido do deslocamento do satélite, através de um espelho oscilatório. Estas varreduras são feitas em um só sentido. Os canais espectrais do MSS são quatro: Canais 4, 5, 6 e 7 com comprimento de onda de 0,5 a 1,1  $\mu$ m. Seis linhas de dados são imageadas por vez.

O IFOV (Instantaneous Field of View) ou Visão Instantânea de Campo é de 79 x 79 m. Sendo o deslocamento do imageador de 56 m no terreno entre cada amostragem, teremos como dimensão do PIXEL (Picture Element) 56 m (E - W) x 79 m (N - S). (GARCIA, 1982). A Resolução efetiva da imagem MSS é de 1 PIXEL.

Segundo BAHR (1978), o tratamento geométrico deve ser feito em dois passos:

1º) uma aproximação BULK, usando fatores de escala e rotação da Terra, que não necessita ou necessita de poucos pontos de controle e dá acuracidade de cerca de  $\pm 1,5$  a 2 unidades de PIXEL;

2º) uma aproximação PRECISION, tomando polinômios de 2ª ordem e 9 pontos de controle no terreno, produzindo acuracidade de  $\pm 1$  PIXEL ou maior.

Os dados LANDSAT MSS, além de aplicação a interpretação, são usados

para classificação e cobertura de terras, para estimar características de superfície e monitoramento de mudanças. Em cartografia são aplicadas na atualização de mapas e em mapeamentos preliminares, temáticos e especiais.

As imagens especificamente aplicam-se:

- Imagem Quick Look: usada numa análise prévia para seleção de imagens e serem reproduzidas em caráter definitivo e também para fotoíndices;

- Imagem Bulk: utilizada para interpretação com fins temáticos. Pela avaliação geométrica apresenta um erro médio quadrático (emq) de 1,5 PIXEL (120  $\pm$  20 m);

- Imagem Precision: de qualidade geométrica compatível para trabalhos cartográficos na escala 1:250.000 e menores e utilizada como base planimétrica de cartas topográficas. Emq = 3/4 de PIXEL (60 m  $\pm$  15 m) (SILVA, 1979).

### 3.2. LANDSAT-4, -5

O LANDSAT-4, lançado em 1982, constituía-se de 2 sensores: o MSS muito semelhante ao dos LANDSAT anteriores e o TM (Thematic Mapper) ou Mapeador Temático. Este sensor faz parte da 2ª geração de imageadores multispectrais.

O LANDSAT-4, possui frequência de imageamento de 16 dias e não é dotado de gravador a bordo. Quanto à resolução, o MSS apresenta 79 m enquanto o TM apresenta 30 m.

O MSS apresenta os mesmos Canais Espectrais dos LANDSAT anteriores. Já o TM apresenta sete bandas compreendidas entre 0,45  $\mu$ m e 2,35  $\mu$ m.

No caso do sensor TM, a tecnologia de obtenção de dados é um espelho oscilante com varredura nos 2 sentidos. As imagens TM podem ser colocadas em projeções cartográficas nas escalas 1:250.000 e 1:100.000 (CAMARA NETO, 1985).

Problemas no sensor TM do LANDSAT-4 forçaram o lançamento do LANDSAT-5 (LANDSAT D' antes do lançamento) em 1984. Os LANDSAT-4 e -5 podem ser recuperados e relançados pelo Shuttle.

Devido à maior resolução esperada um aumento na qualidade das cartas geradas das imagens TM, permitindo sua utilização para produzir cartas planimétricas na escala 1:100.000 e para revisão. No mapeamento temático nota-se a vantagem da imagem TM devido ao maior número de canais espectrais.

Um sensor denominado Multispectral Resource Sampler (MRS) poderá ser lançado no Satélite Landsat no final da década de 80. Seria uma resposta da NASA ao HRV a bordo do SPOT. No caso

do MRS, este fará cobertura local. É um imageador do tipo Pushbroom com resolução no terreno de aprox. 15 m. (CURRAN, 1985).

### 3.3. SPOT

O Systême Probatoire d'Observation de la Terre (SPOT) trata-se de um sistema de Satélite de Sensoriamento Remoto cujo lançamento foi no início de 1986, efetuado pelo French National Space Program, numa associação de franceses, suecos e belgas.

Entre os objetivos da missão (CHEVREL, 1981) estão: construir um arquivo e tornar disponível uma base de dados mundiais para exploração dos recursos da terra; construir um arquivo estereó das áreas de reconhecido interesse para propósitos de fotointerpretação, cartografia e atualização cartográfica para escalas 1:100.000 e 1:50.000 e ainda qualificar a plataforma de multimissão e uma câmara Linear Array no espaço.

O SPOT apresenta altitude variando de 600 a 1.200 km (média de 832 km), período de 101 min., ciclo de 26 dias e órbita circular e síncronica com o sol.

