

## Descrição funcional do sistema sensor MSS-SIVAM

Alessandra Lisita <sup>1</sup>  
Romero da Costa Moreira <sup>2</sup>  
Mauro Mendonça Magliano <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Academia Nacional de Polícia – ANP/DGP/DPF  
Rodovia DF 001, Km 02, Setor Habitacional Taquari  
CEP: 71559-900– Brasília - DF, Brasil  
alessandra.al@dpf.gov.br

<sup>2</sup> Instituto de Estudos Avançados - IEAv/CTA  
Caixa Postal 6044 – 12.231-970 – São José dos Campos - SP, Brasil  
moreira@ieav.cta.br

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Criminalística - DPF  
SAIS Quadra 07 Lote 23 – 70.610-200 – Brasília - DF, Brasil  
magliano.mmm@dpf.gov.br

**Abstract.** This paper describes the MultiSpectral Scanner (MSS) imagery system, installed in the R99-B aircrafts from the Amazon Surveillance System – SIVAM. Information about the technical specifications and operation of the system are provided, including its components such as sensor unit, electronic processing unit and operator interface, based on the manufacturer manuals. The spectral resolution of MSS-SIVAM imagery system is highlighted, due to the 28 visible and near infrared bands, 2 shortwave infrared and 1 thermal infrared bands. The system is able to operate by grouping the 31 bands into a spectral resolution of 11 bands, with correspondence to the channels of Thematic Mapper sensor of the Landsat series. Data from the sensor unit is converted in real time images for visualization during the flight, in a 16 bit quantization. Additionally, the system is provided with ground processing software to enhance the Bands Interleaved by Lines (BIL) image files. The advantages of the MSS-SIVAM system include the possibility to achieve ground resolution from 0.5 to 20 meters, also considering the conveniences of an airborne programmable mission. This imagery system has unique features in Brazilian context, showing the importance of spreading its characteristics, once the use of this data in remote sensing scientific community is still undertaken.

**Palavras-chave:** *remote sensing, multispectral imaging, airborne optical scanner*, sensoriamento remoto, imageamento multiespectral, sensor óptico aerotransportado de varredura, MSS, SIVAM.

## 1 Introdução

As aeronaves R99-B do Sistema de Vigilância da Amazônia – SIVAM são equipadas, dentre outros recursos, com o sistema sensor imageador *MultiSpectral Scanner (MSS)*, a ser aqui denominado como MSS-SIVAM. Devido à dedicação prioritária dos sensores remotos do SIVAM à Amazônia Legal, onde a cobertura de nuvens sempre foi um limitador para a aquisição de imagens óticas, o sensor *Synthetic Aperture Radar – SAR-SIVAM* é atualmente mais conhecido e explorado que o sensor MSS-SIVAM.

Até hoje poucas e restritas coletas de dados ópticos multi ou hiperespectrais de caráter científico puderam ser realizadas no país com sensores aerotransportados, todas elas com equipamentos de propriedade estrangeira (Moreira *et al.*, 2005). A versatilidade do sensoriamento remoto é característica importante para estudos de impacto da ação antrópica sobre o ambiente em que os processos possuem caráter dinâmico (Lucca *et al.*, 2005).

A presente descrição funcional do sistema sensor MSS-SIVAM, baseada principalmente nos manuais do fabricante (GER, 2000; GER, 2003), visa ampliar o conhecimento científico sobre as características espaciais, espectrais e radiométricas do sensor, além de versatilidade do

sensor, para que possa integrar-se às pesquisas nacionais de sensoriamento remoto nas diversas aplicações ambientais e estratégicas para as quais foi projetado.

## 2 Componentes do sistema MSS-SIVAM

O sistema sensor MSS-SIVAM apresenta composição modular, fabricado pela *Geophysical and Environmental Research Corporation* - GER, modelo EPS-A 31T, composto por uma unidade sensora, uma unidade eletrônica de processamento e uma interface com o operador.

