

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO  
SOLAR NOS DADOS TM/LANDSAT

Roberto Rosa  
Departamento de Geografia  
Universidade Federal de Uberlândia  
Caixa Postal 593, 38400 - Uberlândia, MG, Brasil

RESUMO

As imagens da superfície terrestre obtidas por veículos espaciais, como os da série Landsat, estão sujeitas a variações tonais quando tomadas em épocas diferentes, ou em áreas com acentuadas variações topográficas. Essas variações tonais podem ocorrer em função de inúmeros fatores, dentre os quais destaca-se as variações das condições de iluminação da cena. O objetivo deste trabalho é estudar o efeito causado pela variação do ângulo de incidência solar sobre os valores digitais registrados nos intervalos espectrais correspondentes a parte do espectro refletivo das bandas do TM. A irradiância na superfície varia em função da: a) variação anual do ângulo de elevação e azimute solar; b) variação da distância terra-sol; c) inclinação e orientação da superfície topográfica. Essas variações na irradiância podem ser expressas como função do co-seno  $\beta$ . Partindo-se do princípio de que com a variação da irradiância, variará também a radiância da superfície através do termo co-seno  $\beta$ , procurou-se testar tal efeito sobre os dados digitais obtidos a partir da cana-de-açúcar e solo exposto, onde concluiu-se o seguinte: a) o solo apresenta maior dependência das condições de iluminação do que a cana-de-açúcar, em todas as faixas espectrais estudadas; b) a faixa do infravermelho médio (TM5 e TM7) é mais afetada do que a faixa do visível e infravermelho próximo, tanto para o solo quanto para a cana-de-açúcar.

ABSTRACT

Satellite imageries are subjected to changes in tonality as related to both topography and sensing geometry changes along the incidence angle affects digital number on the reflexive TM bands. Irradiance on the surface is a function of: a) annual change in solar zenith and azimuth; b) annual changes in the sun-earth distance; c) aspect and inclination of slopes. All those variables can be joined in the term  $\cos \beta$  which was used to express changes in the radiance into the earth surface. Correlation between  $\cos \beta$  and digital number was run for 72 examples and 2 different earth targets: bare soil and sugar cane. The hypothesis tested was that if  $\cos \beta$  was the only factor effecting digital number, there would be a very high correlation between them. The results have shown the following trends: a) digital numbers taken from soil samples are more dependent on  $\cos \beta$  than sugar cane sample; b) infrared wavelength are more dependent on  $\cos \beta$  term than visible wavelengths. Results led to the conclusion that topography does affect digital number on TM Landsat data.

## 1. INTRODUÇÃO

O início da década de 70 assistiu uma retomada nos estudos radiométricos de campo visando uma melhor compreensão dos efeitos da geometria de iluminação dos objetos sobre seu comportamento espectral. Esse interesse derivou da compreensão de que o modelo lambertiano e as deduções dele derivados não se aplicavam a todas as condições de geometria de aquisição de dados. Com a possibilidade de aquisição de dados do satélite SPOT dotado de uma visada off-nadir, o interesse pelas questões de geometria alvo-sensor-fonte aumentou consideravelmente.

Neste contexto, o presente trabalho pretende dar uma contribuição ao estudo desses fatores. Devido a complexidade desses fatores foram adotadas simplificações tais como: a adoção de um modelo lambertiano para o comportamento dos alvos; a imposição de ausência de interferência de atmosfera; condição de visada nadir. Embora não se tenha um controle completo das características dos alvos estudados, partiu-se do princípio que as amostras utilizadas para representá-los eram homogêneas.

Tendo em vista que no Brasil não se dispõe de instrumental necessário ao estudo de radiância de cena, por onde se deveria necessariamente iniciar qualquer análise dessa natureza, optou-se por abordar os problemas de geometria de iluminação dos objetos a partir do registro de níveis de cinza em imagens orbitais.

O estudo dos efeitos da geometria de iluminação de alvos terrestres em imagens orbitais se justifica principalmente tendo em vista a grande utilização desses dados no levantamento de recursos naturais. O sensoriamento remoto a nível orbital é apontado como sendo uma ferramenta de grande valia para coleta de dados, capaz de fornecer informações de forma rápida e confiável.

