
Processos e Utilização de Imagens de Sensoriamento Remoto em Geologia

André Calixto Vieira*

Apresentação

As informações contidas no presente trabalho, trataram-se de relacionar as diversas imagens do Sensoriamento Remoto, incluindo fotografias aéreas convencionais, atualmente disponíveis, apresentando, resumidamente, processos e utilização desses dados em Geologia.

Um quadro mostrando os diferentes tipos de sensores com seus respectivos parâmetros geológicos, que podem ser identificados nas imagens, também foi elaborado.

Introdução

O Brasil possui, atualmente, um dos maiores acervos de dados sensoriais, obtidos tanto por espaçonaves, quanto por aeronaves equipadas com os mais sofisticados instrumentos sensores.

Do território brasileiro encontram-se disponíveis informes detectados pelos sensores instalados nos satélites das séries LANDSAT, SKYLAB e GEMINI. Equipamentos como o MSS, RBV, S-190A, S-190B, registram aspectos geológicos locais ou regionais, dentro de características espectrais, inclusive fatores relativos a temperatura.

Por outro lado, o sensoriamento no país a nível aéreo é coberto integralmente pelo Sistema

PTDUW, do RADAM, equipado com sensores de Radar, I²S (4 canais), RMK (IV colorido) e outros.

Convém ressaltar que o uso integrado de dados sensoriais em multi-estágio, de forma extensiva, só é possível no Brasil em consequência da missão PTDUW (área) ter sido planejada já visando uma integração com o sistema LANDSAT (na ocasião denominado ERTS) que seria iniciado dois anos depois, em 1972.

O conjunto de sensores operam em ambos os sistemas de forma semelhante, de modo a facilitar a análise e interpretação de dados através de processos integrados.

Multi Spectral Scanner — MSS

As "imagens", resultantes da detecção do sensor MSS representam, através de níveis de cinza, as intensidades de respostas, que os diversos ambientes apresentam às faixas espectrais de sensibilidade de cada detector individualmente.

A interpretação destas imagens é executada analisando-se os canais individualmente, ou através de composição de faixas selecionadas, para fins específicos lito-estruturais. Individualmente, cada canal realça certos aspectos geológicos, porém a caracterização precisa exigir que sejam fixadas chaves que estabeleçam de que forma aqueles aspectos geológicos se comportam nos quatro canais simultaneamente.

Feições fisiográficas são perfeitamente caracterizadas no canal 6. As fraturas assim como a vegetação ciliar, são evidenciadas nos canais 5 e 7,

* Professor do Departamento de Geociências da UFRJ — Itaguaí — RJ

Geólogo Pesquisador do Instituto de Estudos da Terra — IET — Rio de Janeiro — RJ

porém uma análise a multiespectro melhor define as feições lito-estruturais.

No caso de luminescência, que, por exemplo, possa ser relacionada a exudação de hidrocarbonetos, o canal 4 é o mais utilizado por possuir sensibilidade próxima a U.V. e, eventualmente, detectar freqüências invisíveis, de acordo com as leis de STOKES.

Áreas de "anomalias tonais" identificadas visualmente nos quatro canais do LANDSAT, poderão ser utilizadas na determinação das curvas espectrais que caracterizam melhor este fenômeno através da interpretação automática.

Return Beam Vidicon — RBV

O sistema RBV possui características extremamente importantes. Trata-se, atualmente, de um conjunto de quatro cenas (a NASA tem modificado este sistema para banda complexa contínua deixando-se de ser multiespectral), que cobrem cada uma 1/4 da área abrangida pelo MSS conservando-se, porém, o mesmo formato e consequentemente aumentando-se o poder de resolução. Desta forma suas imagens apresentam alta resolução geométrica (cerca de 30 metros).

As características espectrais do RBV são semelhantes às da fotografia aérea convencional, isto é, o equipamento é sensível somente às radiações visíveis.

Os processos de interpretação destas imagens são semelhantes aos da fotografia aérea, considerando-se, entretanto, que o RBV possui, além da visão sinótica, sendo cerca de 9.000 Km² cada cena, uma resolução que permite a interpretação de aspectos geológicos detalhados e regionais, proporcionando uma perfeita coerência de conceito. Apesar da sua impossibilidade de ser tratado espectralmente, possui inúmeras qualidades quanto ao poder informativo.

