



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-8984-PUD/62

## **CAPÍTULO 3**

### **PARTE B**

# **IMAGENS PARA MAPEAMENTO GEOLÓGICO E LEVANTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS: RESUMOS PARA USO DOS CENTROS DE ATENDIMENTO A USUÁRIOS – ATUS DO INPE**

*Paulo Roberto Martini*

# **CAPÍTULO 3**

## **SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DO MEIO AMBIENTE**

**Parte B:**

### **IMAGENS PARA MAPEAMENTO GEOLÓGICO E LEVANTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS: RESUMO PARA USO DOS CENTROS DE ATENDIMENTO A USUÁRIOS-ATUS DO INPE.**

**PAULO ROBERTO MARTINI<sup>1</sup>  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
COORDENADORIA DE OBSERVAÇÃO DA TERRA  
DIVISÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

---

<sup>1</sup> [martini@ltid.inpe.br](mailto:martini@ltid.inpe.br)

## ÍNDICE

<b>LISTA DE TABELA .....</b>	<b>3B-12</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3B-5</b>
<b>2. APRESENTAÇÃO DE PRODUTOS .....</b>	<b>3B-5</b>
<b>3. CONTEÚDO DE INFORMAÇÃO .....</b>	<b>3B-6</b>
<b>3.1 BANDAS: ATRIBUTOS ESPECTRAIS .....</b>	<b>3B-6</b>
<b>3.2 ESCALAS E RESOLUÇÃO: ATRIBUTOS ESPACIAIS .....</b>	<b>3B-9</b>
<b>3.3 ATRIBUTOS TEMPORAIS .....</b>	<b>3B-10</b>
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>3B-11</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

Imagens de satélites, principalmente aqueles de perfis tecnológicos semelhantes ao LANDSAT, são ferramentas efetivas para estudos geológicos. Objetivamente pode-se identificar 6 campos principais onde as imagens tem apresentado significativas contribuições. Nestes campos as imagens são ferramentas cotidianas.

- 1.Mapeamento de litologias ou de rochas.
- 2.Mapeamento de estruturas geológicas tipo dobras, falhas, fraturas.
- 3.Levantamento hidrogeológico (água subterrânea).
- 4.Prospecção de óleo e de gas (petróleo)
- 5.Prospecção de bens minerais (ouro, cobre, ferro)
- 6.Impactos ambientais: garimpos, erosão, escorregamentos.

## **2. APRESENTAÇÃO DE PRODUTOS**

Os produtos usualmente utilizados para estas aplicações levam em conta primeiramente o conteúdo de informações da imagem. Este conteúdo temático depende dos atributos espectrais, temporais e espaciais. Além disto, os produtos para os campos acima mencionados podem ser apresentados como imagens em papel (analógicos) ou em meio digital. Neste contexto sempre que a fotointerpretação tenha um papel preponderante sobre a integração de dados de diferentes fontes, existe uma preferência pela imagem em papel preto e branco, ou seja monoespectral.

Para mapeamentos litológicos/estruturais e levantamentos para hidrogeologia utiliza-se preferencialmente imagens em papel preto e branco. As escalas variam de 1:250.000, para levantamentos regionais, a 100.000 para trabalhos de semidetalhe e 1:50.000 para mapas de detalhe.

Para estudos de prospecção para petróleo e bens minerais utilizam-se produtos digitais, uma vez que a integração de dados multifontes através do uso de sistemas de informações georeferenciadas (GIS) é um procedimento comum.

A avaliação de impactos ambientais sobre o meio ambiente físico pode ser feita por produtos em papel colorido, uma vez que a vegetação e a água são importantes indicadores. Nos estudos sobre impactos ambientais de projetos tipo represas ou unidades industriais, chamados RIMAS ou EIA-RIMAS, como envolvem também dados de outras fontes, usam-se preferencialmente dados apresentados em mídia ótica (CD ROM) ou magnética (dat ou exabyte).

