



PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS  
COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS,  
CITROS, REFLECTÂNCIA

AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY  
Ralf Gielow  
Pres. Cons. P. Grad.  
*R. Gielow*

AUTOR RESPONSÁVEL  
RESPONSIBLE AUTHOR  
*M. Covre*  
Marcos Covre

DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION  
 INTERNA / INTERNAL  
 EXTERNA / EXTERNAL  
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISÉD BY  
*M. Valério Filho*  
Mário Valério Filho

CDU/UDC  
528.711.7:634.3

DATA / DATE  
Julho 1989

PUBLICAÇÃO Nº  
PUBLICATION NO  
INPE-4856-TDL/367

TÍTULO/TITLE  
INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS CULTURAIS  
DE CITROS SOBRE OS DADOS TM/LANDSAT

AUTORES/AUTHORSHIP  
Marcos Covre

ORIGEM  
ORIGIN  
PG/DPA

PROJETO  
PROJECT  
FRH/SER

Nº DE PAG.  
NO OF PAGES  
241

ULTIMA PAG.  
LAST PAGE  
C.2

VERSÃO  
VERSION

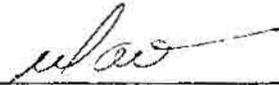
Nº DE MAPAS  
NO. OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES  
Oito parâmetros culturais de pomares de citros, índice de cobertura do terreno por árvores de citros, tipo de solo, orientação das fileiras de plantio, declividade, orientação do declive, altura das árvores, substrato e uniformidade do pomar, foram analisados procurando-se iniciar a compreensão das relações entre tais parâmetros e a resposta espectral dos pomares para o sensor "Thematic Mapper" do Landsat-5. Inicialmente os estudos de correlações indicaram efetivos relacionamentos entre o índice de cobertura do terreno por árvores de citros, substrato, uniformidade e tipo de solo com os valores de reflectância espectral. O procedimento "Stepwise" de regressão múltipla, indicou que o índice de cobertura do terreno por árvores de citros e o substrato foram os mais significativos a influenciar a resposta espectral dos pomares; a uniformidade e o tipo de solo aparecem com menor significância. Já os parâmetros relativos à topografia e orientação das fileiras não se revelaram significativos.

OBSERVAÇÕES / REMARKS  
Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto,  
aprovada em 03 de março de 1989.

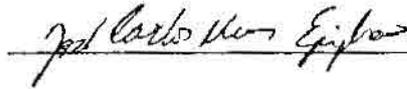
Aprovada pela Banca Examinadora  
em cumprimento a requisito exigido  
para a obtenção do Título de Mestre  
em Sensoriamento Remoto

Dr. Mário Valério Filho



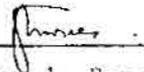
Orientador/Presidente

Dr. José Carlos Neves Epiphânio



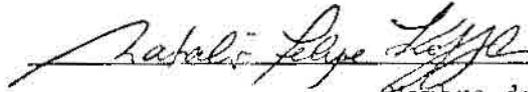
Orientador

Dr<sup>a</sup> Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo



Membro da Banca

Dr. Natálio Felipe Koffler



Membro da Banca  
-convitado-

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro



Membro da Banca

Candidato: Marcos Covre

São José dos Campos, 03 de março de 1989

A DEUS ofereço.

A meus pais Júlio e Zaida, dedico.

### AGRADECIMENTOS

Ao Dr. José Carlos Neves Epiphanyo e ao Dr. Mário Valério Filho, pela orientação, apoio, estímulo e atenção dedicados a esta dissertação.

Ao Pesquisador Antonio Roberto Formaggio do Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, pelo auxílio prestado em todas as fases deste trabalho.

À CITROSUCO PAULISTA S/A pelo suporte financeiro prestado e ao Instituto de Pesquisas Espaciais pelos recursos técnicos colocados à disposição para execução das atividades e às empresas CUTRALE e CITRORICO S/A pelo auxílio e colaboração nos trabalhos de campo

À Cássia Beatriz Sorbille Veira pelo apoio e estímulo e a Francisco José Mendonça pela compreensão e apoio.

### ABSTRACT

Eight cultural variables of citrus orchards, canopy closure index, soil type, row orientation, slope, slope aspect, height of citrus trees, background and uniformity were analysed, to beginning the comprehension of relations among this cultural variables and "Thematic Mapper Landsat" spectral response. Initially the correlations analysis indicated effectives relationships between canopy closure index, background, uniformity and soil type with spectral reflectance values. The "Stepwise" procedure of multilinear regression, indicated that canopy closure index and background were the most significatives variables to influence orchards response. Uniformity and soil type were lesser significant than there and variable related to topography and row orientation were not significatives.

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xv
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</u>	<u>1</u>
<u>CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</u>	<u>5</u>
2.1 - Aspectos gerais da citricultura no Brasil e no Estado de São Paulo.....	5
2.2 - Sensoriamento Remoto de alvos agrícolas e florestais: relação entre parâmetros culturais e resposta espectral.....	11
2.2.1 - Abordagens metodológicas no estudo das relações entre parâmetros culturais e resposta espectral	26
2.3 - Sensoriamento remoto em culturas permanentes.....	29
2.3.1 - Sensoriamento remoto em citricultura.....	32
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS.....</u>	<u>41</u>
3.1 - Áreas de Estudo.....	41
3.2.1 - Fotografias aéreas, mapas e dados auxiliares...	46
3.2.2 - Produtos digitais TM/LANDSAT-5.....	47
3.3 - Métodos.....	49
3.3.1 - Seleção dos talhões de estudo.....	50
3.3.2 - Coleta dos parâmetros culturais dos pomares....	53
3.3.3 - Coleta dos valores de reflectância nos dados TM/LANDSAT-5.....	58
<u>CAPÍTULO 4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA.....</u>	<u>63</u>
4.1 - Avaliação dos relacionamentos entre os parâmetros culturais e a resposta espectral de pomares no sensor TM/LANDSAT-5.....	63
4.2 - Determinação dos parâmetros com influência significativa na resposta espectral.....	64
<u>CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u>	<u>81</u>
5.1 - Avaliação dos relacionamentos entre os parâmetros culturais estudados e a resp. espectral dos pomares.....	82
5.1.1 - Grupo GERAL.....	82

	<u>Pág.</u>
5.1.2 - Grupo PERA.....	120
5.1.3 - Grupo NATAL.....	122
5.1.4 - Grupo VALÊNCIA.....	125
5.1.5 - Grupo HAMLIN.....	126
5.2 - Determinação dos parâmetros culturais significativos quanto à resposta espectral dos pomares....	127
<u>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</u>	<u>147</u>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	151
APÊNDICE A - PARÂMETROS CULTURAIS E RESPOSTA ESPECTRAL DOS POMARES	
APÊNDICE B - RELACIONAMENTOS ENTRE OS PARÂMETROS CULTURAIS E A REFLECTÂNCIA ESPECTRAL, GRUPOS PÉRA, NATAL, VALÊNCIA E HAMLIN.	

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Mapa mostrando a localização das regiões de maior concentração dos pomares no Estado de São Paulo..	7
2.2 - Calendário das principais operações e tratos culturais em pomares de citros no Estado de São Paulo .....	9
2.3 - Curvas de reflectância de 2 variedades de laranja e duas variedades de pomelo .....	34
2.4 - Valores médios do número digital para as três classes de tipo de cobertura .....	37
2.5 - Valores de reflectância bidirecional em 5 áreas de treinamento tomadas em dezembro de 1984 .....	40
3.1 - Localização das áreas de estudo selecionadas .....	42
3.2 - Fluxograma do trabalho .....	49
3.3 - Mapa da Fazenda Campo Grande (área 1) mostrando a disposição dos talhões selecionados .....	50
3.4 - Mapa da Fazenda Nova Era (área 2) com a disposição dos talhões selecionados .....	51
3.5 - Distribuição dos talhões na área 3 .....	52
4.1 - Procedimentos de Análise .....	76
5.1 - Relacionamento entre o parâmetro UNIF e a idade dos talhões para o grupo GERAL .....	85
5.2 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM1, grupo GERAL e parâmetros significativos (a) COB, (b) ORFIL, (c) ORDECL, (d) ALT e (e) SUB .....	87
5.3 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM2, grupo GERAL e parâmetros significativos (a) OB, (b) ORFIL, (c) ALT, (d) SUB e (e) UNIF .....	92
5.4 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM3, grupo GERAL e parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORFIL, (d) ORDECIL, (e) ALT, (f) SUB e (g) UNIF .....	98
5.5 - Diagrama mostrando os valores dos coeficientes de correlação entre o parâmetro COB e a reflectância dos pomares de citros por estratos de idade .....	104
5.6 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM4, grupo GERAL e parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORDECL, (d) SUB e (e) UNIF .....	107
5.7 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM5, grupo GERAL e parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORFIL, (d) ORDECIL, (e) ALT, (f) SUB e (g) UNIF .....	112

	<u>Pág.</u>
5.8 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM7, grupo GERAL e parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORFIL, (d) ORDECL, (e) ALT, (f) SUB e (g) UNIF .....	116
5.9 - Relacionamento entre os parâmetros COB e SOLO para o grupo NATAL.....	124
5.10 - Frequência de talhões segundo a declividade para todos os talhões.....	135
5.11 - Diagrama da proporção de sombras para um dado azimute e mesma elevação solar .....	137
5.12 - Frequência dos talhões segundo o parâmetro SOLO do grupo VALÊNCIA .....	139
5.13 - Frequência dos talhões segundo o parâmetro UNIF para o grupo VALÊNCIA.....	139
5.14 - Frequência dos talhões segundo os níveis de substrato para o grupo NATAL .....	140
B.1 - Relacionamentos entre a reflectância para a banda TM1, grupo PERA e os parâmetros significativos, (a) COB, (b) ORFIL, (c) ORDECL, (d) ALT, (e) SUB, (f) UNIF .....	B.2
B.2 - Relacionamentos entre a reflectância para a banda TM2, grupo PERA e os parâmetros significativos (a) COB, (b) ORFIL, (c) ALT, (d) SUB, (e) UNIF .....	B.5
B.3 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM3, grupo PERA e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORFIL, (d) ALT, (e) SUB, (f) UNIF .....	B.8
B.4 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM4, grupo PERA e os parâmetros significativos (a) COB, (b) ALT e (c) SUB.....	B.11
B.5 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM5, grupo PERA e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORFIL, (d) ORDECL, (e) ALT, (f) SUB, (g) UNIF .....	B.13
B.6 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM7, grupo PERA e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORFIL, (d) ALT, (e) SUB, (f) UNIF .....	B.17
B.7 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM1, grupo NATAL e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORDECL, (d) UNIF .....	B.20
B.8 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM2, grupo NATAL e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORDECL, (d) UNIF.....	B.22

	<u>Pág.</u>
B.9 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM3, grupo NATAL e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORDECL, (d) SUB, (e) UNIF.	B.24
B.10 - Relacionamento entre a reflectância da banda TM5, grupo NATAL, e os parâmetros significativos (a) DECL, (b) SUB .....	B.27
B.11 - Relacionamento entre a reflectância da banda TM5, grupo NATAL e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORDECL, (d) UNIF..	B.28
B.12 - Relacionamento entre a reflectância da banda TM7, grupo NATAL e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORDECL, (d) SUB, (e) UNIF.....	B.30
B.13 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM1, grupo VALÊNCIA de os parâmetros significativos (a) COB, (b) ORFIL, (c) ALT, (d) SUB, (e) UNIF .....	B.34
B.14 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM2, grupo VALÊNCIA de os parâmetros significativos (a) COB, (b) ORFIL, (c) ALT, (d) SUB ...	B.37
B.15 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM3, grupo VALÊNCIA de os parâmetros significativos (a) COB, (b) ORFIL, (c) ALT, (d) SUB, (e) UNIF .....	B.39
B.16 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM4, grupo VALÊNCIA de os parâmetros significativos (a) COB, (b) SUB .....	B.41
B.17 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM5, grupo VALÊNCIA de os parâmetros significativos (a) COB, (b) ORFIL, (c) SUB .....	B.42
B.18 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM7, grupo VALÊNCIA de os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORFIL, (d) ALT, (e) SUB, (f) UNIF .....	B.45
B.19 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM1, grupo HAMLIN e o parâmetro (a) COB .....	B.48
B.20 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM2, grupo HAMLIN e o parâmetro (a) COB .....	B.49
B.21 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM3, grupo HAMLIN e o parâmetro (a) COB .....	B.50
B.22 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM4, grupo HAMLIN e o parâmetro (a) ALT, (b) SUB, (c) UNIF .....	B.51
B.23 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM5, grupo HAMLIN, e o parâmetro (a) COB .....	B.54

	<u>Pág.</u>
B.24 - Relacionamentos entre a reflectância da banda Tm1, grupo HAMLIN e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB .....	B.55

## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Características do sensor TM/LANDSAT-5 .....	48
3.2 - Características das imagens selecionadas.....	49
3.3 - Irradiância Espectral média do sol no topo da atmosfera .....	
3.4 - Radiância Espectral .....	60
4.1 - Grupos de Análise .....	77
4.2 - Grupo de análise correspondentes a estratos dos pomares por idade .....	78
5.1 - Coeficientes de correlação significativos entre a reflectância e os parâmetros culturais anali sados para o grupo GERAL .....	83
5.2 - Coeficientes de correlação significativos para o grupo PERA entre a reflectância espectral e os parâmetros culturais .....	121
5.3 - Coeficientes de correlação significativos para o grupo NATAL entre os parâmetros culturais e a reflectância espectral .....	123
5.4 - Coeficientes de correlação significativos para o grupo VALÊNCIA entre os parâmetros culturais e a reflectância espectral.....	125
5.5 - Coeficientes de correlação significativos para o grupo HAMLIN, entre os parâmetros culturais e a reflectância espectral .....	127
5.6 - Valores do número condicional k por grupo ou es trato de análise .....	128
5.7 - Sumário dos resultados do procedimento "Step wise" por grupo de análise e banda do TM .....	130
5.8 - Resultados do procedimento "Stepwise" por estra tos de idade dos pomares .....	142
A.1 - Parâmetros culturais dos pomares .....	A.1
A.2 - Reflectância Espectral dos Pomares .....	A.7

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

O avanço considerável da citricultura em nosso país, nas últimas décadas, proporcionou um notável incremento das atividades econômicas agregadas a este setor. Só em 1987 este setor foi responsável pela exportação de suco concentrado e frutos "in natura" no valor de 1 bilhão de dólares, sendo atualmente o Brasil o maior produtor mundial de frutos cítricos e o maior exportador de seus derivados.

Concomitantemente a este impulso econômico ocorre a necessidade de informações de estatísticas agrícolas referentes ao parque citrícola, capazes de fornecer subsídios a planejamentos e negociações. É nesse sentido que a tecnologia de sensoriamento remoto apresenta a potencialidade de viabilizar a implantação de um sistema de informações agrícolas voltado à citricultura.

Contudo, para uma efetiva utilização das técnicas de sensoriamento remoto, é imprescindível um bom conhecimento dos objetos de análise, que envolve a compreensão dos fenômenos e variáveis que influenciam a sua resposta espectral, sendo então possível a formulação de metodologias e procedimentos para a manipulação dos dados de maneira efetiva.

A abordagem objeto deste estudo vem de encontro à linha de pesquisa voltada à compreensão dos fenômenos e variáveis que influenciam a resposta de um determinado alvo da superfície.

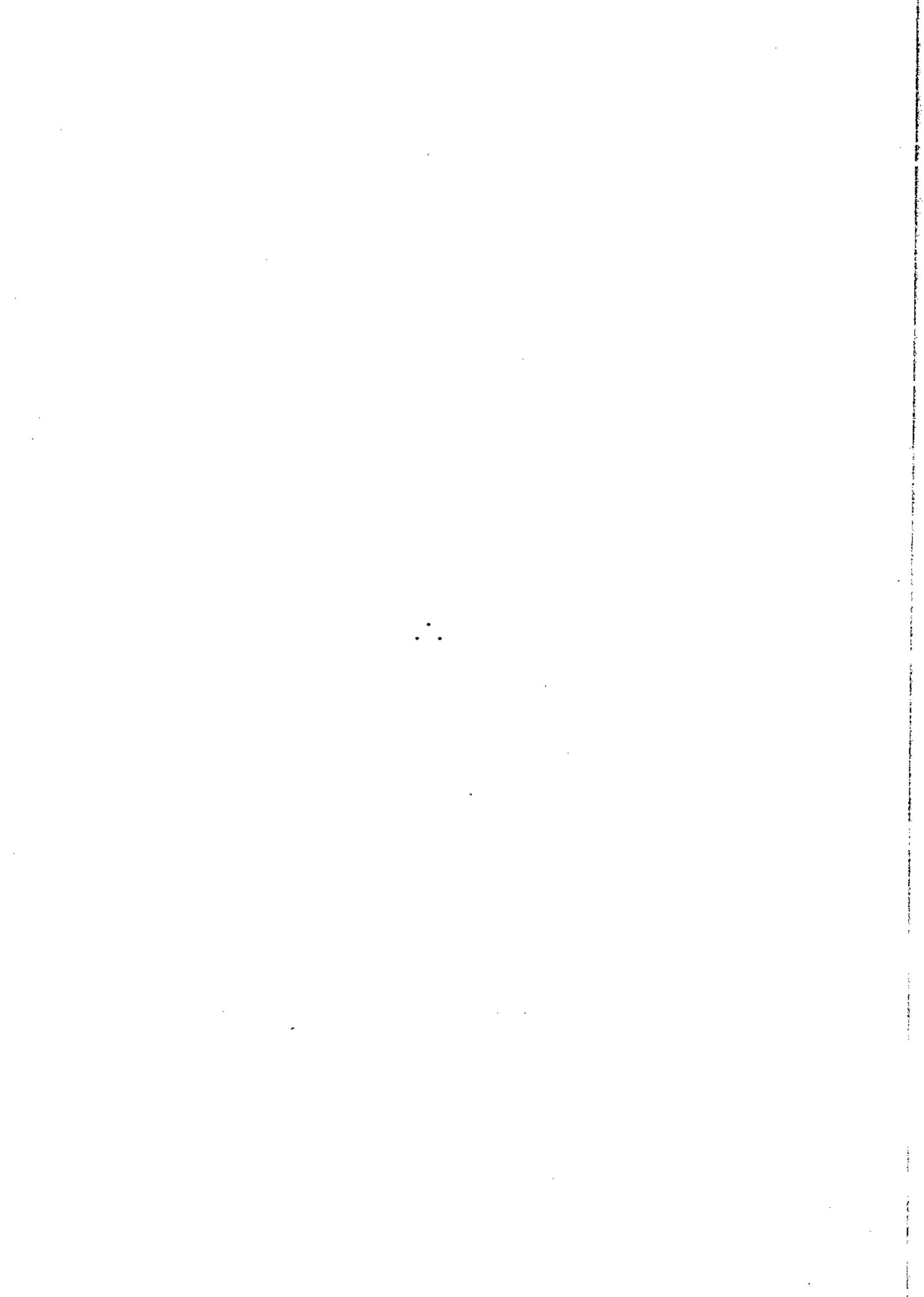
Alguns estudos desenvolvidos nas décadas passadas (principalmente com café) demonstraram que a complexidade das relações entre os parâmetros intrínsecos aos cultivos permanentes dificultam sua identificação. Porém, poucos têm sido os trabalhos, mesmo no nível internacional, voltados à busca do entendimento de tais relações.

Assim sendo, este trabalho objetiva dar um primeiro passo em direção à compreensão das relações entre parâmetros ditos culturais (intrínsecos) dos pomares de citros e a resposta em produtos do sensor TM/Landsat-5. Procura inicialmente observar o tipo de relacionamento entre alguns parâmetros culturais e a resposta em cada banda do sensor, em seguida determinar entre estes parâmetros, quais contribuem de maneira significativa na resposta espectral. A hipótese levantada considera que diversos parâmetros culturais dos pomares de citros interferem na sua resposta espectral (em dados do sensor TM/Landsat-5), e supondo-se que há uma influência diferenciada de cada parâmetro, é possível identificar a importância relativa destes parâmetros e analisar os relacionamentos existentes.

Os experimentos foram dimensionados em condições de campo, utilizando-se áreas tais como elas são imageadas pelo sensor, buscando-se modelar e determinar as variáveis na melhor forma que esta condição permite.

No Capítulo 2, é apresentada a fundamentação teórica pertinente. O Capítulo 3 apresenta a descrição das áreas de estudo selecionadas, os materiais utilizados e as metodologias de coleta e tratamento dos dados. Os métodos e análises estatísticas empregados neste trabalho são discutidos no Capítulo 4. O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos e inclui a discussão destes. O Capítulo

6 apresenta as conclusões e sugestões de continuidade dos estudos com pomares de citros e culturas permanentes.



## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1 - ASPECTOS GERAIS DA CITRICULTURA NO BRASIL E NO ESTADO DE SÃO PAULO

Sob a denominação de citros abrigam-se, na verdade, três gêneros e inúmeras espécies. Tanaka, citado por Rodrigues e Viêgas (1980) por exemplo, relata que os gêneros *Citrus*, *Fortunella* e *Clymbera* são normalmente agrupados na denominação genérica de citros.

No Brasil as laranjas (*Citrus sinensis*) compreendem o grupo dominante das frutas cítricas cultivadas. Pompeu Jr. (1985) afirma que no Estado de São Paulo as variedades Pera e Natal formam cerca de 80% da citricultura paulista, sendo que somente a variedade Pera é cultivada em 70% dos pomares comerciais, a Natal em 10% e a variedade Valência aparece em 9% dos pomares e em menores proporções cultivam-se as variedades Hamlin e Rubi. Dessa forma, como se vê, as laranjas são cultivadas em mais de 90% dos pomares paulistas.

Cultivam-se ainda outras espécies como as tangerinas (*Citrus reticulata* e *Citrus deliciosa*), os limões Tahiti (*Citrus latifolia*) e galego (*Citrus aurantifolia*), além do Pomelo Marsh Seedless (*Citrus paradisi*) em menor proporção (Rodrigues e Viêgas, 1980).

Os citros foram introduzidos no país com as primeiras expedições, havendo relatos da existência de laranjais já no século XVI. Em São Paulo, na década de 20, iniciou-se em Limeira a formação de um núcleo citrícola o qual, depois de abastecer São Paulo, começou a produzir

excedentes para exportação. Nasceu daí a grande expansão da citricultura, que mais recentemente obteve maior impulso com a instalação das indústrias de suco concentrado no Estado, associada às quebras na produção americana que têm estimulado, via bons preços, as exportações. A partir desses impulsos os pomares avançaram das regiões tradicionais (Campinas, Limeira) para as regiões de Araraquara, Barretos, Bebedouro, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto.

Atualmente o Estado de São Paulo detém aproximadamente 90% da produção citrícola nacional, com um total de 120 milhões de pés plantados. Deste total 119 milhões concentram-se nas regiões de Araraquara, Barretos, Bebedouro, Campinas, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto (FUNDECITROS, 1988).

A Figura 2.1 mostra as regiões de maior concentração dos pomares.

No Estado de São Paulo, o plantio das mudas é realizado normalmente de agosto a dezembro, período de boa precipitação. Contudo em algumas regiões do Estado planta-se fora deste período (Rodrigues e Viêgas, 1980).

Os espaçamentos mais comuns, para laranjas em pomares mais antigos são de 8 ou 9 metros entre fileiras e 6 metros entre plantas. Atualmente a tendência indica espaçamentos mais adensados. Teófilo Sobrinho (1985) relata a tendência para espaçamentos de 6 metros entre fileiras e 3 ou mesmo 2 metros entre plantas. As tangerinas e os pomelos necessitam de espaçamentos maiores (10 metros entre fileiras e 8 ou 7 metros entre plantas).

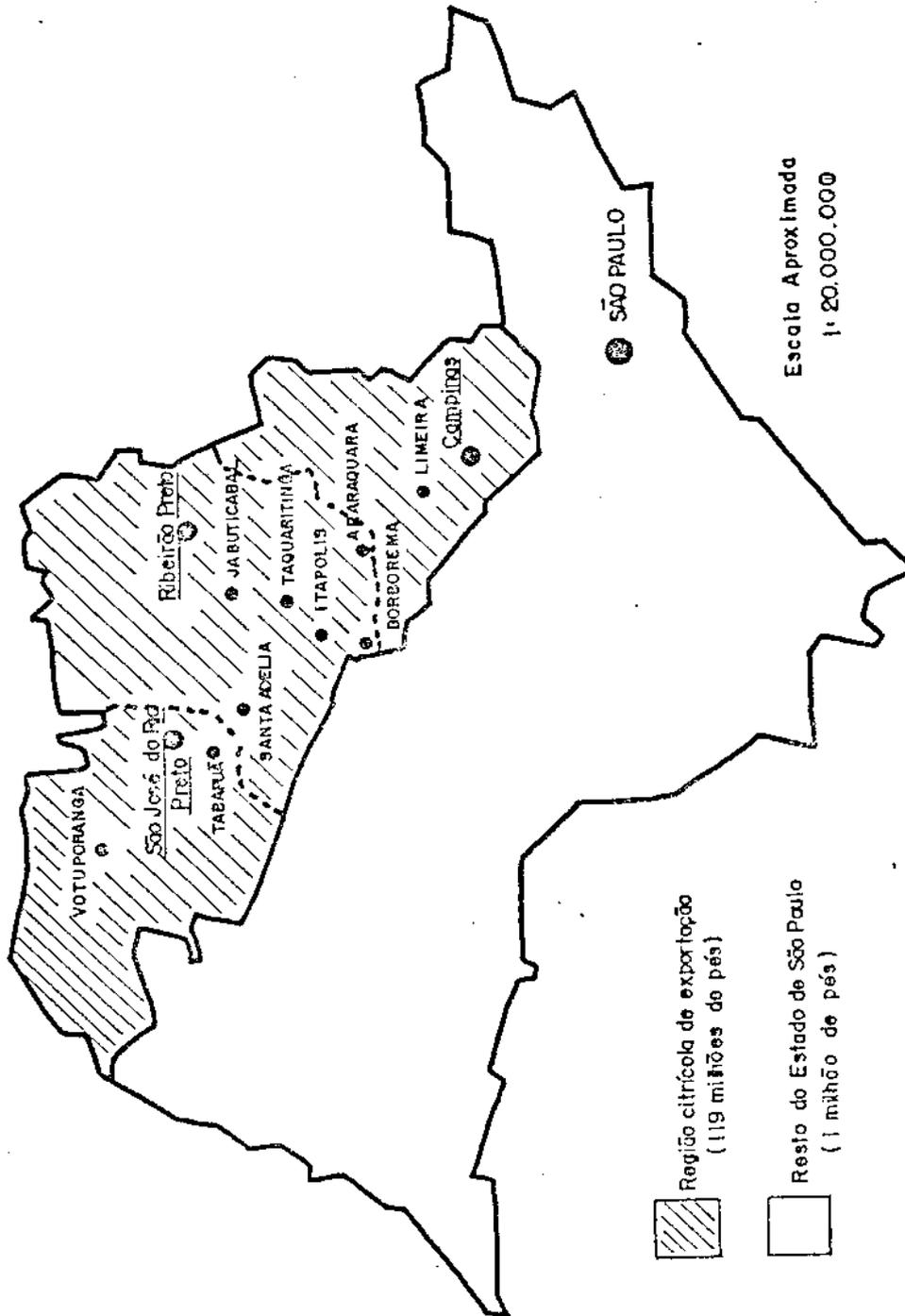


Fig. 2.1 - Mapa mostrando a localização das regiões de maior concentração dos pomares no Estado de São Paulo.

FONTE: Fundecitros, 1988.

Os citros necessitam de uma precipitação pluviométrica, entre 900 e 1500 mm anuais, com boa distribuição, sendo que, quando há deficiência, recomenda-se a irrigação. Já os excessos podem prejudicar as raízes, e a qualidade dos frutos (Montenegro, 1980).

Embora os pomares de citros suportem bem temperaturas relativamente baixas, as plantas deixam de vegetar abaixo de 15°C e quase paralisam suas atividades a 10°C (Moreira, 1985). Montenegro (1980) determina como ideal ao bom desenvolvimento dos pomares o intervalo de temperaturas entre 23°C e 33°C.

No estado de São Paulo há dois períodos climáticos bastante característicos um período seco (abril a agosto) e outro chuvoso (setembro a março). Segundo Caetano (1980), no primeiro período os pomares devem permanecer com as entrelinhas livres de ervas daninhas, enquanto no período das chuvas deve ser mantida uma cobertura vegetal nas entrelinhas.

Caetano (1985) afirma que, atualmente, o sistema de cultivo mais largamente empregado consiste em usar roçadeiras nas entrelinhas por 3 a 4 vezes no período chuvoso e 1 gradeação no período seco.

Embora haja uma grande gama de técnicas de cultivos, a Figura 2.2 apresenta um calendário generalizado dos principais tratamentos culturais em pomares citrícos no Estado de São Paulo.

Atividade	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Gradeação												
Roçadeira e/ ou Herbicida												
Calagem												
Adubação												
Pulverização												

Fig. 2.2 - Calendário das principais operações e tratos culturais em pomares de citros no Estado de São Paulo.

O objetivo das operações de gradagem, é deixar as entrelinhas livres de plantas daninhas, evitando a competição por água e nutrientes. Por esta razão, são efetuadas no período seco, em função da pouca disponibilidade hídrica. Embora haja eliminação da cobertura vegetal nas entrelinhas, não haverá riscos de erosão devido à baixa precipitação.

No período chuvoso, a permanência de vegetação tem por fim evitar a erosão, que tende a se tornar mais presente com o aumento da pluviosidade, resumindo-se, nesse período, os tratamentos culturais a operações com roçadeiras e herbicidas. Cabe ressaltar, além do sistema já citado por Caetano(1985), a utilização no período chuvoso da gradagem em ruas alternadas, procedimento também largamente utilizado no Estado.

Resumidamente, pode-se afirmar que, no período seco, as entrelinhas dos pomares apresentam-se com muito pouca vegetação (muitas vezes solo desnudo); enquanto que no período chuvoso estas apresentam-se com cobertura vegetal mais abundante.

Segundo Malavolta(1985), as plantas cítricas são verdes durante todo o ano, não apresentando período de repouso e podendo viver por séculos. Apresentam dois ciclos anuais de crescimento: vegetativo e floral na primavera e principalmente vegetativo no verão.

A época de colheita varia em função das variedades e espécies cultivadas, sendo que para as variedades de laranja Pera e Natal, o período é de julho a dezembro, as tangerinas são colhidas normalmente de março a julho, o limão Tahiti de dezembro a abril, os limões Verdadeiro e Siciliano e os pomelos de maio a agosto. Em

algumas variedades ocorrem floradas extemporâneas, acarretando outras frutificações no decorrer do ano (Figueiredo,1980).