De comum, a sombra da imagem RBV possui posicionamento idêntico àquele obtido pelo RADAR no Brasil (exceto na Bahia), com a vantagem de não distorcer nem mascarar feições estruturais, fato que ocorre com freqüência no RADAR.

Em certos casos as imagens RBV podem ser interpretadas estereoscopicamente, efeito este conseguido por processo fotográfico integrando-se fotografias aéreas convencionais do RBV, gerando paralaxe programada, podendo ser interpretada na escala 1:100.000 sem perda de detalhes.

Radar Imageador de Visada Lateral — Radar

Na interpretação das imagens de RADAR, em contraste com a fotografia aérea convencional, a informação é obtida mediante o estudo e análise

da superfície, através das reflexões de radiações eletromagnéticas invisíveis ao olho humano e localizadas na faixa das micro-ondas.

Contrário ao que se passa com a fotografia, o RADAR proporciona a sua própria "iluminação", denominado sensor ativo, permitindo-se obter dados à noite, através de nuvens.

As imagens são trabalhadas comumente nas escalas 1:250.000 e 1:100.000 e, como elas cobrem grandes áreas, proporcionam uma visão sinótica de estruturas e padrões regionais. Em muitas ocasiões a pequena escala do RADAR impede o traçado da mesma quantidade de detalhes que se obtém com fotografias aéreas.

A possibilidade que se tem, com um sistema de RADAR, de distinguir dois objetos adjacentes, depende do comprimento de onda e da largura do feixe emitido. As imagens brasileiras, apresentam resolução de 15 m nas duas direções, entretanto, sob condições favoráveis, um objeto pequeno medindo fração de metro, poderá produzir fortes reflexões.

As imagens de RADAR no Brasil foram obtidas em faixas paralelas, NS, com superposição lateral de 25%. Desta maneira se obtém um efeito estereoscópico localizado. Este efeito é explorado principalmente nos estudos morfoestruturais e na determinação de altitude de camadas sedimentares.

Nos estudos litológicos, a interpretação do RADAR exige especial atenção quanto aos seguintes elementos inter-relacionados: afloramentos, configuração do terreno, drenagem, vegetação e cultivos.

Tal qual nas fotografias aéreas, a expressão dos elementos de interpretação nas imagens do RADAR é registrada, através de níveis de cinza, ou tons fotográficos, textura, padrões e configurações.

Na imagem de RADAR, o tom depende principalmente da geometria do terreno, rugosidade e propriedades dielétricas da superfície. O nível de salinidade também é fator condicionante de anomalias nestas imagens. Os padrões morfológicos são aplicados na definição dos micro-relevos, drenagens, definição de alinhamentos, falhas diaclases e outras feições estruturais.

Principalmente, face à "iluminação" extremamente inclinada que o RADAR exerce sobre o terreno, os lineamentos e feições estruturais são bastante pesquisados através destas imagens.

Faixas Estereoscópicas de Radar

Obtidas através de dois canais, denominados "canal próximo" e "Canal remoto", estas faixas podem ser utilizadas isoladamente para fixação de

padrões morfológicos no RADAR ou como apoio à obtenção de efeitos estereoscópicos.

É importante ressaltar que, em virtude do RADAR ser operado através de duas antenas voltadas para a mesma direção de iluminação, com ângulos de depressão diferentes, as feições morfológicas resultarão extremamente distorcidas e poderão ser interpretadas erradamente. Para solução deste problema, as faixas isoladas do RADAR são vitais.

Infra-vermelho Colorido — RMK

As fotografias IV coloridas, obtidas pelo sistema PTDUW, sensível à cobertura de nuvens, são utilizadas principalmente para esclarecimento de problemas localizados e geração de padrões de interpretação das imagens de mesma natureza.

As fotografias IV obtidas na escala 1:130.000 com superposição de 60%, fornece a estereoscópia total, porém o planejamento dos vôos não obedeceram padrões aerofotogramétricos rigorosos e as imagens IV foram bastante prejudicadas quanto às condições de iluminação solar.