### **3. CONTEÚDO DE INFORMAÇÃO**

Para que um produto possa conter maior conteúdo de informação temática é necessário que se agregue a ele os melhores atributos possíveis para uma cena gravada segundo a organização alvo, sensor, sol e data. Assim se um alvo na superfície da Terra reflete seletivamente a radiação solar, precisamos selecionar as bandas que registrem melhor esta refletividade (atributo espectral) bem como o período sazonal onde ele se apresenta mais detectável (atributo temporal) conhecendo se os alvos estudados tem expressão na escala e na resolução da imagem (atributos espaciais).

Situações mais típicas para seleção de imagens com maior conteúdo de informações para aplicações geológicas são apresentadas a seguir. O objetivo sempre é o de agregar às imagens o melhor dos atributos espectrais, espaciais e temporais.

#### **3.1 BANDAS: ATRIBUTOS ESPECTRAIS**

As rochas no Brasil estão constantemente associadas a solos e vegetação. O comportamento das rochas nas imagens é portanto uma combinação das respostas dos elementos rocha/solo/vegetação.

No caso de solos não transportados cobertos por vegetação nativa, o comportamento das rochas se torna mais típico na banda do infravermelho próximo. Esta banda corresponde a LANDSAT ETM-4, SPOT HRG-3 e CBERS CCD-4 Diz-se que quanto mais básica for uma rocha (maior conteúdo de elementos tipo Fe e Mg) mais escura ela aparece no infravermelho próximo. Cabe mencionar como opção de muito baixo custo a banda pancromática do

sensor IR-MSS do CBERS. Esta banda diferentemente das outras bandas PAN abrange parte do infravermelho próxima. As outras terminam no início do infravermelho.

Na faixa visível correspondente a banda do vermelho tanto as rochas ácidas quanto as básicas mostram assinaturas claras sempre que a vegetação não seja alta e densa tipo a mata amazônica. Esta banda é a ETM-3 ou HRG-2 ou CCD-3. A banda pancromática-PA do SPOT-5 poderia também ser recomendada. Na faixa do visível e em domínio amazônico pode-se esperar uma contribuição melhor da banda correspondente ao verde ou seja ETM-2, HRG-1 e CCD-2.

Trabalhos geológicos que envolvam, portanto, mapeamentos de rochas (litologias), de estruturas ou com objetivo de estudar água subterrânea, serão bem atendidos por imagens da banda correspondente ao infravermelho próximo, se possível com o apoio de uma banda do visível, preferencialmente a centrada na faixa do verde.

Trabalhos geológicos voltados a prospecção de bens minerais como cobre, chumbo, zinco, ouro, óleo ou gás, envolvem procedimentos de processamento digital e integração de dados. Nestas situações torna-se necessário explorar com mais profundidade os atributos espectrais das imagens. Assim o recomendável seria que o usuário utilizasse todo o acervo de bandas dos sensores, tanto na faixa visível quanto no infravermelho: 8 bandas ETM ou 5 bandas HRG ou 5 bandas CCD.

A questão é que o usuário normalmente pede para um processamento digital mais simples um conjunto de 3 bandas. No caso de se tornar necessária a seleção de 3 bandas para objetivos de prospecção deve-se buscar ao máximo bandas que cubram todo o espectro ótico, ou seja: visível, infravermelho próximo e o de ondas curtas (short wave infrared). Assim além das bandas do verde e do infravermelho próximo recomenda-se também a banda ETM-7 ou HRG-4. A banda ETM-7 na verdade foi definida a pedido da própria comunidade geológica americana uma vez que tem correlação com a presença de hidroxilas em argilas. Argilas hidroxiladas são indicadoras de possíveis



ocorrências de rochas ricas em cobre, chumbo e zinco. Deve ser entretanto ressaltado que os melhores desempenhos da ETM-7 foram observados em condições de baixa densidade de cobertura vegetal. No ambiente de florestas densas como nos remanescentes de mata atlântica ou na Amazônia, os desempenhos das bandas ETM-5 e ETM-7 para Geologia são semelhantes, trazendo informações sobre o dossel da vegetação e não sobre os solos ou rochas.

Uma ultima opção interessante é o produto composto pelas bandas HRG-2 e 3 do SPOT-5 junto com o seu canal pancromático. Nesta combinação se associam bons atributos espectrais com a ótima resolução espacial de 2.5 metros da banda PA .

Os produtos recomendados para prospecção em Geologia são os digitais. Se analógicos devem ser sempre coloridos.

