



PALAVRAS CHAVES / KEY WORDS

AUTORES / AUTHORS

SENSORIAMENTO REMOTO;  
CAFÉ;  
TM/LANDSAT

AUTORIZADA POR / AUTHORIZED BY

*Ralf Gielow*  
Ralf Gielow  
Coordenador Pós-Graduação

AUTOR RESPONSÁVEL / RESPONSIBLE AUTHOR

*Luiz Leonardi*  
Luiz Leonardi

DISTRIBUIÇÃO / DISTRIBUTION

INTERNA / INTERNAL  
 EXTERNA / EXTERNAL  
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY

*José C.N. Epiphânio*  
José C.N. Epiphânio

CDU/UDC

528.711.7:633

DATA / DATE

Dezembro de 1990

TÍTULO / TITLE	PUBLICAÇÃO Nº / PUBLICATION NO
	INPE-5209-TDL/430
<p>INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS CULTURAIS DE CAFEZAIS SOBRE OS DADOS TM/ LANDSAT-5</p>	
AUTORES / AUTHORSHIP	Luiz Leonardi

ORIGEM / ORIGIN

PG/SER

PROJETO / PROJECT

DAT

Nº DE PAG. / NO OF PAGES

171

ULTIMA PAG. / LAST PAGE

B-3

VERSÃO / VERSION

Nº DE MAPAS / NO OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Foram utilizados dados digitais, bandas 1 a 5 e 7 do sensor TM/Landsat-5, e dados coletados em campo para avaliação da influência dos parâmetros culturais do café sobre sua resposta espectral. Os parâmetros culturais foram coletados, quase simultaneamente à passagem do satélite e são resultantes da média de medições de campo, dados de arquivos e entrevistas. Os dados digitais correspondentes aos pontos amostrados em campo foram extraídos da imagem e posteriormente convertidos para valores de reflectância. A análise dos dados foi feita em quatro etapas: correlação entre parâmetros culturais; correlação dos valores de reflectância entre bandas espectrais; correlação entre parâmetros culturais e resposta espectral do café; e regressão múltipla entre parâmetros culturais e resposta espectral. Os resultados revelaram que os parâmetros relativos às características da planta (altura, ano de poda, percentagem de cobertura do terreno, idade, vigor vegetativo, e tipo de poda) são mais bem correlacionados com a reflectância do cafezal do que os parâmetros relativos às características do substrato (percentagem de cobertura nas entrelinhas: matéria orgânica; ervas daninhas verdes; solo exposto) ou da geometria (orientação das fileiras de plantio, declividade e orientação do declive). A análise de regressão múltipla evidenciou a influência predomi-

(continua)

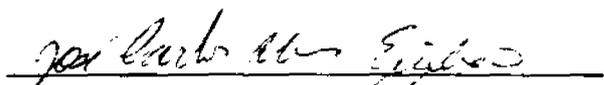
OBSERVAÇÕES / REMARKS

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em 09/08/90.



Aprovada pela Banca Examinadora  
em cumprimento a requisito exigido  
para a obtenção do Título de Mestre  
em Sensoriamento Remoto

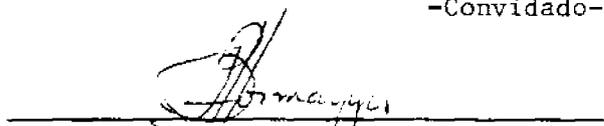
Dr. José Carlos Neves Epiphânio

  
Orientador/Presidente

Dr. Carlos Alberto Vettorazzi

  
Membro da Banca  
-Convidado-

Dr. Antonio Roberto Formaggio

  
Membro da Banca

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro

  
Membro da Banca

Dr. Ícaro Vitorello

  
Membro da Banca

Candidato: Luiz Leonardi

São José dos Campos, 09 de agosto de 1990



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Dr. José Carlos Neves Epiphânio pela orientação e estímulo, fatores fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Às pessoas que discutiram, criticaram, estimularam e que de alguma forma contribuíram para realização deste estudo. Especiais agradecimentos ao Dr. Antonio Roberto Formaggio que participou das discussões de todas etapas deste trabalho.

Aos bibliotecários do INPE, pela atenção e empenho na busca de material bibliográfico, especialmente ao Sérgio e à Suelena.

À IPANEMA Agro-Industria pelo acesso às fazendas Conquista e Campo Verde e aos dados das mesmas.



## RESUMO

Foram utilizados dados digitais, bandas 1 a 5 e 7 do sensor TM/Landsat-5, e dados coletados em campo para avaliação da influência dos parâmetros culturais do café sobre sua resposta espectral. Os parâmetros culturais foram coletados, quase simultaneamente à passagem do satélite e são resultantes da média de medições de campo, dados de arquivos e entrevistas. Os dados digitais correspondentes aos pontos amostrados em campo foram extraídos da imagem e posteriormente convertidos para valores de reflectância. A análise dos dados foi feita em quatro etapas: correlação entre parâmetros culturais; correlação dos valores de reflectância entre bandas espectrais; correlação entre parâmetros culturais e resposta espectral do café; e regressão múltipla entre parâmetros culturais e resposta espectral. Os resultados revelaram que os parâmetros relativos às características da planta (altura, ano de poda, percentagem de cobertura do terreno, idade, vigor vegetativo, e tipo de poda) são mais bem correlacionados com a reflectância do cafezal do que os parâmetros relativos às características do substrato (percentagem de cobertura nas entrelinhas: matéria orgânica; ervas daninhas verdes; solo exposto) ou da geometria (orientação das fileiras de plantio, declividade e orientação do declive). A análise de regressão múltipla evidenciou a influência predominante dos parâmetros altura da planta e percentagem de cobertura do terreno na resposta espectral do dossel cafeeiro. Quanto ao método de regressão passo a passo, observou-se que a determinação do número de amostras é de fundamental importância para a confiabilidade dos resultados.



### **ABSTRACT**

Coffee fields are very complex at a remote sensing satellite view. The objective of this study was to understand this complexity. To do that, TM/Landsat-5 digital images and ground truth data were obtained nearly simultaneously. Digital data were transformed to reflectance values and the field data were analysed in four stages: correlation between agronomic variables; correlation between spectral TM bands; correlation between agronomic variables and spectral response; and multiple regression analysis between cultural variables and coffee's spectral responses. The results indicated that variables related to the characteristics of the plant (height, pruning year, percentage of canopy cover, age, greenness and pruning type) were better correlated to the coffee reflectance than that variables related to the background characteristics (percentage of soil cover with organic material, weeds or bare soil), or that variables related to the geometry (row orientation, slope, slope aspect). Stepwise multiple regression analysis showed the predominant influence of coffee plants height and percentage of canopy cover variables on the spectral response of coffee canopies. With respect to the stepwise regression it was showed that sampling design is capital to the results confidence.



## SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE TABELAS .....	xv
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....	1
<u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u> .....	5
2.1 - Aspectos gerais da cultura do café ( <u>Coffea arabica</u> L) no Brasil .....	5
2.2 - Sensoriamento remoto em cafeicultura .....	6
2.3 - Relação entre características da cena e reflectância espectral .....	11
2.3.1 - Topografia .....	12
2.3.2 - Reflectância do solo .....	15
2.3.3 - Ângulo de elevação solar e de visada, e ângulo azimutal ... ..	17
2.3.4 - Práticas culturais, idade e cultivar .....	23
2.4 - Sensoriamento remoto em outras culturas permanentes .....	32
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS</u> .....	35
3.1 - Material .....	35
3.2 - Métodos .....	36
3.2.1 - Definição da área de estudo e seleção dos módulos .....	39
3.2.2 - Seleção dos talhões e coleta dos parâmetros culturais .....	43
3.2.3 - Coleta dos valores digitais referente aos pontos amostrados em campo .....	58

3.2.4 - Transformação dos valores digitais para valores de reflectância e correção atmosférica .....	59
3.2.5 - Análise estatística .....	64
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....	73
4.1 - Análise da correlação entre parâmetros culturais .....	74
4.2 - Análise da correlação entre as bandas espectrais estudadas .....	85
4.3 - Avaliação dos relacionamentos entre os parâmetros culturais e a resposta espectral do cafeeiro .....	87
4.4 - Determinação dos parâmetros culturais significativos quanto à resposta espectral do cafeeiro .....	116
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u> .....	127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
APÊNDICE A - PARÂMETROS CULTURAIS E RESPOSTA ESPECTRAL DO CAFEZAL	
APÊNDICE B - FORMULÁRIO DE CAMPO	

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
2.1 - Variação na resposta espectral em função dos elementos do terreno e ângulo Sol-alvo-sensor, explicada pela regressão, para as seis bandas espectrais .....	14
2.2 - Esquema representativo da geometria Sol-alvo-sensor: ( $\theta$ ) ângulo de visada, ( $z$ ) ângulo zenital solar e ( $\phi$ ) ângulo azimutal .....	18
2.3 - (a) Geometria de reflexão de uma cultura em fileiras. (b) Radiância espectral do campo. Para $\phi = 90$ ou $270^\circ$ a radiância espectral é predominantemente de solo e sombra. Para $\phi = 0$ ou $180^\circ$ a radiância espectral é predominantemente da vegetação.....	22
3.1 - Fluxograma apresentando os passos metodológicos do estudo .....	38
3.2 - Crescimento da população cafeeira para os diversos Estados produtores no Brasil .....	39
3.3 - Localização aproximada dos módulos de estudo no Estado de Minas Gerais e na imagem TM/Landsat utilizada.....	41
3.4 - Localização, forma, distribuição e disposição dos talhões selecionados e pontos amostrados, para o módulo 1 .....	45
3.5 - Localização, forma, distribuição e disposição dos talhões selecionados e pontos amostrados, para o módulo 2 .....	46
3.6 - Localização, forma, distribuição e disposição dos talhões selecionados e pontos amostrados, para o módulo 3 .....	47

3.7 - Representação esquemática dos três principais tipos de poda: decote, recepa e esqueletamento .....	54
3.8 - Ilustração do problema de valores extremos no conjunto de dados: (a) gráfico da variável dependente (Y) contra a variável independente (X); (b) gráfico de resíduos (e) contra os valores estimados ( $\hat{Y}_i$ ) .....	71
3.9 - Gráfico de resíduos contra $\hat{Y}_i$ , demonstrando um bom ajuste do modelo linear .....	72
4.1 - Relacionamento entre: (a) Densidade (DENS) X Idade (IDAD); (b) DENS X Ano de Poda (ANPO) .....	77
4.2 - Relacionamento entre: (a) Cobertura do terreno pelas árvores de café (COBR) X RAI0; (b) COBR X Altura (ALTU) .....	81
4.3 - Relacionamento entre a reflectância na banda TM1 e os parâmetros (a) ANPO, (b) ALTU, (c) IDAD, (d) COBR .....	95
4.4 - Relacionamento entre a reflectância na banda TM2 e os parâmetros (a) ALTU, (b) ANPO, (c) IDAD, (d) COBR .....	100
4.5 - Relacionamento entre a reflectância na banda TM3 e os parâmetros (a) ALTU, (b) ANPO, (c) COBR .....	103
4.6 - Relacionamento entre a reflectância na banda TM4 e o parâmetro VIVE .....	108
4.7 - Relacionamento entre a reflectância na banda TM5 e os parâmetros (a) ANPO, (b) ALTU, (c) IDAD .....	110
4.8 - Relacionamento entre a reflectância na banda TM7 e os parâmetros (a) ALTU, (b) ANPO, (c) IDAD, (d) COBR .....	112

4.9 - Curvas de reflectância obtidas em campo: (1) cena representada por 50% de solo exposto e 50% de folhas secas (iluminada); (2) cena representada por 100% de solo exposto (iluminada); (3) cena representada por 100% de solo exposto (sombreada); (4) cena representada por 50% de solo exposto e 50% de folhas secas (sombreada) .....	115
4.10 - Gráficos dos resíduos (e) versus valores de reflectância estimados ( $\hat{Y}$ ). (a) valores extremos quanto a reflectância na banda TM1 do grupo PODA, talhões 106 e 107 (pontos A e B, respectivamente); (b) valor extremo, quanto à reflectância na banda TM1 do grupo SOLO, talhão 133 (ponto A) .....	120



## LISTA DE TABELAS

	Pág.
2.1 - Matriz de correlação para as bandas simuladas do TM (1 a 7) .....	29
3.1 - Variação dinâmica dos dados TM/Landsat-5 ( $\text{mW. cm}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{um}^{-1}$ ) .....	62
3.2 - Valores de distância Terra-Sol, ângulo zenital e irradiância solar para cada banda do TM/Landsat .....	62
3.3 - Modelo de espalhamento relativo para os diversos tipos de atmosfera .....	64
4.1 - Coeficientes de correlação significativos ao nível de 95% entre os parâmetros culturais .	76
4.2 - Matriz de correlação para valores de reflectância das bandas TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 e TM7 .....	86
4.3 - Coeficientes de correlação significativos ao nível de 95% entre reflectância e os parâmetros culturais .....	90
4.4 - Valores do número condicional (K) por grupo de análise .....	118
4.5 - Sumário dos resultados do procedimento "step-wise" para os quatro grupos de análise e bandas do TM .....	121
A.1 - Parâmetros culturais do cafezal .....	A.2
A.2 - Parâmetros culturais do cafezal .....	A.6
A.3 - Parâmetros culturais do cafezal e reflectância do solo (obtido em laboratório) .....	A.10
A.4 - Reflectância espectral do cafezal (obtida da imagem TM/LANDSAT) .....	A.14



## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de café do mundo. Este produto ainda constitui um dos principais geradores de divisas para o País. Com um volume de exportação médio anual de 16,222 milhões de sacas de 60 Kg no período de 1979 - 1988, obteve uma receita média anual de 2,349 bilhões de dólares (Anuário Estatístico do Café, 1988).

No entanto, o café está sujeito a grandes flutuações de preço no mercado internacional. São inúmeros os fatores que podem intervir no processo de compra e venda, tais como: níveis de produção, níveis de estoques e contratempos climáticos (seca e geada).

Neste processo de comercialização, a informação rápida e precisa dos fatores que intervêm nos níveis de produção, níveis de estoques e contratempos climáticos, constitui um parâmetro importante na determinação de preços mais condizentes com a realidade de oferta e demanda.

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., 1981a). O monitoramento dos fatores que influenciam os níveis de produção a curto e longo prazos são de grande importância, tanto para os organismos de controle nacional do mercado, Fundo de Defesa da Economia Cafeeira-Funcafé, como para os de controle internacional como a Organização Internacional do Café-OIC.

A fotografia aérea, em conjunto com o levantamento de campo, apresenta-se no momento como o principal meio de obtenção de dados sobre a cafeicultura. No entanto, o seu alto custo tem limitado a sua utilização regular e frequente.

Outro meio potencial de ser empregado na aquisição de informações relativas à cafeicultura é o sensoriamento remoto orbital, visto o seu caráter multiespectral, repetitividade e baixo custo quando comparado com a fotografia aérea.

O sensoriamento remoto baseia-se na detecção de energia eletromagnética refletida e/ou emitida pela superfície terrestre. A utilização efetiva dos dados obtidos fundamenta-se no conhecimento dos efeitos interativos entre a energia e os diversos parâmetros relacionados ao alvo, que contribuem para variações na resposta espectral de uma determinada superfície.

Inúmeros fatores podem influenciar a resposta espectral do dossel das culturas. Tais fatores podem variar, por exemplo, em função do tipo ou localização da cultura. No Brasil, vários pesquisadores têm se dedicado ao estudo desses fatores bem como às técnicas de processamento para identificação de culturas anuais tais como: soja, milho, cana-de-açúcar, trigo etc. O mesmo não tem acontecido para culturas perenes, as quais carecem de mais estudos para o entendimento do seu comportamento espectral.

Alguns trabalhos desenvolvidos no Brasil mostraram que a aplicação do sensoriamento remoto orbital no levantamento de dados sobre a cafeicultura apresentava-se inadequada (Velloso, 1974; Tardin et al., 1977; Velloso e Souza, 1978). Estes trabalhos citam como problema

principal a resolução espacial do sistema sensor utilizado (MSS/Landsat), bem como a heterogeneidade dos parâmetros culturais do café. Com a disponibilidade de produtos com melhor resolução espacial e espectral fornecidos pelos sensores TM/Landsat-5 e HRV/SPOT, novos estudos se fazem necessários.

Este trabalho objetiva dar início ao processo de entendimento das relações existentes entre os parâmetros culturais do cafezal e a sua resposta espectral obtida através do sensor TM/Landsat-5. A hipótese levantada é de que vários parâmetros culturais do cafezal influenciam sua resposta espectral, sendo que alguns destes parâmetros são determinantes nesta resposta.



## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 - Aspectos gerais da cultura do café (Coffea arabica L.) no Brasil

O cafeeiro é planta tropical de altitude, adaptada a clima úmido com temperaturas amenas, típica de altiplanos da Etiópia, região considerada de origem da espécie (Matiello et al., 1981b).

Nas principais áreas cafeeiras do Centro-Sul do Brasil, em latitudes superiores a 20°, o clima, caracterizado pela estação chuvosa de primavera-verão seguida de um período relativamente seco de outono-inverno, favorece a frutificação e produção do cafeeiro (Camargo, 1985).

Segundo Camargo e Fernandes (1983) citados por Camargo (1985), toda cafeicultura comercial do Brasil apresenta um ciclo fenológico bem definido, com florescimento na primavera, frutificação no verão, maturação no outono e repouso/colheita no inverno.

No período de inverno, a cultura geralmente apresenta um índice de desfolha relativamente alto causado pela colheita. A desfolha é proporcional à produtividade da lavoura, sendo que outros fatores tais como tratamentos culturais, pragas e doenças também exercem influência. Quanto maior a produtividade e o ataque de pragas e/ou doenças, maior será a desfolha. No período da primavera, verão e outono, quando implantada em região climaticamente adequada e quando recebe tratamentos culturais adequados, a cultura geralmente apresenta vigor vegetativo intenso.

Entre as diversas cultivares de Coffea arabica cultivadas em Minas Gerais, destacam-se a Mundo Novo e a Catuaí que ocupam 94,56% da área plantada (IBC, s.d.). De maneira geral, esses valores representam a realidade de todo o País.

No que se refere ao espaçamento de plantio do café, os cultivos tradicionais eram feitos com espaçamentos largos, 4,0 m entre linhas por 2,5 a 1,5 m entre covas, para a variedade Mundo Novo e 3,5 m entre linhas por 2,5 a 1,5 m entre covas para a variedade Catuaí (Siqueira, 1978). A substituição dessas lavouras velhas e decadentes por lavouras novas, apoiadas em bases agronômicas e pesquisas de produção reduziu, de maneira geral, os espaçamentos para 2,0m entre linhas e 0,5 a 1,5 m entre covas (Thomaziello, 1978). Entretanto, nem todos os cafeicultores seguem as recomendações técnicas quanto ao espaçamento de plantio, podendo ser encontrados diversos tipos de espaçamento, até mesmo aqueles utilizados a 20 ou 30 anos atrás. Tais plantios, no entanto, constituem pequena parte da área atualmente implantada com café.

Quanto às práticas culturais do cafezal, têm-se como principais: conservação do solo, capinas, arruação e esparramação, cultura intercalar, podas, adubação e instalação de quebra ventos (Matiello et al., 1981c).

## **2.2 - Sensoriamento remoto em cafeicultura**

A fotografia aérea, principalmente a pancromática do tipo vertical, constitui-se num dos principais produtos para o levantamento de recursos naturais, principalmente aqueles relacionados com a agricultura. Este produto tem sido de grande utilidade, servindo como elemento de apoio à execução de trabalhos de

assistência técnica, avaliação e distribuição das áreas ocupadas com cafezais, cálculo da população cafeeira, classificação do estágio da lavoura e da técnica empregada no plantio, bem como no auxílio à previsão de safras (Matiello et al., 1981d).

Entretanto, em 1971 já surgia a idéia do aperfeiçoamento desta técnica devido às suas limitações quanto ao prazo de obtenção da informação e o custo. Neste mesmo ano, o Instituto Brasileiro do Café-IBC definiu em conjunto com a "Food and Agricultural Organization"-FAO, um programa prevendo a construção de um sistema de televisão aerotransportado de alta resolução, permitindo uma análise automática dos dados (Velloso e McNeill, 1971).

Com um teste realizado numa área piloto no Estado do Paraná utilizando cobertura aerofotográfica na escala de 1:40.000, bem como tomada simultânea de imagens de televisão (Sistema Automático de Inventário Cafeeiro-SAIC) gravadas em fitas magnéticas, chegou-se ao resultado de que o sistema ainda não atendia ao nível de precisão exigido para inventariação. Esta avaliação foi feita através da comparação dos resultados com aqueles obtidos pelo processo convencional adotado pelo IBC (Velloso e Souza, 1976).

Paralelamente, outros trabalhos foram desenvolvidos na tentativa de viabilizar a utilização do SAIC. Souza et al. (1973) desenvolveram estudos estatísticos com o objetivo de determinar um padrão (frequência) de espaçamento e diâmetro de copa do cafeeiro. Estes estudos visavam a discriminação da cultura do café, através da análise automática das frequências espaciais utilizando-se do SAIC.

O Serviço de Fotointerpretação do IBC iniciou um programa de pesquisas em sensoriamento remoto em 1969 para o levantamento de certos aspectos da cultura cafeeira no Brasil. Este programa visava a análise automática dos dados, baseada em leituras densitométricas de fotografias aéreas coloridas. Dois estudos foram realizados com filmes Ektachrome colorido e infravermelho falsa-cor, cujo objetivo era estudar a ferrugem do café (Hemileia vastatrix, L.) e prejuízos causados pelas geadas. As variações no balanço da cor e na sensibilidade do filme Ektachrome infravermelho e também sua pequena latitude indicaram ser difícil ou quase impossível a repetição de padrões densitométricos para variáveis específicas dos alvos. Além disso, a estreita relação existente entre padrões densitométricos e bioclima (umidade, vigor da cobertura vegetal, tipo de solo, espaçamento, variedade de um mesmo gênero de plantas, culturas intercalares e idade da planta) não permitiu a extrapolação dos resultados obtidos em áreas testes para outras regiões (Velloso e McNeill, 1971).

Segundo Velloso (1972), apesar de vários experimentos apresentarem resultados satisfatórios em áreas testes na identificação automática dos diversos tipos de coberturas vegetais, através da análise multiespectral, foram apontados três tipos de limitações à extrapolação dos resultados para áreas extensas, quais sejam: bioclima, efeito atmosférico e deficiências do sistema de levantamento (efeitos da geometria de iluminação, distorção das imagens, etc.).

O uso de imagens do sensor MSS ("Multispectral Scanner") obtidas pelo satélite Landsat-1 foi estudado por Velloso (1974) com o objetivo de inventariar café através da interpretação visual. Os

resultados obtidos em termos de áreas ocupadas com café foram então comparados com o Inventário Cafeeiro, realizado em 1971/1972, no qual foi utilizada a fotointerpretação convencional de fotografias aéreas preto e branco e de fotoíndices, nas escalas de 1:25.000 e de 1:100.000, respectivamente. O resultado da interpretação visual das imagens MSS apresentou uma percentagem de erro muito alta. Concluiu-se, que um dos fatores limitantes mais importantes foi a resolução espacial (79m) do sistema. Outros fatores como heterogeneidade do solo, heterogeneidade da umidade do solo combinados com variação do espaçamento e tamanho de árvores de café individualmente contribuíram para uma grande variação das assinaturas espectrais da cultura do café. Tais fatores causaram extrema dificuldade na determinação de um padrão na imagem, para a cultura do café, impossibilitando sua identificação.

Nesta mesma linha de trabalho Tardin et al. (1977) utilizaram-se de fotografias aéreas infravermelhas falsa-cor (Kodak 2443, escala de 1:21.000) e imagens MSS/Landsat (obtidas logo após a geada), com o objetivo de avaliar os prejuízos causados pela geada de 1975 na região Noroeste do Estado do Paraná. As fotografias aéreas possibilitaram a delimitação precisa de áreas de café e trigo atingidas pela geada. Utilizando a classificação automática das imagens MSS/Landsat, na mesma região, encontraram ocasionalmente problemas de confusão da classe "café normal" com áreas de reflorestamento e "café geado" com certos elementos de drenagem. Um dos fatores limitantes citados foi a resolução do sensor MSS/Landsat (79m) que favorece o problema de pixels mistos. Outro problema citado foi que, em decorrência dos aspectos culturais, o cafezal apresentou uma resposta espectral que aproxima-se da vegetação natural (cerradão e capoeira).

Velloso e Souza (1978) fizeram um trabalho experimental de inventariação automática de cafezais utilizando imagens orbitais (Landsat-1). Este trabalho foi realizado para duas áreas testes no Estado de São Paulo. Os resultados foram comparados com a fotointerpretação realizada sobre fotografias aéreas, em escala de 1:25.000, obtidas na mesma época de obtenção das imagens de satélite. Os resultados apresentaram uma alta porcentagem de erro. Os autores concluíram que esta técnica não era a mais adequada para o propósito de inventariação cafeeira.

Dallemand (1987) fez uma avaliação dos dados HRV ("Haute Resolution Visible")/SPOT e TM ("Thematic Mapper")/Landsat na identificação de culturas (trigo, cana-de-açúcar, pastagem e café) no Noroeste do Estado do Paraná, utilizando técnicas de interpretação visual. Os produtos utilizados foram SPOT multiespectral vertical (SPOT XS. V), SPOT pancromático vertical (SPOT PAN V), SPOT multiespectral com visada lateral (SPOT XS. L) e TM/Landsat-5, todos na escala de 1:100.000. No caso do café foram observadas diferenças significativas ao nível de 95% no resultado da identificação entre os três pares de produtos: obteve-se melhor resultado com o produto SPOT (XS. V) do que com o produto SPOT (XS. L). O desempenho dos intérpretes foi melhor com o produto SPOT (XS. V) do que com o produto SPOT (PAN V). Também obteve-se melhor resultado com o produto TM (composição colorida - bandas 2, 3 e 4) do que com o produto SPOT (PAN V). Considerando a cultura do café, o autor concluiu que as composições coloridas falsa-cor do SPOT (XS. V) e do TM permitiram uma melhor identificação e apresentaram uma diferença estatisticamente significativa (ao nível de 95%) em relação ao SPOT (PAN. V), apesar da melhor resolução espacial deste.

A FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA (1987) iniciou uma pesquisa com produtos SPOT para estudar os recursos agrícolas da zona cafeeira colombiana e avaliar a possível quantificação de áreas plantadas com café utilizando tais produtos. A pesquisa se dividiu em duas fases: interpretação visual e interpretação automática. Os resultados preliminares da interpretação visual indicam que é possível identificar de maneira geral áreas cultivadas com café e outros cultivos, obras de infraestrutura, rede de drenagem e elaborar mapas temáticos de solos, geologia, entre outros. A interpretação automática dos dados digitais, auxiliados por trabalho de campo e pela criação de novas imagens (índice de vegetação, razão de bandas, entre outras), apresentaram resultados que indicam ser possível classificar e quantificar áreas cultivadas com café, bem como outros usos da terra.

Apesar dos resultados pouco satisfatórios obtidos pelos trabalhos desenvolvidos até o momento, pode-se observar que, de maneira geral, tais trabalhos têm sido direcionados a uma utilização operacional das técnicas de sensoriamento remoto, onde a avaliação dos parâmetros culturais do café sobre a resposta espectral do cafeeiro são feitas de maneira subjetiva. Acredita-se que o desenvolvimento de pesquisas que considerem avaliações objetivas das relações entre parâmetros culturais e resposta espectral possam representar um maior conhecimento do potencial desta técnica em estudos relacionados à cultura do café.

### **2.3 - Relação entre características da cena e reflectância espectral**

Muitas características da cena poderiam ser enumeradas e discutidas suas relações com a reflectância

espectral. Neste ítem, faz-se uma abordagem de algumas destas características que, segundo a literatura, possuem influência predominante na reflectância espectral dos dosséis agrícolas e florestais.

### 2.3.1 - Topografia

Muitas pesquisas em sensoriamento remoto têm demonstrado que a topografia do terreno pode influenciar a resposta espectral de uma dada superfície (Strahler et al., 1978; Justice et al., 1981; Stohr e West, 1985). O efeito topográfico sobre a reflectância é definido como a variação na resposta espectral de uma superfície inclinada, comparada à resposta espectral de uma superfície horizontal; e é função da orientação da superfície em relação à fonte de luz e posição do sensor (Holben e Justice, 1981).

Stohr e West (1985) examinaram a influência dos elementos do terreno (declividade e orientação do declive) e ângulo Sol-alvo-sensor sobre a resposta espectral obtida por um sensor multiespectral, para uma cobertura de pastagem. Foram utilizadas seis bandas espectrais para o estudo, quais sejam: banda 2 (0,46 m - 0,48 m); 5 (0,58 m - 0,62 m); 6 (0,62 m - 0,66 m); 7 (0,66 m - 0,72 m); 9 (0,80 m - 1,00 m) e 11 (1,50 m - 1,80 m). O procedimento utilizado para a análise da influência dos elementos do terreno e ângulo Sol-alvo-sensor sobre a resposta espectral foi o de regressão linear múltipla "stepwise". Para esta análise foram consideradas como variáveis independentes os elementos do terreno, ângulo Sol-alvo-sensor, o quadrado dos elementos do terreno e ângulo de visada, assim como o produto entre os elementos do terreno e ângulo de visada. As bandas do sensor foram consideradas variáveis dependentes.

A análise estatística mostrou que a resposta espectral é influenciada pelos elementos do terreno e ângulo Sol-alvo-sensor. Os estudos demonstraram uma diferenciação quanto à influência das variáveis independentes em relação às bandas utilizadas, sendo que as variáveis não mantiveram a mesma importância, em termos explicativos, para todas as bandas. Para as bandas do visível (2, 5, 6 e 7) a sequência de variáveis que entraram no modelo foi mais constante. A variação total da resposta espectral, explicada pelo modelo de regressão, devido ao efeito de todas as quinze variáveis e das 5 primeiras variáveis incluídas no modelo, diminuiu com o aumento de comprimento de onda (Figura 2.1).

Para as bandas do visível (2,5,6 e 7) a variável responsável pela maior explicação na variação da resposta espectral foi o ângulo Sol-alvo-sensor, com 54, 45, 28 e 24% da explicação da variação total, respectivamente. Para as bandas do infravermelho esta variável influenciou muito pouco a variação da reflectância, ou seja, 6,4 e 1,3% para as bandas 9 e 11, respectivamente.

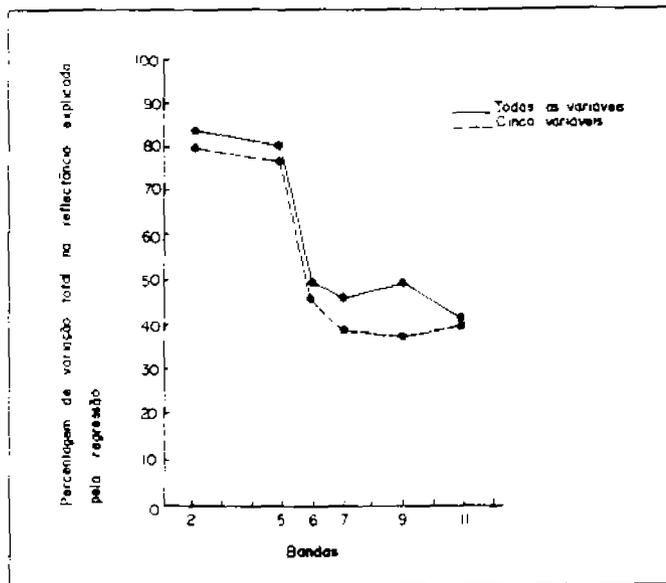


Fig. 2.1 - Variação na resposta espectral em função dos elementos do terreno e ângulo Sol-alvo-sensor, explicada pela regressão, para as seis bandas espectrais.

FONTE: modificada de Stohr e West (1985).

Os elementos do terreno (declividade, orientação de declive e seu produto cruzado) explicaram significativamente a variação da resposta espectral para todas as bandas. Observou-se que a explicação da variação da resposta espectral, devido aos elementos do terreno, diminui à medida que aumenta o comprimento de onda no visível. Para a região do infravermelho isto não acontece, sendo que os elementos do terreno explicam melhor a variação da resposta espectral que o ângulo Sol-alvo-sensor.

Os autores citam como uma limitação à análise dos resultados o fato de não terem sido incluídas outras

variáveis, como efeito de mudança de umidade, tipos de solo e variação no vigor da vegetação.

Hall-Konyves (1987) estudou o efeito da topografia sobre dados dos sensores MSS e TM/Landsat-4 e 5 numa área com declive de  $1^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ , e para três épocas do ano com elevações solares de  $38^{\circ}$ ,  $44^{\circ}$  e  $52^{\circ}$ . Foram estudados 135 campos cultivados, 50 áreas de pastagens e 117 áreas florestais num total de 88.800 pixels. A relação entre a variação na resposta Landsat e parâmetros topográficos dentro dos campos cultivados e áreas florestais foram fracas. Mesmo para algumas áreas florestadas com declives acima de  $50^{\circ}$  não foram encontradas relações evidentes entre elementos do terreno e níveis de cinza. Segundo o autor, esta fraca relação pode ser explicada pela estrutura geométrica rugosa ("rough") da cobertura florestal, que pode causar radiância anisotrópica que mascara a possível relação entre elementos do terreno e níveis de cinza. Para algumas coberturas de pastagem foi identificado efeito topográfico.

Vários autores têm se dedicado ao estudo de técnicas visando avaliar e/ou minimizar o efeito topográfico na variação das respostas espectrais (Pinter et al., 1987; Holben e Justice, 1981; Justice et al., 1981). Entre algumas das técnicas muito estudadas pode-se citar a razão de bandas e índices espectrais de vegetação.

### **2.3.2 - Reflectância do solo**

Há uma série de fatores relativos exclusivamente aos solos que podem influenciar a reflectância de uma superfície. Segundo Myers (1983) a reflectância espectral do solo depende da cor, teor de umidade, rugosidade da superfície, textura, conteúdo

mineral, matéria orgânica e biomassa seca residual. O conteúdo de umidade do solo e quantidade de biomassa seca residual, as quais variam no tempo, dominam o padrão de reflectância espectral do solo.

Segundo Colwell (1974), a reflectância do substrato pode ser muito importante na reflectância do dossel, especialmente para baixas percentagens de cobertura vegetal. Para um dossel com cobertura de 37% de gramínea em solo claro, o autor encontrou 9% de reflectância na faixa espectral do vermelho, enquanto que para um dossel com cobertura equivalente e solo escuro, a reflectância foi de 3,2%. O autor observou ainda que na faixa espectral do vermelho ocorre alta correlação negativa entre reflectância e percentagem de cobertura do dossel quando o solo é claro. No entanto, a reflectância mostra-se menos susceptível a mudanças na percentagem de cobertura quando o solo é escuro. A reflectância na faixa espectral do verde foi negativamente correlacionada com percentagem de cobertura para o dossel com solos claros e positivamente correlacionada para o dossel com solos escuros. Para a região do infravermelho próximo a reflectância foliar geralmente é maior que a reflectância do solo, havendo normalmente correlação positiva entre percentagem de cobertura da vegetação e reflectância do dossel. Para algumas situações o autor encontrou correlação negativa e observou que isto pode ocorrer sempre que a reflectância foliar for muito maior que a reflectância do substrato (solo), ou se o aumento da percentagem de cobertura da vegetação for acompanhado pelo aumento da quantidade de sombras.

A energia incidente sobre uma área agrícola interage com os diversos componentes desta superfície (vegetação, solo, sombra, entre outros). Quando a densidade

da vegetação aumenta até recobrir quase totalmente o solo, a contribuição espectral deste será mínima para a reflectância espectral total do dossel. Portanto, a contribuição relativa da reflectância do solo para a reflectância espectral do dossel é inversamente relacionada com a biomassa ou densidade de vegetação (Myers, 1983).

A influência da reflectância do solo tem sido um sério empecilho na avaliação e caracterização de superfícies vegetais (Huete et al., 1985). Bauer et al. (1981) e Ahlrichs e Bauer (1983), observaram que o tipo de solo, bem como suas características, influenciam a reflectância espectral do dossel de algumas culturas (soja, milho e trigo), principalmente para o período inicial de desenvolvimento da cultura, quando ocorre maior percentagem de solo exposto.

Em função desta influência do solo na reflectância do dossel vegetal, esforços têm sido feitos no sentido de desenvolver técnicas (índices de vegetação e razão de bandas) que possam isolar ou remover a influência da reflectância do solo na composição espectral do dossel (Gardner e Blad, 1986; Huete et al., 1984, 1985; Huete, 1986, 1987), com o objetivo de melhorar a avaliação da cobertura vegetal.

### **2.3.3 - Ângulo de elevação solar e de visada, e ângulo azimutal**

As características da radiância de uma cena agrícola são função das variáveis agronômicas, geométricas (do dossel) e atmosféricas (Ranson et al., 1984).