Quanto às suas características gerais, os citros apresentam portes e conformações diferenciados. Para as laranjas, a variedade Pera em idade adulta apresenta árvores de porte médio e formato da copa arredondado. As variedades Hamlin e Natal caracterizam-se por árvores de porte médio a grande e folhagem abundante, diferindo porém no formato da copa, com a Natal possuindo copas arredondadas e a Hamlin copas de formato cônico.

A variedade Valência possui árvores de porte médio e formato da copa arredondado. Nos limões, o de maior porte é o Siciliano, com galhos esparramados e folhas pontiagudas, o Tahiti de porte médio a grande, folhagem densa e folhas de coloração verde escuro. Por fim, os pomelos caracterizam-se por árvores de grande porte e folhas largas de coloração verde claro (Figueiredo,1980).

## 2.2 - SENSORIAMENTO REMOTO DE ALVOS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS: RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS CULTURAIS E RESPOSTA ESPECTRAL.

De acordo com o LARS(1968) o sensoriamento remoto pode ser aplicado ao estudo do uso da terra agrícola para atender a três objetivos básicos:

- a) identificação das diversas culturas;
- b) estabelecimento das melhores faixas do espectro eletromagnético na discriminação destas culturas e

c) determinação, em função do estágio de desenvolvimento e das características culturais, dos padrões de resposta multiespectral para os diferentes grupos ou categorias de culturas.

Nota-se, portanto, que um passo importante na busca desses objetivos reside no conhecimento das relações entre parâmetros e características dos alvos agrícolas/florestais e suas respostas nos sensores.

Moreira et alii (1987) afirmam que, quando os alvos estudados por sensoriamento remoto são áreas agrícolas, torna-se necessário um amplo conhecimento da cultura estudada (seus parâmetros intrínsecos), do solo "in situ" e da interação destes com a radiação eletromagnética. Tal afirmação corrobora o que dizem Hlavka et alii (1980), quando salientam que um problema fundamental na identificação de áreas agrícolas, com dados do satélite Landsat-3, é o número de variáveis que influenciam a reflectância de uma determinada cultura.

Esta problemática determina linhas de pesquisa em sensoriamento remoto que procuram compreender os fenômenos que interferem na resposta espectral, notadamente em relação a alvos agrícolas e florestais, no que diz respeito às suas características culturais ("stand" da cultura ou povoamento, condições do substrato, estágio vegetativo, solos, etc.).

Estudando tais relações, Colwell (1974) observa que a resposta espectral de alvos com vegetação é dependente de muitos fatores, sendo que muitas áreas vegetadas são misturas de diferentes componentes, incluindo folhas, galhos, caule, substrato e sombras. Além do que, estes componentes são orientados em muitos ângulos

diferentes em relação à fonte de radiação incidente, redundando em variabilidade na irradiância dos mesmos. O agrupamento dos componentes de uma superfície vegetada é o seu chamado "dossel", e sua proporção no campo de visada e reflectância é que determinam o nível dos sinais registrados pelo sensor.

Colwell(1974) discute ainda alguns parâmetros de especial importância nas respostas espectrais de superfícies vegetadas, observando que, com relação à percentagem de cobertura do terreno com determinada vegetação, se todos os outros parâmetros forem mantidos constantes, esta possui uma correlação negativa com a reflectância na região do visível e correlação positiva na região do infravermelho próximo. O substrato afeta os valores de reflectância de determinada superfície de acordo com a sua composição (percentagens de vegetação, de solo, de rochas, neve, etc) e também de acordo com as características destes componentes (composição, estruturas, teor de umidade, etc.).

A quantidade de sombras em um dossel afeta de maneira substancial os valores de reflectância. Vinagrodov, citado por Colwell (1974) encontrou uma correlação negativa, para gramíneas, entre a reflectância e a percentagem de vegetação na região do visível, a qual atribuiu ao incremento da quantidade de sombras no dossel em função do aumento na percentagem de vegetação. Ainda sobre sombras, o autor, citando Roller, observa que este encontrou decréscimo na reflectância no infravermelho próximo com o aumento da percentagem da cobertura do terreno por árvores. Concluiu que este decréscimo pode ser atribuído ao efeito da quantidade de sombras, a qual aumenta com o incremento da cobertura de árvores.

Contudo, não só a quantidade é um parâmetro importante no que diz respeito a sombras, mas o escurecimento relativo também pode ser muito importante. Se for tomada a mesma quantidade de sombras observada em um dossel de coníferas e de folhosas, pode-se ter um efeito maior das sombras na região do infravermelho, para o dossel de coníferas, pois as sombras destas são relativamente mais escuras que as observadas no dossel de folhosas, em função da menor transmitância da vegetação de coníferas. A irradiância do céu e a reflectância dos objetos sombreados também alteram a influência das sombras no dossel (Colwell, 1974).

Colwell (1974) considera ainda importantes, na determinação da reflectância de uma superfície vegetada, a transmitância das folhas, o arranjo destas, as características dos outros componentes da vegetação (troncos, galhos, flores, etc.), além de parâmetros da cena, tais como o ângulo de visada do sensor e o ângulo azimutal.

O trabalho de Colwell (1974) permite verificar que na busca da compreensão das relações entre alvos agrícolas/florestais (que são em síntese superfícies vegetadas) e suas respostas em sensores, há que se levar em consideração vários fatores e características destes alvos, uma vez que suas influências podem ser decisivas a afetar os valores da reflectância espectral.

De uma maneira geral, os cultivos permanentes e pomares, apresentam elementos do dossel característicos de cultivos temporários, tais como operações de cultivos realizadas sazonalmente, orientação específica das plantas, etc, e também elementos característicos de alvos florestais, como o porte arbóreo, disposição dos elementos

na cena, etc. Assim, relações encontradas nestes alvos apresentam similaridade com as que ocorrem em cultivos permanentes e, portanto, observações e conclusões pertinentes a alvos florestais e cultivos temporários, podem auxiliar sobremaneira na compreensão dos fenômenos e relações que ocorrem em pomares e outros cultivos permanentes.

Inúmeros autores têm estudado as relações entre características culturais de alvos agrícolas e suas influências na resposta espectral.

Westin e Lemme(1978) estudaram o efeito do solo e da vegetação na resposta espectral no MSS/Landsat-2. Associações de seis solos cultivados com milho, cereais de grãos pequenos e pastagens de gramíneas foram analisadas em duas datas com o objetivo de detectar a influência do tipo de solo sobre a resposta espectral dos alvos. Verificaram que as diferenças de solo, no que se refere às propriedades espectrais, mostraram-se mais acentuadas nas áreas de pastagens do que nas áreas ocupadas com culturas. Os autores afirmam ainda que a variação dos solos pode causar diferenças nas assinaturas espectrais de cada cultura, comentando que muito embora a cobertura vegetal de um campo de cultura, em estágio avançado de crescimento, elimine a influência dos solos, as culturas não crescem com a mesma taxa de desenvolvimento nos diferentes tipos de solos.

O comportamento espectral dos solos, por sua vez, varia de acordo com diversos fatores, dentre os quais encontra-se na literatura como mais importantes: a umidade, o conteúdo de matéria orgânica, a textura, a cor, a capacidade de troca catiônica, o teor de óxidos de ferro e a estruturação.

Bauer et alii(1981) estudaram as características agronômicas e as propriedades de reflectância multiespectral em milho, soja e trigo, através de medições radiométricas. Concluíram que, no período entre a instalação da cultura até que esta cubra de 20 a 30% do terreno, o substrato domina a reflectância espectral. Posteriormente, as características de espaçamento, densidade de plantas e estágio vegetativo passam a ser os fatores agronômicos que exercem maior influência.

Ainda com relação à percentagem de cobertura do solo pela cultura e a influência na resposta em produtos de satélite, Richardson e Wiegand(1977) observaram altas correlações entre a percentagem de cobertura do solo pela cultura de sorgo e níveis de cinza nas bandas 4 e 5 do MSS/Landsat-2.

Na verdade, pode-se dizer que a reflectância de uma superfície vegetada (como é o caso de um campo de cultura) é uma mistura da reflectância de plantas, solo e sombras (Gerberman, citado por Richardson et alii, 1975).

Colwell(1974), já forneceu algumas informações com relação à influência desses componentes (plantas, solo e sombras) sobre a resposta espectral. O que se percebe, é que a compreensão dos fatores que afetam a resposta espectral de uma área ou alvo agrícola passa necessariamente pela análise destes três componentes básicos do dossel; que por sua vez têm suas influências dependentes de fatores a eles associados (ângulos, disposições na cena, percentagens e composições).

Richardson et alii(1975) estudaram e modelaram a influência desses três componentes (percentagem de cobertura do terreno por plantas, percentagem de solo,

percentagem de sombras) nos valores de reflectância de milho, sorgo e algodão obtidos pelo MSS/Landsat-1. Os autores obtiveram bons resultados na estimativa destes parâmetros através da combinação de 2 modelos utilizando os valores de reflectância. Apresentaram ainda importantes considerações a respeito da determinação da percentagem de sombras em um campo agrícola. O modelo apresentado pode ser resumido na equação(1):

$$f_s = \frac{PH \cdot \text{Sen}(\theta - \Delta)}{RS \cdot \text{Tan}(\angle)}$$

onde:

$f_s$  = fração da área coberta por sombras;

$PH$  = altura das plantas;

$RS$  = espaçamento entre as fileiras;

$\theta$  = ângulo azimutal a leste do norte verdadeiro;

$\Delta$  = direção das linhas de plantio a leste do norte verdadeiro;

$\angle$  = altitude do Sol acima do horizonte local.

Observa-se que a quantidade de sombras é dependente, além das características de ângulos solares, de características da planta (altura) e da geometria de sua disposição dentro do talhão (orientação das fileiras) cujas variações, portanto, podem influenciar a resposta espectral.

Com respeito às variações na geometria das observações, Ranson et alii (1986) estudaram a variação na resposta espectral de soja em relação à iluminação, ângulo de visada e geometria do dossel. Os resultados indicaram uma grande dependência da geometria da observação para os dosséis da cultura que não cobrem o terreno completamente. Verificaram que a reflectância na região do infravermelho próximo decresce com o aumento do ângulo zenital solar para a visada no nadir, ainda que as entrelinhas estejam sombreadas.

Outros fatores causam alterações na reflectância de uma cultura, tais como o estresse hídrico e o estado nutricional. Bauer et alii (1981) encontraram diferenças significativas na reflectância de dosséis de trigo e milho, quando submetidos a diferentes níveis de disponibilidade de água e vários níveis de adubação nitrogenada. Os autores observam que a presença de deficiência de nitrogênio e de umidade reduzem a concentração de clorofila nas folhas, o índice de área foliar, a percentagem de cobertura do terreno e o conteúdo de água nas folhas, causando incremento da reflectância nas regiões do visível e infravermelho médio e decréscimo no infravermelho próximo.

Além desses fatores a composição em termos de espécies e variedades, incidências de pragas e doenças, etc., afetam os valores de reflectância.

Inúmeros fatores, como se vê, induzem em variabilidade espectral de uma mesma cultura e esta variabilidade, por seu turno, pode ser responsável pelo nível de acurácia de um determinado procedimento de classificação. Batista (1981) estudou a influência dos parâmetros de declividade, drenagem, textura, tipo e

variabilidade de solos, proporções de culturas, árvores, pastagens e outros usos, tamanho das parcelas, dados de produtividade e estágio da cultura, na acurácia da classificação em dados MSS/Landsat-2 e 3. O tamanho das parcelas revelou-se como o fator mais significativo a explicar a variabilidade na acurácia da classificação, porém outros fatores se mostraram, em menor grau, significativos, tais como, a proporção de culturas, o tipo do solo, a drenagem e a percentagem do declive, a posição relativa da amostra em relação ao "Corn Belt" e o estágio da cultura.

Colwell(1974) observa que a reflectância das copas das árvores será, de uma maneira genérica, compreendida ou definida, como o valor que representa uma integração de todos os componentes refletivos das árvores. Todavia, quando a resolução do sensor é pequena, não sendo portanto possível detectar as copas das árvores individualmente, o espaçamento e outros relacionamentos entre as árvores tornam-se importantes na definição da resposta espectral. Na verdade, nesta condição um conjunto de componentes passa a ser o formador dos valores de reflectância, sendo esta então função da combinação complexa das características das árvores e dos elementos presentes entre estas.

Esta é a situação observada em pomares e cultivos permanentes, quando registrados por sensores a bordo de plataformas orbitais, como os satélites da série Landsat. Assim sendo, como já foi anteriormente relatado, trabalhos envolvendo alvos florestais podem contribuir para os estudos com pomares, mesmo porque, aqueles apresentam aspectos de geometria espacial e do dossel semelhantes a estes.

Walsh(1987) estudou a variabilidade das respostas espectrais em dados do MSS/Landsat-4, para florestas em relação ao "stand" e às características locais. Analisou os parâmetros de espécies, proporção de espécies na população, altura das árvores, diâmetro da copa, densidade das copas, diâmetro das árvores (tronco), grau de declividade e direção do declive na área. Concluiu que, para os dados da população amostrada, a variabilidade induzida pela topografia foi muito maior que a variabilidade induzida por espécies das árvores, tamanho e densidade da cobertura vegetal.

Já Franklin (1986), utilizando dados de simulação do sensor TM ("Thematic Mapper Simulator" - TMS), analisou as relações entre os valores de reflectância obtidos e informações de área basal, biomassa e composição de espécies em florestas de coníferas e concluiu que os dados de reflectância foram mais fortemente correlacionados com a quantidade de vegetação na região do visível (TMS1, TMS2 e TMS3) os quais decrescem com o incremento da área basal.

A autora verificou ainda que houve certa influência dos "stands" florestais dominados por espécies diferentes, onde áreas dominadas por "abeto vermelho" apresentaram diferenças significativas de características espectrais em relação a áreas dominadas por "abeto branco", particularmente nas bandas TMS4 (0,76 - 0,9 $\mu$ m) e TMS6 (10,4 - 12,5 $\mu$ m).

Ainda quanto à quantidade de vegetação, Butera(1986) obteve correlações entre a resposta espectral para dados de simulação do TM e a densidade do dossel em sítios florestais de -0,757 (para a banda TMS1), -0,663 (TMS2), -0,666 (TMS3), -0,088 (TMS4), -0,797 (TMS5), -

0,597 (TMS6) e -0,763 (TMS7). A autora observa que os valores negativos encontrados para todas as bandas foram causados, provavelmente, pelas condições espectrais do substrato (solo seco e ervas senescentes) com refletividade, em muitos casos, maior que a do dossel da floresta.

Da mesma forma que Franklin(1986), Kleman(1985) em medições realizadas com helicóptero, observou diferenças entre espécies (Picea abies e Pinus sylvestris), porém no intervalo espectral correspondente à banda 5 do TM(1,57 - 1,78um), atribuindo esta separação à maior porção do substrato que é iluminada no "stand" de Pinus. Já para a influência do substrato em si, o autor observou menor importância na resposta espectral do dossel, exceto para "stands" esparsos de Pinus.

Ranson et alii(1986), porém, estudando os efeitos do substrato na resposta espectral de dosséis de bálamo (Abies balsamea), arranjados em diferentes densidades, observaram que tais efeitos foram bastante significativos, encontrando os autores baixos coeficientes de determinação ( $R^2 = 0$ ) com modelos de regressão entre índices de vegetação e fitomassa, quando o substrato era graminóide (indicando influência marcante do substrato). Em contrapartida, para substratos simulando a reflectância da neve, foram encontrados fortes relacionamentos ( $R^2$  entre 0,8 e 0,9). Efeitos de variação do ângulo solar, testados, mostraram pouca influência desta variação nos modelos com substrato graminóide; já para os modelos com substrato simulando neve, ocorreram alterações significativas (em função da quantidade de sombras na área imageada). Dessa forma, concluíram que as alterações no substrato podem causar profundas mudanças na resposta espectral de coníferas.

Abordando a problemática em áreas florestais como situações de "pixels misturados", onde a composição de um pixel, em função da resolução do sensor, contém dois ou mais tipos de cobertura vegetal, Heimes (1977) estudou os efeitos dos componentes primários da cena (vegetação, substrato e sombras) na resposta espectral, nas regiões do visível e do infravermelho próximo, para comunidades de Pinus contorta, através de medidas radiométricas. O autor verificou que o componente principal encontrado nas cenas estudadas foi a porção de sombras; os outros elementos primários foram o dossel da floresta e os vários componentes do substrato. Um modelo de regressão linear foi ajustado para relacionar os componentes primários à resposta espectral da cena. Os dados revelaram para uma área de estudo, coeficientes de determinação entre 0,86 e 0,99 e para outra área entre 0,40 e 0,88. O autor concluiu que os resultados do estudo conferiram credibilidade à teoria de que o relacionamento linear entre as proporções dos componentes da cena, sua estrutura e orientação, devem ser considerados quanto aos seus efeitos na resposta espectral.

Neste trabalho, o autor plotando os dados de proporção dos componentes primários da cena versus a reflectância em 2 comprimentos de onda (0,675 $\mu$ m e 0,96 $\mu$ m), observou que as sombras exibiram um forte relacionamento linear, decrescendo os valores de reflectância com o incremento da proporção de sombras em ambos os comprimentos de onda. Quanto ao substrato, os valores de reflectância tendem a exibir uma larga variação para baixas proporções de substrato e uma menor variação para valores mais altos do substrato. Heimes atribui a larga variação dos valores de reflectância para baixas proporções do substrato à variabilidade das proporções dos outros componentes, sombras e dossel da floresta, sendo que os valores mais

altos de reflectância nesta condição são resultantes de proporções do dossel florestal maiores que a proporção de sombras e vice-versa para os menores valores. Os valores de reflectância, quando comparados com a proporção do dossel florestal na cena, seguem a mesma tendência geral do substrato, uma vez que o substrato graminóide possui uma reflectância bastante alta com pouca ou nenhuma proporção do dossel florestal, enquanto que, áreas sombreadas do mesmo substrato adjacente às áreas florestadas possuem valores de reflectância bem baixos.

Com respeito aos efeitos da quantidade de sombras na resposta espectral, Ranson e Daughtry (1987), trabalhando com medições radiométricas em bálamo (Abies balsamea) encontraram resultados indicando que a reflectância na região do vermelho e infravermelho próximo decresce com o aumento da quantidade de sombras na cena.

Também para alvos florestais, situações de estresse podem alterar os valores da resposta espectral. Banninger (1986a) estudando o relacionamento entre o conteúdo de metais pesados no solo e a radiância do dossel de coníferas em dados do MSS/Landsat-4, relata que o crescimento de coníferas em solos contendo altas concentrações de cobre, chumbo e zinco, mostrou uma forte correlação negativa entre o conteúdo de metais no solo e o índice de área foliar ( $r$  entre  $-0,73$  e  $-0,89$ ) e uma correspondente correlação positiva entre os valores de radiância para o MSS/Landsat-4 e o índice de área foliar ( $r$  entre  $0,69$  e  $0,80$  para bandas do MSS e índices de vegetação). Segundo o autor, os resultados sugerem que pequenas concentrações de metais pesados no solo manifestam-se antes em mudanças morfológicas que fisiológicas em um dossel e que tais mudanças são passíveis

de serem detectadas por sensores operando em plataformas orbitais tais como o MSS/Landsat.

Todavia Banninger(1986b) observa que as sombras no dossel podem alterar as respostas esperadas em coníferas submetidas a condições de estresse, causando decréscimo na resposta espectral da vegetação estressada na região do visível e em algumas porções do infravermelho, contrariando o que se esperaria em tais regiões.

Alguns autores elaboraram modelos para avaliar as relações entre componentes da cena e explicar as respostas espectrais em alvos florestais.

Cavayas e Toillet(1985) construíram um modelo "geométrico" para a reflectância do dossel de coníferas que pode ser resumido na equação seguinte:

$$RF = Rtx \cdot Ftx + Rbx \cdot Fbx + Rty \cdot Fty + Rby \cdot Fby$$

onde:

RF = reflectância de um pixel de um povoamento;

Rtx = reflectância média das árvores iluminadas diretamente;

Rbx = reflectância média do substrato iluminado diretamente;

Rty = reflectância média das árvores iluminadas por luz difusa;

Rby = reflectância média do substrato iluminado por luz difusa;

Ftx = fração do terreno ocupada por árvores iluminadas diretamente;

Fbx = fração da área ocupada por substrato iluminado diretamente;

Fty = fração da área ocupada por árvores iluminadas por luz difusa;

Fby = fração da área ocupada pelo substrato iluminado por luz difusa.

Aplicando este modelo em simulações, os autores verificaram que para determinadas densidades de população e ângulo zenital solar, os resultados das simulações apresentaram mudanças significativas na reflectância do pixel devido às variações na declividade e direção (aspecto) do declive. Conclui-se que em certas condições os aspectos da topografia influem decisivamente na resposta espectral e mesmo os efeitos de sombreamento podem alterar os valores de reflectância.

Os estudos realizados com alvos florestais e culturas apontam uma série de fatores que afetam suas respostas espectrais, e potencialmente pode-se admitir que da mesma forma afetam a resposta espectral de pomares. De uma maneira geral, observa-se que tais fatores são:

- percentagem de cobertura do terreno por árvores ou plantas;
- condições do dossel (estresse, vigor, teor de umidade, etc);

- composição do dossel em termos de espécies e variedades;
- características da disposição geométrica do dossel que, aliada às características de porte e conformação do dossel, influem na percentagem de sombras;
- declividade do terreno e orientação do declive;
- proporção do substrato;
- condições do substrato.

Observa-se que cada um destes fatores pode ter influências diferenciadas na resposta espectral, de acordo com a composição e a presença de outros fatores, e mesmo em função de suas magnitudes.

#### 2.2.1 - ABORDAGENS METODOLÓGICAS NO ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS CULTURAIS E RESPOSTA ESPECTRAL

No estudo das relações entre parâmetros intrínsecos do alvo e sua resposta espectral, inúmeras abordagens têm sido utilizadas, como por exemplo, estudar a matriz de correlação entre os dados ou mesmo através de gráficos.

Uma abordagem importante, contudo, na busca da compreensão de tais relações, é o método de regressão linear. Vários autores têm usado tal abordagem em trabalhos desta natureza.

Tucker (1978) para a avaliação de dados Landsat-1,2,3, Landsat-4 (simulação teórica) e SPOT

(simulação teórica), utiliza o método de regressão com os valores de reflectância e de biomassa.

Butera (1986) também relaciona os dados de percentagem de cobertura do dossel com dados de resposta espectral em simulações do TM, através de procedimentos de regressão linear simples.

Banninger (1986a) em seu estudo dos efeitos do conteúdo de metais pesados no solo em dados do MSS/Landsat, utiliza a abordagem de regressão linear simples. O mesmo faz Franklin (1986) para os dados de área basal e reflectância em dados simulados do TM.

A utilização de procedimentos de regressão linear múltipla é muitas vezes indicada quando se procura descrever ou modelar casos em que mais que uma variável possui influência sobre a resposta espectral, uma vez que se pode, desta forma, observar o comportamento de uma determinada variável quando em presença de outras na explicação de um modelo.

Richardson et alii (1975) utilizaram a combinação de dois modelos de regressão linear múltipla para a determinação dos componentes de reflectância do solo, plantas e sombras em um dossel de cultura, a partir dos dados de reflectância.

Ranson et alii (1986) utilizaram um modelo de regressão linear múltipla para examinar o efeito do substrato na resposta espectral de dosséis de bálamo, empregando como variáveis independentes os valores de biomassa na cena e do ângulo azimutal na determinação dos valores de reflectância espectral.

Alguns autores procurando determinar os parâmetros que possuem maior influência na resposta espectral de alvos, lançam mão de procedimentos de seleção do melhor conjunto de variáveis para um ajuste de regressão, tais como o procedimento "Stepwise".

Empregando esta abordagem, Karaska et alii (1986) estudaram o efeito de algumas variáveis ambientais na resposta espectral de superfícies diversas, adquiridas pelo sensor TM/Landsat. Os autores analisaram as influências dos parâmetros de altitude do terreno, direção e ângulo do declive, percentagem de vegetação, percentagem de árvores, percentagem de arbustos, percentagem de cobertura herbácea, percentagem de solo exposto, tipo de solo, geologia e rugosidade do terreno, nas respostas do TM/Landsat-5. Empregaram o procedimento "Stepwise" de regressão múltipla, pelo qual obtiveram o conjunto de variáveis que maior influência possuem nos valores de resposta para cada banda do sensor. No trabalho, os autores concluíram que das onze variáveis estudadas, as percentagens de vegetação, a percentagem de árvores e a percentagem de arbustos foram as que mais influenciaram a resposta espectral, sendo que, para as áreas estudadas, os aspectos de altitude, direção e ângulo do declive tiveram pouca influência na resposta espectral. Os autores observaram ainda que quando as variáveis ligadas à vegetação entram em primeiro lugar no modelo (variáveis com maior correlação com a resposta espectral), estas tendem a explicar uma grande parte da variabilidade na resposta espectral (valores altos de  $R^2$ ). Contudo, para as bandas fora da porção do visível (TM4, TM5, TM6, TM7), uma diversidade de variáveis entra nos primeiros passos do procedimento, e isto é responsável por uma larga variabilidade de resultados para estas bandas (valores de  $R^2$  entre 0,24 e 0,94).

Em seu trabalho Walsh (1987) utiliza um procedimento semelhante ao "Stepwise" de regressão múltipla para encontrar as variáveis que possuem maior influência na resposta espectral de alvos florestais para dados do MSS/Landsat. O procedimento empregado pelo autor pode ser denominado "seleção por deleção" (Backstep) e possui a mesma filosofia do procedimento "Stepwise" (alguns estatísticos o consideram uma forma de Stepwise).

Heimes (1977), lança mão do procedimento "Stepwise" de regressão múltipla para estudar os efeitos das proporções dos componentes primários da cena, na resposta espectral de áreas florestais.

Batista (1985) também se utiliza do procedimento "Stepwise" para detectar as variáveis da cena que maior influência exercem sobre a acurácia da classificação digital de culturas.

Verifica-se que a utilização de ajustes de regressão linear múltipla pode ser eficaz no que tange à determinação de variáveis que afetam de forma significativa a resposta espectral de alvos em dados de sensoriamento remoto, empregando-se para tal fim o procedimento "Stepwise".

### 2.3 - SENSORIAMENTO REMOTO EM CULTURAS PERMANENTES

Trabalhos utilizando fotografias aéreas em inventários cafeeiros no Brasil remontam à década de 60. Mais recentes, porém, são os estudos com produtos de sensores orbitais, contudo tais trabalhos com culturas perenes e aparecem em número reduzido na literatura.

Tardin et alii (1977) trabalharam com classificação digital de imagens na detecção de áreas de café e trigo afetadas pela geada de 1975 no noroeste do Estado do Paraná. Conseguiram bons resultados na avaliação dos danos causados pela geada, contudo obtiveram baixa precisão de classificação com as áreas de café, ocorrendo confusão entre áreas de café normal e reflorestamento e café geado com elementos da drenagem.

Dallemand (1987) avaliou os dados obtidos pelos satélites SPOT-1 e Landsat-5 na identificação de cultivos de inverno, cana-de-açúcar, pastagens e café, através de interpretação visual no Estado do Paraná. Obteve melhores resultados na identificação de áreas cultivadas com café para as imagens multiespectrais do SPOT-1 e do Landsat-5.

Provesi (no prelo) utilizou em seu trabalho imagens TM/Landsat-5 no mapeamento de regiões ocupadas com pomares de maçã no Estado de Santa Catarina, empregando interpretação visual de composições coloridas. Logrando bons resultados no mapeamento dos pomares.

Gordon et alii (1986) avaliaram dados do TM/Landsat no inventário de pomares de maçã, cereja, pêra e pêsego no Estado de Nova York. Observaram que as diferentes espécies cultivadas não foram satisfatoriamente distinguidas em classificação unitemporal, em função da contribuição variável do substrato. Os autores verificaram que a resposta dos pomares no sensor TM/Landsat-5 é dependente, mais significativamente, do tamanho das árvores (e conseqüente cobertura do terreno) e da cobertura do substrato, do que do tipo ou espécie de árvore frutífera. Na classificação multitemporal, a similaridade dos pomares com áreas de florestas decíduas foi alta, necessitando

neste caso de se agregar à classificação um procedimento de classificação de textura. A separação dos pomares de outras coberturas vegetais requer dados em mais de uma banda, destacando-se nesse sentido, como mais eficientes as bandas TM3, TM4, e TM5 por dois períodos na estação de crescimento.

Gordon e Philipson (1986) explicam o procedimento de realçamento de textura utilizados para melhorar a separabilidade de pomares cultivados com frutas temperadas, em relação à florestas decíduas em dados TM/Landsat-5. Uma filtragem digital é aplicada para realçar a textura nas bandas TM3 e TM4, produzindo-se então uma imagem binária (não-pomares e provavelmente pomares) que é incorporada como uma banda a mais na classificação.

Naert (1985), estudando a caracterização da assinatura espectral, espacial e temporal de vinhas, observa que, para uma resolução espacial de 20 metros (módulo multiespectral do SPOT-1), as informações de um pixel sobre uma área com os alvos em questão, caracterizam-se por uma mistura de respostas da vegetação das parreiras, que varia em função do estágio vegetativo e conteúdo de água nas plantas, da cobertura das entrelinhas (solo e cobertura vegetal ou matéria orgânica) e das sombras. Analisando cada componente através de medições radiométricas, o autor verifica que a reflectância da vegetação no intervalo de 790 a 890 nm (infravermelho próximo) é muito maior que as reflectâncias do solo e das sombras, e as diferenças absolutas observadas de uma semana a outra, entre as respostas da vegetação, são grandes, porém permanecem sempre superiores aos valores de reflectância do solo e das sombras. Comparando banda a banda, as medidas radiométricas mostram que as bandas 3 (790 a 890 nm) e 2 (610 a 680 nm) promovem boa distinção entre

os três componentes durante toda a vida ativa da vinha, a qual é relativamente estável ao longo do tempo.

Os resultados dos experimentos realizados pelo autor mostram que, em vinhas, e mais genericamente nas culturas com estrutura ordenada (pomares), a assinatura espectral varia mais em função das estruturas agrárias e dos tratos culturais que em função das mudanças vegetativas na cultura. O autor faz ainda uma consideração interessante sobre as sombras, afirmando que, para sensores com alta resolução, estas não se constituem em obstáculo à interpretação e sim em um identificador indireto de características da cultura.