Estudos sobre áreas onde o meio ambiente físico tenha sido impactado devem ser suportados por uma combinação de bandas que mostrem a situação das águas, da cobertura vegetal e do conjunto rocha/solo. Assim para domínios de floresta densa a composição RGB: ETM-543, HRG-432 e CCD-342 atendem a maior parte dos objetivos. Terrenos de baixa densidade vegetal (não amazônicos) serão melhor atendidos por composições “falsa-cor normais”, ou seja com RGB: ETM-432 ou HRG-321, ou mesmo CCD-432. Estudos recentes mostram que o desempenho do IRMSS-CBERS em bandas pancromática e do infravermelho de ondas curtas (pan+7+8 em GBR) é muito bom para estudos geológicos em terrenos não amazônicos.

Estudos sobre impactos ambientais, os RIMAS ou EIA-RIMAS, seguem aquilo que foi descrito para as áreas impactadas apenas que neste caso os produtos devem ser apresentados em mídia digital. O estudo de áreas já impactadas, pelas análises de campo podem recomendar a geração de produtos fotográficos coloridos.

### **3.2. ESCALAS E RESOLUÇÃO: ATRIBUTOS ESPACIAIS**

Os principais atributos espaciais ou geométricos das imagens de satélites para a área de Geologia dizem respeito à relação entre o tamanho da cena e o quadro sinótico da área imageada (escala) e a dimensão do elemento de resolução da cena (pixel) no terreno.

Um pixel menor permite uma escala maior mas sempre com restrições quanto à dimensão da área coberta pela imagem. Assim para um pixel de 30 metros como aquele do Mapeador Temático pode-se chegar a uma escala de 1:50.000 mas a área coberta pela imagem será a menor, ou seja, 45 quilômetros de lado. Se o interesse do usuário for por uma área grande, equivalente ao de uma cena LANDSAT completa, serão necessárias 16 imagens na escala 1:50.000, ou apenas 1 imagem em escala 1:250.000 ou menor. Se o usuário estiver interessado em levantamentos geológicos regionais a imagem de 1:250.000 terá naturalmente melhor relação custo/benefício do que a de 50.000, embora mostre menos detalhes.

O pixel PAN do SPOT tem possibilidade de suportar ampliações fotográficas de escala 1:25.000 sem perder o contexto de cena que define claramente as bordas dos diversos alvos. Ampliações 1:25.000 a partir de um pixel de 30 metros como aquele do TM fazem com que as bordas dos alvos apareçam serrados perdendo-se o entendimento do contexto da cena.

O processamento digital sobre dados SPOT ou LANDSAT permite que realces de borda ou de contraste melhorem bastante as escalas máximas de ampliação. Assim imagens TM melhoradas por processamento em computador podem ser ampliadas até 1:25.000 sem perder seu conteúdo de informação geológica. Imagens SPOT-PAN registradas com canais XS podem chegar a escala de 1:15.000 mantendo ainda atributos em boas condições para estudos geológicos.

### **3.3 ATRIBUTOS TEMPORAIS**

O contexto temporal das imagens para Geologia não tem naturalmente a importância necessária de uma aplicação em Agricultura. Geralmente busca-se para Geologia a imagem livre de nuvens, com maiores índices de visibilidade e

de conteúdo/qualidade da informação gravada. Existe entretanto um efeito temporal nas imagens que influencia fortemente o conteúdo de informação geológica: trata-se do sombreamento.

O sombreamento é o efeito observado nas imagens no qual as faces das vertentes voltadas para o sol ficam mais claras do que as faces opostas à iluminação da cena que ficam mais escuras. Este efeito provoca um realce para as feições do relevo como cristas, vales, drenagens, alinhamentos de uma forma geral. Este efeito é mais intenso quanto mais baixo for o ângulo de elevação solar na gravação da cena. No caso do hemisfério sul os ângulos mais baixos de elevação do sol ocorrem entre os meses de junho e agosto.