As imagens da superfície terrestre obtidas por veículos espaciais como os da série Landsat, de pequena escala, permitem a observação de extensas regiões nacionais com pouco manuseio de material. No entanto, as informações contidas nestes produtos são muitas ve-

zes de difícil interpretação, em função da baixa resolução espacial, e o que permite a discriminação dos objetos são mais seus atributos espectrais do que geométricos. Além do mais a complexidade da extração de informações aumenta em função das diferenças acentuadas que ocorrem nas variações tonais das imagens, quando tomadas em épocas diferentes, ou em imagens com variações topográficas. Essas variações tonais podem ocorrer em função de inúmeros fatores dentre os quais a própria modificação das condições de iluminação do alvo.

A desvinculação entre a interpretação de dados de sensoriamento remoto e o conhecimento das várias interações entre a radiação eletromagnética e o alvo levam à subutilização dos dados obtidos por sensores remotos. A necessidade de aquisição desses conhecimentos de base é grande, pois sem eles, reduz-se a capacidade de interpretação de produtos mais sofisticados como os sensores da nova geração (Thematic Mapper/LANDSAT e HRV/SPOT).

Um dos problemas frequentemente enfrentados na discriminação de objetos da superfície, a partir de dados orbitais, é a extrapolação de chaves de interpretação desenvolvidas para regiões didáticas (baixa declividade) para áreas com ocorrência de relevo montanhoso. Em áreas de relevo plano a iluminação solar sobre o alvo de interesse é uniforme, permitindo um estabelecimento mais fácil de padrões de respostas espectrais. O mesmo não ocorre em áreas montanhosas ou de relevo mais acidentado, onde as condições de iluminação (geometria, sol, alvo, sensor) variam apreciavelmente de pixel para pixel em função da topografia.

Para muitas aplicações um dos mais sérios problemas inerentes ao sensoriamento remoto, é sem dúvida a interferência da topografia sobre a radiância de alvos naturais em diferentes comprimentos de onda.

O efeito topográfico pode ser definido como sendo a variação da radiância da superfície inclinada em relação à radiância de uma superfície horizontal, em função de sua orientação em re-

lação à fonte de iluminação e à posição do sensor. A topografia portanto interfere na geometria de iluminação do alvo.

Desta maneira são claras as evidências de que as condições topográficas afetam as medidas de radiância feitas pelos sensores a bordo do satélite Landsat. Entretanto há poucos estudos sobre como se dá nestas imagens essa interferência ou se essa interferência é semelhante para qualquer tipo de objeto da superfície.

Assim sendo, este trabalho pode ser situado no contexto de aquisição de conhecimentos básicos sobre a interação da radiação eletromagnética com alvos naturais de grande ocorrência e interesse no Brasil.

O objetivo é estudar o efeito causado pela variação do ângulo de incidência solar sobre os valores digitais registrados nos intervalos espectrais correspondentes às bandas refletidas do TM (Thematic Mapper).

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 - Parâmetros Responsáveis Pela Variação das Condições de Iluminação

A resposta espectral dos objetos da superfície terrestre é função da interação de suas propriedades físico-químicas com a energia radiante incidente. Essa interação se faz de duas formas: interações microscópicas - interação de energia a nível de estrutura atômica e molecular dos objetos, e interações macroscópicas que seriam reguladas pelas leis da óptica geométrica.

Os efeitos de geometria de iluminação se classificam como parte das interações macroscópicas porque dado um alvo da superfície terrestre com uma certa propriedade intrínseca de reflectância ( $\rho$ ), ter-se-ia uma percentagem de energia refletida que seria função não só da reflectância, mas da quantidade e distribuição espectral que o atingiu e que teve possibilidade de interagir com ele microscopicamente.

Essa quantidade de energia que atinge a superfície dos objetos e/ou é função da geometria de iluminação. A quantidade de energia que atinge o sensor é função da geometria alvo X sensor X fonte X atmosfera.