Através de simulações de pixels de 20 metros, o autor verificou que apenas foi possível identificar as parcelas dos cultivos e não suas características internas.

Por fim, o autor observa que a matriz dos parâmetros espectrais, temporais e espaciais oferece perspectivas interessantes para o estudo das relações entre a cultura e a dinâmica do sinal registrado em produtos de sensoriamento remoto.

### 2.3.1 - SENSORIAMENTO REMOTO EM CITRICULTURA

Trabalhos utilizando técnicas de sensoriamento remoto voltados à citricultura também remontam à década de 60, sendo que os primeiros trabalhos referem-se à utilização de fotografias aéreas infravermelhas aplicadas a mapeamentos, inventários, avaliação de danos, doenças e infestações em pomares.

Hart et alii (1971) citam trabalhos da década de 60 utilizando fotografias aéreas infravermelhas

coloridas na detecção de doenças em citros. Eles próprios encontraram bons resultados com o uso destes produtos na detecção de pragas em citros.

Todd (1971) relata os resultados de trabalhos no nível operacional, de levantamentos e inventários de pomares comerciais de citros, utilizando fotografias aéreas pancromáticas e infravermelhas, desde 1965.

Todd (1983) volta a falar dos resultados desses trabalhos utilizando fotografias pancromáticas na escala de 1:30.000, tomadas anualmente no inverno americano na Flórida, constituindo-se em um sistema operacional de monitoramento e geração de estatísticas agrícolas.

Cardenas et alii (1971) usaram densitometria na discriminação de árvores de pomelo com sintomas de toxicidade por boro e cloro com bons resultados.

Ainda com relação à detecção de infestações e estresse em citros, Blazquez et alii (1981) testaram a avaliação de danos causados por doenças em pomares de citros na Flórida, através de fotografias aéreas infravermelhas coloridas, obtendo melhores resultados com fotografias tomadas no inverno, em função da menor influência do substrato e das sombras.

Blazquez e Horn (1980) resumem as metodologias de utilização de fotografias aéreas na citricultura, relatando métodos e aplicações em inventários, levantamentos de pragas e doenças, previsões de produção e planejamentos.

Alguns estudiosos trabalharam com medidas radiométricas das curvas de reflectância das árvores de citros e seus componentes.

Gausman et alii (1976) levantaram as curvas de reflectância de 2 variedades de laranjas (Citrus sinensis), Valência e Mirs, e de pomelo (Citrus paradisi), que são mostrados na Figura 2.3.

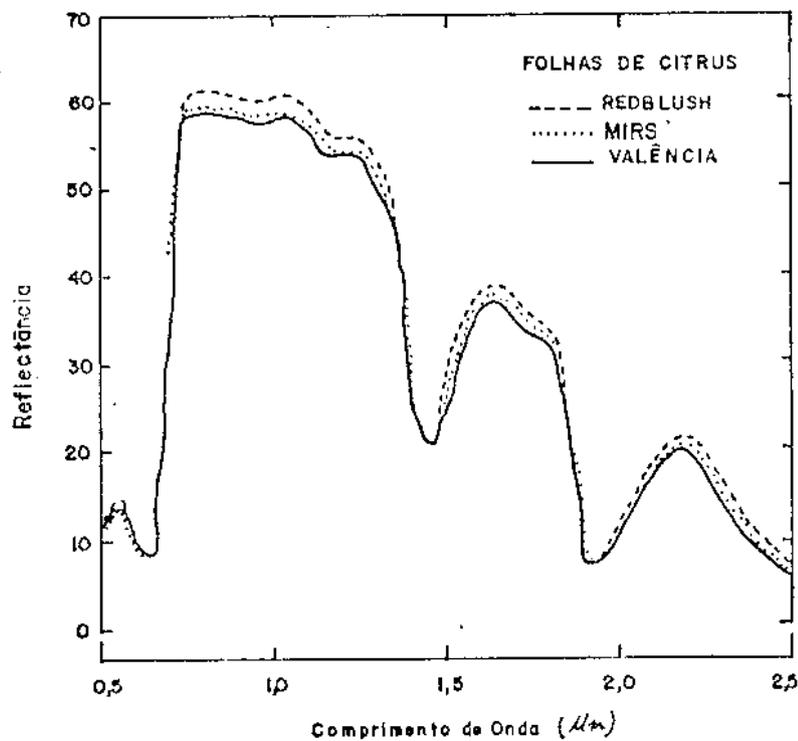


Fig. 2.3 - Curvas de reflectância de 2 variedades laranja e de uma variedade de pomelo.

FONTE: Gausman et alii, 1976.

Quanto aos estudos envolvendo a utilização de produtos obtidos por plataformas orbitais com alvos de pomares de citros, Assunção e Duarte (1983) em seu trabalho de avaliação de áreas preparadas para plantio na região de Ribeirão Preto (SP), constataram através de classificação digital de imagens MSS/Landsat, que áreas de citros novo apresentaram respostas semelhantes às áreas de solo exposto, sendo agrupadas no mesmo tema pelo procedimento de classificação.

Koffler (1982), ainda que trabalhando prioritariamente com cana-de-açúcar, obteve alguns resultados interessantes para talhões de citros. Tomando-se somente os níveis de cinza em fitas CCTs do MSS/Landsat, para 3 datas, o autor verificou que os talhões de citros confundiram-se com cana nova na primeira data (06/04/78), na segunda data (23/07/78) os talhões de citros confundiram-se (não apresentaram valores de níveis de cinza com diferenças estatisticamente significantes) com áreas de cana cortada e talhões de cultivos anuais, porém na terceira data (3/10/78) os talhões de citros apresentaram confusões com outros temas, tais como cana adulta, não ocorrendo confusão com os temas cana nova, cana cortada ou cultura anual.

Observa-se uma evidente variação temporal nas respostas dos pomares de citros analisados. Através da avaliação das datas e das conclusões apresentadas, nota-se que as duas primeiras datas, correspondem ao período seco no Estado de São Paulo e a terceira data ao início do período chuvoso. Nestes períodos ocorrem as variações nos tratamentos culturais empregados nos pomares, podendo tais variações terem sido responsáveis pelas alterações observadas nos dados.

Trabalhando com classificação digital, Morse e Card (1983) avaliaram a separabilidade de classes de uso da terra verificando que a classificação dos pomares de laranja apresentou 63% de pixels classificados corretamente e uma razoável confusão com outros pomares (<20%) ocorrendo, porém, baixas percentagens de confusão com outros temas tais como culturas anuais (ao redor de 1%), para a data de 6 de julho de 1979 com dados do MSS/Landsat.

Quanto aos estudos envolvendo dados do sensor TM, Gandia et alii (1986) estudaram a separabilidade dos temas arroz, citros e áreas urbanas em localidades na Espanha. Os resultados obtidos são mostrados na Figura 2.4 onde a resposta espectral é medida em termos do número digital.

Nas imagens de julho e agosto, há uma clara diferenciação nos valores digitais das três classes, todavia em setembro os temas arroz e citros apresentam grande similaridade dos valores, somente diferindo razoavelmente na banda 4.

Os autores observam que a categoria citros apresenta uma grande variabilidade interna devido aos diferentes graus de cobertura vegetal das entrelinhas.

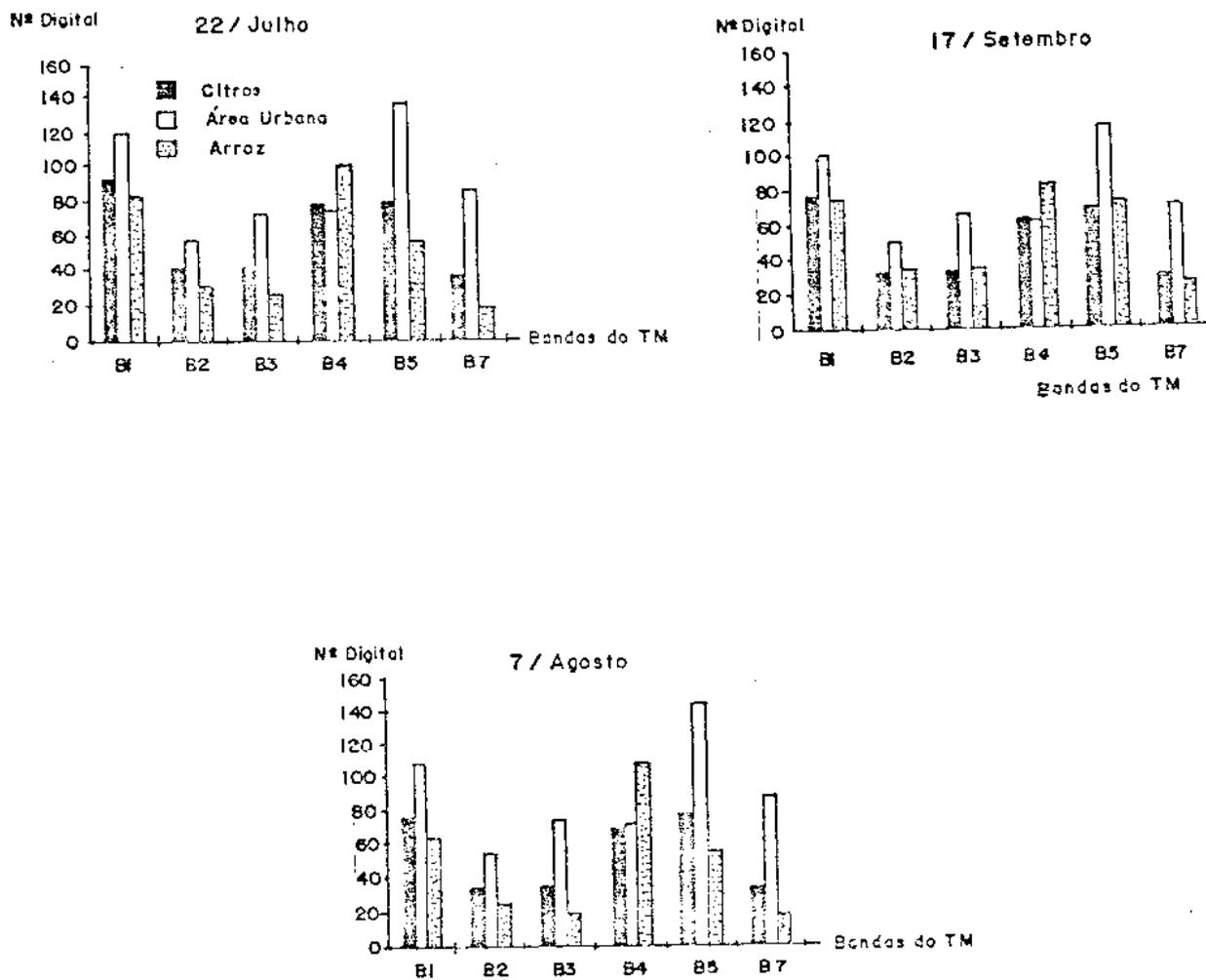


Fig. 2.4 - Valores médios do número digital para três classes de tipo de cobertura.

FONTE: Gandia et alii, 1986.

Casselles et alii (1985) analisaram a aplicação de dados do TM/Landsat-5 na detecção de modificações das respostas espectrais de pomares de citros afetados por geada na Espanha. Observaram que a utilização dos índices de vegetação razão simples e diferença normalizada, calculados com base nas bandas TM4 e TM3, permitiram uma avaliação das zonas mais afetadas, da ordem de 55% das áreas identificadas como citros. Os autores salientam também a importância do substrato, o qual introduz uma modificação importante na resposta espectral dos pomares, cujas magnitudes são difíceis de se avaliar, uma vez que o substrato sofre variações profundas devido às práticas de cultivo adotadas.

Observaram ainda que a evolução da reflectância dos pomares é difícil de ser interpretada em função da natureza das modificações determinadas por alterações no substrato e também devido à geometria associada ao horário de passagem do satélite, o qual determina ângulos zenitais solares variando entre 47° a 70°, de acordo com o dia do ano. Tais alterações incrementam a complexidade das medições da reflectância bidirecional quando ocorrem modificações no substrato ou na cobertura do terreno pelas árvores de citros.

Pela Figura 2.5 observa-se um comportamento similar nas bandas TM1 e TM2 para as áreas de citros e solo descoberto. Contudo, na banda TM3 ocorre uma maior reflectância para as áreas de solo descoberto, já na banda TM4 há uma nítida distinção entre os dois temas, com as áreas de citros apresentando valores de reflectância bem mais elevados que o solo descoberto (em função da maior quantidade de biomassa). Nas bandas TM5 e TM7 a distinção é também significativa entre os temas, com os valores de

reflectância dos citros apresentando valores menores que a reflectância do solo descoberto.

A literatura revela certa complexidade dos pomares de citros quando imageados por sensores de baixa resolução espacial, demonstrando que ocorrem variações significativas na resposta espectral destes em função de alterações no substrato, altura e cobertura do terreno pelas árvores e características geométricas da disposição das plantas e das condições de observação do sensor. Em alguns trabalhos de classificação foram obtidos bons resultados na distinção dos pomares, enquanto em outros foram revelados resultados pobres. Observa-se a necessidade de uma melhor compreensão dos fatores que afetam a resposta dos pomares em dados adquiridos por sensores a bordo de plataformas orbitais, para um incremento das metodologias visando uma melhor performance destas no que diz respeito a áreas citrícolas.

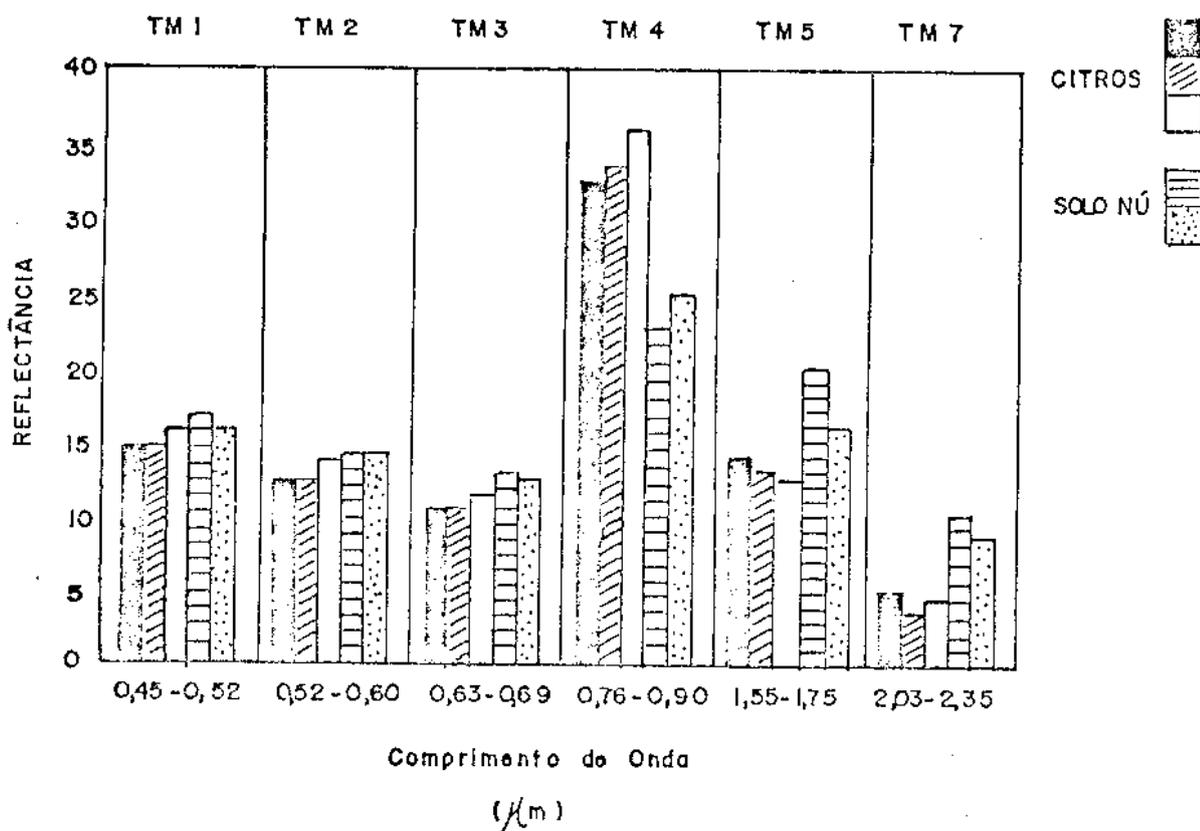


Fig. 2.5 - Valores de reflectância bidirecional em 5 áreas de treinamento tomadas em dezembro de 1984.

FONTE: Casselles, et alii, 1985.

### CAPÍTULO 3

#### MATERIAL E MÉTODOS

##### 3.1 - ÁREAS DE ESTUDO

Foram selecionadas 3 áreas de estudo, de maneira a abranger algumas condições representativas do meio físico em que se desenvolve a citricultura no Estado de São Paulo. Procurou-se selecionar áreas que estivessem localizadas nas regiões de concentração da produção citrícola no Estado (Figura 2.1) cujos talhões possuíssem dimensões adequadas ao trabalho com imagens orbitais.

A localização das três áreas é apresentada na Figura 3.1.

A área 1, encontra-se no município de Colômbia ao norte do Estado de São Paulo e compreende os pomares da Fazenda Campo Grande. Situa-se entre as latitudes  $20^{\circ}15'$  e  $20^{\circ}17'$  Sul e as longitudes  $48^{\circ}48'$  e  $48^{\circ}52'$  Oeste.

A Fazenda Campo Grande ocupa uma superfície de 5.500 hectares, cobertos por um total de aproximadamente 850.000 pés de citros. O plantio é dividido em 128 talhões, sendo que 25% dos pés são da variedade Pera, 35% da variedade Natal, 15% da variedade Hamlin, 5% da variedade Valência, o restante divididos entre laranja Bahia, Pomelo, limão Tahiti e limão Siciliano.

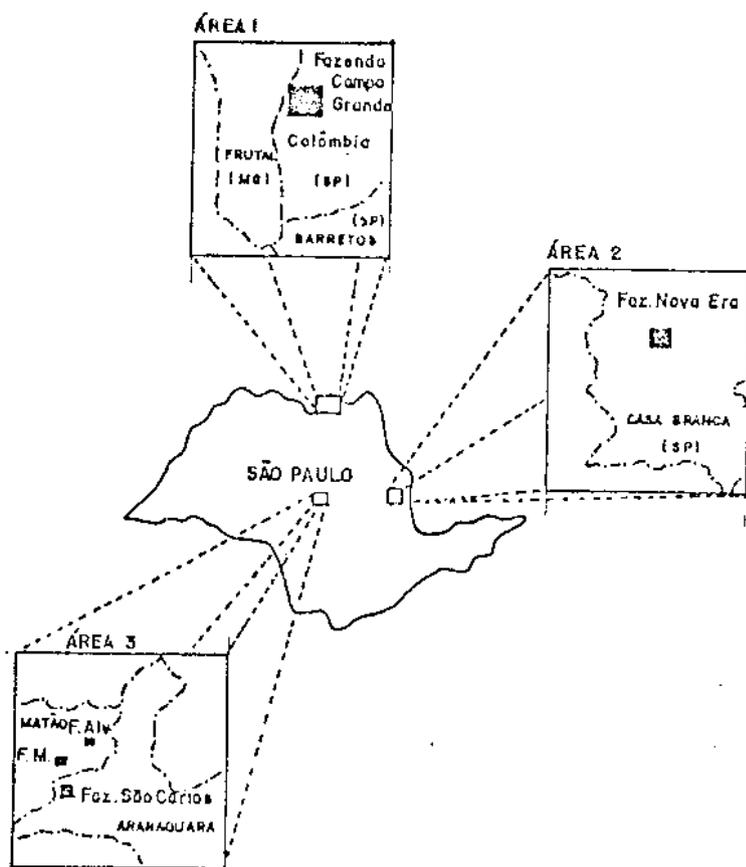


Fig. 3.1 - Localização das áreas de estudo selecionadas.

Predomina na área o tipo climático Cwa de Koppen, tropical com inverno seco e verão chuvoso. As temperaturas médias anuais giram em torno de 20° C, sendo a média do mês mais quente superior a 22°C (Brasil, 1965). O total pluviométrico anual médio, situa-se entre 1250 e 1500 mm.

A vegetação primitiva, segundo Alonso (1977), compunha-se basicamente pela floresta subcaducifolia tropical e os cerrados sendo que, atualmente, restam poucos exemplos remanescentes da vegetação original. O uso atual da terra subdivide-se entre cultivos anuais (com destaque para a soja, o milho e o feijão), pomares de citros (de ocupação recente na região) e sobretudo as pastagens.

A Fazenda Campo Grande encontra-se em uma altitude média de 500m, sobre as litologias do Cretáceo superior e parte do Cretáceo inferior, Diabásio e Basalto. Geomorfologicamente, insere-se nas chamadas zonas indivisas do Planalto Ocidental Paulista, apresentando relevo plano a suave ondulado, declividades médias ao redor de 5% (IPT, 1981).

Conforme CENEPA (1960) a quase totalidade da área é constituída por solos com horizonte B latossólico, classificados nos grandes grupos Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho Escuro.

Nos talhões da Fazenda Campo Grande foi observado apenas Latossolo Vermelho Escuro, sendo coletadas amostras de alguns talhões e determinada a textura no campo, revelando-se esta argilosa.

A área 2, encontra-se no município de Casa Branca, na porção nordeste de São Paulo, compreendendo os

pomares da Fazenda Nova Era, que situa-se entre as latitudes 21°45' e 21°50' Sul e longitudes 47°00' e 47°10' Oeste.

A fazenda Nova Era abrange uma área total de 2000 hectares, ocupados com aproximadamente 550.000 pés de citros.

De acordo com a divisão climática do Estado de São Paulo, a área está submetida ao tipo climático Cwa, da classificação de Koppen, isto é, tropical de altitude, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio, inferior a 18°C, com inverno seco (junho /julho/ agosto) e verão chuvoso (novembro/ dezembro/ janeiro); a precipitação anual está entre 1250 e 1500 mm e as temperaturas médias oscilam entre 20°C e 22°C (Furlani, 1980).

Primitivamente, a região esteve recoberta pelos cerrados (Alonso, 1977) sendo atualmente raros os remanescentes na região. O uso atual do solo, compreende plantios de citros, café, cultivos anuais (trigo, milho, algodão, soja e amendoim), reflorestamentos e pastagens. Trata-se de uma área tradicional no cultivo de citros.

A altitude média da Fazenda Nova Era é de 600 metros acima do nível do mar, com litologia dominante constituída pelo grupo Itararé: arenitos, diamictitos, siltitos e folhelhos vermelho arroxeados (DNPM, 1983).

IPT (1981) descreve o relevo dominante da área como suave ondulado, apresentando interflúvios amplos e baixas declividades.

Segundo o esboço pedológico da região de Casa Branca, elaborado por Furlani (1980), o solo predominante é o Latossolo Vermelho Amarelo fase arenosa. Nas amostras tomadas nesta fazenda a textura determinada em campo revelou-se média.

A área 3 localiza-se nos municípios de Matão e Araraquara, na denominada região Araraquarense Paulista, situando-se entre as latitudes 21°40' e 21°45' Sul e longitudes 48°15' e 48°30' Oeste. Abrange os pomares das Fazendas Marchesan e Alvorada, no município de Matão e da Fazenda São Carlos, no município de Araraquara.

Predomina na área, o tipo climático Cwa, segundo Koppen, tropical de altitude com inverno seco e verão chuvoso (Brasil, 1965).

A vegetação primitiva na área, segundo Alonso (1977), eram os cerrados e a floresta subcaducifólia tropical. Atualmente restam poucos remanescentes da vegetação primitiva, substituída principalmente por pomares de citros, café, seringueiras, cultivos anuais diversos, cana-de-açúcar e pastagens. A área, em termos de tradição no cultivo de citros, é intermediária com relação às duas anteriores.

As altitudes médias giram em torno de 500 e 600 metros acima do nível do mar, com litologias típicas do Cretáceo superior e Cretáceo inferior, Diabásios e Basaltos. O relevo é suave ondulado, com declividades pequenas, interflúvios amplos de colinas com topos aplainados (IPT, 1981).

Em CENEPA (1960), os solos da região são classificados no grupo dos Podzolizados de Lins e Marília,

derivados de arenito com cimento calcáreo, contudo nos talhões amostrados foram encontrados apenas Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.

### 3.2 - MATERIAL

#### 3.2.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS, MAPAS E DADOS AUXILIARES

Utilizaram-se no trabalho de coleta dos parâmetros culturais e caracterização dos pomares fotografias aéreas referentes a:

- a) Ortofotocartas nas escalas de 1:10.000 e de 1:25.000 sobre a área 3, executadas pela TERRAFOTO em 1986.
- b) Fotografias aéreas verticais na escala de 1:25.000, recobrando a área 1, executadas pelo INPE em maio de 1987.

Além das fotografias aéreas, utilizaram-se mapas em escalas variadas e levantamentos auxiliares:

- a) Mapas planialtimétricos das Fazendas Campo Grande, São Carlos e Nova Era em escala aproximada de 1:10.000.
- b) Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo, escala de 1:500.000 (Brasil, 1960).
- c) Mapas de vegetação e solos do Projeto Radambrasil, escala de 1:1.000.000, folha Rio de Janeiro/Vitória (DNPM, 1983).

- d) Cartas de Utilização da Terra do Estado de São Paulo, escala de 1:250.000, folhas Campinas e Ribeirão Preto (IGC, 1982 e 1987, respectivamente).
- e) Cartas topográficas do IBGE, na escala de 1:250.000, folhas Araraquara(1975), Campinas(1975) e S.J. do Rio Preto(1980).

### 3.2.2 - PRODUTOS DIGITAIS TM/LANDSAT-5

O primeiro sistema TM/Landsat, entrou em operação a partir do lançamento do satélite Landsat-4, em julho de 1982, sendo desativado logo a seguir.

Atualmente encontra-se em operação o sensor TM a bordo do satélite Landsat-5, lançado em 1984. Este opera a uma altitude de 705 km e cruza o equador a cada 100 minutos propiciando uma repetitividade de 16 dias para imageamento de um mesmo ponto na superfície da terra.

Os produtos utilizados no trabalho foram fitas magnéticas compatíveis com computador (CCTs) contendo os dados digitalizados captados pelo sensor TM.

Tais dados contidos nas fitas CCTs, são valores proporcionais às radiâncias das unidades de resolução medidas nas bandas espectrais do sensor TM. Este é o primeiro de uma geração de sensores definidos como mapeadores. Uma melhor definição encontra-se na Tabela 3.1. que apresenta as principais características do sensor TM a bordo do satélite Landsat-5.

TABELA 3.1

CARACTERÍSTICAS DO SENSOR TM/LANDSAT-5

---

PARÂMETROS DO SENSOR	COBERTURA ESPECTRAL ( $\mu\text{m}$ )
BANDA 1	0,45 - 0,52 (AZUL)
BANDA 2	0,52 - 0,60 (VERDE)
BANDA 3	0,63 - 0,69 (VERMELHO)
BANDA 4	0,76 - 0,90 (IV PRÓXIMO)
BANDA 5	1,55 - 1,75 (IV MÉDIO)
BANDA 6	10,40 - 12,50 (IV TERMAL)
BANDA 7	2,08 - 2,35 (IV MÉDIO)
RESOLUÇÃO ESPACIAL	30 METROS BANDAS 1 A 5 E 7 120 METROS BANDA 6
NÍVEL DE QUANTIZAÇÃO	256 NÍVEIS DE CINZA
TAXA DE DADOS	85 Mbps
POTÊNCIA	355 WATTS
PESO	244 KG
IFOV	42,5 urad
LARG DA FAIXA IMAGEADA	185 KM
ABERT. OPTICA	41,15/15,7 CM

---

FONTE: Engels e Weistein (1983)

No trabalho utilizaram-se, para abrangência das 3 áreas selecionadas, três quadrantes de imagens (órbita/ponto) TM, cujas características são apresentadas na Tabela 3.2. Para cada imagem foram trabalhadas as bandas 1,2,3,4,5,7 do sensor.

TABELA 3.2.  
CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS SELECIONADAS

CARACTERÍSTICA	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3
DATA DA PASSAGEM	10/10/87	03/10/87	03/10/87
ÓRBITA/PONTO/QUAD.	221/74/E	220/75/E	220/75/W
COORD. DO CENTRO	20°13'S 48°55'W	21°40'S 47°43'W	21°40'S 47°43'W
AZIMUTE SOLAR	78°00,	72°00,	72°00,
ELEVAÇÃO SOLAR	53°	51°	51°

### 3.3 - MÉTODOS

A metodologia empregada no trabalho seguiu os passos ilustrados no fluxograma da Figura 3.2.



Fig. 3.2 - Fluxograma do trabalho.

### 3.3.1 - SELEÇÃO DOS TALHÕES DE ESTUDO

A primeira fase do trabalho, compreendeu a seleção dos talhões (módulos de coleta de dados) dentro das áreas selecionadas.

Tais talhões foram escolhidos de maneira a comporem uma amostra representativa das áreas, além de possuírem dimensões compatíveis com a resolução do sensor e da amostragem desejada ou seja, área do talhão maior que 3 hectares) e disporem de informações e registros agronômicos.

Na área 1 (Fazenda Campo Grande) selecionaram-se 45 talhões cuja localização na Fazenda é apresentada na Figura 3.3.

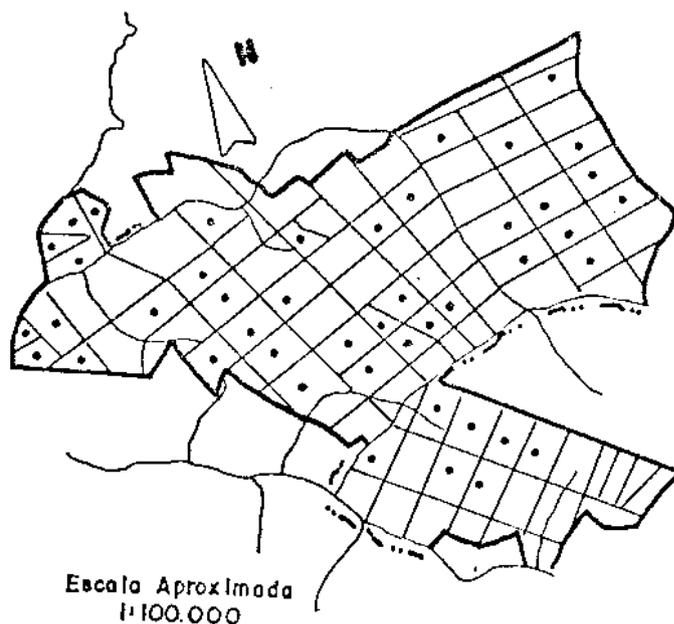


Fig. 3.3 - Mapa da Fazenda Campo Grande (área 1) mostrando a disposição dos talhões selecionados.

