

RELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS CULTURAIS E RESPOSTA ESPECTRAL DE CAFEZAIS¹

JOSÉ CARLOS NEVES EPIPHANIO², LUIZ LEONARDI³ e ANTONIO ROBERTO FORMAGGIO⁴

RESUMO - Para a utilização eficiente de dados de sensoriamento remoto visando à obtenção de informações relativas ao parque cafeeiro nacional, é necessário o conhecimento dos efeitos interativos entre estes dados e as variáveis biofísicas dessa cultura. Objetivando estudar as relações entre variáveis biofísicas de cafezais e sua resposta espectral, foram coletadas, em campo, quase simultaneamente à passagem do satélite, variáveis biofísicas para 145 talhões. Das imagens TM/Landsat-5 foram obtidos os dados de reflectância para as bandas 1 a 5 e 7, referentes a cada talhão. Foi analisada, inicialmente, a correlação entre os parâmetros culturais e, em seguida, a correlação entre parâmetros culturais e reflectância. Apesar da complexidade inerente à cultura, observaram-se correlações significativas, como, por exemplo, entre percentagem de cobertura do terreno por árvores e colheita, e ano de poda e altura. Os parâmetros culturais referentes às características biofísicas da planta foram mais bem correlacionados com a reflectância do que os parâmetros relativos ao substrato ou os parâmetros geomorfológicos do terreno.

Termos para indexação: sensoriamento remoto, café, reflectância.

RELATIONSHIP BETWEEN TM/LANDSAT-5 SPECTRAL RESPONSE AND COFFEE AGRONOMIC VARIABLES

ABSTRACT - Perennial crops have complex spectral behavior. Factors such as row-spacing, shadowing, crop seasonal characteristics, and substrate impinge noises that are difficult to interpret at satellite level. This study describes the influence of some coffee culture factors on spectral reflectance at TM/Landsat-5 level. At farm level, 145 coffee fields were selected. Agronomic variables like plant density and age, plant diameter and height, vegetative vigour and volume of green leaves, row-spacing and direction, substrate and soil spectral characteristics, and topographic features were collected. A correlation analysis was performed for agronomic variables only, and then the correlation between TM bands and agronomic variables was analysed. Some crop variables are well correlated such as coffee height and diameter, percent soil cover by coffee tree and harvest occurrence, pruning year and height. Pruning year and plant height were the most correlated parameters with TM1, TM2, TM3, TM5, and TM7 bands. Those parameters seem to aggregate information related to coffee phytomass and shadowing. A few agronomic variables correlated with TM4, except vegetative vigour. Parameters related to crop characteristics are more correlated with TM bands than parameters related to substrate and terrain geometry.

Index terms: remote sensing, coffee, reflectance.

INTRODUÇÃO

A utilização efetiva dos dados obtidos por sensores a bordo de plataformas orbitais fundamenta-se no conhecimento interativo entre a energia eletromagnética e os diversos parâmetros relacionados ao alvo.

¹ Aceito para publicação em 25 de outubro de 1993.

² Eng.-Agr., Dr., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)/Caixa Postal 515 - CEP 12201-970 São José dos Campos, SP, Brasil.

³ Eng.-Agr., M.Sc., Imagem, São José dos Campos, SP.

⁴ Eng.-Agr., Dr., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)/São José dos Campos, SP.

Tal conhecimento é dificultado quando as variáveis envolvidas são muitas. As culturas agrícolas variam em termos de complexidade espectral. As anuais, como, por exemplo, trigo ou feijão, têm desenvolvimento rápido e, após recobrirem o solo, mantêm por algum tempo as características espectrais típicas de dosséis agrícolas. Nesses casos, a influência do solo ou de outros componentes do substrato, como folhas secas ou restos culturais, é diminuída. No caso de culturas perenes, onde o desenvolvimento da planta leva mais tempo, outros fatores, como: o solo, a sistemática de uso de implementos agrícolas, o sombreamento intra e entre fileiras e as características sazonais da cultura são importantes. A cultura do café apresenta características típicas de tal complexidade.

O potencial de produção da cafeicultura brasileira é dimensionado em função do parque cafeeiro e dos níveis de produtividade alcançados nas lavouras (Matiello et al., 1981). Os níveis de produção, estoques e contratempos climáticos são alguns dos fatores que intervêm na cotação nacional e internacional do produto, tornando importante o levantamento e o monitoramento destes fatores para adoção e condução de políticas agrícolas para o setor.

Neste contexto, o sensoriamento remoto orbital surge como uma opção a ser explorada no sentido de complementar os levantamentos de dados da cafeicultura, dado o seu caráter multiespectral, a repetitividade e o baixo custo, em comparação com a fotografia aérea.