No caso em estudo, o sensor estará numa posição fixa, e a variação da geometria de iluminação será simulada a partir da variação da superfície topográfica. A escolha dessa abordagem se deve ao fato de que em condições de dados orbitais não é possível variar a geometria de iluminação variando a elevação e azimute solar de modo amplo, implicando em modificação dos alvos de superfície em função da variação das propriedades intrínsecas dos objetos (fenologia) ou extrínsecas (umidade, etc.).

A radiância (R) registrada por um sistema sensor de um satélite pode ser representada pela seguinte relação:

$$R = \frac{ES\rho\tau}{\pi} + S R_t \quad (1)$$

onde E é a irradiância na superfície; S é o fator de ganho de uma banda do satélite;  $\tau$  é a transmitância da atmosfera;  $\rho$  é a reflectância dos alvos da superfície e  $R_t$  é a radiância de trajetória (efeito aditivo resultante do espalhamento atmosférico, situado entre a superfície e o satélite).

Os diferentes valores digitais ou tonalidades de cinza encontrados em uma determinada banda do Landsat para um mesmo alvo e numa mesma data e horário de tomada de dados são explicados pela variação da irradiância na superfície. Neste caso, os parâmetros S,  $\tau$ ,  $\rho$  e  $R_t$  são constantes.

A irradiância na superfície varia em função da:

- variação anual do ângulo de elevação e azimute solar (variação sazonal), que ocorre devido à variação da declinação solar; esta por sua vez é função da inclinação (de  $23^{\circ}27'$ ) do eixo de rotação terrestre em relação ao plano de órbita da Terra ao redor do Sol.
- variação da distância Terra-Sol durante o ano, provocada pela órbita elíptica da Terra e responsável pela variação de mais ou menos 2% na irradiância.
- inclinação e orientação da superfície em relação à fonte de irradiação, para superfícies não horizontais.

A irradiância (E) em uma superfície é dada por:

$$E = \frac{E_0}{r^2} \cos \beta \quad (2)$$

onde  $E_0$  é a constante solar;  $r$  é a distância Terra-Sol e  $\beta$  é o ângulo entre o Sol e a normal à superfície, é determinado por:

$$\cos \beta = \cos Z \cos I \cos Ad + \cos Z \cos I \quad (3)$$

onde  $Z$  é a distância zenital do Sol;  $Ad$  é a diferença entre o azimute do Sol e o azimute da superfície inclinada e  $I$  é a inclinação da superfície

## 2.2 - Efeito da Topografia

O efeito topográfico pode afetar enormemente a resposta espectral dos alvos. A maior parte dos trabalhos tem as sumido as superfícies como sendo horizontais (planas) isto para simplificar os problemas. A situação de uma superfície inclinada apresenta problemas adicionais que levam a muitas discussões. A superfície inclinada na direção do sensor ou no sentido oposto causa efeitos semelhantes ao movimento do sensor desde a vertical (visada off-nadir). Isto é, mais vegetação e menos solo pode ser visto. Contudo, quando a superfície inclinada estiver voltada para o Sol, receberá maior irradiância, conseqüentemente terá uma maior radiância. Da mesma forma, a superfície inclinada no sentido oposto a iluminação solar receberá menor irradiância tendo conseqüentemente radiância menor. Estes efeitos de exposição da superfície perante a irradiação solar, pode resultar em diferentes respostas espectrais dos alvos, causadas em função do efeito topográfico.

## 3. MATERIAL E MÉTODO

### 3.1 - Área de Estudo

Segundo Almeida (1961) as áreas de estudo localizam-se na região fisiográfica da depressão periférica (bacia do Rio Piracicaba) do Estado de São Paulo. Tendo em vista a abordagem adotada selecionaram-se duas áreas teste em função da disponibilidade de dados de campo confiáveis.