Quanto às variáveis de geometria da cena, os principais ângulos envolvidos são: ângulo zenital solar

( $z$ ), ângulo de visada ( $\theta$ ) e ângulo azimutal ( $\phi$ ), conforme esquematizado na Figura 2.2. O ângulo azimutal é o ângulo entre os planos verticais Sol-alvo e sensor-alvo, projetados no plano horizontal, ortogonal a esses dois planos. O ângulo zenital solar é o ângulo compreendido entre as direções alvo-Sol e alvo-nadir, enquanto que o ângulo de visada compreende o ângulo entre as direções alvo-sensor e a normal ao alvo.

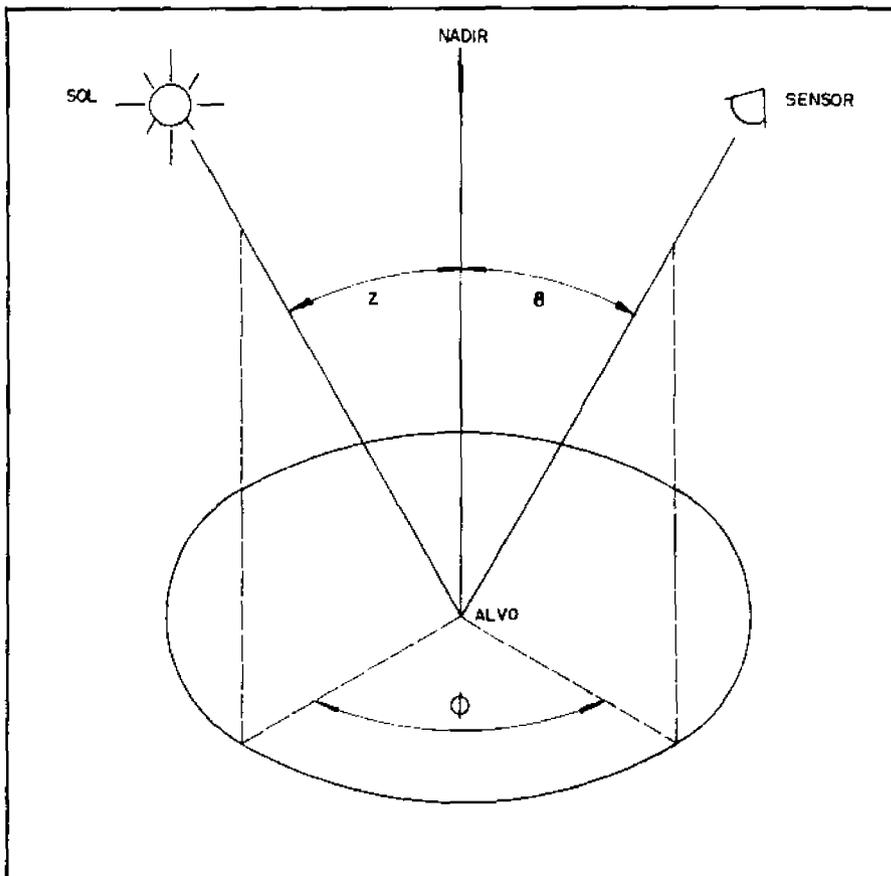


Fig. 2.2 - Esquema representativo da geometria Sol-alvo-sensor: ( $\theta$ ) ângulo de visada, ( $z$ ) ângulo zenital solar e ( $\phi$ ) ângulo azimutal.

Ranson et al. (1984) fizeram um experimento visando caracterizar um campo de soja em função de sua

reflectância, para vários ângulos de iluminação, e também em função de seus atributos físicos e agronômicos. Os resultados do estudo indicaram que a distribuição de reflectância de um campo de soja é função da iluminação e geometria de visada, comprimento de onda e direção das fileiras, bem como do estágio de desenvolvimento do dossel. As sombras entre as fileiras afetaram significativamente a reflectância nas bandas do visível. Isto deveu-se ao fato da cultura da soja apresentar estrutura em fileiras bem definidas.

Segundo Colwell (1974), a quantidade de sombra em uma cena constitui um fator importante de influência na reflectância. Vinogradov (1969), citado por Colwell (1974), observou correlações negativas entre reflectância e percentagem de cobertura da vegetação para gramínea na faixa espectral do visível. Este fato foi atribuído ao aumento na quantidade de sombra do dossel com o aumento da percentagem de cobertura. Para a faixa do infravermelho próximo, Roller (1973), citado por Colwell (1974), observou para um dossel de floresta de coníferas uma redução na reflectância com o aumento da percentagem de cobertura de árvores.

Colwell (1974) mediu a reflectância bidirecional na região espectral do vermelho para um dossel de gramínea com 100% de cobertura do terreno e uma grande quantidade de sombras para um ângulo de visada de  $0^\circ$ . Num segundo passo, o autor adotou o mesmo procedimento, porém a vegetação foi amassada de tal forma a não conter sombreamento. O valor de reflectância neste caso foi 50% maior que o primeiro. O aumento de reflectância foi atribuído à redução da área sombreada do dossel.

O problema do sombreamento não se resume à quantidade, mas também à intensidade da sombra (Colwell, 1974). Ranson e Daughtry (1987), observaram que o aumento na área de sombras na cena resulta numa diminuição do fator de reflectância para a região espectral do vermelho e infravermelho próximo. Para a região do infravermelho próximo, Reifsynder e Lull (1965), citados por Colwell (1974), observaram que para uma mesma área de sombreamento, mas para diferentes alvos com diferentes transmitâncias foliares, pode ocorrer diferentes reflectâncias do dossel, ou seja, quanto menor a transmitância mais "escura" é a sombra e menor a reflectância. Colwell (1974) observou também que o efeito da variação na reflectância devido à quantidade de sombra é muito maior na região do vermelho que para a região do infravermelho próximo do espectro. O autor exemplifica da seguinte maneira: desconsiderando o efeito da luz difusa e de outras fontes, a reflectância de uma folha sombreada pode ser calculada pelo produto (transmitância (T) x reflectância (R)); por exemplo,  $T.R = 45\% \cdot 45\% = 20,25\%$  na região do infravermelho próximo e  $T.R = 5\% \cdot 5\% = 0,25\%$  na região do vermelho. A razão da reflectância efetiva entre folha iluminada e sombreada seria de  $45\%/20,25\% = 2,2$  para o infravermelho próximo e  $5\%/0,25\% = 20,0$  para o vermelho.

A luz difusa do céu é outro fator que contribui para a alteração da intensidade de sombreamento, principalmente para comprimentos de onda menores. Ou seja, o maior espalhamento verificado para comprimentos de onda menores (faixa do visível), faz com que uma porção sombreada da planta ou terreno receba luz indiretamente, influenciando desta forma sua resposta espectral.

Culturas plantadas em fileiras representam uma cena complexa consistindo de vegetação e solo exposto,

com proporções captadas pelo sensor variando sazonalmente com o crescimento da cultura. Neste caso, a presença de sombras provocadas pelas plantas em fileiras sobre a superfície do solo ou sobre outras fileiras torna-se um fator importante na radiação do dossel (Ranson et al., 1984).

A figura 2.3 mostra a geometria de reflexão de uma cultura em fileiras. Quando o sensor capta a energia da cena sua resposta espectral é dependente das propriedades e proporções das partes iluminadas e sombreadas dentro do campo de visada (IFOV), bem como dos comprimentos de onda (Barnsley, 1984). Quando a visada do sensor está posicionada na mesma direção do alinhamento das fileiras (ângulo azimutal de  $90^\circ$  ou  $270^\circ$ ), e estas possuem uma estrutura bem definida, o efeito do solo (iluminado e sombreado) sobre a reflectância da cena é maximizado. Por outro lado, quando a visada do sensor está posicionada perpendicularmente ao alinhamento (ângulo azimutal  $0^\circ$  ou  $180^\circ$ ) o efeito do solo é minimizado (Slater, 1980).

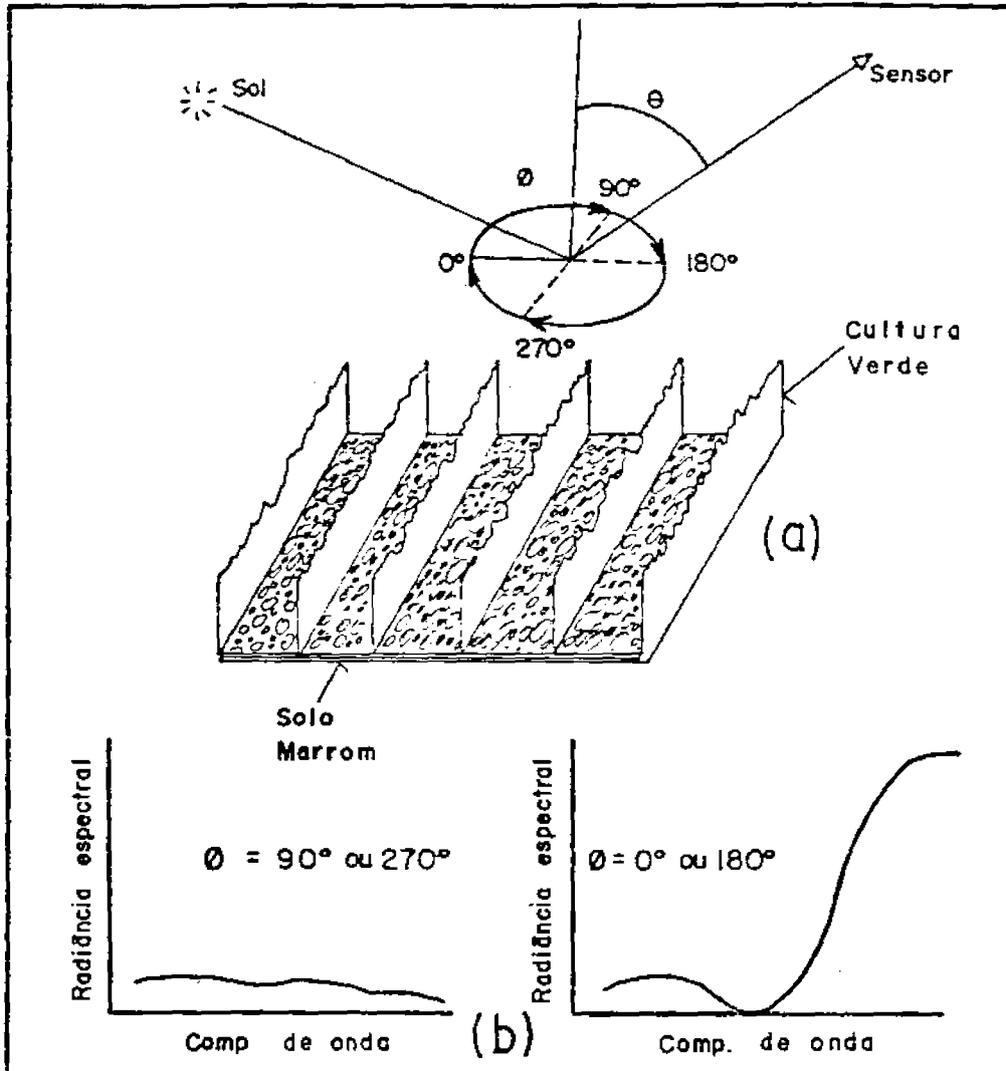


Fig. 2.3 - (a) Geometria de reflexão de uma cultura em fileiras. (b) Radiância espectral do campo. Para  $\phi = 90^\circ$  ou  $270^\circ$  a radiância espectral é predominantemente de solo e sombra. Para  $\phi = 0^\circ$  ou  $180^\circ$  a radiância espectral é predominantemente da vegetação.

FONTE: Adaptada de Slater (1980)

Quando o ângulo de visada do sensor aumenta, seu campo de visada inclui menos área sombreada e mais componentes superficiais do dossel iluminado, tendo como consequência um aumento na reflectância do dossel para comprimentos de onda no visível (Barnsley, 1984).

Schnetzler (1981) fez uma investigação dos efeitos de várias geometrias Sol-alvo-sensor e condições atmosféricas sobre a radiância direcional refletida de vários alvos vegetados, através de simulação e modelagem por computador. Os resultados mostraram que a magnitude da mudança da radiância com a variação no ângulo de visada é uma complexa função da estrutura e densidade do dossel, ângulo solar zenital e azimutal e condições atmosféricas. O efeito da visada lateral mostrou-se mais pronunciado na região do vermelho quando comparado à região do infravermelho próximo.

Bartlett et al. (1986) avaliaram o impacto da observação lateral sobre o sensoriamento remoto da vegetação (Spartina alterniflora, Loisel) e observaram que mudanças no ângulo de visada produz significativa variabilidade na reflectância do dossel para comprimentos de onda no vermelho e infravermelho, sendo mais pronunciada para os comprimentos de onda do vermelho.

#### **2.3.4 - Práticas culturais, idade e cultivar**

Uma série de práticas culturais são levadas a efeito pelos agricultores nos cafezais. Tais práticas podem influenciar direta ou indiretamente alguns parâmetros, tais como: vigor vegetativo e porcentagem de cobertura do solo, que por sua vez, podem influenciar na resposta espectral da cultura.

Bauer et al. (1981) estudaram as relações entre variáveis agronômicas (data de plantio, espaçamento entre fileiras, população de plantas, cultivar, umidade e tipo de solo) e resposta espectral do dossel das culturas de milho, soja e trigo, através de medições radiométricas na faixa do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio. Os autores observaram que para o estágio inicial de desenvolvimento da cultura, a reflectância do solo tende a ser a fonte dominante na reflectância do dossel. Posteriormente, as variáveis espaçamento entre fileiras, população de plantas, adubação e umidade de solo tornam-se fatores importantes que influenciam a resposta espectral do dossel. No final do estágio de desenvolvimento, os fatores cultivar e data de plantio são as maiores fontes de influência, devido às suas relações com época de maturação e senescência da cultura. As três diferentes faixas do espectro (visível, infravermelho próximo e infravermelho médio) respondem diferentemente às propriedades do dossel.

Ahlich e Bauer (1983) analisaram a relação entre algumas variáveis agronômicas (data de plantio, adubação nitrogenada, cultivar e umidade do solo, estágio de desenvolvimento, altura da planta, biomassa verde e seca, índice de área foliar (IAF) e porcentagem de cobertura do solo) da cultura de trigo e fator de reflectância para as bandas MSS e TM/Landsat. Os autores encontraram alta correlação entre fator de reflectância e porcentagem de cobertura do terreno, índice de área foliar, biomassa e conteúdo de água na planta. A análise de regressão mostrou que a banda no infravermelho próximo (0,76  $\mu\text{m}$  a 0,90  $\mu\text{m}$ ) foi a mais importante na caracterização da variação do IAF verde e porcentagem de cobertura do solo, enquanto que a banda do infravermelho médio (2,08  $\mu\text{m}$  a 2,35  $\mu\text{m}$ ) mostrou-se mais importante na caracterização da

variação na biomassa verde e seca e conteúdo de umidade na planta.

Danson (1987) fez uma avaliação preliminar da relação entre dados registrados pelo sensor HRV do SPOT-1 e cinco parâmetros de talhões florestais em uma área no Nordeste da Inglaterra, onde é plantado predominantemente o pinus Corsican (Pinus nigra var. *maritima*). Foram estudados cinco parâmetros (porcentagem média da cobertura do dossel, altura média das árvores, diâmetro médio das árvores na altura do peito- DAP, densidade de árvores e idade) para 28 talhões. Os talhões foram localizados sobre a imagem e o número digital (ND) de um pixel de cada talhão foi extraído para cada banda do HRV, S1(verde), S2(vermelho) e S3(infravermelho próximo). Com exceção da porcentagem da cobertura do dossel, os coeficientes de correlação entre as demais variáveis e o número digital para as bandas do infravermelho próximo foram todos significativos a um nível de confiança de 99%. Os números digitais das bandas S1 e S2 não foram correlacionados com porcentagem de cobertura do dossel e densidade de árvores. Para as demais variáveis (altura, DAP e idade) foram encontradas correlações mais fracas quando comparadas à banda S3, porém significativas. Este fato foi atribuído à baixa variabilidade dos dados para o dossel florestal nestas bandas.

Batista et al. (1985) estudaram o efeito das características da cena envolvendo as variáveis declividade, drenagem, textura, tipo e variabilidade de solo, proporções de culturas, pastagens e outros usos, dados de produtividade e estágio da cultura, sobre a precisão da classificação de imagens MSS/Landsat 2 e 3 para as culturas de milho e soja numa área no cinturão do milho nos Estados Unidos. O estudo mostrou claramente que várias características da cena afetam significativamente a

precisão de classificação. O tamanho das parcelas teve um efeito predominante na precisão da classificação; porém, outros fatores contribuíram em menor grau para a variabilidade na precisão da classificação, tais como: proporção de diferentes culturas na área, tipo de solo, classe de drenagem do solo, declividade, posição relativa do segmento e estágio de desenvolvimento da cultura.

Karaska et al. (1986) estudaram o efeito de onze variáveis ambientais (altitude, declividade, orientação do declive, rugosidade da superfície, tipo de solo, geologia, porcentagem de vegetação, porcentagem de árvores, porcentagem de arbustos, porcentagem de ervas e porcentagem de solo exposto) sobre a resposta espectral de tipos de coberturas detectadas pelo TM/Landsat. As medidas das onze variáveis ambientais e os valores espectrais para as 7 bandas do TM foram coletados para 120 áreas amostrais. A análise estatística usada foi a regressão múltipla passo a passo ("stepwise") para determinar a relação entre as variáveis ambientais e a resposta espectral do TM, e também determinar o grau de variabilidade na resposta espectral em função da contribuição de cada variável ambiental. Os autores observaram que, das onze variáveis estudadas, as porcentagens de árvores e arbustos foram as que mais influenciaram a resposta espectral nos dados TM. Verificaram que o efeito predominante da vegetação (porcentagens de árvores e arbustos) sobre a resposta espectral atua mascarando o efeito de outras variáveis ambientais. Esta observação foi fundamentada no fato de que áreas amostrais com pouca cobertura vegetal apresentaram maior variabilidade na resposta espectral, associada ao efeito de outras variáveis ambientais. O gráfico da resposta espectral das bandas TM versus porcentagem de árvores e arbustos revelou relações lineares negativas. Outra observação importante foi que as variáveis ambientais

altitude, declividade e orientação do declive mostraram ter pouco efeito sobre a resposta espectral nas áreas amostrais.

Assunção e Duarte (1980) fizeram um trabalho na região de Ribeirão Preto-SP, cujo objetivo foi desenvolver uma metodologia para avaliação de áreas preparadas para plantio com dados MSS/Landsat. Constataram, através da classificação automática utilizada (MAXVER), que alguns temas presentes na área apresentavam respostas semelhantes às do solo preparado, entre eles a cana-de-açúcar nova e o citrus novo. O tema café novo (café de pequeno porte que não cobria totalmente a superfície do solo), também presente na área, não foi classificado como solo exposto apesar de cobrir pequena parte do solo.

Cavayas e 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 de copas. Para as dimensões escolhidas para a simulação neste trabalho obtiveram resultados idênticos para o modelo com pixel de 30m X 30m e 10m X 10m (resolução do SPOT pancromático).

Butera (1986) utilizou análise de correlação e de regressão para testar a influência da percentagem de cobertura de floresta de pinus na resposta espectral simulada do TM/Landsat (TMS), em San Juan, Colorado. A análise de correlação da resposta simulada do TMS versus percentagem de cobertura para as bandas 1 a 7 resultou nos seguintes coeficientes de correlação: -0,757, -0,663,

-0,666, -0,088, -0,797, -0,597 e -0,763, respectivamente. Os dados foram corrigidos para ângulo solar e ruído. O autor fez a análise da matriz de correlação dos dados espectrais (Tabela 2.1), onde se observa a alta correlação existente entre as bandas do TM.

Para os dados de porcentagem de cobertura foi aplicado a fórmula  $\arcsen \sqrt{\% \text{ cobertura}}$ .

Pela análise de regressão linear simples, a banda TMS5 mostrou-se a mais apropriada na predição da porcentagem de cobertura. Para a análise de regressão linear múltipla, o modelo incluiu as bandas TMS 3, 4, 5 e 6. No entanto, a precisão de classificação não diferiu significativamente na predição entre o modelo apenas com a banda TMS5 e o modelo com as bandas TMS 3, 4, 5 e 6. Este resultado vem confirmar que a alta correlação entre as variáveis independentes acrescentam pouca ou nenhuma informação em termos de explicação do modelo.

TABELA 2.1MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA AS BANDAS SIMULADAS DO TM/LANDSAT  
(1 A 7)

	1	2	3	4	5	6	7
1	1,00						
2	0,93	1,00					
3	0,95	0,95	1,00				
4	0,45	0,55	0,40	1,00			
5	0,90	0,85	0,88	0,53	1,00		
6	0,68	0,68	0,70	0,38	0,75	1,00	
7	0,97	0,90	0,95	0,39	0,93	0,81	1,00

A correlação entre percentagem de cobertura e resposta espectral foi negativa para todas as bandas, indicando que a resposta espectral diminui à medida em que aumenta a percentagem de cobertura. A maior correlação ocorreu entre a banda TMS5 e percentagem de cobertura transformada. Para a banda TMS4 houve uma baixa correlação entre percentagem de cobertura e reflectância, a qual o autor atribuiu às condições do substrato (solo seco e ervas daninhas senescentes), o qual apresentava maior reflectância em relação às árvores.

Com o objetivo de verificar as propriedades de reflectância representativas de talhões de Abeto (Picea abies) e do Pinus (Pinus sylvestris) com diferentes densidades de copa, substrato e idade para diferentes épocas do ano, Kleman (1985) utilizou dados radiométricos obtidos com helicóptero, na faixa de comprimento de onda de 0,4 m a 1,7 m. O autor observou que a diferença de reflectância para o intervalo de comprimento de onda correspondente à banda TM5, entre os dois tipos de dossel, não é apenas função da densidade de copas. A diferença de reflectância é determinada pelo tipo de planta quando a percentagem de cobertura for maior que 60%. Para cobertura menor que 60% a reflectância para o Pinus, mostra uma tendência de aumento, justificada pela maior quantidade de iluminação recebida no substrato quando comparada ao Abeto. Os resultados indicaram uma diferença significativa nas propriedades de reflectância do "stand" de Pinus em relação ao do Abeto. A banda TM5 Landsat pode aumentar significativamente a possibilidade de discriminação entre florestas de coníferas a nível orbital.

Walsh (1987) estudou a variabilidade das respostas espectrais em dados MSS/Landsat, para florestas em relação ao "stand" e às características locais. Utilizou a regressão linear múltipla para analisar a influência dos parâmetros como espécie, diâmetro de copa, densidade das copas, declividade e orientação de declive na resposta espectral do MSS/Landsat. Quanto à orientação de declive as faces norte e noroeste mostraram efeitos significativos na redução da reflectância apresentada pelo dossel. As faces nordeste e leste mostraram efeitos moderados, enquanto as faces sul e sudeste mostraram fortes efeitos no aumento da reflectância. Em geral, espécie, declividade e orientação de declive foram responsáveis pela maior variabilidade observada nos dados MSS. O autor concluiu que, para os

dados da população amostrada, a variabilidade induzida pela topografia foi muito maior que a variabilidade induzida pelas espécies, tamanho e densidade de cobertura vegetal.

Banninger (1986) estudou a influência do sombreamento do dossel na detecção de estresse hídrico em florestas de coníferas usando dados MSS e TM/Landsat-5. O autor observou que a orientação de declive, ângulo zenital solar, estrutura do dossel (densidade de árvores, densidade de folhagem e orientação das folhas), transmitância foliar e quantidade de radiação difusa influenciam tanto a quantidade de área sombreada, quanto a sua intensidade. Segundo o autor, a intensidade da sombra é muito influenciada pela radiação difusa e transmitância foliar, as quais variam em função do comprimento de onda. Os resultados, ao contrário do esperado, mostraram uma diminuição na reflectância do dossel de Pinus e Abeto para todas as bandas do MSS e TM/Landsat-5 sob condições de estresse, exceto para uma minoria de exceções. Este fato justifica-se, segundo o autor, pelo aumento da área sombreada do dossel provocado pela diminuição da densidade de folhas, que por sua vez é causada pelo estresse.

Franklin (1986) observou em florestas de coníferas que a resposta espectral é mais fortemente correlacionada com quantidade de vegetação na região do visível (bandas simuladas do TM 1, 2 e 3), a qual diminui com o aumento da área basal de coníferas, ou seja, com o aumento da idade das árvores. A autora observou ainda que os dados simulados do TM mostram alguma perspectiva de discriminação espectral para diferentes espécies de coníferas, sendo que as bandas 4(0,76 - 0,90  $\mu\text{m}$ ) e 6(10,4 - 12,5  $\mu\text{m}$ ) foram as mais apropriadas.

#### 2.4 - Sensoriamento remoto em outras culturas permanentes

Gordon et al. (1986) fizeram uma avaliação do TM/Landsat-5 visando ao inventário de pomares (maçã, cereja, pera e pêssego) no Estado de Nova York. Utilizaram o processo supervisionado de classificação por máxima verossimilhança (MAXVER) em cenas TM uni e multitemporais. Os dados TM unitemporais mostraram-se inadequados à discriminação de diferentes tipos de pomares adultos. Os autores verificaram que a aparência dos pomares na imagem TM é mais dependente do tamanho das árvores e cobertura do solo do que do tipo de árvore frutífera. A similaridade fenológica entre pomares e florestas influenciou negativamente na separação dos mesmos através da análise multitemporal. Observaram que pequenas mudanças na composição da cobertura do solo causam mudanças na reflectância dos pomares e, devido a isto, os diferentes tipos de árvores frutíferas não foram eficientemente separados utilizando-se dados TM/Landsat.

Casseles et al. (1985) utilizaram dados TM/Landsat-5 na detecção de modificações da resposta espectral de citros afetados por geada na Espanha. Observaram que a evolução temporal da reflectância bidirecional é difícil de ser interpretada devido à variação da reflectância em função das modificações do substrato e também à geometria associada à obtenção das imagens que, para o horário de passagem do satélite (9:32 GMT), determina ângulos zenitais que variam entre  $70^{\circ}$  a  $47^{\circ}$  de acordo com o dia do ano. As bandas 3 e 4 mostraram-se mais adequadas ao monitoramento dos efeitos da geada.

Covre (1989) estudou a relação entre alguns parâmetros culturais de citrus (cobertura do terreno por árvores de citrus, tipo de solo, orientação das fileiras de

plântio, declividade, orientação de declive, altura das árvores de citrus, substrato e uniformidade do talhão) e a reflectância espectral obtida a partir da transformação dos níveis de cinza da imagem TM/Landsat-5. As bandas estudadas foram TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 e TM7. O autor, em primeira instância, analisa as relações entre parâmetros culturais e reflectância através da matriz de correlação e posteriormente determina os parâmetros com maior influência na reflectância espectral através da regressão linear múltipla passo a passo. O autor concluiu que os parâmetros cobertura do terreno por árvores de citrus e proporção de vegetação nas entrelinhas são os que possuem influência mais significativa na resposta espectral dos pomares, sendo que o primeiro possui maior significância nas bandas TM1, TM2, TM5 e TM7. O parâmetro tipo de solo possui influência significativa, principalmente para as bandas TM3, TM5 e TM7. O parâmetro cobertura do terreno por árvores de citrus possui relacionamento inversamente proporcional com reflectância nas bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7. O parâmetro substrato apresentou relacionamento negativo com a reflectância para as bandas TM1, TM2, TM5 e TM7 e positivo com a banda TM4.

O autor explica que o relacionamento não coerente entre porcentagem de cobertura do terreno com árvores de citrus e reflectância na banda TM4 se deve sobretudo ao aumento de sombras que acompanha o aumento de cobertura do talhão pelas árvores de citrus, em função dos espaçamentos empregados e distribuição dos pomares. Segundo o autor, o aumento de sombras anula o efeito do aumento da fitomassa na reflectância para esta banda. Quanto ao parâmetro tipo de solo, observou reflectâncias maiores para o solo LE (Latosolo Vermelho Escuro) que para o solo LV (Latosolo Vermelho Amarelo), nas bandas TM3, TM5 e TM7,

mas o mesmo faz ressalva quanto a esta conclusão, visto que para alguns grupos a amostragem não se mostrou adequada.

A metodologia utilizada por Covre (1989), com coleta de parâmetros em campo simultaneamente à passagem do satélite e posterior análise de correlação e regressão múltipla dos valores de reflectância com os parâmetros revelou-se, segundo o autor, de grande potencial para o estudo do comportamento espectral de alvos agrícolas, sendo que para seu aprimoramento o autor sugere a busca de um modelamento mais adequado de algumas variáveis.

### CAPÍTULO 3

#### MATERIAL E MÉTODOS

##### 3.1 - MATERIAL

Para este trabalho foram utilizados, fundamentalmente, dados extraídos de imagens TM/Landsat-5 e dados coletados em campo.

Foram utilizadas imagens, gravadas em fitas magnéticas compatíveis com computador (CCT), referentes à data de 27/08/88, contendo 6 bandas espectrais (TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 e TM7), quadrante B da órbita/ponto 219/075.

O TM/Landsat-5 é um avançado sistema sensor destinado à obtenção de imagens de alta resolução espacial, espectral e radiométrica, que entrou em operação em março de 1984. Este sistema opera simultaneamente em sete bandas espectrais, com uma resolução espacial no terreno (ERT) de 30m x 30m em seis bandas (região do visível e infravermelho refletido) e 120m x 120m na banda do termal. A resolução radiométrica do sistema é de 256, ou seja, a energia captada pelo sensor é quantizada numa escala de 0 a 255 níveis de cinza. Este satélite dá uma volta à Terra a cada 100 minutos e passa sobre um mesmo ponto a cada 16 dias. Maiores detalhes quanto à especificação do sistema podem ser obtidos em USGS (1984), NASA (1984), Epiphany (1988), entre outros.

Também foram utilizados o Sistema de Tratamento de Imagens 150 (SITIM 150) do INPE, o espectrorradiômetro Optronics 740A e o computador Burroughs 6800. Para a coleta dos dados em campo foram utilizados como material básico: bússola, câmara fotográfica 35 mm,

radiômetro portátil Kimoto modelo 2703 MP, trena e formulário de campo.

As cartas empregadas no estudo foram:

a) Carta dos solos da região sob influência do Reservatório de Furnas, escala 1:250.000 (Comissão de Solos, 1962).

b) Cartas topográficas IBGE

ALFENAS            1:50.000            1970

CAMPOS GERAIS    1:50.000            1970

AREADO            1:50.000            1970

VARGINHA          1:250.000           1979

### 3.2 - MÉTODOS

A pesquisa de sensoriamento remoto a nível orbital possui características distintas de uma pesquisa de laboratório ou de uma pesquisa de produtividade em campo. Numa pesquisa de laboratório, o pesquisador implanta em vasos, ou em pequenas parcelas, exatamente aquilo que foi planejado em termos de tratamento e delineamento, podendo controlar todas as variáveis que porventura venham a influenciar nos resultados. À medida que as dimensões do experimento se acentuam, a variabilidade de condições externas ao experimento aumentam em prejuízo do controle do experimento e da uniformidade de determinado tratamento (Epiphanyo, 1988).

As dificuldades inerentes ao problema anteriormente exposto, ou seja, à impossibilidade de controlar em campo parcelas individuais maiores que um hectare, faz com que o pesquisador adote um critério contrário ao convencional, qual seja, delinear seu experimento e sair à procura de situações que mais se aproximem daquele modelo de experimento idealizado.

Conforme relata Epiphanyo (1988), um dos passos importantes é a escolha das variáveis a serem estudadas, pois dentre inúmeras variáveis existentes, o pesquisador deve selecionar aquelas passíveis de quantificação e que tenham extensão suficiente para serem percebidas a nível orbital.

Diante destes problemas a escolha da região de estudo exerce um papel decisivo no desenvolvimento e resultados do trabalho.

Algumas das características da área, desejáveis ao presente estudo são: sistemas de plantios, tratos culturais e cultivares representativos daqueles existentes hoje no Brasil; variabilidade quanto à idade, à declividade e quanto à orientação de declive; tamanho de talhões compatível com a resolução do sistema sensor TM/Landsat-5 (< 1 ha); facilidade de acesso; extensão suficiente à obtenção do número adequado de amostras.

A metodologia empregada no estudo seguiu os passos demonstrados no fluxograma da Figura 3.1.

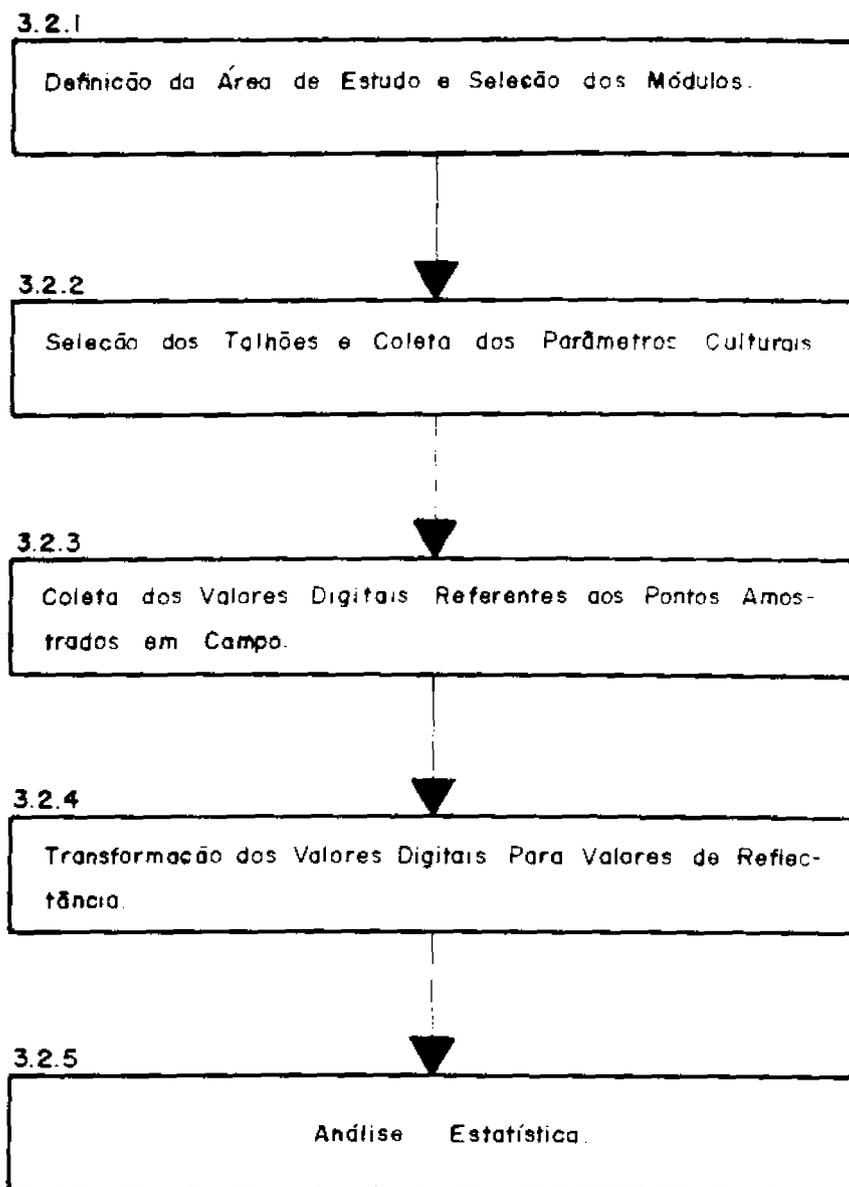


Fig. 3.1 - Fluxograma apresentando os passos metodológicos do estudo

### 3.2.1 - Definição da área de estudo e seleção dos módulos

Para o desenvolvimento deste trabalho escolheu-se a Região Sul do Estado de Minas Gerais. Segundo o Anuário Estatístico do Café (1986) esse Estado, a partir de 1978, tem apresentado um incremento da ordem de 2% ao ano em seu parque cafeeiro (Figura 3.2), sendo atualmente o Estado de maior produção de café do País.

