
CONSIDERAÇÕES ACERCA DE UMA METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS TM/LANDSAT

Roberto Rosa

Prof. do Departamento de Geografia-UFU
Mestre em Sensoriamento Remoto pelo INPE

Este trabalho tem como objetivo apresentar algumas considerações acerca de uma metodologia para interpretação visual de dados obtidos pelo sensor Thematic Mapper(TM) do satélite norteamericano LANDSAT 5, no levantamento e mapeamento da Geomorfologia, geologia, pedologia, vegetação, agricultura e uso da terra. Procura, ainda, informar ao usuário quanto à melhoria de desempenho a ser obtida na interpretação, quando se faz uma boa escolha dos produtos, no que se refere à escala de trabalho, bandas espectrais, época de aquisição de imagens, etc.

1. INTRODUÇÃO

Com o lançamento do primeiro satélite de sensoriamento remoto, pelos EUA, em julho de 1972, abriu-se uma nova perspectiva para a utilização destes produtos para os mais diversos fins, principalmente no que se refere ao levantamento, mapeamento e monitoramento dos recursos naturais, e problemas ambientais.

O primeiro satélite de sensoriamento remoto era conhecido inicialmente pelo nome de ERTS (Satélite Tecnológico para os Recursos da Terra), e posteriormente batizado com o nome de LANDSAT 1. Os anos se passaram e hoje se encontra em operação o LANDSAT 5, o qual foi lançado ao espaço em março de 1984. Este satélite opera em uma órbita quase-polar, sincronizada com o Sol e a uma alti-

tude de 705 km, levando aproximadamente 99 minutos para cumprir uma órbita completa, imageando uma faixa de 185 km de largura. Essa geometria permite o imageamento em hora local constante (9:40 da manhã para a latitude de 20° sul) e de forma repetitiva (cobrindo o globo a cada 16 dias).

O LANDSAT 5 é equipado com dois sistemas de sensores: um sensor MSS (Multispectral Scanner System) com quatro bandas espectrais, e um sensor TM (Thematic Mapper) com sete bandas espectrais.

O fluxo de dados provenientes do sistema MSS e TM, é transformado em uma imagem pela justaposição das linhas de varredura, no sentido de deslocamento da plataforma.

Atualmente no Brasil, o sistema sensor TM, é o que está sendo mais utilizado, uma vez que o mesmo apresenta resolução espacial, espectral e radiométrica melhor do que o MSS. Por isso, este trabalho visa apenas fornecer premissas metodológicas para o uso do sensor TM.

Este sensor (TM), opera simultaneamente em sete bandas espectrais (cada uma com aplicação própria) com um campo de visada instantâneo (IFOV) ou resolução espacial equivalente a um quadrado no terreno de 30 x 30 m, nas seis bandas do visível e do infravermelho refletido, e de 120 x 120 m na banda termal.

O mecanismo de imageamento baseia-se no princípio de técnica de imageamento de scanners multiespectrais lineares. A energia refletida/emitada da superfície dos objetos é coletada por um espelho móvel com face plana, montado com um ângulo de 45 graus sobre um eixo mecânico que imprime um movimento oscilatório ao espelho, de tal forma que a superfície do terreno é varrida em linhas perpendiculares a direção de deslocamento da plataforma. O deslocamento do satélite permite o imageamento seqüencial de linhas na superfície do terreno.

A radiação coletada por este processo é dirigida para um espelho parabólico que a focaliza através de um telescópio sobre um conjunto de detetores, orientados e dispostos num arranjo, de tal forma que possam ser imageadas no terreno tantas linhas quanto for o número de detetores existentes por banda.

Para limitar e decompor a radiação total em intervalos espectrais correspondentes a cada banda, é colocado na frente dos detetores um conjunto de filtros espectrais. Ao incidir sobre os detetores, a radiação os sensibiliza fazendo com que produza um sinal elétrico de intensidade proporcional à energia incidente, o qual é então ampliado por um circuito eletrônico, convertido de analógico para digital. Posteriormente por processos fotográficos este valor digital é transformado em uma imagem preto e branco em papel, onde estes valores digitais representam diferentes graduações de cinza (tonalidades).

As informações contidas nestes produtos (imagens) são muitas vezes de difícil interpretação, em função da baixa resolução espacial, o que permite a discriminação dos objetos mais pelos seus atributos espectrais do que geométricos. No entanto, a complexidade na extração das informações aumenta em função das diferenças acentuadas que ocorrem nas variações tonais em função das imagens, quando tomadas em épocas diferentes, sob diferentes condições fenológicas, sazonais, atmosféricas e topográficas. Neste sentido este trabalho pretende mostrar as variáveis que interferem no levantamento, mapeamento e monitoramento de recursos naturais e ambientais, procurando sugerir os melhores produtos, dependendo da aplicação e dos objetivos da pesquisa.

Qualquer que seja a aplicação, um trabalho de interpretação de imagens consiste basicamente nas se-

guintes etapas: Definição dos Objetivos, Escolha da Área de Estudo, Solicitação dos Produtos, Revisão Bibliográfica, Coleta de Dados, Interpretação Visual Preliminar, Trabalho de Campo, Interpretação Visual Final e Relatório.