A área teste de Iracemápolis localiza-se ao norte do município de mesmo nome, e é limitada pelas coordenadas geográficas de  $22^{\circ}33'$  -  $22^{\circ}42'$  de latitude sul e  $47^{\circ}30'$  -  $47^{\circ}35'$  de longitude

oeste. Esta área caracteriz-se por relevos de baixas colinas de formas suavizadas com topos subaplainados. Há o predomínio de vertentes com perfis retilíneos e convexos e drenagem de baixa densidade.

Segundo o mapa geológico do Estado de São Paulo, a geologia da área é constituída por rochas do Grupo Tubarão, Grupo Passa-Dois, arenitos da Formação Botucatu-Piramboia, intrusivas básicas e rochas Cenczóicas.

A distribuição pluvial segue o regime típico das zonas tropicais de baixa altitude, com verão chuvoso e inverno seco. Os dados de temperatura e precipitação permitem incluir esta área como tendo clima mesotérmico de inverno seco (Cwa) segundo Köppen. Os balanços hídricos assinalam discreto período de deficiência hídrica de maio a setembro.

No tocante aos solos, a área teste de Iracemápolis é ocupada por Latossolos Roxos o qual apresenta horizonte B latossólico com pelo menos 30cm de espessura abaixo do horizonte A.

O uso atual do solo é a cultura da cana-de-açúcar ocorrendo apenas esporadicamente remanescentes da vegetação natural original (mata subperenifólia) e outras culturas anuais.

A área teste de Itatiba localiza-se a sudeste do município de Itatiba - SP, entre as coordenadas geográficas de  $22^{\circ}58'$  -  $23^{\circ}02'$  de latitude sul e  $46^{\circ}38'$  -  $46^{\circ}45'$  de longitude oeste.

A topografia da área caracteriza-se por relevo de mar de morros, com topos arredondados e vertentes com perfis convexos e retilíneos onde predominam declives inferiores a  $15^{\circ}$ .

Climatologicamente a área teste apresenta regime típico de zona tropical de baixa altitude com verão chuvoso e inverno seco (Cwa) segundo Köppen. Nessa área também se verifica um período de deficiência hídrica entre junho e setembro.

O solo predominante nesta área é o Latossolo Vermelho-Amarelo, álico a moderado, textura média, relevo ondulado.

O uso atual do solo caracteriza-se pelo predomínio de culturas anuais (milho, trigo e batata) e a floricultura.

### 3.2 - Definição da Hipótese de Trabalho

A hipótese subjacente a esse estudo é de que a geometria de iluminação dos alvos afeta o registro de seu comportamento espectral em imagens orbitais do Landsat.

A irradiância na superfície do alvo varia em função de diversos fatores. Se a superfície for perfeitamente horizontal os registros da energia refletida pelo alvo sofrerão uma variação sazonal em decorrência da variação anual do ângulo de elevação e azimute solar no horário da passagem do satélite.

Se a superfície não for perfeitamente horizontal numa mesma data e horário, a irradiância no alvo variará em função da sua inclinação e orientação em relação a fonte. As variações de irradiância podem ser expressas como uma função do co-seno  $\beta$  ( $\cos \beta$ ) definido anteriormente, termo esse que exprime o somatório dos diversos parâmetros que nela influenciam.

Partindo-se do princípio de que com a variação da irradiância, variará também a radiância da superfície através do termo co-seno  $\beta$  procurou-se testar tal efeito sobre os registros digitais dos dados TM-LANDSAT.

### 3.3 - Definição da Técnica de Avaliação do Efeito da Geometria de Iluminação sobre os Registros Digitais

Para o estudo do efeito da geometria de iluminação sobre os registros digitais havia duas abordagens possíveis: a) tomar imagens em épocas diferentes, fazendo com que variasse o termo co-seno  $\beta$  a partir da variação do ângulo de elevação e azimute solar; b) tomar apenas uma data, e variar o co-seno  $\beta$  através de amostras obtidas em áreas com diferentes orientações e inclinações topográficas.