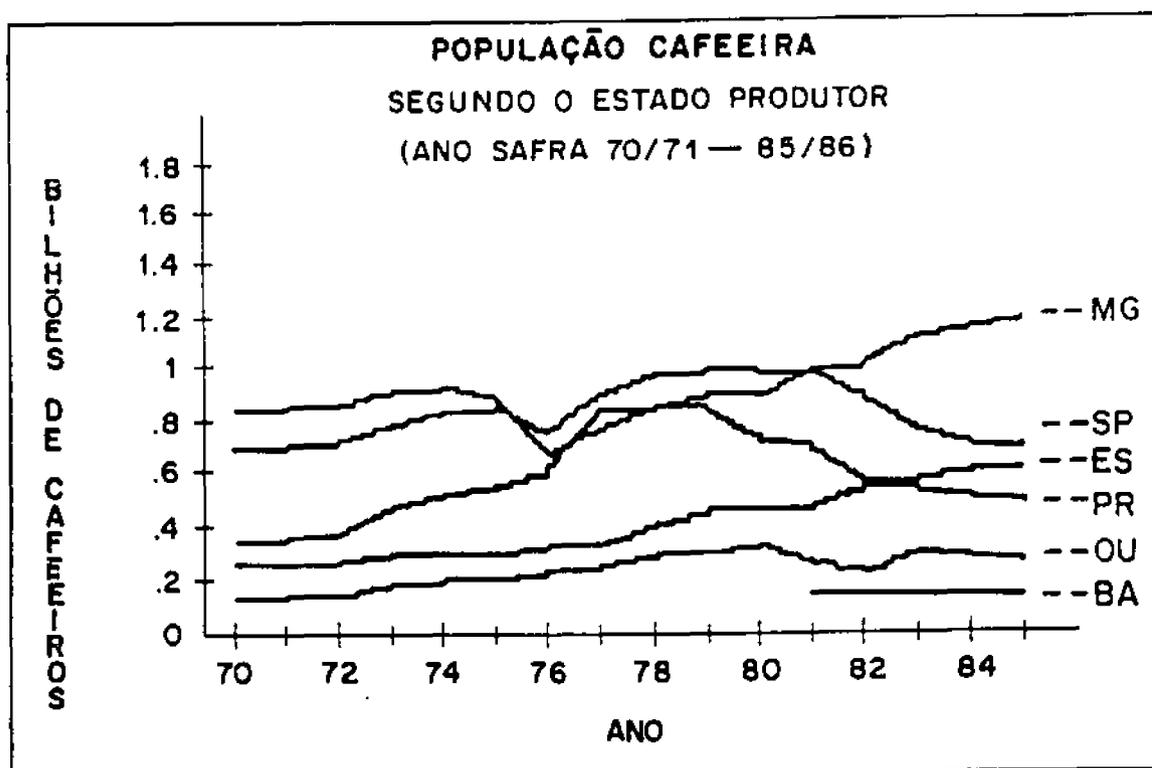


Fig. 3.2 - Crescimento da população cafeeira para os diversos Estados produtores no Brasil.

FONTE: Anuário Estatístico do Café, 1986.

A região Sul de Minas Gerais conta com 627.409.700 covas de café ocupando uma área de 367.815 ha distribuídas em 28.950 propriedades, segundo o último levantamento da realidade cafeeira do Sul de Minas/1985 (IBC, s.d.). O tamanho médio das propriedades com

plantação e café é de 65,88 ha, sendo que em média 17,57% da área das propriedades é ocupada com café, ou seja, 11,58 ha. Os resultados deste levantamento também mostraram que a cafeicultura tradicional apresenta tendência de extinção com o surgimento de novas áreas plantadas no sistema moderno e tecnificado.

Por ser uma região tradicional no cultivo do café e apresentar um aumento na área plantada nos últimos anos (5,35% no período de 1980 a 1985) encontram-se na região os mais diversos sistemas de plantios (desde os tradicionais aos mais modernos e tecnificados) o que tornou fácil a seleção de talhões representativos quanto aos sistemas de plantios existentes hoje no Brasil.

Tamanho relativamente grande de áreas cultivadas com café, diversidade de sistemas de plantio e de tratos culturais, bem como a tendência de crescimento da cafeicultura com a introdução de técnicas modernas, tornam esta região a mais adequada ao presente estudo.

O clima da região é classificado como tropical de altitude. Segundo a classificação de Koppen a área enquadra-se no tipo Cwb, (clima mesotérmico com verões brandos e estação chuvosa no verão). A temperatura média anual oscila em torno de 19° C (Comissão de Solos, 1962).

O total pluviométrico anual da região varia em torno de 1.200 mm. Há uma concentração de precipitação (85 a 90% do total anual) acumulados nos meses de primavera - verão (outubro a março), o que caracteriza a área como semi-úmida com estação seca bem definida (Nimer, 1977).

Dentro da região Sul de Minas Gerais foram escolhidos 3 módulos de estudo de 15km X 15km (Figura 3.3), de maneira a abranger as condições representativas do meio físico em que se desenvolve a cafeicultura no Estado e no Brasil de uma maneira geral.

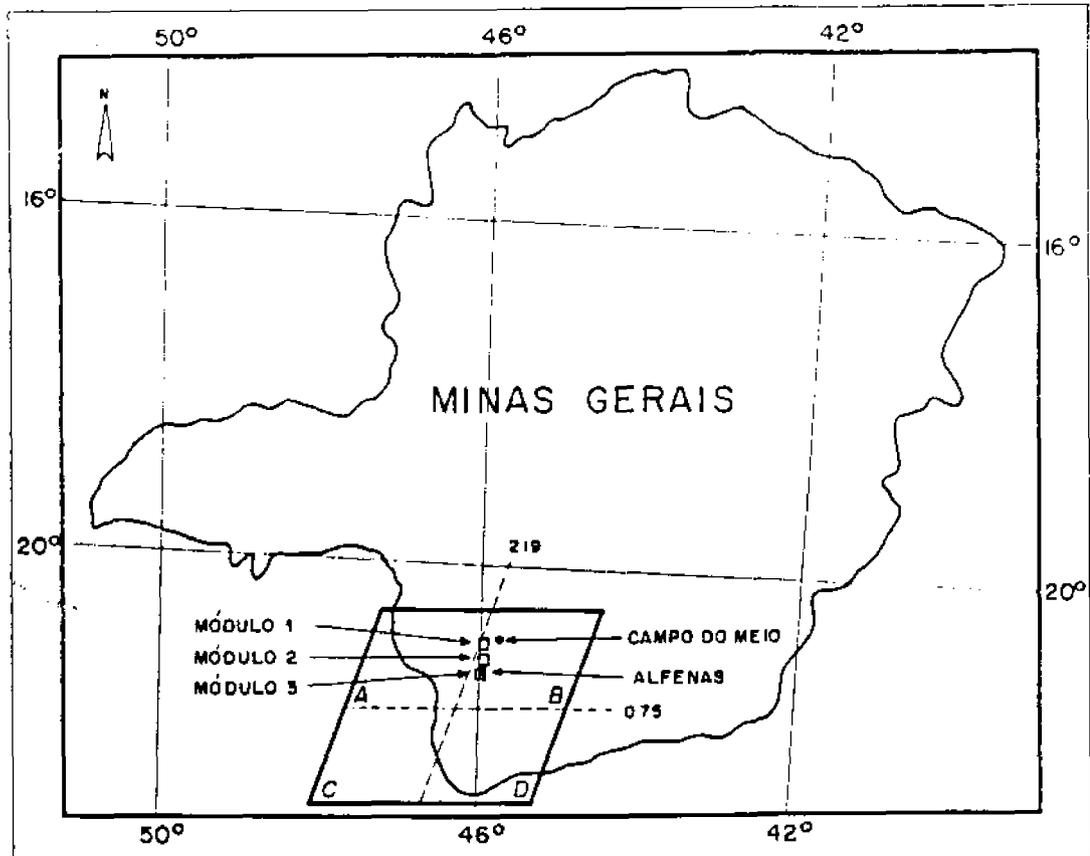


Fig. 3.3 - Localização aproximada dos módulos de estudo no Estado de Minas Gerais e na imagem TM Landsat utilizada.

Os módulos escolhidos para o estudo localizam-se na parte Sul - Sudoeste da região sob influência do reservatório de Furnas.

A descrição a seguir, referente aos solos, topografia e vegetação, para os três módulos, foi baseada no levantamento da Comissão de Solos (1962).

O módulo 1 está localizado próximo à cidade de Campo do Meio e às margens da represa de Furnas, entre as latitudes  $21^{\circ} 00'$  e  $21^{\circ} 07'$  Sul, e entre as longitudes  $45^{\circ} 09'$  e  $45^{\circ} 52'$  Oeste.

O solo predominante na área é o Latossolo Vermelho Escuro fase cerrado (LVE/c), o qual é profundo, acentuadamente drenado, muito poroso, coloração predominantemente vermelho escuro, muito ácido e com fertilidade baixa variando de um local para outro. Outro tipo de solo é o Podzólico Vermelho-Amarelo fase floresta sempre verde (PVA/sv), o qual apresenta baixa capacidade de permuta de cátions (T), bem drenado, parte superficial com textura arenosa, coloração parda e estrutura granular. São solos de fertilidade natural média a alta.

A topografia de modo geral é suavemente ondulada a ondulada, com declives entre 5 e 25%.

A vegetação é do tipo cerrado, variando para floresta conforme melhora a fertilidade do solo.

O módulo 2 está localizado ao Norte da cidade de Alfenas e às margens da represa de Furnas, latitude entre  $21^{\circ} 15'$  e  $21^{\circ} 22'$  Sul, e longitude entre  $45 53'$  e  $46 00'$  Oeste.

Os tipos predominantes de solo são o Latossolo Vermelho Escuro fase floresta sempre verde (LVE/sv) e o Latossolo Vermelho-Amarelo fase floresta sempre verde (LVA/sv). Estes solos são profundos a muito

profundos, muito porosos, bem drenados, muito ácidos, com baixa capacidade de permuta de cátions (T) e fertilidade natural baixa a média.

O relevo apresenta-se normalmente ondulado, constituído por sucessão de colinas. De modo geral os declives variam de 5% a 40%, sendo mais frequentemente entre 10% a 20%.

A vegetação é variável (campo, cerrado ou floresta) de um local para outro conforme a variação da fertilidade do solo.

O módulo 3 está localizado a Sudoeste da cidade de Alfenas e às margens da represa de Furnas, latitude entre 21°24' e 21° 31' Sul, e longitude entre 45°56' e 46°03 Oeste.

Os solos e o relevo deste módulo são semelhantes aos do módulo 1, apresentando Latossolo Vermelho-Escuro, porém apresentam maior fertilidade, o que determina a maior ocorrência de vegetação florestal sempre verde.

### **3.2.2 - Seleção dos talhões e coleta dos parâmetros culturais**

A seleção dos talhões foi feita de maneira a comporem uma amostra representativa dos diversos parâmetros previamente selecionados para o estudo. Visto a resolução espacial do sensor TM (30m x 30m), que corresponde a uma área no terreno de 900 m<sup>2</sup>, e a necessidade de uma amostragem representativa dos valores de reflectância (nove pixels = 8.100 m<sup>2</sup>), buscou-se nesta etapa, selecionar os

talhões cujas dimensões eram maiores que um hectare (10.000 m<sup>2</sup>). Ao todo foram selecionados 145 talhões.

No módulo 1 foram selecionados 44 talhões em 2 fazendas (Campo Verde e Campo Alegre), sendo que 35 talhões concentram-se na primeira e 9 na segunda, conforme pode ser observado na Figura 3.4.

No módulo 2 foram selecionados 65 talhões em 3 fazendas (Conquista, Paraíso e Cascalho), sendo que 51 talhões concentram-se na fazenda Conquista, conforme pode ser observado na Figura 3.5.

No módulo 3 foram selecionados 36 talhões em 6 fazendas (Santa Maria, Santo Antonio da Estiva, Vargem Alegre, Novo Horizonte, Paineira e Samambaia), conforme pode ser observado na Figura 3.6.

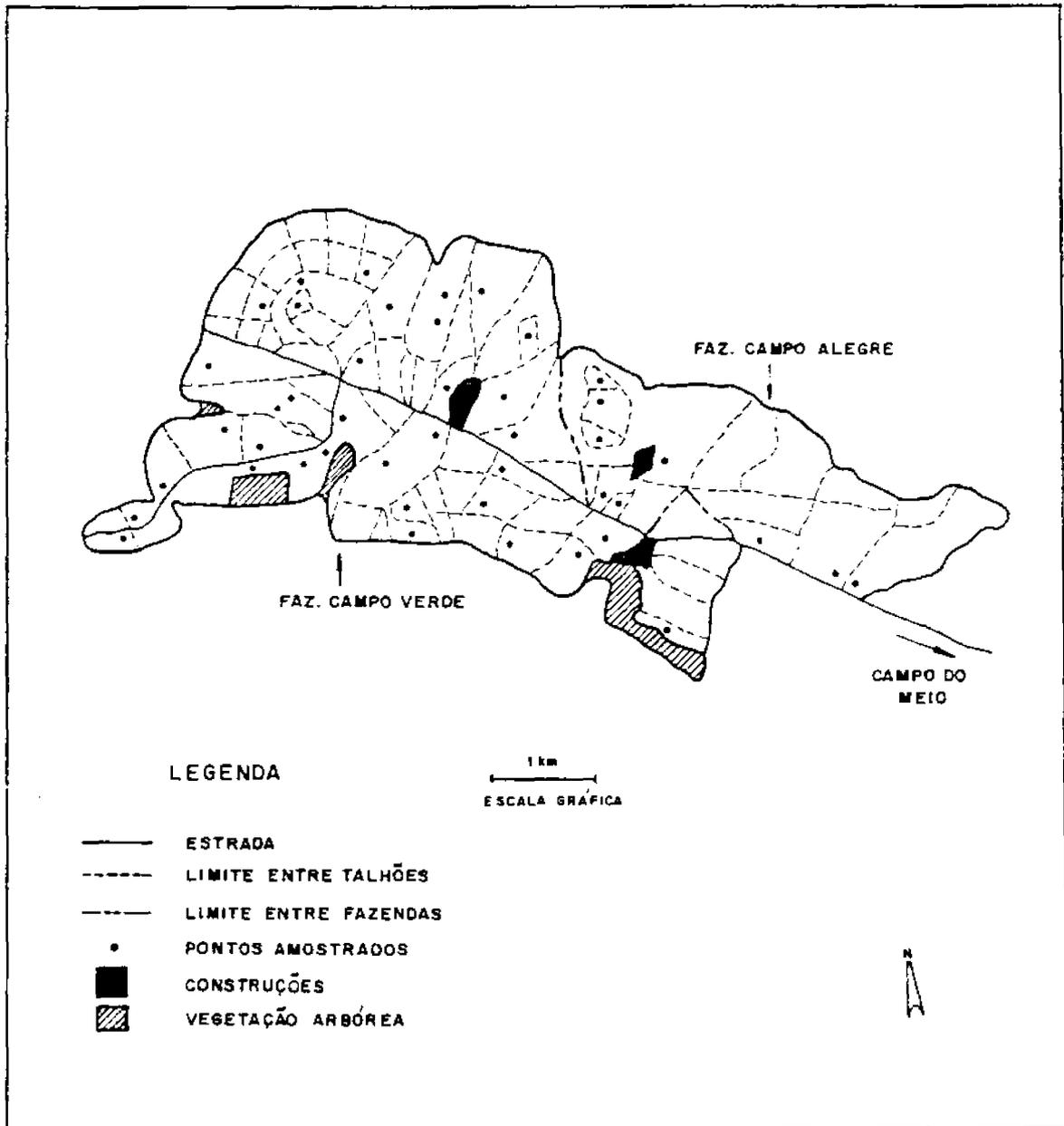


Fig. 3.4 - Localização, forma, distribuição e disposição dos talhões selecionados e pontos amostrados, para o módulo 1.

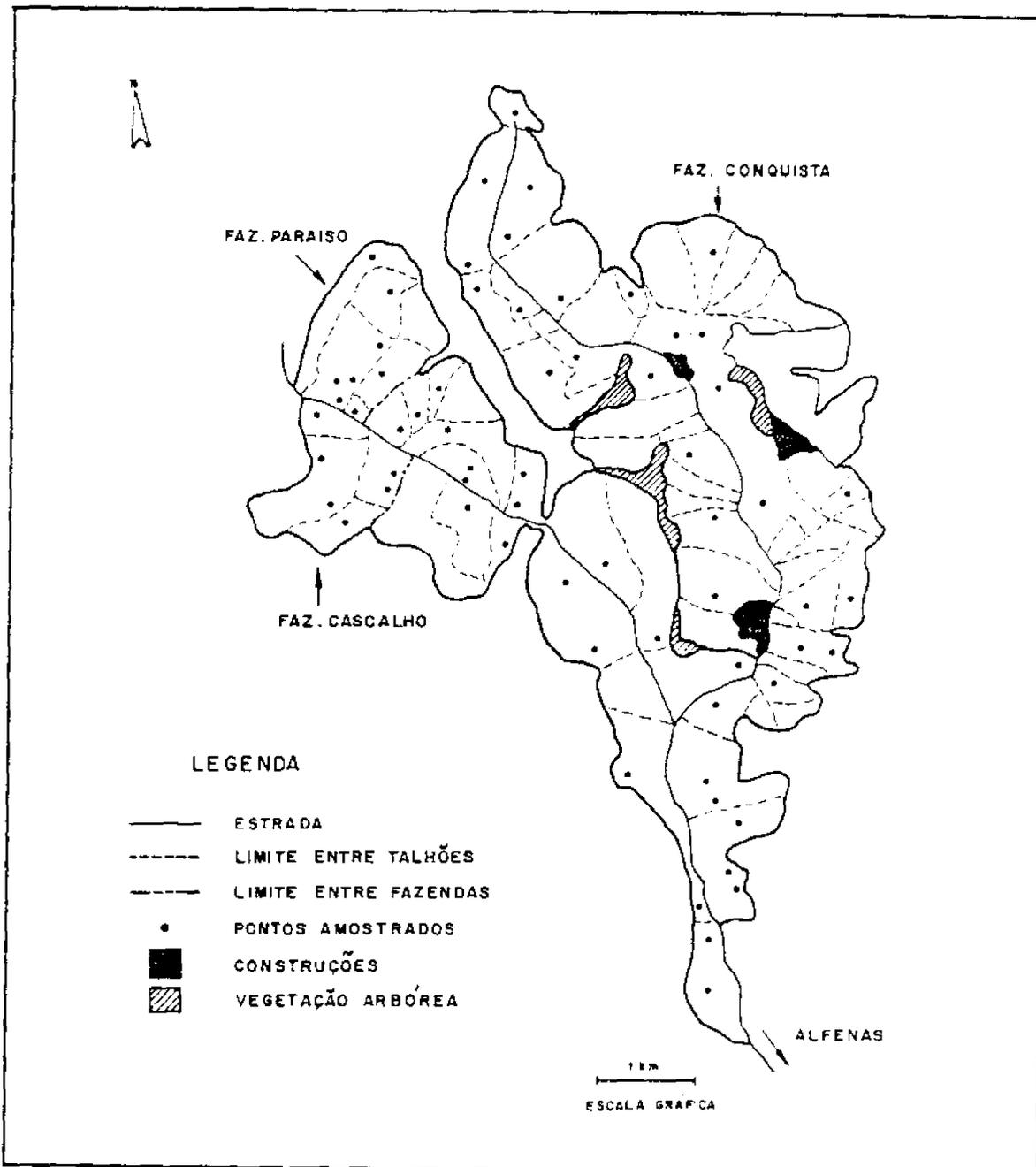


Fig. 3.5 - Localização, forma, distribuição e disposição dos talhões selecionados e pontos amostrados, para o módulo 2.

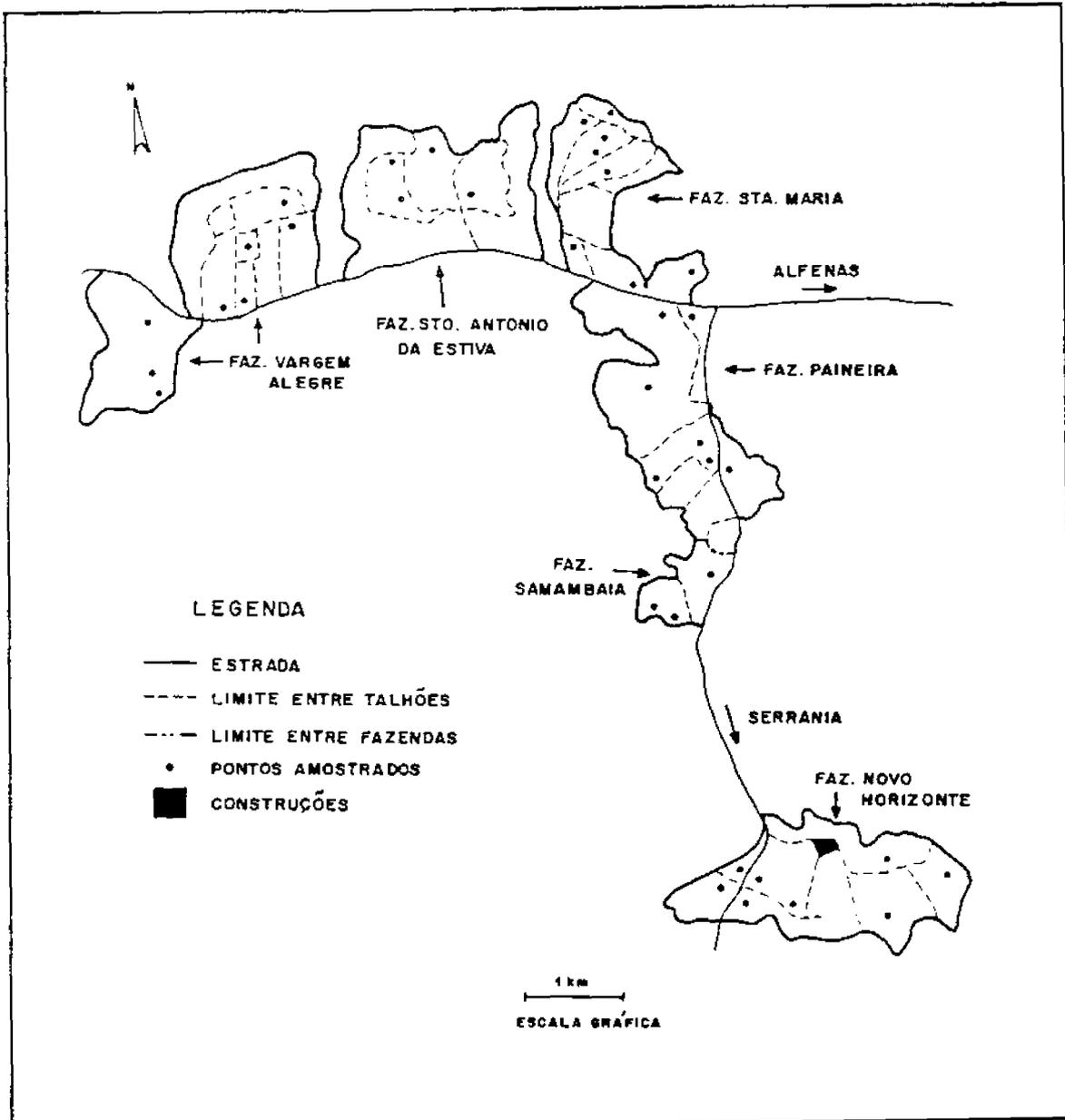


Fig. 3.6 - Localização, forma, distribuição e disposição dos talhões selecionados e pontos amostrados, para o módulo 3.

A coleta dos parâmetros culturais foi efetuada através do preenchimento de um formulário (Apêndice B), em campo, no período entre 29/08/88 e 06/09/88, próximo à data de passagem do satélite (27/08/88). Além dos 21 parâmetros previamente determinados para levantamento, foram também coletadas várias outras informações, tais como: adubação, calagem, homogeneidade dos talhões, entre outras. A coleta de informações adicionais àquelas previamente estabelecidas teve como objetivo dar subsídio à análise dos resultados.

Os 21 parâmetros previamente selecionados, para coleta em campo, são:

- 1 - Densidade populacional - DENS;
- 2 - Cultivar - CULT;
- 3 - Idade - IDAD;
- 4 - Espaçamento entre linhas - ESPL;
- 5 - Espaçamento entre covas - ESPC;
- 6 - Percentagem estimada de cobertura do terreno pelas árvores de café - COBE;
- 7 - Orientação das fileiras - ORFI;
- 8 - Vigor vegetativo - VIVE;
- 9 - Colheita - COLH;
- 10 - Ano de poda - ANPO;

- 11 - Tipo de poda TIPO;
- 12 - Declividade do terreno - DECL;
- 13 - Orientação do declive - ORDE;
- 14 - Gradeação - GRAD;
- 15 - Esparramação - ESPA;
- 16 - Percentagem do substrato recoberto com matéria orgânica - SUME;
- 17 - Percentagem do substrato recoberto por ervas daninhas verdes - SUEE;
- 18 - Percentagem do substrato com solo exposto efetivamente - SUSE;
- 19 - Altura média das árvores - ALTU;
- 20 - Diâmetro de copa - 2xRAIO; e
- 21 - Solo.

Os dados referentes a cultivar, idade, colheita, ano e tipo de poda foram obtidos através de consulta dos registros e controles existentes nas propriedades e/ou consultas aos administradores das fazendas.

As cultivares encontradas na região restringem-se basicamente a duas: Mundo Novo e Catuaí, as quais foram selecionadas para este estudo.

A densidade populacional média em covas/ha foi obtida através das medidas de espaçamento entre linhas e entre covas, conforme a seguinte fórmula:

$$\text{DENS} = 10.000 \text{ m}^2 / (\text{ESPL} \cdot \text{ESPC}) \quad (3.1)$$

onde:

DENS = Densidade populacional (cv/ha);

ESPL = Espaçamento entre linhas (m); e

ESPC = Espaçamento entre covas (m).

A densidade para as áreas estudadas variou de 741 a 5.714 cv/ha.

Os espaçamentos foram obtidos através de medidas em campo utilizando uma trena. Os espaçamentos entre linhas variaram de 1,75 m a 4,5 m para a cultivar Catuaí e de 1,90m a 4,50 m para a cultivar Mundo Novo. Os espaçamentos entre covas variaram de 0,75m a 2,00 m para a cultivar Catuaí e de 0,75m a 3,00 m para a cultivar Mundo Novo.

A percentagem de cobertura do terreno com árvores de café foi obtida pela projeção da base da copa no terreno. A área desta projeção foi determinada através de medidas dos diâmetros médios de copa para cada talhão. Foram amostradas 15 árvores por talhão para determinação do diâmetro médio. Devido à sobreposição das plantas entre covas, esta área de intersecção foi subtraída. A fórmula e os parâmetros utilizados para o cálculo da percentagem de cobertura são os seguintes:

$$\text{COBR} = \text{DENS} \cdot \text{RAIO} / 100 \cdot \pi \cdot \text{RAIO} - 4(\text{RAIO} - \text{ESPC}/2) - \text{sen}[\arccos(\text{ESPC}/2\text{RAIO})] \quad (3.2)$$

onde:

COBR = percentagem de cobertura do terreno pelas árvores de café;

DENS = densidade populacional (covas/ha);

RAIO = raio médio das árvores (m);

$\pi = 3,1416$ ; e

ESPC = espaçamento entre covas (m).

Além destas medidas obtidas em escritório, a percentagem de cobertura foi estimada visualmente em campo.

A estimativa visual foi utilizada para verificar a precisão desta informação, quando comparada à informação obtida através de medições. A possibilidade de uma correlação alta poderia, em trabalhos futuros, facilitar o levantamento desse parâmetro em campo.

As medidas de orientação de fileiras foram obtidas com uma bússola, tendo uma variação de 0 a 180, medidos em relação ao Norte Magnético. Posteriormente, os dados foram corrigidos para efeito de declinação magnética e rotacionados tendo o Sol como ponto de referência.

A correção quanto ao efeito da declinação magnética foi realizada segundo as equações:

$$\text{Para: } \text{ORF} < \text{DM} \Rightarrow \text{ORFD} = 180 - \text{ORF} \quad (3.3)$$

$$\text{Para: } \text{ORF} > \text{DM} \Rightarrow \text{ORFD} = \text{ORF} - \text{DM} \quad (3.4)$$

onde:

ORF = Orientação de fileiras (0 a  $180^{\circ}$ );

DM = Declinação magnética

ORFD = Orientação de fileiras corrigidos para efeito  
de declinação magnética.

Os dados foram ainda rotacionados para assumirem valores de  $0^{\circ}$  a  $90^{\circ}$ , tendo o Sol como referência, conforme as seguintes equações:

$$\text{Para: } ORFD < Ws \Rightarrow ORFI = Ws - ORFD; \quad (3.5)$$

$$\text{Para: } Ws < ORFD \text{ ( } Ws + 90^{\circ} \text{ )} \Rightarrow ORFI = ORFD - Ws; \quad (3.6)$$

$$\text{Para: } ORFD > Ws \Rightarrow ORFI = 180^{\circ} + Ws - ORFD. \quad (3.7)$$

onde:

$Ws = \text{Ângulo azimutal solar} = 53^{\circ}$ ;

ORFI = Orientação de fileiras, tendo como referencial o Sol.

O vigor vegetativo das plantas foi estimado visualmente através da estratificação em 5 classes, apresentadas a seguir:

0 - Muito Baixo - inclui os talhões cujos cafeeiros apresentam alta percentagem de desfolha devido à colheita e/ou aos tratos culturais inadequados;

1 - Baixo - inclui os talhões com alta percentagem de desfolha, porém menor que a classe 0;

2 - Médio - apresenta média percentagem de desfolha. Geralmente são cafeeiros que apresentaram pouca produção na última colheita;

3 - Alto - apresenta baixa percentagem de desfolha. Cafeeiros com pouca produção na última colheita;

4 - Muito alto - esta classe praticamente não apresenta desfolha. São cafeeiros que não apresentaram produção na última colheita e que receberam tratamentos culturais adequados.

Quanto ao vigor vegetativo, a maior parte dos cafezais apresentavam-se, na época de coleta de dados, debilitados em função da colheita e também da seca de três meses ocorrida no período de inverno, antes da coleta dos dados.

A poda, prática cultural feita rotineiramente nos cafezais, é executada após a colheita e/ou geada. Esta prática é mais utilizada em cultivos com alto grau de tecnologia. Visa principalmente a renovação de ramos produtivos, limita o crescimento do cafeeiro e facilita a colheita. Os principais tipos de poda são: decote, recepa e esqueletamento, conforme esquematizado na Figura 3.7.

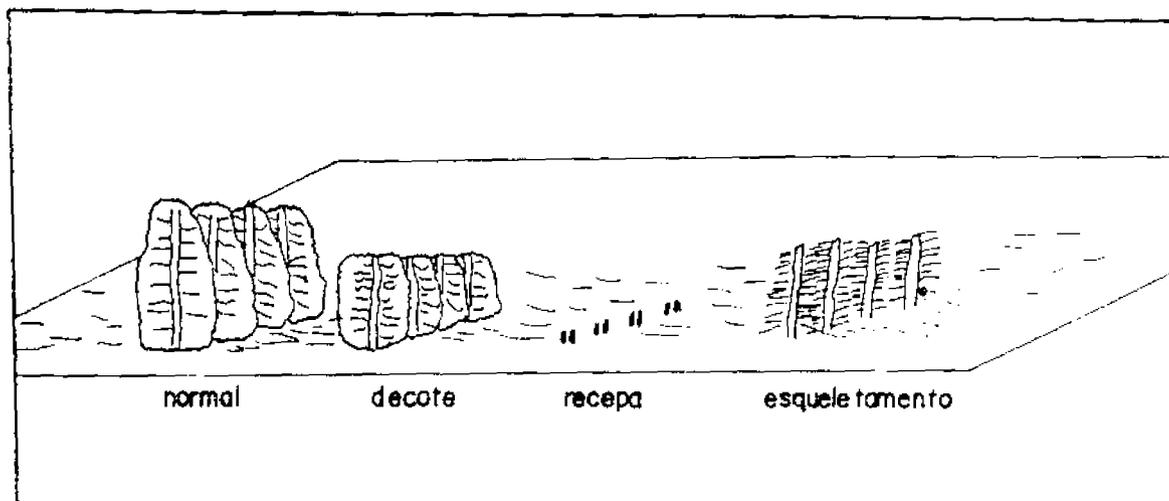


Fig. 3.7 - Representação esquemática dos três principais tipos de poda: decote, recepa e esqueletamento.

Na região de estudo o tipo de poda mais utilizado é o decote. Este tipo de poda pode ainda ser subdividido, quanto à altura do decote, em baixo (1,0m - 1,2m), médio (1,4m - 1,5m) e alto (1,6m - 1,8m).

A declividade (expressa em graus) do terreno foi determinada através de um clinômetro acoplado a uma bússola.

A orientação de declive foi medida em campo com uma bússola, sendo sua variação de 0 grau a 359 graus, em relação ao Norte Magnético.

A gradeação do solo é uma técnica geralmente utilizada nas propriedades maiores e mais tecnificadas quanto à capina e à esparramação. Cabe observar que nem sempre um cafezal gradeado apresenta 100% de solo exposto nas entrelinhas. Este fato se deve à execução da gradagem

com solo seco e/ou com material em decomposição sobre o solo, os quais não permitem um bom revolvimento deste.

O substrato foi tipificado quanto às percentagens de cobertura com ervas daninhas verdes, matéria orgânica seca e solo exposto. Estes valores foram estimados visualmente em campo. No entanto, outra técnica também foi utilizada na determinação das percentagens de cobertura de cada ítem do substrato. Foram tomadas fotografias coloridas verticais em slide, que permitiram a quantificação das percentagens de cobertura de cada ítem através da grade de pontos.

As condições dos substratos se mostraram as mais variadas possíveis, visto que o período de coleta de dados foi o de pós-colheita, onde alguns talhões apresentavam-se com a esparramação já executada e outros não. A maioria dos talhões que não apresentaram produção no ano de 1988 estavam capinados ou gradeados, apresentando-se com pouca ou nenhuma erva daninha.

Ainda referente ao substrato, foram obtidas algumas medidas radiométricas utilizando o radiômetro portátil Kimoto modelo 2703 MP, com ângulo de visada aproximado de  $10^\circ$ . Estas medidas foram tomadas a uma altura aproximada de 2,0 metros, sendo alternadas entre o alvo (substrato) e a placa padrão (sulfato de bário). Procurou-se variar a composição (solo, sombra e matéria orgânica) da área sob o FOV do sensor, para observar a influência relativa de cada parâmetro. Este equipamento tem sido utilizado na obtenção de dados espectrais em campo com a finalidade de estudar o comportamento espectral de culturas, como por exemplo, Formaggio e Epiphanyo (1989), que estudaram o comportamento espectral das culturas de trigo e feijão.

O parâmetro altura das árvores foi determinado através da média da altura de 15 árvores medidas em campo, para cada talhão.

O parâmetro "solos" foi um dos mais complicados quanto à sua caracterização. Inicialmente pretendia-se especificar este parâmetro taxonomicamente. Entretanto, a interação entre a energia eletromagnética e o alvo (solo) se dá superficialmente e quando se classifica um solo taxonomicamente levam-se em consideração, também, as várias camadas em profundidade (horizontes), as quais não respondem a esta interação. Visando, portanto, uma caracterização mais objetiva desse parâmetro foi feita uma coleta de amostras de solo da camada superficial (5cm) em campo. Essas amostras de solo coletadas em 25 talhões, de maneira a representar os diversos tipos de solo da área de estudo, foram levadas ao laboratório, peneiradas em peneiras de malhas de 2mm, homogeneizadas quanto à sua umidade em estufa por um período de 48 horas. Posteriormente foram feitas medidas radiométricas (espectrorradiômetro Optronics 740A), alternadamente nas amostras tratadas e placa padrão ( $\text{BaSO}_4$ ). As leituras radiométricas obtidas em faixas de 5 em 5 nm foram extraídas para as bandas correspondentes de 1 a 4 do TM/Landsat-5. Através da razão entre medidas radiométricas das amostras e da placa padrão obteve-se o fator de reflectância bidirecional. Galvão (1989) utilizou este equipamento para obtenção de dados para o estudo do correlacionamento litoestratigráfico espectral de poços de perfuração. Neste trabalho, procedimentos semelhantes foram adotados na obtenção dos dados.

Ainda com referência ao parâmetro solo, classificaram-se em campo suas características quanto ao

horizonte A, em quatro classes, quais sejam: muito fraco, fraco, moderado e forte. Esta classificação, feita para 79 talhões, foi utilizada como referência à extrapolação dos valores de fator de reflectância obtidos em laboratório.

Para extrapolação dos valores de fator de reflectância do solo obtido para 25 talhões, para o conjunto de 79 amostras classificadas quanto ao horizonte A, foi verificado primeiro se havia coerência neste procedimento. Para tanto, foi utilizada a análise de agrupamento ("cluster"), cujo objetivo foi o de verificar se os valores de fator de reflectância das 25 amostras agrupavam-se segundo a classificação feita em campo.

Os resultados desta análise de agrupamento foram altamente positivos, onde constatou-se que os valores de fator de reflectância do solo agrupava-se segundo a classificação do horizonte A, realizada em campo.

Os dados de fator de reflectância de solo destas 79 amostras foram então multiplicados pela percentagem efetiva de solo exposto presente em cada talhão, segundo a fórmula abaixo:

$$RCS = (100-COBR) * SUSR * RSTM \quad (3.8)$$

onde:

RCS - Reflectância composta do solo;

COBR - Percentagem de cobertura do terreno pelas arvores de café;

SUSR - Percentagem de solo exposto nas entrelinhas;

RSTM - Fator de reflectância do solo obtida em laboratório.

Os valores (RCS) deste produto foram utilizados como parâmetro "solo" na análise do efeito do solo na reflectância, obtida através da transformação dos valores digitais da imagem TM/Landsat.

### **3.2.3 - Coleta dos valores digitais referentes aos pontos amostrados em campo**

Para extração dos dados de valores digitais das fitas CCT's, utilizou-se o Sistema de Tratamento de Imagens 150 (SITIM 150) do INPE. Este sistema é composto basicamente por um microcomputador PC ("Personal Computer"), um monitor de imagens e uma unidade leitora de fita. Este sistema permite a visualização da imagem no monitor que comporta 512 X 512 pixels.