No início da década de 70, o Instituto do Café - IBC - iniciou investimentos no sentido de viabilizar métodos alternativos de levantamento de dados sobre a cafeicultura, tendo em vista o alto custo da fotografia aérea. Em 1971, o IBC, em conjunto com a "Food and Agricultural Organization" - FAO -, definiu um programa prevendo a construção de um sistema de televisão aerotransportado de alta resolução, que permitiria a coleta e a análise automática dos dados (Velloso & McNeill, 1971). Avaliações feitas por Velloso & Souza (1976) mostraram que o sistema não atendia ao nível de precisão exigido para inventariação.

Considerando a aplicação do sensoriamento

remoto orbital no levantamento de dados sobre a cafeicultura, os primeiros trabalhos desenvolvidos (Velloso, 1974; Tardin et al., 1977; Velloso & Souza, 1978) evidenciaram a inadequação deste instrumento. Tais trabalhos citam como problemas principais a baixa resolução espacial do sistema sensor então utilizado (MSS/Landsat) e a heterogeneidade dos parâmetros culturais do café.

Em vista dos avanços tecnológicos ocorridos desde então, desenvolveu-se este trabalho, cujo objetivo é analisar alguns aspectos da relação entre parâmetros culturais do café e a resposta espectral do dossel cafeeiro, obtida através do sensor "Thematic Mapper" (TM/Landsat-5).

Quanto à variação na resposta espectral de solos agrícolas e florestais, vários trabalhos têm mostrado a influência de parâmetros relacionados à cobertura. Danson (1987) estudou a relação entre dados do satélite SPOT e parâmetros do dossel de pinus, verificando correlações significativas entre resposta espectral (banda S3/SPOT - correspondente ao infravermelho próximo) e altura média das árvores, diâmetro médio das árvores na altura do peito-DAP, densidade de árvores por hectare, e idade. As respostas espectrais nas bandas S1/SPOT (correspondente ao verde) e S2/SPOT (correspondente ao vermelho) foram correlacionadas com altura, DAP e idade.

Karaska et al. (1986) estudaram o efeito de 11 variáveis ambientais sobre a resposta espectral de diferentes tipos de superfícies detectadas pelo TM/Landsat-5. Das onze variáveis ambientais estudadas, a percentagem de árvores e a de arbustos foram as que mais influenciaram a resposta espectral da superfície. Declividade, orientação de declive e altitude mostraram ter pouco efeito sobre a resposta espectral nas áreas amostradas.

Cavayas & Teillet (1985) simularam um modelo geométrico da reflectância do dossel de coníferas em função de alguns parâmetros da cobertura, geometria de iluminação solar e topografia. A simulação demonstrou claramente a confusão, atribuída ao efeito do sombreamento, que pode surgir entre valores de reflectância para várias combinações de ângulos solares, topografia e densidade do dossel. Como discutido por Covre (1989, p.103) o aumento da cobertura em culturas

perenes ocasiona maior sombreamento no interior do talhão, o que causa uma diminuição da reflectância.

Covre (1989) estudou a relação entre alguns parâmetros culturais de citros (variedade, idade, percentagem de cobertura do terreno por árvores de citros, tipo de solo, orientação do declive, altura das árvores de citros, tipo e condição do substrato e uniformidade do talhão) e a sua resposta espectral obtida a partir de dados do sensor TM/Landsat-5 (bandas 1 a 5 e 7). Quatro parâmetros mostraram influência predominante nas respostas espectrais TM dos citros, quais sejam: percentagem de cobertura do terreno por árvores de citros, altura das árvores, substrato (quando recoberto por ervas daninhas) e tipo de solo.

Tais trabalhos têm explorado a relação existente entre diversas variáveis agrônômicas e respostas multiespectrais. No caso de culturas pere-

nes, a reflectância registrada num dado pixel é proveniente não só da planta em si, mas também de fatores ligados ao substrato e à geometria do sombreamento, como mostra esquematicamente a Fig. 1.

