

1. Publicação nº <i>INPE-2514-PRE/193</i>	2. Versão	3. Data <i>Ago., 1982</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSR/DDP</i>	Programa <i>RECFMI</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>SENSORES REMOTOS</i> <i>LANDSAT-D</i> <i>GEOLOGIA</i> <i>SPOT</i> <i>DISCRIMINAÇÃO ESPECTRAL</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:55</i>			
8. Título <i>INPE-2514-PRE/193</i> <i>SENSORES REMOTOS NA GEOLOGIA: TENDÊNCIA ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS COM DADOS DE SATÉLITES</i>		10. Páginas: <i>24</i>	
		11. Última página: <i>23</i>	
9. Autoria <i>Waldir Renato Paradella</i> <i>Icaro Vitorello</i>		12. Revisada por <i>Paulo Roberto Meneses</i>	
Assinatura responsável <i>Waldir Renato Paradella</i>		13. Autorizada por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
14. Resumo/Notas <i>O propósito deste artigo é o de expor sucintamente tópicos sobre a aplicabilidade de produtos de sensores remotos, especialmente Imagens LANDSAT em pesquisa geológica. No Brasil, o histórico de aplicações de sensoriamento remoto esteve, inicialmente, dirigido, ao uso de técnicas de fotointerpretação visual com fotografias aéreas, Imagens SLAR e LANDSAT. Contudo, o efetivo uso da informação contida neste produtos, depende em grande parte do entendimento da natureza e comportamento sazonal das interações entre energia eletromagnética e matéria. Neste trabalho, são apresentados resultados de investigações prévias, que tem levado, ao conhecimento básico sobre as regiões do espectro mais adequadas, à abordagem de discriminações de rochas e minerais por sensores multiespectrais, bem como, discute os futuros avanços previstos com a disponibilidade de novos produtos de satélites orbitais, dentro deste campo de pesquisa.</i>			
15. Observações <i>Trabalho submetido para publicação na Revista Ciências da Terra, Seção Ciência e Tecnologia.</i>			

SENSORES REMOTOS NA GEOLOGIA : TENDÊNCIA ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS COM DADOS
DE SATÉLITES

Waldir Renato Paradella

Ícaro Vitorello

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

C.P. 515 - São José dos Campos - SP - Brasil

The purpose of this article is to present some discussion dealing with orbital remote sensing products, especially LANDSAT imagery. In Brazil, the user's tendency has been towards visual interpretation of aerial photography, radar mosaic, and LANDSAT image for geological applications. However, effective use of the information contained in these products depends on their manipulation based on the understanding of the nature and seasonal behaviour of the interactions of electromagnetic energy and matter. This paper discusses previous investigations that have provided basic information on spectral regions that can offer the best remote sensing potential for lithological discrimination. Furthermore, future advances in orbital remote sensing are briefly discussed under the focus of the above observations.

INTRODUÇÃO

Em sentido amplo, sensoriamento remoto refere-se às técnicas e métodos de obtenção de medidas no espectro eletromagnético, principalmente no visível, infravermelho e microondas, e de interpretação de fenômenos naturais observados à distância, excluindo-se aqui as técnicas consagradas no âmbito da Geofísica. O termo *sensoriamento remoto* é restrito aos métodos que empregam a energia eletromagnética como meio de detectar e medir características dos alvos dependentes da interação entre radiação eletromagnética e o próprio alvo.

Em retrospectiva, os primórdios do sensoriamento remoto estão diretamente ligados ao desenvolvimento e uso de fotografias aéreas, que até hoje são ferramentas imprescindíveis à maioria das investigações geológicas e pesquisa mineral. Fotografias aéreas, obtidas em várias escalas, com alta resolução espacial, e a custos relativamente baixos, permitem, através da escolha adequada de filmes e filtros, a obtenção de informações nas faixas espectrais do visível e infravermelho próximo. Os princípios e técnicas de análise fotogeológica têm sido explorados e razoavelmente analisados em textos e em cursos básicos de Geologia das universidades do País (Ricci e Petri, 1965).

Em contraste, a história do sensoriamento remoto orbital é relativamente recente no Brasil, tendo grande impulso com o advento dos satélites da série LANDSAT, dos quais o primeiro foi lançado em julho de 1972, quando o custo de obtenção dos dados de vastas regiões da superfície terrestre foi substancialmente reduzido pelo imageamento repetitivo da mesma área geográfica a cada 18 dias de intervalo. Estes satélites dispõem de dois sistemas sensores: um imageador multiespectral (Multispectral Scanner - MSS) com quatro bandas, duas no visível e duas no infravermelho próximo (Tabela 1) e um sistema de câmeras de TV (Return Beam Vidicon - RBV) que, em ambos os satélites, foram desativados pouco tempo após os lançamentos, devido a problemas de mau funcionamento. Deste modo, dados MSS do LANDSAT 1 e 2, disponíveis à comunidade geológica até 1978, tornaram-se neste período, os produtos de sensoriamento mais utilizados.

Em 1978, foi lançado o LANDSAT-3 com duas alterações significativas: um canal termal na faixa de 10,4 a 12,6 μm foi adicionado aos canais MSS existentes nos protótipos anteriores, que logo viria também a apresentar problemas de mau funcionamento; e um novo sistema RBV com melhor resolução espacial que os anteriores, porém sensível a uma única faixa espectral, cobrindo a região do verde ao infravermelho próximo. Os dados RBV, por corresponderem a uma faixa espectral muito ampla, que mascara a detecção de características espectrais diagnósticas de alvos naturais, e por não serem formatados em fitas magnéticas, impedindo assim o

uso de tratamento por computadores, têm uma aplicação bastante restrita no âmbito geológico. Desta forma, a ênfase do sensoriamento orbital na Geologia continua a ser dirigida ao uso de imagens e fitas magnéticas de dados do MSS. Neste sistema a energia solar refletida de pequenas parcelas da superfície do terreno é captada de uma maneira pontual, por um espelho oscilatório que, através de um sistema óptico comum, a focaliza sobre um conjunto de detetores sensíveis às quatro bandas espectrais descritas na Tabela 1. Como mostra a Figura 1, cada órbita do MSS cobre no terreno uma faixa contínua de 185 km de largura, e o elemento de resolução no terreno (ERT), que define a resolução espacial do sistema MSS, corresponde a um quadrado de aproximadamente 79 metros de lado.