O conjunto sensor do MSS-SIVAM é instalado num compartimento externo situado atrás da asa da aeronave, e seus demais macrocomponentes, detalhados neste trabalho, são instalados no mesmo console do *Optical and Infrared Sensor* - OIS, podendo-se operá-los simultaneamente ou isoladamente (Fonseca, 2005). O diagrama do sistema sensor MSS-SIVAM é apresentado na Figura 1.

O sistema também possui uma estação de trabalho externa para efetuar processamento e armazenamento dos dados após a missão de imageamento. O *Ground Processing Software*, aplicativo da fabricante GER, possibilita a extração dos dados das fitas de voo e executa algumas funções de pós-processamento.

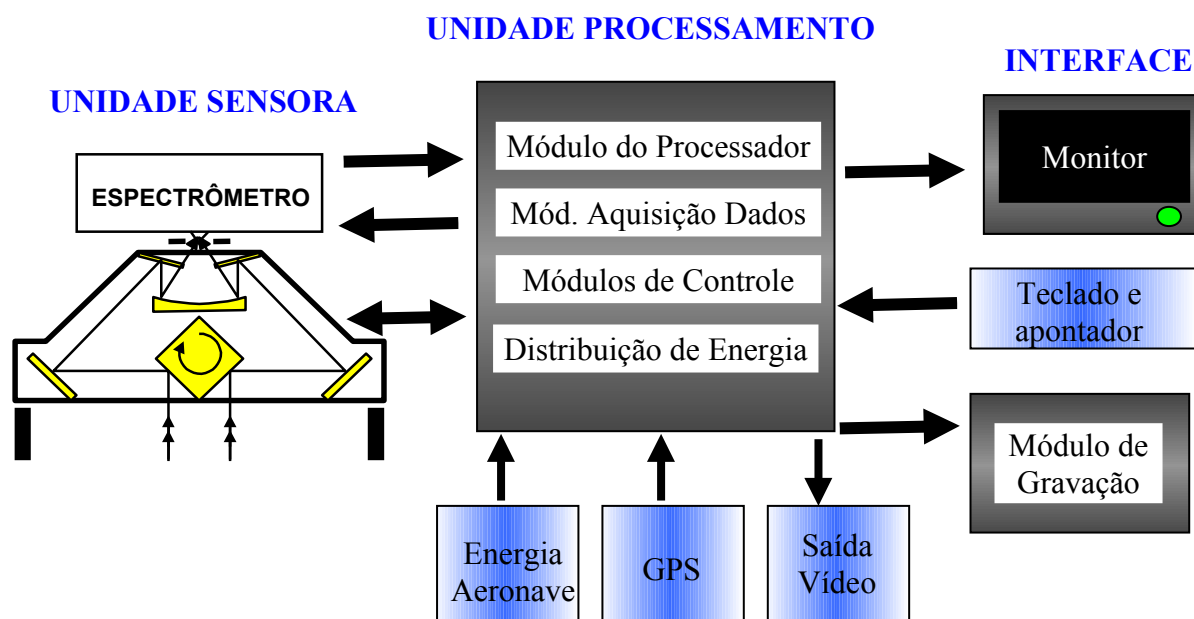


Figura 1: Diagrama do sistema sensor MSS-SIVAM. Adaptado de GER (2003).

### 2.1 Unidade sensora:

A unidade sensora contém todos os componentes óticos do sistema MSS-SIVAM, responsável pela captação e conversão de determinadas faixas do espectro de radiação eletromagnética em sinal elétrico analógico, e pela amplificação desse sinal. Essa unidade, embora fisicamente integrada, é dividida pelo fabricante em dois módulos: módulo de varredura e o módulo espectrômetro (Figura 2).

O módulo de varredura, ou cabeça de varredura (*scan head*), adquire a imagem ótica e a focaliza em uma abertura ajustável localizada no espectrômetro. Este módulo coletor é responsável pelas características espaciais do sistema sensor MSS-SIVAM.

O módulo espectrômetro decompõe a energia radiante proveniente do módulo de varredura nas faixas espectrais e a converte em sinais eletrônicos. O módulo espectrômetro também contém um dispositivo giroscópio que é usado para a correção da altitude no pós-

processamento. Este módulo detector é responsável pelas características espectrais do sistema sensor MSS-SIVAM.