Primeiramente localizaram-se os módulos de estudo, sendo cada módulo correspondente a uma área de 15km X 15km no terreno. Visando compatibilizar o número de pixels na tela do monitor com o número de pixels na imagem original, a escala da imagem colocada na tela foi de aproximadamente 1:50.000.

O segundo passo foi a extração dos valores digitais da imagem, através do algoritmo "Leitura de pixels na UVI", correspondentes aos pontos amostrados em campo. O SITIM 150 permite a extração dos valores digitais de até 4 bandas por vez, os quais são registrados numa impressora acoplada ao microcomputador.

Para cada talhão foram amostrados 9 pixels, os quais representam uma área no terreno de 0,81 ha.

Conclui-se, através de alguns estudos (Curran e Williamson, 1986 e Danson, 1987), que este valor seria suficiente para representar o dossel cafeeiro. Danson (1987), num estudo das relações entre parâmetros florestais e dados HRV/SPOT, utilizou apenas um pixel. Curran e Williamson (1986) determinaram, para o estudo de uma cobertura de gramínea heterogênea, que 1 a 2 pixels são amostras de tamanho adequado para representar tal cobertura.

Após a extração dos valores digitais, utilizou-se de procedimentos matemáticos para transformá-los em valores de reflectância, conforme relatado a seguir.

#### **3.2.4 - Transformação dos valores digitais para valores de reflectância e correção atmosférica**

Os corpos físicos possuem a característica de refletir e/ou emitir energia. Esta energia, quando captada por um sensor a bordo de satélites, é codificada em valor ou número digital proporcional à radiância do pixel, que por sua vez é proporcional à reflectância composta dos alvos (vegetação, solo, água, sombra, etc) que compõem este pixel.

A utilização de valores digitais, em estudos de sensoriamento remoto implica em dois problemas, que devem ser considerados. O primeiro, diz respeito ao efeito atmosférico. A radiância captada pelo sensor é proveniente tanto do alvo como da atmosfera. A radiância proveniente da atmosfera é variável em função de determinados parâmetros (densidade e tamanho de partículas, vapor d'água, entre outros) que a compõem no momento da tomada da imagem. O valor da radiância proveniente do efeito atmosférico, não contém informação relativa à superfície imageada, devendo portanto, ser eliminado. O segundo problema refere-se à

radiância proveniente do alvo. Esta é codificada em números digitais pelo sistema de detecção que compõem cada banda do sensor. Os parâmetros de calibração (comprimento de onda médio na banda, amplitude, ganho e "offset") dos elementos detectores podem variar de um sensor para outro ou para um mesmo sensor. Deste modo, um determinado alvo pode ter diferentes números digitais quando imageado por diferentes sistemas sensores ou por um mesmo sensor em datas diferentes, mesmo que este alvo não tenha sofrido nenhum tipo de modificação.

Em vista dos problemas anteriormente expostos, decidiu-se pela utilização de valores de reflectância, para o desenvolvimento deste estudo. Os valores de reflectância foram obtidos a partir da transformação dos números digitais e correção atmosférica dos mesmos.

A transformação dos valores digitais para valores de reflectância tem como vantagem a correção quanto aos parâmetros do sensor, e também a correção quanto ao ângulo de elevação solar e distância Terra-Sol, os quais variam em função do dia do ano. Assim, este valor de reflectância constitui uma grandeza física referente exclusivamente a informações provenientes da interação energia-alvo, tornando-o mais adequado à caracterização de alvos imageados por diferentes sistemas sensores, diferentes datas e diferentes localizações.

Esta técnica tem sido utilizada por alguns autores (Santos, 1988; Covre, 1989) para estudo de alvos agrícolas e florestais. Conforme conclusões de estudos realizados por Epiphanyo e Formaggio (1988) sobre o uso de nível de cinza e de reflectância em sensoriamento remoto com dados de satélite, a análise do comportamento espectral

de alvos deve ser precedida pela correção de efeito atmosférico. Segundo os autores, o valor da reflectância é o meio mais adequado para a caracterização espectral dos alvos, quando comparado à utilização do valor digital.

Neste trabalho, a equação utilizada para transformação dos valores digitais em valores de reflectância foi a de Markham e Barker (1987), conforme recomendações feitas por Epiphanyo e Formaggio (1988), exposta a seguir:

$$R = (PI*d^2/Esol*cos\theta_s) [(ND/ND_{max}) (L_{m\acute{a}x} - L_{m\acute{i}n}) + L_{m\acute{i}n}] \quad (3.9)$$

onde:

R = reflectância exoatmosférica ao nível do satélite;

PI = 3,1416...;

d = distância Terra-Sol, em unidades astronômicas;

ND = número digital do pixel obtido nas fitas CCT's;

L<sub>min</sub> = radiância espectral correspondente ao número digital zero em (mW.cm<sup>-2</sup>.sr<sup>-1</sup>.um<sup>-1</sup>);

L<sub>máx</sub> = radiância espectral mínima necessária para gerar um valor digital máximo e igual a 255 (mW.cm<sup>-2</sup>.sr<sup>-1</sup>.um<sup>-1</sup>);

ND<sub>máx</sub> = número digital máximo possível de ser obtido (255 para as bandas estudadas).

Esol = irradiância solar exoatmosférica média (mW.cm<sup>-2</sup>.um<sup>-1</sup>);

$\theta_s$  = ângulo zenital solar em graus.

Os parâmetros do sensor utilizados, bem como distância Terra-Sol, ângulo zenital solar e irradiância exoatmosférica são apresentados nas Tabelas 3.1 e 3.2.

TABELA 3.1

VARIAÇÃO DINÂMICA DOS DADOS TM/LANDSAT-5 (mW.cm<sup>-2</sup>.sr<sup>-1</sup>.λm<sup>-1</sup>)

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
Lmin	-0,15	-0,28	-0,12	-0,15	-0,037	-0,015
Lmax	15,21	29,68	20,43	20,62	2,719	1,438

FONTE: Markham e Barker, 1986

TABELA 3.2

VALORES DE DISTÂNCIA TERRA-SOL, ÂNGULO ZENITAL E IRRADIÂNCIA SOLAR PARA CADA BANDA DO TM.

Passagem	d	θ	Esol					
			TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
27/08/88	1,00513	41 <sup>0</sup>	195,7	182,9	155,7	104,7	21,93	7,452

Para atenuação do efeito atmosférico foi utilizado o modelo de espalhamento relativo (Chavez, 1988),

que considera apenas os dados intrínsecos das imagens e não requer informações adicionais como, por exemplo, dados de radiossondagem atmosférica.

Este método inicialmente seleciona os números digitais mínimos do histograma da imagem digital em alguma das bandas do visível. Este valor inicial, em uma das bandas, serve para estimar o tipo de atmosfera (muito clara, clara, moderada, enevoadada e muito enevoadada) que melhor represente a do momento da aquisição da cena. Conforme o tipo de atmosfera identificada, seleciona-se um modelo de espalhamento relativo (Tabela 3.3), o qual determina os números digitais a serem subtraídos nas outras bandas.

Após a determinação do número digital, correspondente ao efeito atmosférico, este foi transformado para reflectância conforme a equação 3.1. Este valor de reflectância foi subtraído da reflectância obtida a partir da transformação do valor digital constante da fita CCT, a qual inclui a reflectância do alvo e da atmosfera.

TABELA 3.3MODELO DE ESPALHAMENTO RELATIVO PARA OS DIVERSOS TIPOS DE  
ATMOSFERA.

<u>Condição atmosférica</u>	<u>Mod. de Espalhamento Relativo</u>
Muito clara	$\lambda^{-4}$
Clara	$\lambda^{-2}$
Moderada	$\lambda^{-1}$
Enevoada	$\lambda^{-0,7}$
Muito enevoada	$\lambda^{-0,5}$

FONTE: Chavez, 1988.

Após esta diferença chegou-se ao valor de reflectância do alvo, no nível do terreno. Este valor obtido para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do TM foi utilizado para a análise estatística.

### 3.2.1.5 - Análise estatística

A análise estatística dos parâmetros coletados em campo (descritos no item 3.2.2) e seus respectivos valores de reflectância espectral para as seis bandas do TM/Landsat-5 foi executada em quatro estágios:

a) Estudo da correlação entre os parâmetros culturais;

b) Estudo da correlação entre as bandas espectrais do TM;

c) Estudo da correlação entre os parâmetros culturais do café e a resposta espectral do dossel cafeeiro nas bandas TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 e TM7; e

d) Determinação dos parâmetros com influência significativa na resposta espectral do dossel cafeeiro.

O estudo da relação entre os parâmetros culturais, bem como da relação entre bandas espectrais, faz-se importante na medida em que estes podem ser redundantes em termos de informação, devendo, nesse caso, serem consideradas suas implicações. Esta análise foi feita utilizando a matriz de correlação.

A literatura (Townshend et al. 1983; Townshend, 1984; Degloria, 1984; Chen et al. 1986) traz alguns resultados discordantes no que diz respeito à correlação entre bandas espectrais do TM. Na verdade, esta discordância em termos de resultados parece estar relacionada principalmente ao tipo de cobertura estudado, como observaram Townshend et al. (1983).

A análise do relacionamento entre os parâmetros culturais e a reflectância espectral do dossel foi feita através da matriz de correlação entre variáveis independentes (parâmetros culturais) e variáveis dependentes (valores de reflectância obtidos nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do TM). Os parâmetros que apresentaram coeficientes de correlação ( $r$ ) significativos com a reflectância espectral foram plotados e posteriormente analisados quanto ao tipo de relacionamento e à dispersão apresentada pelos dados.

A determinação dos parâmetros com influência significativa na resposta espectral do dossel foi executada

utilizando-se o método de regressão linear múltipla passo a passo. A escolha deste método se deve à sua adequação ao estudo e análise de conjuntos com grande número de variáveis.

Em síntese, este método computa uma sequência de equações de regressão, para cada passo, incluindo ou excluindo uma variável independente. O critério para incluir ou excluir uma variável pode ser previamente estabelecido em termos da redução do quadrado da soma dos erros, coeficiente de correlação parcial ou F estatístico (Neter e Wasserman, 1974).

O programa computacional utilizado foi o de regressão múltipla "stepwise", implementado no pacote estatístico "BASIS" (Burroughs, 1975) do computador Burroughs 6800 do INPE, descrito resumidamente a seguir.

1. O programa de regressão linear múltipla "stepwise" inicialmente produz uma matriz de correlação com todas as variáveis independentes. A variável independente com maior coeficiente de correlação é a primeira a ser incluída no modelo (Burroughs, 1975). O programa executa então a regressão com esta variável e determina o F estatístico que é dado por:

$$F_1 = (SQReg/k) / (SQRes/n-k-1) \quad (3.10)$$

onde:

SQReg = Soma dos Quadrados da Regressão;

SQRes = Soma dos Quadrados do Resíduo;

k = número de variáveis independentes;

n = número de amostras.

Se este valor de  $F$  exceder um nível pré-determinado para inclusão ( $F_{in}$ ), a variável independente permanece no modelo. Caso contrário, o programa exclui esta variável (Neter e Wasserman, 1974). O procedimento mais usual adota  $F_{inclusão}=F_{exclusão}=4$ . No entanto, podem ser adotados valores diferentes para  $F_{in}$  e  $F_{ex}$  (Montgomery e Peck, 1982).

2. Dado que a primeira variável ( $X_1$ ) permaneceu no modelo, o programa seleciona o segundo melhor preditor ( $X_2$ ). A variável com maior coeficiente de correlação parcial será a próxima candidata a ser incluída no modelo. O programa calcula a estatística  $F$  parcial, dada por:

$$F_{2.1} = [SQReg(X_2/X_1)/SQRes(X_1, X_2)]/n-1 \quad (3.11)$$

onde:

$F_{2.1}$  = valor  $F$  para a segunda variável, dado que a primeira já se encontra no modelo;

$SQReg(X_2/X_1)$  = Soma dos Quadrados da Regressão ao devido à variável  $X$ , dado que  $X_1$  está no modelo;

$SQRes(X_1, X_2)$  = Soma dos Quadrados dos Resíduos da regressão ajustada com  $X_1$  e  $X_2$ .

Se o valor  $F_{2.1}$  exceder o valor de  $F_{in}$  e se o valor de tolerância calculado for maior que o valor de tolerância especificado, a segunda variável independente ( $X_2$ ) permanece no modelo. Caso contrário o programa a eliminará. O teste de tolerância tem por objetivo controlar

a entrada de variáveis colineares com aquelas já incluídas no modelo.

O programa testa também se a primeira variável incluída ainda permanece no modelo, ou seja, se  $F_{1.2}$  exceder o valor de  $F_{ex}$  a variável  $X_1$  permanece no modelo, caso contrário, o programa a eliminará (Neter e Wasserman, 1974).

$$F_{1.2} = [SQReg(X_1/X_2)/SQRes(X_1, X_2)]/n-1 \quad (3.12)$$

onde:

$F_{1.2}$  = Valor de F para a primeira variável dado que a segunda foi incluída;

SQReg = Soma dos Quadrados da Regressão devido à variável  $X_1$ , dado que  $X_2$  está no modelo;

3. Supondo que as variáveis anteriores tenham sido incluídas, o programa de regressão múltipla "stepwise" examina agora qual variável independente é a próxima candidata a ser incluída no modelo, através da determinação do coeficiente de correlação parcial. Determina a estatística F parcial para esta terceira variável. Caso este valor seja maior que  $F_{in}$ , ela é incluída no modelo, caso contrário é excluída. O programa examina também se alguma das variáveis, já no modelo, poderia ser excluída, após a entrada de cada nova variável.

O programa continua até não mais haver variáveis independentes que possam ser incluídas ou excluídas (Burroughs, 1975).

Uma variável incluída no modelo, num estágio anterior, pode ser excluída subsequentemente se ela não for

mais útil em conjunto com as variáveis recém incluídas (Neter e Wasserman, 1974).

Uma limitação deste método é que algumas vezes, ele não chega ao conjunto de melhores variáveis. Isso ocorre quando há variáveis altamente correlacionadas ou colineares (Neter e Wasserman, 1974). Para solucionar este problema fez-se um teste para verificar se havia colinearidade entre as variáveis.

A colinearidade pode ser diagnosticada pela análise de autovalores (Weisberg, 1985). A raiz característica ou autovalores de  $X'X$  (matriz de correlação), conhecidos como  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ , pode ser usada para medir a extensão da multicolinearidade nos dados. Se há uma ou mais dependência linear nos dados, então um ou mais autovalores será pequeno. Um ou mais autovalores pequenos implica que há dependência linear entre as colunas de  $X$ . Alguns analistas preferem analisar o número condicional ( $K$ ) de  $X'X$ , definido como (Montgomery e Peck, 1982):

$$K = \lambda_{\text{máx}} / \lambda_{\text{mín}} \quad (3.13)$$

onde:

$$\lambda_{\text{máx}} = \text{maior autovalor}$$

$$\lambda_{\text{mín}} = \text{menor autovalor}$$

Geralmente, para valores de  $K$  menores que 100 não há problemas sérios de colinearidade entre as variáveis. Para  $K$  entre 100 e 1000 há moderada a forte multicolinearidade; e para valores de  $K$  maiores que 1000, há indicação de alta multicolinearidade (Montgomery e Peck, 1982).

Quando detectado o problema de colinearidade procedeu-se à eliminação daqueles parâmetros mais correlacionados, até atingir um valor de  $K < 100$ .

Outro procedimento a ser adotado foi a análise dos resíduos, a qual permite verificar a adequação do modelo de regressão linear aos dados em estudo e também eliminar os valores extremos ("outliers"). Os valores extremos podem deslocar a reta de regressão (Figura 3.8), sendo que muitas vezes os mesmos se devem a erros na coleta de dados. O resíduo consiste na diferença entre o valor amostrado ( $y_i$ ) e o valor estimado ( $\hat{y}_i$ ), que é o erro ( $e = y_i - \hat{y}_i$ ) (Neter e Wasserman, 1974).

Quando o modelo linear é apropriado à análise dos dados, o resíduo se distribui numa faixa horizontal centrada em torno de zero, de maneira não sistemática, conforme mostrado na Figura 3.9.

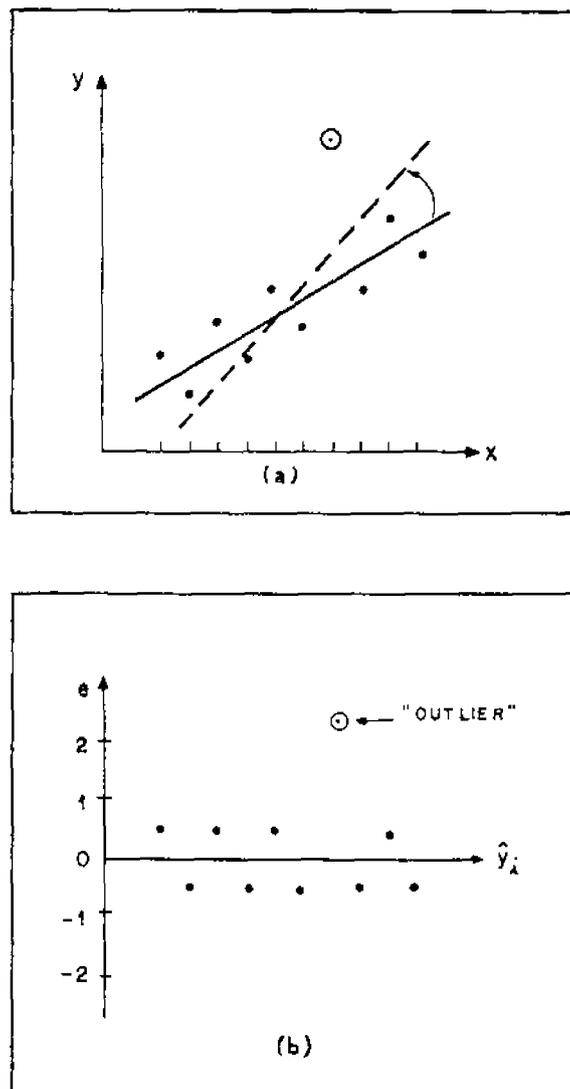


Fig. 3.8 - Ilustração do problema de valores extremos no conjunto de dados: (a) Gráfico da variável dependente ( $Y$ ) contra a variável independente ( $X$ ); (b) Gráfico de resíduos ( $e$ ) contra os valores estimados ( $\hat{Y}_i$ ).

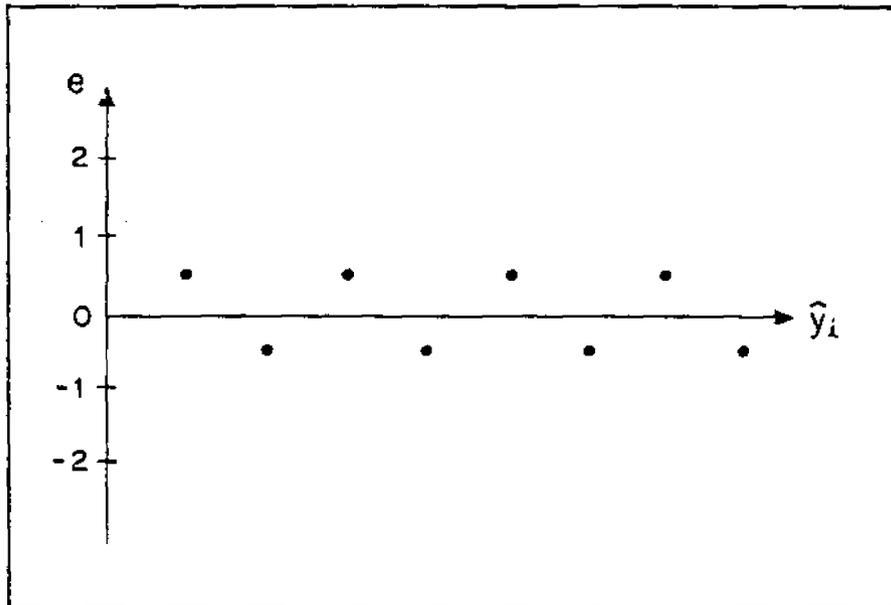


Fig. 3.9 - Gráfico de resíduos contra  $\hat{Y}_i$ , demonstrando um bom ajuste do modelo linear.

Covre (1989) utilizando-se do mesmo procedimento metodológico no estudo da cultura de Citrus, concluiu que este revelou-se de grande potencial para o estudo do comportamento espectral de alvos agrícolas.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do trabalho são discutidos e analisados segundo quatro etapas principais, conforme apresentado no Capítulo 3.

Primeiramente fez-se uma análise de todos os parâmetros coletados em campo (variáveis independentes) através da matriz de correlação, cujo objetivo foi a eliminação de variáveis duplamente representadas (variáveis estimadas em campo e calculadas). Nesta etapa procurou-se, também, reduzir o número de variáveis independentes através da composição das mesmas, com o objetivo de reduzir a colinearidade, no processo de regressão múltipla, sem perder informações dos parâmetros.

Os parâmetros culturais analisados serão apresentados abreviadamente, como:

- ALTU - Altura média das plantas;
- ANPO - Ano de poda;
- COBE - Percentagem de cobertura do terreno por árvores de café (estimada);
- COBR - Percentagem de cobertura do terreno por árvores de café (calculada);
- COLH - Colheita (ocorrência ou não de colheita);
- CULT - Cultivar;
- DECL - Declividade;
- DENS - Densidade de plantas (por hectare);
- ESPA - Esparramação (executada ou não);
- ESPC - Espaçamento entre covas;
- ESPL - Espaçamento entre linhas;
- GRAD - Gradeação (gradeado ou não gradeado);

- IDAD - Idade;
- ORDE - Orientação do declive;
- ORFI - Orientação de fileiras;
- RAIO - Raio médio das plantas;
- RCS - Reflectância de solo obtida em laboratório banda 1, 2, 3 e 4 do TM) x porcentagem de solo exposto;
- SUEE - Porcentagem de cobertura do substrato com ervas daninhas verdes (estimada);
- SUER - Porcentagem de cobertura do substrato com ervas daninhas verdes (calculada);
- SUME - Porcentagem de cobertura do substrato com matéria orgânica (estimada);
- SUMR - Porcentagem de cobertura do substrato com matéria orgânica (calculada);
- SUSE - Porcentagem do substrato com solo exposto (estimada);
- SUSR - Porcentagem do substrato com solo exposto (calculada);
- TIPO - Tipo de poda; e
- VIVE - Vigor vegetativo;

Os valores dos parâmetros, obtidos para os 145 talhões e da reflectância obtida para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do TM, são apresentados no apêndice A.

#### **4.1 - Análise da correlação entre parâmetros culturais**

Do conjunto de 25 variáveis independentes anteriormente citadas, quatro estão duplamente representadas, visto que foram tanto estimadas em campo como calculadas em laboratório. As variáveis estimadas são COBE, SUME, SUEE e SUSE, e as variáveis calculadas correspondentes são COBR, SUMR, SUER e SUSR.

Conforme se pode constatar pela Tabela 4.1, o coeficiente de correlação entre COBE e COBR é relativamente alto (0,83), o que indica a boa aproximação entre valores estimados em campo e valores calculados. Para as variáveis estimadas (SUME, SUEE e SUSE) e calculadas (SUMR, SUER e SUSR), que compõem o parâmetro substrato, as correlações obtidas foram todas significativas, porém não muito altas. Este fato advém de erros, tanto nos valores estimados como nos valores calculados. O erro no valor estimado visualmente é devido à subjetividade inerente ao processo. Para os valores calculados o erro está associado à pouca representatividade amostral, visto que os mesmos foram calculados a partir de uma fotografia vertical em slide, cujas dimensões no terreno são de aproximadamente 1,0m x 1,0 m. Visto que nos dois processos de obtenção dos dados há um erro embutido, optou-se pela utilização dos valores calculados, para as análises posteriores.

Pode-se, ainda, observar na Tabela 4.1 que muitas outras variáveis são correlacionadas.

A Figura 4.1a mostra a relação entre as variáveis DENS E IDAD, a qual possui um coeficiente de correlação de -0.58. Esta relação confirma a tendência de mudança para um sistema de plantio mais adensado, à medida em que é feita a renovação do plantio ou novas áreas de plantios são incorporadas às já existentes. Este processo teve início na década de 70, com o plano de renovação dos cafezais executado pelo Instituto Brasileiro do Café. A correlação entre IDAD X ESPL e ESPC ratifica esta constatação, ou seja, à medida que se tem plantios mais recentes, há uma tendência de redução dos espaçamentos. Observando a Figura 4.1a, constata-se, ainda, que há uma concentração maior de plantios com densidades entre 1.700 a 2.700 cv/ha.

TABELA 4.1

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SIGNIFICATIVOS AO NÍVEL DE 95% ENTRE OS PARÂMETROS CULTURAIS

	DENS	CULT	IDAD	ESPL	ESFC	COBE	COBR	ONEI	VIVE	COLH	AMPO	TIPD	DECL	CRDZ	GRAD	ESPA	SUNE	SUEE	SUSE	ALTU	RATU	SUMR	SUER	SUSR	RCS1	RCS2	RCS3	RCS4			
DENS	1,00																														
CULT	-	1,00																													
IDAD	-0,58	-0,38	1,00																												
ESPL	-0,60	0,37	0,22	1,00																											
ESFC	-0,75	-	0,55	-	1,00																										
COBE	-	-	0,50	-	-	1,00																									
COBR	-	-	0,28	-0,25	-	0,83	1,00																								
ONEI	-	-	-	-	-	-	-	1,00																							
VIVE	-	-	-	-	-	0,28	-	-	1,00																						
COLH	-0,21	-	0,27	-	0,21	0,55	0,88	-	-0,27	1,00																					
AMPO	0,48	-	-0,40	-0,37	-0,33	-0,53	-0,43	-	-0,58	1,00																					
TIPD	-0,42	-	0,35	-	0,27	0,58	0,57	-	0,58	-0,38	1,00																				
DECL	-	-	-0,25	-0,17	-	-	-0,21	-	-0,23	0,24	-0,28	1,00																			
CRDZ	-0,28	-	-	-	0,20	-	-	-0,28	-	-	-	-	1,00																		
GRAD	-	-	-	-	0,20	-	-0,28	-0,25	-	-0,20	0,25	-	-	1,00																	
ESPA	-	-	-	-	-	-0,21	-	-	-	-	-0,21	-	-	-	1,00																
SUNE	0,31	-	-	-0,33	-	-	0,23	-	-0,15	-	0,28	-	-	-0,53	-0,43	1,00															
SUEE	-	-	-	0,18	-	-0,28	-0,30	-	-	-	-0,50	-	-	-	-0,58	-0,41	-	1,00													
SUSR	-0,23	-	-	-	-	-	-	-	0,22	-	-	-	-	-	0,62	0,58	-0,88	-0,56	1,00												
ALTU	-0,33	0,18	0,48	0,33	0,22	0,67	0,83	-	-	0,54	-0,66	0,61	-0,31	-	-	-0,25	-	-0,17	-	1,00											
RATU	-0,38	-	0,38	0,27	0,30	0,75	0,81	-	-	0,72	-0,98	0,67	-0,30	-	-	-	-	-0,23	-	0,64	1,00										
SUMR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	-	-	-	-	-0,45	-0,48	0,60	0,30	-0,64	-	1,00									
SUER	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,88	-0,44	-	0,53	-0,40	-	-	1,00								
SUSR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51	0,58	-0,60	0,41	0,70	-	-	-0,87	-0,55	1,00						
RCS1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,41	-0,48	-	0,48	-0,37	-0,42	-0,78	-0,25	0,82	1,00					
RCS2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,42	-0,48	-	0,48	-0,37	-0,42	-0,81	-0,26	0,83	0,88	1,00				
RCS3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,43	-0,50	-	0,52	-0,38	-0,42	-0,63	-0,27	0,88	0,88	0,88	1,00			
RCS4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,44	-0,50	-	0,52	-0,38	-0,42	-0,64	-0,28	0,87	0,88	0,88	0,88	1,00		

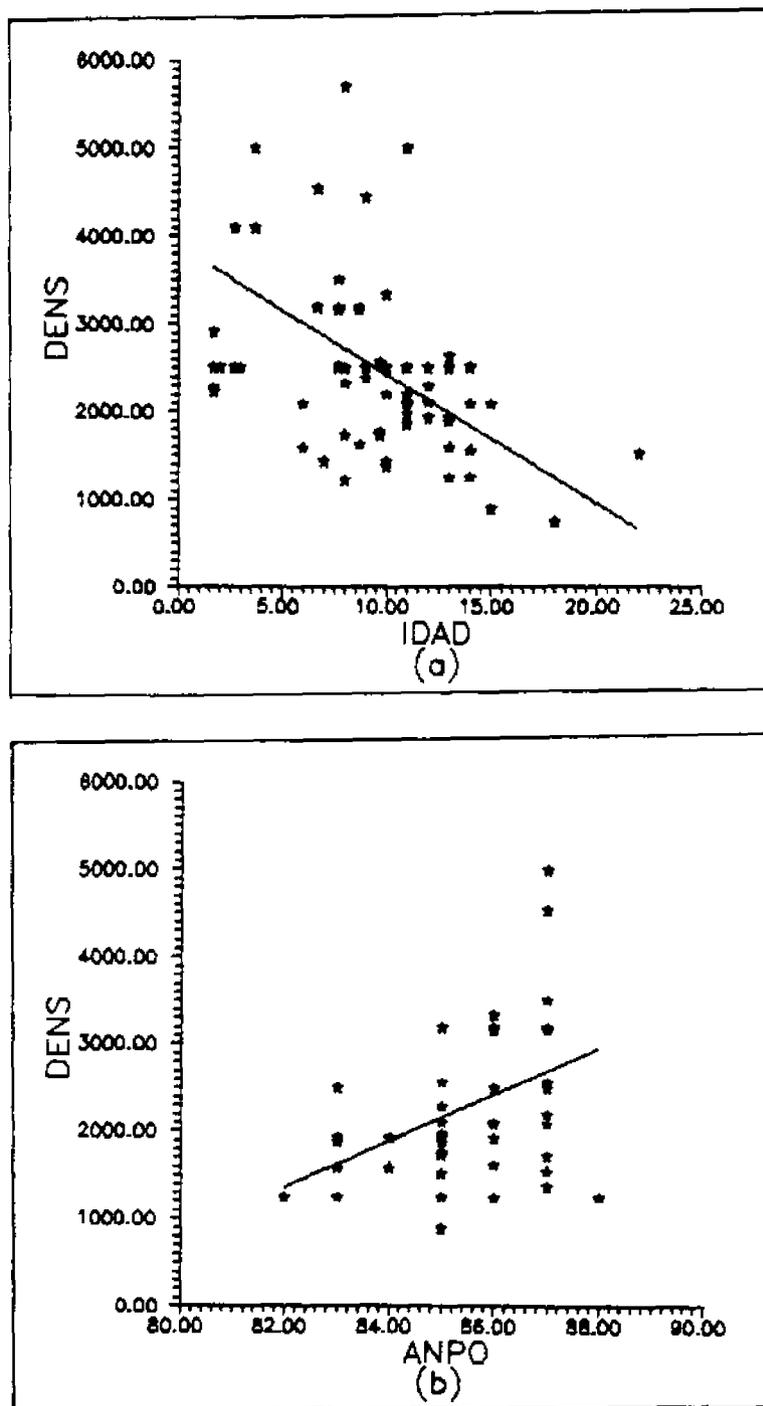


Fig. 4.1 - Relacionamento entre: (a) Densidade (DENS) x Idade (IDAD); (b) DENS x Ano de Poda (ANPO).

A variável DENS possui ainda média a forte correlação com ESPL e ESPC ( $r = -0,60$  e  $-0,75$ , respectivamente), justificada pelo fato dessas variáveis serem os componentes do cálculo da DENS.

Constata-se pela Figura 4.1b, que há moderada correlação entre DENS e ANPO ( $r = 0,49$ ), justificada pela lógica de que à medida em que aumenta o adensamento (menor espaçamento), a cultura necessita de poda com maior frequência, para que possam ser facilitados os tratamentos culturais e colheita e aumentar a produtividade.

A correlação entre IDAD e ALTU ( $r = 0,48$ ), a qual seria de se esperar fosse maior, não o é devido à prática da poda e, também, ao comportamento natural do crescimento da planta, que se reduz e estabiliza a partir da idade de aproximadamente 10 anos. A relação entre IDAD e RAI0 ( $r = 0,53$ ) sofre o mesmo tipo de influência que ocorre entre IDAD e ALTU, sendo que a redução e estabilização do crescimento horizontal da planta (diâmetro) a partir dos 10 anos de idade já fora, também, verificado por Souza et al. (1973).

A variável COBR possui correlações relativamente altas com RAI0, ALTU, COLH e TIPO.

A correlação entre COBR e RAI0 ( $r = 0,81$ ), justifica-se pelo fato do parâmetro RAI0 ser um dos componentes importante no cálculo da percentagem de cobertura. A relação entre estes dois parâmetros é prejudicada pela influência da poda e também pela variação quanto ao adensamento de plantio. No entanto, o parâmetro RAI0 sofre menor influência da poda, quando comparado com altura. A poda, normalmente, é executada a 1,2 - 1,6 m de

altura, e na maioria das vezes, ocorre pequena alteração do tamanho horizontal (diâmetro) da planta.

No que diz respeito à relação COBR X RAIIO, observa-se pela Figura 4.2a, que três pontos (A, B e C) estão muito afastados da relação normal, ocorrida para a maioria das amostras. Verifica-se que estes pontos possuem densidades de plantio relativamente altas, 3.333, 5.714 e 5.000 cv/ha, para os pontos A, B e C, respectivamente. Portanto, a densidade de plantio, que por sua vez está relacionada ao espaçamento entre covas, interfere na relação normal que deveria haver entre raio da planta e porcentagem de cobertura.

Observa-se, pela Figura 4.2b, que os pontos A, B e C, correspondentes àqueles da Figura 4.2a, estão também distantes da relação normal observada, entre COBR X ALTU, para as demais amostras. Neste caso, a influência da densidade de plantio também é o fator preponderante ao distanciamento dos pontos A, B e C em relação aos demais. Comparando os pontos A e D, cujas alturas são 2,14 m e 2,11 m, respectivamente, e densidades de plantio iguais a 3.333 e 1.587 cv/ha, respectivamente, tem-se uma idéia mais clara da influência da densidade de plantio na relação COBR e ALTU.

Ainda referente à relação COBR X ALTU, observa-se que o ponto A encontra-se mais distanciado da reta de ajuste, o que pode ter sido causado pelo fato de ter havido poda no ano de 1986. Ocorre que, alguns talhões quando sofrem poda, pouca variação é verificada na porcentagem de cobertura do terreno (COBR).

Já a correlação relativamente alta entre COBR e COLH ( $r = 0,68$ ), é explicada pelo fato de que baixas

coberturas do terreno estão associadas a plantas novas (não produtivas) ou à prática da poda. A correlação positiva entre COBR e TIPO ( $r = 0,57$ ), vem confirmar esta observação, porém cabe a ressalva feita no parágrafo anterior, ou seja, alguns talhões não sofrem grande variação no que se refere à percentagem de cobertura do terreno.

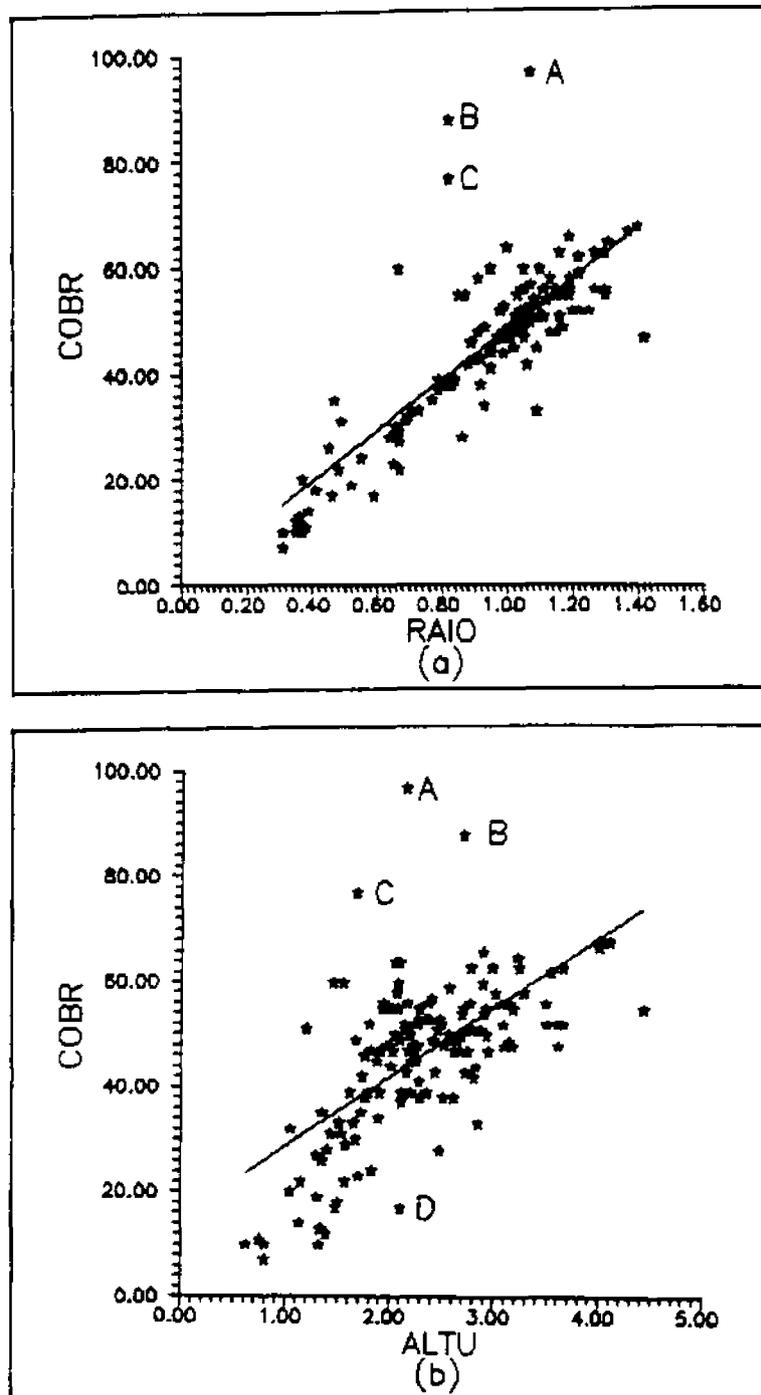


Fig. 4.2 - Relacionamento entre: (a) Cobertura do terreno pelas árvores de café (COBR) x RAIÓ; (b) COBR x Altura (ALTU).