Assim, neste trabalho procura-se estudar essas múltiplas relações, para que se tenha maior compreensão da resposta espectral da plantação como um todo, visando otimizar a extração de informações sobre café a partir de imagens de sensoramento remoto.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram escolhidos, sobre as imagens TM/Landsat-5, três módulos de 15 km x 15 km, na região sul de Minas Gerais, próximos às cidades de Alfenas e Campo do Meio. Essa área foi escolhida por atender a algumas características desejáveis ao estudo, ou seja: sistemas de

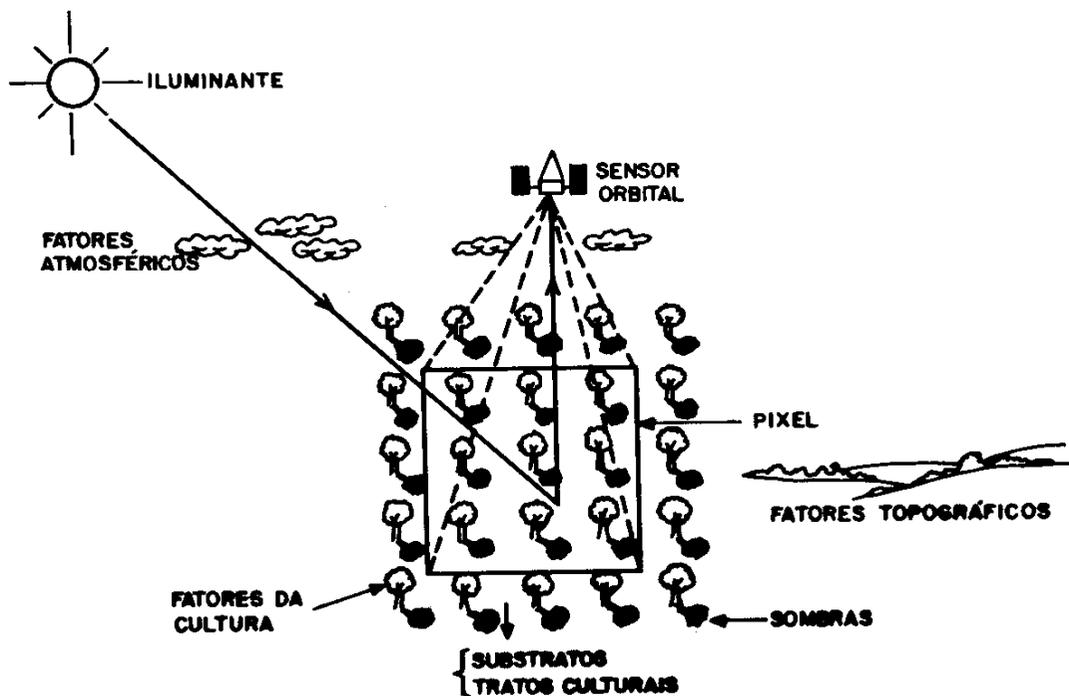


FIG. 1. Fatores influenciadores da resposta espectral num pixel.

plantios, tratos culturais e cultivares representativos dos existentes atualmente no Brasil; variabilidade quanto à idade e à topografia (declividade e orientação de declive); tamanho de talhões, compatível com a resolução do sistema sensor TM/Landsat-5; facilidade de acesso, e outras.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, enquadra-se no tipo Cwb (mesotérmico, com verões brandos e estação chuvosa no verão), com temperatura média anual em torno de 19°C e precipitação média anual de, aproximadamente, 1.200 mm (Nimer, 1977).

Os materiais utilizados constam basicamente de dados extraídos de imagens TM/Landsat-5 e de dados coletados em campo. Foram utilizadas imagens digitais de 27.08.88, bandas 1 a 5 e 7 do TM, referentes ao quadrante B da órbita/ponto 219/75. Para a coleta de dados de campo foram utilizados bússola, clinômetro, câmara fotográfica 35 mm, radiômetro portátil Kimoto modelo 2703 MP, trena e formulário de campo. Foram utilizados, ainda, o Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM-150), desenvolvido pelo INPE, e o espectrorradiômetro Optronic 740A.

A seleção de talhões foi feita de maneira a se compor uma amostra representativa dos diversos parâmetros previamente selecionados para o estudo. Ao todo, foram selecionados 145 talhões. A coleta dos parâmetros culturais foi efetuada através do preenchimento de um formulário em campo, no período entre 29.08.88 e 06.09.88, próximo à data de passagem do satélite (27.08.88).

Em campo foram coletados 21 parâmetros:

ALTU - Altura média das árvores de café.

ANPO - Ano de poda.

COBE - Percentagem de cobertura do terreno por árvores de café

COLH - Colheita.

CULT - Cultivar.

DECL - Declividade.

DENS - Densidade populacional.

ESPA - Esparramação.

ESPC - Espaçamento entre covas.

ESPL - Espaçamento entre linhas.

GRAD - Gradação.

IDAD - Idade.

ORDE - Orientação do declive.

ORFI - Orientação das fileiras.

RAIO - Raio da planta.

RCS - Reflectância composta do solo.