2. ELEMENTOS DE INTERPRETAÇÃO

a) Tonalidade/Cor

A tonalidade esta relacionada com a intensidade da radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos alvos, ou com o retorno do sinal, no caso do radar.

A tonalidade nada mais é do que diferentes graduações de cinza, que variam do branco ao preto, constituindo-se em elemento essencial na interpretação de imagens de satélite. As graduações de cinza da imagem, dependem das características da emulsão, processamento fotográfico, propriedades físico-químicas dos objetos imageados, além das condições de iluminação/topográficas e atmosféricas. Assim, a latitude, mês e hora são variáveis que nela interferem. Podendo, um mesmo tipo de cultura, aparecer com tonalidades diferentes, dependendo da hora, latitude ou época do ano.

A tonalidade em uma imagem, pode ser diretamente relacionada a radiância (R) registrada pelo sistema sensor TM/LANDSAT, e pode ser representada pela seguinte equação:

$$R = (S\tau\rho E/\pi) + S R_t$$

Onde S é o fator de ganho de uma banda do satélite; τ é a trans-

mitância da atmosfera; ρ é a refletância dos alvos de superfície; E é a irradiância na superfície e R_t é a radiância de trajetória (efeito aditivo resultante do espalhamento atmosférico, situado entre a superfície e o satélite).

As diferentes tonalidade de cinza encontradas em uma determinada banda TM/LANDSAT para um mesmo alvo e para uma mesma data e horário de tomada dos dados são explicados pela variação da irradiância na superfície. Neste caso, os parâmetros S, τ , ρ e R_t são constantes.

A irradiância (E), depende da latitude, da declinação do Sol (época do ano), da distância Terra-Sol, da orientação e inclinação da superfície topográfica, e do horário de obtenção da imagem.

A cor, por sua vez, depende do comprimento de onda da radiação eletromagnética e da sensibilidade do filme. Uma das vantagens é que o olho humano é capaz de distinguir mais cores do que tons de cinza.

b) Textura

A textura é o padrão de arranjo dos elementos texturais. Elemento textural é a menor feição contínua e homogênea distinguível na imagem e passível de repetição. Depende da escala e da resolução espacial do sistema sensor, além do contraste entre os objetos ou feições da superfície. A textura varia de lisa à grosseira, dependendo das características dos alvos, resolução e escala.

c) Forma e Tamanho

A forma e o tamanho podem ser usados para identificar feições individuais, dependendo da escala utilizada. Geralmente, as feições naturais apresentam formas irregulares, enquanto que feições trabalhadas pelo homem, como exemplo: culturas, reflorestamento, estradas, etc., possuem formas geométricas. O tamanho da feição, pode indicar o tipo de ocupação, tipo de uso, tamanho das propriedades, etc..

d) Sombra

As sombras são fenômenos comuns nas imagens de satélite. Elas são resultantes da iluminação oblíqua do sol, ou da ausência do retorno do sinal, no caso de dados obtidos por radar.

Em imagens de grande escala, a sombra pode propiciar o reconhecimento e aferição da altura de edifícios, árvores, etc.. Porém muitas vezes o efeito da sombra mascara detalhes importantes.

Imagens obtidas com baixos ângulos de elevação solar (inverno), favorecem os estudos geomorfológicos em função da sombra propiciar o inferimento do modelado topográfico. No entanto, não são adequadas para o estudo do uso do solo, pois o efeito da sombra pode ocultar alvos de interesse.

e) Padrão

Em imagens de satélite o processo de extração de informações

consiste basicamente na inspeção e na identificação de diferentes padrões tonais e texturais em cada banda espectral, e na sua comparação em diferentes bandas e épocas.

Devido à características de repetitividade de imageamento, pode-se analisar as variações temporais apresentadas pelos diferentes padrões de tonalidade e de textura do alvo.

O padrão ou arranjo espacial das fazendas, dos campos, das culturas, ou de outros alvos é, usualmente uma das características mais importantes na interpretação.

3. APLICAÇÃO

Atualmente se torna difícil algum tipo de atividade que não utilize, direta ou indiretamente informações coletadas por satélites.

Em geral, nos diferentes tipos de aplicações (geomorfologia, geologia, pedologia, vegetação, agricultura e uso do solo) começa-se com a escolha da escala com que deseja-se trabalhar, esta depende da precisão dos resultados, dos objetivos da pesquisa e da existência de material (produto) na escala desejada. A seguir, define-se a banda ou o conjunto de bandas a serem utilizados, dependendo das características dos alvos de estudo. O período de aquisição das imagens também é muito importante, pois depende das variações das condições fenológicas dos alvos e/ou das condições de iluminação e atmosféricas.

a) Geomorfologia

A escolha da escala das imagens é feita em função dos objetivos da pesquisa. Em geral, para mapeamentos geomorfológicos costumam-se utilizar imagens na escala 1:500.000 a 1:250.000. A escala 1:500.000 tem a vantagem de apresentar uma melhor definição dos elementos texturais, quando comparada com escalas maiores.