O SPOT compõem-se de dois sensores idênticos denominados "High Resolution Visible" (HRV) que operam no modo PUSHBROOM, no visível e em parte do Infra-Vermelho Próximo. Estes instrumentos estão direcionados transversalmente à trajetória do satélite, permitem rápido acesso a algum ponto da Terra e também a aquisição de pares de imagens estereoscópicas para diferentes passagens do satélite.

O SPOT apresenta 2 modos: Modo Multispectral e Modo Pancromático. O multispectral faz observações em 3 bandas com comprimento de onda variando de  $0,50 \mu\text{m}$  a  $0,89 \mu\text{m}$ . Nele 1 PIXEL corresponde a 20 m no terreno. O Modo Pancromático apresenta uma larga banda individual que possui comprimento de onda de  $0,51 \mu\text{m}$  a  $0,73 \mu\text{m}$ . Um PIXEL corresponde a 10 m. Esta banda oferece melhores condições geométricas e permite se fazer mapas com padrões cartográficos em escala 1:100.000, com dados levantados na escala 1:50.000 e para alguns casos de aplicação temática em 1:250000. (RIVEREAU, 1984).

A estereoscopia é obtida numa geometria quase-cilíndrica onde um estereopar forma-se pela combinação de 2 imagens de uma mesma zona gravadas durante órbitas diferentes e com ângulos de visão diferentes. Isto é possível devido ao espelho direcionável do instrumento imageador. Quanto à resolução, os canais multispectrais apresentam resolução de 20 m e o pancromático 10 m. As imagens SPOT apresentam-se co-

mo uma cena (cobrindo  $60 \times 80 \text{ km}$ ) e como bi-cena (cobrindo  $60 \times 117 \text{ km}$  com superposição de 3 km).

As imagens são separadas em níveis: Nível 1A (imagem com correção radiométrica); Nível 1B (imagem com correção radiométrica e geométrica e de acuracidade de locação de 1.500 m); Nível 2 (nível de precisão processada e de acuracidade de locação de 50 m); Nível S (envolve retificação relativa da cena para assegurar o registro com outra cena usada como referência, em 0,5 PIXEL).

Para cartografia o SPOT apresenta precisão para produção de ortofotos através de DTM e para produção de mapas. Pode-se combinar produtos pancromáticos com multispectrais e com informações de outras origens. Possui ainda aplicação na classificação multispectral. De simulações obteve-se a adequação de um nível das imagens SPOT para restituição com precisão altimétrica de 15 m, permitindo cartografar em 1:100.000. Ainda não se pode afirmar que a imagem SPOT poderá ser usada para ortofotocartas em 1:50.000.

### 3.4. MOMS

O Modular Opto-eletronic Multispectral Scanner (MOMS) é um sistema ótico-eletrônico, lançado pela Alemanha, e é o primeiro sistema modular testado com sucesso no espaço. Trata-se de um sensor baseado no princípio Pushbroom de imageamento e construído segundo o conceito ótico-eletrônico onde não são necessários movimentos mecânicos. O sistema é constituído de componentes fixos. A plataforma do MOMS é o Shuttle. Este sensor apresenta 2 canais espectrais dentro dos comprimentos de onda de  $0,575 \mu\text{m}$  e  $0,975 \mu\text{m}$ . O MOMS não apresenta capacidade de obtenção de pares de imagens estereoscópicas. A resolução apresentada pelo MOMS é de 20 m para altitude de 300 km.

Dados digitais são coletados com o imageador Pushbroom completamente eletrônico e podem ser processados diretamente através de computadores, sem processamento intermediário. São produzidos finais imagens Quick Look, CCTs, Imagens Preto e Branco (transparência e papel) e ampliações.

Os primeiros vôos experimentais têm demonstrado a capacidade do MOMS para aplicações de mapeamento temático para escalas 1:50.000 e 1:100.000. São projetos futuros: o STEREO-MOMS que é projetado para 87/88 e proporcionará "in situ" cobertura estereoscópica pancromática com resolução em altitude menor que 15 m; e o SWIR-MOMS que será um módulo com um ou 2 canais espectrais de recursos mineral/fóssil. (DFVLR, 1984).

### 3.5. TERS

O Tropical Earth Resources Satellite (TERS) é um satélite de Sensoriamento Remoto com princípio Pushbroom de imageamento. A maior qualidade deste sistema é ter uma órbita equatorial.

Os satélites, em sua maioria possuem órbitas aproximadamente polares (com exceção dos militares e meteorológicos), o que faz com que haja uma distribuição global inadequada da resolução temporal dos dados de sensoriamento.

Apresenta o VIS (instrumento no visível) e o TIR (instrumento no Infravermelho Terma).