SUEE - Percentagem de cobertura do substrato com ervas daninhas verdes.

SUME - Percentagem de cobertura do substrato com matéria orgânica.

SUSE - Percentagem de solo exposto.

TIPO - Tipo de poda.

VIVE - Vigor vegetativo.

Outras quatro variáveis calculadas em escritório foram incluídas na análise:

COBR - Percentagem de cobertura do terreno por árvores de café.

SUER - Percentagem de cobertura do substrato com ervas daninhas verdes.

SUMR - Percentagem de cobertura do substrato com matéria orgânica.

SUSR - Percentagem de solo exposto no substrato.

Os dados referentes a cultivar (0 = Catuaí; 1 = Mundo Novo), idade (anos após o plantio), colheita (0 = não houve colheita; 1 = houve colheita no ano em curso), ano de poda (ano em que foi feita a última poda), tipo de poda (0 = poda baixa; 1 = poda à meia altura; 2 = poda alta), gradação (0 = terreno não gradeado; 1 = terreno gradeado) e esparramação (0 = prática não executada; 1 = prática executada) foram obtidos através de consulta aos registros e controles existentes nas propriedades, entrevistas com os administradores das fazendas, e constatação "in loco".

Os dados de espaçamento entre linhas e entre covas, altura das árvores de café e raio da planta foram obtidos a partir da média de 15 medições por talhão. Orientação de fileiras e orientação do declive foram obtidos através de uma bússola, enquanto que a declividade foi obtida com um clinômetro.

Os parâmetros percentagem de cobertura do terreno por árvores de café e percentagem de cobertura do substrato por matéria orgânica, ervas daninhas verdes e solo exposto foram obtidos a partir de estimativa visual em campo e também a partir de cálculos em escritório (fotografias 35 mm do substrato e medidas de espaçamento e raio da planta). O parâmetro vigor vegetativo foi estimado visualmente em campo, em cinco classes: muito baixo (0), baixo (1), médio (2), alto (3) e muito alto (4).

O solo, representado pelo parâmetro RCS (reflectância composta do solo) calculado em escritório, foi obtido a partir da radiometria de laboratório das amostras coletadas em campo, da percentagem efetiva de solo exposto nas entrelinhas (SUSR), e da percentagem de cobertura do terreno por árvores de café.

Os valores de reflectância dos talhões foram obtidos a partir da transformação dos valores digitais das imagens, conforme procedimento descrito por Epiphanyo & Formaggio (1988). Dos dados de reflectância

foram subtraídos os efeitos atmosféricos, segundo o método de Chavez (1988).

Os dados coletados em campo e os valores de reflectância para as seis bandas do TM/Landsat-5 referentes aos pontos amostrados em campo foram analisados estatisticamente em duas etapas: através da matriz de correlação entre os parâmetros culturais; e da matriz de correlação entre parâmetros culturais e a reflectância obtida para os pontos amostrados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, procedeu-se à análise das correlações entre os parâmetros culturais (matriz de correlação não mostrada), cujo objetivo foi o de eliminar parâmetros altamente correlacionados entre si e o de avaliar a relação entre parâmetros estimados visualmente em campo e calculados em laboratório.

Os parâmetros COBE e COBR apresentaram um coeficiente de correlação ($r = 0,83$) relativamente alto, indicando boa aproximação entre valores estimados em campo e valores calculados. Para as variáveis estimadas em campo (SUEE, SUME e SUSE) e as correspondentes variáveis calculadas em laboratório (SUER, SUMR e SUSR), que compõem o parâmetro substrato, as correlações foram todas significativas ao nível de 95%, porém não muito altas. Isto se deve principalmente à baixa densidade de amostragem realizada dentro de cada talhão. Para ter valores mais representativos de tais variáveis é necessário uma adequação entre a heterogeneidade da área e a quantidade de amostras.

A Fig. 2 mostra a relação entre os parâmetros DENS e IDAD ($r = -0,58$). Esta relação evidencia a tendência de mudança para um sistema de plantio mais adensado, à medida que é feita a renovação do plantio ou quando novas áreas são incorporadas às já existentes.

A variável COBR possui correlações relativamente altas com RAI0, ALTU, COLH e tipo. A Fig. 3 ilustra a relação entre COBR x ALTU, onde se verifica uma tendência de linearidade dos dados. Observam-se alguns pontos (A, B e C) totalmente fora desta linearidade, justificados pela influência de outras variáveis como densidade de plantio (DENS) e ano e tipo de poda (ANPO e TIPO). Por exemplo, comparando os pontos A e

D, cujas alturas são 2,14 e 2,11 m, e têm densidades de plantio iguais a 3.333 e 1.587 covas/ha, respectivamente, tem-se uma idéia mais clara da influência da densidade de plantio na relação entre COBR e ALTU.