Sensor S 190-A

Estas imagens registram aspectos multiespectrais nas seguintes faixas do espectro eletromagnético:

0,5 — 0,6 um preto e branco
0,6 — 0,7 um preto e branco
0,7 — 0,8 um IV — preto e branco
0,8 — 0,9 um IV — preto e branco
0,4 — 0,7 um colorido
0,5 — 0,8 um colorido — IV

A interpretação das imagens do S 190-A, na faixa do visível, tal qual nas fotos convencionais, segue os fundamentos da fotogeologia enquanto que as outras são analisadas através da comparação e fixação de padrões em multiespectro.

Aspectos geológicos lito-estruturais são bastante visíveis nestes tipos de dados e as interpretações são concentradas no sentido de caracterizar as variações litológicas e as feições estruturais, pois as cenas do S 190-A possuem resolução espacial e radiométrica extremamente boas.

Sensor S 190-B

Tratam-se de dados de alta resolução, obtidos por câmara com distância principal de 18" e filme de 129 mm. Cada cena cobre (110 x 110) Km² e os filmes são variados: preto e branco, coloridos de espectro visível e IV coloridos.

Estas imagens são interpretadas como as

fotografias áreas convencionais, e também auxiliam na identificação de anomalias tonais.

Sensor Termal — Canal 8

Pode ser tratado visualmente através do traçado de isotermas, transformando-se em expressivos significados geológicos. Áreas de fraqueza, em regra, possuem temperaturas diferentes do ambiente envolvente, devido ao acúmulo de água.

Perfis térmicos são obtidos das imagens do canal 8, facilitando a interpretação lito-estrutural e a investigação de áreas de concentração anômalas de determinados recursos minerais.

Fotografias Aéreas Convencionais

São utilizadas na solução de problemas específicos, em virtude de sua grande utilidade na interpretação geológica de detalhe.

A técnica de interpretação é baseada na identificação de aspectos ou feições geológicas exibidas e que são fielmente apontadas nas imagens.

A limitação dos métodos e processos fotográficos empregados dependem das características geológicas encontradas, da geomorfologia, do clima, da densidade da vegetação e do ciclo de erosão existente.

Na hipótese da área apresentar topografia ajustada à rocha e estrutura, refletindo às condições geológicas, a identificação dos aspectos será extremamente amplificada. Neste caso os contatos entre formações, fáceis e suas relações estruturais são facilmente estabelecidas.

Em certos casos, quando a vegetação é densa ou uma certa quantidade superficial de detritos é presente, as fotografias aéreas ainda possuem poder informativo, normalmente mais estrutural do que litológico.

São observados na fotografias também os elementos associados tais como: afloramento, morfologia, drenagem (padrão e freqüência), vegetação e cultivo.

Nas fotografias, a imagem desses elementos é expressa em termos de tom, texturas, padrões, inclinação e forma.

A textura é vista como um agregado de feições individuais, demasiado pequeno para ser definido individualmente. Varia com a escala da fotografia. O padrão se refere a um arranjo espacial, mais ou menos ordenado de elementos particulares mostrados na foto, e implica na repetição das características de certas formas gerais ou relações. O tom é analisado em termos de variações em níveis de cinza entre o preto e o branco. As inclinações e formas observadas nas fotografias cons-

tituem os elementos de melhor definição das feições morfológicas e estruturais.

A fotografia aérea é utilizada como elemento informativo individual e também como auxílio à interpretação dos demais dados e imagens, principalmente quanto ao RBV.

Outros Sensores

São ainda disponíveis diversos outros tipos de dados sensoriais, tanto sob a forma de imagens como sob outras informações. A exemplo, tem-se o sensor S 191 — espectômetro IV e S-192 — Imageadores Mutiespectrais de 13 canais, ambos do SKYLAB, o segundo incluindo a faixa termal entre 0,4 e 12,5 microns como também o sensor S 194 — Radiômetro de banda L.

Imagens obtidas pelas missões GEMINI/APOLO também são utilizadas para a interpretação como aquelas em preto e branco e colorido do GEMINI — IX, que cobriu em 1966 a América do Sul.