TABELA 1

INTERVALOS ESPECTRAIS DAS VÁRIAS BANDAS NO SISTEMA MSS-LANDSAT

BANDA	FAIXA ESPECTRAL (μm)	COR CORRESPONDENTE
MSS 4	0,5 - 0,6	VERDE-LARANJA
MSS 5	0,6 - 0,7	LARANJA-VERMELHO
MSS 6	0,7 - 0,8	VERMELHO-INFRAVERMELHO
MSS 7	0,8 - 1,1	INFRAVERMELHO PRÓXIMO

A radiação captada em cada elemento de resolução ou "pixel" é transformada analogicamente em sinal eletrônico e posteriormente transmitida para estações terrestres, onde é digitalizada e armazenada em fitas magnéticas. No Brasil, os dados LANDSAT são recebidos, gravados e processados pelo INPE/CNPq, onde imagens em várias escalas (1:1.000.000, 1:500.000 e 1:250.000), de quase todo o continente sul-americano, podem ser adquiridas em papel fotográfico preto e branco ou colorido, em transparências positivas, e em fitas compatíveis com computadores (Computer Compatible Tapes, CCTs).

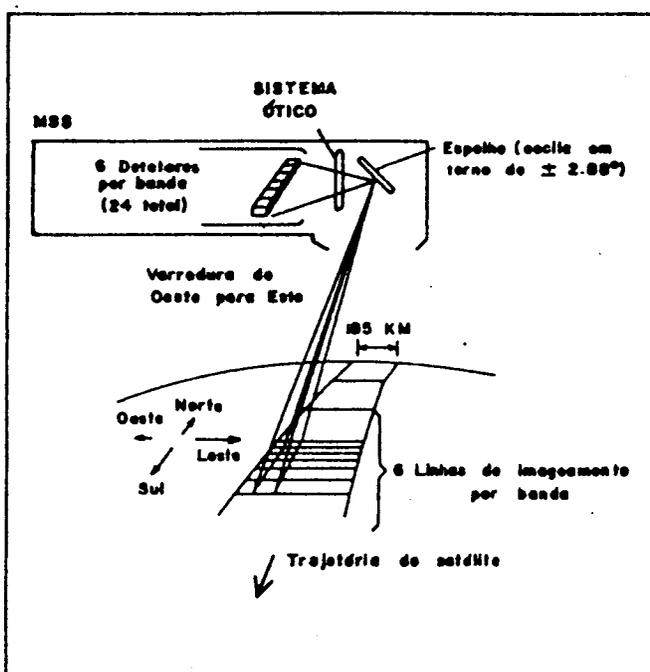


Fig. 1 - Esquema do sistema de imageamento MSS dos satélites LANDSAT

Da análise adequada das imagens nas 4 bandas, informações valiosas sobre atributos espectrais (gradações tonais ou níveis de cinza), espaciais (relações de forma e geometria) e temporais (variações sazonais) de alvos superficiais, de interesse geológico, são disponíveis a uma grande gama de aplicações.

A ANÁLISE ESPACIAL COMO ÊNFASE ATUAL NO BRASIL

Como não poderia ser diferente, as primeiras aplicações de sensoriamento remoto na geologia do País envolveram o uso de fotografias aéreas convencionais, que se tornaram mais acessíveis a partir de 1964, através dos recobrimentos de quase todo o território nacional pela USAF. Tais fotos disponíveis na escala 1:60.000 e a partir de filmes sensíveis a todo o intervalo do espectro do visível (filmes pancromáticos), foram largamente usadas em programas de mapeamentos regionais e pesquisa mineral. Nas décadas de 60 e 70, estas fotos encontraram ambiente favorável à sua utilização, devido principalmente à inexistência de outros tipos de produtos e à necessidade de cartografar geológica e rapidamente grandes áreas de interesse em pesquisa mineral.

Muito embora o potencial de aplicação de sensoriamento remoto em Geologia resida na possibilidade de diagnosticar diferentes pacotes litológicos

superficiais, em função da análise das respostas espectrais registradas, a grande limitação, inerente às fotos aéreas pancromáticas relativas a este tipo de abordagem, impõe que a sua utilização efetiva se voltasse principalmente para a análise dos aspectos espaciais com finalidade de cartografia geológica, na maioria das aplicações, por incluir as vantagens da estereoscopia.

Com raras exceções (Carraro, 1973) poucas pesquisas foram desenvolvidas fora deste contexto, tendo em vista a utilização da análise espectral e temporal de filmes pancromáticos (quando combinados com diferentes filtros e integrados com estudos espectrais de alvos geológicos em campo e laboratório) ou mesmo de dados de recobrimentos com fotografias multiespectrais e de filmes sensíveis, do visível ao infravermelho próximo. Estes produtos já se encontravam disponíveis no início da década de 70, para algumas regiões do País, como resultados de missões e programas de diversos órgãos (Projeto RADAM; Missão 96 do DNPM, USGS e INPE; etc).

Desta forma, pela ausência de maiores conhecimentos sobre o comportamento espectral e sazonal de alvos naturais, principalmente os de interesse geológico e de pesquisa mineral, a metodologia de análise de fotografias aéreas continuou a ser dirigida ao estudo dos atributos espaciais da cena, incluindo análises sobre padrões de relevo, aspectos de formas de drenagens, caracterização e individualização de unidades geológicas a partir de feições geomórficas, estudos de lineações, etc (Riverau, 1972; Soares e Fiori, 1976). Alguns destes estudos foram importantes para o avanço metodológico de fotointerpretação, porém não tentaram explorar os vários aspectos e inter-relações entre comportamento espectral de alvos e gradações e contraste tonais registrados nas fotos.

Com a disponibilidade de novos produtos tais como dados de RADAR, SKYLAB e LANDSAT, esquemas anteriormente propostos para interpretação de fotografias aéreas foram intuitivamente aplicados nos trabalhos com estes novos produtos.

No caso de dados MSS-LANDSAT, de resolução espacial bastante inferior à de fotos aéreas, com limitações de ampliações (sem tratamento por computadores consegue-se atingir, no máximo, imagens na escala de 1:250.000) e sem o re

curso da estereoscopia, sua maior utilização foi direcionada a esquemas interpretativos regionais e a estudos tectônicos (Oliveira et alii, 1976) quando não utilizados como meros mosaicos em programas de cartografia geológica regional.