Algumas variáveis foram eliminadas após uma criteriosa avaliação dos coeficientes de correlação - que indica o quanto determinada variável

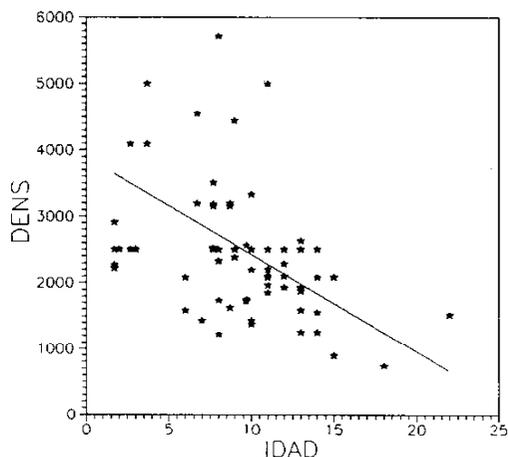


FIG. 2. Relação entre densidade e idade.

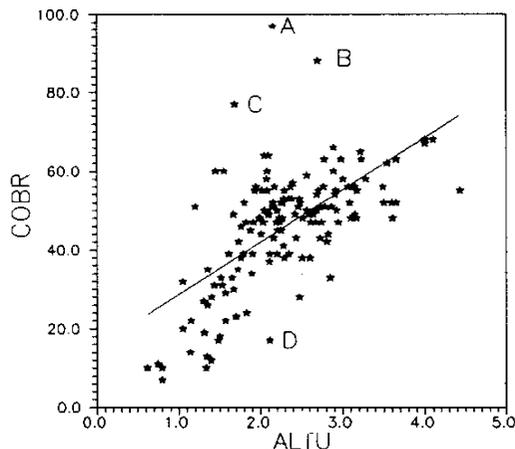


FIG. 3. Relação entre altura e cobertura do terreno por árvores de café.

está indiretamente representada por outra. O fato de alguns parâmetros estarem representados indiretamente por outros parâmetros deve-se à utilização de mais de um critério na representação da variável, como é o caso da COBE, SUME, SUEE e SUSE, as quais são correlacionadas com COBR ($r = 0,83$), SUMR ($r = 0,60$), SUER ($r = 0,53$), SUSR ($r = 0,70$), respectivamente; ou à interrelação natural existente entre as variáveis, como, por exemplo: RAI0 x ALTU ($r = 0,84$); SUMR x SUSR ($r = -0,97$); ESPA x GRAD ($r = 0,89$); ESPL x DENS ($r = -0,60$); ESPC x DENS ($r = -0,75$); COLH x COBR ($r = 0,68$).

Assim sendo, algumas variáveis foram suprimidas com o intuito de simplificar a análise posterior. Dada a correlação verificada entre variáveis estimadas visualmente e as calculadas em escritório, optou-se pela manutenção das variáveis calculadas em escritório e descarte das obtidas por estimativa visual em campo. Desta maneira, as variáveis eliminadas foram: COBE, SUME, SUEE, SUSE, RAI0, SUMR, ESPL, ES-PC, ESPA, COLH, restando, então, um conjunto de 15 parâmetros dentre os citados na seção anterior deste trabalho.

Quanto ao relacionamento entre variáveis biofísicas e resposta espectral, a cultura do café apresenta-se relativamente atípica quando comparada a florestas, culturas agrícolas, e mesmo a outras culturas agrícolas perenes. A fenologia do café e a diversidade de tipos de tratamentos culturais nas diferentes propriedades agrícolas torna esta cultura peculiar do ponto de vista do entendimento de sua resposta espectral.

Os resultados da correlação entre parâmetros culturais e resposta espectral do dossel cafeeiro (Tabela 1) evidenciam que, de modo geral, quatro parâmetros apresentam-se notadamente correlacionados com reflectância, em todas as bandas. Estes parâmetros são: ALTU, ANPO, IDAD e COBR, exceto para a banda TM4, para a qual os parâmetros mais bem correlacionados são VIVE e GRAD.