A espaçonave SEASAT, também imageou grandes extensões continentais, através de RADAR IMAGEADOR DE BANDA L. São sensores de grande penetração, excluindo-se em seus registros, cobertura de nuvens, gelo, lâmina d'água.

Considera-se também de grande utilização o sensor ME aéreo-I²S para a fixação de padrões. São obtidos em quatro canais, escala de 1:73.000, alta resolução geométrica e radiométrica e ocupam uma cobertura de terreno muito pequena porém suficientemente representativa de respostas espetrais de quatro faixas. Suas sensibilidades são idênticas ao sistema MSS do LANDSAT, fato que distingue a uma utilização na definição de padrões.

Identificação de Parâmetros Geológicos

O quadro a seguir representa o resumo do grau de aplicação dos diversos dados sensoriais, definidos pelos tipos de sensores de uso mais difundido em Sensoriamento Remoto, na identificação de parâmetros geológicos.

Parâmetros Geológicos	Padrão Morfológico	Padrão Espectral	Identificação de Parâmetros Geológicos × Sensoriamento Remoto								Outros			
			MSS	RBV	Radar	I.V. Col (RMK)	S-190A	S-190B	Termal	Fotos Convencionais	ME (Aéreo)	S-192	Gemini Apollo	Sesat SLAR
Feições Estruturais														
Elementos de Dobras	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Altitude de Camadas	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>				
Faihas, Fraturas e Juntas	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Litologia														
Tipo de Rocha	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Identificação de Formações		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alteração de Rochas		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fisiografia														
Padrões de Tom e Cor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Drenagem	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Relevo	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lineamentos	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vegetação	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anomalias Espectrais/Termais														
Exudação de Óleo			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anomalias Termais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	
Casos Especiais														
Penetração em Nuvens			<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
Penetração na Água			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Dados Ciclicos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Estabelecimentos de Padrões	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Planejamento de Campo	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			

Considerações Finais

Os diferentes aspectos lito-estruturais e outros, se apresentam de maneira distinta nas diversas imagens.

O poder resolutivo, as características especiais, a variação dinâmica do sinal etc, são características de cada sistema. Como no RADAR, por exemplo, feições estruturais são mascaradas pelas sombras, porém são evidentes no RBV ou MSS.

Como as interpretações são realizadas de maneira a extrair o máximo das potencialidades individuais de cada sensor, torna-se necessária a integração de dados, gerando um resultado final coerente e que retrate o somatório dos potenciais específicos de cada sensor.

Pelo exposto, se conclui que é extremamente viável a utilização do Sensoriamento Remoto nos estudos geológicos, pois proporciona uma hierar-

quia de custos, tempo de execução e informações precisas.

Referências

O presente trabalho contou com as informações contidas nas seguintes bibliografias:

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAVEMTRY. Manual of Remote Sensing. Vol I: Theory Instruments and Techniques. Falls Church, Virginia, USA. 1975.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAVEMTRY. Manual of Remote Sensing. Vol II: Interpretation and Applications. Falls Church, Virginia, USA. 1975.
- GEOSAT PROGRAM. Geological Remote Sensing From Space. Flagstaff. Arizona, May. 1976.



LEVANTAMENTOS E MAPEAMENTOS AEROFOTOGRAFÉTICOS
SERVIÇOS GEODÉSICOS E TOPOGRÁFICOS
MAPEAMENTOS CADASTRAIS URBANOS E RURAIS
ORTOFOTOCARTAS
BASES CARTOGRÁFICAS PARA PROJETOS DE ENGENHARIA
PROJETOS DE ENGENHARIA PARA RODOVIAS E FERROVIAS



ESTEIO ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS S.A.
PARANÁ

Rua Reinaldo Machado, 1151 - Prado Velho - Curitiba
Fone (041) 232-1833 - Telex (041) 5412

SANTA CATARINA

Rua José Araújo, 03 - Barreiros - São José
(Florianópolis-SC) - Fone (0482) 44-1405

RIO JANEIRO

Rua Teófilo Ottoni, 52 - Sala 1207
Fone (021) 233-4149