Neste estágio de adaptação a esquemas interpretativos de fotos aéreas, os canais 6 e 7, com iluminação solar de baixo ângulo, tornaram-se as bandas mais usadas por fotointerpretes na busca de informações de cunho estrutural, diretamente refletidas por particularidades de relevo e da rede de drenagens. Isto se deve principalmente à alta reflectância da vegetação e à diminuição do efeito de espalhamento atmosférico em áreas sombreadas pela topografia, nestas faixas do espectro, o que faz com que nas regiões de densa cobertura vegetal o contraste tonal fique mais condicionado a relações entre topografia e ângulo de iluminação solar do que a variações na densidade de cobertura vegetal. No caso de extração de redes de drenagens, em cursos caracterizados pela presença de matas galerias e aluviões, os canais 4 e 5 tornaram-se mais apropriados, ao passo que, em regiões uniformemente cobertas, a caracterização da drenagem passou a apoiar-se nas quebras de relevo (vales), quando então o uso dos canais 6 e 7 pode prevalecer.

No caso específico de dados multiespectrais, como os do LANDSAT e SKYLAB, a não-consideração da abordagem espectral, na análise, representa um outro exemplo de subutilização do material. Quando possível, esta abordagem espectral deve ser acompanhada de uma análise sazonal, isto é, de imagens de épocas distintas, visto que os alvos superficiais apresentam comportamento diferente em função de condições ambientais variadas.

A RESPOSTA ESPECTRAL E A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE MINERAIS E ROCHAS

A região de interesse do sensoriamento remoto estende-se, no espectro eletromagnético, do ultravioleta ao microondas, isto é, de $0,03 \mu\text{m}$ a 50 cm de comprimento de onda. Como mostra a Figura 2, a radiação eletromagnética deste intervalo resulta da aceleração de cargas elétricas ocasionada por vibração e rotação molecular, ou de processos eletrônicos de transferência de carga. As informações obtidas dos alvos naturais nestes intervalos referem-se a propriedades físico

-químicas superficiais (de micrômetros a milímetros de profundidade), em virtude das características de opacidade e espalhamento inerentes aos solos. Isto exige que feições típicas das respostas espectrais diagnosticas de composição química devem existir para a viabilidade do uso de "assinatura espectral" na caracterização de rochas e minerais.

Neste aspecto, Hunt (1977, 1980) discorre detalhadamente sobre os vários processos eletromagnéticos envolvidos nas resposta espectrais de minerais e rochas, baseando-se em trabalhos de laboratório. Estes estudos forneceram padrões de referência de feições mais comuns, em rochas e minerais, para as interpretações com dados de sensoriamento remoto.

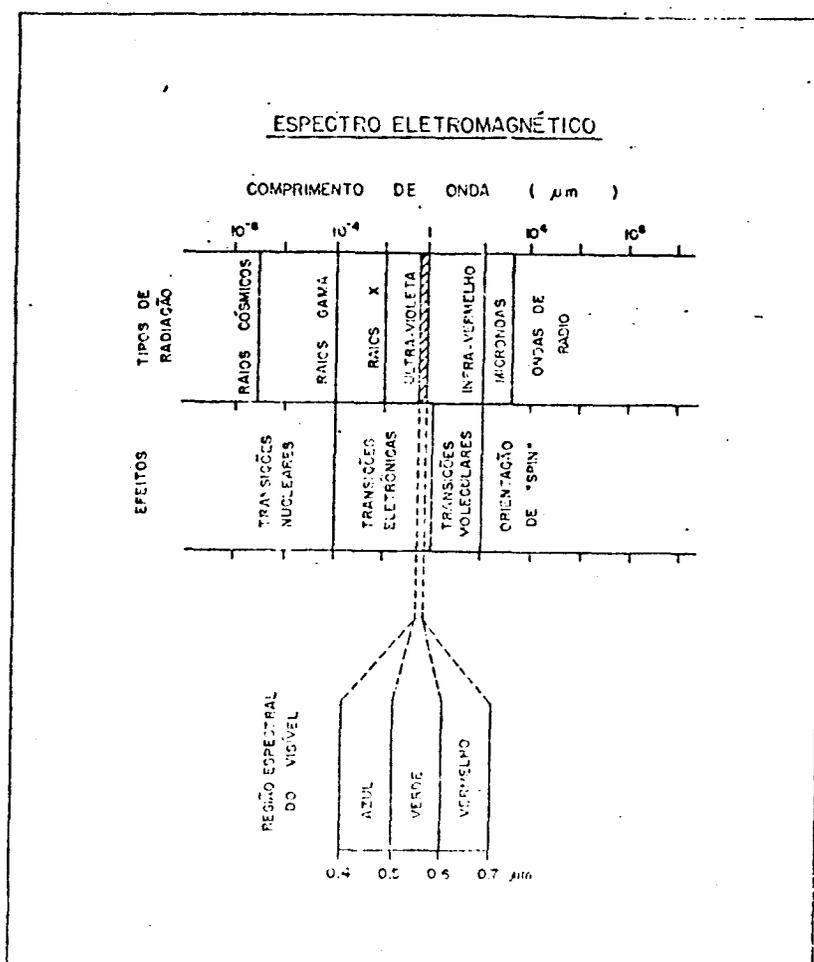


Fig. 2 - O espectro eletromagnético.

Este diagrama mostra os intervalos de comprimento de onda dos vários tipos de radiação, bem como os efeitos atômicos e moleculares que produzem as feições típicas em cada intervalo espectral.

Muito embora sejam óbvias as dificuldades de comparação entre os dados espectrais coletados de altitude de satélites e as respostas espectrais obtidas em afloramentos ou laboratório, estas informações são válidas, principalmente como passo inicial na identificação de alvos através de análise espectral.

Na região entre 0,4 a 2,5 μm (do visível ao infravermelho médio) a reflectância espectral é importante, posto que a maior parte da energia que chega aos detetores, proveniente da superfície, é energia solar refletida. Na faixa de 8 a 14 μm , a emitância espectral passa a ser a propriedade interessante, visto que a quantidade de energia emitida pelos alvos predomina. Entre 2,5 a 8,0 μm ocorre forte absorção da energia, em sua trajetória pela atmosfera, com exceção da "janela" entre 3,0 e 5,0 μm , onde as radiações refletidas e emitidas se equivalem.

Quanto à região espectral de atuação do LANDSAT (visível-infravermelho próximo), a análise de dados de laboratório mostra que variações de refletividade são causadas por processos de transferência de carga, no visível, e por transições eletrônicas no infravermelho próximo, que ocorrem com elementos de transição, principalmente o ferro, tido como o elemento de transição mais comum na natureza. O íon-ferro apresenta bandas de absorção ferrosa e férrica centradas em torno de 1,0 e 0,92 μm , respectivamente, e várias bandas mais fracas dispostas entre 0,4 a 0,55 μm . Outros íons metálicos de transição que exibem bandas de absorção são cobre, titânio, cromo e manganês. Bandas de absorção devidos a processos eletrônicos de vibração em moléculas de água e hidroxilas também ocorrem no infravermelho, sendo que uma destas bandas está presente em torno de 0,95 μm .