O parâmetro ORFI possui correlação negativa e baixa ( $r = -0,28$ ), apenas com o parâmetro ORDE. Esta correlação se deve ao sistema de plantio em nível, o que torna a orientação de fileiras, perpendicular à orientação de declive.

O parâmetro VIVE correlaciona-se fracamente com COLH, SUME, SUSE. A correlação, entre VIVE e COLH ( $r = -0,27$ ), a qual seria de se esperar fosse maior, não o é, devido principalmente à estratificação do parâmetro colheita em apenas duas classes (colheita e não colheita). No entanto, proporcionalmente à quantidade de produção associa-se um VIVE, sendo este maior para menores produções e vice-versa. Devido a este fato ocorre uma variabilidade muito grande dos dados. Além disso, as condições climáticas (seca) e tratos culturais inadequados para alguns talhões influenciaram negativamente no vigor vegetativo da planta, prejudicando uma melhor relação entre os parâmetros VIVE e COLH.

A redução do vigor vegetativo (desfolha do cafezal) implica, algumas vezes, no aumento de matéria orgânica nas entrelinhas do cafezal. Este fato é confirmado no relacionamento negativo observado entre VIVE X SUME ( $r = -0,18$ ). Visto que ocorre uma correlação negativa entre SUME X SUSE ( $r = -0,86$ ), ou seja, a redução na percentagem de matéria orgânica implica no aumento da percentagem de solo exposto, a correlação entre VIVE X SUSE ( $r = 0,22$ ) é positiva.

O correlacionamento negativo entre COLH e ANPO ( $r = -0,53$ ), bem como o correlacionamento positivo entre COLH e TIPO ( $r = 0,58$ ), evidencia a influência da poda sobre a produção. Áreas ou talhões cujas podas tenham sido executadas mais recentemente, mostram, de maneira

geral, a ausência de colheita. Entretanto, caso o tipo de poda, seja o do decote médio ou alto, a planta recupera-se rapidamente, voltando à produção normal no segundo ano após a execução desta prática.

O parâmetro COLH, correlaciona-se moderadamente com ALTU ( $r = 0,54$ ) e RAIIO ( $r = 0,72$ ), enquanto que o parâmetro ANPO correlaciona-se negativamente com ALTU ( $r = -0,66$ ) e RAIIO ( $r = -0,56$ ), ou seja, à medida em que se tem um talhão com poda mais recente, tanto a altura quanto o raio da planta são, de maneira geral, reduzidos. Inversamente ao ANPO, TIPO correlaciona-se positivamente com ALTU ( $r = 0,61$ ) e RAIIO ( $r = 0,67$ ).

A alta correlação entre GRAD e ESPA ( $r = 0,89$ ) é explicada pelo fato da prática de esparramação ser executada quase que totalmente com a gradeação. O parâmetro GRAD correlaciona-se fraca a moderadamente com os parâmetros do substrato calculados, SUMR ( $r = -0,45$ ), SUER ( $r = -0,36$ ) e SUSR ( $r = 0,51$ ).

Observa-se também uma alta correlação entre ALTU e RAIIO ( $r = 0,84$ ), a qual não é maior devido à prática de poda. Outra correlação alta ( $r = -0,97$ ) é observada entre as variáveis SUMR e SUSR. Estes dois valores são praticamente complementares, visto que dos três componentes do substrato (SUMR, SUER e SUSR), SUMR e SUSR compõem a maior parte do substrato para a maioria dos talhões.

O parâmetro "solo" (RCS) possui correlação negativa fraca a moderada com os parâmetros IDAD, COBE, COBR, COLH, SUME, ALTU, RAIIO e SUER e positiva fraca a moderada com GRAD, ESPA e SUSE. Estes parâmetros são correlacionados a um ou mais parâmetros que compõem a reflectância composta do solo (RCS).

As altas correlações entre os parâmetros: SUSR X RCS1 ( $r = 0,82$ ), SUSR X RCS2 ( $r = 0,83$ ), SUSR X RCS3 ( $r = 0,86$ ) e SUSR X RCS4 ( $r = 0,87$ ), indicam que a porcentagem de solo exposto (SUSR) é o parâmetro mais importante (maior peso) na composição da reflectância composta do solo (RCS). Este fato pode estar associado à pouca variabilidade encontrada para os valores de reflectância do solo. Em vista deste resultado, espera-se que a relação entre RCS X RTM (reflectância obtida da imagem TM), seja similar à relação SUSR X RTM.

A análise da matriz de correlação dos parâmetros culturais mostrou que existe um intercorrelacionamento entre a maioria dos parâmetros. Esta interdependência entre parâmetros nem sempre se estabelece na sua totalidade e/ou de maneira uniforme. O entendimento destas intercorrelações é importante para a análise da influência dos parâmetros sobre as respostas espectrais.

Outro objetivo alcançado a partir do entendimento das intercorrelações entre variáveis culturais foi a possibilidade de eliminação de algumas variáveis sem maiores comprometimentos para a determinação dos principais parâmetros influenciadores na resposta espectral do cafezal. O critério básico utilizado para a eliminação destas variáveis foi a análise do coeficiente de correlação que indica o quanto uma determinada variável está indiretamente representada por uma outra. Esta dupla representatividade se deve à utilização de mais de um critério na representação da variável, como é o caso de COBE, SUME, SUEE e SUSE, as quais são correlacionadas com COBR ( $r = 0,83$ ), SUMR ( $r = 0,60$ ), SUER ( $r = 0,53$ ), SUSR ( $r = 0,70$ ). A causa da dupla representatividade é a interrelação natural existente entre as variáveis como, por

exemplo, RAI0, SUMR, ESPL, ESPC, ESPA e COLH, as quais são correlacionadas com ALTU ( $r = 0,84$ ), SUSR ( $r = -0,97$ ), DENS ( $r = -0,60$ ), DENS ( $r = -0,75$ ), GRAD ( $r = 0,89$ ) e COBR ( $r = 0,68$ ), respectivamente.

Assim sendo, eliminaram-se algumas variáveis no intuito de simplificar o entendimento das análises posteriores e eliminar erros na análise de regressão múltipla que poderia haver em função da multicolinearidade. As variáveis eliminadas foram as seguintes: COBE, SUME, SUEE, SUSE, RAI0, SUMR, ESPL, ESPC, ESPA, COLH, restando portanto um conjunto de 15 parâmetros.

#### 4.2 - Análise da correlação entre as bandas espectrais estudadas

A análise das relações entre bandas espectrais, constitui um passo importante na seleção das melhores bandas visando a discriminação de culturas agrícolas, na medida que algumas dessas bandas são redundantes quanto ao conteúdo de informações. Vale dizer que esta redundância leva a uma alta correlação entre as mesmas, que por sua vez guardam relações similares quanto aos parâmetros que as influenciam.

O resultado obtido (Tabela 4.2) assemelha-se aos encontrados por Townshend et al. (1983) para áreas agrícolas.

TABELA 4.2

MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA VALORES DE REFLECTÂNCIA DAS  
BANDAS ~~TM1~~, TM2, TM3, TM4, TM5 E TM7.

	TM1	<del>TM2</del>	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	1.00					
TM2	0.92*	1.00				
TM3	0.80*	0.94*	1.00			
TM4	0,10	0,09	-0,05	1.00		
TM5	0.61*	0.76*	0.84*	-0,03	1.00	
TM7	0.63*	0.80*	0.91*	-0,12	0.96*	1.00

\* significativos ao nível de 95%

Para as bandas do visível foram encontradas altas correlações. Segundo Townshend (1984), a alta correlação que ocorre para alvos vegetados para as bandas do visível é devida à influência predominante dos pigmentos da planta na resposta espectral neste intervalo de comprimento de onda.

Entre a banda TM4 e as demais bandas (TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7) não foi constatada correlações significativas ao nível de 95%. Estes resultados assemelham-se aos encontrados por Degloria (1984), Townshend et al. (1983) e Townshend (1984), para o dossel

agrícola. Estes autores encontraram correlações significativas, porém fracas ( $r = -0,1$  a  $-0,4$ ).

Para cobertura vegetal ocorre alta reflectância na banda TM4, a qual é função principalmente da interação energia-estrutura interna das folhas. Townshend (1984) observou que, para pomares, a reflectância é menor devido à contribuição da área sombreada e material lenhoso das plantas. A cultura do café apresenta, no período de inverno (época de estudo), grande variabilidade quanto ao grau de enfolhamento, apresentando ramos e galhos secos. Este fato, associado à variação na quantidade e intensidade das sombras, leva a variações na reflectância do dossel, as quais não são correspondentes nas outras bandas.

As correlações encontradas entre as bandas (TM5 e TM7) e (TM1, TM2 e TM3) são moderadas a forte, estando em conformidade com o encontrado por Townshend et al. (1983) e Degloria (1984) para dossel agrícola.

A correlação entre as bandas TM5 e TM7 foi alta (0,96), similarmente à encontrada por Townshend et al. (1983) e Degloria (1984).

#### **4.3 - Avaliação dos relacionamentos entre os parâmetros culturais e a resposta espectral do cafeeiro**

Esta avaliação tem como objetivo o entendimento da relação entre os diversos parâmetros culturais e as respostas espectrais. Os parâmetros culturais avaliados referem-se àquelas 15 variáveis selecionadas através da análise de correlação entre parâmetros culturais (ítem 4.1). As respostas espectrais

referem-se à reflectância obtida para seis bandas do TM/Landsat-5 (TM1, TM2, TM3, TM4, TM5, TM7).

A cultura do café apresenta-se relativamente atípica quanto aos parâmetros relacionados à sua resposta espectral, quando comparada a florestas, culturas agrícolas anuais, e mesmo a outras culturas agrícolas perenes. A fenologia do cafeeiro, acrescida da variabilidade de tratos culturais que podem variar em função de uma série de fatores (até mesmo do preço do café), torna esta cultura "sui generis" do ponto de vista do entendimento de sua resposta espectral.

A Tabela 4.3 apresenta os coeficientes de correlação entre os parâmetros culturais e a resposta espectral do cafeeiro. Os valores do parâmetro RCS (reflectância composta do solo), conforme apresentado no Capítulo 3 (Ítem 3.2.2), foram calculados a partir da percentagem de cobertura do terreno pelas árvores de café, percentagem de solo exposto nas entrelinhas e reflectância do solo obtida em laboratório (para as bandas TM1, TM2, TM3 e TM4). Assim sendo, tem-se um conjunto de dados para cada uma das bandas analisadas, ou seja, RCS1, RCS2, RCS3 e RCS4.

Analisando a Tabela 4.3, observa-se que, de modo geral, quatro parâmetros apresentam-se notadamente correlacionados com a 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. A similaridade quanto aos parâmetros correlacionados com a resposta espectral, para as bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7, já era esperado, devido à alta correlação existente entre reflectância nestas

bandas, para a cultura do café, conforme discutido no item 4.2.

Ainda com relação à Tabela 4.3, observa-se que o parâmetro COBR, ao contrário do esperado, não é a variável mais 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 citrus. Os parâmetros ANPO, ALTU e, para algumas bandas, IDAD, mostram-se mais bem correlacionados com reflectância. Na verdade, estes parâmetros são intercorrelacionados, como pode ser verificado na Tabela 4.1. Assim, o parâmetro que agregar o maior número de informações de uma série de parâmetros culturais será o melhor correlacionado com os valores de reflectância.

TABELA 4.3

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SIGNIFICATIVOS AO NÍVEL DE 95%  
ENTRE REFLECTÂNCIA E OS PARÂMETROS CULTURAIS.

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
DENS	0,28	0,31	0,33	-	0,40	-
CULT	-	-	-	-	-	-
IDAD	-0,44	-0,48	-0,50	-	-0,50	-0,45
COBR	-0,39	-0,47	-0,58	-	-0,34	-0,44
ORFI	-	-0,20	-0,20	-	-0,19	-0,23
VIVE	-	-0,17	-0,20	0,52	-0,32	-0,31
ANPO	0,52	0,55	0,59	-	0,53	0,51
TIPO	-0,34	-0,41	-0,54	-	-0,37	-0,42
DECL	0,32	0,25	0,22	-	-	-
ORDE	-	-	-	-	-0,22	-0,17
GRAD	-	-	-	-0,28	-	-
ALTU	-0,47	-0,58	-0,64	-	-0,50	-0,57
SUER	-	-	-	-	-	-
SUSR	-	-	-	-0,24	-	-
RCS	-	0,35	0,42	-0,24		

Observa-se um aumento no coeficiente de correlação para as variáveis DENS, IDAD, COBR, VIVE, ANPO, TIPO, ALTU e RCS, à medida em que aumenta o comprimento de onda na faixa do visível. Este aumento é mais expressivo para o parâmetro TIPO.

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 na resposta espectral das bandas TM, assim como observado por Hall-Konyves (1987) e Karaska et al. (1986). Estes resultados pouco expressivos em termos de correlação com a reflectância parecem estar associados à pouca magnitude de variação do relevo da área estudada.

Do conjunto de 15 (quinze) parâmetros selecionados para esta análise, 7 (sete) são correlacionados com os valores de reflectância na banda TM1: ANPO, ALTU, IDAD, COBR, TIPO, DECL e DENS (Tabela 4.3). Os parâmetros ANPO, ALTU, IDAD e COBR apresentam maiores correlações com valores de reflectância, nesta banda.

ANPO apresenta moderada correlação positiva com reflectância na banda TM1. Talhões com podas recentes apresentam geralmente, menor percentagem de cobertura por árvores de café, e também maior percentagem de cobertura nas entrelinhas com matéria orgânica (folhas, ramos e galhos de café em decomposição e ervas daninhas secas). Esta correlação positiva deve-se ao aumento da reflectância

com a redução da biomassa verde, conforme encontrado também por Butera (1986), Franklin (1986) e Covre (1989). Além da redução da biomassa verde, a redução de área sombreada devido à menor altura, pode estar contribuindo para o aumento de reflectância, conforme encontrado por Vinogradov (1969), citado por Colwell (1974).

Observa-se, pela Figura 4.3a, que há uma grande variabilidade da reflectância em função de um mesmo ano de poda, a qual é explicada pela influência de outros parâmetros. Como exemplo, tomam-se os pontos F e G, os quais sofreram poda no ano de 1987. O ponto F, correspondente ao talhão 14 e o ponto G, correspondente ao talhão 57, possuem reflectância de 3,4 e 1,7, respectivamente. O ponto G, apresenta duas características fundamentais que justificam a baixa reflectância quando comparado ao ponto F, quais sejam: altura e percentagem de cobertura do terreno por árvores três vezes maior que a do ponto F. Portanto, a reflectância no ponto G é dominada basicamente por reflectância da planta e área sombreada do substrato, enquanto que a reflectância para o ponto F é dominada pelo substrato iluminado, com o adicional de ter sido efetuada a calagem superficialmente, o que teoricamente aumenta a reflectância.

Analisando ainda a Figura 4.3a, observa-se que os pontos A, B, C, D, E e F, correspondentes aos talhões 135, 134, 107, 106, 11 e 14, respectivamente, apresentam valores de reflectância atípicos (maiores) quando comparados aos demais talhões, considerando os respectivos anos de poda. De maneira geral, dois são os fatores determinantes para este fato: menor ALTU e menor COBR, já comentados anteriormente. Para os talhões 106 e 107, não se observa coerência quanto a este raciocínio. Provavelmente tenha havido erro na localização destes

pontos no momento da coleta do números digitais sobre a imagem.

Observa-se pelas Figuras 4.3bc, que ALTU e IDAD, apresentam uma moderada a fraca correlação negativa com reflectância. A tendência de redução da reflectância com o aumento da altura das plantas está associado ao aumento de sombras, o que comprova as observações de Heimes (1977), Colwell (1974) e Covre (1989). Estes relacionamentos, apresentam uma grande dispersão, que pode estar associada à influência de outros parâmetros na reflectância e que estão intercorrelacionados com IDAD e ALTU. O ponto A, representado nas Figuras 4.3bc, correspondente ao talhão 133, apresenta-se muito discrepante em relação aos demais talhões. A análise desta amostra levou à conclusão que este valor deve ter sido mal localizado na imagem. Portanto, este ponto (amostra) deve ser desconsiderado.

O parâmetro COBR, que teoricamente representa os parâmetros ANPO, IDAD, ALTU e TIPO é a quarta variável melhor correlacionada com reflectância na banda TMI. Teoricamente, esta variável deveria ser a melhor correlacionada com reflectância, assim como ocorre para a cultura de citrus (Covre, 1989), visto que ela parece agregar as características deste grupo de variáveis que são os parâmetros decisivos na influência da reflectância. No entanto, dada a fenologia do cafeeiro, aliada às práticas culturais, tem-se algumas vezes a percentagem de cobertura associada a um alto vigor vegetativo e outras vezes associada a baixo vigor vegetativo.

A cultura do café pode ser considerada bianual do ponto de vista da produção. Ou seja, um ano a planta produz muito e, em função disto, fica debilitada,

perdendo muitas folhas. No ano seguinte a planta inicia sua recuperação, enfolhando-se e tendo crescimento de ramos e galhos. Assim, a cultura quando em idade produtiva apresenta-se, no período de inverno, em anos alternados enfolhada (bom vigor vegetativo) e em anos alternados desfolhada. Este fato, como também a variabilidade das condições do substrato leva a uma variação nos valores de reflectância, para o qual o parâmetro COBR não se mostra predominantemente representativo, em função dele estar agregando poucas informações relativas à fitomassa e sombreamento.

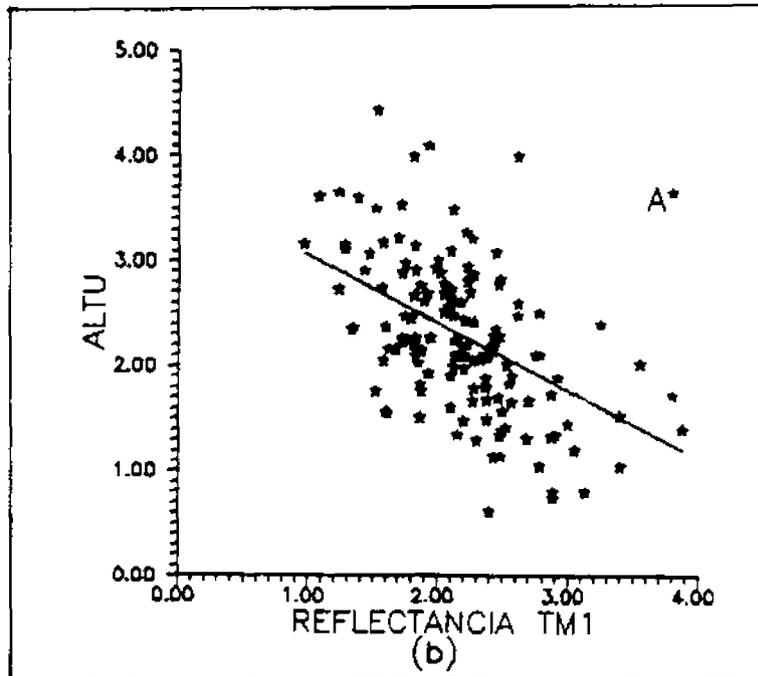
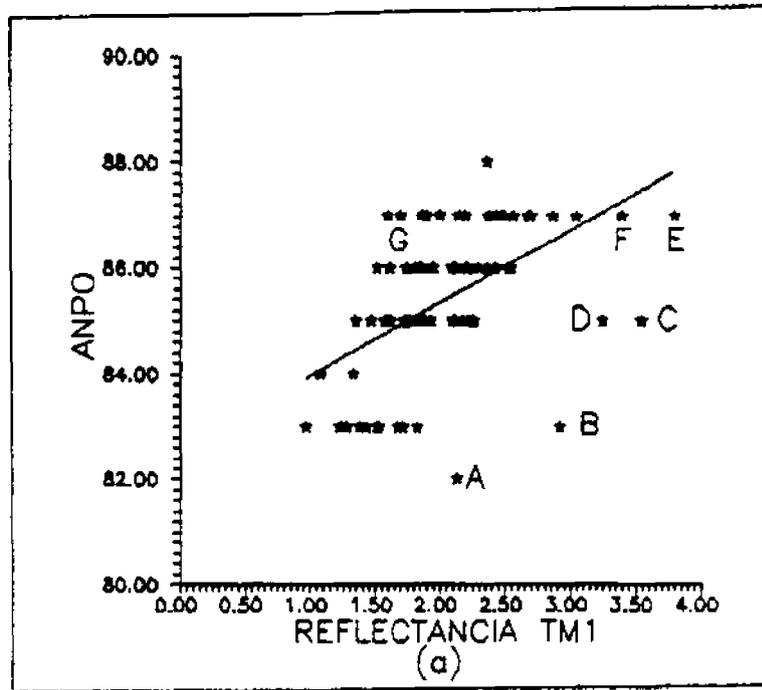


Fig. 4.3 - Relacionamento entre a reflectância na banda TM1 e os parâmetros (a)ANPO, (b)ALTU, (c)IDAD e (d) COBR.

(continua)

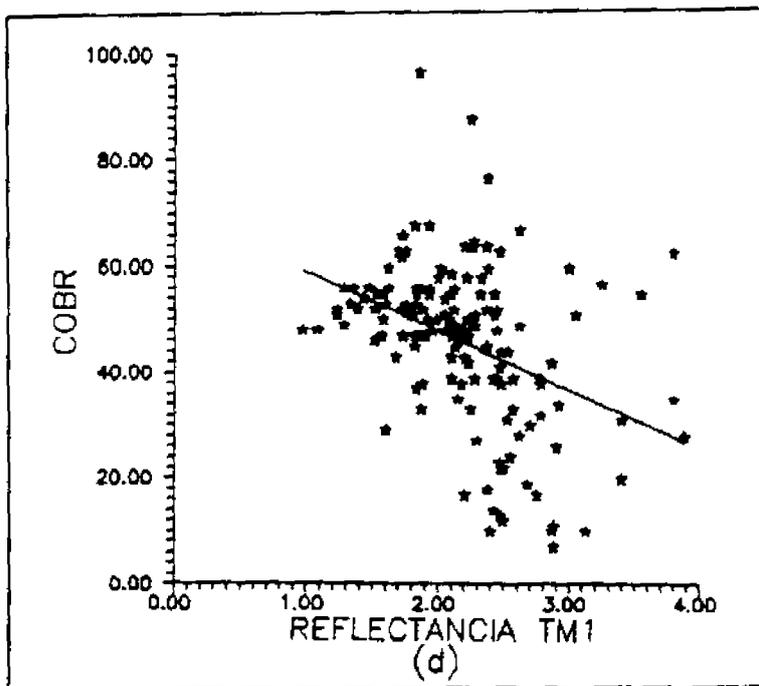
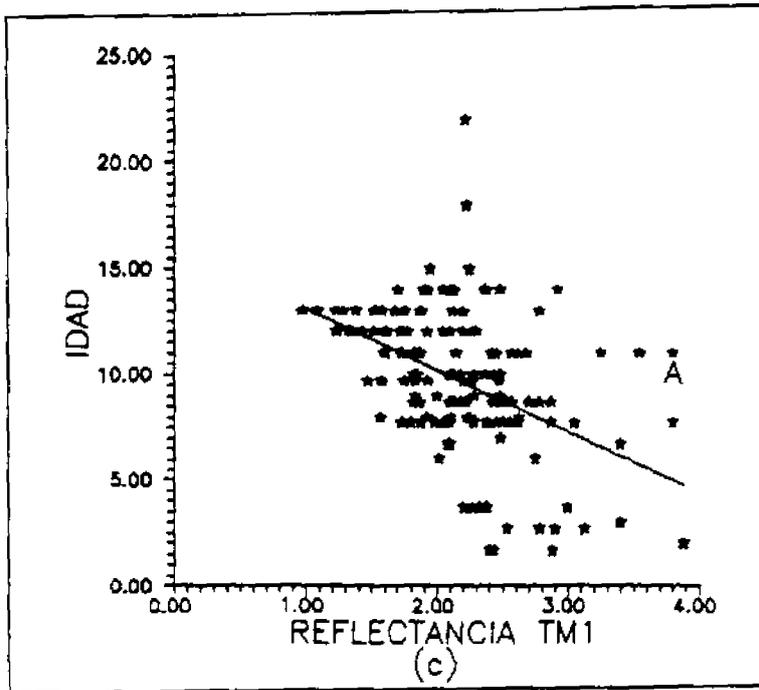


Fig. 4.3 - Conclusão.

Os parâmetros TIPO, DECL e DENS, apresentaram fracas correlações ( $r = -0,34, 0,32$  e  $0,28$ , respectivamente) com a reflectância na banda TM1. Com relação aos parâmetros CULT, ORFI, VIVE, ORDE, GRAD, SUER, SUSR e RCS as correlações encontradas não foram significativas.

Para a banda TM2 os parâmetros ALTU, ANPO, IDAD e COBR, apresentaram, nesta sequência, as maiores correlações com a reflectância. Observa-se que há pouca diferença em relação à banda TM1, ocorrendo apenas uma inversão entre a primeira (ALTU) e a segunda (ANPO) variável melhor correlacionada, e correlações um pouco mais altas. Esta similaridade dos relacionamentos entre os parâmetros culturais e a reflectância para as bandas TM1 e TM2 deve-se à alta correlação entre valores de reflectância em tais bandas (Tabela 4.2).

A correlação relativamente alta e negativa entre ALTU e reflectância na banda TM2 demonstra que para a cultura do café o sombreamento é decisivo na reflectância do dossel. Em segundo lugar, os parâmetros melhores correlacionados são ANPO e IDAD, os quais, além de representar quantidade de fitomassa estão relacionados a ALTU, confirmando a consideração feita para a banda TM1, de que ao aumento da cobertura do terreno por árvores, corresponde um aumento na proporção de sombras e conseqüente redução de reflectância, conforme constatado por Heimes (1977) e Colwell (1974).

Para esta banda (TM2) o parâmetro TIPO apresenta correlação negativa um pouco maior que para a banda TM1. Este resultado reafirma ainda mais a teoria de que o sombreamento e a cobertura são parâmetros de

influência decisiva na reflectância, pois tipo de poda está diretamente relacionado à altura e à cobertura do terreno por árvores.

Os parâmetros DENS, VIVE, DECL, e RCS, também são correlacionados com a reflectância na banda TM2, porém apresentam baixas correlações ( $r = 0,31, -0,17, 0,25$  e  $0,35$ , respectivamente).

A Figura 4.4 apresenta o relacionamento entre os parâmetros ALTU, ANPO, IDAD e COBR com a reflectância TM2.

Observa-se pela Figura 4.4a, que ALTU possui uma correlação negativa moderada a forte com a reflectância na banda TM2. Existe uma variabilidade relativamente alta dos dados devido à influência de outros parâmetros. Por exemplo, os pontos A e B, correspondentes aos talhões 74 e 99, respectivamente, apesar de possuírem valores de altura próximos (1,38m e 1,55m, respectivamente), o ponto A, apresenta valor de reflectância duas vezes maior que o ponto B. O ponto B, apesar de possuir pequena altura, devido à execução de poda em 1986, possui 60% de cobertura do terreno por árvores de café (COBR). Além disso, apresenta VIVE muito alto. O ponto A, por sua vez, apresenta cobertura do terreno (COBR) de 28% e VIVE médio. Na verdade, o parâmetro ALTU, é o mais representativo de um conjunto de parâmetros (por exemplo: sombra, COBR) que estão influenciando a reflectância.

O ponto C, referente ao talhão 133, da mesma forma que para a banda TM1, apresenta-se altamente discordante, não havendo uma explicação lógica. Este fato pode estar associado a um erro na localização deste ponto sobre a imagem levada a campo para orientação.

O parâmetro ANPO apresenta o segundo maior coeficiente de correlação com reflectância, no entanto há uma grande variabilidade dos dados (Figura 4.4b). Esta variabilidade é devida à influência de outros parâmetros. Semelhantemente à banda TM1, alguns pontos (A, B, C, D, E, F, G) apresentam-se deslocados da relação observada para a maioria dos pontos. Para a banda TM2 são válidas as mesmas considerações.

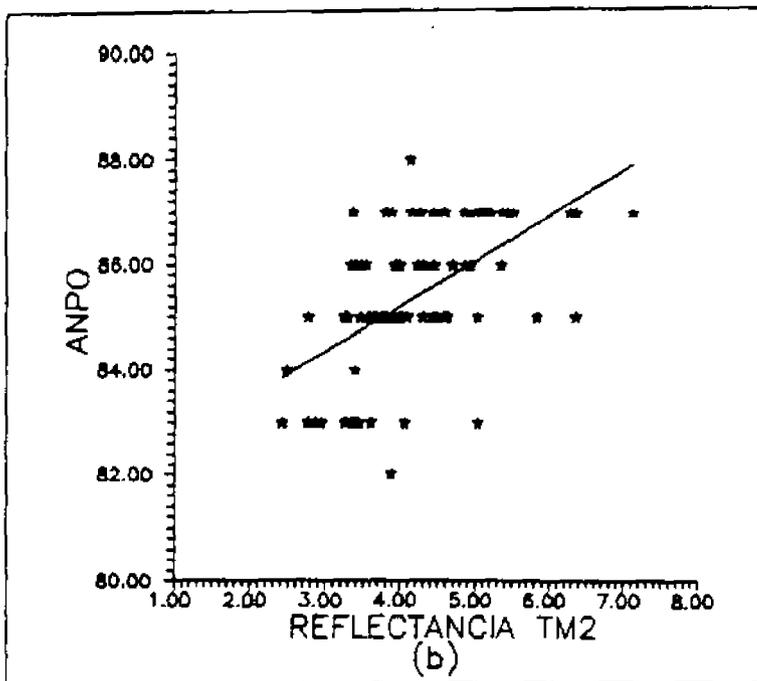
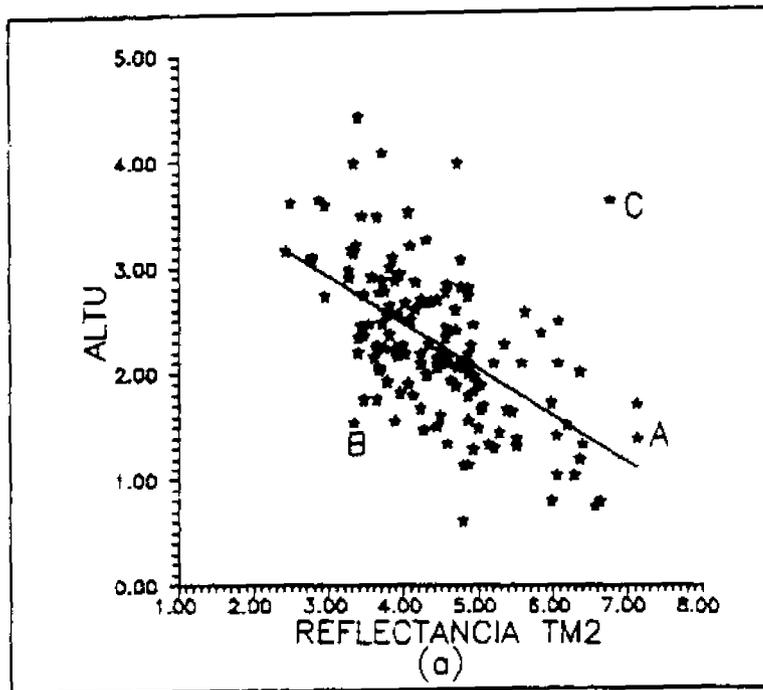


Fig. 4.4 - Relacionamento entre a reflectância na banda TM2 e os parâmetros (a) ALTU, (b) ANPO, (c) IDAD e (d) COBR.

(continua)

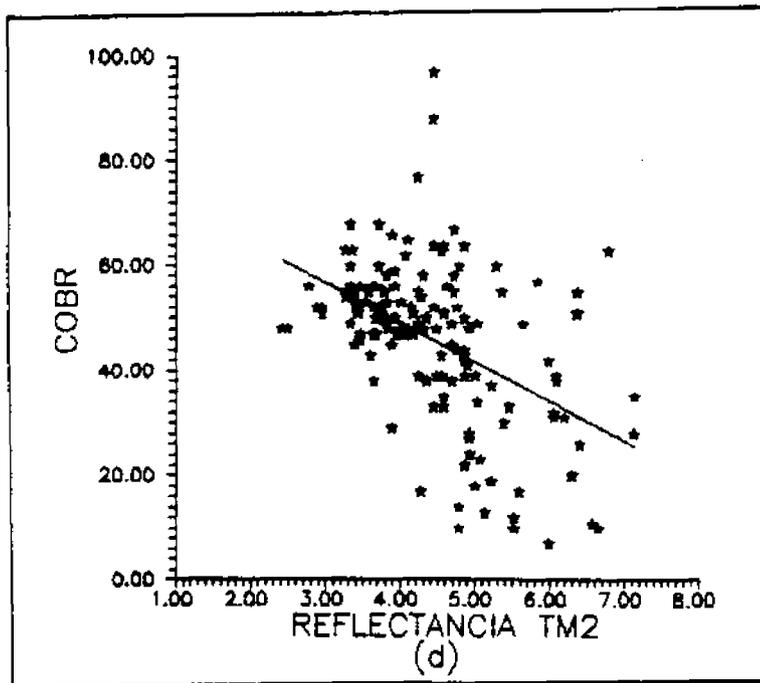
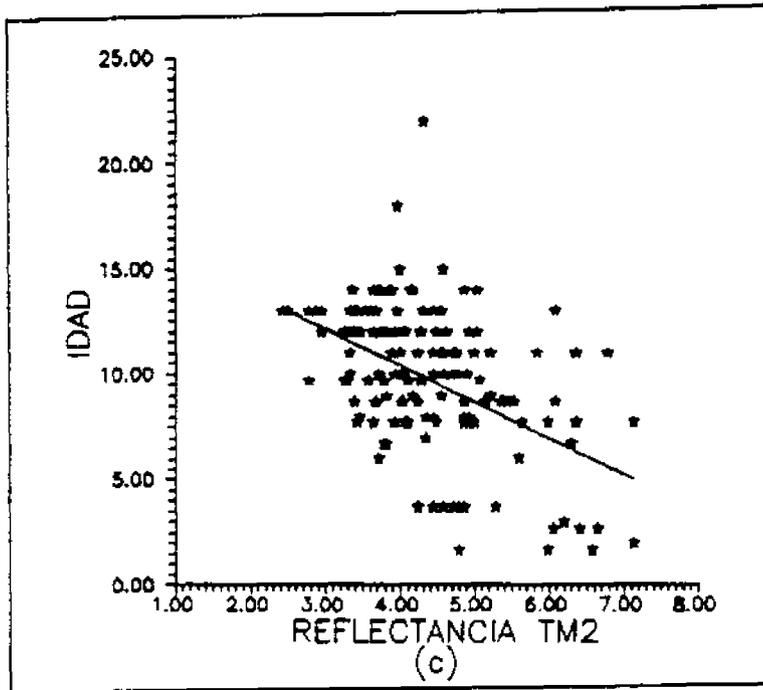


Fig. 4.4 - Conclusão.

IDAD e COBR repetem o padrão observado na banda TM1, já discutidos, porém são mais bem correlacionados com a reflectância na banda TM2.

Para a banda TM3, nove parâmetros foram significativamente correlacionados com reflectância (Tabela 4.3), sendo estes, os mesmos correlacionados com a banda TM2. Observa-se pequeno aumento nos coeficientes de correlação em relação à banda TM2, sendo que a sequência de parâmetros mais bem correlacionados com reflectância alteram-se apenas entre o terceiro (IDAD) e quarto (COBR), onde os parâmetros COBR e TIPO passam a ser o terceiro e quarto melhores correlacionados, respectivamente.