O TERS não apresenta imagens com possibilidade de visão estereoscópica. Devido à alta altitude (1.680 km), obtêm-se vantagens da visão seletiva combinada com um sensor de nuvens, a oportunidade de 4 observações por dia iluminado (das 7:30 hs a 16:30 hs no tempo local) e para as áreas cobertas entre 100N e 100S a presença de 1 ou 2 estações de aquisição de dados no terreno por continente.

O sensor apresenta 3 bandas espectrais com alta resolução radiométrica e resolução de terreno de 20 m sendo que um dos canais apresenta resolução de 10 m no pancromático. A resolução espacial no equador é de 16 m (8 m no pancromático). A frequência de imageamento é de 18 dias. Existem 4 estações que recebem dados em tempo real.

As imagens TERS proporcionam avaliação, exploração, gerenciamento de recursos naturais, das condições ambientais, mapeamento e monitoramento de determinadas regiões. O estudo de nuvens proporciona informações sobre a cobertura média de nuvens e o tamanho de áreas livres de nuvens. Pode-se dizer que este sensor está num estágio intermediário entre o imageamento óptico convencional e o sistema de RADAR. (HOEKE, 1984).

### 3.6. MAPSAT

O MAPSAT resulta da combinação tecnológica dos linear arrays, do conceito de imageamento epipolar e da experiência adquirida do Sistema LANDSAT e outros sistemas de sensoriamento. Trata-se de um sensor constituído de 3 câmaras, uma na vertical e as outras duas dispostas 23° para frente e 23° para trás, respectivamente. Sua órbita é a mesma dos LANDSAT-1, -2 e -3, a altitude é de 919 km e trabalha com 3 bandas espectrais de comprimento de onda variando de 0,47  $\mu\text{m}$  a 1,05  $\mu\text{m}$ .

O sensor possui capacidade de executar funções monoscópicas e estereoscópicas. (COLVOCORESSES, 1982). Como já foi dito, o MAPSAT resulta combi-

nação do conceito de imageamento no plano epipolar com a tecnologia dos linear arrays para produzir imagens estereó-digitais usando 2 detectores "linear arrays" dos 3 disponíveis. Os arrays são fixos mas a espaçonave pode variar em orientação (PITCH, ROLL, YAW) para otimizar o caminho dos detectores correspondentes aos arrays escolhidos.

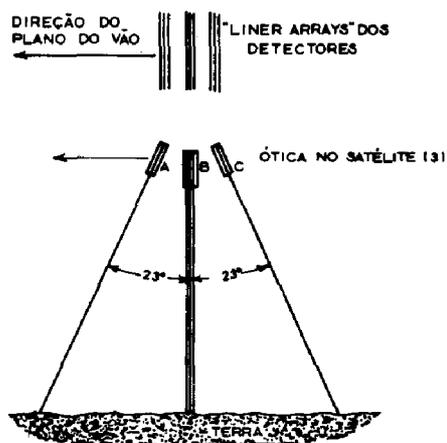


Fig. 2 - Configuração do Sensor MAPSAT (adaptada de COLVOCORESSES, 1982, p. 1587).

Quando a resolução do MAPSAT, esta varia de 10 a 20 m (WELCH, 1981). Para aplicações de mapeamento a exatidão do mapa resultante compatibiliza-se com a escala 1:50.000 e espaçamento de 20 m. São fornecidos produtos como imagens Quick-Look, fitas de imagem digital processadas, fitas digitais processadas e imagens preto e branco. Estes produtos geram mapas e mosaicos nas escalas 1:50.000 ou 1:25.000 e mapas temáticos. Além disso o MAPSAT fornece um modelo multispectral tridimensional da Terra com resolução razoável e na forma digital.

### 3.7. STEREO SAT

Este sensor tem como proposta a cobertura estereoscópica da Terra. Inicialmente a missão tinha objetivos de atender a comunidade geológica mas, com o refinamento de seus parâmetros suas aplicações atingirão a Cartografia, Hidrologia e Engenharia.

O STEREO SAT constitui-se de 3 câmaras de "linear arrays" operando no modo PUSHBROOM. A orientação das câmaras é a seguinte: 1 câmara alinhada verticalmente e as outras 2 orientadas segundo um ângulo de -24° e +24° respectivamente, em relação à vertical.

A órbita do satélite é circular, sincrônica com o sol, aprox. polar, com altitude de 713 km. O sensor apresenta

uma banda espectral individual ( $0,6\mu\text{m}$  a  $0,9\mu\text{m}$ ) e uma freq. de imageamento de 48 dias. É possível haver variação na configuração da órbita. As distâncias focais são de 705 e 775 m para as câmaras vertical e oblíquas respectivamente. Quanto à resolução, o STEREO-SAT apresenta IFOV de 15 m. Quanto às aplicações cartográficas, o sensor pode oferecer imagens para produção de mapas de reconhecimento de regiões inexploradas, mapas temáticos, mapas-imagem nas escalas 1:100.000 e 1:50.000, mapas digitais (como DTM) e ainda mapas topográficos.