A maioria destas bandas resultam em absorções intensas e, portanto, diagnósticas, principalmente em se tratando de óxidos e hidróxidos de ferro, o que torna possível identificar e mapear zonas de alteração com limonitas, que são indicadores usados em exploração mineral (Lyon, 1975).

Grande parte das "assinaturas" espectrais dos minerais é contudo mascarada pela presença de minerais anidróxidos não-ferrosos, tais como quartzo e feldspato, na formação das rochas. Mesmo assim, os comportamentos espectrais de muitas rochas de composições diferentes são ainda afetados por bandas de absorção devidas ao ferro e à água. A Figura 3 mostra que o aspecto de reflectância para rochas máficas e ultramáficas é quase invariável entre 0,5 e 1,1 μm . Para rochas félsicas, as quais são bem menos afetadas pelas bandas de absorção dos íons-ferro, há um aumento gradativo de reflectância, em direção aos comprimentos de ondas mais longas, com uma menor taxa de inclinação entre 0,7 e 1,1 μm ; enquanto que para rochas intermediárias, seu comportamento espectral ocorre entre o padrão das rochas máficas/ultramáficas e as félsicas. Finalmente conclui-se que o maior contraste espectral entre estas rochas, isto é, a região mais adequada para discriminações litológicas, estaria no infravermelho próximo (canal 7 do MSS-LANDSAT).

Estudos recentes indicam que a região de emitância espectral entre 5,0 e 15,0 μm oferece maiores informações sobre a composição de rochas que a região de energia refletida (0,4 a 2,5 μm). Na Figura 4 é mostrado um gráfico de Logan et alii (1973), no qual são plotadas a porcentagem de SiO_2 contra a emitância média na faixa de 6 a 12 μm e a reflectância média na região de 0,3 a 2,5 μm . Da análise do gráfico, vê-se que existe maior correlação entre a porcentagem de SiO_2 , com a emitância média do que com a reflectância, o que denota maior sensibilidade desta faixa em diferenciar tipos litológicos distintos.

A análise de padrões espectrais da resposta de rochas (e seus produtos de alteração) tem o potencial de ser usada para distinguir alvos litológicos; porém, existem fatores que obscurecem as evidências espectrais: impurezas na rede cristalina, materiais recobrando a superfície (tais como líquens e produtos de alterações da camada superficial), a vegetação superposta e a atenuação atmosférica.

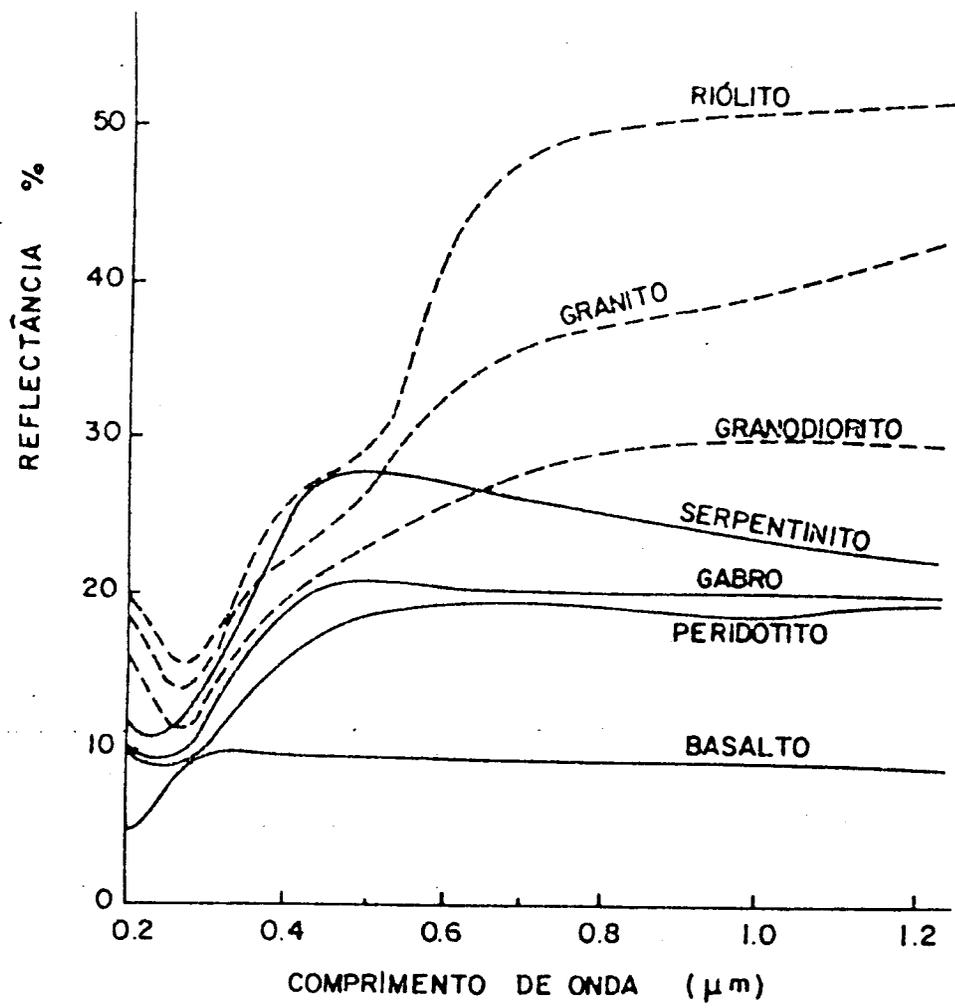


Fig. 3 - Comportamento espectral de rochas básicas (linhas sólidas), intermediárias e ácidas (linhas tracejadas), adaptado de Rowan (1972).