A utilização do procedimento (a) acarretaria os seguintes problemas: alteração das condições fenológicas do alvo de interesse; alteração de outras condições ambientais (atmosfera, umidade, etc.); necessidade de adquirir amostras em superfícies horizontais. Tais problemas impediriam isolar o efeito da variação da geometria de iluminação da

cena sobre os registros digitais nos dados TM-LANDSAT. Optou-se portanto pelo segundo procedimento, mantendo-se constante a posição da fonte e alterando-se a geometria de iluminação pela variação da posição do alvo (inclinação e orientação das vertentes).

### 3.4 - Seleção dos Alvos a serem Estudados

Tendo em vista a multiplicidade de fatores internos e externos que influem no comportamento espectral dos alvos naturais, optou-se por selecionar dois alvos para esse estudo. Os alvos selecionados foram a cana-de-açúcar e o solo exposto.

As amostras de cana-de-açúcar foram selecionadas na área teste de Iracemápolis descrita anteriormente, tendo em vista a disponibilidade de mapas detalhados fornecidos pela usina Iracema com informações controladas a nível de talhão no tocante a variedade genética, estágio de desenvolvimento, número de cortes e práticas culturais.

O mês de maio foi selecionado em função da cana-de-açúcar apresentar-se num estágio de evolução fenológica anterior ao corte, no qual apresenta pouca ou quase nenhuma resposta devido ao solo.

Quanto ao alvo solo foi utilizada a imagem de maio por serem disponíveis dados de campo. Além disso para se tornarem comparáveis, os dados de cana-de-açúcar e solo era necessário manter semelhante as condições de iluminação no momento da passagem do satélite (elevação e azimute solar). Essa data foi particularmente favorável porque também na região de Itatiba corresponde ao período de preparo do solo para as culturas de inverno.

### 3.5 - Dados TM-LANDSAT

Para a aquisição de informação espectral nas áreas a serem amostradas foram utilizadas imagens obtidas pelo sensor Thematic Mapper do satélite Landsat 5 no formato de fitas compatíveis com computador (CCT's).

As cenas selecionadas para este estudo são identificadas pela órbita 220, ponto 76 e quadrante B de 19 de maio de

1984 referente a área teste de Iracemópolis e a órbita 219, ponto 76, quadrante A, de 31 de maio de 1985, referente a área teste de Itatiba.

### 3.6 - Delineamento do Experimento

De posse dos mapas de localização dos talhões de cana-de-açúcar, fornecidos pelo grupo Ometto (usina Iracema), selecionou-se a variedade NA 56-79, de ano, primeiro corte, para ser estudada, por ser a variedade de maior representatividade no país, o que possibilitaria a extração de um número maior de amostras.

Os talhões escolhidos foram demarcados sobre as cartas topográficas na escala 1:10.000. Para cada talhão calculou-se o termo inclinação e orientação das vertentes, a partir das cartas topográficas. As parcelas de solo expostas foram selecionadas com base em informações de campo e localizadas da mesma forma que a cultura da cana-de-açúcar.

Após a seleção de 72 amostras para cada um dos alvos a serem estudados procedeu-se a aquisição dos dados digitais no analisador de imagens multiespectrais.

### 3.7 - A aquisição dos Dados Digitais

Utilizando-se o analisador IMAGE-100, foram obtidos os valores das respostas espectrais armazenadas sob a forma digital em fitas magnéticas compatíveis com computador.

Esse trabalho consistiu em determinar os níveis de cinza, numa escala de 0 (preto) a 255 (branco), e que se encontravam armazenados em fitas na forma original, sem as alterações promovidas pelo processamento fotográfico.

A localização dos pontos das amostras para obtenção das medidas foi feita no vídeo através do cursor luminoso com tamanho de quatro elementos de resolução de imagem.

Estas áreas foram localizadas no vídeo do IMAGE-100, com a imagem ampliada para a escala 1:15.000, e com o auxílio de cartas topográficas na escala 1:10.000 e 1:50.000, além de fotogra-

fias aéreas na escala 1:25.000.