Na área 2 (Fazenda Nova Era) selecionaram-se 41 talhões, conforme é demonstrado na Figura 3.4.

Na área 3, selecionou-se um total de 37 talhões, distribuídos em:

- a) 5 talhões na Fazenda Alvorada
- b) 13 talhões na Fazenda São Carlos
- c) 19 talhões na Fazenda Marchesan

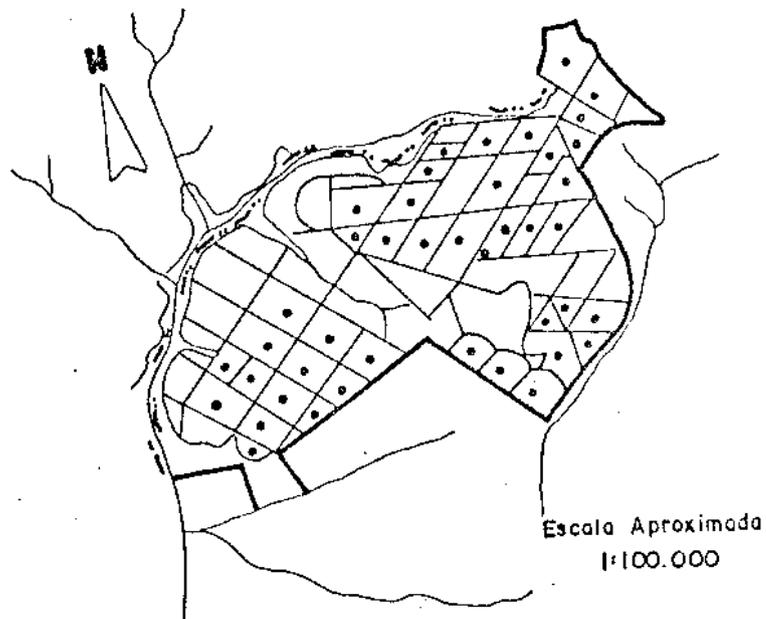


Fig. 3.4 - Mapa da Fazenda Nova Era (área 2) com a disposição dos talhões selecionados.

A Figura 3.5. apresenta a localização dos talhões nas três fazendas.

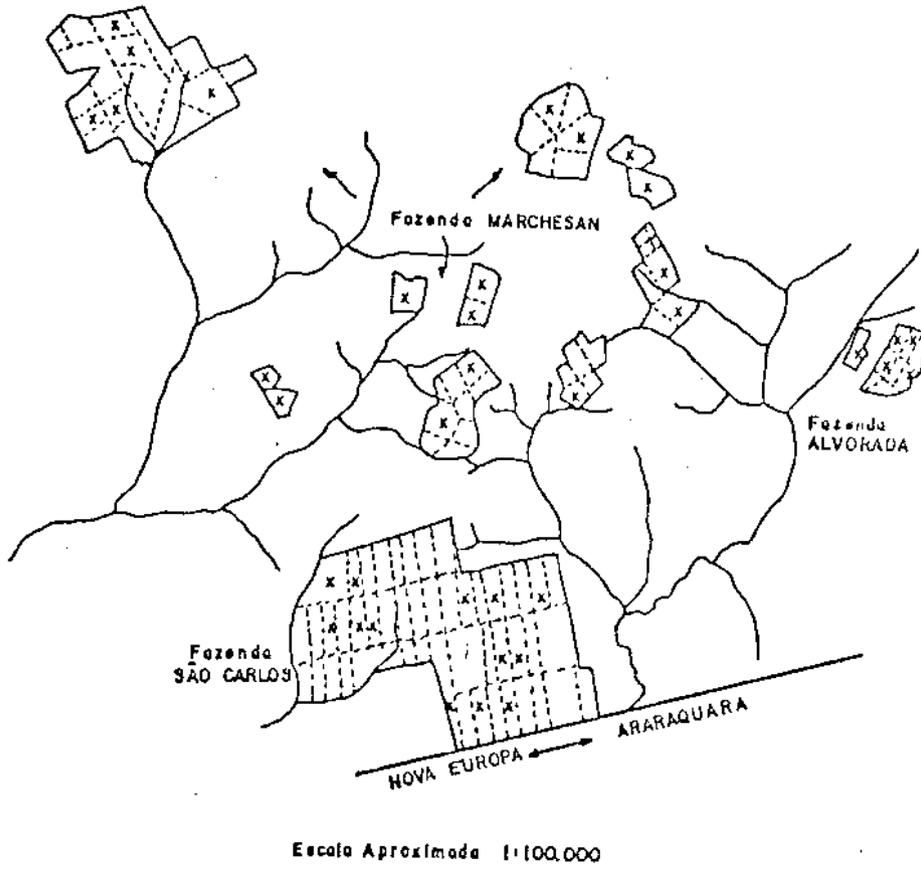


Fig. 3.5 - Distribuição dos talhões na área 3.

### 3.3.2 - COLETA DOS PARÂMETROS CULTURAIS DOS POMARES

Na fase de revisão bibliográfica, foram determinadas 10(dez) variáveis a serem levantadas nos talhões e que são passíveis de influenciar ou modelar a resposta espectral dos pomares de citros. Algumas variáveis, tais como o estado fitossanitário, vigor das copas, etc. não foram incluídas neste trabalho. Os parâmetros são apresentados a seguir:

- 1 - VARIEDADE
- 2 - IDADE
- 3 - ÍNDICE DE COBERTURA DO TERRENO POR ÁRVORES DE CITRUS
- 4 - SUBSTRATO (PROPORÇÃO DE VEGETAÇÃO PRESENTE NAS ENTRELINHAS)
- 5 - ORIENTAÇÃO DAS FILEIRAS DE PLANTIO
- 6 - ALTURA DAS ÁRVORES
- 7 - DECLIVIDADE DO TERRENO
- 8 - ORIENTAÇÃO DO DECLIVE
- 9 - TIPO DE SOLO (GRANDE GRUPO)
- 10 - UNIFORMIDADE DO TALHÃO

Os dados de idade e variedade foram obtidos através de registros e controles. Na fase de análise o parâmetro idade foi descartado em função de que o seu efeito no talhão já se encontra expresso nos parâmetros 3 (cobertura do terreno por citros) e 6 (altura das árvores).

O parâmetro de índice de cobertura do terreno por árvores de citros (COB), foi obtido calculando-se a área média das copas e dividindo este valor pela área disponível por cada árvore no talhão.

Para a determinação da área da projeção da copa, foram realizadas medições em 30 (trinta) árvores dentro de cada talhão, do raio da projeção da copa na direção entre as fileiras de plantio (raio A) e do raio da projeção da copa na direção das fileiras de plantio (raio B). A amostra foi realizada tomando-se 5 árvores em 6 fileiras dentro de cada talhão. Obtiveram-se então as médias dos raios A e B e calculou-se em seguida o raio médio da projeção das copas em cada talhão e posteriormente a área da projeção da copa. Com os valores do espaçamento tem-se a área disponível por uma árvore. O valor COB é então determinado dividindo-se o valor da área da projeção da copa pela porção do terreno disponível por cada árvore no talhão.

Os dados de altura foram obtidos amostrando-se também 30 (trinta) árvores em cada talhão distribuídas conforme já relatado. Em cada talhão é obtida então a altura média, que é expressa em metros.

A informação do substrato foi obtida considerando-se a quantidade de vegetação presente nas entrelinhas dos talhões. Para a estimativa deste parâmetro procedeu-se a uma estratificação onde os valores indicam:

- 0 = Ausência de vegetação nas entrelinhas (talhão com solo desnudo ou gradeado).
- 1 = A cada 5 entrelinhas, 4 apresentam-se com solo desnudo e uma com vegetação herbácea.
- 2 = Entrelinhas alternadas: solo desnudo/vegetação herbácea roçada.
- 3 = Entrelinhas alternadas: solo desnudo/vegetação herbácea verde.
- 4 = A cada 5 entrelinhas, 4 apresentam-se com substrato gramíneo verde e uma rua com solo desnudo.
- 5 = Todas as ruas com substrato gramíneo verde.

As condições do substrato variam de acordo com os tratos culturais. Em algumas fazendas mantêm-se ruas alternadas com substrato herbáceo verde e solo desnudo, em outras são mantidas todas as ruas com substrato herbáceo, etc. Os dados foram obtidos através de verificação no campo das condições do substrato e confirmação pelos registros de operações culturais realizadas.

A época de tomada das imagens propiciou a obtenção de todas estas condições do substrato, uma vez que corresponde ao período de transição da estação seca para a chuvosa, assim sendo alguns talhões já se encontram submetidos aos tratos culturais da estação chuvosa (presença de cobertura herbácea nas entrelinhas) e outros ainda permanecem com as condições de tratos culturais da estação seca (solo descoberto ou ruas alternadas).

Esta determinação do substrato embora não seja totalmente rigorosa, permite a estratificação sem a necessidade de medições em fotos aéreas a qual seria a mais recomendável.

As informações sobre orientação das fileiras foram obtidas através de bússolas, seus valores são determinados em graus e variam de 0 a 180 graus medidos em relação ao Norte.

A orientação do declive também foi medida com bússola no campo e confirmados e ajustados através dos mapas planialtimétricos das fazendas ou cartas topográficas do IBGE, na escala 1:50.000, suas dimensões são em ângulos medidos em relação ao Norte, variando de 0 a 360 graus.

A declividade foi obtida com o uso de clinômetro e confirmada em mapas quando disponíveis, sendo expressa em termos de percentagem do declive.

Tipo de solo foi determinado a partir de observações no campo (baseadas em levantamentos e ocorrências de solos na área). Sendo que ocorrem basicamente 2 tipos de solos:

Latossolo Vermelho Escuro, de textura argilosa, de ocorrência exclusiva na Fazenda Campo Grande.

Latossolo Vermelho Amarelo de textura média, ocorrendo nas áreas 2 e 3.

Para uma melhor definição dos tipos de solos foram tomadas algumas amostras as quais foram analisadas no campo principalmente com relação à textura do horizonte superficial. Os resultados destas confirmam a diferença dos

solos encontrados na área 1 (Fazenda Campo Grande) e os solos encontrados nas demais fazendas, podendo esta variável ser expressa em termos destas duas categorias.

A uniformidade do talhão foi determinada a partir da avaliação do número de árvores com sinais visíveis de declínio e falhas dentro no local de amostragem do talhão, cada talhão foi classificado em uma categoria de uniformidade, variando entre 0 e 5:

UNIF = 0 : mais que 10 árvores com evidência de declínio e/ou mais que 5 falhas na área de amostragem.

UNIF = 1 : entre 7 e 10 árvores com evidências de declínio e/ou 4 falhas na área de amostragem.

UNIF = 2 : entre 5 e 7 árvores com evidências de declínio e/ou 3 falhas na área de amostragem.

UNIF = 3 : entre 3 e 5 árvores com evidências de declínio e/ou presença de 2 falhas na área de amostragem.

UNIF = 4 : entre 2 a 3 árvores com evidências de declínio na amostra.

UNIF = 5 : ausência de árvores com evidências de declínio na amostra.

O modelo de ficha utilizado no trabalho de coleta de informações no campo é apresentado no Apêndice C.

O trabalho de coleta dos dados foi realizado entre 28/10/87 e 05/11/87, abrangendo as tres áreas de estudo.

### 3.3.3 - COLETA DOS VALORES DE REFLECTÂNCIA NOS DADOS TM/LANDSAT-5

Na determinação dos valores de reflectância o primeiro passo refere-se a coleta dos valores de níveis de cinza a partir dos dados digitais, para tanto, utilizou-se o sistema Image-100 (I-100), cujas características encontram-se descritas em Ribeiro et alii (1982).

Neste sistema, o operador observa a imagem em um monitor de televisão que comporta 512 x 512 pixels. O primeiro passo no processo é localizar as áreas ou módulos de estudo, de maneira que haja compatibilidade do número de pixels na tela com o número de pixels da imagem original, a fim de que não ocorra perda de informações. Isto significa que os módulos são carregados na tela na escala aproximada de 1:52.000.

Desta forma através do algoritmo "single pixel", extraem-se os valores dos níveis de cinza dos talhões.

Para cada talhão foram amostrados 32 "pixels", ocorrendo em alguns casos, devido às dimensões do talhão, amostras de 16 "pixels". Esta amostragem visa representar adequadamente os valores de níveis de cinza do talhão. Cada amostra foi extraída em local idêntico para cada banda do TM/Landsat-5.

De posse dos valores dos níveis de cinza de cada talhão, estes foram então transformados em valores de

reflectância com a aplicação da equação de transformação apresentada por Markham e Barker (1986):

$$\text{REFLEC} = \frac{II \cdot d^2}{E \cdot \text{Sen}\S} \times \frac{Dn \cdot (Lm\acute{a}x - Lm\grave{i}n)}{Dm\acute{a}x} + Lm\grave{i}n$$

onde:

d = Distância do Sol à Terra na data da passagem em unidades astronômicas (ua);

E = Irradiância solar média no topo da atmosfera para cada banda (Tabela 3.3) em  $\text{mw.cm}^{-2}.\mu\text{m}^{-1}$ ;

\S = Ângulo de elevação solar;

Dn = Valor digital do pixel obtido nas fitas CCTs;

Dm\acute{a}x = Valor digital máximo gravado nas fitas CCTs (255 para as bandas estudadas);

Lm\acute{a}x = Radiância medida na saturação do detetor (Dn=255) em  $\text{mw.cm}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$  (Tabela 3.4);

Lmin = Menor radiância mensurável pelo detetor (Dn = 0) em  $\text{mw.cm}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$  (Tabela 3.4).

TABELA 3.3.

IRRADIÂNCIA ESPECTRAL MÉDIA DO SOL NO TOPO DA ATMOSFERA

BANDA	E (mw.cm-2.µm-1)
TM1	195,7
TM2	182,9
TM3	155,7
TM4	104,7
TM5	21,93
TM7	7,45

(FONTE: Markham e Barker, 1986)

TABELA 3.4.

RADIÂNCIA ESPECTRAL.

BANDA	LMIN	LMÁX
	( mw.cm-2.sr-1.µm-1 )	
TM1	-0,15	15,21
TM2	-0,28	29,68
TM3	-0,12	20,43
TM4	-0,15	20,62
TM5	-0,037	2,719
TM7	-0,015	1,438

(FONTE: Markham e Barker, 1986)

Dessa forma cada valor de nível de cinza é então transformado em um valor de reflectância.

Com vistas à necessidade de se eliminar ou ao menos minimizar a influência atmosférica, procedeu-se à subtração do valor de reflectância correspondente à contribuição atmosférica, empregando-se para se obter os valores dos níveis de cinza o procedimento proposto por Chavez (1988).

Tal procedimento leva em conta a dependência da contribuição do espalhamento atmosférico em relação aos comprimentos de onda. Neste método, é selecionado um valor que corresponda à contribuição atmosférica para uma determinada banda do sensor (neste trabalho a seleção foi feita através da análise do histograma da banda TM1). A partir daí é então selecionado o modelo de espalhamento que melhor represente as condições atmosféricas do momento da tomada da imagem. A amplitude do valor escolhido como contribuição atmosférica para a banda de partida, pode ser usado como guia para determinar o tipo de atmosfera na passagem do satélite, que é definida em termos de atmosfera muito clara, clara, moderada, enevoadada ou muito enevoadada.

O modelo selecionado é então utilizado para , a partir do valor de nível de cinza da banda de partida, determinarem-se os valores correspondentes à contribuição atmosférica para as outras bandas.

Neste método ajustam-se os valores obtidos para os diferentes ganhos e "offsets" usados pelo sistema TM para a coleta dos dados, determinando assim os valores correspondentes à contribuição atmosférica para cada banda utilizada.

Uma vez determinados os valores de níveis de cinza correspondentes à contribuição atmosférica em cada banda, estes foram transformados em reflectância e subtraídos dos valores de reflectância de cada talhão. Em seguida é calculada a média dos 32 valores de reflectância corrigida para cada talhão em cada banda do TM.

A utilização dos valores de reflectância para expressar a resposta espectral do sensor justifica-se na medida em que este parâmetro é mais fisicamente correlacionado com o alvo, como justifica Robinove (1982).

Os procedimentos empregados no trabalho seguem as recomendações de Epiphanyo e Formagio (1988) cujas conclusões determinam que a análise do comportamento espectral dos alvos deve ser precedida pela correção da contribuição atmosférica para o sinal e que a reflectância é o meio mais adequado para se efetivar tais estudos.

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise da influência dos parâmetros culturais na resposta espectral dos pomares em dados do sensor TM/Landsat-5 compreendeu 2 estágios:

- 1 - Estudo do relacionamento dos parâmetros com a resposta espectral; e
- 2 - Determinação dos parâmetros com influência significativa na resposta espectral dos pomares.

#### 4.1 - AVALIAÇÃO DOS RELACIONAMENTOS ENTRE OS PARÂMETROS CULTURAIS E A RESPOSTA ESPECTRAL DE POMARES NO SENSOR TM/LANDSAT-5

Nesta fase do trabalho, o que se objetiva é identificar o tipo de relacionamento entre as variáveis independentes (parâmetros culturais) e as variáveis dependentes (reflectância espectral dos pomares).

Inicialmente analisou-se a matriz de correlação entre as variáveis independentes (parâmetros culturais) e as reflectâncias para cada banda do TM, por grupo de análise, determinando-se o tipo e o grau da correlação. Depois para os parâmetros com valores dos coeficientes de correlação ( $r$ ) significativos com a reflectância espectral, foi feita a plotagem destes relacionamentos, e então analisado o tipo de relacionamento e a dispersão apresentada.

O coeficiente de correlação linear é adimensional e apresenta valores entre -1 e +1; sendo assim seu valor não é afetado pelas unidades adotadas. Sua interpretação é direta, na medida em que o menor valor possível ( $r = -1$ ) implica em uma perfeita correlação linear negativa, e o maior valor possível ( $r = +1$ ) implica em uma também perfeita correlação linear, porém positiva, sendo que os valores neste intervalo podem ser facilmente interpretados, quanto ao grau e o tipo de correlação dos dados.

Para a obtenção dos valores dos coeficientes de correlação entre os parâmetros culturais e a reflectância espectral, empregou-se o procedimento "CORREL" do pacote estatístico BASIS, já referido.

Além da análise dos coeficientes de correlação, utilizou-se a análise das plotagens dos valores de cada parâmetro cultural com os valores de reflectância nas diversas bandas do TM. Dessa forma pôde-se ter uma melhor avaliação do tipo de relacionamento, bem como uma idéia da dispersão dos dados e obter possíveis explicações em relação à dispersão observada.

Para tal análise empregou-se o procedimento "PLOT" do referido programa estatístico BASIS.

#### 4.2 - DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS COM INFLUÊNCIA SIGNIFICATIVA NA RESPOSTA ESPECTRAL DOS POMARES.

Utilizando os métodos de ajuste de regressão múltipla, procurou-se determinar dentre as variáveis independentes estudadas (parâmetros culturais) quais possuem efeitos significativos na variável dependente

(reflectância espectral) para os dados da população amostrada.

Inicialmente, cabe especificar que o uso das técnicas de regressão neste trabalho é de descrever um determinado fenômeno, qual seja, a resposta espectral de pomares de citros (para dados TM/Landsat-5) em função de alguns parâmetros intrínsecos aos pomares. Isto posto, a idéia central, é escolher o menor número possível de parâmetros (doravante denominados variáveis independentes) que expliquem a mais substancial parte da variação na reflectância espectral dos pomares em dados TM/Landsat-5 (doravante denominada variável dependente).

Segundo Zar (1974) para se alcançar tal objetivo muitos caminhos podem ser adotados. Um procedimento pode ser o ajuste de regressão para todas as possíveis combinações de variáveis independentes. Se tomarmos, por exemplo, 8 variáveis independentes seriam estabelecidos os ajustes de regressão para todos os subconjuntos a partir destas 8 variáveis, o que resultaria em um total de 255 regressões. Para a determinação do melhor subconjunto de variáveis independentes, ou seja, o subconjunto "com maior significação" na explicação da variável dependente, vários critérios podem ser adotados, tais como o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o menor quadrado médio dos resíduos (MSE) ou o valor da estatística  $C_p$  de Mallows (Weisberg, 1980).

Este caminho, contudo, apresenta desvantagens de ser altamente trabalhoso demandando, em certos casos, elevado número de ajustes de regressão, bem como há uma dificuldade de se precisar um método estatístico que permita determinar o "melhor" grupo de variáveis independentes (Zar, 1974).

Um outro importante caminho (sendo este o selecionado neste trabalho) é o chamado método "STEPWISE", ajuste de regressão passo a passo. Inúmeros autores tais como Zar (1974), Weisberg (1980), Neter e Wasserman (1974), Chanterjee e Price (1977) e Montgomery e Peck (1982), descrevem-no. Este método possui uma filosofia diferente da seleção através do ajuste de todas as possíveis regressões. O método seleciona um caminho através dos modelos possíveis, analisando um subgrupo de determinado tamanho, então avalia posteriormente os modelos obtidos a partir do precedente, através da adição ou deleção de variáveis independentes. Em essência, este método computa uma sequência de equações de regressão, onde em cada passo desta sequência, é adicionada ou deletada uma variável independente.

O critério para adição ou deleção de uma variável independente pode ser estabelecido em termos de redução da soma do quadrado dos erros (SSE), do coeficiente parcial de correlação ou do valor de F (Neter e Wasserman, 1974).

Existem 3 algoritmos básicos para o procedimento STEPWISE, geralmente denominados, "seleção por inclusão (FS-Forwardstep), "seleção por deleção" (BS-Backstep) e "Stepwise" (SW-Stepwise). No primeiro as variáveis são adicionadas em cada passo, no segundo algoritmo, as variáveis vão sendo deletadas a cada passo e no terceiro (SW) em cada passo pode ocorrer tanto uma adição quanto uma deleção de variáveis (Weisberg, 1980).

O algoritmo utilizado neste trabalho é o denominado "Stepwise" (SW), implementado no pacote estatístico "BASIS" no computador B6800 do Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE.

Segundo Burroughs (1975), esse algoritmo permite resolver uma sequência de um ou mais problemas de regressão linear múltipla, através da aplicação passo a passo do método de mínimos quadrados. Em cada passo da análise, uma variável independente é adicionada ou removida, o que resulta na maior redução possível na soma dos quadrados dos erros. O procedimento "Stepwise" é uma variação do ajuste de regressão múltipla, o qual provê um meio de se escolher as variáveis independentes que produzem a melhor predição possível com o menor número de variáveis independentes. A seguir é apresentada a sequência lógica das operações levadas a termo pelo algoritmo.

- 1) O programa inicialmente calcula a matriz de correlação entre as variáveis independentes e a variável dependente.
- 2) Seleciona então o melhor preditor, ou seja, a variável independente com a maior correlação com a variável dependente.
- 3) Ajusta uma regressão entre esta variável independente e a variável dependente.
- 4) Calcula a estatística F da regressão:

$$F = \frac{SQ_{reg}/k}{SQ_{res}/n-k-1}$$

onde:

SQReg = Soma dos Quadrado da regressão;

SQres = Soma dos Quadrados do resíduo;

K = número de variáveis independentes;

n = número de observações;

- 5) O programa compara então o valor do F da regressão com o valor F-limite de inclusão (predeterminado). Se o valor de F calculado é maior que o F-limite de inclusão, a variável permanece no modelo, do contrário não.
- 6) O segundo melhor preditor (variável independente com a segunda maior correlação com a variável dependente) é em seguida adicionada ao modelo e então é ajustada uma regressão, usando as técnicas de regressão múltipla, com estas duas variáveis independentes.
- 7) É calculado o valor de F para a segunda variável dado que a primeira já se encontra no modelo.

$$F2 = \frac{SQreg(x2/x1)}{SQres(x1, x2)/n-1}$$

onde:

$SQ_{\text{Reg}}(x_2/x_1)$  é a soma dos quadrados da regressão devido à variável  $x_2$ , dado  $x_1$  no modelo.

$SQ_{\text{res}}(x_1, x_2)$  é a soma dos quadrados dos resíduos da regressão ajustada com  $x_1$  e  $x_2$ .

- 8) Este valor de  $F$  é então comparado ao valor de  $F$ -limite para inclusão. Se este valor excede o valor do  $F$ -limite de inclusão e se o acréscimo desta variável implicar em que o valor de  $1-R^2$ , seja maior que o valor de Tolerância\* predeterminado, a variável é adicionada ao modelo, do contrário não o é.
- 9) Uma vez adicionada a segunda variável, são calculados os valores parciais de  $F$  para cada uma das variáveis presentes no modelo, que são então comparadas com o valor de  $F$ -limite de deleção (predeterminado), se os valores calculados são maiores, as variáveis continuam no modelo, se são menores, a variável com menor valor de  $F$  é deletada e o procedimento continua até que as variáveis restantes não satisfaçam as condições do valor de  $F$ -limite de inclusão e/ou do valor de Tolerância.

A cada passo o procedimento avalia a entrada de uma variável no modelo, observando se sua contribuição será significativa ou não. E ainda reavalia aquelas variáveis já incorporadas, se estas ainda continuam contribuindo significativamente para a regressão após a adição da nova variável. Uma variável, a qual tenha sido a melhor variável simples para entrar em um passo anterior do processo, ao final, pode tornar-se supérflua em virtude do seu relacionamento com outras variáveis agora na regressão (Heimes, 1977).

Weisberg (1980) afirma que o procedimento "Stepwise" (SW) é um método seguro e relativamente não dispendioso.

Contudo dois problemas surgem quando se utiliza este procedimento. O primeiro deles, é a definição dos valores de F-limite de inclusão, F-limite de deleção e o valor de Tolerância.

Weisberg (1980) observa que o valor de tolerância deve ser suficientemente pequeno de maneira que este atue, somente se houver de fato uma dependência linear nos dados, ou se os resultados vierem a ser fortemente influenciados pelo erro marginal. O mesmo autor recomenda o uso do valor de tolerância igual a 0,001, o qual foi empregado neste trabalho.

Quanto à escolha dos valores de F-limite para inclusão e F-limite para deleção, esta irá determinar o caráter do procedimento "Stepwise".

Neter e Wasserman (1974) afirmam que os valores do F limite, para adicionar ou deletar, não necessitam ser selecionados em termos de níveis de

significância, mas podem ser determinados descritivamente em termos de redução do erro. Por exemplo, um F-limite igual a 1 para adicionar uma variável, implica que a redução do erro associada à adição de uma variável seja mínima em determinada situação, bem como pode ser o máximo em outra situação. Os mesmos autores comentam que os valores de F-limite para inclusão e F-limite para deleção não precisam necessariamente ser os mesmos, sendo que muitas vezes o F-limite de deleção é especificado com valor menor que o F-limite para inclusão.

Weisberg (1980) cita como uma escolha comum o valor, para o F-limite de inclusão, igual a 4, o qual corresponde grosseiramente ao nível 5% da distribuição F.

Kennedy e Bancroft (1971) sugerem o uso de 25% dos pontos da distribuição F, o que corresponde a valores de F-limite para adição entre 2 e 4. Estes mesmos autores sugerem o uso de 10% dos pontos da distribuição F, para o valor do F-limite para deleção.

Outros autores, como Heimes (1977), determinam os valores de F-limite utilizando-se os níveis de significância e o tamanho da amostra, recorrendo à tabela dos valores da distribuição F.

No trabalho seguiu-se o método recomendado por Montgomery e Peck (1982) onde, para determinar tais valores, executou-se o procedimento "stepwise" (SW) para todos os grupos de análise, com valores de F-limite de inclusão e deleção iguais de 2; 2,5; 3; 3,5; 4 e 4,5. Analisando-se os resultados, observaram-se os valores do incremento no coeficiente de determinação ( $R^2$ ) com a inclusão ou não de certas variáveis (em função dos valores dos F-limites). Se, para determinados valores de F-limite,

ocorre a seleção de variáveis que muito pouco ( $\leq 0.01$ ) afetam o valor de  $R^2$ , é indício de que os valores dos F-limites escolhidos não são suficientemente rigorosos e opta-se por valores maiores.

Executando-se o procedimento descrito acima, e para realizar uma análise com valores homogêneos, selecionou-se para F-limite de inclusão e F-limite de deleção o valor 4, que é muito próximo aos valores que seriam obtidos se fosse utilizado o nível de significância  $\alpha = 0.05$  (F entre 3,96 e 4,3).

Apesar disso, em certos casos, estes valores não foram rigorosamente adequados, contudo este aspecto e suas implicações são analisados na discussão dos resultados.

O segundo problema ligado à utilização do procedimento "Stepwise" (SW), diz respeito à presença de multicolinearidade entre as variáveis explicativas (existência de duas ou mais variáveis com relacionamento linear entre si).

Segundo Weisberg (1980), o método "Stepwise" (SW) produz melhores resultados quando as variáveis analisadas não possuem alto grau de correlação. Neter e Wasserman (1974) observam que muitas vezes, através desse método, chega-se a um "melhor" grupo de variáveis contendo certas variáveis em função da alta correlação que estas possuem com outra(s) já selecionadas.

Mesmo possuindo no seu algoritmo o teste de Tolerância, este não deve ser visto como um substituto efetivo de outros testes de multicolinearidade (Weisberg, 1980).

Tendo em conta este aspecto, empregaram-se no trabalho as recomendações para a aplicação do procedimento "Stepwise" (SW) dadas por Chanterjee e Price (1977).

Esses autores, sugerem como um primeiro passo, a avaliação da presença de multicolinearidade nas variáveis explicativas (independentes). Esta avaliação é realizada através da análise dos autovalores obtidos pela transformação por Principais Componentes da matriz de correlação das variáveis independentes. Observa-se que, quando se procede a uma transformação nas variáveis independentes via Principais Componentes, as novas variáveis fornecem um meio para se obter informações sobre a presença e o grau da multicolinearidade das variáveis originais.

Uma vez gerada a transformação, os autores recomendam avaliar os autovalores obtidos (elementos da diagonal da matriz de covariância das novas variáveis geradas). Se ocorrem autovalores muito menores que os outros (e com valor próximo a zero), a multicolinearidade é presente no conjunto das variáveis independente (Chanterjee e Price, 1977; Weisberg, 1980; Montgomery e Peck, 1982).

Desta forma, a observação da presença de graus elevados de multicolinearidade nas variáveis independentes, foi realizado através da observação dos autovalores gerados pelo algoritmo "FACTOR", de cálculo da transformação via Principais Componentes, disponível no pacote estatístico "Basis".