Quando se tem em mente um mapeamento com mais detalhes, aconselha-se a utilização de imagens na escala de 1:100.000 ou até mesmo 1:50.000, mais sempre acompanhada de imagens de escalas menores para servirem de orientação na definição mais precisa dos limites entre as unidades. Deve-se salientar, que uma ampliação na escala original não implica em aumento na resolução espacial da imagem. Feições com dimensões inferiores a resolução espacial do sensor não serão identificadas, a não ser que possuam um alto contraste.

A seleção da época de tomada das imagens vai depender das características da região de estudo, dos alvos que se deseja identificar e dos objetivos do trabalho. Quando se pretende estudar áreas que possuem topografia plana ou com cobertura vegetal densa, é aconselhável utilizar imagens correspondentes aos meses de inverno, com pequenos ângulos de elevação solar, os quais tendem a realçar, pelo efeito de sombreamento, pequenas variações na topografia. No entanto, em áreas de relevo caracterizado por elevados valores de amplitude altimétrica, imagens tomadas com baixos ângulos de elevação solar podem provocar um excesso

de sombreamento, ocultando feições importantes do relevo.

Para identificação e mapeamento de voçorocas e ravinas, imagens obtidas no inverno, são as mais indicadas, uma vez que os baixos ângulos de elevação solar deste período acentuam o efeito de sombreamento, facilitando, assim, a sua discriminação. No entanto, sempre que possível, deve-se utilizar imagens de mais de uma época, para aproveitar o realce natural de feições, proporcionado pelas variações de azimute e elevação solar.

Quando se deseja estudar fenômenos dinâmicos, como por exemplo estudos de sedimentos em suspensão na água, deve-se utilizar imagens seqüenciais, sendo o período chuvoso o mais indicado, pois é quando ocorrem as maiores quantidades de carregamento de material.

A utilização de imagens em dois períodos sazonais possibilita a caracterização do comportamento de reservatórios artificiais, em função das variações pluviométricas. No entanto, a seleção da estação mais propícia depende das características inerentes ao fenômeno a ser estudado, cujo conhecimento deve ser adquirido pelo intérprete através de pesquisa bibliográfica.

A seleção de banda ou bandas a serem utilizadas na análise de imagens TM/LANDSAT depende também dos objetivos da pesquisa. Quando o objetivo for o estudo da compartimentação geomorfológica, a banda TM 4 demonstrou ser a mais indicada. A banda TM 3, entretanto, deve ser utilizada para a aquisição de infor-

mações adicionais, tais como drenagem secundária, cobertura vegetal, etc.. A banda TM 4 fornece mais informações de natureza geomorfológica que a banda TM 3, no entanto, o uso conjunto das duas bandas aumenta consideravelmente a eficiência da interpretação.

As áreas de ocorrência de processos de voçorocamento e ravinamento pode ser melhor visualizado na banda TM 3, devido ao alto contraste tonal entre o solo exposto na cicatriz e a vegetação adjacente.

O traçado da rede de drenagem deve ser feita inicialmente na banda TM 4, através da qual podem ser facilmente traçados os rios principais, cuja a lâmina de água apresenta tonalidade escura. A banda TM 3, deve ser usada para o mapeamento da rede de drenagem secundária, a qual é identificada nesta banda em função da presença da mata de galeria, que apresenta tonalidade escura, contrastando com as áreas adjacentes.

Em regiões recobertas uniformemente por vegetação densa, deve-se utilizar a banda TM 4, referente ao período seco, para o mapeamento da rede de drenagem, pois nessa época existem diferenças entre a resposta espectral da mata galeria e a mata adjacente, devido às diferenças de umidade.

Após o traçado minucioso da rede de drenagem deve-se fazer uma análise qualitativa e quantitativa da mesma. Na análise qualitativa são identificados os diferentes padrões de drenagem, direção do escoamento,

forma do canal fluvial, assimetria, etc.. Para a análise quantitativa deve-se definir primeiramente, o sistema de amostragem e os índices a serem coletados tais como: forma da bacia, densidade hidrográfica, densidade de drenagem, etc..

b) Geologia

As informações geológicas extraídas das imagens são deduzidas da análise das formas. Os passos a serem seguidos são os mesmos da interpretação geomorfológica, porém uma nova legenda é criada, onde a partir das informações geomorfológicas são obtidos os significados geológicos associados.

As imagens TM/LANDSAT podem ser aplicadas ao levantamento e mapeamento geológico em diferentes escalas a um tempo relativamente curto quando comparado aos métodos tradicionais.