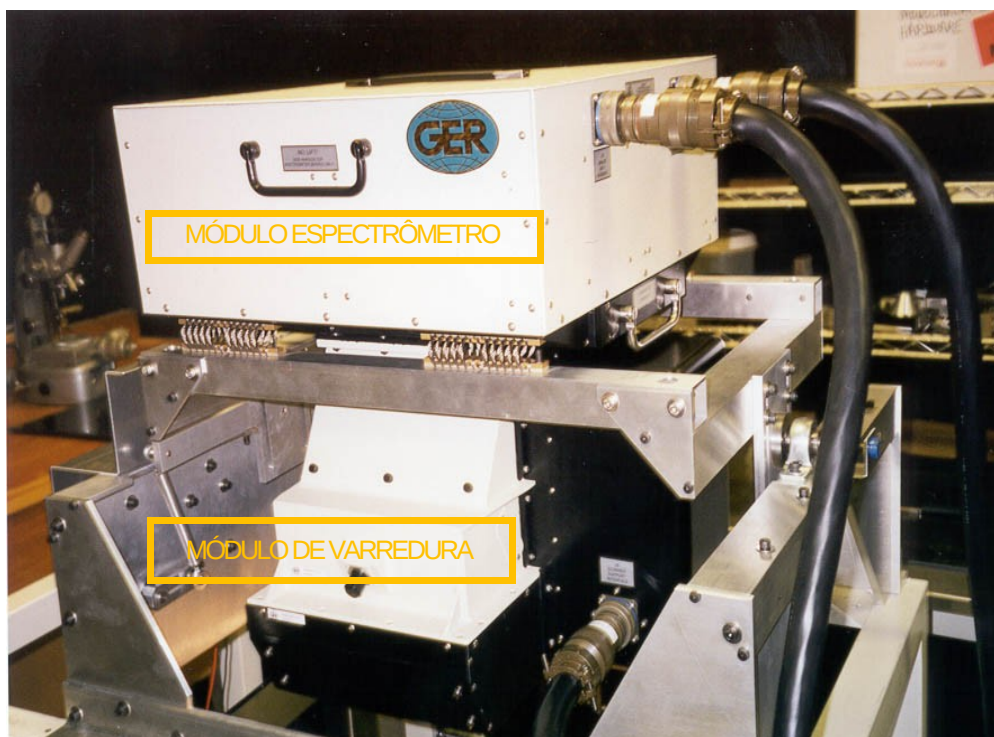


Figura 2: Unidade sensora do sistema sensor MSS-SIVAM. Dimensões aproximadas: 91x78x88 cm e 54.5 Kg.

### 2.1.1 Módulo de varredura

O módulo de varredura é um coletor linear da energia radiante (método *whisk broom*) baseado em um *scanner* tipo Kennedy, que consiste em um espelho rotatório multi-facetado de velocidade ajustável e um conjunto de espelhos planos defletores e focalizadores. A velocidade pode ser ajustada entre 1 a 100 linhas/segundo para para o Ângulo de Visada Instantâneo (*Instantaneous Field Of View* – IFOV) de 2,5 mrad e 1 a 70 linhas/segundo para IFOV de 1,25 mrad, em intervalos de 1 linha/segundo.

Este tipo de *scanner* divide a energia radiante, refletindo-a simultaneamente para duas vias distintas, que por sua vez são focalizadas de forma coincidente no orifício do espectrômetro. Esse arranjo permite o co-registro e o alinhamento recíproco das imagens simultaneamente refletidas, para posterior decomposição da energia no módulo espectrômetro (Figura 3). Neste modo de aquisição, à medida que o espelho gira, a focalização do campo de visada gira e os dados são coletados ao longo da área imageada para formar uma linha de varredura. O campo de visada FOV (*Field of View*) é de 90° transversal à linha de vôo, com correção automática de rolamento de até  $\pm 15^\circ$ . As linhas varridas são acumuladas ao longo da faixa de vôo conforme o deslocamento da aeronave e uma imagem da faixa sobrevoada é produzida.