Verificam-se moderadas correlações negativas entre os valores de reflectância e os parâmetros ALTU e COBR, resultados estes condizentes com o encontrado por Covre (1989) para a banda TM3, havendo contudo uma inversão na sequência de importância devido provavelmente às características de espaçamento, estrutura do dossel e fenologia, que diferem da cultura de Citrus. ANPO foi a segunda variável mais bem relacionada com reflectância, o que ratifica a observação de que esta variável influencia as variáveis COBR e ALTU, as quais por sua vez relacionam-se com a reflectância.

A Figura 4.5 apresenta os relacionamentos entre os parâmetros ALTU, ANPO e COBR com reflectância na banda TM3.

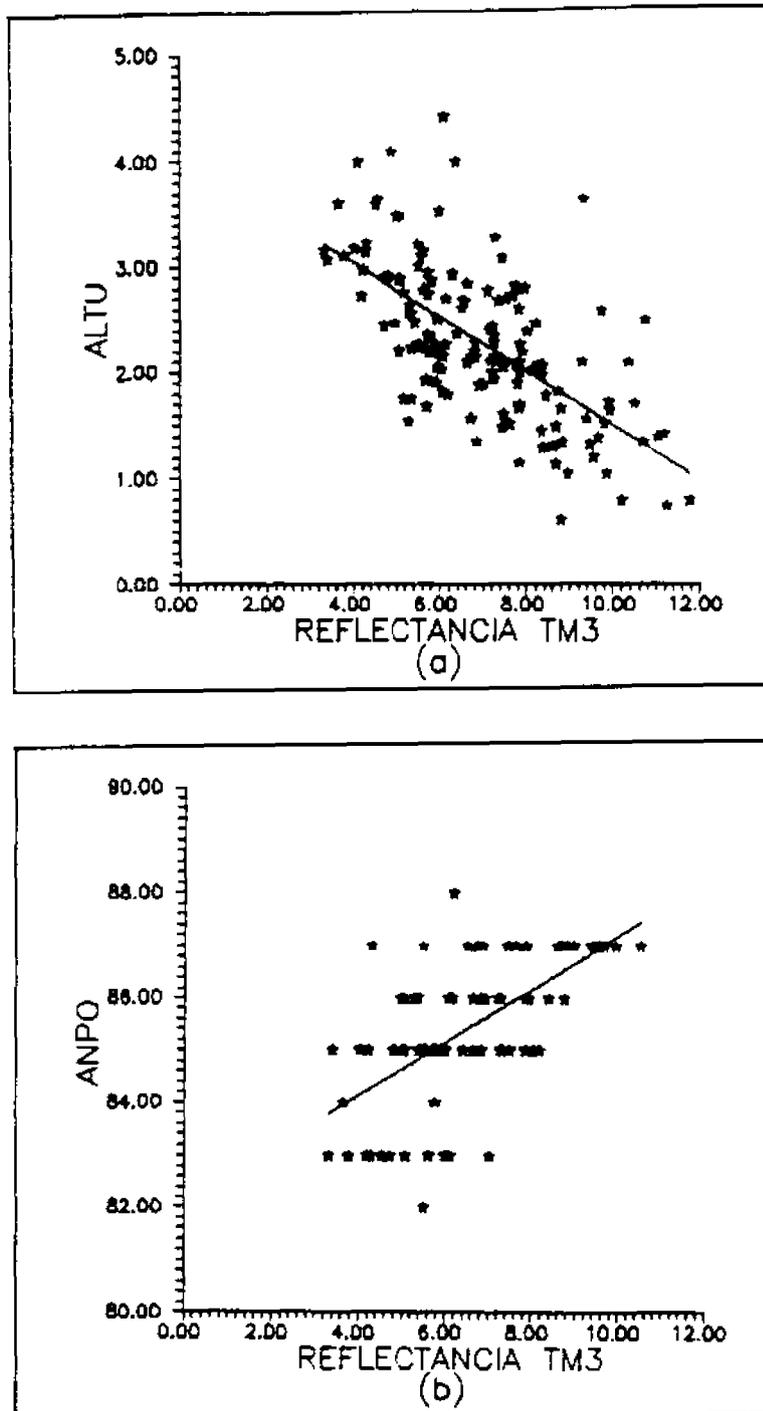


Fig. 4.5 - Relacionamentos entre a reflectância na banda TM3 e os parâmetros (a)ALTU, (b)ANPO, (c)COBR.  
(continua)

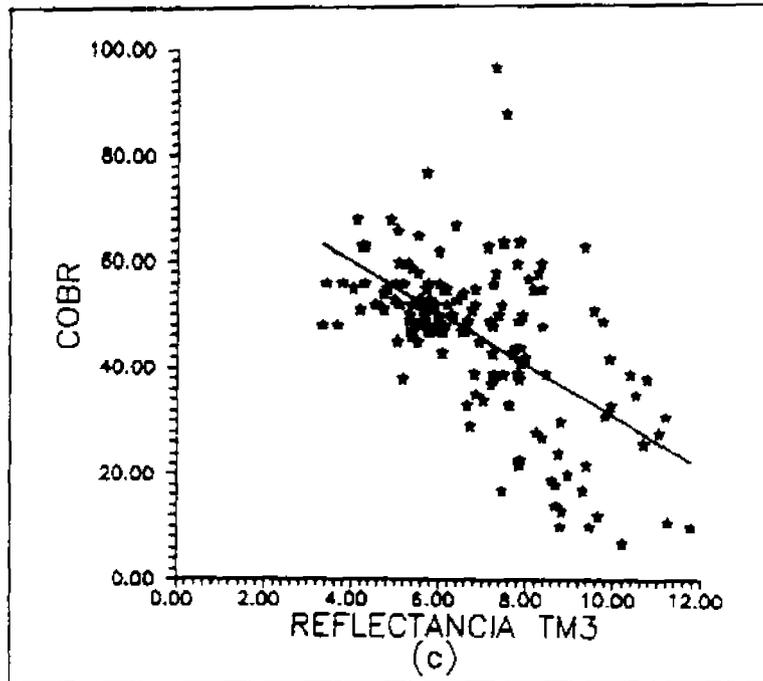


Figura 4.5 - Conclusão.

Observa-se pela Figura 4.5a que o parâmetro ALTU apresenta um correlacionamento linear negativo com a banda TM3 mais ajustado em comparação às bandas TM1 e TM2. Quanto maior a altura das plantas, maior a quantidade de fitomassa e sombreamento, e menor a reflectância do dossel na banda TM3. No entanto, permanece a variabilidade dos dados justificada pelo intercorrelacionamento deste com outros parâmetros influenciadores na reflectância.

O parâmetro ANPO (Figura 4.5b), apresenta correlação linear positiva com reflectância, indicando que quanto mais recente o ano de poda, em geral há menor altura, menor fitomassa, menor sombreamento, maior exposição do substrato, tudo isso levando a um aumento da reflectância, conforme constatado por Covre (1989).

Com relação ao parâmetro RCS, observa-se uma correlação positiva de 0,42 com reflectância na banda TM3, indicando que este parâmetro contribui para a reflectância nesta banda. Quando comparado com o parâmetro SUSR (porcentagem de solo exposto), verifica-se que não ocorre o esperado, ou seja, correlação similar entre estes dois parâmetros (RCS e SUSR) e reflectância na banda TM3. Este fato mostra que as características superficiais do solo (cor, textura, composição química, etc) influenciam decisivamente a reflectância do substrato e conseqüentemente isto contribui para a variabilidade na reflectância do dossel, na faixa espectral do vermelho.

Os parâmetros COBR (Figura 4.5c) e TIPO mostram-se correlacionados negativamente com reflectância, apresentando também, grande dispersão dos dados.

Com exceção do parâmetro DECL todos os demais apresentam um aumento (em valor absoluto) do coeficiente de correlação à medida que aumenta o comprimento de onda, dentro do espectro do visível. Observa-se menor dispersão dos dados para a banda TM3, quando comparada às bandas TM1 e TM2. Este resultado indica que a reflectância da banda TM3 pode ser melhor explicada por este conjunto de parâmetros.

Com relação à banda TM4, quatro parâmetros apresentaram-se correlacionados com reflectância nesta banda: VIVE, GRAD, SUSR e RCS.

O parâmetro VIVE, na verdade representa o quanto a planta está enfolhada ou desfolhada, tendo relação direta com o Índice de Área Foliar (IAF) e biomassa verde. Assim sendo, a correlação moderadamente positiva entre reflectância na banda TM4 com VIVE e a ausência de

correlação com percentagem de cobertura (COBR), parece indicar que mais importante que a percentagem de cobertura, é a densidade de massa foliar verde, no infravermelho próximo.

Inúmeros autores (Butera, 1986; Danson, 1987; entre outros) chegaram a resultados semelhantes, ou seja, não correlacionamento entre porcentagem de cobertura do terreno pelas plantas e reflectância na faixa do infravermelho próximo. Dado que o parâmetro VIVE possui correlação com o IAF, pode-se dizer que estes resultados obtidos encontram-se em conformidade com aqueles encontrado por Ahlrichs e Bauer (1983), onde os autores concluem que a faixa espectral do infravermelho próximo é importante na caracterização da variação do IAF verde.

Para esta banda, o parâmetro ALTU não se mostrou correlacionado com reflectância, estando este resultado em conformidade com o encontrado por Covre (1989), sendo que a ausência de correlação pode estar, em parte, relacionada ao menor efeito do sombreamento quando comparado às bandas do visível, conforme observado por Colwell (1974).

Analisando a Figura 4.6, observa-se uma dispersão muito grande dos dados correspondentes ao relacionamento entre o parâmetro VIVE e reflectância na banda TM4. Apesar dos dados não evidenciarem uma relação direta dos parâmetros COBR e ALTU com a reflectância na banda TM4, observa-se para alguns talhões a sua influência. Por exemplo, os talhões 25, 69 e 123 (pontos B, C e A, respectivamente, da Figura 4.6) possuem mesmo vigor vegetativo (0 = muito baixo), porém o talhão 69 possui COBR 3,64 vezes maior que o talhão 25 e o talhão 123 possui ALTU

2,36 vezes maior que o talhão 25, o que parece demonstrar sua influência.

Com relação à banda TM5, nove parâmetros mostraram-se correlacionados com a reflectância (Tabela 4.3), na seguinte ordem decrescente: ANPO, ALTU, IDAD, DENS, TIPO, COBR, VIVE, ORDE e ORF. Tais correlações são, de maneira geral, menores que as correlações observadas para a banda TM3.

O ANPO apresenta moderada correlação positiva com reflectância, a exemplo da banda TM1, valendo portanto a mesma análise para a banda TM5.

ALTU apresentou moderada a fraca correlação negativa com a banda TM5, da mesma forma que verificado para as bandas do visível, confirmando o encontrado por Covre (1989).

Ao contrário do encontrado por Covre (1989), observa-se que o parâmetro COBR não foi o mais bem correlacionado com a reflectância na banda TM5. Por outro lado observa-se que o parâmetro VIVE, apresenta um aumento no coeficiente de correlação, quando comparado às bandas do visível. O aumento de reflectância com a redução do vigor vegetativo, provavelmente está associado à reflectância de ramos e galhos da planta. Dado que existe uma correlação direta entre VIVE e (IAF e biomassa verde), os resultados são condizentes com os encontrados por Ahlrichs e Bauer (1983) onde os autores concluem que a faixa espectral do infravermelho médio é importante na caracterização da biomassa verde.

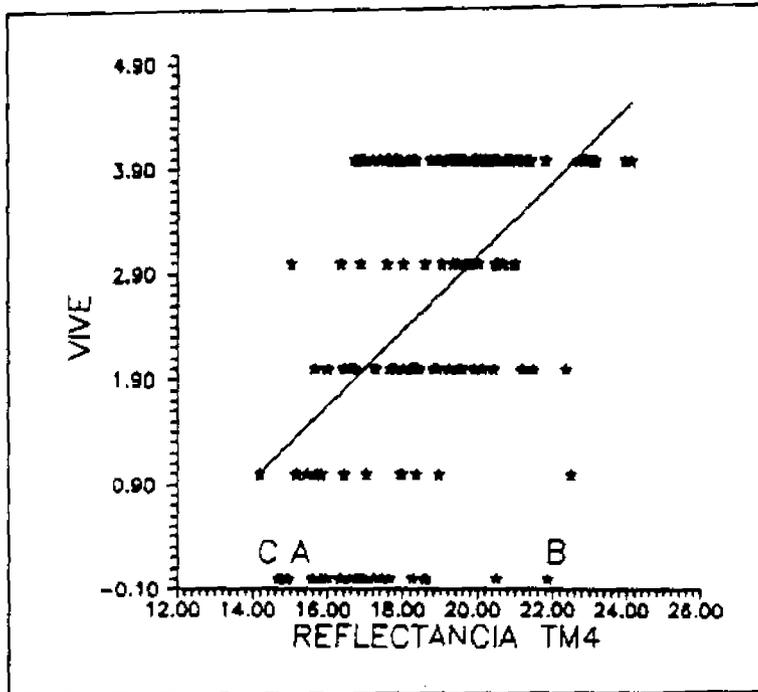


Fig. 4.6 - Relacionamentos entre a reflectância na banda TM4 e o parâmetro VIVE.

O parâmetro "solo" não foi analisado segundo a reflectância composta do solo (RCS), para as bandas TM5 e TM7, visto que o radiômetro (espectrorradiômetro Optronics 740A) utilizado para a obtenção da reflectância possui um espectro de leitura limitado entre 400 nm a 1.100 nm.

A Figura 4.7 ilustra o relacionamento entre os parâmetros ANPO, ALTU e IDAD com a reflectância na banda TM5.

De forma geral as discussões a respeito destes parâmetros, realizados para as bandas TM1, são válidas também nesta banda (TM5), tal a semelhança observada nos relacionamentos entre parâmetros culturais e resposta espectral para as duas bandas (TM1 e TM5). Este fato pode ser explicado em parte pela correlação verificada entre a reflectância na banda TM1 e TM5 ( $r = 0,61$ ).

Referente aos resultados obtidos para a banda TM7, observa-se que os parâmetros ALTU, ANPO, IDAD, COBR, TIPO, VIVE e ORDE foram os que apresentaram correlações significativas com reflectância. Quanto aos parâmetros mais bem correlacionados observa-se que esta banda assemelha-se à banda TM3, diferindo apenas quanto aos valores dos coeficientes de correlação, que na banda TM7 apresentam-se de maneira geral menores, e ao terceiro (IDAD) e quarto (COBR) parâmetros, ocorrendo uma inversão em relação a banda TM3 (COBR, TIPO, respectivamente).

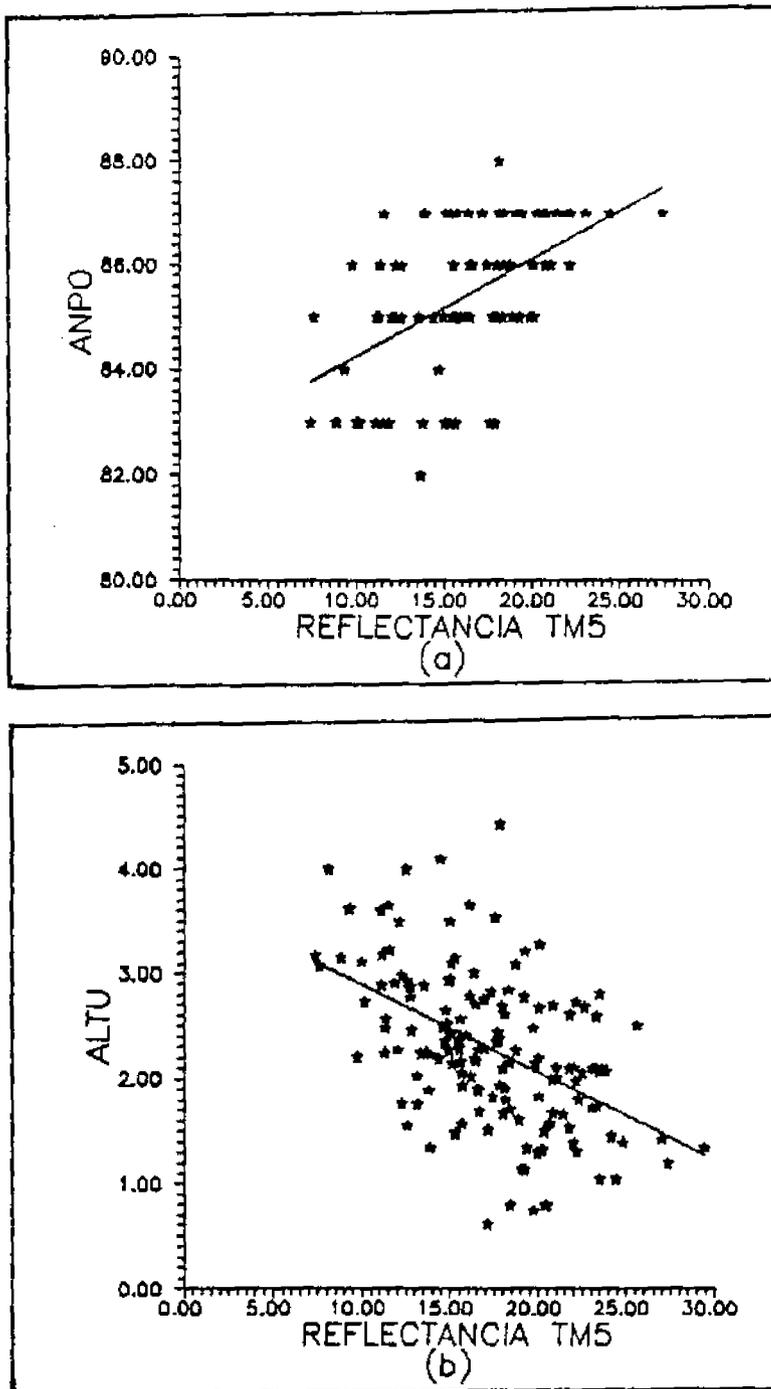


Fig. 4.7 - Relacionamento entre a reflectância na banda TM5 e os parâmetros (a)ANPO, (b)ALTU, (c)IDAD.

(continua)

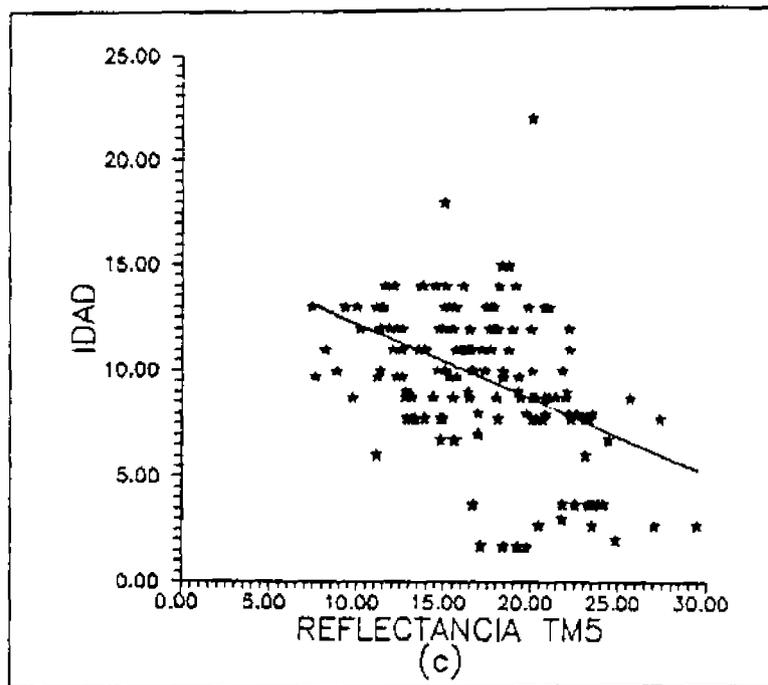


Fig. 4.7 - Conclusão.

A exemplo das bandas TM2 e TM3, a banda TM7 apresenta maior correlação com o parâmetro ALTU, apresentando também uma dispersão relativamente grande dos dados, conforme pode-se observar na Figura 4.8a. Esta dispersão está associada à influência de outros parâmetros na reflectância, como exposto anteriormente para as bandas TM2 e TM3. Assim como para o parâmetro ALTU, os parâmetros ANPO, IDAD e COBR, também apresentam grande dispersão dos dados (Figuras 4.8b,c,d).

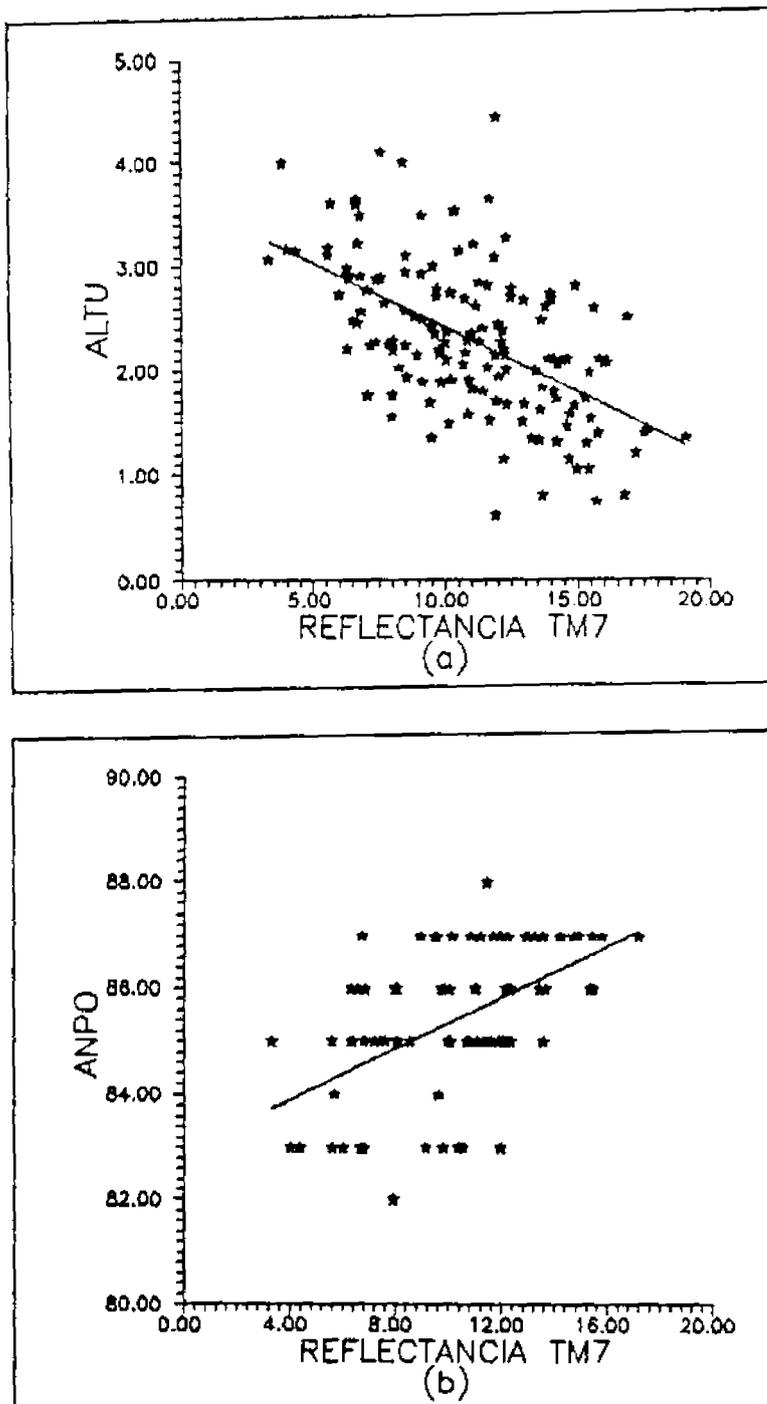


Fig. 4.8 - Relacionamento entre a reflectância na banda TM7 e os parâmetros (a)ALTU, (b)ANPO, (c)IDAD e (d)COBR.

(continua)

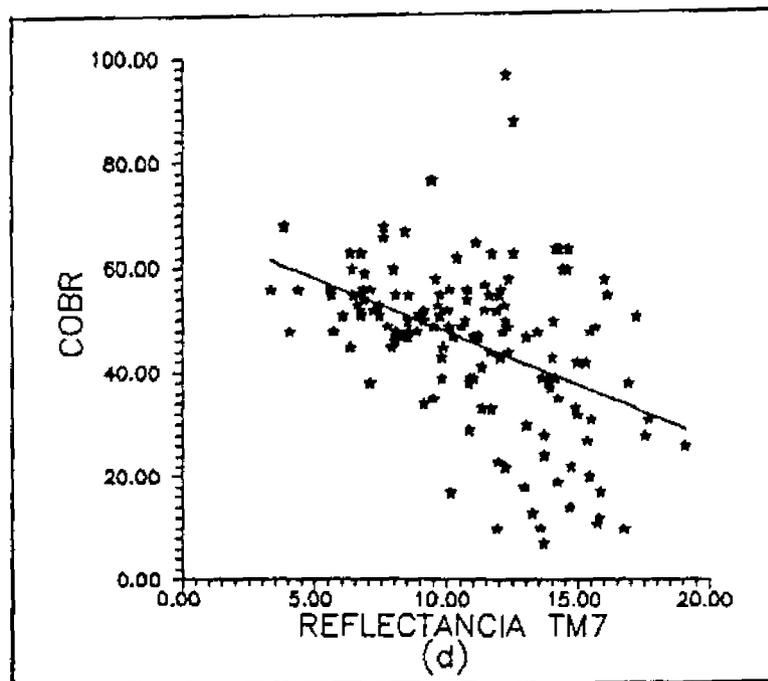
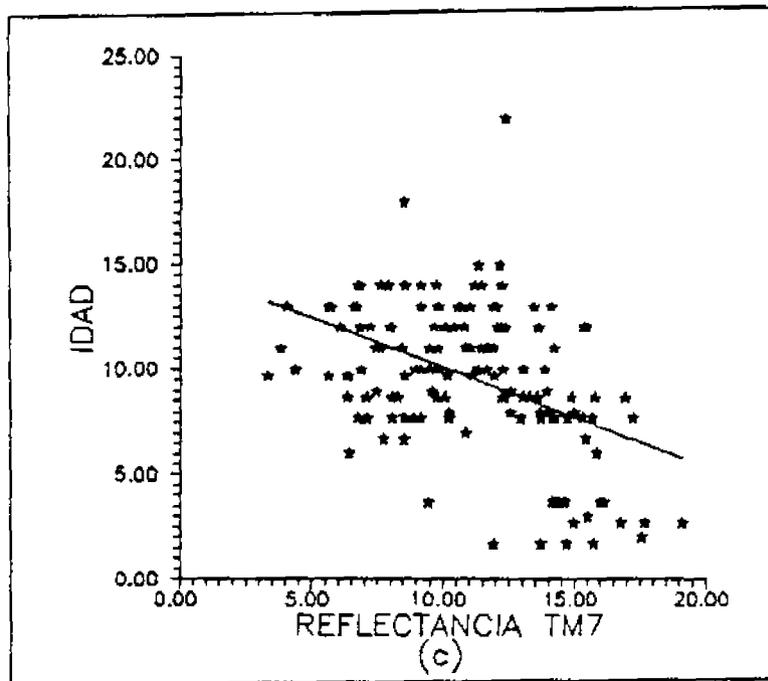


Fig. 4.8 - Conclusão.

Finalizando esta análise de correlação entre parâmetros culturais e reflectância, apresentam-se algumas curvas de reflectância obtidas em campo, as quais evidenciam o efeito do sombreamento na reflectância do dossel cafeeiro (Figura 4.9).

Após estas discussões verificou-se que o parâmetro ALTU, apresentou-se como o mais bem correlacionado com reflectância nas bandas TM2, TM3 e TM7 e, segundo melhor correlacionado nas bandas TM1 e TM5. Este parâmetro apresenta correlações com outros parâmetros (COBR, IDAD, ANPO, TIPO, entre outros) e pode estar representando-os (mesmo que parcialmente) quando correlaciona-se com reflectância.

Alguns autores (Heimes, 1977; Butera, 1986; Covre, 1989) encontraram, para estas bandas, melhor correlação da reflectância com a percentagem de cobertura do terreno. Estes autores atribuíram a redução de reflectância ao aumento da fitomassa e ao sombreamento que acompanha o aumento da cobertura do terreno pelas árvores. Na verdade, o sombreamento que é um fator decisivo na reflectância para as bandas do visível e infravermelho médio, está muito mais correlacionado com altura da planta. Ocorre que, devido ao efeito conjunto da fitomassa mais sombreamento (correlação entre percentagem de cobertura e altura), o parâmetro percentagem de cobertura torna-se o mais bem correlacionado com reflectância em tais bandas. No entanto, para a cultura do café, dada a prática da poda, isto não ocorre, pois tem-se muitas vezes áreas com grande cobertura, mas pouca altura. Este fato evidencia a importância do sombreamento sobre a reflectância, que pode ser confirmada pelas curvas de reflectância obtidas em campo (Figura 4.9).

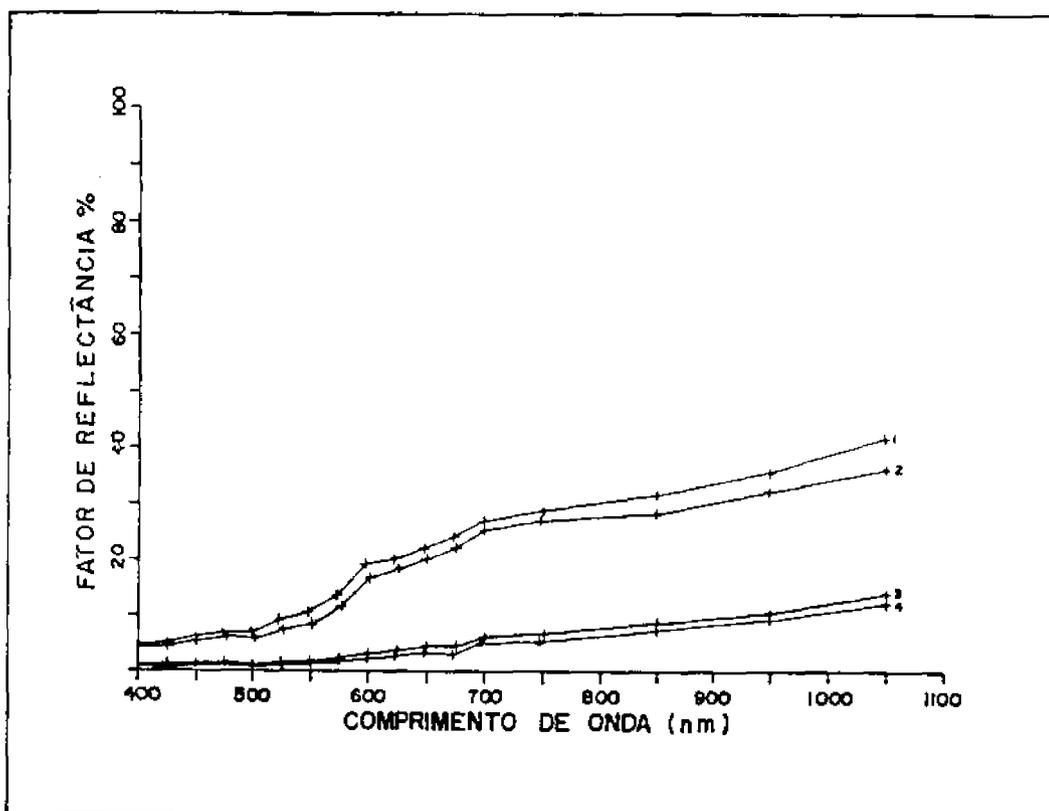


Fig. 4.9 - Curvas de reflectância obtidas em campo: (1) cena representada por 50% de solo exposto e 50% de folhas secas (iluminada); (2) cena representada por 100% de solo exposto (iluminada); (3) cena representada por 100% de solo exposto (sombreada); (4) cena representada por 50% de solo exposto e 50% de folhas secas (sombreada).

A Figura 4.9 apresenta quatro curvas de reflectância do substrato, obtidas em campo. As curvas 2 e 3 correspondem à reflectância do substrato (100% de solo exposto) iluminado e sombreado, respectivamente. Observa-se que a reflectância de solo exposto sombreado é de 3 a 4

vezes menor que a do solo iluminado. O mesmo ocorre entre as curvas 1 e 4, as quais correspondem à reflectância do substrato (50% de solo exposto e 50% de folhas secas), iluminado e sombreado, respectivamente. Fica evidente que independentemente do tipo de substrato, a reflectância é influenciada predominantemente pela porcentagem de área sombreada do substrato.

#### 4.4 - Determinação dos parâmetros culturais significativos quanto à resposta espectral do cafeeiro

Utilizou-se o método de regressão linear múltipla "stepwise" para a determinação dos parâmetros culturais significativos na resposta espectral do cafeeiro. Este método, conforme apresentado no capítulo 3, permite selecionar, dentre o conjunto de variáveis estudadas, um subconjunto de variáveis de maior importância na resposta espectral. Esta seleção de variáveis é executada a partir de alguns critérios pré-estabelecidos, tais como valores de F de inclusão e exclusão e tolerância.

Inicialmente fez-se uma pré-análise da regressão com o conjunto de 15 variáveis (DENS, CULT, IDAD, COBR, ORFI, VIVE, ANPO, TIPO, DECL, ORDE, GRAD, ALTU, SUER, SUSR e RCS) selecionadas através da análise da matriz de correlação, com o intuito de verificar o comportamento dos dados quanto à colinearidade. O resultado obtido nesta pré-análise levou à adoção de um procedimento não esperado, ou seja, à subdivisão em grupos de análise. Ocorre que a análise de regressão foi dificultada pelo fato de haver algumas variáveis (RCS, ANPO e TIPO) com menor número de amostras (79, 88 e 88 respectivamente), em relação às demais variáveis (145). Como o programa estatístico de regressão múltipla utilizado analisa apenas as amostras para as quais foram coletados todos os parâmetros, têm-se

uma redução do número de amostras (35) quando as variáveis RCS, ANPO e TIPO são incluídas em conjunto. Esta redução para um quarto do número de amostras pode comprometer os resultados, tornando-os tendenciosos.

Observa-se pela matriz de correlação (Tabela 4.3), que as variáveis RCS, ANPO e TIPO são significativas em termos de influência na resposta espectral do cafeeiro, para a maioria das bandas TM. Por isso, mesmo reduzindo a confiabilidade dos resultados, elas foram incluídas na análise de regressão. Porém, procurou-se estender a análise para subgrupos de variáveis, incluindo ou não as mesmas, visto que a não inclusão de uma destas variáveis (RCS, ANPO e TIPO) leva a um aumento do número de amostras analisado pelo programa.

Quatro grupos de variáveis foram então analisados:

GERAL1 - inclui o conjunto de 15 variáveis previamente selecionadas pela análise de correlação. Para este grupo são analisadas 35 amostras.

SOLO - exclui as variáveis ANPO e TIPO. São analisadas 44 amostras.

PODA - exclui a variável RCS. São analisadas 64 amostras.

SUBGERAL1 - exclui as variáveis RCS, ANPO e TIPO. São analisadas 116 amostras.

Definidos os grupos, procedeu-se à análise de colinearidade conforme delineado no capítulo 3. A Tabela

4.4 apresenta os valores do número condicional (K), obtidos para cada grupo de análise.

TABELA 4.4

VALORES DO NÚMERO CONDICIONAL (K) POR GRUPO DE ANÁLISE.

GRUPO	N <sup>0</sup> DE AMOSTRAS	N <sup>0</sup> CONDICIONAL (K)
GERAL1	35	127,50
SOLO	44	40,30
PODA	64	98,24
SUBGERAL1	116	13,33

Os valores de K evidenciam que somente o grupo GERAL1, possui moderada a forte colinearidade. Em vista deste fato adotou-se o critério de eliminar as variáveis mais correlacionadas até atingir um valor de k (100).

Para o grupo GERAL1, eliminou-se primeiramente a variável SUSR, a qual apresenta-se correlacionada com RCS1, ao nível de 0.82 (conforme pode ser constatado na Tabela 4.1). Neste caso, o valor de K reduziu-se a 62,88, minimizando significativamente o problema de colinearidade, conforme estabelecem Montgomery e Peck (1982).

Procedeu-se, então, à análise de resíduos. Três grupos (SOLO, PODA, SUBGERAL1) apresentaram casos de valores extremos ou "outliers".

Para o grupo PODA, foi identificado o problema de valores extremos para três bandas (TM1, TM2 e TM3). Os valores extremos, quanto à reflectância, foram observados para os talhões 106 e 107 na banda TM1, conforme ilustrado na Figura 4.10a; talhões 106 e 107 na banda TM2 e talhão 04 na banda TM5.

Para o grupo SOLO, a análise do gráfico de resíduos evidenciou dois casos de valores extremos, quanto à valor de reflectância nas bandas TM1 e TM2, observado no talhão 133. A Figura 4.10b exemplifica o caso de valor extremo ocorrido na banda TM1, talhão 133 (ponto A).

Para o grupo SUBGERAL1, foi identificado o problema de valores extremos nas bandas TM1, TM2, TM3 e TM5. Para este grupo, os talhões que se apresentaram com valores extremos quanto à reflectância foram: talhão 133, nas bandas TM1 e TM2; talhões 19 e 133 na banda TM3; talhão 19 na banda TM5.