### 3.8. Satélites Japoneses de Observação da Terra

Os 2 satélites de recursos da Terra propostos pelo Japão são o Marine Observation Satellite (MOS-1) e o Earth Resources Satellite (ERS-1).

#### MOS-1

Programado para lançamento em 1986, apresenta órbita circular, sincronizada com o sol, altitude similar à dos LANDSAT. Compõem-se de 3 sensores: 1 - MESSR (Multispectral Electronic Self Scanning Radiometer):- é o sensor mais importante da missão e possibilita imageamento em 4 bandas espectrais (entre  $0,51\mu\text{m}$  e  $1,10\mu\text{m}$ ).

2 - VTIR (Visible and Thermal Infrared Radiometer):- sensor que mede a temperatura do mar sobre uma faixa de 500 km. Possui 1 banda no visível e 3 no Infra-Vermelho.

3 - MSR (Microwave Scanning Radiometer):- possui 2 frequências de microonda para medir o conteúdo de água na atmosfera.

A frequência de imageamento do MOS-1 é de 18 dias e a altitude, de 900 km. Quanto à resolução, o MOS-1 apresenta: MESSR com IFOV = 50 m; VTIR com IFOV de 900 m (Visível) e 2.770 m (IV termal); MSR com IFOV de 32 km (freq. = 23,8 GHz) e 23 km (freq. = 31,4 GHz).

#### ERS-1

Planejado para lançamento em 1990, não apresenta produto final dos sensores e outros parâmetros concluídos. O projeto preliminar apresenta 2 sensores:

-SAR (Synthetic Aperture Radar) com largura de faixa de 75 km, resolução de 25 m e 4 bandas.

-VNIR (Visible and Near Infrared Radiometer) com largura de faixa de 150 km, resolução de 25 m e 4 bandas.

A frequência de imageamento do ERS-1 é de 42 dias com altitude de 570 km. O ERS-1 oferece resolução de 25 m em ambos os sensores.

Existem planos futuros de lança-

mento dos MOS-2, -3, -4a, -4b, -5a, -5b, e dos ERS-2a, -2b, -3a, -3b. (MURAI 1984).

## 4. SISTEMAS DE IMAGEAMENTO ATIVO

### 4.1. RADAR

RADAR (Radio Detection and Ranging) é um termo genérico que apresenta diferentes configurações, cada um projetado para medições específicas de uma determinada cena iluminada. Trata-se de um sensor ativo que oferece grande potencial para aplicações em Sensoriamento Remoto e apresenta imagem formada por meio de imageamento num avião. (ASP, 1975). Seu princípio de operação é transmitir pequenos pulsos de energia na faixa de microonda, na direção do terreno. Grava então o tempo gasto para o sinal chegar ao objeto e retornar assim como a potência do "eco" recebido dos objetos que se encontram no campo de visão do sensor. Quanto à polarização, os primeiros radares transmitiam microondas com polarização horizontal e recebiam-nas com polarização também horizontal e eram denominados RADAR HH. Hoje muitos sistemas de radar gravam o retorno de um sinal emitido horizontalmente de forma vertical e denominam-se RADAR HV. Os comprimentos de onda predominantemente variam de 5 mm a 0,5 m. A faixa de onda X é a mais comum, embora os novos sensores operem nas faixas L e C.

### 4.2. SLAR

Os Sideways-Looking Airborne Radar possuem antena locada na parte lateral do avião e são por isso denominados radares de visada lateral. Os pulsos emitidos pelos SLAR são longos e vão, até o comprimento de onda de rádio. O objetivo do surgimento do SLAR foi a obtenção de imagens de pequenas áreas com mais alta resolução. Sofreu um rápido desenvolvimento nos anos 50 devido à sua independência das condições de tempo e da luz solar. Liberado para uso civil a partir de 1960, só foi amplamente difundido nos anos 70. As imagens do SLAR permitem trabalho sob visão monoscópica.

A resolução espacial é determinada pelo comprimento do pulso e pela largura do alcance da antena (antenna beam width). O comprimento do pulso controla a dimensão do elemento de amostragem no terreno se afastando da trajetória do avião (transversalmente). A largura do alcance da antena controla a dimensão do elemento de amostragem no terreno ao longo da trajetória do avião na direção do azimute.

A Resolução Espacial na Direção do Alcance é igual a metade do comprimento do pulso transmitido. Ela depende do ângulo de depressão da antena.

Assim, para um ângulo de depressão decrescente, o comprimento do pulso representa pequenas distâncias no terreno.