Foram obtidas as coordenadas X e Y no vídeo do IMAGE-100, na escala 1:15.000. Tal procedimento se fez necessário haja visto a dificuldade em se localizar a amostra com apenas quatro pixels em uma escala 1:50.000 isto possibilitou a localização mais precisa de amostras no vídeo do IMAGE-100. Posteriormente transformou-se a imagem para a escala 1:50.000, e de posse das coordenadas X e Y localizou-se a área de interesse no vídeo do IMAGE-100, na escala 1:50.000 onde se obteve o número digital. Este procedimento foi adotado para evitar a repetição de pixels, uma vez, que na escala 1:50.000 um pixel no terreno corresponde a um pixel no vídeo do IMAGE-100.

Através do programa "single pixel" foram obtidas as informações espectrais de amostras nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, sendo cada amostra caracterizada pela média das respostas espectrais de quatro elementos de imagem em cada banda.

### 3.8 - Análise dos Dados

De posse de todos os dados de variação de nível digital e de co-seno  $\beta$ , procedeu-se a análise de correlação linear simples à semelhança da abordagem adotada por Kowalik e Marsh (1982) no estudo desta questão.

O primeiro passo da análise estatística consistiu na aquisição dos coeficientes de correlação linear ( $r$ ) entre os níveis digitais e co-seno  $\beta$  para diferentes subconjuntos das amostras coletadas.

Um ponto importante diz respeito a interpretação do valor de " $r$ " obtido a partir de uma amostra. Verificou-se que estando necessariamente entre -1 e 1, o valor de " $r$ " por si só deve dar uma boa idéia do grau e do sinal da correlação linear. Não se deve entretanto esquecer que, em geral o valor de " $r$ " é calculado com base nos " $n$ " elementos de uma amostra aleatória e que, portanto, representa apenas uma estimativa do verdadeiro coeficiente de correlação populacional.

#### 4. RESULTADOS ENCONTRADOS

O sensoriamento remoto a nível orbital é altamente complexo em função de uma série de fatores que causam variabilidade no sinal (resposta) dos alvos da superfície terrestre. Neste trabalho procurou-se entender melhor os efeitos de iluminação (topografia x fonte), suas variações e seus efeitos nos dados digitais do sensor TM/LANDSAT 5, no entanto, as considerações a seguir são baseadas em um modelo simplificado da equação básica para o cálculo da irradiância.

A irradiância em uma superfície varia segundo a época do ano, latitude, horário e condições topográficas (orientação e inclinação da superfície). Para uma mesma latitude, e um mesmo horário, os fatores que levam a mudança da irradiância na superfície são: a época do ano e as condições topográficas.

Para uma superfície horizontal (plana), e para o horário de passagem do satélite (9:45 hs), os valores de irradiância possuem um mínimo no mês de junho e um máximo no mês de dezembro. Esta variação se torna tanto maior quanto maior for a latitude, considerando-se as mesmas condições topográficas.

O co-seno  $\beta$  é um parâmetro que exprime o efeito combinado do Sol (azimute e elevação solar) e topografia (orientação e inclinação da superfície em que se encontra o alvo). Portanto, quanto maior o valor do co-seno  $\beta$ , maior será a irradiância na superfície.

A geometria de iluminação da cena afeta a quantidade de energia total (integrada em todos os comprimentos de onda) disponível na superfície, uma vez que ao se variar a declividade e a orientação da superfície em que se encontra o alvo, está sendo alterado o ângulo de incidência da radiação eletromagnética.

Para os dados estudados, os quais foram obtidos no mês de maio, verifica-se que os valores máximos de irradiância ocorrem quando as vertentes estão voltadas para nordeste (NE) e os valores mínimos ocorrem para sudoeste (SW), tornando-se este efeito tanto mais acentuado quanto maior for a inclinação da superfície. Para vertentes localizadas entre leste (E) - sudeste (SE)

e oeste (W) - noroeste (NW) praticamente não existe variação da irradiância em função da inclinação da mesma.

O solo apresenta valores de correlação entre o co-seno  $\beta$  e os números digitais mais altos do que a cana-de-açúcar em todas as faixas espectrais estudadas, e estas correlações variam espectralmente. Isto sugere que a cana-de-açúcar comporta-se como um alvo mais lambertiano do que o solo, ou seja, o solo é mais dependente do co-seno  $\beta$ .