De uma maneira geral, as imagens TM/LANDSAT se prestam para a localização de estruturas, tipos de rochas, formações e sedimentos superficiais com os quais depósitos de óleo, gás, minerais, etc. possam estar associados. São usadas também para localização de fraturas e juntas, nas quais pode ocorrer água subterrânea; monitoramento de água superficial; localização de depósitos de areia, cascalhos, argilas e, outros minerais para a construção, além do monitoramento de depósitos de rejeitos.

c) Pedologia

Os levantamentos de solos podem ser feitos em vários níveis, desde

generalizado, até o mais detalhado. Por isso torna-se necessário uma compatibilização da escala de trabalho com a escala do mapa, para que o produto seja mais coerente. Para cada nível de detalhamento há também um produto de sensoriamento remoto que mais se adapta.

Os principais tipos de levantamentos são: Esquemático (escala menor de 1:1.000.000), Exploratório (a escala oscila em torno de 1:1.000.000), Reconhecimento (escala entre 1:300.000 a 1:600.000), Reconhecimento/Detalhado (escalas 1:100.000), Semi-detalhado (escala 1:50.000) e Detalhado (são apresentados em escalas maiores do que 1:25.000).

No levantamento de solo, o relevo desempenha um importante papel na determinação da natureza e magnitude dos diferentes processos que formam o solo, tais como a erosão e a drenagem. Geralmente, um tipo de solo é encontrado nos terrenos mais elevados; outro nas meia encostas; e, um terceiro tipo, nas áreas planas. Dessa forma, ao se mapear os limites do relevo, os limites dos diferentes tipos de solos serão inferidos, embora isso não seja uma regra geral, haja visto que variações nos demais fatores de formação do solo podem concorrer para que os solos variem sem modificar o relevo.

Depois do relevo, a drenagem é o elemento que mais se destaca nas imagens de grande escala, visto que esta resulta da manifestação de uma série de fatores como a geologia, relevo, clima, vegetação, além das características do próprio solo.

O padrão de drenagem desenvolvido em uma região é em grande parte função da relação infiltração/ escoamento superficial. Solos relativamente arenosos, favorecem a infiltração em detrimento do escoamento superficial, apresentando um padrão de drenagem pouco denso. Solos argilosos oferecem maior resistência a infiltração, favorecendo o escoamento superficial e criando um padrão de drenagem mais denso.

A tonalidade fotográfica oferece valiosa contribuição para o mapeamento de solos, porém está sujeita a muitas variações dependentes do relevo, umidade, filme, filtros, exposição, processamento, além dos fatores meteorológicos como névoa, ângulo de iluminação solar e sombras.

De uma maneira geral, os solos argilosos e orgânicos, com maior retenção de umidade aparecem com tonalidades mais escuras; solos arenosos ou erodidos aparecem com tonalidades mais claras.

O interprete, pode também, com uma certa experiência, reconhecer diferentes tipos de culturas ou formas de ocupação agrícola e inferir o tipo de solo aí predominante.

O comportamento espectral dos solos variam em função de diversos fatores intrínsecos ao mesmo, dentre os quais podemos destacar: a umidade, o conteúdo de matéria orgânica, a cor, a textura, a capacidade de troca catiônica (CTC), o conteúdo de óxido de ferro e as condições de superfície (granulometria e estrutura). Uma curva média para o solo nas diferentes bandas espectrais do TM/

LANDSAT, pode ser observada na figura 1.

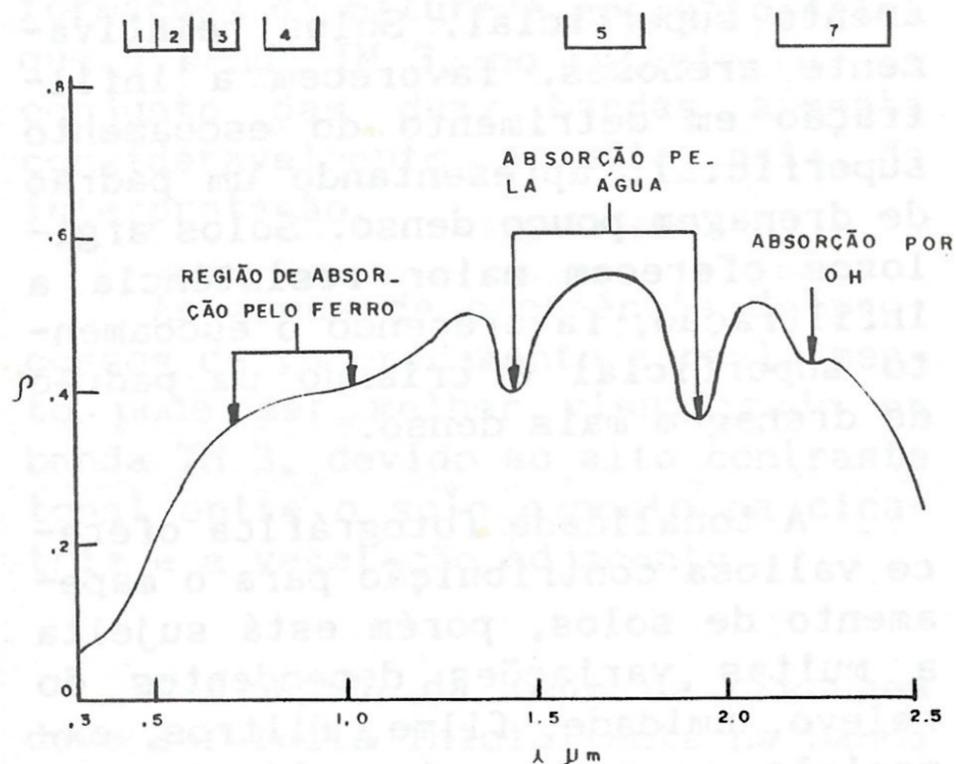


Fig. 1 - Resposta espectral dos solos e Bandas do TM/LANDSAT

De uma forma geral, solos com maior quantidade de matéria orgânica, umidade, CTC e óxido de ferro, possuem uma reflectância menor, conseqüentemente, aparecem nas imagens com tonalidades mais escuras.