A Resolução Espacial na direção Azimute é determinada pela largura do alcance da antena ( $\beta$  da fig. 3). Ela diminui com a distância no terreno, a partir de um mínimo diretamente abaixo do avião.

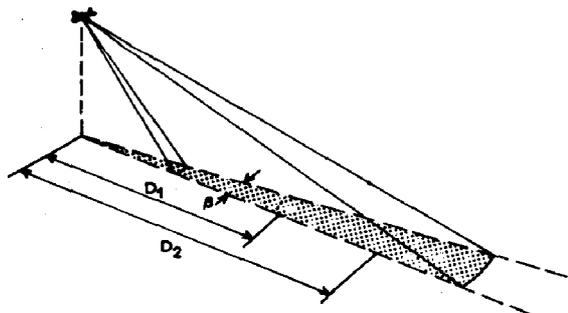


Fig. 3 - Dependência da Resolução Espacial na Direção Azimute da Largura do Alcance ( $\beta$ ) e da distância no terreno ( $D$ ). (adaptado de CURRAN, 1985, p. 119).

Para que se aumente a resolução espacial deve-se diminuir a largura do alcance. Para isso, aumenta-se o comprimento efetivo da antena tomando vantagens do movimento do avião. No vôo do avião, para se imagear um objeto no terreno, o objeto entrará no alcance da antena, mover-se-á e sairá do alcance. Durante o tempo em que o objeto está dentro do alcance ele terá retornado um número de pulsos de microondas, cada qual com frequência ligeiramente diferente. A informação de retorno e a frequência podem ser usados para sintetizar eletronicamente uma antena que é tão grande quanto a linha de vôo do avião (medida de onde o sensor primeiramente e finalmente detecta o objeto), e tem um alcance tão amplo para a fonte de informação como para o sensor. Tal SLAR é denominado de RADAR de abertura Sintética (SAR).

Embora o SAR apresente desvantagens como o longo tempo entre a gravação do sinal de retorno e a produção de imagens, ele ainda é preferido para trabalhos de Sensoriamento Remoto onde se requer dados de interesse no monitoramento de gelo nos mares, padrões de inundação ou colheitas. (CURRAN, 1985)

Os SLAR em geral se aplicam à exploração geológica, geomorfologia, estudos de padrões de drenagem, hidrologia, vegetação e águas. As imagens,

no caso brasileiro, são disponíveis desde que os usuários sejam credenciados junto ao Ministério de Produção Mineral. Estão disponíveis mosaicos montados a partir de tiras de imageamento (GARCIA, 1982).

#### 4.3. SEASAT

Foi um satélite experimental projetado pela NASA para sensoriar em microondas os oceanos mas, imagens da Terra também foram obtidas. Apresentava órbita circular, não síncrona com o sol, altitude de 800 km com ciclo de 152 dias e orbitando a Terra 14 vezes ao dia. Compunha-se de 4 sensores, dos quais 2 eram de importância para o meio científico: o Radiômetro com 2 bandas (visível e IV termal) e com resolução espacial de 2 km (visível) e 4 km (IV termal) e o SAR com uma banda L, polarização HH e resolução de 25 m.

Problemas no sistema elétrico fizeram com que cessassem suas operações em outubro de 1978, mas, ainda hoje, (CURRAN, 1985), suas imagens possuem aplicação no mapeamento do gelo nos mares, cobertura de terras, etc.

#### 4.4. ERS-1

O Programa ESA Remote Sensing Satellite (ERS-1) iniciou-se em outubro de 1981 pelos estados membros do ESA juntamente com o Canadá e a Noruega.

A missão ERS-1 divide-se em missão meteorológica, missão climatológica e missão de imageamento (HONVAULT, 1984).

Foram projetados dois tipos de sensores:

1. Sensor para Monitoramento do Oceano - instrumento de monitoramento de cores do oceano (OCM) que contém canais adicionais incorporados e, portanto, possui sensibilidade aumentada. O IFOV é de 800 m. Estudos estão sendo feitos para substituir esta forma de imageamento mecânico por "linear arrays".

2. Sistema de Satélite de Aplicações para a Terra (LASS) - consiste num SAR, banda C e um instrumento de Imageamento Ótico (OII) baseado no princípio PUSHBROOM imageando no visível e IV próximo.

O ERS-1 possui altitude variando de 745 a 825 km, ciclo de 3 dias e órbita síncrona com o sol. Aplica-se ao estabelecimento, desenvolvimento e exploração de zonas costeiras, oceanos e estudo do gelo. Existem projetos de futuras missões do ERS visando avançadas observações da Terra Sólida. (HONVAULT, 1984).