Para se avaliar a magnitude dos autovalores, utilizou-se o teste  $k$  (número condicional) apresentado por Montgomery e Peck (1982) onde:

$$k = \frac{w_{\max}}{w_{\min}}$$

onde:

$w_{\max}$  = maior autovalor

$w_{\min}$  = menor autovalor

Chanterjee e Price (1977), ao final de suas considerações a respeito afirmam, porém, que o único critério razoável para julgar estes valores é decidir se a ambiguidade e a degeneração do modelo, causadas pela multicolinearidade detectada é de importância fundamental no problema estudado.

É interessante observar que os trabalhos que utilizaram do procedimento "Stepwise" (SW) com o mesmo intuito, de selecionar as variáveis que maior influência possuem sobre a resposta espectral, não levam em consideração a presença ou não de multicolinearidade das variáveis explicativas (Karaska et alii, 1986; Batista, 1985; Walsh, 1987; Heimes, 1977).

Neste trabalho quando detectada a presença de alto grau de multicolinearidade no modelo, optou-se pela deleção de variáveis que tivessem contribuição ambígua.

Após obtido o melhor conjunto e o melhor modelo, procedeu-se também a análise dos resíduos (valor predito pelo modelo menos valor observado), através das plotagens recomendadas (Weisberg, 1980; Montgomery e Peck, 1982; Chanterjee e Price, 1977 e outros) dos valores dos resíduos versus os valores da variável dependente

(reflectância espectral) predita, de tal forma que se pudesse extrair informações sobre a adequação do modelo (variabilidade na variância dos erros, não linearidade do relacionamento) e a presença de valores extremos.

Resumidamente as fases empregadas na análise são apresentadas na Figura 4.1.

Para o conjunto dos dados do trabalho, as variáveis "VARIEDADE" e "TIPO DE SOLO", receberam abordagens distintas, por tratar-se de variáveis discretas ou categorizantes.

A variável "TIPO DE SOLO" foi empregada como variável "dummy" ou indicadora.

Com relação a este tipo de variável cabem algumas considerações. Ocasionalmente é necessário usar variáveis qualitativas ou categorizantes, como variáveis explicativas em uma regressão (ex: sexo, turno de trabalho, tipo de solo, tipo geológico, etc.). Em geral tais variáveis não possuem nenhuma escala natural de medição; para se avaliar o efeito deste fenômenos utilizam-se variáveis indicadoras ou "dummy", onde se atribuem valores tais como 0 e 1 (sexo masc=0 ; sexo fem = 1) as quais passam a fazer parte do modelo com o objetivo de se explicar a influência desses fatores (Montgomery e Peck, 1982; Weisberg, 1980; Neter e Wasserman, 1974).

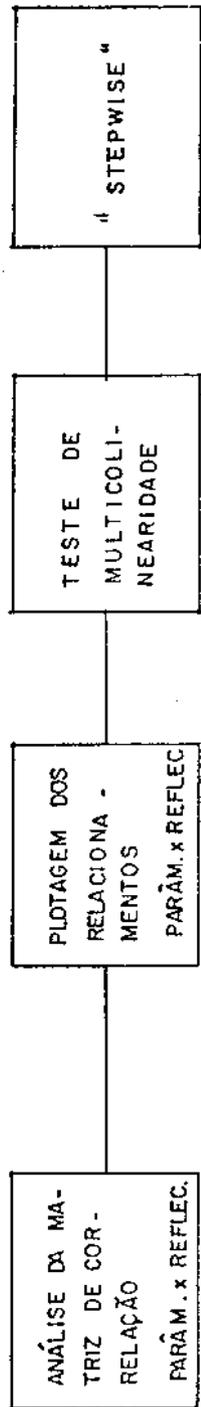


Fig. 4.1 - Procedimentos de Análise.

Neste trabalho o comportamento da variável "TIPO DO SOLO" assumiu um comportamento dicotômico, ou seja, na sua totalidade os solos encontrados nos talhões pertencem a duas categorias, Latossolo Vermelho Escuro (ou solo de textura argilosa) e Latossolo Vermelho Amarelo (ou solo de textura média no horizonte superficial). Atribuiu-se então a estes os valores 1 e 0, respectivamente.

Quanto às variedades, estas foram tratadas em grupos separados de análise (foram analisadas deste modo aquelas variáveis com número significativo de amostras). Para uma melhor visualização destes grupos, a Tabela 4.1 apresenta sua relação e algumas características.

TABELA 4.1

GRUPOS DE ANÁLISE

GRUPO	COMPOSIÇÃO	NÚMERO DE OBS
1	GERAL (TODAS AS VARIED.)	123
2	VARIED. PERA	54
3	VARIED. NATAL	22
4	VARIED. VALÊNCIA	23
5	VARIED. HAMLIN	13

Além destes grupos de análise, o grupo GERAL foi compartimentado em estratos de acordo com a idade; desta forma fazem parte da análise ainda os grupos relacionados na Tabela 4.2.

TABELA 4.2

GRUPOS DE ANÁLISE CORRESPONDENTES À ESTRATIFICAÇÃO DOS  
POMARES QUANTO A IDADE.

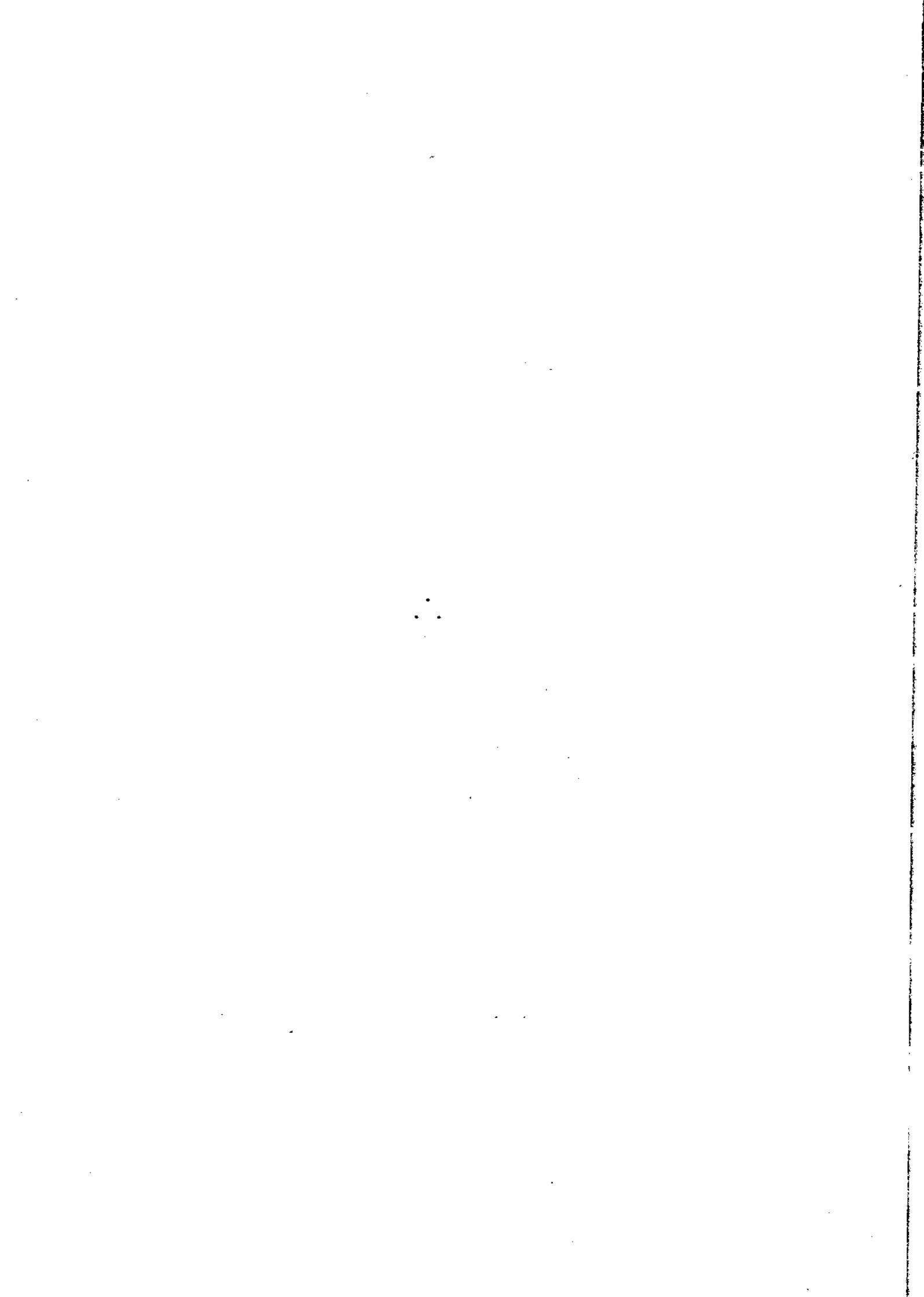
GRUPO	N <sup>o</sup> DE OBSERVAÇÕES
ESTRATO1	16
ESTRATO2	44
ESTRATO3	50
ESTRATO4	13

As etapas descritas visaram dar uma maior consistência na avaliação das variáveis de maior influência sobre a resposta espectral dos pomares.

O procedimento "Stepwise" tem sido usado por alguns autores em trabalhos com sensoriamento remoto. No Capítulo 2 (item 2.2.1) alguns desses trabalhos são discutidos mais detalhadamente. As conclusões advindas desses trabalhos relatam a boa performance obtida pelo método em determinar as melhores variáveis explicativas (Batista,1981; Karaska,1986; Walsh,1987; Heimes,1977). Outros campos de pesquisa empregam comumente o procedimento "Stepwise" em trabalhos de descrição e modelamento de fenômenos. Inúmeros são os trabalhos nas áreas de Análise de Sistemas, Engenharia de Produção, Economia, etc. (Scaico,1979 ;Beckman,1970; MacDonald e Schwing,1973).

Por outro lado, é importante a avaliação e análise de todos os "outputs" (saídas) do algoritmo, tais como os valores do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), os

valores da estatística F, a análise de variância do modelo, a própria adequação do modelo, etc, de sorte que os resultados não sejam mera transcrição dos resultados do algoritmo (Montgomery e Peck, 1982). Dessa forma, na discussão dos resultados desta fase são avaliados e relatados tais parâmetros.



## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do trabalho são discutidos e analisados em dois blocos, o primeiro envolvendo a análise dos relacionamentos entre os parâmetros culturais e a reflectância espectral dos pomares, em seguida a determinação das variáveis com maior influência na resposta espectral dos pomares, obtida por meio do procedimento "Stepwise".

Os parâmetros culturais (ou variáveis independentes) serão apresentados neste capítulo, para facilitar a discussão, com a seguinte nomenclatura:

- COB = Cobertura do terreno por árvores de citros;
- SOLO = Tipo de solo;
- ORFIL = Orientação das fileiras de plantio;
- DECL = Declividade;
- ORDECL = Orientação do declive;
- ALT = Altura das árvores de citros;
- SUB = Substrato;
- UNIF = Uniformidade do talhão.

Os valores obtidos de cada parâmetro, bem como das reflectâncias de cada talhão, são apresentados ,por grupo de análise no Apêndice A.

5.1 - AVALIAÇÃO DOS RELACIONAMENTOS ENTRE OS PARÂMETROS CULTURAIS ESTUDADOS E A RESPOSTA ESPECTRAL DOS POMARES

Esta avaliação envolveu o estudo do relacionamento entre cada variável dependente e as variáveis independentes. Correlações foram executadas e plotagens dos pares de variáveis foram examinadas e somente aqueles os quais apresentaram correlações significativas são apresentados.

Os resultados são discutidos por grupos de experimentos.

5.1.1 - GRUPO GERAL

A Tabela 5.1 apresenta os coeficientes de correlação significativos de cada parâmetro analisado com os valores de reflectância em cada banda do sensor TM.

TABELA 5.1

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SIGNIFICATIVOS AO NÍVEL  
DE 95% ENTRE A REFLECTÂNCIA E OS PARÂMETROS  
CULTURAIS ANALISADOS PARA O GRUPO GERAL

PARÂM	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
SOLO	ns	ns	0,356	0,208	0,387	0,470
COB	-0,671	-0,781	-0,668	-0,216	-0,700	-0,663
ORFIL	0,264	0,248	0,272	ns	0,285	0,260
DECL	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ORDECL	-0,218	ns	-0,190	0,223	ns	-0,190
ALT	-0,593	-0,658	-0,630	ns	-0,530	-0,590
SUB	-0,471	-0,240	-0,480	0,563	-0,280	-0,430
UNIF	0,423	0,280	0,440	0,195	0,320	0,410

ns = Não significativo ao nível de 95%.

Para a banda TM1, os parâmetros COB, ALT, SUB e UNIF, apresentam maiores correlações com os valores de reflectância, nesta ordem. COB e ALT apresentam uma moderada a forte correlação negativa com os valores de reflectância, o que confirma as observações feitas por Butera (1986) e Franklin (1986), em que com o aumento da fitomassa ocorre um decréscimo da reflectância, além do que como observam Heimes (1977) e Colwell (1974), ao aumento da cobertura do terreno por árvores está associado um aumento da proporção de sombras no talhão o qual contribui para o decréscimo da reflectância.

O parâmetro SUB, apresenta uma moderada correlação negativa com a reflectância, o que é esperado (Colwell, 1974) pois na medida em que se aumenta a

proporção das entrelinhas cobertas com a vegetação, há um aumento da fitomassa no talhão acarretando em um correspondente decréscimo na reflectância.

O parâmetro UNIF apresenta uma moderada correlação positiva com a reflectância, aumentando os valores dessa com o aumento da uniformidade do talhão. Tal fato pode ser entendido a partir da explicação apresentada no trabalho de Banninger (1986b) em que a autora observa que o aumento das sombras das árvores com estresse causa um decréscimo na resposta espectral da vegetação. Outra explicação possível é a ligação entre a uniformidade dos talhões e a idade destes, como se observa na Figura 5.1, onde para os talhões mais velhos, portanto com maior índice de cobertura do terreno por árvores de citros, há uma tendência de menor uniformidade e o inverso para talhões mais jovens. Desta maneira uma menor uniformidade está ligada a maior idade e maiores coberturas do terreno por árvores e conseqüentemente menores valores de reflectância nesta banda.

A correlação entre os parâmetros ORFIL e ORDECL e a reflectância é muito fraca. Com relação ao SOLO e DECL as correlações encontradas não foram significativas.

É interessante notar que apesar da hierarquia das correlações com a reflectância incluir o parâmetro ALT em segundo lugar, este não é determinado como significativo pelo procedimento " Stepwise", muito provavelmente em função de pouco acrescentar no coeficiente de determinação do modelo. ORFIL e ORDECL, por seu turno, apesar de apresentarem coeficientes de correlação significativos, quando na presença de outros não foram determinados como significativos no modelo.

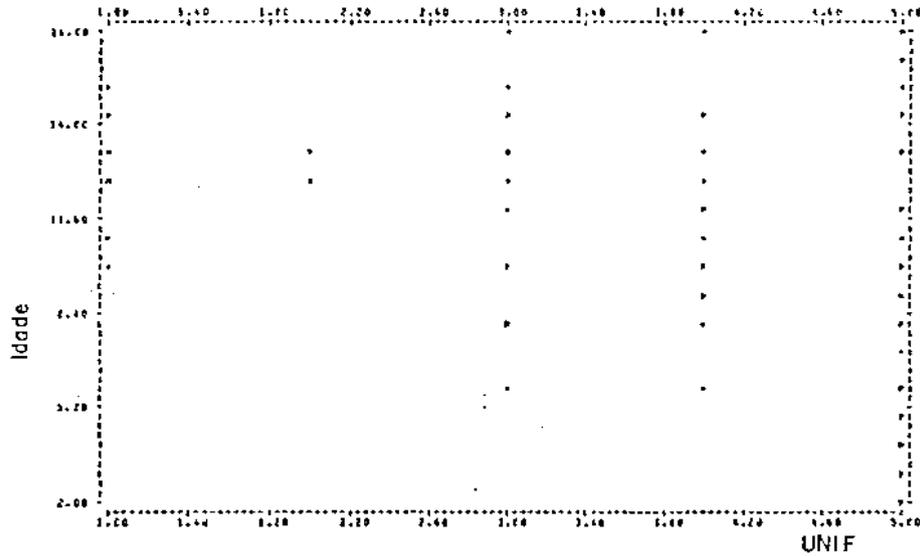


Fig. 5.1 - Relacionamento entre o parâmetro UNIF e a idade dos talhões para o grupo GERAL.

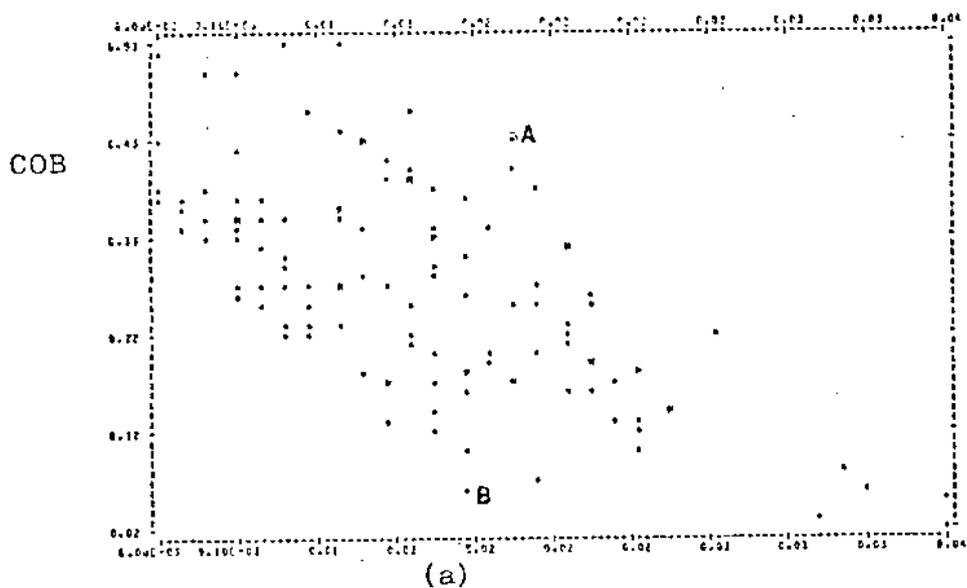
A Figura 5.2, ilustra os relacionamentos significativos entre a reflectância dos pomares na banda TM1 e os parâmetros culturais.

Pela Figura 5.2(a), tem-se que o parâmetro COB exibe um relativamente forte relacionamento linear negativo com a reflectância, comportamento esperado para este intervalo de comprimento de onda.

A variabilidade verificada nos dados está associada à influência de outros parâmetros, como exemplo os pontos (A) e (B) os quais apesar de grandes diferenças de cobertura do terreno por árvores de citros apresentam valores de reflectância muito próximos, o que pode ser explicado pela variação no substrato, pois o ponto A (talhão M174) possui baixa presença de vegetação nas entrelinhas ao contrário do ponto B (talhão C777) com alta percentagem das entrelinhas cobertas com vegetação.

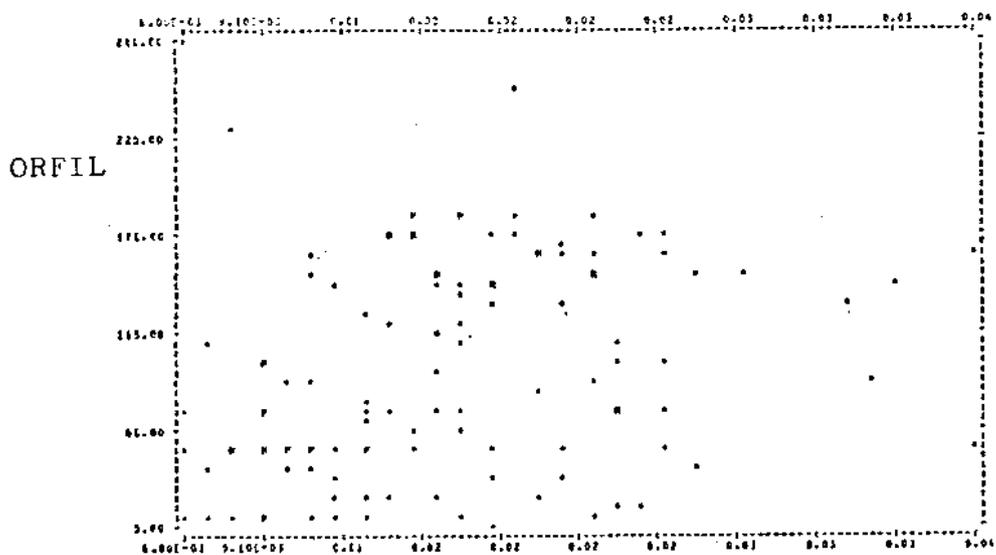
Os parâmetros ORFIL e ORDECL, apesar de apresentarem correlações significativas não evidenciam possuir um relacionamento efetivo com a reflectância.

O parâmetro ALT possui um relacionamento com a reflectância semelhante aquele observado com COB. Pode-se supor que, em verdade, ambos refletem um mesmo parâmetro, qual seja, a variação da proporção do talhão ocupada pelas árvores de citros.



REF1

(a)



REF1

(b)

Fig. 5.2 - Relacionamento entre a reflectância de banda TM1, grupo GERAL e os parâmetros significativos (a) COB, (b) ORFIL, (c) ORDECL, (d) ALT, (e) SUB e (f) UNIF.

(continua)

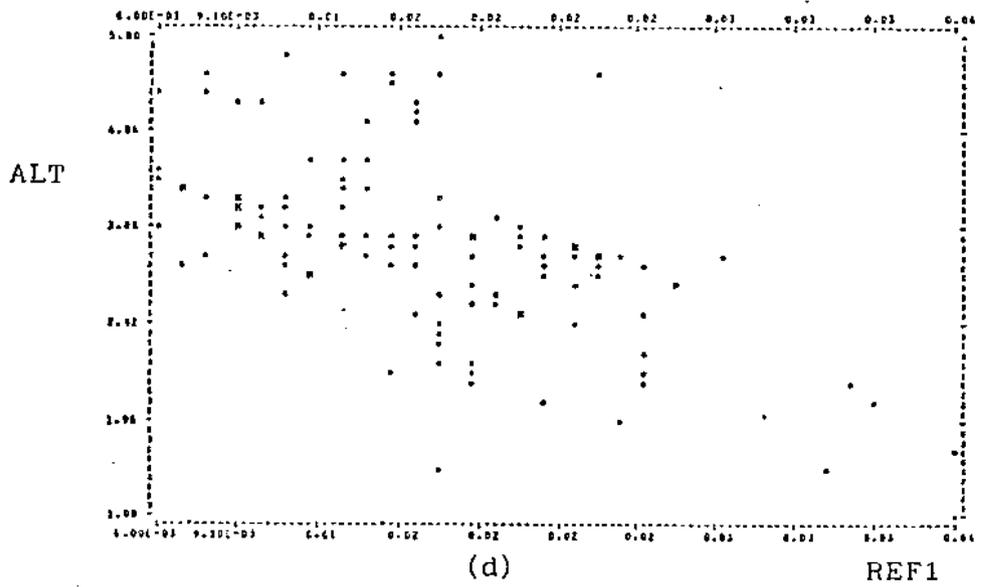
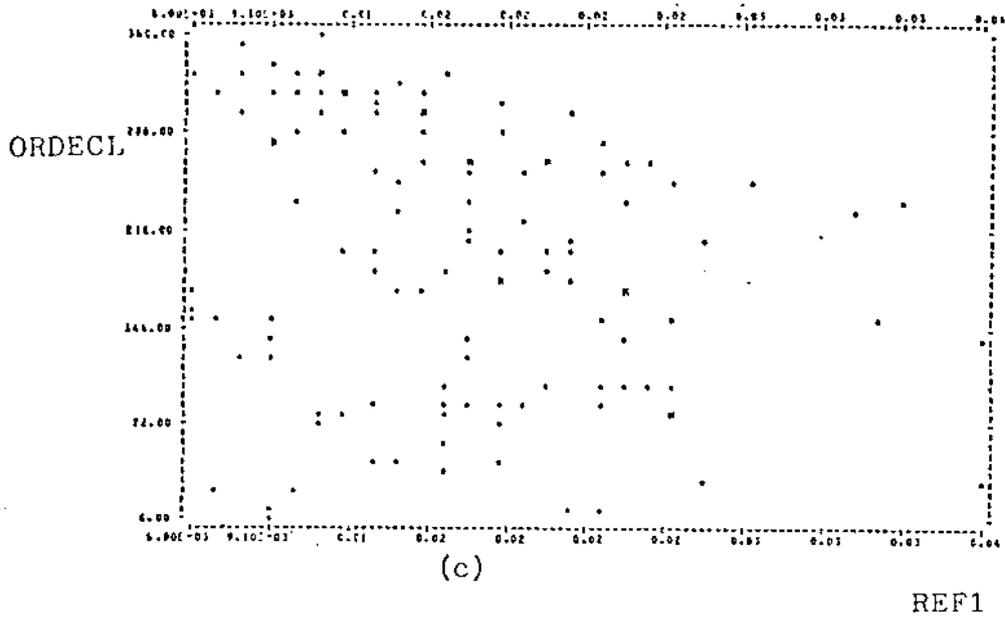


Fig. 5.2 - Continuação.

(continua)

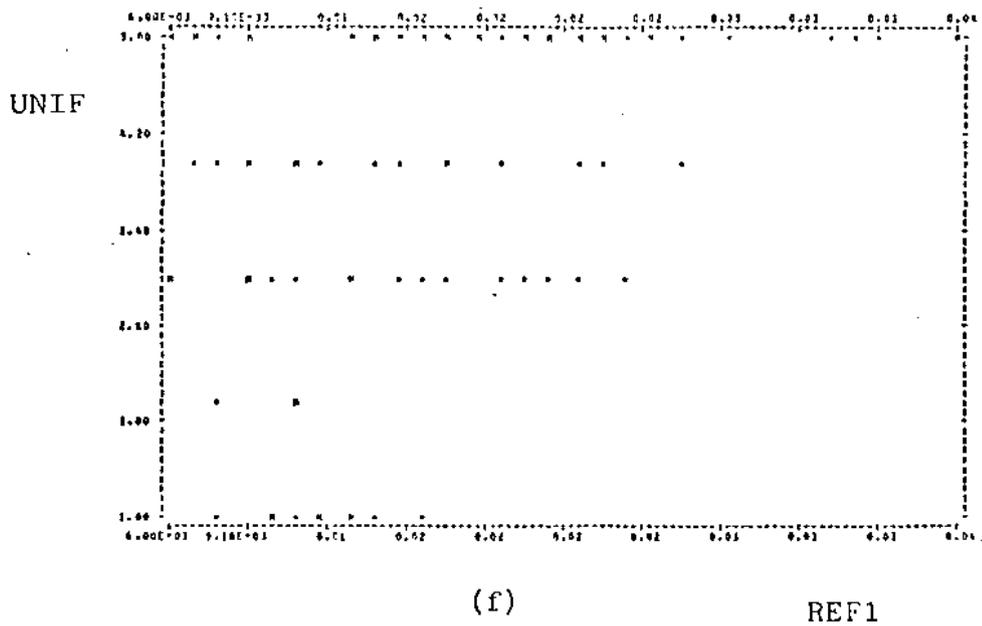
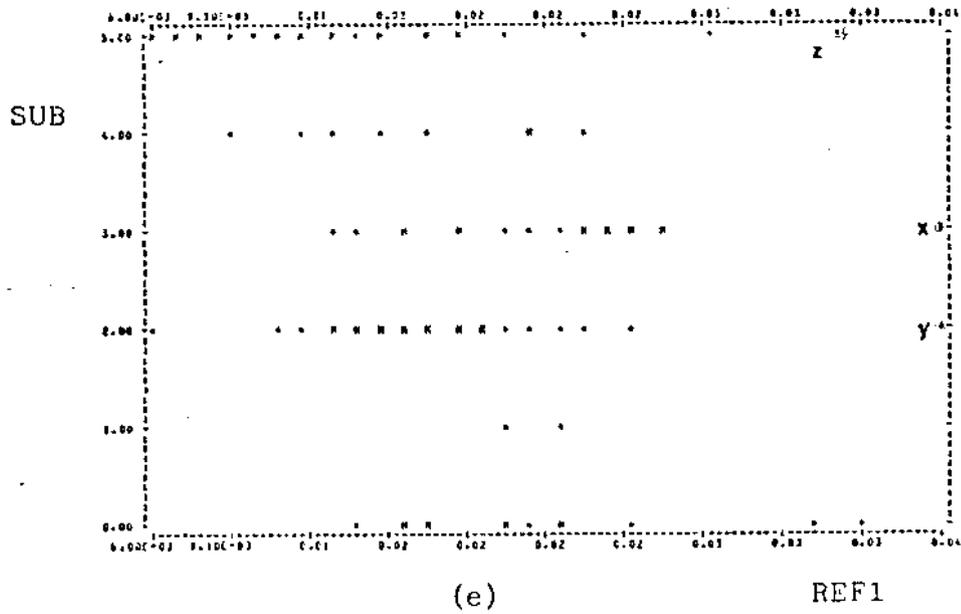


Fig. 5.2 - Conclusão.

Para o parâmetro SUB, pode-se verificar um certo relacionamento negativo com os valores de reflectância. Contudo o modelamento deste, como já foi mencionado, não possibilita uma melhor avaliação deste relacionamento. Observa-se porém que da mesma forma que para COB, a variabilidade de alguns pontos do gráfico pode ser atribuída ao comportamento de outros parâmetros de maior influência. Como exemplo observa-se na Figura 5.2 e que para os pontos (X) (Y) e (Z), apesar do substrato apresentar uma razoável cobertura por vegetação nas entrelinhas, os valores de COB são muito baixos, resultando deste conjunto de influências, valores altos de reflectância (X = talhão M057, Y = talhão M047 e Z = talhão C315) refletindo as influências do parâmetro COB.

As observações a respeito dos parâmetros COB e SUB, são confirmadas pelas observações de Heimes (1977) a respeito das influências conjuntas destes parâmetros, afetando a variabilidade verificada nos relacionamentos destes com a reflectância.

UNIF, por seu turno, apresenta o já discutido relacionamento positivo com a reflectância.

Com relação à banda TM2, os parâmetros COB e ALT, apresentaram as maiores correlações com a reflectância, ambos revelando uma moderada a forte correlação negativa com a última o que também confirma as observações de Butera (1986) e Franklin (1986).