Um conjunto de dois corpos negros de referência é montado nas extremidades da abertura da cabeça de varredura que são lidos no início e no final de cada linha para calibração dos dados da radiação eletromagnética na faixa termal.

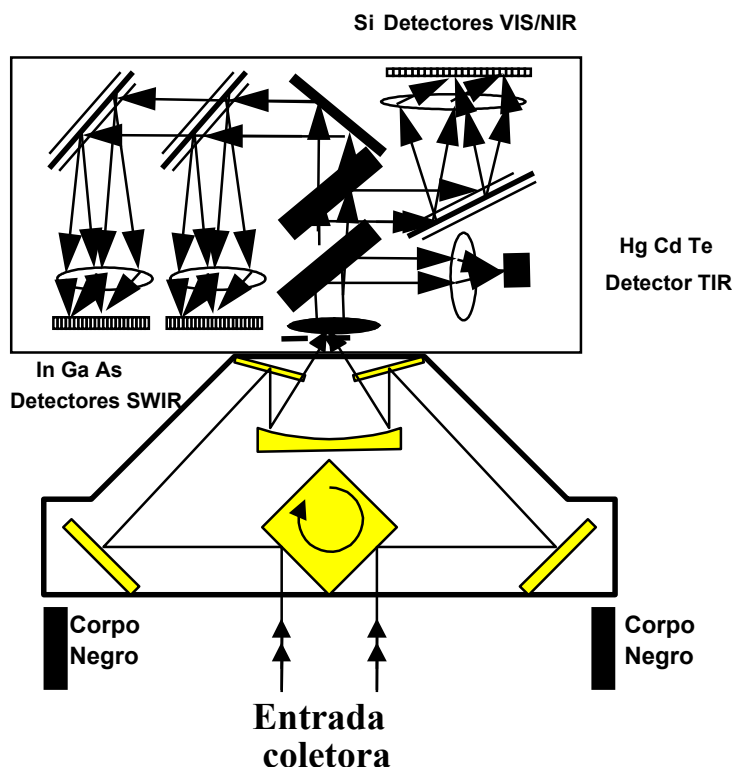


Figura 3: Arranjo óptico dos módulos de varredura e espectrômetro, com *scanner* tipo Kennedy utilizado no sistema sensor MSS-SIVAM e os três conjuntos de detectores. Adaptado de GER (2003)

### 2.1.2 Módulo Espectrômetro

O espectrômetro recebe a energia radiante proveniente do módulo de varredura por meio de uma abertura única ajustável denominada por Moreira *et al.* (2005) de pupila limitadora. Esse orifício determina o tamanho da área de entrada de radiação no espectrômetro, restringindo o fluxo radiante e, portanto, especifica o IFOV do sensor. O sistema sensor MSS-SIVAM pode operar com IFOV de 2,5 mrad e 1,25 mrad, conforme a abertura da pupila limitadora, selecionável em vôo pelo operador.

O campo de visada de todas as bandas espectrais é determinado pela pupila limitadora de modo que todos os canais do espectrômetro são completamente co-registrados para assegurar medições acuradas do espectro em cada pixel sem necessidade de correções espaciais adicionais no sistema ótico.

A luz que passa pela abertura é decomposta em quatro regiões espectrais por conjuntos de detectores com diferentes composições. Os 28 detectores da região espectral VIS/NIR são produzidos com compostos de silício (Si), os dois detectores da região do SWIR com compostos de Índio-Gálio-Arsênio (In Ga As) e o detector da região TIR com compostos de Mercúrio-Cádmio-Telúrio (Hg Cd Te).

O MSS-SIVAM apresenta dois modos de operação quanto à resolução espectral. Pode-se ajustar o sistema para prover informações distintas nos 31 canais ou formar agrupamentos de bandas para reuni-las em 11 canais, modificando-se a largura das bandas. As faixas espectrais dos canais SWIR e do canal TIR não podem ser alteradas nos dois modos de operação.