#### 4.5. RADARSAT

O Programa Canadense RADARSAT visa colocar em órbita um RADAR de Abertura Sintética (SAR) e tem lançamento previsto para 1990. A idéia surgiu de estudos feitos pelo Centro Canadense de Sensoriamento Remoto (CCRS) sobre a aplicabilidade de dados do SEASAT (NASA) para o monitoramento das condições de gelo nos mares polares. Destes estudos concluiu-se que um SAR com resolução de 25 a 30 m é essencial para este tipo de monitoramento. Em 1979, com o início da FASE A de estudos do ERS-1 pela ESA, o Canadá uniu-se a esta agência para tomar parte nos estudos. A seguir o programa Canadense teve início e o europeu passou para a FASE B. Em 1984 aprovou-se a FASE B do RADARSAT e também sua participação nas fases C e D do ERS-1. Há entendimentos com a NASA, Grã-Bretanha e outros países poderão participar (SHAW, 1984).

A altitude do satélite é de 1000 km e o alcance operacional do sensor é limitado pelos ângulos de incidência entre 20° e 45°. O ângulo máximo de incidência é de 50°. Devido a limitações do sensor ele não pode cobrir o alcance operacional total numa faixa, então 4 subfaixas foram selecionadas, onde o imageamento é feito através da inclinação da antena. (DERENYI, 1984).

**TABELA 1**  
**RELAÇÃO ENTRE ÂNGULOS INCIDENTES E LARGURA DA SUB-FAIXA**

SUB-FAIXAS	ÂNGULOS INCIDENTES (em °)	LARG. SUB-FAIXA
1	20,00 a 33,77	250 km
2	27,61 a 38,13	209 km
3	33,16 a 41,81	187 km
4	37,62 a 45,00	172 km
(5)	43,50 a 50,00	67 km

Um dos parâmetros projetados para o RADARSAT é a capacidade de aquisição de dados estereo devido ao considerável aumento da capacidade interpretativa e a obtenção de 3ª dimensão.

A órbita selecionada é repetida exatamente a cada 16 dias com sub-ciclos de 3 dias. Como o satélite carrega um sensor ótico, a órbita é sincronizada com o sol com inclinação de 99,59°. O corredor de navegação ártico terá 2 coberturas diárias. No RADARSAT a posição do "solar array" é adequada para seleção de órbita e possui grande alcance. A esta configuração incluem-se um mapeador temático e um medidor de dispersão, instrumentos que serão aproveitados em outras missões.

O RADARSAT terá seus dados enviados diretamente para a estação re-

ceptora do terreno ou gravados a bordo. Os dados serão enviados através de satélites de comunicação para o centro de controle da Missão em Ottawa, onde serão processados e os produtos serão distribuídos para os centros de análise de imagens dos usuários.

A dupla cobertura do corredor de Navegação Ártico proporcionará uma continuidade temporal aos dados disponíveis. Assim se poderá acompanhar a dinâmica do gelo através de monitoramento diário. Há aplicações também no estudo de ondas, comprimento e direção. Dados multitemporais poderão ser usados para seguir o processo de colheita, seu tipo, etc. (SHAW, 1984).

#### 4.6. SIR-A

O Programa Shuttle Imaging Radar (SIR) consiste numa série de experimentos de RADAR em espaçonaves fazendo uso do Space Shuttle, e teve início com o lançamento do STS-2 (Second Shuttle Mission) em Novembro/81. Tratava-se de um RADAR de Abertura Sintética na Banda L com comprimento de onda de 23,5 cm e polarização Horizontal. A resolução espacial foi de 40 m em azimute e alcance e os produtos foram filmes positivos na escala aprox. de 1:50.000. Nessa missão o sensor operou por 8 horas sobre 10 milhões de km<sup>2</sup>.

#### 4.7. SIR-B

O Shuttle Imaging RADAR-B (SIR - B) fornecerá imagens com o recurso de ângulos de incidência múltipla e dados de imagens digitais. O SIR-B, juntamente com a LFC, está incluído no grupo de experimentos de observação da Terra OSTA-3, conduzido pela NASA. (WU, 1984) Ele apresenta altitude nominal de 225 km, a cobertura é feita entre as latitudes 57°N e 57°S. É possível se obter visão estereoscópica.

Uma área poderá ser vista de 6 diferentes ângulos de incidência e a resolução de alcance varia de 17 a 58 m, conforme variam os ângulos de incidência. A resolução na direção azimute é 25 m.