Ao contrário do esperado, o parâmetro COBR não é a variável mais bem correlacionada com os valores de reflectância nas bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7, como encontrado por Covre (1989) num estudo com a cultura de citros. Dois

TABELA 1. Coeficientes de correlação significativos ao nível de 95% entre parâmetros culturais e reflectância TM/Landsat-5 do dossel cafeeiro.

| | TM1 | TM2 | TM3 | TM4 | TM5 | TM7 |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| ALTU | -0,47 | -0,58 | -0,64 | -(1) | -0,50 | -0,57 |
| ANPO | 0,52 | 0,55 | 0,59 | - | 0,53 | 0,51 |
| COBR | -0,39 | -0,47 | -0,58 | - | -0,34 | -0,44 |
| CULT | - | - | - | - | - | - |
| DECL | 0,32 | 0,25 | 0,22 | - | - | - |
| DENS | 0,28 | 0,31 | 0,33 | - | 0,40 | - |
| GRAD | - | - | - | -0,28 | - | - |
| IDAD | -0,40 | -0,48 | -0,50 | - | -0,50 | -0,45 |
| ORDE | - | - | - | - | -0,22 | -0,17 |
| ORFI | - | - | - | - | - | - |
| RCS | - | 0,35 | 0,42 | -0,24 | (0)(2) | (0) |
| SUER | - | - | - | - | - | - |
| SUSR | - | - | - | -0,24 | - | - |
| TIPO | -0,34 | -0,41 | -0,54 | - | -0,37 | -0,42 |
| VIVE | - | -0,17 | -0,20 | 0,52 | -0,32 | -0,31 |

(1) Correlações não-significativas.

(2) Dado inexistente.

fatores básicos influenciam a reflectância nestas bandas: a fitomassa verde e o sombreamento. Para alguns tipos de culturas e para o reflorestamento, o parâmetro percentagem de cobertura do terreno por árvores representa a fitomassa e parcialmente o sombreamento, sendo o mais bem correlacionado com reflectância. O mesmo não acontece com a cultura do café, visto que a prática da poda e a fenologia da cultura atuam mascarando a influência da percentagem de cobertura (COBR). Observa-se que ALTU, e, para algumas bandas, ANPO, são os parâmetros que melhor agregam as características dos fatores fitomassa e sombreamento, sendo os mais bem correlacionados com reflectância nas bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7.

Observa-se um aumento no coeficiente de correlação para as variáveis DENS, IDAD, COBR, VIVE, ANPO, TIPO, ALTU e RCS, à medida que aumenta o comprimento de onda nas bandas TM dentro da faixa do visível. Isso se deve provavelmente à elevada absorção de radiação eletromagnética pela vegetação nas regiões de menores comprimentos de onda, o que causa uma variabilidade estreita da reflectância, com conseqüente homogeneização de respostas espectrais

naquelas bandas TM de menores comprimentos de onda.

O parâmetro DECL apresentou correlações baixas para as bandas do visível, enquanto que o parâmetro ORDE apresentou correlações baixas para as bandas do infravermelho médio. Estes resultados evidenciam pouca influência destes parâmetros topográficos na resposta espectral das bandas TM, fato também observado por Hall-Konyves (1987) e por Karaska et al. (1986). Estes resultados pouco expressivos, em termos de correlação com a reflectância, parecem estar associados à pequena magnitude de variação do relevo da área estudada.

O parâmetro IDAD, assim como o parâmetro ALTU, apresentam correlações negativas com reflectância para as bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7, o que indica que o aumento de idade da lavoura implica a redução de reflectância nestas bandas, devido ao aumento da fitomassa e da altura da planta (com conseqüente aumento de sombreamento). A Fig. 4 mostra o relacionamento entre reflectância na banda TM3 e os parâmetros ALTU e ANPO. Observa-se uma dispersão dos dados em relação à reta de ajuste, provocada pela influência de outros parâmetros sobre a reflectância. O parâmetro CULT (cultivar) e ORFI (orientação de fileiras) não apresentaram correlações significativas com reflectância.

Os parâmetros relacionados ao substrato GRAD (gradeação) e SUSR (percentagem de solo exposto nas entrelinhas) mostraram-se correlacionados negativamente com reflectância apenas na banda TM4, enquanto que SUER (percentagem de cobertura do substrato com ervas daninhas verdes) não apresentou correlação significativa com nenhuma banda. Este fato pode estar associado à pouca concentração de ervas daninhas verdes encontradas nas áreas amostradas. Quanto ao parâmetro RCS (reflectância composta do solo), foi avaliada a sua relação apenas para as bandas TM1, TM2, TM3 e TM4, em função do radiômetro utilizado. Verificam-se correlações positivas com as bandas TM2 e TM3, e negativa com a banda TM4. Estes resultados indicam a contribuição da reflectância do solo, aumentando a reflectância do dossel para as bandas TM2 e TM3, e diminuindo para a banda TM4.