As bandas TM 3 e TM 4 são as mais indicadas para o mapeamento de solos em região de cerrado, no entanto, com o uso da banda TM 5 pode-se obter resultados semelhantes ao TM 3.

No TM 3 (faixa visível do espectro eletromagnético), de maneira geral, as tonalidades mais escuras correspondem às áreas de vegetação mais desenvolvidas, como as matas de galeria e encostas, cerradão, e as áreas de reflorestamento; os níveis de cinza claros correspondem às áreas desmatadas e sem rebrota, aos núcleos urbanos e, as áreas de ocupação com a agropecuária; os níveis

intermediários poderão estar associados a tipos de vegetação menos densa (cerrado, campo cerrado, pastagens naturais, etc.).

No TM 4 (faixa do infravermelho refletido do espectro eletromagnético), as áreas com vegetação mais desenvolvidas (matas, cerradão, reflorestamento), apresentam tons de cinza também escuro, porém, torna-se difícil a separação destas categorias de ocupação, uma vez que as mesmas confundem-se com as áreas úmidas marginais e estas (áreas de brejos e veredas), por apresentarem níveis de cinza médio, ao passo que as áreas ocupadas com culturas anuais (soja e milho) quando estas apresentam uma boa cobertura do terreno (biomassa), aparecem com tonalidades cinza claro. Porém, a separação destas categorias torna-se possível quando se analisa os alvos concomitantemente nas bandas TM 3 e TM 4, associados a outros elementos de interpretação (textura, padrão, forma e tamanho).

A tonalidade, quando analisada sobre as imagens LANDSAT, contribui para o reconhecimento, principalmente dos aspectos da vegetação e uso da terra, os quais poderão indiretamente proporcionar meios de inferências quanto às condições de solo. Como exemplo, pode-se encontrar áreas sob intensa atividade agrícola e concluir que isto se prende ao fato destes solos serem de boa aptidão agrícola, ou seja, de relevo propício a mecanização, boa fertilidade, etc.. No caso de uma área de vegetação do tipo campo sujo, permite inferir a ocorrência de solos de baixa fertilidade, pouco profundos, etc..

No TM 4 os solos de regiões úmidas (baixadas) apresentam níveis de cinza escuro, os quais contrastam com os solos vizinhos, facilitando, o limite entre estes solos. Nesta banda, o Latossolo Roxo, também aparece com níveis de cinza escuro, o qual se deve a textura argilosa e a coloração vermelha escura a roxa, e, provavelmente, aos altos teores de ferro e manganês.

A textura (impressão visual de rugosidade ou uniformidade originada pelos alvos de superfície) é um elemento muito importante em interpretação de imagens. As variações de textura - associadas a variações do relevo, drenagem, etc - constituem uma propriedade fundamental da análise de imagens, pois permite separar feições com significado diferente, ou associar feições com o mesmo significado. Pode-se ter textura sem significado pedológico, porém, com significado geomorfológico, geológico, ou florestal, o que é importante na inferência sobre os solos.

No tocante as imagens fotográficas coloridas (composições coloridas), deve-se mencionar que esses produtos são de grande eficiência, pois proporcionam o estudo de certos detalhes impossíveis de serem reconhecidos ou analisados em imagens fotográficas em preto e branco. Porém, sempre que se queira fazer uso dessas imagens para determinados fins, deve-se levar em consideração a relação custo/benefício, pelo fato destas serem de custo mais elevado que as imagens em preto e branco.

d) Vegetação

No estudo de vegetação, a escolha da imagem que contém a área de

interesse deve basear-se em três pontos fundamentais: época de tomada, bandas espectrais e escala de trabalho.

A época de tomada da imagem é importante pois está diretamente relacionada à variação sazonal que ocorre as diferentes espécies vegetais, refletindo diretamente no comportamento espectral da vegetação.

As imagens do período seco são as mais indicadas, pois permitem identificar melhor os diferentes tipos de vegetação, e discriminar, em alguns casos, as diferentes formas dentro de um mesmo tipo de vegetação.

A vegetação interage com a radiação eletromagnética de forma diferente em cada faixa do espectro. A curva padrão da resposta espectral da vegetação (Figura 2) mostra um pico de absorção na região azul e outra na região do vermelho, devido a presença de carotenos e da clorofila. Na transição do vermelho para o infravermelho próximo, nota-se um acentuado aumento da reflectância, a qual se mantém ao longo de toda a faixa do infravermelho próximo, diminuindo na região do infravermelho médio.