**TABELA 2**  
**RELAÇÃO ENTRE ÂNGULO DE INCIDÊNCIA E RESOLUÇÃO DE ALCANCE**

ÂNGULO DE INCIDÊNCIA	RESOLUÇÃO DE ALCANCE
15°	58,4 m
24°	37,1 m
33°	27,7 m
42°	22,5 m
51°	19,4 m

O SIR-B é indicado para mapeamento nas escalas 1:250.000 até 1:50.000 (escala do mapa) nos padrões de exatidão dos mapas nacionais. São qualidades do SIR-B os ótimos ângulos de incidência do RADAR, a capacidade de múltiplos ângulos de incidência e a ótima geometria de iluminação. (WU, 1984)

## 5. ESTÁGIO ATUAL DO SENSORIAMENTO REMOTO NO BRASIL

### 5.1. PROJETO RADAMBRASIL

Este projeto é responsável pelo mapeamento de todo o território nacional através de Imagens de RADAR. A região da Bacia Amazônica, por possuir densa vegetação e estar frequentemente recoberta de nuvens, impossibilita a aplicação de técnicas aerofotogramétricas e levantamentos topográficos para mapeamento. A aplicação de satélites passivos é dificultada pela presença de nuvens e, portanto, a solução mais viável é a aplicação do imageamento por RADAR para elaboração de mapas na escala 1:1.000.000 pois este tipo de imageamento independe das condições do tempo e apresenta resolução aceitável para um reduzido número de pontos de apoio no terreno. Projetos com RADAR envolvem todos os países com território na bacia amazônica. As bases do Projeto RADAMBRASIL situam-se em diversas capitais brasileiras e cada base apresenta divisões nas seguintes áreas: Geologia (DIGEO), Pelologia (DIPED), Geomorfologia (DIMOR), Vegetação (DIVEG), Uso Potencial da Terra (DUPOT) e Cartografia (DICAR), nas quais atuam equipes interdisciplinares

O imageamento foi efetuado pela Empresa LASA Engenharia e Aerolevanteamento S.A. As bases, através das divisões, trabalham no mapeamento a partir de imagens de RADAR na escala 1:250000 para produzir cartas-imagem nesta mesma escala. São produzidos mapas cartográficos, geológicos, Geomorfológicos, Exploratórios de solos, de aptidão Agrícola, Fitoecológicos, de Uso e Potencial da Terra. Através da composição de diversas cartas-imagem para cada especialidade se obtém o mapeamento de todo o território nacional na escala 1:1.000.000. A falta de altimetria (curvas de nível) é parcialmente suprida pela possibilidade de visão do relevo nas imagens de RADAR. Os mapas do projeto RADAMBRASIL oferecem informações que podem ser aproveitadas nos estudos da Prospeção Mineral, Agricultura, Pecuária, Extrativismo Vegetal, Planejamento Regional, etc. O usuário pode fazer uso de mosaicos semi-controlados nas escalas 1:250.000 e 1:1.000.000 em cópias "off-set" ou fotográficas. (ALMEIDA, 1976).

### 5.2. Produtos Disponíveis no Brasil

Atualmente estão disponíveis:

- Imagens LANDSAT MSS: Quick Look, Bulk e Precision fornecidas pelo INPE na escala 1:250.000, 1:500.000 e 1:1.000.000 (em papel ou transparentes);

- Imagens LANDSAT TM: Quick Look, Bulk fornecidas pelo INPE nas escalas 1:250.000, 1:500.000 e 1:1.000.000.

- Imagens de RADAR do Projeto RADAMBRASIL.

Estão em fase de desenvolvimento no INPE:

- modelo de correção de Imagens TM com pontos de controle;

- estudos para capacitação de correção de Imagens SPOT com visada vertical.

São produtos de aplicação cartográfica:

- Imagens LANDSAT MSS para mapeamento planimétrico em 1:250.000 (Convênio INPE-DSG/MEX), Das imagens TM e SPOT espera-se melhor qualidade para utilizar a escala 1:100.000;

- Implementação feita pelo INPE para formação de um conjunto de documentos temáticos obtidos de imagens de satélite (convênio INPE-DSG/MEX).

Além disto, o INPE está desenvolvendo um Sistema Geográfico de Informação (SGI) onde serão analisadas regiões localizadas combinando imagens de satélite, cartas topográficas e temáticas e mapas pontuais. Todo o sistema está sendo montado com base em computador de fabricação nacional. (CAMARA NETO, 1985).

### 6. QUADRO COMPARATIVO (Vide Página Seguinte).

### 7. CONCLUSÃO

Podemos notar a evolução constante dos Sistemas de Imageamento em todos os níveis, seja para atingir objetivos como aumento de precisão, maior rapidez no imageamento ou para proporcionar maior diversidade de informações aos usuários.

A maior precisão é notada no caso de Câmaras como a LFC e a Métrica, proporcionando mapeamento na escala 1:50.000. Salientamos a rapidez do TERS, que imageando na faixa equatorial oferece 4 passagens por dia iluminado. Os Imageadores Ativos dotados do sistema SAR apresentam-se cada vez mais sofisticados. Como exemplo, cita-se a resolução espacial do SIR-B de 25 m na direção azimute e de 17 a 58 m na direção alcance.