De forma geral, o modo de operação em 31 bandas é indicado quando a resolução espectral é mais importante que a resolução radiométrica, enquanto que no modo 11 bandas a resolução radiométrica é privilegiada, gerando também menores arquivos de dados.

## **2.2 Unidade eletrônica de processamento**

Esta unidade de característica modular concentra as diversas etapas do processamento das imagens do sistema sensor MSS-SIVAM durante a aquisição das imagens. Uma placa controladora tipo VME (*VERSA Module Eurocard bus*) agrupa e interliga os componentes, quais sejam o módulo do processador, o módulo de aquisição de dados, os módulos controladores mecânicos e de temperatura e o módulo de gravação, além de outros periféricos como o módulo de GPS e módulos de saída de vídeo. Esta unidade é responsável também pela distribuição de energia aos componentes do sistema, a partir de uma tomada de energia 28V DC da aeronave.

### **2.2.1 Módulo do processador**

Computadores tipo UltraSPARC™ sediam a instalação dos *softwares* que realizam os todos os processamentos no sistema MSS-SIVAM, bem como gerenciam os dispositivos eletrônicos ligados ao sistema, a partir dos comandos executados pela interface com o operador (teclado e dispositivo apontador), principalmente por meio do *software* GER's HyperView™. Os dados são lidos da placa conversora de sinais analógicos para digitais – ADC (*Analog to Digital Converter*) e são gravados ou mostrados na tela em tempo real durante o vôo, por substituição de linhas no sentido vertical (do topo para a base da monitor). A interface de gravação utilizada é a placa padrão SCSI (*Small Computer System Interface*), que apresenta boa versatilidade para atualização tecnológica do sistema de gravação de dados.

### **2.2.2 Módulo de aquisição de dados**

O módulo de aquisição de dados consiste de uma placa condicionadora de sinal, uma placa ADC e uma placa controladora de tempo.

A placa condicionadora de sinal recebe os sinais elétricos analógicos do espectrômetro e os ajusta mediante ganho, correção (*offset*) e filtros passa-baixa para melhorar a relação sinal/ruído para as diferentes velocidades de varredura. Esta placa contém 32 canais paralelos correspondentes aos canais da placa ADC, que converte simultaneamente os dados analógicos em valores digitais para serem registrados e exibidos pelo programa Hyperview™. Trinta e um (31) desses canais são dados espectrais (28 canais no VIS/NIR, 2 do SWIR e 1 TIR) e o canal restante é um canal de manutenção do sistema, multiplexados no tempo, utilizado para gravar informações do giroscópio, de temperatura e de voltagem do sistema.

A placa controladora de tempo gera informações sobre o momento de aquisição dos dados da placa ADC, utilizando sinais de posicionamento absoluto do espelho, fornecidos pelo codificador óptico do prisma giratório. Isto garante que a coleta do sinal do detector esteja sincronizada com a posição do espelho de varredura e os dados sejam eficientemente transferidos ao final de cada varredura de linha.

Antes da conversão, os sinais analógicos dos 31 canais do espectrômetro passam pelas etapas de pré-amplificação, de agrupamento de sinais ou amplificação secundária (para resultado em 11 bandas), e de condicionamento do sinal, para então gerar um sinal digital utilizado na formação da imagem.

### **2.2.3 Módulos de Controle**

Os módulos de controle consistem em um módulo controlador do motor, um módulo amplificador de potência e um controlador do corpo negro duplo.

O módulo controlador é responsável pelo motor do prisma giratório e pelo motor de abertura do espectrômetro. O controlador do prisma giratório utiliza o retorno do codificador do próprio prisma para garantir a precisão da velocidade do motor. A controladora do passo de

abertura, ou pupila limitadora, utiliza um sensor interno de efeito *hall* a fim de fornecer uma referência de posição precisa.

Os controladores dos corpos negros utilizam a resposta de retorno dos sensores remotos de temperatura dos corpos negros a fim de fornecer temperaturas estáveis a estes. Todos os controladores são programados através de uma interface para o usuário do programa Hiperview™ que fornece controle em tempo real de seus respectivos parâmetros.