Na faixa visual (0,40 - 0,68 um), os pigmentos existentes na folha verde são os responsáveis pela sua resposta espectral, apresentando uma forte absorção da radiação incidente nas regiões do azul e do vermelho. Essa absorção é inversamente proporcional a reflectância nesta faixa.

Na porção do espectro referente ao infravermelho próximo (0,69 - 1,10 um) ocorre exatamente o inver-

BANDAS ESPECTRAIS DO TM

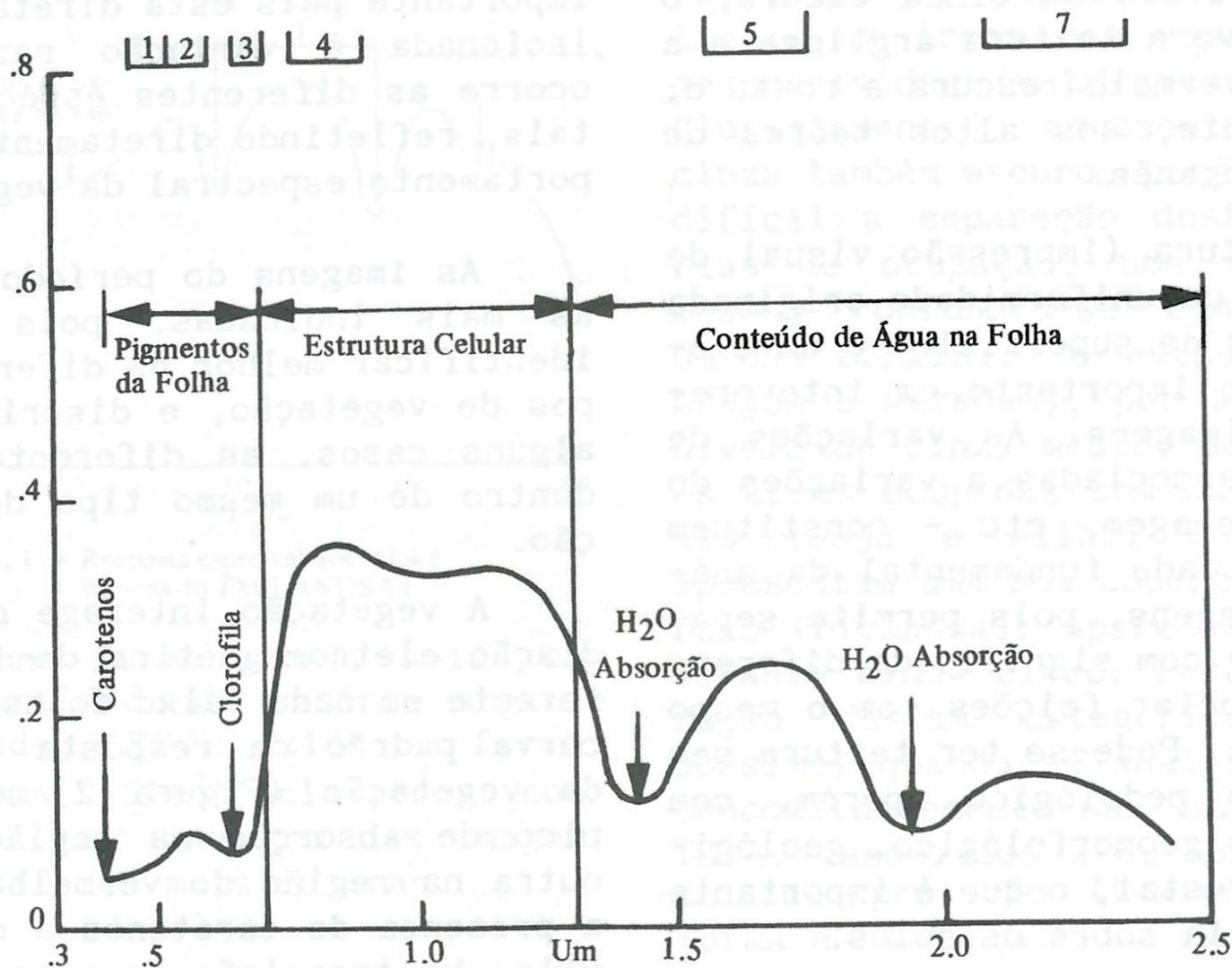


Fig. 2 – Resposta Espectral da Vegetação e Bandas do TM/LANDSAT

so. As folhas verdes absorvem muito pouca energia nesta região do espectro, apresentando uma alta reflectância.

A radiação ao incidir sobre uma camada de folhas é refletida em cerca de 50%, e transmite o restante. Se esta porção transmitida encontrar outra camada de folhas o aumento da reflectância é pouco significativo.