O parâmetro VIVE (vigor vegetativo) apresenta correlações negativas com as bandas TM2, TM3, TM5 e TM7, e positiva com a banda TM4. Para a banda TM4, o parâmetro VIVE apresentou-se como principal parâmetro influenciador na reflectância (Tabela 1), porém verifica-se grande dispersão dos dados (Fig. 5), indicando certa fragilidade desta relação para o café. É importante verificar que num trabalho dessa natureza, onde não se consegue isolar variáveis, as correla-

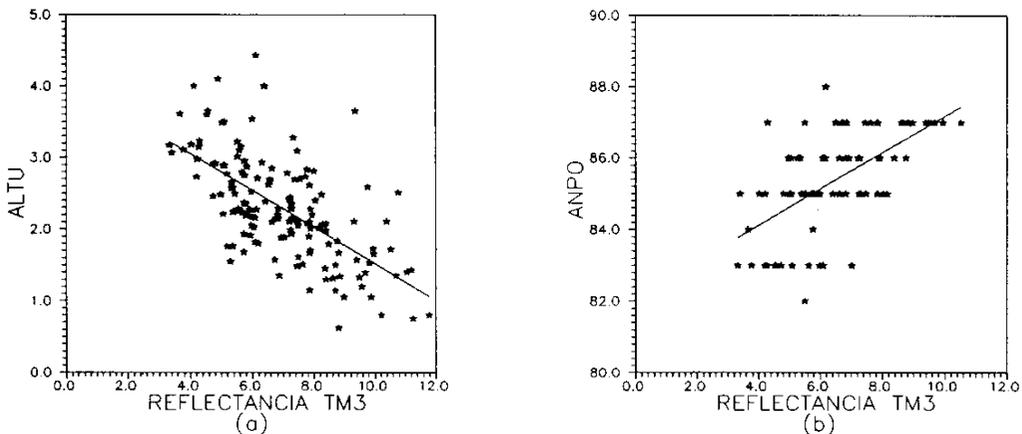


FIG. 4. Relação entre reflectância na banda TM3 e os parâmetros (a) altura e (b) ano de poda.

CONCLUSÕES

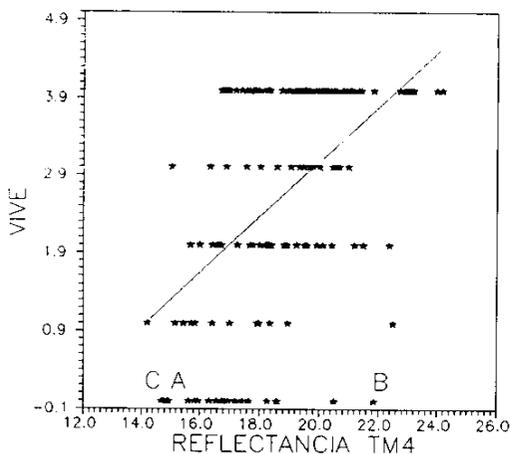


FIG. 5. Relação entre reflectância na banda TM4 e o parâmetro vigor vegetativo.

ções são influenciadas pela ocorrência de outras variáveis influenciadoras. Assim, a importância de determinada variável pode ser mascarada por outras características da cultura. Por exemplo, na Fig. 5 observam-se os talhões assinalados pelos pontos "A", "B" e "C". Embora todos tenham sido avaliados no campo como tendo o mesmo nível de vigor vegetativo, apresentam valores discrepantes de reflectância. Quando se analisam outros parâmetros desses três talhões, verifica-se que, por exemplo, as percentagens de cobertura do terreno por árvores de café dos talhões "A" e "C" são, respectivamente, 2,3 e 3,6 vezes maiores que a do talhão "B", respectivamente. Como mostrado por Covre (1989), o aumento da cobertura em culturas perenes ocasiona um maior sombreamento no interior do talhão, o que causa uma diminuição da reflectância. Esse tipo de interação entre variáveis dificulta a análise isolada de um só parâmetro agrônomo de cada vez. Embora se façam análises de variáveis isoladas, deve-se estar atento ao fato de que é o conjunto de tais variáveis que condiciona determinada reflectância espectral.

1. A cultura do café constitui um alvo de resposta espectral complexa do ponto de vista do sensoriamento remoto orbital. Observou-se grande variabilidade na resposta espectral do café, a qual está relacionada aos parâmetros culturais.

2. Ocorre grande intercorrelacionamento entre os parâmetros culturais do café, especialmente entre ALTU e RAI0, DENS e ESPC, COBR e COLH, COBR e ALTU, ANPO e ALTU, GRAD e ESPA.