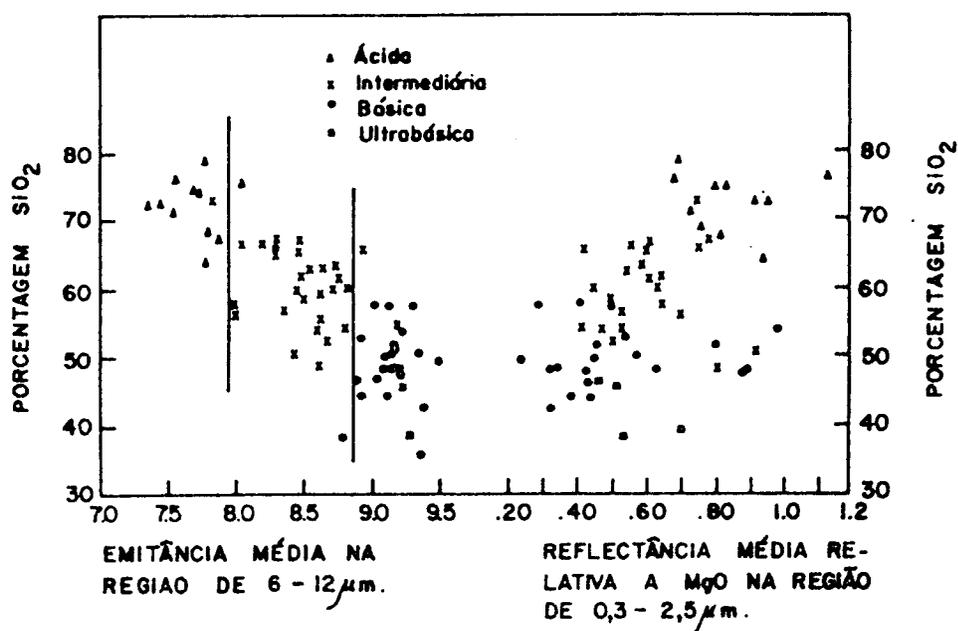


Fig. 4 - Relação das rochas ácidas, intermediárias e básico-ultrabásicas em termos da emitância média no intervalo entre 6 e 12 μm (lado esquerdo) e da reflectância média no intervalo entre 0,3 e 2,5 μm (lado direito), adaptado de Logam et alii (1973).

A reflectância espectral da vegetação no visível e no infravermelho próximo difere marcadamente daquela de rochas e solos, pois é caracterizada pela intensa absorção da clorofila ao redor de 0,65 μm e pela região de alta refletividade acima de 0,7 μm . Este diferente comportamento de resposta espectral faz com que mesmo uma pequena quantidade de vegetação exuberante mascare uma resposta típica de rochas e solos de alteração, o que restringe a capacidade de discriminação. Este sério inconveniente, pode, em parte, ser contornado com o uso de imagens de época de estiagens, principalmente em regiões de clima tropical semi-árido, como o do Nordeste, onde a cobertura de vegetação não é tão intensa.

Por outro lado, variações sutis no espectro de vegetação com "stress" e na distribuição da densidade de cobertura vegetal de uma área podem servir de indicadores indiretos dos tipos litológicos e solos subjacentes..

Estes fatos têm levado a que consolide, em trabalhos atuais de sensores orbitais voltados a discriminações litológicas e pesquisa mineral, o conceito de abordagem multisazonal onde a análise das diferenças espectrais é realizada com dados de estações secas e chuvosas da mesma área.

No Brasil, onde ainda grande parte do território carece de mapeamentos básicos, os recursos multiespectrais e multitemporais de dados de satélites devem ser mais bem explorados, principalmente levando-se em conta as características típicas do clima do País. Dentro deste enfoque, estudos espectrais em zonas mineralizadas, associações vegetação-solo-rocha, alterações hidrotermais de rochas, anomalias geobotânicas e outras condições superficiais merecem atenção, no sentido de incrementar o entendimento das interações entre a radiação eletromagnética e os alvos para que se possam determinar os sensores e os procedimentos metodológicos que melhor se aplicam às regiões de interesse.

NOVOS HORIZONTES: LANDSAT-D E SPOT

Atualmente a utilização de imagens multiespectrais para a identificação direta de corpos litológicos e regolitos é limitada pelas características das bandas espectrais existentes no sistema LANDSAT. Neste contexto, as perspectivas de avanços futuros residem na aplicação de produtos de novos sensores que tenham maior resolução espacial, espectral e radiométrica, facilidade de estereoscopia, bem como faixas adicionais no infravermelho e microondas.

Esforços recentes nos EUA, dirigidas para o desenvolvimento de um sistema orbital mais adequado às várias finalidades, resultaram na execução do programa LANDSAT-D, planejado para lançamento em julho de 82. O principal instrumento deste sistema será o Mapeador Temático (Thematic Mapper - TM) com radiometria, geometria e resolução espacial e espectral melhor do que os anteriores, como pode ser observado na Tabela 2. Este imageador integrará dados superficiais de elementos de resolução no terreno de 30 X 30 metros em 6 bandas espectrais, no visível e infravermelho próximo e médio, além de possuir uma banda no infravermelho termal, com elemento de resolução no terreno de 120 X 120 metros. Além do TM, o LANDSAT-D

terá também o já familiar MSS com as mesmas bandas espectrais dos anteriores. Os novos produtos MSS do LANDSAT-D provavelmente estarão disponíveis a partir de setembro de 1982, enquanto os produtos do TM, de forma sistemática, talvez possam ser utilizados somente a partir de julho de 83. Este novo satélite operará em órbita circular, polar e síncrona com o sol, numa altitude aproximada de 705 km, e seus sistemas imageadores varrerão uma faixa de 185 km de largura, com repetição para cada faixa recoberta, a cada 16 dias. Varreduras sucessivas terão também um recobrimento parcial, cuja porcentagem dependerá da latitude da cena. O horário da passagem sobre o Brasil será entre 09:30 e 10:00 hs, com transmissão direta para a estação receptora do INPE, em Cuiabá.

Quanto a potencialidade de discriminação litológica, o TM terá duas bandas (5 e 7) no infravermelho médio, onde ocorrem os picos de absorção (1,4 e 2,2 μm) produzidos pelos minerais de argila provenientes de alterações hidrotermais. Enquanto no visível e no infravermelho próximo a absorção predominante é produzida por minerais cujo constituinte é o ferro, no infravermelho médio prevalecem bandas de absorção causadas por processos eletrônicos de vibração de moléculas de água e hidroxilas, encontradas em rochas de alteração hidrotermal.

Entretanto, o TM não tem resolução espectral suficiente para identificar minerais específicos, visto que estes minerais têm faixa de absorção bastante pequena, num intervalo de aproximadamente 0,02 - 0,03 μm , quando comparada com a largura das bandas 5 e 7 de 0,20 e 0,27 μm respectivamente (Tabela 2).