Novamente cabe a consideração de que ao aumento da cobertura do terreno por árvores, acompanha um aumento na proporção de sombras no talhão e este é também um dos fatores responsáveis pela correlação negativa apresentada por COB e a reflectância nesta banda.

Quanto ao parâmetro SUB, este apresenta uma fraca correlação negativa com a reflectância. Uma explicação para a diminuição do coeficiente em relação ao observado para a banda TM1, pode ser a maior influência do parâmetro COB. Contudo os resultados obtidos no procedimento "Stepwise" indicam que apesar da fraca correlação este é um parâmetro significativo a influenciar a reflectância nesta banda em detrimento do parâmetro ALT, o qual possui um coeficiente de correlação mais alto. Tal se deve ao fato de que na presença de outros parâmetros, ALT não afeta significativamente a resposta, pois sua influência já está expressa pelo parâmetro COB. Por outro lado apesar da menor correlação, SUB quando na presença de outros parâmetros implica em uma influência significativa.

O parâmetro UNIF volta a apresentar uma correlação positiva, porém fraca nesta banda, não se revelando um relacionamento consistente com a reflectância para esta banda.

Na Figura 5.3 são apresentadas as plotagens destes parâmetros com a reflectância.

Pela Figura 5.3 observa-se que COB apresenta forte relacionamento linear negativo com a reflectância na banda TM2, e da mesma maneira que para os dados referentes à banda TM1, a variabilidade verificada pode ser atribuída às variações em outros parâmetros, notadamente o substrato (Heimes, 1977 e Casselles, 1985).

ORFIL, apresentou um tênue relacionamento positivo com a reflectância, contudo com uma muito grande variabilidade na plotagem, não permitindo definir uma tendência efetiva de relacionamento.

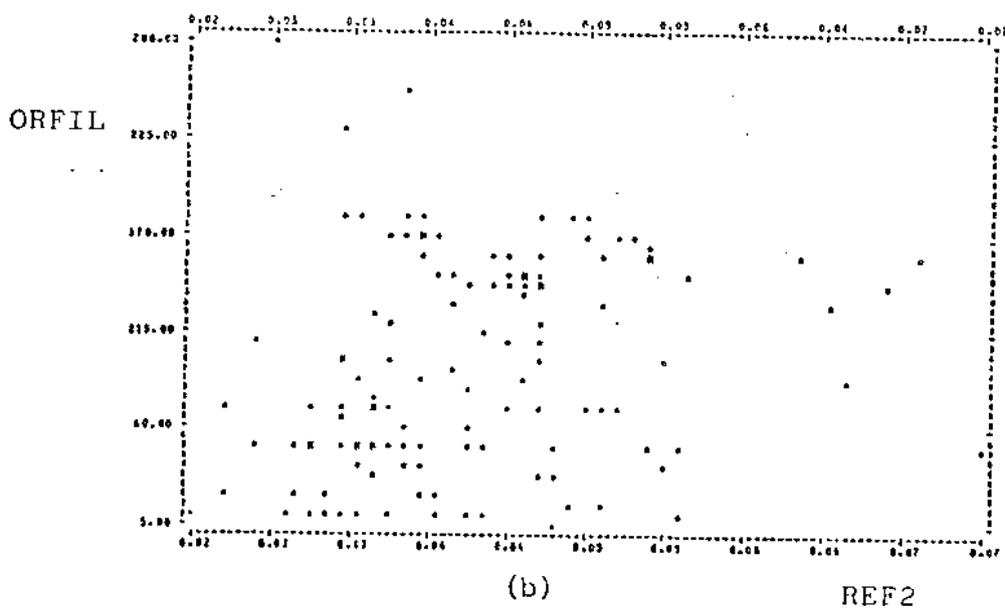
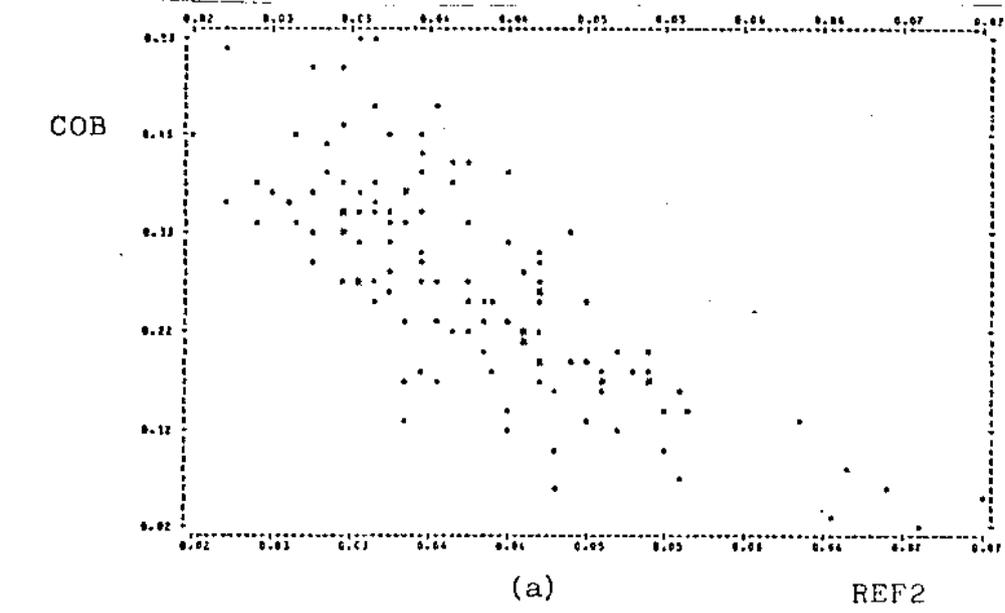


Fig. 5.3 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM2, grupo GERAL e os parâmetros significativos (a) COB, (b) ORFIL, (c) ALT, (d) ORDECL, (e) SUB, (f) UNIF.  
(continua)

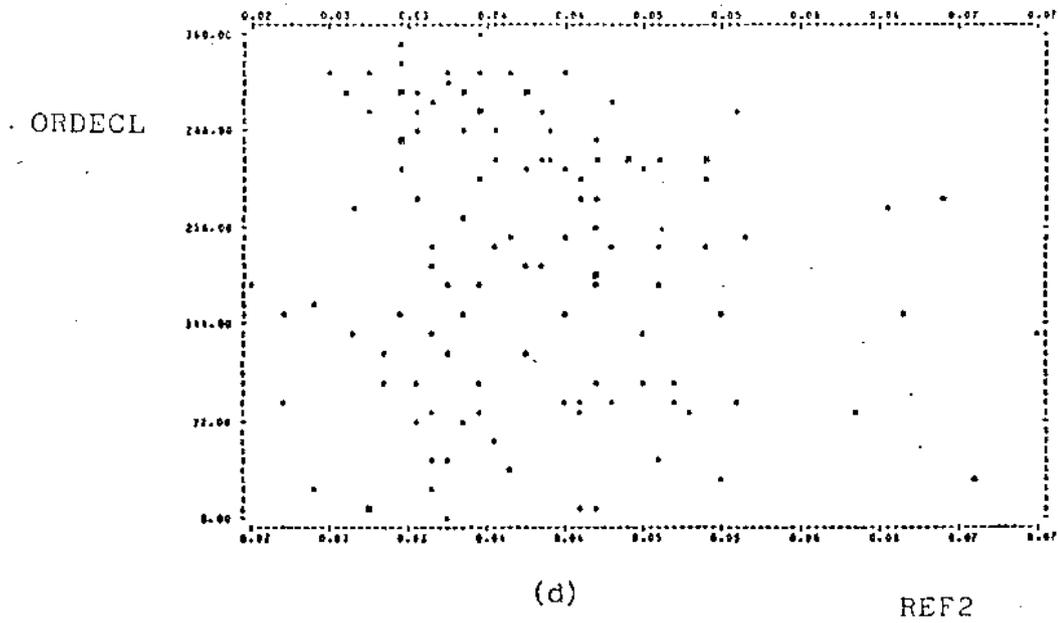
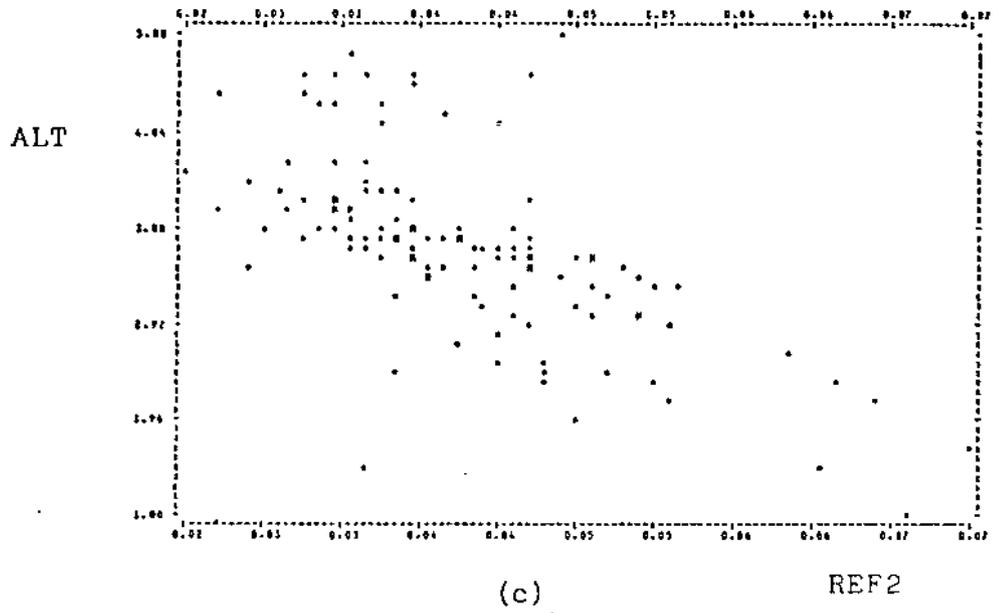


Fig. 5.3 - Continuação.

(continua)

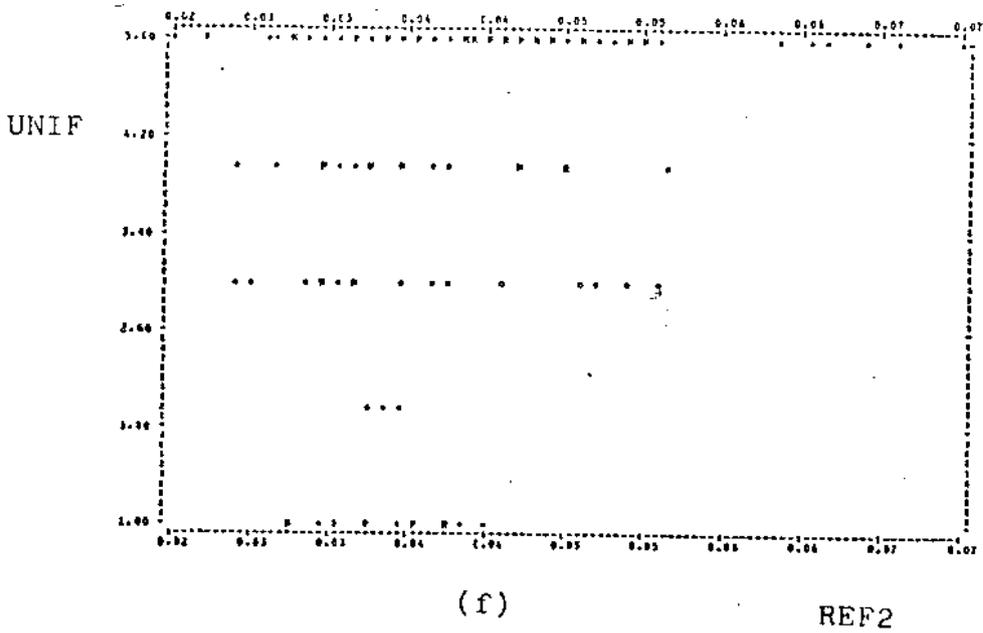
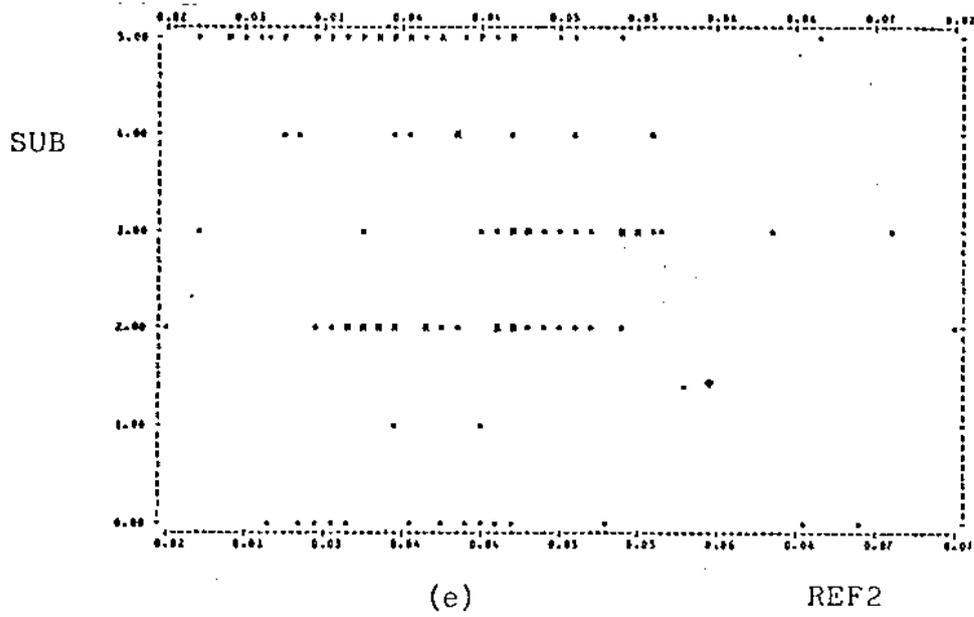


Fig. 5.3 - Conclusão.

ALT repete o padrão observado na banda TM1, já discutido.

SUB apresenta um relacionamento negativo com a reflectância, porém bem menos consistente que o verificado na banda TM1. Tal fato possivelmente está ligado ao modelamento desta variável, principalmente no que diz respeito às condições da cobertura vegetal das entrelinhas, além da variabilidade induzida por outros parâmetros.

UNIF por sua vez apresenta um relacionamento não consistente nesta banda.

Para a banda TM3 verificam-se moderadas correlações negativas entre os valores de reflectância e os parâmetros COB e ALT, resultados estes condizentes com aqueles obtidos por Butera (1986) e Franklin (1986). Os menores valores do coeficiente de correlação obtidos em relação à banda TM2, podem estar associados à maior correlação com o substrato (SUB) para a banda TM3, o que aumentaria a variabilidade destes relacionamentos.

Possivelmente as correlações destes parâmetros também estão associada ao aumento das sombras no talhão (Vianagrodov citado por Colwell, 1974), que acompanha o aumento do porte das árvores de citros, o que contribui para o relacionamento negativo dos parâmetros COB e ALT com a reflectância (Ranson e Daughtry, 1987).

O parâmetro SUB apresenta uma moderada correlação negativa com a reflectância, o que é esperado, uma vez que o aumento da proporção de vegetação no substrato de um talhão acarreta em um decréscimo na reflectância nesta banda, como observam Colwell (1974) e Heimes (1977).

SOLO apresenta uma fraca correlação positiva com a reflectância, porém a análise dos resultados do procedimento "Stepwise" indicam que este é significativo quanto à influência na reflectância. Desta forma tem-se que os talhões com o solo LE (1) tendem a apresentar valores de reflectância maiores que aqueles sobre o solo LV (0). Na medida em que as amostragens de campo revelam que este último possui textura meos argilosa que o primeiro, espera-se que o relacionamento fosse o inverso. Assim constatou Epiphanyo (1988) em seu trabalho na região de Guaíra, obtendo resultados de reflectâncias maiores para o solo LV que para o LE, em todas as bandas do TM. Nota-se neste mesmo trabalho, porém, que em uma das passagens este comportamento foi alterado, verificando-se maiores valores de reflectância para o solo LE que para o solo LV, ao que o autor atribui a alterações na composição granulométrica e teor de óxidos de ferro que ocorrem no LE devido ao posicionamento geográfico das amostras coletadas. Uma também possível explicação para o relacionamento observado está relacionado às condições hidricas das áreas, uma vez que todas as amostras pertencentes à categoria LE (1) encontram-se em uma passagem do satélite diferente das amostras com a categoria LV (0). Assim sendo diferenças de unidade entre as duas datas e entre as áreas estariam sendo atribuídas a diferenças do tipo de solo.

O parâmetro UNIF, apresenta uma moderada a fraca correlação positiva com a reflectância, o que, da mesma forma como foi discutido para a banda TM1, pode ser explicada pelas considerações feitas por Banninger (1986b) do aumento das sombras acompanhando o aumento do estresse, e conseqüente diminuição da uniformidade, levando a uma diminuição dos valores da reflectância. Ou ainda à relação entre o parâmetro UNIF e a idade dos pomares.

A Figura 5.4 apresenta as plotagens dos parâmetros com a reflectância nesta banda.

Na Figura 5.4a, observa-se uma tendência de valores de reflectância mais baixos para os talhões com o solo 0 (LV) e valores mais altos para o solo 1 (LE), como já foi discutido anteriormente; nota-se porém, uma grande variabilidade, que ocorre em função de influências diferentes de outros parâmetros.

Os valores de COB apresentam, como esperado, um comportamento inverso aos valores de reflectância e da mesma forma que para as bandas TM1 e TM2, a variabilidade no relacionamento pode ser explicada em parte pela variação no parâmetro SUB, como verificaram Heimes (1977) e Ranson e Daughtry (1986).

Com ORFIL e ORDECL não se verificou um relacionamento consistente com a reflectância nesta banda, apesar de ambos possuírem correlações significativas.

No parâmetro ALT volta a se verificar o comportamento semelhante a COB, reafirmando o modelamento paralelo de uma mesma variável dos pomares de citros por estes dois parâmetros.

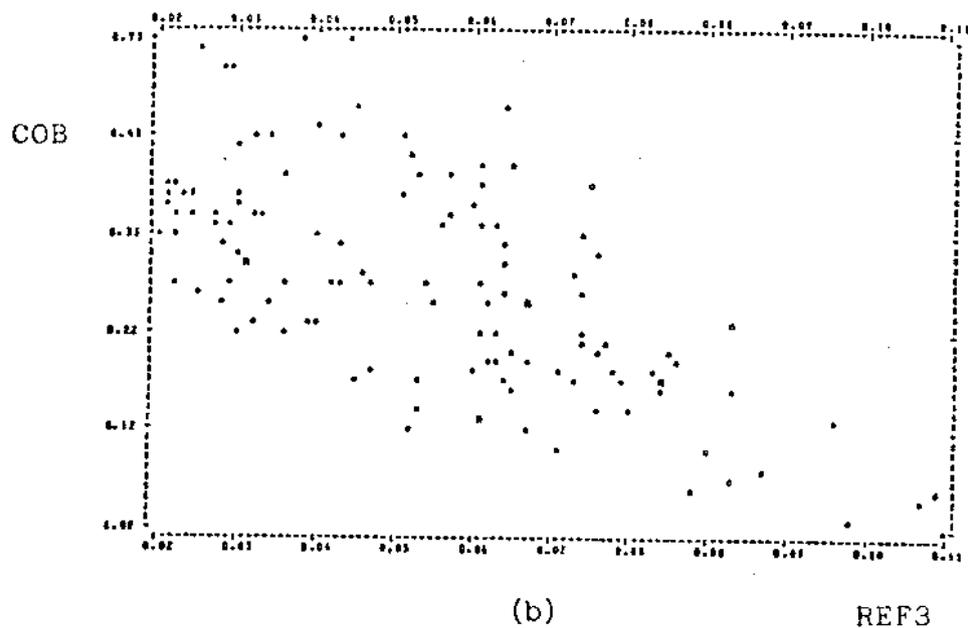
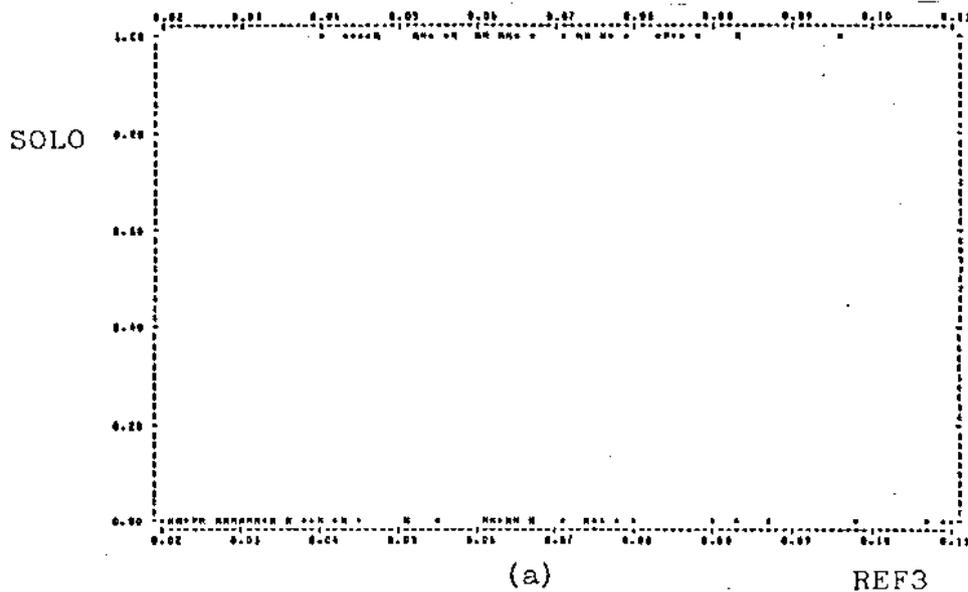


Fig. 5.4 - Relacionamento entre a reflectância da banda TM3, grupo GERAL e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORFIL, (d) ORDECL, (e) ALT, (f) SUB e (g) UNIF.

(continua)

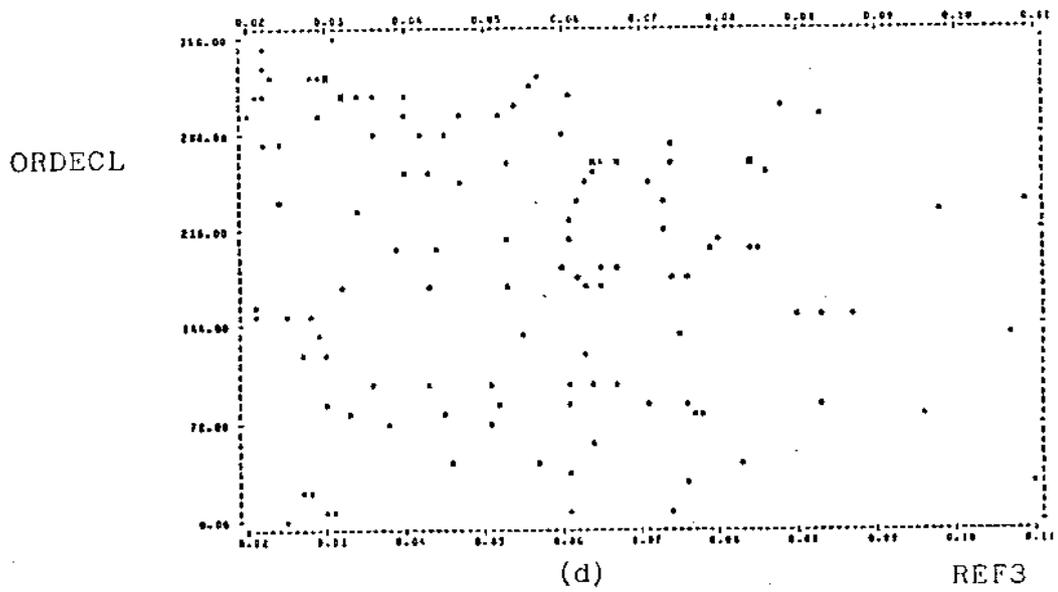
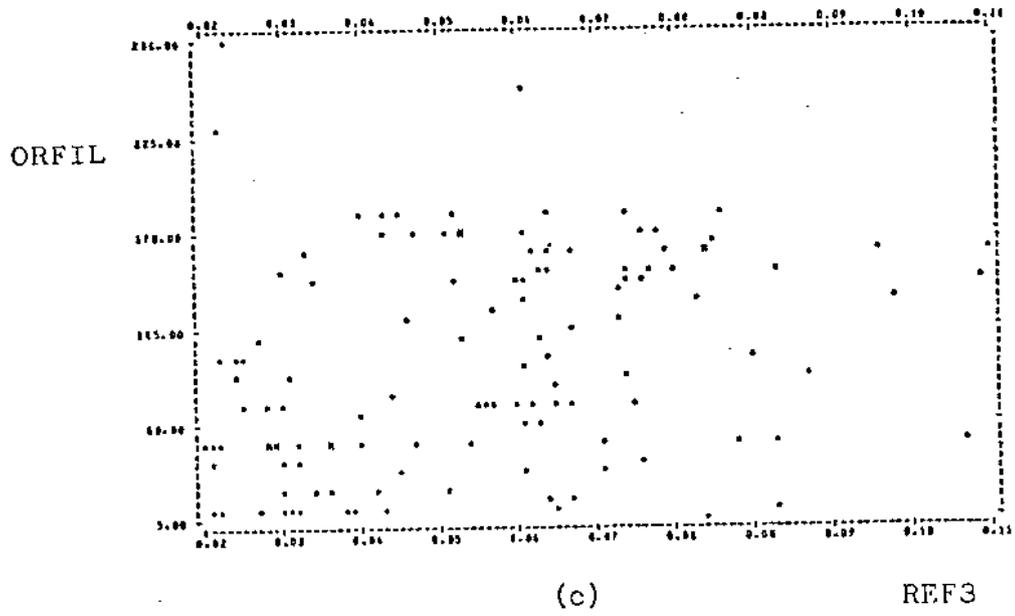


Fig. 5.4 - Continuação.  
(continua)

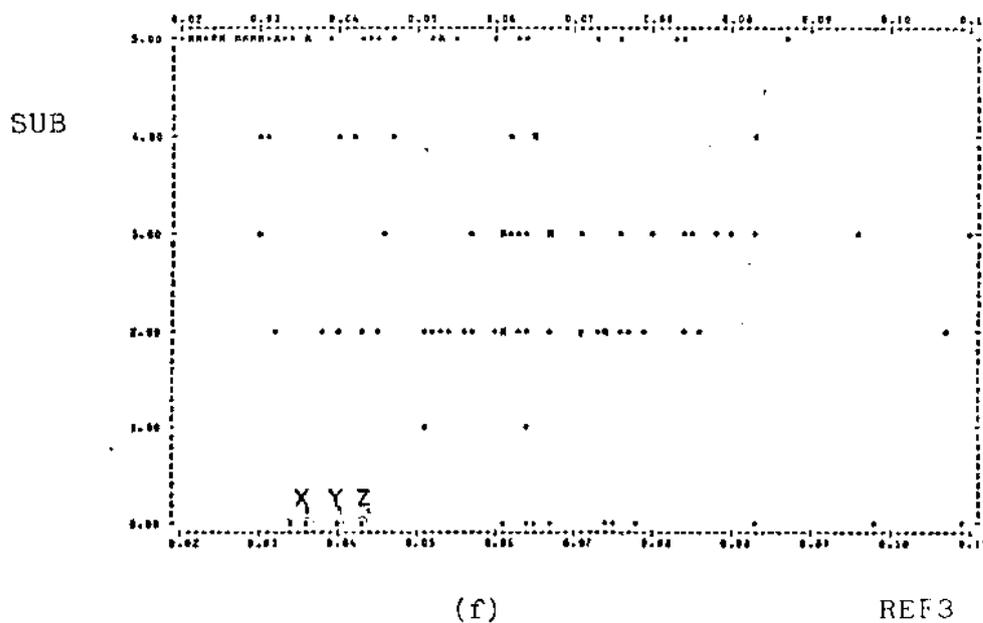
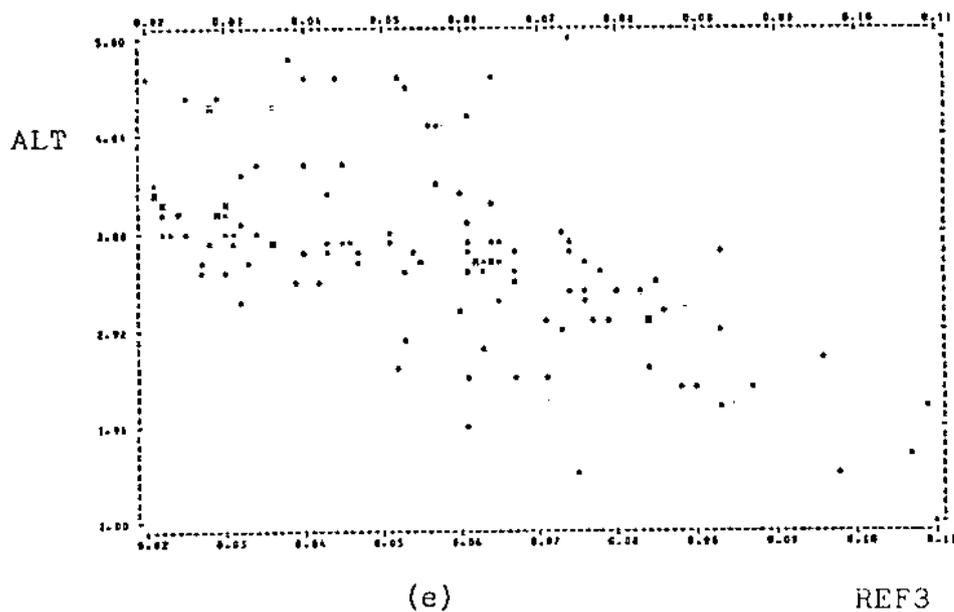


Fig. 5.4 - Continuação.  
(continua)

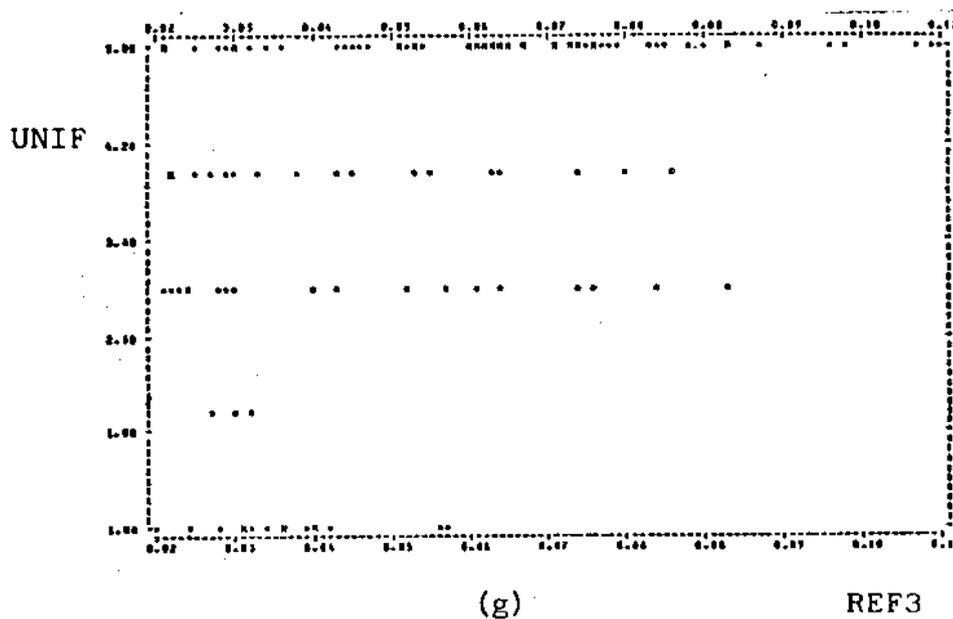


Fig. 5.4 - Conclusão.