3. Os parâmetros ANPO e ALTU mostram-se os mais bem correlacionados com a reflectância nas bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7, variando apenas a ordem de importância entre bandas. Estes parâmetros são mais bem correlacionados por agregarem informações relacionadas à fitomassa e ao sombreamento dentro do cafezal.

4. O parâmetro COBR não se mostra o mais bem correlacionado com reflectância. Este fato parece estar associado à pouca representatividade que faz da fitomassa, dado o baixo vigor vegetativo apresentado pelo cafezal no período do estudo e os efeitos da poda. O parâmetro solo apresenta correlação positiva com reflectância nas bandas TM2 e TM3, e negativa na banda TM4. Os resultados indicam maior influência deste parâmetro para a banda TM3.

5. Quanto à banda TM4, poucos parâmetros apresentam correlações significativas, sendo o vigor vegetativo (VIVE) o mais bem correlacionado. Porém, verifica-se pouca consistência nesta correlação, ou seja, ocorre uma significativa dispersão dos dados de VIVE.

6. Os parâmetros culturais referentes às características da planta (ALTU, COBR, ANPO, IDAD, TIPO e VIVE) são mais bem correlacionados com a reflectância do cafezal, em comparação com os parâmetros relacionados ao substrato (GRAD, SUSR, RCS e SUER) ou com os parâmetros relacionados à geometria (ORFI, ORDE e DECL). De maneira geral, os parâmetros mostram aumento do coeficiente de correlação à medida que aumenta o comprimento de onda na faixa do visível do espectro eletromagnético.

Novos estudos se fazem necessários para o

aprimoramento dos resultados obtidos neste trabalho, particularmente porque os dados discutidos aqui representam uma só época do ano. Para melhor compreensão do comportamento espectral dos cafezais é necessária uma avaliação multitemporal. Tais estudos devem ser preferencialmente acompanhados de radiometria de campo, onde se possa manter maior controle sobre os diversos componentes da cena.

REFERÊNCIAS

- CAVAYAS, F.; TEILLET, P.M. Geometric model simulations of conifer canopy reflectance. In: international colloquium on spectral signatures of objects in remote sensing, 1985, Les Arcs, France. **Proceedings...** Montfavet: INRA, 1985. p.183-190.
- CHAVEZ, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v.24, n.3, p.459-479, 1988.
- COVRE, M. **Influência de parâmetros culturais de citros sobre os dados TM/Landsat**. São José dos Campos: INPE, 1989. 241p. (INPE - 4856 - TDL/367).
- DANSON, F.M. Preliminary of the relationships between SPOT-1 HRV data and forest stand parameters. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.10, p.1571-1575, 1987.
- EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R. Abordagens de uso de nível de cinza e de reflectância em sensoriamento remoto com dados de satélites. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1988, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1988. p.400-405.
- HALL-KONYVES, K. The topographic effect on Landsat data in gently undulating terrain in southern Sweden. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.2, p.157-168, 1987.
- KARASKA, M.A.; WALSH, S.J.; BUTLER, D.R. Impact of environmental variables on spectral signatures acquired by the LANDSAT Thematic Mapper. **International Journal of Remote Sensing**, v.7, n.12, p.1653-1667, 1986.
- MATIELLO, J.B.; CARVALHO, F.; ABREU, R.G.; PAULINO, A.J. **Importância econômica do café do Brasil**. 4.ed., Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1981, p.1-24. (Instruções técnicas sobre a cultura de café no Brasil, 1).
- NIMER, E. **Clima. Geografia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. v.3, p.51-89.
- TARDIN, A.T.; SANTOS, A.P.; BATISTA, G.T.; OHARA, T.; SANTOS, J.R.; HERNANDEZ FILHO, P.; NOVAES, R.A.; CHEN, S.C.; SHIMABUKURO, Y.E. **Uso de sensoriamento remoto para avaliação de danos causados pela geada no Noroeste do Paraná**. São José dos Campos: INPE, 1977. (INPE -745 - NTE/026).
- VELLOSO, M.H.; MCNEILL, H.W. **Programa de aplicações de sensoriamento remoto do Instituto Brasileiro do Café**. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1971. 19p. (Aplicações de Sensoriamento Remoto na Cafeicultura - F/PSR. 003).
- VELLOSO, M.H. **Coffee inventory through orbital imagery**. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1974. 20p. (SR 525).
- VELLOSO, M.H.; SOUZA, D.D. **Sistema automático de inventário cafeeiro**. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1976. 8p.
- VELLOSO, M.H.; SOUZA, D.D. **Trabalho experimental de inventariação automática de cafezais utilizando imagens orbitais e o equipamento Image-100**. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1978. 2p.