A estação de recepção de Cuiabá poderá também receber os dados coletados pelo satélite SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre), planejado para lançamento em 1984 pelo CNES (Centro National d'Études Spatiales) da França. Este satélite terá uma órbita circular síncrona com o sol, em altitude média de 830 km. O SPOT operará com dois sistemas imageadores (HRV 1 e 2) idênticos, de alta resolução espacial, que recobrirão, na superfície, uma faixa de 117 km de largura produzida por varreduras executadas em sistemas contínuo, na mesma direção do movimento do satélite ("Pushbroom Method") utilizando detectores CCDs ("Charge-Coupled Devices"). O horário aproximado de passagem sobre o Brasil será 10:30 hs e os ângulos de visada dos imageadores poderão ser direcionados para pontos de interesse situados em áreas adjacentes à linha nadir. Desta maneira, o SPOT fornecerá recursos de estereoscopia a nível orbital, o que facilitará observações com frequentes recobrimentos de uma mesma região. Uma dada área poderá ser observada 12 vezes em latitudes médias, durante cada ciclo de 26 dias, com a opção de obtenção de informações espectrais em duas modalidades: uma em 3 bandas espectrais, com elementos de resolução no terreno de 20 metros, e outra pancromática (faixa do visível), com resolução de 10 metros (Tabela 2).

Enquanto os produtos do TM poderão fornecer melhores informações espectrais, os produtos do SPOT irão fornecer melhor resolução espacial, capacidade de estereoscopia, e passagens mais frequentes em locais onde exista necessidade de recobrimentos sucessivos.

Na opinião dos autores, os produtos do LANDSAT-D mostram-se a princípio, mais promissores do que os do SPOT para aplicações geológicas, devido às faixas espectrais escolhidas para o TM.

Na próxima década, vários países e instituições como o Japão, Índia, Canadá, Brasil e a ESA (European Space Agency) esperam lançar satélites com vários tipos de sensores remotos adaptados às suas necessidades específicas.

Espera-se que, com estes novos produtos e maior sofisticação e incremento em tratamento de dados multiespectrais por computadores, melhores subsí

dios possam ser fornecidos à comunidade geológica no que se refere a mapeamentos geológicos e principalmente à pesquisa de depósitos minerais do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

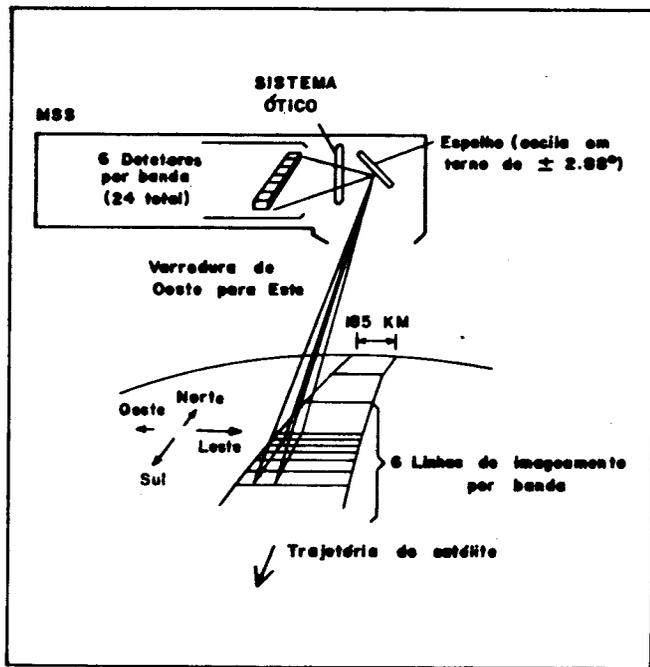
- CARRARO, C.C. 1973 Reconhecimento de rocha mineralizada nas transparências falsa cor de Vazante. São José dos Campos, INPE, 282-RI/71-RECM1, 28p.
- HUNT, G.R. 1977 Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. *Geophysics*, 42(3): 501-513.
- HUNT, G.R. 1980 Electromagnetic radiation: the communication link in remote sensing. In B.S. Siegal and A.R. Gillespie (Eds), "Remote Sensing in Geology". New York, Wiley and Sons: 5-45.
- LOGAN, L.M.; HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W. e BALSAMO, S.R. 1973 Compositional implications of Christiansen Frequency Maximums for Infrared Remote Sensing Applications. *J. Geophys. Res.*, 78:4983-5003.
- LYON, R.J.P. 1975 Mineral exploration applications of digitally processed LANDSAT imagery. First Annual T. Pecora Memorial Symposium, Sioux Falls, USA: 271-292.
- OLIVEIRA, J.A.D., MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W., LIU, C.C.; MENESES, P.R. 1976 Mapa geológico do estado do Rio de Janeiro baseado em imagens MSS do satélite LANDSAT-1. Departamento de Recursos Minerais, Secretaria do Estado de Indústria, Comércio e Turismo, Governo do Estado do Rio de Janeiro.
- RICCI, M. e PETRI, S. 1965 Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 226p.
- RIVERAU, J.C. 1972 Notas de aula do curso de fotointerpretação. Ouro Preto, Soc. Intern. Cult. Esc. Geol. de Ouro Preto, XI Semana de Estudos.
- ROWAN, L.C. 1972 Near-Infrared iron absorption bands: application to geologic mapping and mineral exploration. Fourth Annual Earth Resources Program Review, NASA, Houston, Texas: 60/1 - 60/18.

SOARES, P.C. e Fiori, A.P. 1976 Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografia aéreas em geologia. Not. Geomorfol., 16(32): 71-104.