Os talhões que se apresentaram com valores de reflectância anormal (valores extremos) foram excluídos da avaliação como recomendam os procedimentos relatados em Weisberg (1985).

Quanto aos resultados obtidos (Tabela 4.5) observa-se que, de modo geral, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para os quatro grupos de análise são relativamente baixos. Verifica-se que há diferenças marcantes na sequência de parâmetros culturais explicativos da variação na reflectância espectral de um grupo para outro. Este fato está fundamentalmente associado ao número de amostras que compõem cada grupo. Porém, pode também estar associado à exclusão de certos parâmetros para alguns grupos.

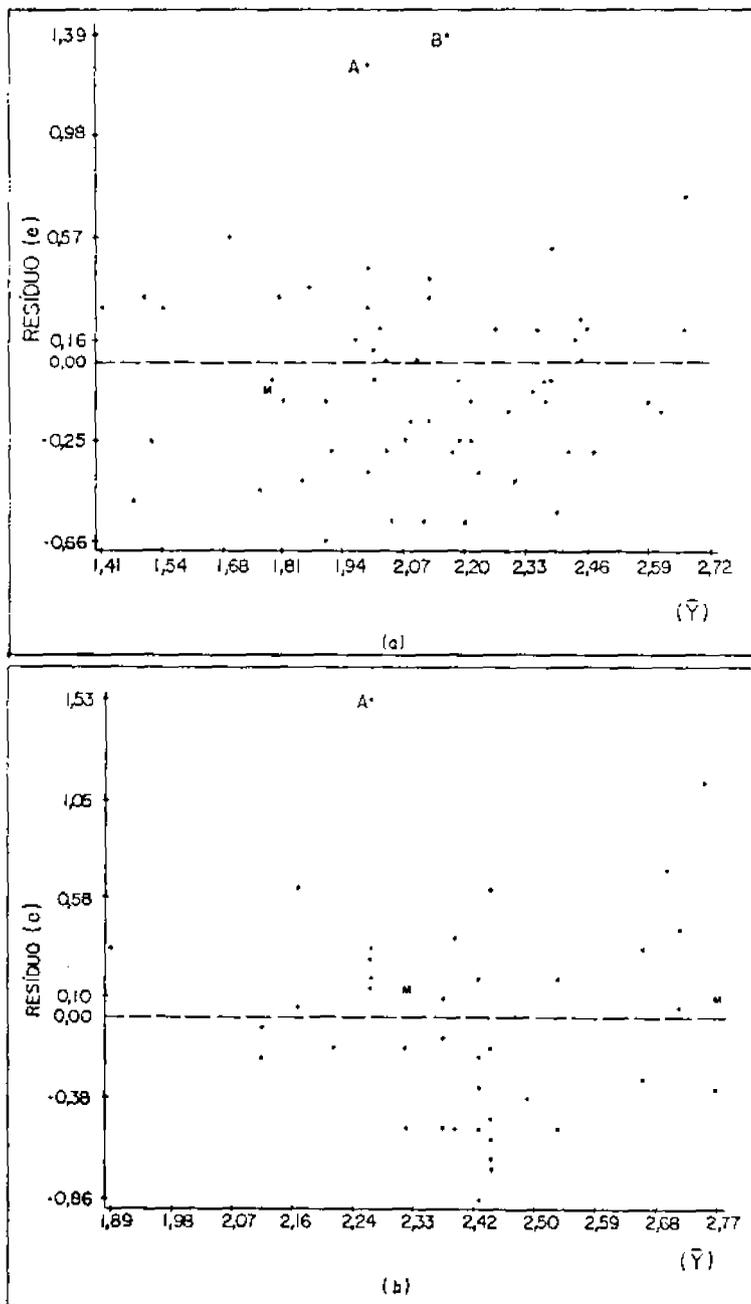


Fig. 4.10 - Gráfico dos resíduos ( $e$ ) versus valores de reflectância estimados ( $\hat{Y}$ ): (a) valores extremos quanto a reflectância na banda TM1 do grupo PODA, talhões 106 e 107 (pontos A e B, respectivamente); (b) valor extremo, quanto à reflectância na banda TM1 do grupo SOLO, talhão 133 (ponto A).

TABELA 4.5

SUMÁRIO DOS RESULTADOS DO PROCEDIMENTO "STEPWISE" PARA OS QUATRO GRUPOS DE ANÁLISE E BANDAS DO TM.

GRUPO BANDA	CERALLI n=35 PARAM. F.PARC. R <sup>2</sup>	SOLO n=43 PARAM. F.PARC. R <sup>2</sup>	PODA n=61 PARAM. F.PARC. R <sup>2</sup>	SUBGERALDI n=111 PARAM. F.PARC. R <sup>2</sup>
TM1	COBR 25,83 0,59 GRAD 9,57 ANPO 4,99	ALTU 18,24 0,37 CULT 3,87	COBR 28,75 0,65 ANPO 17,03 GRAD 6,08 SUSR 5,18 ORFI 4,40	IDAD 13,02 0,46 COBR 11,49 SUSR 10,43 ALTU 3,53
TM2	COBR 10,71 0,67 ALTU 8,29 TIPO 4,74	ALTU 26,60 0,51 ORFI 5,10 CULT 3,90	ALTU 77,57 0,65 CULT 9,34 SUSR 8,99 ORFI 8,14	ALTU 13,86 0,57 IDAD 10,19 ORFI 10,06 COBR 8,70 VIVE 4,77
TM3	COBR 49,56 0,73 ANPO 6,82 ORFI 4,75	COBR 11,78 0,57 ALTU 6,71	ALTU 16,57 0,77 ORFI 16,48 COBR 6,63 SUSR 6,63 ANPO 4,43	COBR 18,70 0,64 ALTU 17,06 ORFI 11,45 IDAD 6,95 VIVE 6,37
TM4	GRAD 14,02 0,49 ORDE 9,51 IDAD 5,09 SUSR 4,60	VIVE 20,89 0,43 SUSR 10,93	IDAD 16,45 0,36 GRAD 11,02 ORDE 6,76 ORFI 4,49	VIVE 48,21 0,38 SUSR 3,92 GRAD 3,83
TM5	COBR 14,54 0,31	ALTU 9,68 0,29 VIVE 5,35	ORFI 17,66 0,57 SUSR 9,41 ANPO 8,96 ALTU 5,33 ORDE 5,27	ALTU 42,63 0,45 ORFI 15,22 VIVE 11,20 SUSR 10,32 ORDE 5,76
TM7	COBR 16,62 0,55 ORFI 5,83 ANPO 4,91	ALTU 18,04 0,47 VIVE 6,85 ORFI 4,82	ORFI 18,47 0,60 ALTU 12,81 ANPO 6,60 SUSR 4,87	ALTU 21,49 0,53 ORFI 14,06 VIVE 11,04 COBR 7,19 SUSR 4,22

Para o grupo GERAL1 onde são analisados 14 parâmetros, têm-se um conjunto de 35 amostras. Este número de amostras corresponde a um quarto do número analisado na matriz de correlação. Apesar de não apresentar coerência com os resultados alcançados com a matriz de correlação, obteve-se para este grupo resultado muito similar com aquele encontrado por Covre (1989), onde o parâmetro cobertura do terreno por árvores de citrus evidenciou ser o parâmetro mais explicativo da variação na reflectância, para as bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7. Para a banda TM4, o parâmetro GRAD destacou-se como o mais explicativo da variação na reflectância, resultado este também coerente com aquele encontrado por Covre (1989), visto que este parâmetro está relacionado ao substrato.

Os coeficientes de determinação são maiores para as bandas do visível, enquanto que a banda TM5 apresentou o menor coeficiente (0,31). Deve-se lembrar que para as bandas TM5 e TM7 o parâmetro solo não foi analisado para nenhum dos grupos, dada a forma como foi caracterizada esta variável. Apesar de algumas bandas terem apresentado baixos coeficientes de determinação, todos são estatisticamente significativos ao nível de 99%.

Os parâmetros ANPO e ALTU, que se mostraram mais bem correlacionados com reflectância, aqui aparecem apenas em segundo e terceiro plano: ANPO para as bandas TM1 e TM3 e, ALTU para a banda TM2.

Os resultados alcançados para este grupo, quando comparados com aqueles obtidos com a matriz de correlação evidenciam a tendenciosidade que pode haver quando se têm um pequeno conjunto de amostras ou quando se analisam subgrupos de amostras.

Para o grupo SOLO, onde os parâmetros ANPO e TIPO são excluídos da análise e têm-se 43 amostras, observa-se maior coerência com os resultados alcançados com a matriz de correlação.

O parâmetro ALTU destacou-se como o mais explicativo da variação na reflectância para as bandas TM1, TM2, TM5 e TM7. Para a banda TM3, o parâmetro COBR aparece em primeiro lugar e em segundo ALTU. Para a banda TM4, o parâmetro VIVE e SUSR apresentaram-se como explicativos da variação na reflectância.

Para este grupo os coeficientes de determinação apresentaram-se menores para todas as bandas estudadas, quando comparados aos obtidos no grupo GERAL1. De maneira geral, os F parciais também foram menores. Este grupo inclui um subconjunto de amostras totalmente diferente daquele do grupo GERAL1.

Quando se comparam os resultados do grupo SOLO, que exclui os parâmetros ANPO e TIPO, aos obtidos com o grupo GERAL1 fica evidente a importância dos parâmetros ANPO e TIPO na explicação da variação na resposta espectral. Apesar deles não se apresentarem como os mais explicativos no grupo GERAL1, os mesmos parecem contribuir implicitamente, através de outros parâmetros, para a explicação na variação da resposta espectral.

Para o grupo PODA, onde um conjunto de 61 amostras é analisado para treze variáveis, incluindo ANPO e TIPO, observam-se resultados satisfatórios quando comparados à análise da matriz de correlação (Tabela 4.3). Neste grupo não é analisado o parâmetro RCS, porém o mesmo apresenta-se parcialmente representado pelo parâmetro SUSR,

o qual refere-se à percentagem de solo exposto nas entrelinhas do cafeeiro.

Neste grupo, o parâmetro ALTU destacou-se como o mais explicativo na variação da reflectância para as bandas TM2, TM3, enquanto que, para as bandas TM5 e TM7 destacou-se o parâmetro ORFI. Para as bandas TM1 e TM4 os parâmetros COBR e IDAD apresentaram-se como os mais explicativos, respectivamente. Os  $F$  parciais apresentaram-se, de maneira geral, maiores que os dos grupos GERAL1 e SOLO.

Para a banda TM4, obteve-se o menor coeficiente de determinação (0,36), quando comparado aos outros grupos de análise. Neste grupo o parâmetro IDAD apresenta-se como o mais explicativo da variação na reflectância do dossel cafeeiro. A mudança na sequência de variáveis explicativas da reflectância na banda TM4 é devida principalmente à grande variabilidade da reflectância, influenciada pelas condições de enfolhamento do cafeeiro e também ao substrato que apresentava-se muito diversificado em termos de composição. Esta variação na sequência de variáveis pode ainda estar associada ao número de amostras, que é diferente para cada grupo.

Para o grupo SUBGERAL1, onde foram analisadas 111 amostras e um conjunto de doze variáveis, apenas a banda TM1 e TM3 apresentaram resultados não coerentes com os apresentados pela matriz de correlação. A banda TM1 apresentou o parâmetro IDAD como o mais explicativo na variação da reflectância, seguido dos parâmetros COBR, SUSR e ALTU, enquanto que a banda TM3 o parâmetro COBR, ALTU, ORFI, IDAD E VIVE com os mais explicativos, nesta ordem.

Para a banda TM4, o parâmetro VIVE aparece como o mais explicativo, com F parcial igual a 48,21, seguido dos parâmetros SUSR e GRAD. Este resultado evidencia, como já discutido no item 4.3, a influência da reflectância dos galhos e ramos do cafeeiro na variação da reflectância (Townshend, 1984) e em segundo lugar o substrato (Covre, 1989).

Para este grupo aparece ainda como parâmetros explicativos em segundo e terceiro plano, COBR, ALTU, ORFI, SUSR, VIVE, IDAD.

Considerando como resultado mais confiável aquele obtido para o grupo SUBGERAL1, dado o número de amostras analisado, têm-se que a altura da planta através de sua múltipla representatividade de outros parâmetros constitui o principal parâmetro na variação da reflectância. Este parâmetro representa indiretamente sombreamento e fitomassa, assim os como parâmetros COBR e IDAD (fitomassa) e ORFI (sombreamento).

De maneira geral, pode-se constatar que as variáveis relacionadas com a planta (ALTU, COBR, VIVE, ANPO, TIPO, CULT, IDAD), são as que mais influenciam na variação da reflectância do cafezal. Em segundo lugar têm-se os parâmetros relacionados ao substrato (GRAD, SUSR, RCS, SUER) e por último os parâmetros relacionados a geometria (ORFI, ORDE, DECL).



## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A cultura do café constitui um alvo de resposta espectral complexa do ponto de vista do sensoriamento remoto orbital. Neste estudo procurou-se elucidar alguns aspectos dessa complexidade, utilizando-se dados TM/Landsat-5. Observou-se grande variabilidade na resposta espectral do café, a qual está relacionada aos parâmetros culturais.

De acordo com os resultados e discussões apresentados no Capítulo 4, pode-se concluir que:

- Os parâmetros ANPO e ALTU mostraram-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 do cafezal.
- O parâmetro COBR não se mostrou o mais bem correlacionado com reflectância. Este fato parece estar associado à sua pouca representatividade da fitomassa, visto o baixo vigor vegetativo apresentado pelo cafezal no período de estudo e os efeitos de poda.
- O parâmetro RCS apresentou 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.

- Com referência à banda TM4, poucos parâmetros apresentaram correlações significativas, sendo o vigor vegetativo (VIVE) o mais bem correlacionado. Porém, verificou-se pouca consistência nesta correlação, ou seja, ocorreu uma dispersão muito grande dos dados.
- Os parâmetros culturais referentes às características da planta (ALTU, COBR, ANPO, IDAD, TIPO e VIVE) são mais bem correlacionados com a reflectância do cafezal, quando comparados aos parâmetros relacionados ao substrato (GRAD, SUSR, RCS, e SUER) ou aos parâmetros relacionados à geometria (ORFI, ORDE e DECL).
- De maneira geral, os parâmetros mostraram aumento do coeficiente de correlação à medida que se aumenta o comprimento de onda na faixa do visível do espectro eletromagnético.

Quanto à análise de regressão múltipla passo a passo ("stepwise"), observou-se grande variabilidade na sequência de variáveis mais explicativas da reflectância espectral do café, conforme o número de amostras analisado. Este resultado evidencia a tendenciosidade que pode haver quando se analisam pequenos números de amostras, principalmente para estudos com grande número de variáveis.

Para o grupo SUBGERAL1, onde não foram incluídas as variáveis ANPO, TIPO e RCS na análise de regressão, encontraram-se resultados relativamente coerentes com aqueles da matriz de correlação. O parâmetro ALTU destacou-se como o mais explicativo para as bandas

TM2, TM5 e TM7, enquanto que para a banda TM1, TM3 e TM4 foram os parâmetros IDAD, COBR e VIVE, respectivamente.

Os dados espectrais das bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7 são correlacionados entre si, evidenciando a redundância no potencial de aquisição de informações para a cultura do café. Apenas a banda TM4 não apresentou correlação com as outras bandas.

Ocorreu 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. Altos coeficientes de correlação foram encontrados também entre os dados de reflectância composta do solo (RCS) para as bandas TM1, TM2, TM3 e TM4.

A metodologia revelou-se adequada à proposição do estudo, ou seja, uma primeira abordagem sobre o entendimento e compreensão do comportamento espectral do cafezal. Cabe ressaltar suas limitações no que se refere às dificuldades de controle do experimento em condições naturais.

Em função da experiência adquirida no desenvolvimento deste estudo, sugere-se que novos trabalhos sejam realizados buscando:

- estabelecer um modelamento no sentido de melhor caracterizar a fitomassa verde e o sombreamento do café. Deve-se buscar também a caracterização do índice de área foliar, bem como sua interrelação com os parâmetros VIVE, COBR e ALTU;

- aprimorar o entendimento da relação entre os parâmetros culturais e a resposta espectral do cafezal, utilizando-se para tanto de campanhas radiométricas de campo e de simulações por computador;
- repetir o estudo para outros períodos do ano (primavera, verão e outono) visando traçar o perfil espectral multitemporal do cafezal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLRICHS, J. S. BAUER, M. E. Relation of agronomic and multispectral reflectance characteristics of spring wheat canopies. Agronomy Journal, 75(6):987-993, 1983.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ. Rio de Janeiro, n. 16, 1986. 115p.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ. Rio de Janeiro, n. 18, 1988. 115p.
- ASSUNÇÃO, G. V.; DUARTE, V. Avaliação de áreas preparadas para plantio (solonu), utilizando-se dados digitalizados do Landsat, através de tratamento automático no I-100. São José dos Campos, INPE, 1980. 28p. (INPE-1910-RPE/243)
- BANNINGER, C. Influence of canopy shadow on stress detection in coniferous forests using Landsat data. In: ESA. IGARSS, 86 SYMPOSIUM, Zurich, Swiss, 1986. Proceedings, p.1397-1400. (ESA SP-254).
- BARNSELY, M. J. Effects of off-nadir view angles on the detected spectral response of vegetation canopies. International Journal of Remote Sensing, 5(4):715-728, 1984.
- BARTLETT, D. S.; JOHNSON, R. W.; HARDISKY, M. A.; KLEMAS, V. Assessing impacts of off-nadir observation on remote sensing of vegetation: use of the Suits model. International Journal of Remote Sensing, 7(2):247-264, 1986.

- BATISTA, G. T.; HIXSON, M. M.; BAUER, M. E. LANDSAT MSS crop classification performance as a function of scene characteristics. International Journal of Remote Sensing, 6(9):1521-1533, 1985.
- BAUER, M. E.; DAUGHTRY, C. S. T.; VANDERBILT, V. C. Spectral agronomic relationships of corn, soybean, and wheat canopies. West Lafayette, IN. LARS, 1981. 20p. (LARS TR-091281)
- BURROUGHS. Burroughs advanced statistical inquiry system (basis) large systems: user's manual. Detroit, MI, 1975. p.84-90.
- BUTERA, M. K. A correlation and regression analysis of percent canopy closure versus TMS spectral response for selected forests sites in the San Juan National Forest, Colorado. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE 24(1):122-129, 1986.
- CAMARGO, A. P. de O clima e a cafeicultura no Brasil. Informe Agropecuário, 11(126):13-26, jun. 1985.
- CASSELES, V.; GANDIA, S.; MELIA, J. Landsat-5 TM application to the study of modification of spectral signatures of citric orchards affected by frosts. In: International colloquium on spectral signatures of objects in remote sensing, Les Arcs, France, 1985. Proceedings. Montfavet(FR), INRA, 1985. p.531-534.
- CAVAYAS, F.; TEILLET, P. M. Geometric model simulations of conifer canopy reflectance. In: International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing, Les Arcs, France, 1985. Proceedings, Montfavet(FR), 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, 24(3):459-479, 1988.
- CHEN, S.C.; DALLEMAND, J.F.; ROSENTHAL, D.A. Comportamento espectral de culturas a partir da análise de dados Landsat TM. In: Simposio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto. Anais. Gramado-RS, 1986, v.1. p.394-401.
- COLWELL, J. E. Vegetation canopy reflectance. Remote Sensing of Environment, 3:175-183, 1974.
- COMISSÃO DE SOLOS. Levantamento de reconhecimento dos solos da região sob influência do reservatório de FURNAS. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura/CNEPA, 1962. p.74-423. (Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 13).
- COVRE, M. Influência de parâmetros culturais de citrus sobre os dados TM/Landsat. São José dos Campos, INPE, 1989. 241p. (INPE -4856- TDL/367).
- CURRAN, P. J.; WILLIAMSON H. D. Sample size for ground and remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, 20(1):31-41, 1986.
- DALLEMAND, J. F. Identificação de culturas de inverno por interpretação visual de dados SPOT e LANDSAT TM no Noroeste do Paraná. São José dos Campos, INPE, 1987. 129p. (INPE -4343- TDL/290).

- DANSON, F. M. Preliminary of the relationships between SPOT-1 HRV data and forest stand parameters. International Journal of Remote Sensing, 8(10):1571-1575, 1987.
- DEGLORIA, S. D. Spectral variability of Landsat-4 Thematic Mapper and Multispectral Scanner data for selected crop and forest cover types. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-22(3):303-311, 1984.
- EPIPHANIO, J. C. N. Dados TM Landsat-5 no estudo das culturas de trigo e feijão. (Tese de Doutorado) - ESALQ, Piracicaba, 1988. 160p.
- 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, Natal, 1988. Anais, São José dos Campos, INPE, 1988. p. 400-405.
- FEDERACION NACIONAL DECAFETEROS DE COLOMBIA. Departamento de estudios y proyectos basicos cafeteros. Aplicaciones de SPOT en zona cafetera colombiana. Bogotá, nov. 1987. (Investigacion SPOT PEPS N0 139).
- FORMAGGIO, R. A.; EPIPHANIO, J. C. N. Estudos radiométricos das culturas de trigo e de feijão em três tipos de latossolos. São José dos Campos, INPE, 1989. 8p. (INPE-4843-PRE/1472).
- FRANKLIN, J. Thematic Mapper analysis of coniferous forest structure and composition. International Journal of Remote Sensing, 7(10):1287-1301, 1986.

- GALVÃO, L. S. Correlacionamento litoestratigráfico espectral de poços de perfuração. (Tese de Mestrado) - INPE, São José dos Campos, 1989. 178p.
- GARDNER, B. R.; BLAD, B. L. Evaluation of spectral reflectance models to estimate corn leaf area while minimizing the influence of soil background effects. Remote Sensing of Environment, 20:183-190, 1986.
- GORDON, D. K.; PHILIPSON, W. R.; PHILPOT, W.D. Fruit tree inventory with Landsat Thematic Mapper data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(12): 1871-1876, 1986.
- HALL-KONYVES, K. The topographic effect on LANDSAT data in gently undulating terrain in southern Sweden. International Journal of Remote Sensing, 8(2):157-168, 1987.
- HEIMES, F. J. Effects of scene proportions on spectral reflectance in Lodgepole Pine. Fort Collins, Colorado State University, 1977. 109p.
- HOLBEN, B.; JUSTICE, C. An examination of spectral band rationing to reduce the topographic effect on remotely sensed data. International Journal of Remote Sensing, 2(2): 115-133, 1981.
- HUETE, A. R.; POST, D. F.; JACKSON, R. D. Soil spectral effects on 4-space vegetation discrimination. Remote Sensing of Environment, 17(1):155-166, 1984.

- HUETE, A. R.; JACKSON, R. D.; POST, D. F. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. Remote Sensing of Environment, 17(1):37-53, 1985.
- HUETE, A. R. Separation of soil-plant spectral mixtures by factor analysis. Remote Sensing of Environment, 19:237-251, 1986.
- \_\_\_\_\_. Soil dependent spectral response in a developing plant canopy. Agronomy Journal, 79(1):61-68, 1987.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ (IBC). Divisão de Assistência a Cafeicultura (IBC.GERCA). Levantamento da realidade cafeeira do Sul de Minas/1985. Varginha, s.d. 65p.
- JUSTICE, C. O.; WHARTON, S. W.; HOLBEN, B. N. Application of digital terrain data to quantify and reduce the topographic effect on Landsat data. International Journal of Remote Sensing, 2(3):213-230, 1981.
- 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, 7(12):1653-1667, 1986.
- KLEMAN, J. Reflectance properties of conifers measured from a helicopter. In: international colloquium on spectral signatures of objects in remote sensing. Les Arcs, France, 1985. Proceedings. Montfavet (FR), INRA, 1985. p.463-466. (ESA SP-247).

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Radiometric properties of U. S. processed Landsat MSS data. Remote Sensing of Environment, 22(1):39-71, 1987.

\_\_\_\_\_. Landsat MSS and TM post calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. Landsat Technical Notes, 1:3-8, 1986.

MATIELLO, J. B. et al. Importância econômica do café do Brasil, Rio de Janeiro, IBC/GERCA, 4. ed., 1981a. p.1-24. (Instruções técnicas sobre a cultura de café no Brasil, 1)

\_\_\_\_\_ et al. Clima e fenologia do cafeeiro. Rio de Janeiro, IBC/GERCA, 4. ed., 1981b. p.25-62 (Instruções técnicas sobre a cultura do café no Brasil, 2).

\_\_\_\_\_ et al. Práticas culturais no cafezal. Rio de Janeiro, IBC/GERCA, 4. ed., 1981c. p.169-233. (Instruções técnicas sobre a cultura de café no Brasil, 6).

\_\_\_\_\_ et al. Uso da fotografia aérea na cafeicultura. Rio de Janeiro, IBC/GERCA, 4. ed., 1981d. p.487-503 (Instruções técnicas sobre a cultura de café no Brasil, 14).

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. Introduction to linear regression analysis. New York, NY, Wiley, 1982. p.287-346.

- MYERS, V. I. Remote Sensing applications in agriculture. In: COLWELL, R. N., ed. Manual of remote sensing, 2. ed. Falls Church, VA. American Society of Photogrammetry, 1983. v.2, Cap. 33, p.2111-2218.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). A prospectus for Thematic Mapper research in the earth sciences. Greenbelt, MD, NASA, 1984. 71p.
- NETER, J.; WASSERMAN, W. Applied linear statistical models. Homewood, IL, Richard D. Irwin, 1974. p.97-130, 371-392.
- NIMER, E. Clima. In: Geografia do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE, v.3. 1977. p.51-89.
- PINTER, P. J.; MARACCHI, G.; ZIPOLI, G.; REGINATO, R. J. Influence of topography and sensor view angles on NIR/red ratio and greenness vegetation indices of wheat. International Journal of Remote Sensing, 8(6):953-957, 1987.
- RANSON, K. J.; BIEHL, L. L.; BAUER, M. E. Variation in spectral response of soybeans with respect to illumination, view, and canopy geometry. West Lafayette, IN. LARS, 1984. 27p. (LARS TR-073184).
- \_\_\_\_\_; DAUGHTRY, C. S. T. Scene shadow effects on multispectral response. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE25(4):502-509, 1987.
- SANTOS, J. R. Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor "Thematic Mapper" do satélite Landsat. (Tese de Doutorado) - UFPR, Curitiba, 1988. 157 p.

- SCHNETZLER, C. C. Effect of sun and sensor geometry, canopy structure and density, and atmospheric condition on the spectral response of vegetation with particular emphasis on across-track pointing. In: International colloquium on spectral signatures of objects in remote sensing, Avignon France, 1981. Proceedings. Monfavet(FR), INRA, 1981, p.509-520, 1981.
- SIQUEIRA, R. Implantação da lavoura cafeeira. In: Fundação Instituto Agrônomo do Paraná. Manual agrônomo para o Paraná. Londrina, 1978. v.2, p.169-170.
- SLATER, P. N. Remote sensing, optical and optical systems. New York, NY, Addison Wesley, 1980. 515p.
- SOUZA, A. G.; SOUZA, D. D.; VALÉRIO FILHO, M. Estudos sobre alguns parâmetros físicos da cafeicultura no Estado do Paraná. São José dos Campos, INPE, 1973. 34p. (INPE-338-RI/114).
- STOHR, C. J.; WEST, T. R. Terrain and look angles effects upon multispectral scanner response. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(2):229-235, 1985.
- STRAHLER, A. H.; LOGAN, T. L.; BRYANT, N. A. Improving forest cover classification accuracy from Landsat by incorporating topographic information. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 12., Ann Arbor, MI, Apr. 20-26, 1978. Proceedings. Ann Arbor, ERIM, v.2, p.927-942.

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).

THOMAZIELLO, R. A. Espaçamento para o café. Revista dos Criadores, 48(585):23-25, Oct. 1978.

TOWNSHEND, J. R. G.; GAYLER, J. R.; HARDY, J. R.; JACKSON, M. J.; BAKER, J. R. Preliminary analysis of Landsat-4 Thematic Mapper products. International Journal of Remote Sensing, 4(4):817-828. 1983.

\_\_\_\_\_. Agricultural land-cover discrimination using Thematic Mapper spectral bands. International Journal of Remote Sensing, 5(4):681-698, 1984.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat-4 data users handbook. U. S. Geological Survey, Alexandria, VA, 1984. 210p.

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)

\_\_\_\_\_. Análise multiespectral aplicada à agricultura. Rio de Janeiro, IBC/GERCA, 1972. 21p. (F/PSR/OP)

\_\_\_\_\_. 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.

\_\_\_\_\_. Trabalho experimental de inventariação automática de cafezais utilizando imagens orbitais e o equipamento "Image- 100". Rio de Janeiro, IBC/GERCA, 1978. 2p.

WALSH, S. J. Variability of LANDSAT MSS spectral responses of forests in relation to stand and site characteristics. International Journal of Remote Sensing, 8(9):1289-1299, 1987.

WEISBERG, S. Applied linear regression. 2.ed. New York, NY, John Wiley, 1985. 324p.



APÊNDICE A

PARÂMETROS CULTURAIS E RESPOSTA ESPECTRAL DO CAFEZAL

Tabela A.1

Parâmetros culturais do cafezal

F/M/T	DENS	CULT	IDAD	ESPL	ESPC	COBE	COBR	ORFI	VIVE	COLH
C2001	1721	1	9,7	3,50	1,50	15	23	81	4	0
C2002	1755	1	9,7	3,50	1,50	80	63	89	4	1
C2003	1755	1	9,7	3,50	1,50	70	65	41	4	1
C2004	1733	1	9,7	3,50	1,50	80	56	31	4	1
C2005	1733	1	9,7	3,50	1,50	90	55	19	4	1
C2006	2564	0	9,7	3,50	1,50	30	17	31	4	0
C2007	2564	0	9,7	3,50	1,50	60	55	89	4	1
C2008	2272	0	1,7	3,00	1,00	20	10	89	4	0
C2009	3190	1	8,7	3,80	0,75	50	47	86	4	1
C2010	1732	1	9,7	3,50	1,50	60	55	81	2	1
C2011	3188	1	7,7	3,80	0,75	50	35	76	4	0
C2012	3190	0	6,7	3,80	0,75	70	50	14	4	1
C2013	3189	0	6,7	3,80	0,75	80	49	59	2	1
C2014	4545	0	6,7	2,00	1,00	40	20	59	4	0
C2015	2525	0	7,7	3,60	1,00	70	49	61	4	1
C2016	2521	0	7,7	3,60	1,00	60	42	21	2	1
C2017	2525	0	7,7	3,60	1,00	70	47	61	2	1
C2018	2525	0	7,7	3,60	1,00	70	48	29	4	1
C2019	2525	0	7,7	3,60	1,00	40	38	46	1	1
C2020	2525	0	7,7	3,60	1,00	70	51	31	4	1
C2021	2526	0	7,7	3,60	1,00	70	48	71	4	1
C2022	3190	1	8,7	3,80	0,75	70	56	24	2	1
C2023	3158	1	7,7	3,80	0,75	70	47	51	1	1
C2024	3158	1	7,7	3,80	0,75	70	50	66	2	1
C2025	3158	1	7,7	3,80	0,75	30	51	54	0	0
C2026	3158	1	7,7	3,80	0,75	30	24	49	4	0
C2027	3509	1	7,7	3,80	0,75	20	18	81	4	0
C2028	3509	1	7,7	3,80	0,75	30	22	59	4	0
C2029	3190	1	8,7	3,80	0,75	30	13	36	4	0
C2030	3190	1	8,7	3,80	0,75	20	12	39	4	0
C2031	3190	1	8,7	3,80	0,75	30	10	66	4	0
C2032	3190	1	8,7	3,80	0,75	50	38	51	1	1
C2033	3190	1	8,7	3,80	0,75	50	55	54	4	1
C2034	4094	1	2,7	3,00	1,00	50	31	29	2	1
C2035	4094	1	2,7	3,00	1,00	30	26	29	0	1
C2036	3198	1	8,7	3,80	0,75	45	33	29	4	0
C2037	3198	1	8,7	3,80	0,75	60	44	19	4	1
C2038	3198	1	8,7	3,80	0,75	60	47	44	4	1
C2039	3158	1	8,7	3,80	0,75	80	55	31	4	1
C2040	1622	1	8,7	3,80	1,50	60	45	06	4	1
C2041	3198	1	8,7	3,80	0,75	60	50	09	4	1
C2042	3190	1	8,7	3,80	0,75	40	30	34	4	0
C2043	3190	1	8,7	3,80	0,75	70	49	64	4	1

(continua)

Tabela A.1 (continuação)

F/M/T	DENS	CULT	IDAD	ESPL	ESPC	COBE	COBR	ORFI	VIVE	COLH
C2044	4094	1	3,7	2,90	0,80	40	60	81	1	1
C2045	4094	1	3,7	2,90	0,80	40	55	59	0	1
C2046	4094	1	3,7	2,90	0,80	60	58	39	2	1
C2047	4094	1	3,7	2,90	0,80	70	64	29	2	1
C2048	4094	1	3,7	2,90	0,80	60	64	89	0	1
C2049	4094	1	3,7	2,90	0,80	60	64	29	0	1
C2050	5000	0	3,7	2,00	1,00	85	77	71	4	1
C2051	5000	0	3,7	2,00	1,00	70	60	74	2	1
P2052	2083	0	15	4,00	1,20	60	48	11	4	1
P2053	2083	0	14	4,00	1,20	50	47	71	4	1
P2054	2500	1	12	4,00	1,00	40	54	61	1	1
P2055	2083	0	14	4,00	1,20	60	51	21	4	1
P2056	2500	1	7,7	4,00	1,00	40	39	31	2	1
P2057	2500	1	14	4,00	1,00	60	63	81	0	1
P2058	2193	0	10	3,80	1,20	60	52	11	4	1
P2059	2500	1	2,7	4,00	1,00	10	10	01	4	0
H2060	2500	0	10	4,00	1,00	70	59	89	4	1
H2061	2500	1	9,0	4,00	1,00	80	58	16	4	1
H2062	1250	0	13	4,00	2,00	50	48	01	2	1
H2063	2500	0	13	4,00	1,00	60	47	81	2	1
H2064	2500	0	13	4,00	1,00	50	53	69	0	1
H2065	2500	0	10	4,00	1,00	40	45	01	2	1
M3066	2500	0	11	4,00	1,00	30	39	39	0	1
M3067	2500	0	13	4,00	1,00	40	43	81	1	1
M3068	1429	1	7,0	3,50	2,00	50	38	51	0	1
M3069	2907	1	1,7	4,30	0,80	20	14	11	0	0
M3070	2381	0	9,0	3,50	1,20	50	63	09	2	1
M3071	1220	1	8,0	4,00	2,10	40	28	89	1	1
S3072	0741	1	18	4,50	3,00	50	47	71	4	1
S3073	1852	0	11	4,50	1,20	50	52	31	3	1
S3074	2500	1	2,0	4,00	1,00	30	28	01	2	1
S3075	2500	1	3,0	4,00	1,00	30	31	49	2	1
A3076	1550	1	14	4,30	1,50	35	22	11	3	1
A3077	1250	1	14	4,00	2,00	60	52	41	0	1
A3078	1250	1	14	4,00	2,00	60	48	79	2	1
A3079	2198	0	11	3,50	1,30	30	19	81	2	1
A3080	1250	1	14	4,00	2,00	70	56	51	4	1
N3081	0889	1	15	4,50	2,50	50	33	39	2	1
N3082	1587	1	6,0	4,20	1,50	30	17	21	0	1
N3083	2083	1	6,0	3,20	1,50	60	60	79	1	1
V1084	1587	1	13	4,50	1,40	70	55	01	4	1
V1085	1932	1	13	4,50	1,15	70	56	54	1	1
V1086	5000	1	11	2,00	1,00	50	35	54	4	0
V1087	1587	1	13	4,50	1,40	70	49	54	3	1
V1088	3333	1	10	2,00	1,50	99	97	29	3	1
V1089	2286	0	12	3,50	1,25	50	56	14	3	1
V1090	2286	0	12	3,50	1,25	60	56	29	4	1
V1091	2286	0	12	3,50	1,25	40	49	44	3	1
V1092	2286	0	12	3,50	1,25	60	52	76	3	1

(continua)

Tabela A.1 (continuação)