Deve-se destacar o investimento de países como França, Japão, Canadá, Alemanha e outros que, individualmente, ou através de associações, aprofundam seus estudos e começam a produzir os seus próprios sensores. Estas iniciativas são positivas pois criam uma saudável competição tecnológica e científica aliada a uma menor dependência das super-potências.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, V.J. de. Leitura dos Mapas do Projeto RADAMBRASIL. In: Curso de Especialização: Geomorfologia Aplicada a Imagens de RADAR (GERAR). Belém, RADAMBRASIL, 1976. (Apostila de Circulação Interna).
- ASP (AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY) Manual of Remote Sensing, 1. ed., Falls Church, ASP, 1975.
- BÄHR, H.P. Geometrical Analysis and Rectification of LANDSAT MSS Imagery: Comparison of Different Methods, Frankfurt; Institut für Angewandte Geodäsie, 1978.
- CAMARA NETO, G. Perspectivas em Cartografia por Satélite no Brasil: 1985-1990. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 12. Brasília, 1985.
- CHEVREL, M. The SPOT Satellite Remote Sensing Mission. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 47: 1163-1171, 1981.
- COLVOCORESSES, A.P. An Automated Mapping Satellite System (MAPSAT). Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48: 1585-1591, 1982.
- CURRAN, P.J. Principles of Remote Sensing, New York, Longman, 1985. 282 p.
- DERENYI, E.E.; STUART, A.J. Geometric Aspects of Spaceborne Stereo Imaging RADAR. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF INTERN. SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 15, Rio de Janeiro, Commission VII, p. 153-161, 1984.
- DFVLR (DEUTSCHE FORSCHUNGS-UND VERSUCHSANSTALT FÜR LUFT-UND RAUMFAHRT) MOMS-01: Amoucement of Opportunity. DFVLR, 1984.
- DOYLE, F.J. Satellite System for Cartography. International Hydrographic Review. Mônaco. p. 93-108, 1982.
- ENGEL, H. et alii. Investigation of Metric Camera Data Quality. In: INTERN. CONGRESS OF INTERN. SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 15. Rio de Janeiro, Commission I, p. 64-69, 1984.
- GARCIA, G.J. Perspectivas do Sensoriamento Remoto na Análise Ambiental. Geografia, Rio Claro, 9 (17/18): 133-143, 1984.
- GARCIA, G. J. Sensoriamento Remoto: Princípios e Interpretação de Imagens. São Paulo, Nobel, 1982.
- HOEKE, A.P.; IRSYAM, M. Tropical Earth Resources Satellite (TERS). In: INTERN. CONGRESS OF INTERN. SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 15. Rio de Janeiro, Commission I, p. 132-140, 1984.
- HONVAULT, C. Planned by the European Space Agency (ESA). In: INTERN. CONGRESS OF INTERN. SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 15. Rio de Janeiro, Commission I, p. 141-150, 1984.
- ITEK OPTICAL SYSTEMS. Large Format Camera. Massachusetts, s.d. 1 v. (especificações da LFC).
- KONECNY, G. The Evaluation of SPACELAB 1 - Photogrammetric Camera Data. In: INTERN. CONGRESS OF SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 15. Rio de Janeiro, Commission I, p. 180-183, 1984.
- MURAT, S.; SAKATA, T. Earth Observation Satellite Projects in Japan. In: INTERN. CONGRESS OF INTERN. SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 15. Rio de Janeiro, Commission I, p. 204-212, 1984.
- RIVEREAU, J.C. SPOT Imagery, Future Products and Potential Application. In: INTERN. SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 15. Rio de Janeiro, Commission VII, p. 453-460, 1984.
- SHAW, E. et alii. The Canadian Radarsat Programme. In: INTERN. CONGRESS OF INTERN. SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 15. Rio de Janeiro, Commission I, p. 251-264, 1984.
- SILVA, W.C.C. da; FERREIRA, L.D.D.; MAIA, J.C. Estudo do Imageamento e Distorções Geométricas das Imagens LANDSAT. Revista Brasileira de Cartografia, 23: 41-60, 1979.
- TOMMASELLI, A.M.G. Câmara de Grande Formato (LFC) Curitiba, UFPR, 1984. (Seminário, não publicado).
- WELCH, R. Cartographic Potential of a Spacecraft Line-Array Camera System: STEREO-SAT. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 47: 1173-1185, 1981.

WOOD, G.A. Mission Planning Parameters for the Space Shuttle Large Format Camera. In: Proceeding of the American Society of Photogrammetry. Washington, v. 2, p. 540-550, 1979.

WU, S.S.C. Mapping from Shuttle Imaging Radar, SIR-B Experiment. In: INTERN. CONGRESS OF INTERN. SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 15. Rio de Janeiro, Commission VII, p. 521-525, 1984.