TABELA 1

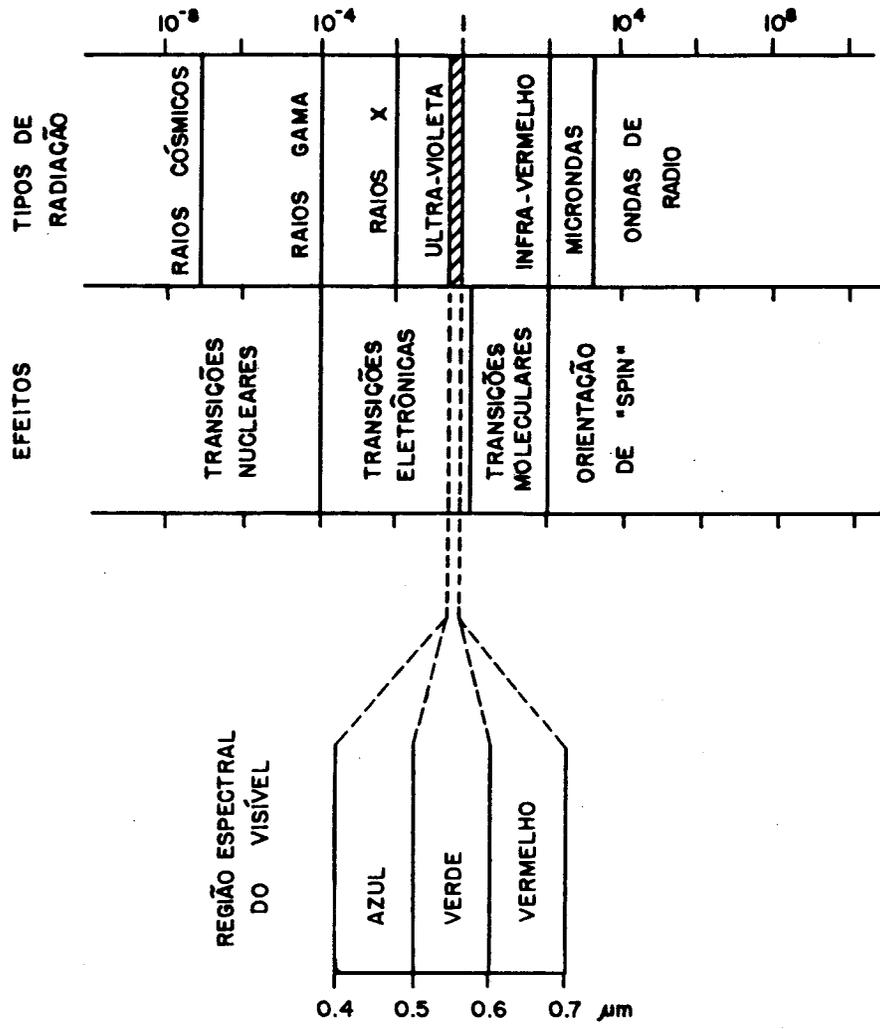
INTERVALOS ESPECTRAIS DAS VÁRIAS BANDAS NO SISTEMA MSS-LANDSAT

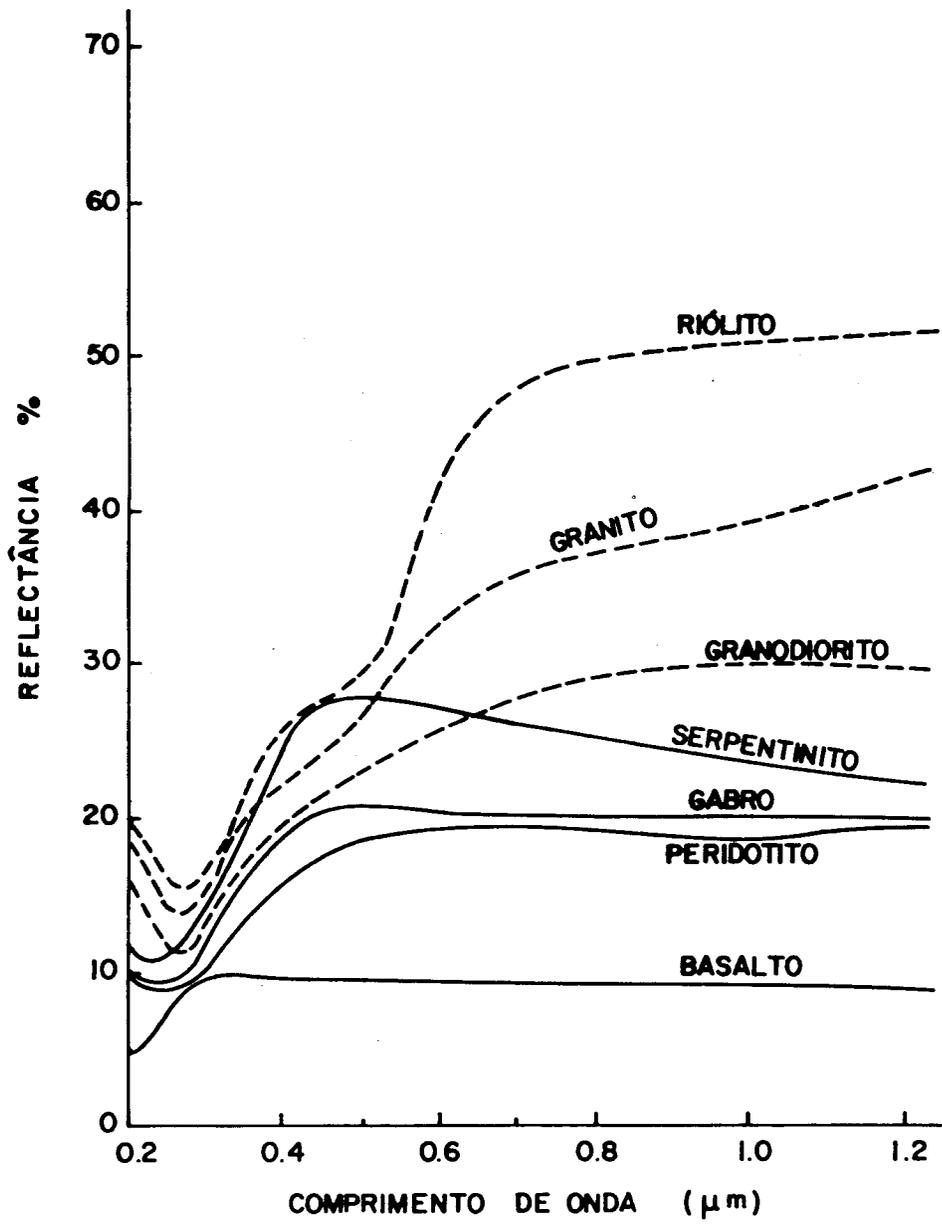
BANDA	FAIXA ESPECTRAL (μm)	COR CORRESPONDENTE
MSS 4	0,5 - 0,6	VERDE-LARANJA
MSS 5	0,6 - 0,7	LARANJA-VERMELHO
MSS 6	0,7 - 0,8	VERMELHO-INFRAVERMELHO
MSS 7	0,8 - 1,1	INFRAVERMELHO PRÓXIMO



ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

COMPRIENTO DE ONDA (μm)