A declividade e a orientação das vertentes tem considerável efeito sobre a resposta espectral em todas as bandas, tanto para o solo quanto para a cana-de-açúcar, entretanto a faixa do infravermelho médio (TM 5 e TM 7) é mais afetada do que a faixa do visível e infravermelho próximo.

Nas superfícies com inclinações onde temos uma maior irradiância vamos ter um número digital maior, em todas as bandas do TM em estudo, tanto para o solo quanto para a cana-de-açúcar.

Modificando-se a orientação da superfície a proporção da variação do número digital explicada pela variação do co-seno  $B$  se altera espectralmente.

O efeito do co-seno  $\beta$  é mais pronunciado nas vertentes onde temos uma menor irradiância.

Nas orientações onde temos uma maior irradiância vamos ter um número digital maior para o solo, em todas as bandas do TM. Já a cana-de-açúcar apresenta um comportamento um tanto aleatório ao analisarmos o efeito da orientação da superfície sobre os números digitais, tal comportamento ocorre em qualquer uma das bandas, isto sugere, que a cana-de-açúcar apresenta outros parâmetros tais como teor de umidade das folhas, orientação das folhas, diferenças no vigor vegetativo, pequena variação no tipo de solo, trato culturais, etc., que exercem maior influência na resposta mascarando o efeito topográfico.

#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados evidenciam a importância de se considerar os aspectos topográficos no processo de interpretação de dados de sensoriamento remoto. Estes entretanto de forma algu-

-ma esgotam o assunto, novos testes de verão ser feitos para se alcançar uma melhor compreensão dos efeitos topográficos. Estes efeitos somente podem ser corretamente avaliados se outros parâmetros tais como: geometria do dossel (altura, forma, largura, densidade), configuração do plantio - linhas (largura, direção), dimensão e forma da folha, posição da folha (espassadas ou agrupadas) orientação e inclinação da folha, índice de área folhar, índice de ramos, ângulo de curvatura da folha, volume de massa, efeito do substrato sobre a cobertura, efeito do ciclo fenológico, microestrutura, umidade, condições atmosféricas, etc., são também avaliados.

Tendo em vista a complementação dos estudos desenvolvidos nesta pesquisa, torna-se necessário determinar com maior clareza a influência do efeito topográfico sobre o comportamento espectral dos alvos da superfície terrestre.

Os aspectos relacionados a interação topográfica versus radiação eletromagnética crescem de importância na medida que novos sistemas de sensoriamento remoto orbital incorporam o conceito de visada lateral (SPOT) e que este campo de pesquisa apresenta um crescimento exponencial nos últimos anos, como o atesta a extensa bibliografia existente sobre o assunto, especialmente considerando o efeito de visada. Este representa um campo profícuo de pesquisa em sensoriamento remoto, cujos resultados podem ampliar o campo de aplicação desta tecnologia.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EATON, F.D.; DIRMHORN, I. Reflected irradiance indicatrices of natural surfaces and their effect on albedo. Applied Optics, 18 (7):944-1008, Apr. 1979.
- EGBERT, D.D.; ULABY, F.T. Effect of angles on reflectivity. Photogrammetric engineering, 38(6):556-564, 1972.
- ELIASON, P.T.; SODERBLOM, L.A.; CHAVEZ, P.S. Extration of topographic and spectral albedo information from multispectral images. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 47

(11):1571-1579, 1981.

- HOLBEN, B.N.; JUSTICE, C.O. Evaluation and modelling of the topographic effect on the spectral response from nadir point sensors. Washington, DC., NASA, 1979 (NASA TM 80305).
- KOWALIK, W.S.; MARSH, S.E. A relation between Landsat digital numbers, surface reflectance and the cosine of the solar zenith angle. Remote Sensing of Environment, 12(1):39-55, 1982.
- NOVO, E.M.L.M. Efeito das condições de iluminação da cena sobre técnicas de realce digital de imagens MSS/LANDSAT. São José dos Campos, INPE, 1983 (INPE-2644-PRE/262).