Na faixa do visível, o comportamento da vegetação verde é caracte-

terizado por forte absorção, a qual ocorre logo que a radiação incide na primeira folha. No infravermelho, a resposta da vegetação cresce com a densidade da folhagem. A deficiência d'água aumenta a reflectância da vegetação em todo o intervalo considerado, visível e infravermelho. Já a deficiência de nitrogênio na folha causa um aumento da reflectância no visível e infravermelho próximo, e uma diminuição da reflectância no infravermelho médio.

Basicamente, a medida da reflectância espectral da vegetação depende de uma série de fatores como condições atmosféricas, espécie, solo (granulometria, água e nutrientes), índice de área foliar (cobertura da vegetação por unidade de área), estado fenológico (variação da vegetação devido a variação sazonal), biomassa (densidade total da vegetação), folha (forma, posição, água, pigmento, estrutura interna), geometria de medida e cobertura da copa.

A densidade de folhagem exerce importante papel na intensidade da resposta da vegetação no infravermelho próximo. A maior densidade de folhagem na estação de chuvas faz com que a reflectância da vegetação tomada nesta época no infravermelho seja menor.

As estações de chuva e seca modificam também a resposta da vegetação na faixa espectral do visível. As variações de reflectância nesta faixa são devidas principalmente as diferentes associações de solo e vegetação, em termos de exposição relativa entre ambos. Assim, durante a estação das chuvas, o maior vigor e a maior densidade de folhagem acarretam forte absorção da radiação nessa faixa espectral fazendo com que áreas de cobertura vegetal mais densa apareçam com menor reflectância (no visível). Por sua vez, áreas de solos expostos ou coberturas vegetais menos densas são mais contrastadas neste intervalo espectral, apresentando-se com uma maior reflectância.

Na escolha das bandas, recomenda-se o uso da banda TM 3, pois os

alvos florestais tem a propriedade de absorver maior quantidade de energia eletromagnética na região do visível (TM 3), em razão direta ao aumento da densidade da cobertura vegetal. No entanto, o TM 4 deve ser usado para a obtenção de informações complementares.

Quanto à escala, recomenda-se o uso da escala de 1:100.000 ou 1:50.000, tanto para a análise visual, como para a etapa de trabalho de campo.

Observados os três pontos principais de seleção (época, bandas e escala), e de posse das imagens, pode-se iniciar a etapa de interpretação. Esta deve basear-se, de acordo com a vegetação da área (natural ou artificial), nos aspectos espectrais, temporais e espaciais. Quanto aos aspectos espectrais, são analisados os elementos de interpretação (tonalidade/textura). No que refere aos aspectos temporais, serão analisadas as características espectrais dos alvos em imagens obtidas em datas de passagens diferentes. Quanto aos aspectos espaciais, são analisadas as formas e a distribuição do alvo.

A caracterização da rede de drenagem permite mostrar a influência do solo, relevo, e conteúdo hídrico no comportamento da vegetação local. Para o traçado da rede de drenagem (canais principais) recomenda-se o uso da banda TM 4, onde a água aparece com tonalidade bem escura, pois absorve grande quantidade de radiação nestes comprimentos de onda (infravermelho próximo). O TM 3 pode ser usado para delimitar os canais fluviais em função da mata de galeria.

A tonalidade é o principal aspecto interpretativo. Procura-se identificar e demarcar o maior número possível de unidades homogêneas quanto a este padrão, tanto na banda TM 3, como na TM 4.

No TM 3, geralmente, uma vegetação bem densa aparece com tons escuros, enquanto uma vegetação mais rala, aparece com tons mais claros. Logicamente, ocorrem excessões, como no caso de áreas com espécies caducifólias, campos inundáveis, etc.. No TM 4, as áreas com alto grau de umidade apresentam tons mais escuros, devido à absorção da radiação pela água, nessa faixa do espectro, permitindo com eficiência a identificação por exemplo, da vegetação de várzeas, áreas sujeitas à inundação, e a delimitação de áreas em que as diferenças da cobertura vegetal estão associadas a diferentes condições de umidade do solo. Esta banda também é recomendável para a delimitação de áreas de vegetação em regeneração, após a queimada.

Outro elemento importante na interpretação da vegetação, é a textura fotográfica, esta pode ser: lisa ou fina, média e grosseira. A textura é dita lisa ou fina, quando não há variação perceptível de tons de cinza, e, grosseira, quando em uma determinada área existe uma mescla (variação) de tons claros e escuros. Por exemplo, uma área totalmente coberta pela vegetação, e outra parcialmente coberta (manchas de solo exposto), apresentam respectivamente, textura lisa e grosseira. Pode-se também dizer que a textura é lisa quando o plantio é homogêneo, e grosseira quando a área apresenta falhas (plantio heterogêneo).

e) Agricultura

Os produtos TM/LANDSAT são de grande valia e eficiência na avaliação e mapeamentos de áreas agrícolas. Recomenda-se para isso a utilização da escala de 1:100.000 ou 1:50.000, associado ao comportamento espectral das culturas, bandas TM 3 e TM 4 bem como suas características temporais.