SUB apresenta um relacionamento inverso com a reflectância para a banda TM3 mais consistente porém que o observado para as bandas TM1 e TM2. A dispersão dos dados pode ser em parte explicada pela variação no parâmetro COB, assim como afirma Heimes (1977). Por exemplo, têm-se os pontos X, Y e Z os quais apresentam ausência de cobertura vegetal nas entrelinhas (SUB = 0), contudo os valores de reflectância observados são bem mais baixos que o esperado. Observando o parâmetro COB verifica-se que estes talhões (X = S022, Y = M036, Z = S027) possuem alta percentagem de cobertura do terreno por citros e a influência da percentagem de biomassa e sombras advinda desta cobertura contribui para apresentar menores valores de reflectância que o esperado para este substrato.

UNIF, por sua vez possui o mesmo relacionamento positivo com a reflectância, sendo que as possíveis explicações para tal já foram discutidas neste item.

Com relação à banda TM4, o parâmetro com maior correlação é o SUB, o qual possui uma moderada correlação positiva com a reflectância, o que é esperado, uma vez que o aumento da proporção de vegetação nas entrelinhas corresponde a um aumento da fitomassa no talhão com conseqüente aumento da reflectância, o que é coerente para este intervalo do espectro eletromagnético. Da mesma forma Casselles et alii (1985) e Gordon et alii (1986) afirmam a importância do substrato na resposta espectral dos pomares.

O parâmetro COB, apresentou na banda TM4 uma fraca correlação negativa com a reflectância. Tal resultado (a princípio não esperados) foram também observados por Butera (1986) e Roller citado por Colwell (1974). As

possíveis explicações para tal fato estão condizentes com aquelas apresentadas por esses autores.

Em primeiro lugar ocorre um aumento da proporção de sombras no talhão, com o aumento da cobertura do terreno por árvores de citros (assim também constata Heimes, 1977). As sombras em função dos espaçamentos largos empregados nos pomares, exercem influência significativa no sinal registrado pelo sensor e conseqüentemente alteram a reflectância do talhão diminuindo-a mesmo para a região do infravermelho próximo (Roller citado por Colwell, 1974). Nas demais porções do espectro eletromagnético, a diminuição da reflectância causada pelo aumento das sombras é paralela ao decréscimo da reflectância causado pelo aumento da fitomassa. Na banda TM4, porém, esta diminuição da reflectância em função do aumento das sombras se contrapõe ao aumento da reflectância causado pelo aumento da fitomassa. Assim sendo a correlação do índice de cobertura do terreno por árvores de citros com a reflectância dos pomares na banda TM4 pode apresentar valores negativos como os aqui observados.

Para uma avaliação desta explicação formulada, optou-se por uma análise do relacionamento do parâmetro COB com a reflectância na banda TM4, nos estratos por idade.

A Figura 5.5 apresenta um diagrama dos coeficientes de correlação entre o parâmetro COB e a reflectância na banda TM4 por estrato de idade.

Verifica-se que o primeiro estrato possui um padrão de correlação positivo (ainda que não significativo) entre COB e a reflectância, e à medida que ocorre o aumento da idade dos pomares, acentua-se a tendência para relacionamentos negativos.

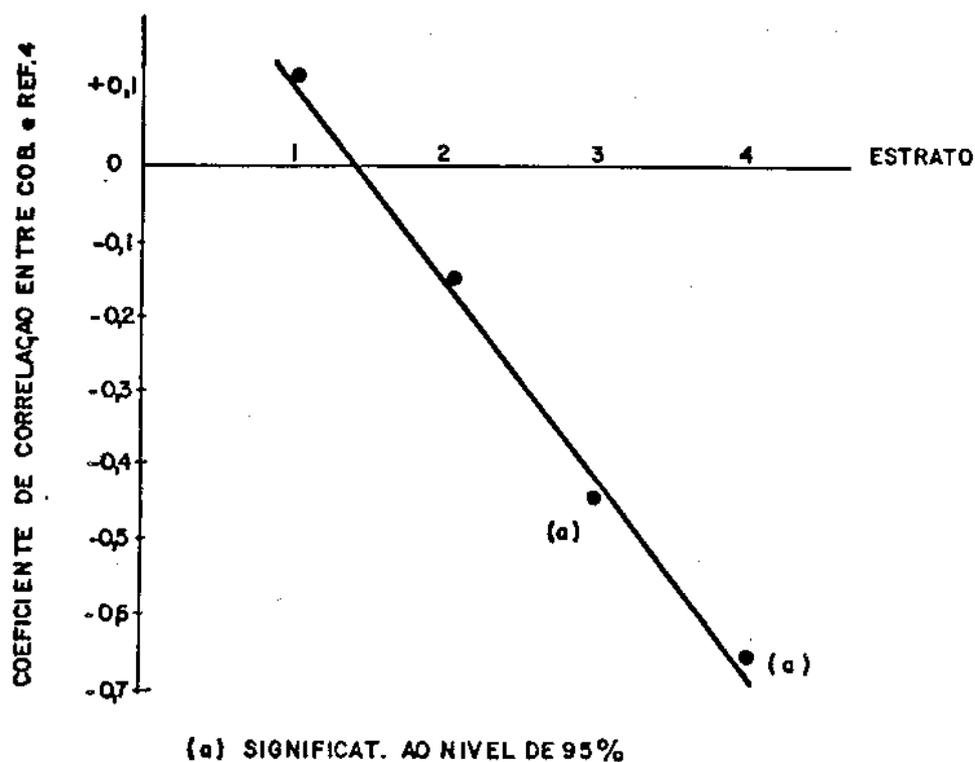


Fig. 5.5 - Diagrama mostrando os valores dos coeficientes de correlação entre o parâmetro COB e a referência dos pomares de citros por estratos de idade.

Possivelmente ocorre que à medida em que o porte das árvores aumenta, aumenta também a quantidade de sombras tornando-se significativa nos talhões (Heimes, 1977), e conseqüentemente aumenta sua influência na reflectância dos talhões acarretando em correlações negativas mais fortes.

Esta explicação, contudo, merece estudos mais detalhados para uma avaliação efetiva do relacionamento COB e a reflectância dos pomares na banda TM4, através de modelamentos da proporção de sombras e mesmo campanhas radiométricas.

A outra explicação diz respeito à variação verificada no substrato, o qual pode alterar os valores de reflectância para uma dada cobertura do talhão por árvores, modificando a correlação desta cobertura e a reflectância para esta banda, de acordo com estas variações. Butera (1986) apresenta tal explicação para os valores negativos do coeficiente de correlação entre a densidade do dossel em sítios florestais e a resposta espectral no infravermelho próximo, obtidos em seu trabalho.

Provavelmente a ação conjunta destas duas condições, influencia o relacionamento do parâmetro COB e a reflectância dos pomares na banda TM4.

Pode-se perceber a extrema complexidade da resposta dos pomares nesta banda, uma vez que a ação conjunta destes três fatores (cobertura do terreno por árvores de citros, substrato e proporção de sombras) redundam em uma grande heterogeneidade de respostas, o que de certa forma prejudica muitas vezes a identificação dos pomares nesta banda.

Na Figura 5.6, observam-se as plotagens dos parâmetros SOLO, COB, ORDECL, SUB e UNIF com a reflectância na banda TM4.

O parâmetro SOLO, não apresenta nenhum padrão consistente de relacionamento com a reflectância na banda TM4 (Figura 5.6a).

COB apresenta uma grande dispersão, não demonstrando nenhum padrão específico de relacionamento, em função das já discutidas influências da proporção de sombras e do substrato no dossel dos pomares.

ORDECL apresenta um relacionamento também extremamente disperso, não sendo conclusivo nenhuma espécie de relacionamento deste com a reflectância.

O parâmetro SUB apresenta um forte relacionamento linear positivo com a reflectância nesta banda. Aumentando a proporção de vegetação nas entrelinhas do talhão, têm-se um aumento nos valores de reflectância. A dispersão nos dados pode estar ligada a um modelamento insuficiente deste parâmetro, como já mencionado anteriormente.

Por fim UNIF não apresentou um relacionamento consistente com a reflectância.

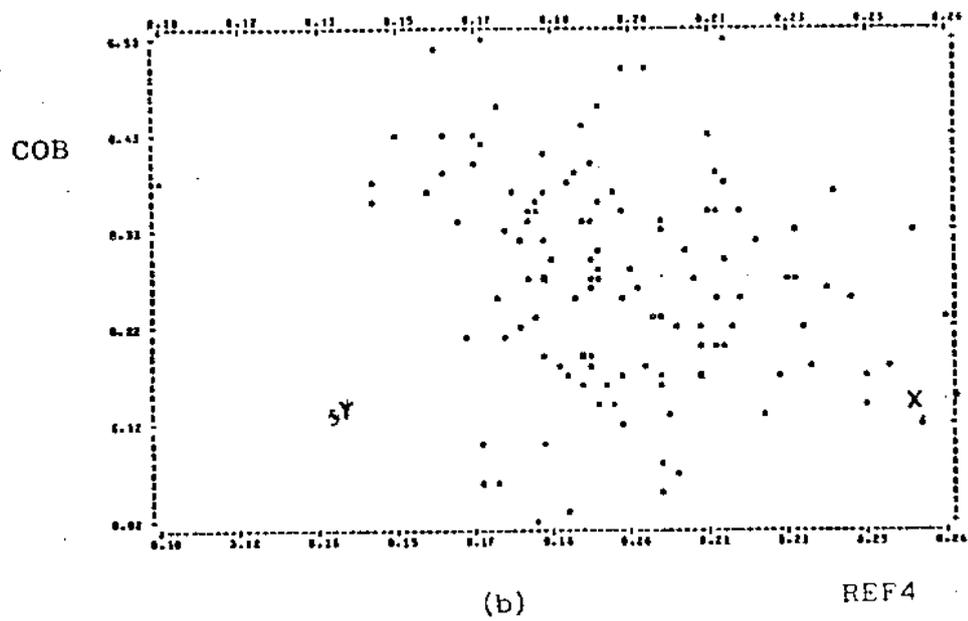
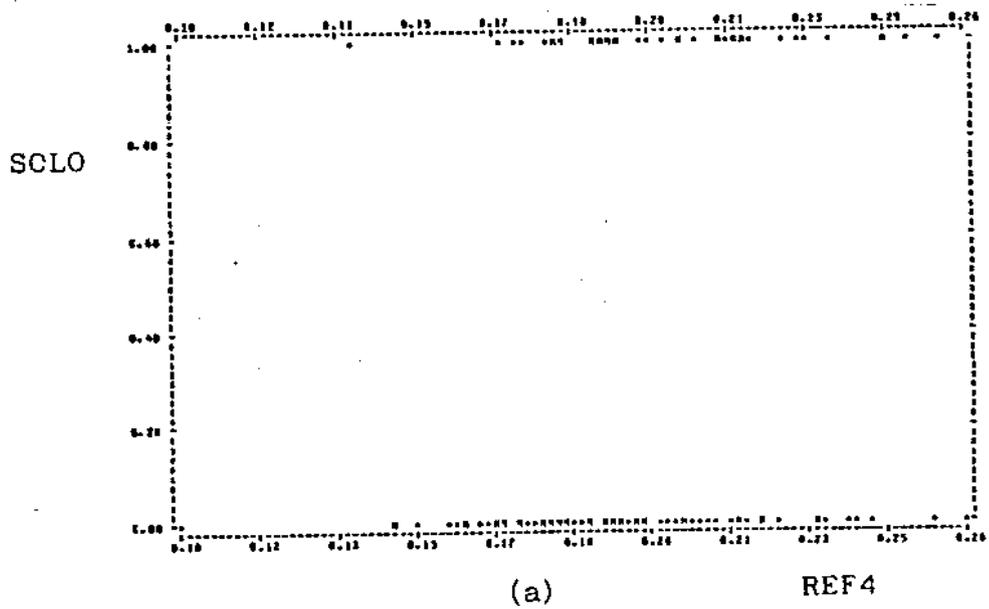


Fig. 5.6 - Relacionamento entre a reflectância da banda TM4, grupo GERAL e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORDECL, (d) SUB, (e) UNIF.

(continua)

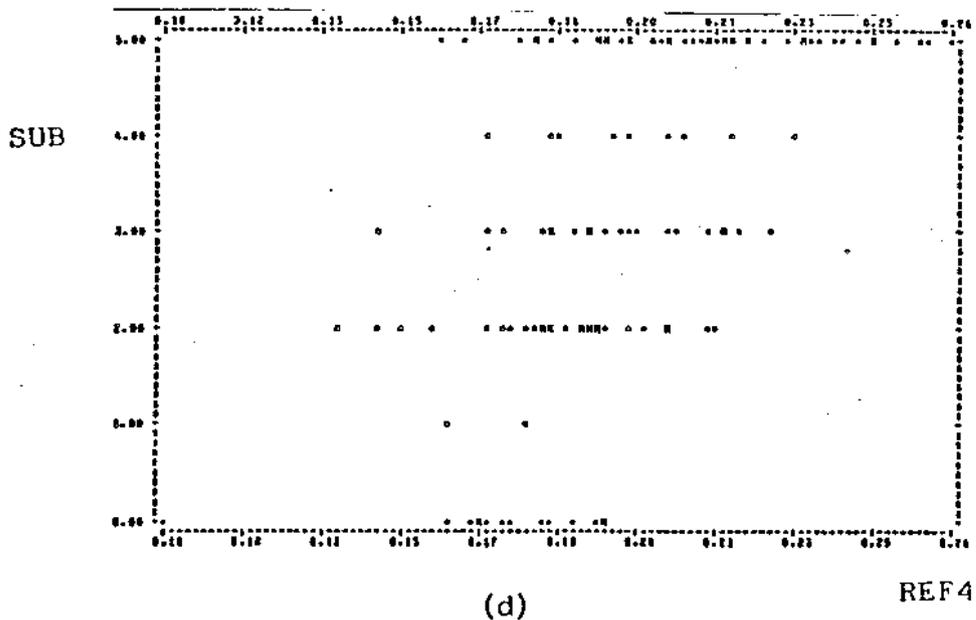
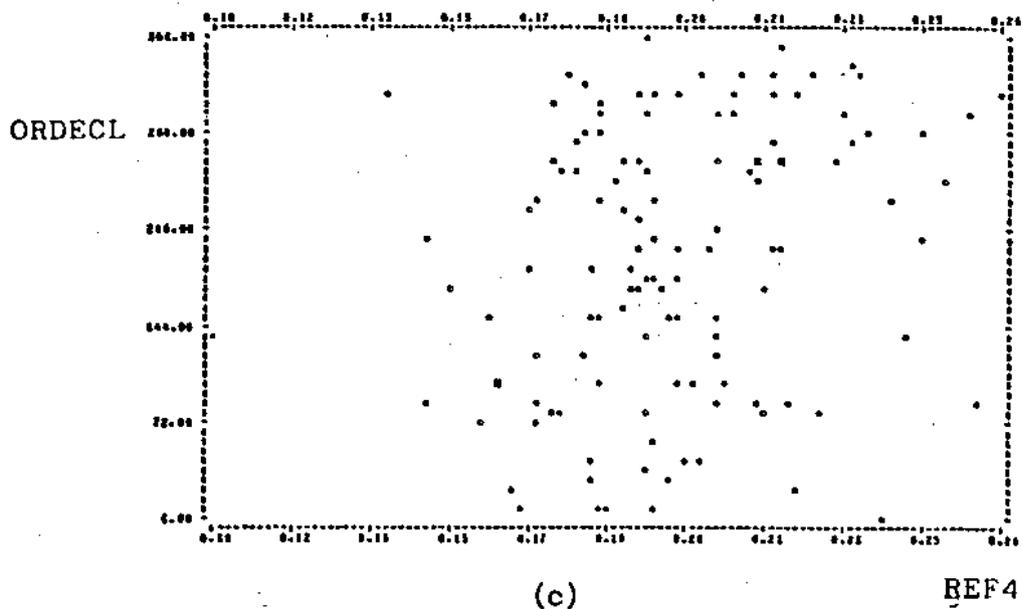
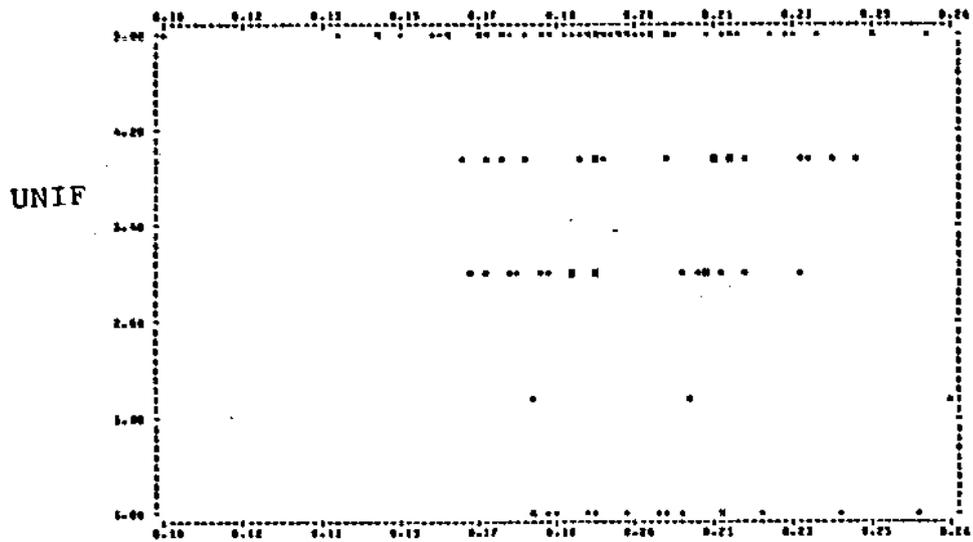


Fig. 5.6 - Continuação. (continua)



REF4

(e)

Fig. 5.6 - Conclusão.

Com relação à banda TM5, os parâmetros com maior correlação com a reflectância são COB e ALT, o primeiro com forte correlação negativa e o segundo moderada correlação também negativa. Da mesma forma que para as bandas TM1, TM2 e TM3, estes resultados são corroborados na literatura (Butera, 1986), onde para um aumento no índice de cobertura do terreno por árvores de citros ou altura destas, ocorre uma diminuição nos valores de reflectância, como já foi discutido anteriormente. Também para esta banda é lícito acreditar que além da influência causada pelo aumento da fitomassa ocorre conjuntamente a influência do aumento das sombras, ambas contribuindo para o decréscimo da reflectância.

O parâmetro SOLO apresenta uma fraca a moderada correlação positiva, a qual não é esperada em função das características de textura dos tipos de solos envolvidos na análise, sendo que portanto cabe mais ainda para esta banda a explicação de que tal comportamento pode estar se referindo às condições hidrúcas das áreas, em função da amostragem realizada e da abordagem empregada na avaliação deste parâmetro.

O parâmetro SUB apresenta uma fraca correlação negativa com a reflectância, esta fraca correlação, pode estar ligada à ausência de um estimador das condições hidrúcas do substrato, uma vez que neste intervalo do espectro eletromagnético estas condições exercem grande influência, como observaram Holben et alii (1970). Além é claro das variabilidades resultantes de alterações na cobertura do terreno por árvores e proporção de sombras.

Na Figura 5.7, pode-se observar o comportamento destes parâmetros em relação à reflectância dos pomares.

SOLO apresenta um relacionamento positivo porém com grande dispersão, com a reflectância na banda TM5, COB apresenta um forte relacionamento linear negativo, atribuindo-se a dispersão verificada em alguns pontos a variações no parâmetro SUB, tal como se verifica para as bandas TM1, TM2 e TM3.

ALT possui nesta banda também um comportamento semelhante ao parâmetro COB.

Com relação ao parâmetro SUB, este possui um relacionamento não consistente com a reflectância. Há alta dispersão nos dados, a qual pode em muitos casos ser atribuída às variações no parâmetro COB e também ao modelamento empregado para este parâmetro.

UNIF possui também um relacionameto não consistente com a reflectância na banda TM5, sendo que para o fato de possuir uma tendência positiva são válidas as discussões apresentadas anteriormente para a banda TM1.

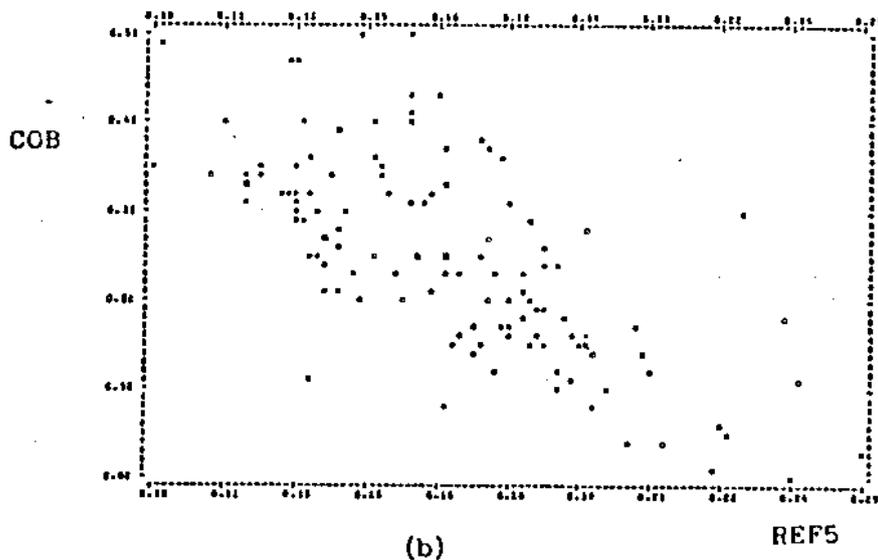
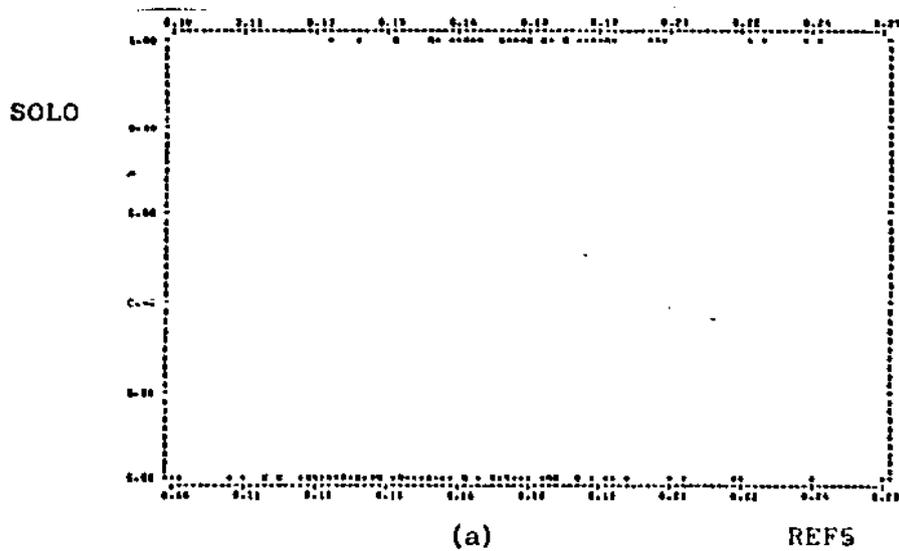


Fig. 5.7 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM5, grupo GERAL e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORFIL, (d) ALT, (e) SUB e (f) UNIF.

(continua)

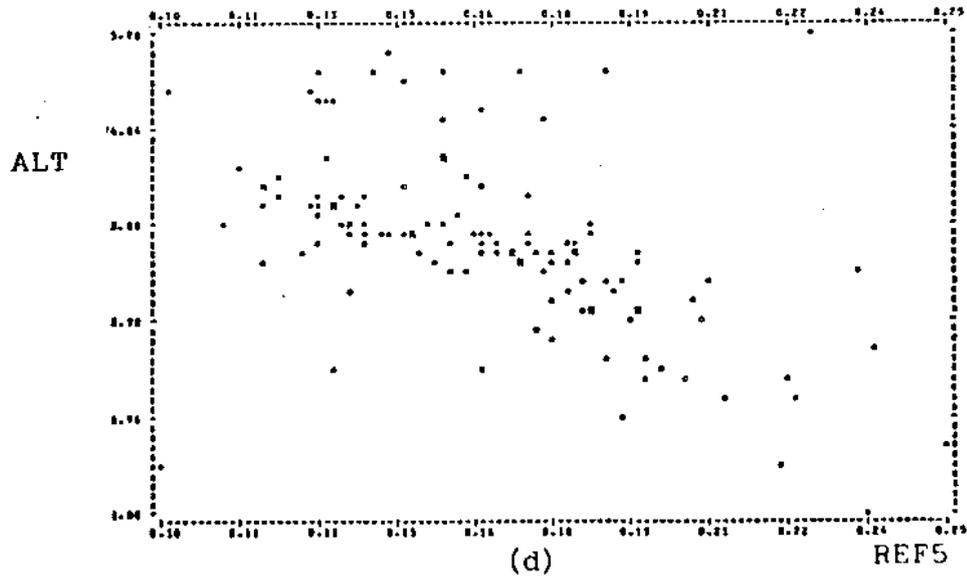
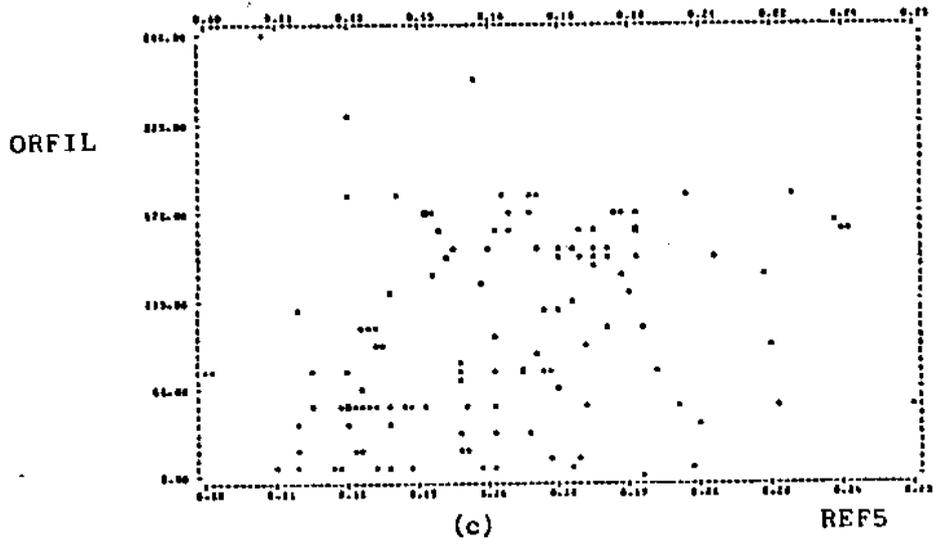


Fig. 5.7 - Continuação.  
(continua)

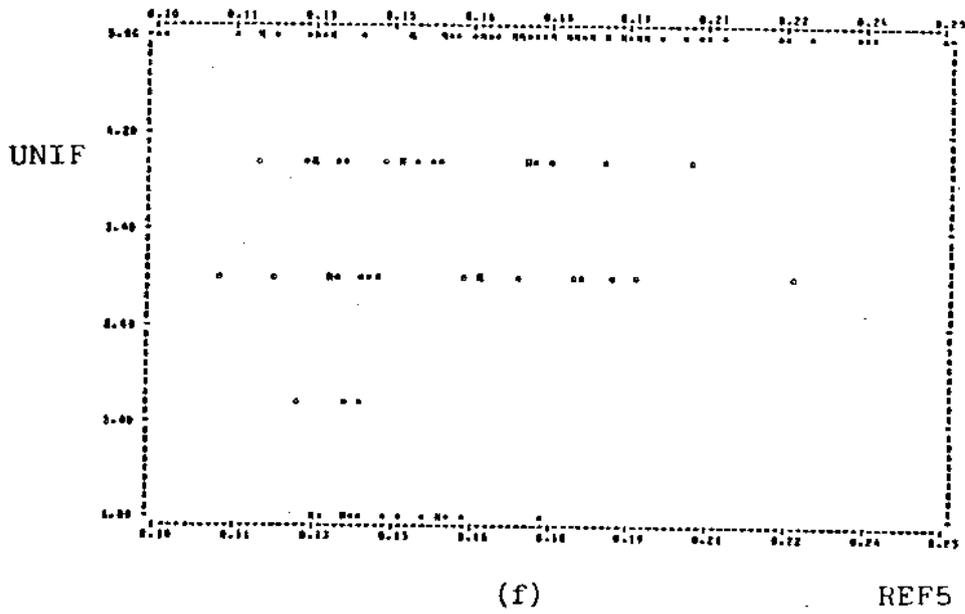
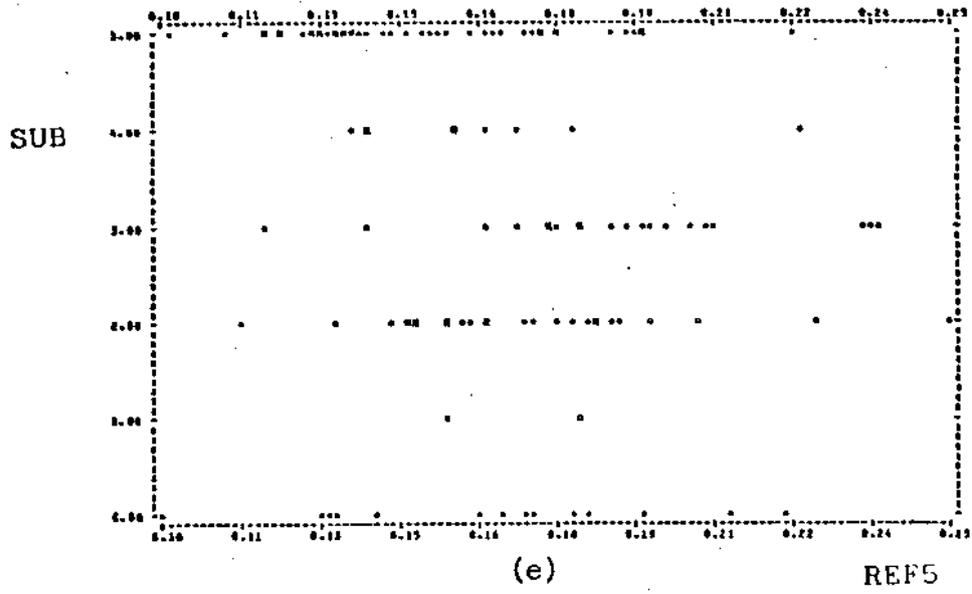


Fig. 5.7 - Conclusão.