#### 2.2.4 Módulo de Gravação

O sistema sensor MSS-SIVAM utiliza uma gravadora de fita *exabyte mammoth 8900* para armazenar os dados de voo. A gravadora é montada no console eletrônico, tendo capacidade de gravar a uma taxa sustentável de até 3Mb/seg, em fita *exabyte 170AME™*, com capacidade de 20Gb não comprimidos.

A gravação em tempo real inclui os dados das bandas espectrais (11 ou 31 canais), informações de manutenção do sistema (1 banda de informações do giroscópio, temperaturas, voltagens) e informações de metadados (1 banda para GPS, registros temporais, entre outros) formando um total de 13 ou 33 bandas de dados.

### 3 Características Espaciais e Radiométricas do sistema sensor MSS-SIVAM

A resolução espacial do sistema sensor MSS-SIVAM dependerá da altitude estabilizada da plataforma (aeronave R99-B) e das configurações da unidade sensora. O sistema pode operar com IFOV de 2,5 mrad e 1,25 mrad, selecionáveis em voo pelo operador, o que possibilita resolução espacial variando de 0,5 a 20 metros, conforme a altitude da aeronave, o que, por sua vez, depende de condições específicas da missão de voo.

A resolução espacial é resultado do cálculo do GFOV (*Ground Instantaneous Field of View*). O tamanho do *pixel* em metros ( $d$ ) é calculado a partir da altura de voo em metros ( $HV$ ) e do ângulo de visada instantâneo – IFOV ( $\alpha$ ) em radianos conforme a Equação 1:

$$d = 2HV.tg(\alpha/2) \quad (1)$$

Cada linha varrida consiste em um número de *pixels* do tipo inteiro com sinal, com resolução radiométrica de 16 *bits*. O número total de pixels em cada linha de varredura é de 1024 no modo de baixa resolução espacial (IFOV 2,5 mrad) e 2040 no modo de alta resolução (IFOV 1,25 mrad), com tolerância de rolamento de  $\pm 15^\circ$ . Em condições de ausência de rolamento da aeronave, o número nominal de pixels imageados em cada linha de varredura é 896 no modo de baixa resolução e 1792 no modo de alta resolução. Os pixels, após o processamento, formam arquivos de imagens em formato *Bands Interleaved by Lines* – BIL (GER, 2000).

### 4 Características Espectrais do sistema sensor MSS-SIVAM

O espectrômetro da unidade sensora contém 4 conjuntos de detectores individuais nas faixas VIS/NIR, SWIR1, SWIR2 e TIR, que separam a energia radiante em 31 bandas, sendo 28 bandas contíguas entre 0,420 e 1,050  $\mu\text{m}$ , 2 bandas do SWIR e 1 do TIR, que podem ser agrupadas em 11 bandas com correspondência aos canais da série Landsat TM. As características espectrais no modo de 31 bandas do sistema sensor MSS-SIVAM são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características das bandas espectrais do sistema sensor MSS-SIVAM.

Numero da Banda (modo 31 canais)	Comprimento de onda inicial ( $\mu\text{m}$ )	Comprimento de onda final ( $\mu\text{m}$ )	Numero Banda (modo 11 canais)	Banda Landsat TM correspondente
1	0,420	0,450	1	
2	0,450	0,480	2	1
3	0,480	0,520		
4	0,520	0,550		
5	0,550	0,575	3	2
6	0,575	0,600		
7	0,600	0,630	4	
8	0,630	0,660		
9	0,660	0,675	5	3
10	0,675	0,690		
11	0,690	0,710		
12	0,710	0,725	6	
13	0,725	0,745		
14	0,745	0,750		
15	0,760	0,780		
16	0,780	0,795		
17	0,795	0,815		
18	0,815	0,830	7	4
19	0,830	0,850		
20	0,850	0,865		
21	0,865	0,885		
22	0,885	0,900		
23	0,910	0,930		
24	0,930	0,955		
25	0,955	0,980	8	
26	0,980	1,010		
27	1,010	1,035		
28	1,035	1,050		
29 (SWIR)	1,550	1,750	9	5
30 (SWIR)	2,080	2,350	10	7
31(TIR)	8,500	12,500	11	6*

\* A banda 6 do Landsat TM apresenta comprimento de onda entre 10,4 a 12,5 ( $\mu\text{m}$ ).