F/M/T	DENS	CULT	IDAD	ESPL	ESPC	COBE	COBR	ORFI	VIVE	COLH
V1093	2101	1	11	3,40	1,40	90	66	24	4	1
V1094	2101	0	11	3,40	1,40	70	53	54	4	1
V1095	2286	0	12	3,50	1,25	70	53	29	2	1
V1096	2101	0	12	3,50	1,40	40	48	01	2	1
V1097	1587	1	13	4,50	1,40	70	48	64	4	1
V1098	2101	0	12	3,50	1,40	40	46	79	0	1
V1099	2101	0	12	3,50	1,40	65	60	79	4	1
V1100	2083	0	11	3,20	1,50	40	33	06	4	0
V1101	1931	0	13	3,70	1,40	75	52	19	4	1
V1102	1931	1	12	3,70	1,40	80	62	21	3	1
V1103	2083	0	11	3,20	1,50	40	29	69	4	0
V1104	1931	0	12	3,70	1,40	70	51	36	4	1
V1105	1931	0	12	3,70	1,40	70	54	51	2	1
V1106	1961	0	11	3,40	1,50	70	57	16	4	1
V1107	1961	0	11	3,40	1,50	70	55	21	3	1
V1108	1931	0	12	3,70	1,40	30	27	39	4	0
V1109	1931	0	12	3,70	1,40	40	39	71	3	1
V1110	1880	0	13	3,80	1,40	60	43	21	4	1
V1111	1931	0	12	3,70	1,40	70	56	21	4	1
V1112	1931	0	12	3,70	1,40	70	53	89	1	1
V1113	1587	1	13	4,50	1,40	85	52	61	4	1
V1114	1587	1	13	4,50	1,40	70	48	64	4	1
V1115	1587	1	13	4,50	1,40	70	52	21	2	1
V1116	1880	0	13	3,80	1,40	60	50	64	4	1
V1117	1587	1	13	4,50	1,40	70	52	09	4	1
V1118	1931	0	12	3,70	1,40	65	52	69	4	1
R3119	2222	1	1,7	4,50	1,00	10	07	31	2	0
R3120	4444	1	9,0	4,50	0,50	65	51	31	2	1
R3121	1429	0	10	3,50	2,00	40	41	51	1	1
R3122	1429	0	10	3,50	2,00	60	49	61	4	1
R3123	1429	0	10	3,50	2,00	60	44	21	0	1
R3124	1374	1	10	3,60	2,00	75	51	79	3	1
R3125	2632	0	13	3,80	1,00	35	39	09	0	1
R3126	2500	0	11	4,00	1,00	40	39	51	1	1
R3127	2500	0	11	4,00	1,00	40	39	31	1	1
R3128	2500	1	1,7	4,00	1,00	10	11	19	2	0
B3129	2500	0	2,7	4,00	1,00	40	32	29	3	1
B3130	2500	1	10	4,00	1,00	70	56	69	4	1
B3131	2500	1	11	4,00	1,00	90	68	54	4	1
B3132	2500	1	11	4,00	1,00	80	67	51	3	1
B3133	2500	1	11	4,00	1,00	85	63	21	3	1
B3134	1250	0	14	4,00	2,00	50	34	01	3	1
B3135	1250	0	14	4,00	2,00	65	45	29	3	1
B3136	2500	1	14	4,00	1,00	85	68	01	4	1
L1137	5714	0	8,0	1,75	1,00	99	88	29	2	1
L1138	1736	1	8,0	4,80	1,20	40	42	49	0	1
L1139	2326	0	8,0	4,30	1,00	60	47	49	3	1
L1140	2500	0	8,0	4,00	1,00	30	43	29	0	1
L1141	2500	0	8,0	4,00	1,00	40	50	09	3	1

(continua)

Tabela A.1 (conclusão)

F/M/T	DENS	CULT	IDAD	ESPL	ESPC	COBE	COBR	ORFI	VIVE	COLH
L1142	1516	1	22	3,30	2,00	60	58	09	0	1
L1143	2500	0	10	4,00	1,00	35	47	49	0	1
L1144	2500	0	10	4,00	1,00	35	38	19	0	1
L1145	2500	0	9,0	4,00	1,00	30	37	09	0	1

F = Fazenda = C - Conquista  
P - Paraíso  
H - Cascalho  
M - Santa Maria  
S - Santo Antonio da Estiva  
A - Vargem Alegre  
N - Novo Horizonte  
V - Campo Verde  
R - Paineira  
B - Samambaia  
L - Campo Alegre

M = Módulo  
T = Talhão

DENS = Densidade (covas/hectare)

CULT = Cultivar: 0 = Catuaí  
1 = Mundo Novo

IDAD = Idade do cafezal em anos

ESPL = Espaçamento entre linhas em metros

ESPC = Espaçamento entre covas em metros

COBE = Porcentagem de cobertura do terreno estimada

COBR = Porcentagem de cobertura do terreno calculada

ORFI = Orientação de fileiras em graus

VIVE = Vigor vegetativo: 0 = Muito baixo  
1 = Baixo  
2 = Médio  
3 = Alto  
4 = Muito alto

COLH = Colheita: 0 = Não  
1 = Sim

Tabela A.2

Parâmetros culturais do cafezal

F/M/T	DECL	ORDE	GRAD	ESPA	SUME	SUEE	SUSE	ALTU	RAIO	SUMR
C2001	6,0	080	1		20	00	80	1,70	0,65	75
C2002	4,0	060	0	0	80	05	15	2,98	1,27	86
C2003	1,0	300	0	0	80	00	20	3,22	1,31	99
C2004	4,0	290	0	0	80	00	20	3,07	1,17	100
C2005	4,0	180	0	0	90	00	10	3,18	1,15	
C2006	7,0	310	1		20	05	75	1,48	0,46	22
C2007	5,0	250	0	0	40	40	20	1,93	0,85	69
C2008	6,0	250			30	20	50	0,62	0,37	05
C2009	4,0	075	0	0	50	00	50	2,19	1,00	85
C2010	3,0	275	1	1	10	00	90	2,92	1,15	13
C2011	4,0				30	35	35	1,72	0,77	83
C2012	2,5	175	0	0	50	20	30	2,57	1,07	82
C2013	6,0	220	0	0	50	30	20	2,65	1,04	90
C2014	5,0	040	0		90	00	10	1,05	0,37	87
C2015	6,0	280	0	0	50	00	50	2,59	1,01	80
C2016	3,5	320	0	0	50	40	10	1,73	0,88	72
C2017	6,5	100	0	0	50	00	50	1,91	0,97	
C2018	2,0	010	0	0	50	10	40	2,52	1,00	77
C2019	1,0	115	0	0	30	60	10	1,76	0,81	87
C2020	4,0	130	0	0	60	05	35	2,46	1,05	62
C2021	4,0	090	0	0	60	05	35	2,23	0,99	
C2022	5,0	355	1	1	70	00	30	2,77	1,19	73
C2023	2,0	290	1	1	10	00	90	2,24	1,01	12
C2024	4,0	275	1	1	10	00	90	2,93	1,07	10
C2025	5,0	205	1	0	90	00	10	1,20	1,10	96
C2026	4,0	030	1		30	20	50	1,83	0,55	86
C2027	3,0	080	1		50	30	20	1,50	0,41	78
C2028	5,0	220	1		60	10	30	1,57	0,48	87
C2029	4,5	125	1		40	20	40	1,34	0,36	67
C2030	5,0	020	1		60	20	20	1,39	0,35	87
C2031	4,0	095	1		50	10	40	1,33	0,31	41
C2032	1,0	110	1	1	10	00	90	2,51	0,83	28
C2033	2,0	035	1	1	10	00	90	2,29	1,17	40
C2034	2,0	190		1	45	05	50	1,43	0,49	52
C2035	2,5	010		1	50	10	40	1,35	0,45	52
C2036	3,0	010	1		40	20	40	1,65	0,73	71
C2037	4,5	000	1	1	10	00	90	2,01	0,95	17
C2038	5,0	205	1	1	10	00	90	2,03	1,01	09
C2039	4,0	130	1	1	10	00	90	2,71	1,19	48
C2040	4,0	335	1	1	10	00	90	2,21	1,02	13
C2041	6,0	350	1	1	10	00	90	2,20	1,07	03
C2042	4,5	195	1		40	20	40	1,67	0,66	86
C2043	5,5	045	1	1	15	00	85	2,10	1,05	24
C2044	3,0	035		1	40	20	40	2,08	0,95	57
C2045	2,0	030		1	80	10	10	2,08	0,87	

(continua)

Tabela A.2 (continuação)

F/M/T	DECL	ORDE	GRAD	ESPA	SUME	SUEE	SUSE	ALTU	RAIO	SUMR
C2046	3,5	010		1	50	00	50	2,07	0,91	35
C2047	3,0	190		1	60	00	40	2,10	1,00	40
C2048	2,0	070		1	60	03	37	2,05	1,00	64
C2049	1,0	010		1	60	05	35	2,10	1,00	43
C2050	5,0	100	0	1	100	00	00	1,68	0,82	100
C2051	5,0	070	0	1	90	00	10	1,45	0,67	100
P2052	1,0	320	1	1	15	00	85	2,27	1,03	60
P2053	1,0	090	1	1	20	00	80	2,62	1,00	29
P2054	1,0	100	1	1	35	00	65	2,69	1,12	65
P2055	2,0	150	0	0	30	60	10	2,79	1,07	63
P2056	5,0	130	1	1	20	00	80	1,79	0,84	20
P2057	2,0	070	1	1	60	00	40	3,23	1,30	14
P2058	4,0	155	0	0	50	00	50	2,49	1,04	
P2059	3,0	345	1		20	05	75	0,80	0,35	02
H2060	6,0	250	1	1	40	05	55	2,57	1,22	88
H2061	4,0	330	1	1	70	10	20	3,01	1,19	93
H2062	5,0	350	1	1	55	05	40	1,99	1,13	94
H2063	3,0	085	1	1	60	00	40	1,82	0,99	64
H2064	4,5	050	1	1	60	05	35	2,48	1,09	87
H2065	5,0	340	1	1	35	05	60	1,88	0,95	64
M3066	3,0	020	1	1	20	05	75	1,90	0,84	08
M3067	5,0	260	1	1	40	00	60	2,44	0,90	30
M3068	5,0	300	1	1	40	10	50	2,29	0,92	73
M3069	4,0	330	1		20	20	60	1,14	0,39	35
M3070	3,0	350	1	1	40	10	50	2,78	1,16	29
M3071	5,0	070	1	1	45	05	50	2,48	0,86	44
S3072	1,0	260	1	1	45	05	50	2,95	1,42	73
S3073	3,0	310	0	0	50	40	10	3,09	1,22	86
S3074	4,0	350	0	0	40	30	20	1,40	0,64	54
S3075	6,0	220	0	1	35	15	50	1,53	0,69	23
A3076	4,0	150	1	1	40	30	20	1,15	0,67	38
A3077	3,0	110	0	0	85	05	10	1,80	1,20	
A3078	3,0	060	0	0	40	30	30	3,10	1,13	75
A3079	4,0	080	1	1	40	30	30	1,31	0,52	77
A3080	1,0	290	0	0	60	05	35	3,49	1,27	62
N3081	5,0	040	1	1	20	05	75	2,85	1,09	08
N3082	2,0	330	1	1	45	15	40	2,11	0,59	10
N3083	5,5	230	1	1	15	10	75	2,89	1,05	91
V1084	0,0		1	1	10	00	90	4,43	1,30	10
V1085	1,5	215	0	0	70	25	05	3,11	1,30	62
V1086	5,0	215	0		35	00	65	1,35	0,47	07
V1087	2,0	295	1	1	10	00	90	3,15	1,17	05
V1088	4,0	190	0	1	70	00	30	2,15	1,07	74
V1089	1,0	175	1	1	15	00	85	1,94	1,04	05
V1090	2,0	010	1	1	15	05	80	2,17	1,05	07
V1091	1,5	205	1	1	25	10	65	1,67	0,93	64
V1092	2,5	255	1	1	10	00	90	2,27	0,98	06
V1093	4,0	015	1	1	20	00	80	2,89	1,19	29
V1094	2,0	215	1	1	20	00	80	2,28	0,99	10

(continua)

Tabela A.2 (continuação)

F/M/T	DECL	ORDE	GRAD	ESPA	SUME	SUEE	SUSE	ALTU	RAIO	SUMR
V1095	3,0	015	1	1	05	00	95	2,38	0,99	10
V1096	3,5	340	1	1	25	00	75	1,98	0,91	23
V1097	4,0	225	1	1	15	05	80	3,17	1,15	05
V1098	3,0	240	1	1	05	00	95	1,76	0,89	23
V1099	3,0	240	1	1	05	00	95	1,55	1,10	23
V1100	5,0	325	1	1	25	00	75	1,51	0,71	23
V1101	3,5	000	0	0	55	05	40	2,15	1,05	95
V1102	6,0	315	0	0	50	05	45	3,54	1,22	85
V1103	2,0	050	1		35	00	65	1,57	0,67	
V1104	4,5	115	1	1	05	00	95	2,73	1,03	07
V1105	1,0	290	1	1	15	00	85	2,91	1,08	07
V1106	5,0	325	1	1				2,40	1,07	07
V1107	5,0	320	1	1				2,02	1,03	07
V1108	1,5	020	1		40	03	57	1,30	0,67	07
V1109	1,5	090	1	1	20	00	80	1,61	0,83	
V1110	5,0	320	0	0	45	20	35	2,16	0,92	
V1111	4,0	140	1	1	05	00	95	2,37	1,11	
V1112	2,0	070	1	1	15	05	80	2,35	1,07	
V1113	2,0	100	1	1	10	00	90	3,65	1,25	
V1114	3,0	035	1	1	05	00	95	3,61	1,13	
V1115	1,5	320	1	1	20	00	80	3,60	1,25	
V1116	3,0	200	1	1	10	00	90	2,05	1,03	
V1117	4,0	170	1	1	50	00	50	3,50	1,25	
V1118	2,5	230	1	1	30	00	70	2,25	1,05	
R3119	4,0	310	1		20	10	70	0,80	0,31	09
R3120	2,0	300	0	0	60	40	00	2,87	1,16	27
R3121	4,0	290	1	1	25	10	65	2,28	0,95	15
R3122	3,0	280	1	1	25	05	70	2,42	1,05	
R3123	3,0	330	1	1	40	10	50	2,83	0,99	48
R3124	2,0	340	1	1	60	30	10	2,15	1,11	76
R3125	5,0	350	1	1	55	30	15	2,11	0,79	16
R3126	4,0	280	0	0	70	30	00	2,20	0,84	82
R3127	4,0	300	1	1	40	20	40	2,35	0,83	07
R3128	6,0	000	1		30	20	50	0,75	0,38	06
B3129	7,0	010	0	1	40	30	30	1,05	0,70	08
B3130	2,0	040	0	0	25	30	45	3,15	1,15	14
B3131	3,0	240	0	0	80	00	20	4,00	1,40	08
B3132	2,0	110	1	1	60	00	40	4,00	1,37	21
B3133	5,0	140	1	1	70	00	30	3,65	1,30	25
B3134	5,0	350	0	1	10	60	30	1,89	0,93	70
B3135	4,0	000	0	0	40	30	30	2,25	1,09	62
B3136	3,5	340	0	0	40	00	60	4,10	1,40	88
L1137	4,5	010	0	0	100	00	00	2,70	0,82	
L1138	2,0	020	0	0	70	10	20	2,81	1,06	88
L1139	2,0	280	0	0	30	00	70	2,75	1,05	31
L1140	3,0	010	0	0	60	30	10	2,73	0,91	69
L1141	3,0	010	1	1	35	05	60	2,69	1,04	12
L1142	3,0	170	0	0	70	30	00	3,28	1,13	87
L1143	3,0	030	1	1	50	00	50	2,67	0,98	20

(continua)

Tabela A.2 (conclusão)

F/M/T	DECL	ORDE	GRAD	ESPA	SUME	SUEE	SUSE	ALTU	RAIO	SUMR
L1144	4,0	010	0	0	30	50	20	2,61	0,82	83
L1145	1,0	000	1	1	60	20	20	2,11	0,79	92

DECL = Declividade em graus

ORDE = Orientação do declive em graus

GRAD = Gradeação : 0 = Não gradeado  
1 = Gradeado

ESPA = Esparramação: 0 = não Executada  
1 = Executada

SUME = Porcentagem de matéria orgânica do substrato  
(estim.)

SUEE = Porc. de ervas daninhas verdes do substrato (estim.)

SUSE = Porc. de solo exposto (estimada)

ALTU = Altura média das plantas

RAIO = Raio médio das plantas

SUMR = Porc. de matéria orgânica do substrato (calculada)

Tabela A.3

Parâmetros culturais do cafezal e reflectância do solo  
(obtido em laboratório)

F/M/T	ANPO	TIPO	SUER	SUSR	RSTM1	RSTM2	RSTM3	RSTM4
C2001	87	0	00	25	2,86	5,60	9,81	12,48
C2002	85	2	00	14				
C2003	85	2	00	01	3,08	6,75	11,18	13,73
C2004	85	2	00	00				
C2005	85	2						
C2006	87	0	03	75				
C2007	85	0	05	26	5,01	9,50	14,64	18,37
C2008			03	92				
C2009	85	2	00	15				
C2010	85	2	00	87				
C2011	87	0	00	17				
C2012			09	09				
C2013			05	05	7,85	13,30	19,60	25,21
C2014	87	0	00	13	5,52	10,21	15,10	18,87
C2015			00	20				
C2016			17	11				
C2017								
C2018			00	23				
C2019			10	03	5,97	11,05	16,66	20,14
C2020			00	38	5,52	10,21	15,10	18,77
C2021								
C2022			00	27				
C2023			00	88	2,86	5,60	9,81	12,48
C2024			00	90	4,55	9,06	13,77	16,20
C2025	87	0	00	04	4,55	9,06	13,77	16,20
C2026	86	0	00	14				
C2027	87	0	05	17				
C2028	87	0	00	13	4,55	9,06	13,77	16,20
C2029	87	0	13	20				
C2030	87	0	07	06	2,86	5,60	9,81	12,48
C2031	87	0	01	58	4,26	8,83	13,62	15,88
C2032			01	71	4,55	9,06	13,77	16,20
C2033	86	2	00	60	5,52	10,21	15,10	18,77
C2034			00	48				
C2035			00	48	6,12	10,90	16,85	21,11
C2036	87	0	03	26	2,86	5,60	9,81	12,48
C2037	86	0	00	83	2,86	5,60	9,81	12,48
C2038			00	91	2,86	5,60	9,81	12,48
C2039	86	2	00	52				
C2040	86	0	00	87	4,55	9,06	13,77	16,20
C2041	86	0	00	97				
C2042	87	0	00	14	5,91	10,51	14,83	18,06
C2043	86	0	00	76	2,86	5,60	9,81	12,48
C2044			00	43	2,94	6,42	10,64	13,85
C2045					2,86	5,60	9,81	12,48

(continua)

Tabela A.3 (continuação)

F/M/T	ANPO	TIPO	SUER	SUSR	RSTM1	RSTM2	RSTM3	RSTM4
C2046			00	65	2,86	5,60	9,81	12,48
C2047			00	60	5,52	10,21	15,10	18,77
C2048			00	36	2,86	5,60	9,81	12,48
C2049			00	57	2,86	5,60	9,81	12,48
C2050			00	00	5,52	10,21	15,10	18,77
C2051			00	00	4,78	9,08	13,64	15,74
P2052	86	2	00	40	2,86	5,60	9,81	12,48
P2053	87	2	00	71	2,86	5,60	9,81	12,48
P2054			00	35	2,86	5,60	9,81	12,48
P2055			30	07	2,86	5,60	9,81	12,48
P2056			00	80	4,55	9,06	13,77	16,20
P2057	87	2	00	86	4,55	9,06	13,77	16,20
P2058								
P2059			01	97	5,52	10,21	15,10	18,77
H2060	86	2	00	12	6,90	11,06	14,99	19,00
H2061	87	2	00	07	5,52	10,21	15,10	18,77
H2062	86	1	00	06	4,55	9,06	13,77	16,20
H2063	86	1	00	36	2,87	6,37	10,71	13,12
H2064	86	1	00	13	2,86	5,60	9,81	12,48
H2065	86	1	00	36	5,52	10,21	15,10	18,77
M3066			00	92	2,82	5,80	9,25	10,75
M3067			00	70	4,55	9,06	13,77	16,20
M3068			00	27	4,55	9,06	13,77	16,20
M3069			00	65	2,86	5,60	9,81	12,48
M3070			00	71	4,55	9,06	13,77	16,20
M3071			00	56	2,86	5,60	9,81	12,48
S3072			00	27	2,86	5,60	9,81	12,48
S3073			00	14				
S3074			00	46	2,86	5,60	9,81	12,48
S3075			00	77	2,86	5,60	9,81	12,48
A3076	87	0	02	60	3,01	6,55	10,19	12,96
A3077	88	2			4,09	8,02	12,53	15,67
A3078			17	08				
A3079	87	0	08	15	4,55	9,06	13,77	16,20
A3080	85	2	06	32	4,55	9,06	13,77	16,20
N3081	85	2	00	92	2,87	5,81	9,78	12,92
N3082			00	90	3,11	5,77	9,27	12,52
N3083			00	09	4,55	9,06	13,77	16,20
V1084	83	1	00	90				
V1085	83	1	10	28				
V1086	87	0	00	93	4,72	9,91	14,32	16,49
V1087	83	1	00	95	2,30	5,78	10,29	12,49
V1088	86	0	00	26				
V1089	85	0	00	95				
V1090	85	2	00	93	6,64	12,33	17,17	20,57
V1091	85	0	05	31				
V1092	85	2	00	94				
V1093	85	2	00	71				
V1094	85	1	00	90				
V1095	85	2	00	90				

(continua)

Tabela A.3 (conclusão)

F/M/T	ANPO	TIPO	SUER	SUSR	RSTM1	RSTM2	RSTM3	RSTM4
V1096	86	2	00	77	5,17	9,77	14,27	18,50
V1097	83	2	00	95				
V1098	86	0	00	77				
V1099	86	0	00	77				
V1100	87	0	00	77				
V1101	85	2	00	05				
V1102	83	2	00	15				
V1103	87	0						
V1104	83	2	00	93				
V1105	83	2	00	93				
V1106	85	2	00	93				
V1107	85	2	00	93				
V1108	86	0	00	93				
V1109	85	1						
V1110	83	2						
V1111	85	2						
V1112	84	2						
V1113	83	1						
V1114	84	0						
V1115	83	2						
V1116	85	2						
V1117	83	2						
V1118	85	2						
R3119			03	88	4,55	9,06	13,77	16,20
R3120			73	00	4,55	9,06	13,77	16,20
R3121			00	85	4,55	9,06	13,77	16,20
R3122					4,55	9,06	13,77	16,20
R3123			00	52	5,52	10,21	15,10	18,77
R3124	87	2	00	24	5,52	10,21	15,10	18,77
R3125			04	80	5,52	10,21	15,10	18,77
R3126			08	10	5,52	10,21	15,10	18,77
R3127			05	88	5,52	10,21	15,10	18,77
R3128			00	94	4,55	9,06	13,77	16,20
B3129			06	86	5,52	10,21	15,10	18,77
B3130	83	2	00	86	4,90	9,45	14,73	17,21
B3131			00	92				
B3132			00	79	2,72	4,72	7,38	10,98
B3133			00	75	2,86	5,60	9,81	12,48
B3134	83	0	00	30	2,86	5,60	9,81	12,48
B3135	82	0	22	16	2,91	5,12	7,82	10,54
B3136			00	12	2,86	5,60	9,81	12,48
L1137								
L1138			08	04	2,86	5,60	9,81	12,48
L1139			00	69	2,86	5,60	9,81	12,48
L1140			31	00	2,86	5,60	9,81	12,48
L1141			00	88	3,18	7,31	11,95	13,90
L1142	85	2	13	00	2,86	5,60	9,81	12,48
L1143			00	80	2,86	5,60	9,81	12,48
L1144			14	03	2,86	5,60	9,81	12,48
L1145			05	03	2,48	5,54	9,30	12,01

ANPO = Ano da poda

TIPO = Tipo de poda: 0 = baixa  
1 = média  
2 = alta

SUER = Porc. de ervas daninhas do substrato (calculada)

SUSR = Porc. de solo exposto (calculada)

RSTM - Reflectância do solo nas bandas 1, 2, 3, 4 do TM,  
obtidas em laboratório.

Tabela A.4

Reflectância espectral do cafezal (obtida da imagem  
TM/LANDSAT)

F/M/T	RTM1	RTM2	RTM3	RTM4	RTM5	RTM7
C2001	2.47	5.07	7.87	19.54	18.39	11.94
C2002	1.75	3.26	4.22	20.26	12.29	6.33
C2003	2.27	4.09	5.51	20.76	19.30	11.11
C2004	1.47	2.77	3.40	19.24	7.60	3.34
C2005	1.58	3.29	4.02	20.17	11.19	5.62
C2006	2.20	4.27	7.45	18.99	15.34	10.15
C2007	1.93	3.78	5.71	20.17	15.71	8.57
C2008	2.40	4.79	8.80	17.18	17.11	11.90
C2009	2.18	4.02	5.79	20.05	14.40	8.07
C2010	1.83	3.57	4.81	20.13	12.61	6.41
C2011	3.80	7.13	10.52	23.13	23.08	14.22
C2012	2.08	3.78	5.32	21.02	15.61	8.53
C2013	2.10	3.81	5.32	22.37	14.80	7.74
C2014	3.40	6.29	8.97	23.04	24.44	15.43
C2015	2.62	5.63	9.76	20.55	23.34	15.68
C2016	2.87	5.98	9.93	21.48	23.37	15.31
C2017	2.10	4.06	5.93	21.19	18.12	10.24
C2018	2.05	4.09	5.96	22.96	14.86	8.86
C2019	1.88	3.64	5.18	22.50	13.17	7.08
C2020	1.80	3.43	4.73	21.40	12.87	6.74
C2021	2.45	4.48	5.68	21.82	13.89	8.07
C2022	1.87	3.67	5.18	18.27	12.79	7.08
C2023	1.73	3.64	5.37	15.82	13.36	8.53
C2024	1.98	3.92	6.30	18.40	14.99	9.15
C2025	3.05	6.36	9.56	21.86	27.36	17.22
C2026	2.55	4.93	8.75	19.88	20.08	13.68
C2027	2.38	5.00	8.69	20.81	20.35	12.94
C2028	2.50	4.86	9.39	16.96	20.67	14.72
C2029	2.48	5.14	8.83	20.22	19.38	13.27
C2030	2.50	5.52	9.67	19.50	22.03	15.80
C2031	2.87	5.52	9.48	19.16	20.27	13.56
C2032	2.78	6.08	10.77	17.98	25.67	16.93
C2033	2.43	5.35	6.83	22.92	15.53	8.07
C2034	2.53	6.05	11.19	19.24	27.04	17.67
C2035	2.90	6.40	10.69	18.57	29.45	19.09
C2036	2.57	5.45	9.95	20.26	21.42	14.89
C2037	2.53	4.86	7.87	17.77	21.07	12.35
C2038	1.85	3.67	6.05	19.37	13.17	8.28
C2039	2.10	4.23	6.16	17.85	16.46	9.74
C2040	1.82	3.39	5.06	18.15	9.77	6.33
C2041	2.22	4.86	7.93	23.17	20.05	12.23
C2042	2.70	5.38	8.80	20.89	20.83	13.02
C2043	2.13	4.23	6.64	21.82	18.02	10.07
C2044	2.38	4.79	7.79	18.36	23.88	14.43
C2045	2.32	4.72	8.38	15.82	23.64	16.14

(continua)

Tabela A.4 (continuação)

F/M/T	RTM1	RTM2	RTM3	RTM4	RTM5	RTM7
C2046	2.33	4.72	8.27	16.58	23.48	16.01
C2047	2.37	4.86	7.85	17.77	23.26	14.64
C2048	2.27	4.44	7.48	16.33	22.54	14.27
C2049	2.20	4.58	7.45	15.61	21.79	14.14
C2050	2.38	4.23	5.71	23.97	16.68	9.45
C2051	3.00	5.28	8.35	18.02	24.17	14.60
P2052	1.95	3.99	6.13	18.27	18.77	12.15
P2053	1.90	4.16	6.52	19.46	18.15	11.19
P2054	2.05	4.27	6.55	18.95	17.99	10.78
P2055	2.05	3.74	5.65	19.24	16.11	9.74
P2056	2.28	4.86	8.46	19.58	22.30	14.14
P2057	1.70	3.36	4.30	18.61	11.59	6.74
P2058	2.12	3.71	5.43	17.39	14.64	9.15
P2059	3.13	6.64	11.78	17.56	20.45	16.76
H2060	2.10	3.92	5.37	16.92	11.38	6.87
H2061	2.00	3.81	5.51	19.24	16.38	9.57
H2062	2.12	4.30	7.23	20.43	20.77	13.44
H2063	1.87	3.95	6.08	19.50	17.43	11.02
H2064	1.75	3.53	4.98	20.51	11.38	6.58
H2065	2.37	4.69	6.92	16.71	16.60	9.86
M3066	2.57	5.00	7.82	16.58	16.57	10.90
M3067	2.20	4.55	7.23	15.15	17.72	12.02
M3068	2.48	4.34	7.26	14.68	16.94	10.86
M3069	2.43	4.79	8.69	14.77	19.25	14.68
M3070	2.47	4.55	7.12	16.42	19.25	12.56
M3071	2.62	4.93	8.24	16.42	19.76	13.68
S3072	2.23	3.95	5.74	19.62	15.04	8.53
S3073	2.45	4.76	7.45	20.00	18.74	11.90
S3074	3.88	7.13	11.05	19.92	24.87	17.55
S3075	3.40	6.19	9.81	17.68	21.76	15.51
A3076	2.48	4.86	7.85	18.57	19.11	12.23
A3077	2.37	4.13	6.19	14.90	18.15	11.44
A3078	2.10	3.85	5.57	17.26	15.12	8.57
A3079	2.68	5.21	8.61	18.32	22.22	14.22
A3080	2.12	3.64	5.01	18.91	12.15	6.83
N3081	2.25	4.58	6.64	18.27	18.34	11.32
N3082	2.75	5.59	9.31	17.64	23.13	15.85
N3083	2.02	3.71	5.09	15.44	11.13	6.41
V1084	1.53	3.39	6.10	19.96	17.86	11.98
V1085	1.28	2.77	3.77	17.94	10.01	5.62
V1086	2.15	4.58	6.86	19.33	13.92	9.49
V1087	1.28	3.33	5.63	16.33	15.31	10.57
V1088	1.85	4.44	7.28	20.98	18.39	12.27
V1089	1.93	4.62	7.26	20.55	17.83	12.06
V1090	1.62	3.92	5.99	19.37	16.46	10.78
V1091	2.27	5.03	7.85	19.67	18.04	12.35
V1092	1.73	3.64	5.91	15.02	14.96	10.03
V1093	1.73	3.88	5.06	21.06	13.57	7.62
V1094	1.83	3.99	5.54	19.67	12.07	7.41
V1095	1.60	3.81	6.41	18.82	17.80	12.19

(continua)

Tabela A.4 (conclusão)

F/M/T	RTM1	RTM2	RTM3	RTM4	RTM5	RTM7
V1096	2.20	4.93	8.38	18.40	22.17	15.47
V1097	0.97	2.42	3.32	16.71	7.39	4.04
V1098	1.52	3.46	5.37	16.75	12.29	8.03
V1099	1.62	3.33	5.29	16.84	12.61	7.99
V1100	1.87	4.44	7.62	20.38	17.16	11.69
V1101	1.88	4.44	6.83	22.71	19.86	11.90
V1102	1.72	4.06	5.99	19.79	17.59	10.40
V1103	1.60	3.88	6.72	18.74	15.71	10.86
V1104	1.23	2.94	4.19	20.47	10.17	6.04
V1105	1.43	3.26	4.73	18.91	11.88	6.83
V1106	3.25	5.84	8.04	21.31	15.93	11.44
V1107	3.55	6.36	8.16	20.47	16.20	11.61
V1108	2.30	4.93	8.38	17.81	20.00	15.35
V1109	2.10	4.48	7.48	19.03	18.93	13.60
V1110	1.68	3.60	6.08	20.09	15.63	9.82
V1111	1.35	3.46	5.74	21.14	15.50	10.11
V1112	1.33	3.39	5.77	17.01	14.72	9.65
V1113	1.23	2.87	4.56	17.64	11.54	6.70
V1114	1.08	2.49	3.66	16.71	9.31	5.71
V1115	1.38	2.94	4.53	15.66	11.11	6.70
V1116	1.58	3.67	5.96	16.80	15.66	10.69
V1117	1.52	3.43	5.09	19.96	15.04	9.15
V1118	1.77	3.74	5.40	17.94	11.32	7.20
R3119	2.88	5.98	10.21	16.63	18.42	13.68
R3120	2.28	4.16	5.82	18.19	12.79	7.45
R3121	2.47	4.90	7.87	15.44	16.65	11.32
R3122	2.28	4.69	7.17	18.27	15.04	9.49
R3123	2.48	4.76	7.76	14.94	17.35	11.65
R3124	2.43	4.58	6.75	19.46	15.12	8.95
R3125	2.78	6.08	10.38	18.27	21.04	14.10
R3126	2.42	4.23	6.81	14.18	16.38	9.82
R3127	2.45	4.55	7.26	15.70	17.67	11.02
R3128	2.88	6.57	11.25	15.99	19.76	15.72
B3129	2.78	6.05	9.87	19.67	23.51	14.97
B3130	1.83	3.33	4.28	24.14	8.86	4.38
B3131	1.82	3.33	4.11	18.32	8.19	3.84
B3132	2.62	4.72	6.38	17.56	12.58	8.45
B3133	3.80	6.78	9.34	19.33	16.14	11.73
B3134	2.92	5.03	7.03	20.68	13.81	9.15
B3135	2.13	3.88	5.51	19.79	13.70	7.91
B3136	1.93	3.71	4.89	22.88	14.51	7.62
L1137	2.25	4.44	7.54	16.67	20.88	12.56
L1138	2.23	4.86	7.99	17.43	23.53	14.97
L1139	1.57	3.46	5.74	16.88	16.97	10.24
L1140	2.10	4.86	7.71	16.96	22.19	14.02
L1141	1.92	4.34	7.37	18.02	22.68	14.06
L1142	2.22	4.30	7.31	15.95	20.10	12.35
L1143	1.82	4.02	6.58	14.77	20.10	13.02
L1144	2.18	4.69	7.85	16.84	21.82	13.85
L1145	1.83	5.21	7.20	17.22	22.06	13.93

RTM - Reflectância nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do TM.



APÊNDICE B

FICHA DE CAMPO

CULTURA: CAFÉ

1. IDENTIFICAÇÃO

Nome: \_\_\_\_\_ Data da Obs.: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_  
Módulo: \_\_\_\_\_ Observador: \_\_\_\_\_  
Talhão: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_  
-Foto n : \_\_\_\_\_ Rolo n : \_\_\_\_\_

2. CARACTERIZAÇÃO DO TALHÃO

Área - Correta: \_\_\_\_\_  
Estimada: \_\_\_\_\_  
Cultivar: Mundo Novo ( ); Catuai ( ); Outro: \_\_\_\_\_  
Idade: \_\_\_\_\_  
Espaçamento: entre linhas ( m); entre plantas ( m)  
Sistema de plantio: em nível ( ); Sem nível ( )  
% de cobertura do terreno pelo café: \_\_\_\_\_  
Orientação das fileiras: \_\_\_\_\_  
Estágio da cultura:  
Café com vigor vegetativo: Intenso( ); Médio( ); Baixo()  
Café no final de colheita ..... ( )  
Café pós colheita com alta porcentagem de desfolha ( )  
Café pós colheita com média porcentagem de desfolha ( )  
Café pós colheita com baixa porcentagem de desfolha( )  
Café com flores ..... ( )

- Café com flores e frutos pequenos ..... ( )
- Café com frutos verdes pequenos ..... ( )
- Café com frutos verdes grandes ..... ( )
- Café com frutos verdes e maduros ..... ( )
- Café no início de colheita ..... ( )

Grau de homogeneidade do talhão:

Alto ( ); Médio ( ); Baixo ( )

Estado fitossanitário da cultura: Bom ( ); Mau ( )

### 3. TOPOGRAFIA E TIPO DE SOLO

Plano ( ); Suave Ondulado ( ); Ondulado ( )

Declividade média: \_\_\_\_\_

Orientação do declive: \_\_\_\_\_

Tipo de solo: \_\_\_\_\_

Cor do solo: \_\_\_\_\_

### 4. SUBSTRATO

- Com solo exposto: Gradeado ( ); Não gradeado ( )

Seco ( )                      Esparramação feita: Sim ( ); Não ( )

Úmido ( )

Recoberto com matéria orgânica ( ): Tipo: \_\_\_\_\_

Fresca ..... ( )

Em decomposição ( )

Decomposto ..... ( )

## - Com ervas daninhas:

Verde ( ); Tipo: \_\_\_\_\_; % de cob. do solo: \_\_\_\_\_

Seco ( ); % de cobertura do solo: \_\_\_\_\_

- Capinado ( )

- Roçado ( )

Capinado, em ruas alternadas com mato verde roçado ( );

Gradeado, em ruas alternadas com mato verde ( );

## - Com cultura ( ):

Tipo: \_\_\_\_\_

Altura: \_\_\_\_\_

Estágio: \_\_\_\_\_

% de cob. do solo: \_\_\_\_\_

## 5. MEDIÇÕES

	ALTURA (m)	DA COPA		ALTURA (m)	DA COPA
1	_____	_____	11	_____	_____
2	_____	_____	12	_____	_____
3	_____	_____	13	_____	_____
4	_____	_____	14	_____	_____
5	_____	_____	15	_____	_____
6	_____	_____	16	_____	_____
7	_____	_____	17	_____	_____
8	_____	_____	18	_____	_____
9	_____	_____	19	_____	_____
10	_____	_____	20	_____	_____

## 6. CROQUI