A utilização de análise temporal pode melhor ser entendido através do exemplo a seguir. Consideram-se 3 culturas (A, B, e C) que se pretende identificar e discriminar nas seguintes situações:

- as culturas A e B tem comportamento espectral muito semelhantes durante a fase de crescimento, porém bastante diferente na fase de maturação;

- a cultura C difere de A e B na fase de crescimento, porém apresenta resposta espectral semelhante à A e B na fase de maturação.

Neste caso, uma das alternativas favoráveis à discriminação dessas culturas seria utilizar tanto o critério espectral (diferentes bandas) como o temporal (épocas de tomada das imagens em diferentes estágios fenológicos). Para tanto, escolhe-se uma data no período de crescimento das culturas a qual permite a identificação de duas classes: uma constituída pelas culturas A e B e outra pela C. Posteriormente utiliza-se imagem de uma data no período de maturação, o que permite discriminar as culturas A e B entre si. Desta forma as diferentes culturas foram discriminadas.

Além dos critérios espectrais e temporais da cultura, utilizam-se também na identificação de áreas agrícolas os elementos texturais, tonais, além, da forma do relevo, arranjo espacial e calendário agrícola da região.

Com o uso desta metodologia, as imagens TM/LANDSAT podem fornecer as seguintes informações de interesse agrícola: área plantada, produtividade, avaliar e estimar danos causados por pragas, doenças e eventos episódicos como secas, geadas, tempestades, enchentes, etc..

f) Uso da Terra

O levantamento do uso da Terra numa dada região tornou-se um aspecto de interesse fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço. Deste modo, há necessidade de atualização constante dos registros de uso da terra, para que suas tendências possam ser analisadas. Neste contexto, o sensoriamento remoto constitui-se numa técnica de grande utilidade, pois permite, em curto espaço de tempo a obtenção de uma grande quantidade de informações a respeito de registros de uso da Terra.

A expressão "uso da Terra" pode ser entendida como sendo a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem. O levantamento do uso da terra é de grande importância, na medida em que os efeitos do uso desordenado causam deterioração no am-

biente. Os processos de erosão intensos, as inundações, os assoreamentos desenfreados de reservatórios e cursos d'água são conseqüências imediatas do mau uso deste solo.

Entretanto, as medidas para o planejamento do uso da terra tem sido, até recentemente, baseadas em informações fragmentadas sobre os efeitos do uso da terra no ambiente. Isto ocorria porque não existia registros seguros sobre as condições de uso da terra, não se podendo avaliar, as alterações que são provocadas pelo homem.

Não existe classificação de revestimento e uso da terra, que seja única e ideal, e é pouco provável que uma possa a vir a ser desenvolvida. Cada classificação é feita de forma a atender as necessidades do usuário e adaptadas a região.

Para o levantamento e mapeamento do uso da terra, na seleção de imagens, deve-se levar em consideração o grau de cobertura de nuvens a escala de trabalho que atenda aos objetivos da pesquisa, a época mais conveniente, em função das mudanças espectrais dos alvos, bem como as bandas espectrais mais indicadas.

Em função dos alvos existentes no cerrado, aconselha-se o uso de imagens do período seco, e o uso concomitante das bandas TM 3, TM 4 e TM 5. O uso de composições coloridas seria o mais indicado porém deve-se levar em consideração a relação custo/benefício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIMA, S.C.; ROSA, R.; FELTRAN FILHO,

A. Mapeamento do Uso do Solo no Município de Uberlândia - MG, através de Imagens TM/LANDSAT.

Revista Sociedade & Natureza
1(2):127-145, dezembro/1989.

MENDONÇA, F.J. Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura: Princípios Básicos, Metodologia e Aplicações. Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 1981, (INPE-2225-MD/012).

NOVO, E.M.L.M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1989.

ROSA, R. & SANO, E.E. Análise dos Parâmetros Responsáveis pelas Variações das Condições de Iluminação nos dados LANDSAT. Anais do Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto. Gramado, 1986.

ROSA, R. Influência das Condições de Iluminação Solar nos Dados TM/LANDSAT. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1987. (INPE-4463/TDL-320).

_____ Estudo do Comportamento Espectral da Cultura de Cana-de-Açúcar em Função das Variações das Condições de Iluminação da Cena.

Revista Sociedade & Natureza 1(2):
5-43, dezembro/1989.

_____ Introdução ao Sensoriamento Remoto. EDUFU, Uberlândia, 1990.

SANTOS, J.R.; HERNANDES FILHO, P. & SHIMABUKURO, Y.E. Metodologia de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto e Aplicações em Vegetação. Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 1981 (INPE-2215-MD/010).

SAUSEN, T.M. & NOVO, E.M.L.M. Metodologia de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto e Aplicações em Geomorfologia. Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 1981. (INPE-2209-MD/007).

VALÉRIO FILHO, M.; EPIPHANIO, J.C.N. & FORMAGGIO, A.R. Metodologia de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto e aplicações em Pedologia. Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 1981. (INPE-2211-MD/008).

VENEZIANI, P. & ANJOS, C.E. Metodologia de Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto e aplicações em Geologia. Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 1982. (INPE-2227-MD/014).