## 5 Considerações finais

A Tabela 2 apresenta uma compilação das características técnicas do sistema sensor MSS-SIVAM. Esse sistema, que apresenta características singulares no panorama nacional, compõe o conjunto de sensores remotos a bordo das aeronaves utilizadas pelo SIVAM. Poucos são os trabalhos científicos que têm explorado este sistema sensor até o momento. Espera-se que a divulgação da descrição funcional do sistema sensor junto à comunidade científica estimule a aplicação de suas potencialidades, contribuindo para o desenvolvimento do sensoriamento remoto aerotransportado no Brasil.

TABELA 2 – Compilação das características técnicas do sistema sensor MSS-SIVAM, adaptada de Fonseca (2005).

Fabricante	Geophysical and Environmental Research Corp. – GER (Estados Unidos)
Modelo	EPS A 31T
Tipo	Imageador de varredura de linha com prisma rotativo de 4 faces, ótica Kennedy
Campo de Visada (FOV)	90° transversal à linha de vôo, com correção

	automática de rolamento de até $\pm 15^\circ$
Campo de Visada Instantâneos (IFOV)	2,5 mrad e 1,25 mrad, selecionáveis em vôo pelo operador
Velocidades de Varredura	1 a 100 linhas/segundo para 2,5 mrad
	1 a 70 linhas/segundo para 1,25 mrad
	selecionáveis pelo operador em intervalos de 1 varredura/segundo
Quantização dos dados	16 bits
Bandas espectrais (comprimento de onda nominal)	28 bandas contíguas entre 0,420 e 1,050 $\mu\text{m}$ , integráveis em 8 bandas equivalentes aos canais da série Landsat TM
	1 banda de 200 nm centrada em 1,650 $\mu\text{m}$
	1 banda de 270 nm centrada em 2,215 $\mu\text{m}$
	1 banda de 8,50 a 12,50 $\mu\text{m}$ [canal termal; operação diurna e noturna]

### Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração da CCSIVAM, CTA, COMGAR, III FAE e 2°/6°GAv., que disponibilizaram equipamentos, dados e/ou meios para a realização do trabalho.

### Referências Bibliográficas

Fonseca, J.S. **Aeronaves de sensoriamento remoto do Sistema de Vigilância da Amazônia**. In: 1a Reunião de Coordenação das Atividades de Planejamento, Execução e Produção de Imagens de Missões de Sensoriamento Remoto Realizadas Pelas aeronaves R-99 B e R-95 Brasília – DF. CD-Rom. 10p. 2005.

GER – Geophysical and Environmental Research Corporation. **EPS-A 31T Maintenance Manual Rev H, Doc52A007**, 2003.

GER – Geophysical and Environmental Research Corporation. **Multi-Spectral Scanner (MSS) for the SIVAM program RevJ, SDRL No. A003, MSS Interface Control Document**, 2000.

Lucca, E.V.D.; Bandeira, J.V.; Lorenzetti, J.A.; Moreira, R.C.; Castro, R.M.; Salim, L.H.; Zaloti Júnior, O.D.; Espósito, E. S.C. Uso de sensor hiperespectral aerotransportado no monitoramento da pluma termal oceânica de corrente da descarga de refrigeração da central nuclear de Angra dos Reis. **Revista Brasileira de Cartografia**: 57:48-55, 2005. (ISSN 1808-0936).

Moreira, R.C.; Castro, R.M.; Espósito, E. S.C.; Lucca, E.V.D. Sensor hiperespectral HSS: sumário das características técnicas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 12., **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 4517-4524. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.03.16.58/doc/4517.pdf>>. Acesso em 04 de nov. 2008.