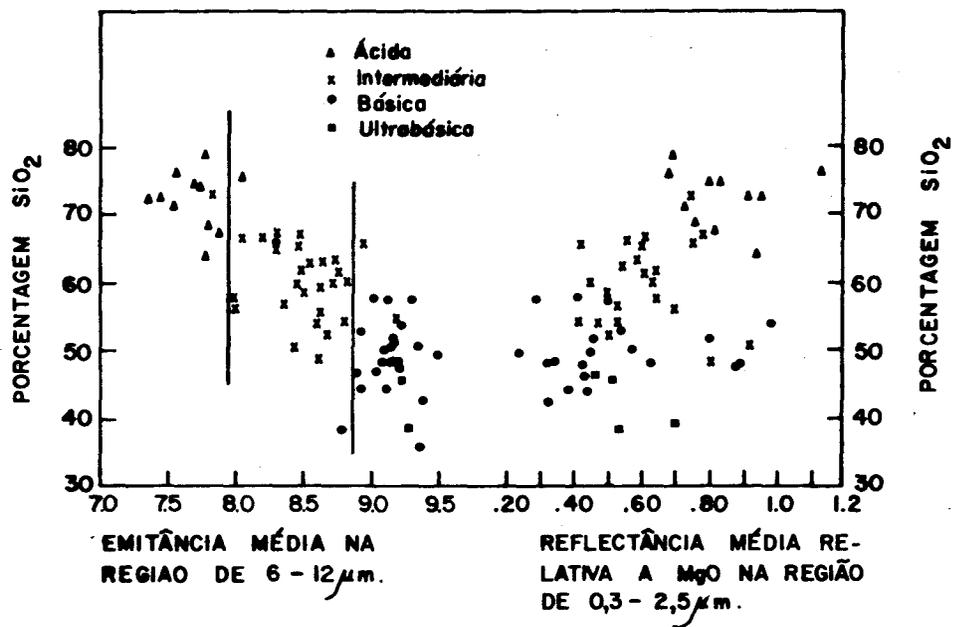


TABELA 2
CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS IMAGADORES DO LANDSAT-D E SPOT
(SYSTEME PROBATOIRE D'OBSERVATION DE LA TERRE)

L A N D S A T - D						S P O T					
MSS			TM			HRV: MÓDULO MULTIESPECTRAL			HRV: MÓDULO PANCROMÁTICO		
BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)	BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)	BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)	BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)
-	-	-	TM 1	0,45 - 0,52	30	-	-	-	-	-	-
MSS 1	0,5 - 0,6	82	TM 2	0,52 - 0,60	30	S1	0,50 - 0,59	20	P	0,51 - 0,73	10
MSS 2	0,6 - 0,7	82	TM 3	0,63 - 0,69	30	S2	0,61 - 0,68	20			
MSS 3	0,7 - 0,8	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSS 4	0,8 - 1,1	82	TM 4	0,76 - 0,90	30	S3	0,79 - 0,89	20	-	-	-
-	-	-	TM 5	1,55 - 1,75	30	-	-	-	-	-	-
-	-	-	TM 6	10,40 - 12,50	120	-	-	-	-	-	-
-	-	-	TM 7	2,08 - 2,35	30	-	-	-	-	-	-

MSS - "Multispectral Scanner".

TM - "Thematic Mapper".

ERT - Elemento de Resolução no Terreno.

HRV - "High Resolution Visible"

TABELA 2

CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS IMAGEADORES DO LANDSAT-D E SPOT

(SYSTEME PROBATOIRE D'OBSERVATION DE LA TERRE)

L A N D S A T - D						S P O T					
MSS			TM			HRV: MÓDULO MULTIESPECTRAL			HRV: MÓDULO PANCROMÁTICO		
BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)	BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)	BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)	BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)
-	-	-	TM 1	0,45 - 0,52	30	-	-	-	-	-	-
MSS 1	0,5 - 0,6	82	TM 2	0,52 - 0,60	30	51	0,50 - 0,59	20			
MSS 2	0,6 - 0,7	82	TM 3	0,63 - 0,69	30	52	0,61 - 0,68	20	P	0,51 - 0,73	10
MSS 3	0,7 - 0,8	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSS 4	0,8 - 1,1	82	TM 4	0,76 - 0,90	30	53	0,79 - 0,89	20	-	-	-
-	-	-	TM 5	1,55 - 1,75	30	-	-	-	-	-	-
-	-	-	TM 6	10,40 - 12,50	120	-	-	-	-	-	-
-	-	-	TM 7	2,08 - 2,35	30	-	-	-	-	-	-

TABELA 2
 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS IMAGEADORES DO LANDSAT-D E SPOT
 (SYSTEME PROBATOIRE D'OBSERVATION DE LA TERRE)

L A N D S A T - D							S P O T				
MSS			TM				HRV: MÓDULO MULTIESPECTRAL			HRV: MÓDULO PANCROMÁTICO	
BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)	BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)	BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)	BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)
-	-	-	TM 1	0,45 - 0,52	30	-	-	-	-	-	-
MSS 1	0,5 - 0,6	82	TM 2	0,52 - 0,60	30	S1	0,50 - 0,59	20			
MSS 2	0,6 - 0,7	82	TM 3	0,63 - 0,69	30	S2	0,61 - 0,68	20	P	0,51 - 0,73	10
MSS 3	0,7 - 0,8	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSS 4	0,8 - 1,1	82	TM 4	0,76 - 0,90	30	S3	0,79 - 0,89	20	-	-	-
-	-	-	TM 5	1,55 - 1,75	30	-	-	-	-	-	-
-	-	-	TM 6	10,40 - 12,50	120	-	-	-	-	-	-
-	-	-	TM 7	2,08 - 2,35	30	-	-	-	-	-	-

MSS - "Multispectral Scanner".

TM - "Thematic Mapper".

ERT - Elemento de Resolução no Terreno.

HRV - "High Resolution Visible"

CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS IMAGADORES DO LANDSAT-D E SPOT
(SYSTEME PROBATOIRE D'OBSERVATION DE LA TERRE)

L A N D S A T - D							S P O T					
MSS				TM			HRV: MÓDULO MULTIESPECTRAL			HRV: MÓDULO PANCROMÁTICO		
BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)	BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)	BANDA	BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)	BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	ERT (m)
-	-	-	TM 1	0,45 - 0,52	30	-	-	-	-	-	-	-
MSS 1	0,5 - 0,6	82	TM 2	0,52 - 0,60	30	S1		0,50 - 0,59	20			
MSS 2	0,6 - 0,7	82	TM 3	0,63 - 0,69	30	S2		0,61 - 0,68	20	P	0,51 - 0,73	10
MSS 3	0,7 - 0,8	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSS 4	0,8 - 1,1	82	TM 4	0,76 - 0,90	30	S3		0,79 - 0,89	20	-	-	-
-	-	-	TM 5	1,55 - 1,75	30	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	TM 6	10,40 - 12,50	120	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	TM 7	2,08 - 2,35	30	-	-	-	-	-	-	-

MSS - "Multispectral Scanner".

ERT - Elemento de Resolução no Terreno.

TM - "Thematic Mapper".

HRV - "High Resolution Visible"