O sombreamento em situações extremas pode subverter até resoluções geométricas. Observa-se que imagens com resolução mais grosseira gravadas com baixo ângulo solar mostram com maior detalhe os atributos de relevo do que cenas com resolução mais fina gravadas com o sol mais alto. Exemplos conhecidos mostram que imagens de 80 metros de resolução gravadas com ângulos em torno de 33 graus mostram feições geológicas e geomorfológicas mais nitidamente do que imagens com 30 metros de resolução de mesma latitude coletadas com elevação de sol acima de 50 graus.

Para mapeamentos geológicos e mesmo estudos de prospecção mineral onde a estrutura geológica exerça o principal controle, a seleção de cena deve contemplar também a busca por imagens com baixos ângulos de elevação solar.

Deve ser mencionado também que em situações extremamente especiais onde os alinhamentos de relevo ou de drenagem se estendem na direção exata do azimute solar não existirão condições de iluminação para gerar os realces acima descritos.

#### **4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Balieiro, M.G.; Martini, P.R. (1986) Exemplos de Análise Geológica Comparativa entre dados SIR-A, LANDSAT, SLAR e SKYLAB (resumo). IV

Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, vol.1, pg.78. Gramado, RS. Agosto 10-15, 1986.

Rodrigues, J.E.; Liu, C.C. (1988) A Geometria de Iluminação Solar e sua Influência na Observação de Estruturas Geológicas em Imagens Orbitais. V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, vol.2, pg.294-302. Natal, RN. Outubro 11-15, 1988

### 5. TABELA DOS SENSORES E BANDAS COM AS PRINCIPAIS APLICAÇÕES EM GEOLOGIA

Satélite	LANDSAT							SPOT5					CBERS														
Sensores	ETM+							HRG					CCD					IR-MSS		WFI							
BANDAS	1	2	3	4	5	6	7	P	1	2	3	4	P	1	2	3	4	P	5	6	7	8	9	10	11		
Mapeamento NF		B	G	R					B	G	R				B	G	R				R	B	G			B	R
Litológico F			B	G			R		B	R	G				B	G	R				G	B	R			B	G
Geologia			G		M	R	B		R	G		B			R	B	G								M		

Urbana																			
Mapeamento Estrutural			M			M			M				M	M					M
Águas Subterrâneas			M			M			M				M	M					M
Prospecção Mineral	B		G		R	B		G	R	M		B	R	G		G	B	R	
Oleo e Gás (Petróleo)			G		R	B		G	R	B		B	G	R		M			
Ambientes NF Impactados F	B		R			G	B		R	G	B		G	R	R	G	B	B	R
Eia-Rima NF			G	R		B		G	R	B	B		G	R	G	R	B	G	B
Eia-Rima F	B		R			G	B		R	G	B	G	R		G	R	B	B	R
	B		G	R		M		G	R	B	B		G	R	G	R	B	R	B

### ACROGRAMAS USADOS NA TABELA

**B:** COR AZUL NA COMPOSIÇÃO COLORIDA

**CCD:** CAMERA DE ALTA RESOLUÇÃO DO CBERS

**EIA:** ESTUDOS DE IMPACTOS AMBIENTAIS

**ETM+:** MAPEADOR TEMÁTICO AVANÇADO, principal sensor do LANDSAT 7

**F:** FLORESTA: COBERTURA FLORESTAL DENSA-AMAZÔNIA

**G:** COR VERDE NA COMPOSIÇÃO COLORIDA

**HRG:** ALTA RESOLUÇÃO GEOMÉTRICA, principal sensor do satélite SPOT-5

**IR-MSS:** VARREDOR MULTI-ESPECTRAL INFRAVERMELHO DO CBERS

**M:** IMAGEM EM PRETO E BRANCO

**N:** NÃO FLORESTA: ÁREA FORA DO DOMÍNIO AMAZÔNICO

**P:** MODO PANCROMÁTICO DO IR-MSS DO CBERS

**PAN:** MODO PANCROMÁTICO do LANDSAT-7

**PA:** MODO PANCROMÁTICO DO SPOT-5

**P5:** MODO PANCROMÁTICO DO CCD-CBERS

**R:** COR VERMELHA NA COMPOSIÇÃO COLORIDA

**RIMA:** RELATÓRIO DE IMPACTO SOBRE O MEIO AMBIENTE

**WFI:** IMAGEADOR DE GRANDE VISADA DO CBERS