Observando-se os resultados referentes à banda TM7, expressos na Tabela 5.4 e Figura 5.8, verifica-se que o parâmetro com maior correlação com a reflectância é COB, com uma moderada a forte correlação negativa, o que confirma os resultados obtidos por Butera (1986), onde ao aumento da cobertura do terreno por árvores de citros, observa-se um decréscimo na reflectância. Moderadas correlações negativas são observadas com os parâmetros ALT, o qual apresenta muitas semelhanças de relacionamento com COB, e também com o parâmetro SUB. UNIF apresenta uma moderada correlação positiva com a reflectância, sendo que as explicações prováveis apresentadas para tal na discussão da banda TM3 são também válidas nesta banda.

De uma forma geral as discussões a respeito destes parâmetros, realizadas para as bandas TM1, TM2, TM3 e TM5, são válidas também nesta banda tal a semelhança observada nos relacionamentos.

Para a banda TM7, verifica-se a maior correlação com o parâmetro SOLO (positiva) neste grupo, porém da mesma forma que para a banda TM5 cabe a discussão apresentada com relação à provável influência de condições hídricas no modelamento deste parâmetro. Por outro lado cabe ressaltar que poucos trabalhos referem-se às características desta banda, notadamente, com relação a alvos agrícolas prejudicando assim uma análise mais aprimorada dos resultados.

Através da Figura 5.8, pode-se observar o comportamento dos parâmetros estudados.

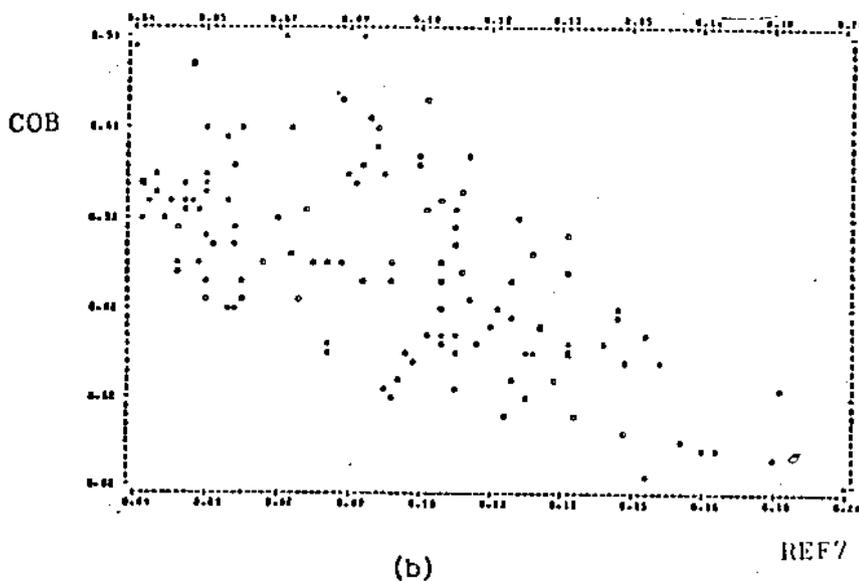
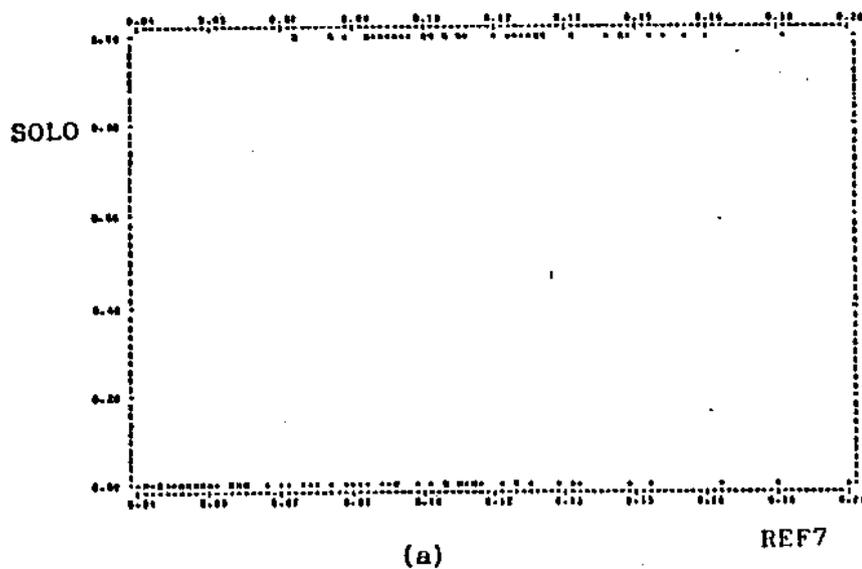


Fig. 5.8 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM7, grupo GERAL e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, ORFIL, (d) ORDECL, (e) ALT, (f) SUB e (g) UNIF.

(continua)

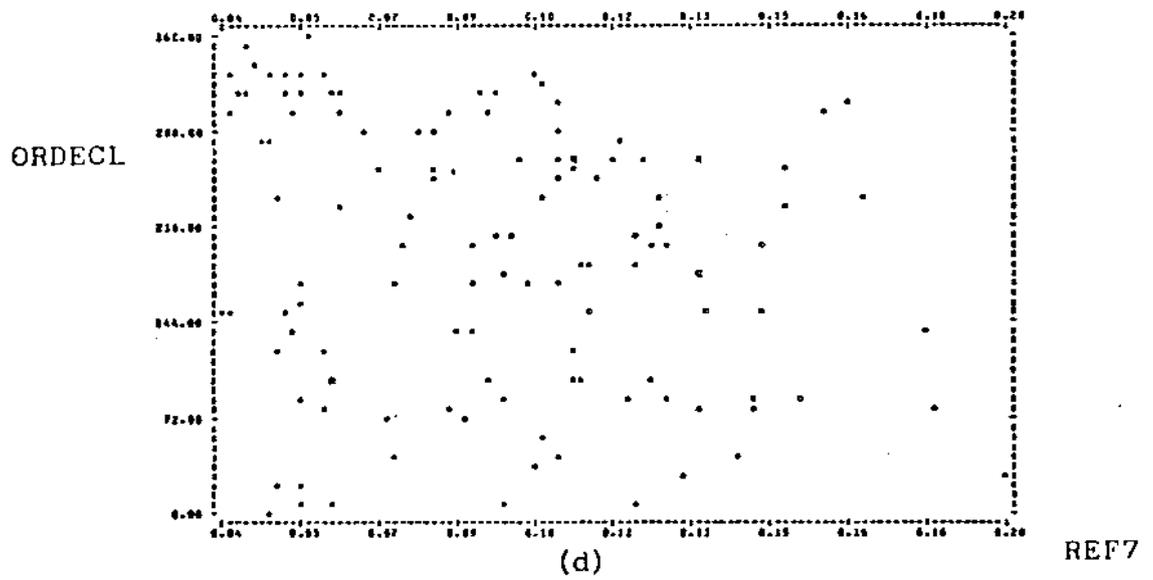
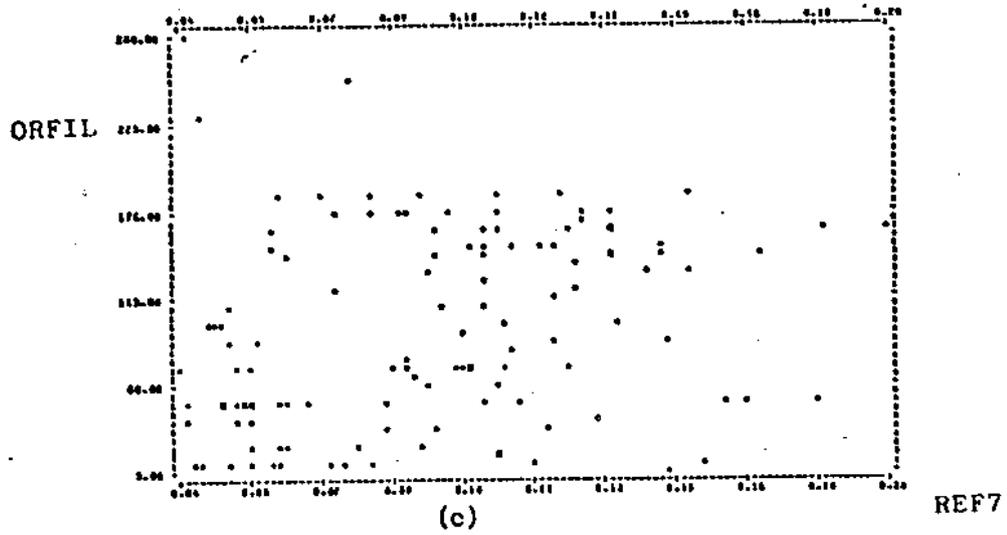


Fig. 5.8 - Continuação.

(continua)

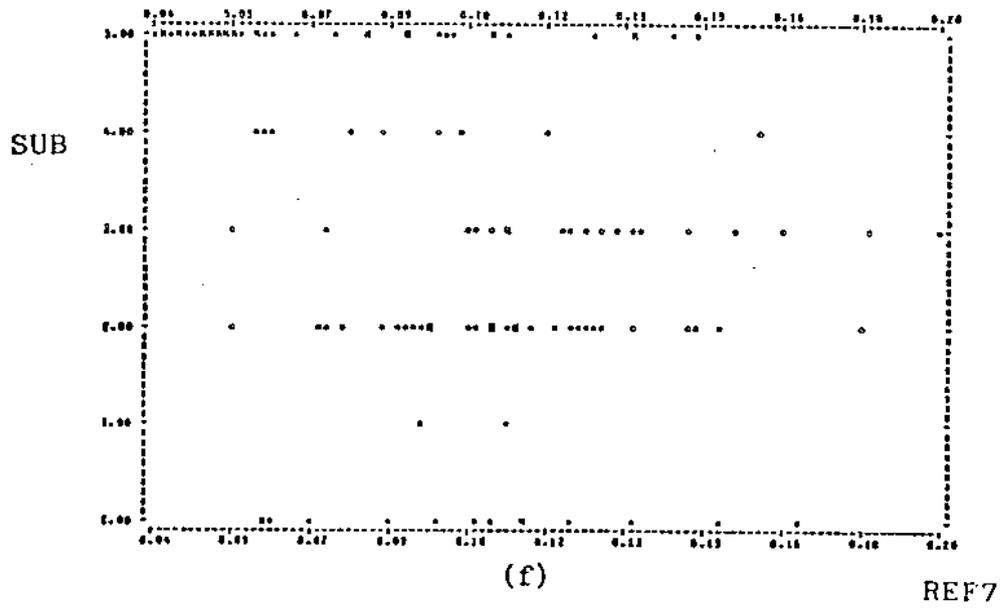
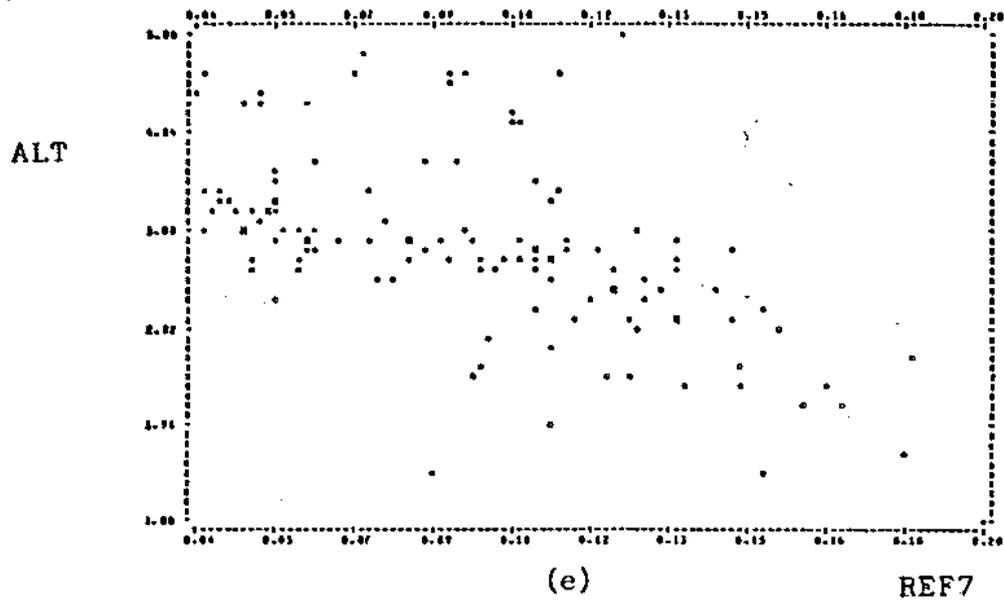


Fig. 5.8 - Continuação. (continua)

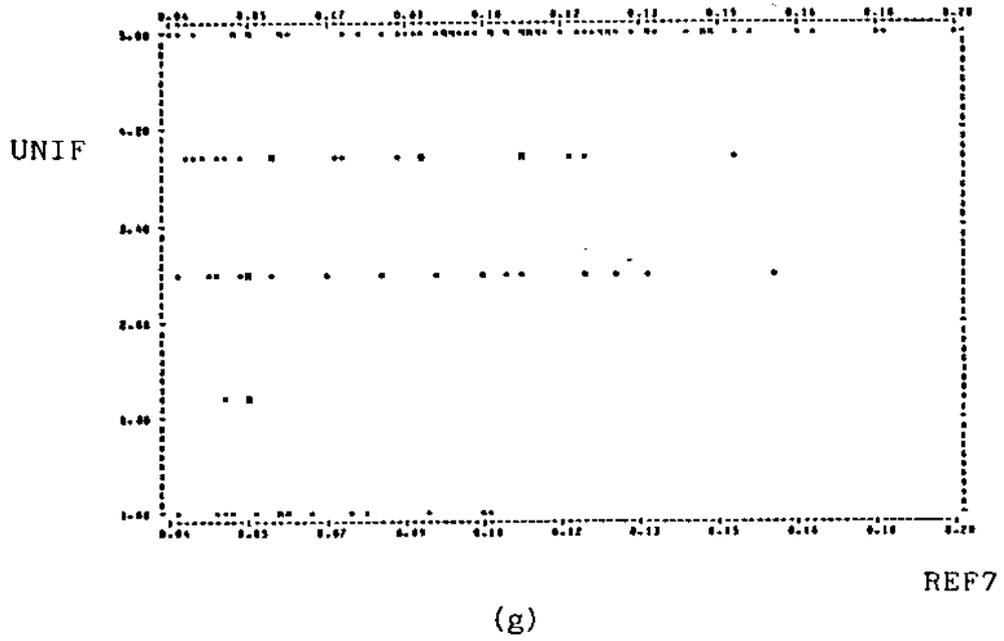


Fig. 5.8 - Conclusão.

O parâmetro SOLO possui um relacionamento positivo com a reflectância, com valores menores de reflectância para o solo 0 (LV) e maiores para o solo 1 (LE), valendo a mesma advertência da análise discutida para a banda TM3.

COB possui um relacionamento inverso com a reflectância, semelhante às bandas TM1, TM2, TM3 e TM5.

ORFIL e ORDECL, não apresentam relacionamentos consistentes com a reflectância. ALT apresenta comportamento semelhante a COB.

Já o parâmetro SUB, apresenta um relacionamento negativo com a reflectância, onde para os valores altos de proporção de vegetação nas entrelinhas observa-se reflectâncias nesta banda bem reduzidas em relação às menores proporções, sendo que a dispersão dos dados está ligada tanto ao modelamento deste parâmetro quanto à influência do parâmetro COB.

UNIF, apresenta também para esta banda o comportamento positivo com a reflectância, estando tal fato provavelmente ligado ao relacionamento deste parâmetro com a idade dos pomares.

#### 5.1.2 - GRUPO PERA

Na Tabela 5.2 são sumarizados os valores dos coeficientes de correlação significativos entre os parâmetros culturais dos pomares e os valores de reflectância destes nas bandas TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 e TM7.

TABELA 5.2

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SIGNIFICATIVOS PARA O GRUPO PERA  
ENTRE OS PARÂMETROS CULTURAIS E A REFLECTÂNCIA DOS POMARES.

PARÂMETROS	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
SOLO	ns	ns	0,266	ns	0,280	0,380
COB	-0,817	-0,825	-0,840	0,216	-0,837	-0,856
ORFIL	0,321	0,320	0,350	ns	0,310	0,290
DECL	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ORDECL	-0,330	ns	ns	ns	-0,280	n
ALT	-0,748	-0,788	-0,800	0,299	-0,807	-0,82
SUB	-0,685	-0,560	-0,72	0,615	-0,560	-0,65
UNIF	0,590	0,490	0,63	ns	0,590	0,6

ns = Não significativo ao nível de 95%.

Os dados apontam para resultados semelhantes aos observados no grupo GERAL. Contudo verificam-se maiores valores de correlação entre a reflectância nas bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7 para os parâmetros COB, ALT e SUB e valores maiores do coeficiente de correlação entre SUB e a reflectância na banda TM4.

Observa-se também para a banda TM4 uma incipiente correlação positiva entre a reflectância nesta banda e os parâmetros COB e ALT, ao contrário do verificado no grupo GERAL. Contudo tal resultado reafirma a suposição levantada na discussão dos resultados da banda TM4 para o grupo GERAL, na medida em que ainda que positiva a correlação não é tão efetiva quanto esperada, baseando-se apenas no aumento da fitomassa.

Relacionamentos mais consistentes também são observados entre UNIF e a reflectância para as bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7.

As plotagens indicam relacionamentos semelhantes aos discutidos para o grupo GERAL e são apresentadas no apêndice B (Figuras B.1, B.2, B.3, B.4, B.5 e B.6).

### 5.1.3 - GRUPO NATAL

Na Tabela 5.3, têm-se os coeficientes de correlação significativos obtidos entre os parâmetros culturais e a reflectância nas seis bandas do TM analisadas.

TABELA 5.3

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SIGNIFICATIVOS PARA O GRUPO  
NATAL ENTRE OS PARÂMETROS CULTURAIS E AS  
REFLECTÂNCIAS DOS POMARES

PARÂMETROS	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
SOLO	0,610	0,700	0,700	ns	0,700	0,760
COB	-0,660	-0,770	-0,660	ns	-0,670	-0,680
ORFIL	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DECL	ns	ns	ns	0,410	ns	ns
ORDECL	-0,510	-0,630	-0,660	ns	-0,580	-0,680
SUB	ns	ns	-0,570	0,500	ns	-0,490
UNIF	0,590	0,440	0,540	ns	0,510	0,520

ns = Não significativo ao nível de 95%.

Para este grupo observam-se resultados semelhantes aos obtidos nos grupos GERAL e PERA, para os parâmetros COB e UNIF. O parâmetro SOLO apresentou uma maior consistência com maiores valores do coeficiente de correlação, o que pode ser atribuído à razoável correlação negativa deste parâmetro com o parâmetro COB ( $r = 0,71$ ), uma vez que a quase totalidade dos talhões com o solo LV (0) apresentam altos índices de cobertura do terreno por árvores de citros, como se pode observar na Figura 5.8. O SUB diversamente dos grupos anteriores não apresentou correlações significativas com a reflectância para as bandas TM1, TM2 e TM5, provavelmente em função da pouca variabilidade deste parâmetro neste grupo de análise, como se pode observar na Figura 5.9, a qual não impediu que o mesmo fosse considerado significativo nas bandas TM3, TM4 e TM5.

Pela primeira vez o parâmetro DECL apresentou correlação significativa com a reflectância para a banda TM4. Contudo uma avaliação da plotagem destes não permite estabelecer um relacionamento consistente (Figura B.10). As plotagens destes relacionamentos podem ser observadas no apêndice B (Figuras B.7, B.8, B.9, B.10, B.11 e B.12).

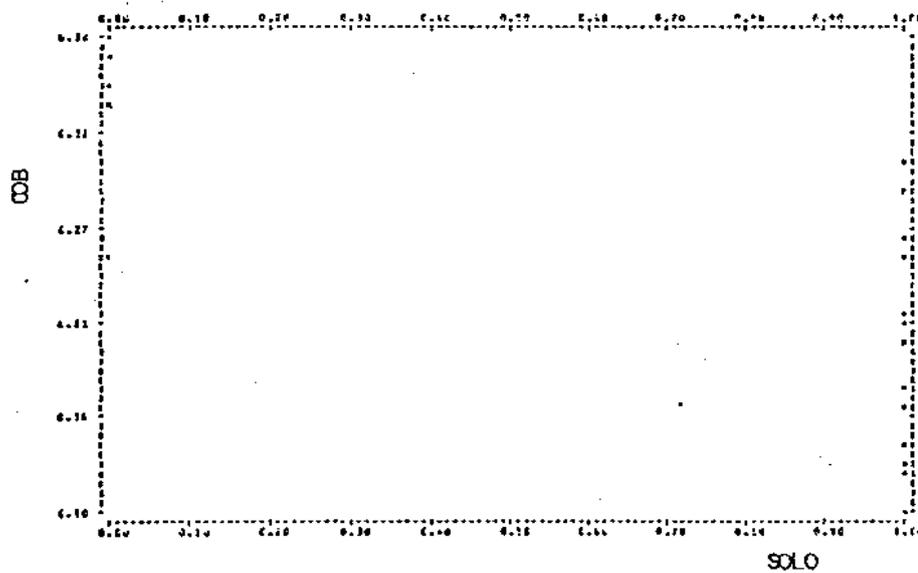


Fig. 5.9 - Relacionamento entre os parâmetros COB e solo para o grupo NATAL.

#### 5.1.4 - GRUPO VALENCIA

Os resultados dos coeficientes de correlação significativos entre os parâmetros culturais e a reflectância dos pomares nas bandas do TM analisadas, para este grupo são apresentadas na Tabela 5.4.

TABELA 5.4

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SIGNIFICATIVOS PARA O  
GRUPO VALENCIA ENTRE OS PARÂMETROS CULTURAIS  
E AS REFLECTÂNCIAS DOS POMARES

PARÂMETROS	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
SOLO	ns	ns	ns	ns	ns	0,410
COB	-0,600	-0,750	-0,570	-0,500	-0,660	-0,580
ORFIL	0,500	0,550	0,500	ns	0,450	0,570
DECL	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ORDECL	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ALT	-0,590	-0,550	-0,710	ns	ns	-0,490
SUB	-0,660	-0,450	-0,770	0,480	-0,390	-0,670
UNIF	0,460	ns	0,470	ns	ns	0,410

ns = Não significativo ao nível de 95%

Seguindo os resultados observados nos grupos GERAL e PERA, COB e SUB não apresentam variações no seu comportamento para as bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7. Porém o parâmetro COB apresenta uma correlação negativa mais consistente na banda TM4 do que aquela observada no grupo GERAL. Isto é atribuído ao aumento de sombras conjuntamente com a influência do substrato, como já

discutido para o grupo GERAL, uma vez que mais de 80% dos talhões do grupo VALÊNCIA são constituídos de pomares com mais de 10 anos, sendo neste caso mais evidente a influência da presença das sombras.

O parâmetro SOLO apresenta moderada correlação apenas para a banda TM7, ao contrário do que foi observado no grupo NATAL. Tal se deve à quase ausência de variação deste parâmetro nos dados, como pode-se constatar na Figura 5.1.

ORFIL apresenta moderadas correlações positivas nas bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7. Porém, a análise das plotagens evidencia uma grande dispersão dos dados nestas banda (item b das Figuras B.13, B.14, B.15, B.17 e B.18). As plotagens dos parâmetros com correlações significativas encontra-se no apêndice B (Figuras B.13, B.14, B.15, B.16, B.17 e B.18).

#### 5.1.5 - GRUPO HAMLIN

A Tabela 5.5 apresenta os resultados dos coeficientes de correlação significativos obtidos entre os parâmetros culturais e a reflectância dos pomares.

No grupo HAMLIN, na porção do visível, apenas o parâmetro COB, apresentou correlação significativa com a reflectância, a qual foi forte e negativa nas bandas TM1, TM2 e TM3. O diminuto número de observações neste grupo não permite que conclusões efetivas sejam realizadas, uma vez que alguns parâmetros, tais como SUB e UNIF apresentam pouca variabilidade.

TABELA 5.5

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SIGNIFICATIVOS PARA O GRUPO  
HAMLIN, ENTRE OS PARÂMETROS CULTURAIS E A  
REFLECTÂNCIA DOS POMARES

PARÂMETROS	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
SOLO	ns	ns	ns	ns	ns	0,590
COB	-0,830	-0,830	-0,710	ns	-0,790	-0,650
ORFIL	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DECL	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ORDECL	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ALT	ns	ns	ns	0,500	ns	ns
SUB	ns	ns	ns	0,550	ns	ns
UNIF	ns	ns	ns	0,570	ns	ns

ns = Não significativo ao nível de 95%

As plotagens destes relacionamentos são apresentadas no Apêndice B (Figuras B.19, B.20, B.21, B.22, B.23 e B.24).

5.2 - DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS CULTURAIS SIGNIFICATIVOS  
QUANTO À RESPOSTA ESPECTRAL DOS POMARES.

Na determinação dos parâmetros culturais significativos, empregou-se o método de regressão múltipla "Stepwise"; na verdade procurou-se através deste procedimento verificar dentre as variáveis estudadas quais as de maior importância na resposta espectral dos pomares de citros nas condições deste trabalho.

Como primeiro passo (vide Capítulo 4) procedeu-se à análise da colinearidade presente nos dados para cada grupo de experimentação. A Tabela 5.6. sumariza os valores do número condicional K, obtidos para cada grupo de análise, empregando-se as 8 variáveis independentes (parâmetros culturais).

TABELA 5.6

VALORES DO NÚMERO CONDICIONAL (K) POR GRUPO DE ANÁLISE

<u>GRUPO</u>	<u>NO CONDICIONAL (K)</u>
GERAL	11,5
PERA	23,2
NATAL	141,3
VALÊNCIA	14,8
HAMLIN	55,8
ESTRATO 1	78,6
ESTRATO 2	7,3
ESTRATO 3	17,1
ESTRATO 4	22,1

Os dados revelam que o grupo NATAL possui entre as suas variáveis independentes, evidências de moderada a forte colinearidade, os grupos HAMLIN e ESTRATO1, por sua vez apresentaram evidências de moderada colinearidade entre os dados. Desta forma avaliaram-se os autovalores e as matrizes de correlação dos três grupos e verificou-se que os parâmetros COB e ALT apresentaram altas correlações nestes grupos. Optou-se portanto pela exclusão do parâmetro ALT da análise nestes 3 grupos, uma

vez que a colinearidade presente poderia afetar os resultados.

A Tabela 5.7 sumariza os resultados do procedimento "Stepwise" aplicado aos dados.

Para o grupo de análise GERAL (todas as variedades e todas as idades) os parâmetros COB e SUB revelaram-se os mais significativos, estando presentes nos modelos de todas as bandas do TM analisadas. Verifica-se também que nas bandas TM1, TM2, TM5 e TM7, o parâmetro com maior F parcial é COB, seguido do parâmetro SUB, exceto para a banda TM5 cujo parâmetro com segundo maior F parcial é o SOLO. Já para as bandas TM3 e TM4 o parâmetro com maior F parcial foi o SUB, seguido do parâmetro COB.

TABELA 5.7.

SUMÁRIO DOS RESULTADOS DO PROCEDIMENTO "STEPWISE" POR GRUPO DE EXPERIMENTO E BANDA DO TM.

GRUPO BANDA	GERAL		PEÇA		NATCAL		VALÊNCIA		HAVLIN		R <sup>2</sup>			
	PARÂM.	F. PARC.	PARÂM.	F. PARC.	PARÂM.	F. PARC.	PARÂM.	F. PARC.	PARÂM.	F. PARC.				
TM1	COB	147,8	0,69	81,6	0,86	COB	7,6	0,55	SUB	28,5	0,74	COB	38,1	0,00
	SUB	56,5		27,3		SOLO	4,5		COB	23,2		UNIF	5,4	
	UNIF	9,7		14,6										
TM2	COB	215,1	0,66**	24,4	0,77**	COB	28,6	0,60**	COB	38,1	0,73**	COB	24,6	0,69**
	SUB	18,9		11,9		SOLO			SUB	11,7				
				6,2		ALT								
TM3	SUB	69,4	0,75**	37,1	0,85**	SOLO	23,1	0,70**	SUB	77,3	0,87**	COB	77,4	0,94**
	COB	40,8		21,9		SUB	13,0		COB	38,7		SOLO	43,6	
	SOLO	23,1		4,7								UNIF	13,1	
	UNIF	6,1										DECL	5,8	
TM4	SUB	69,8	0,47**	38,7	0,45**	SUB	10,7	0,43*	COB	30,7	0,71**	UNIF	6,4	0,58**
	COB	18,5		6,8		ORFIL	5,6		ALT	12,6		SUB	6,0	
	ALT	12,0							SUB	4,1				
	SOLO	6,2												
TM5	COB	135,1	0,63**	16,4	0,73**	SOLO	19,2	0,50**	COB	32,1	0,69**	COB	53,6	0,88**
	SOLO	23,1		7,0					SUB	13,9		SOLO	18,7	
	SUB	20,0							ALT	0,4		DECL	7,0	
TM7	COB	153,7	0,75**	22,3	0,06**	SOLO	31,7	0,72**	SUB	50,2	0,05**	COB	53,7	0,91**
	SUB	53,8		14,6		SUB	9,3		COB	24,3		SOLO	46,4	
	SOLO	50,4		9,7					SOLO	13,9		UNIF	10,0	
	UNIF	6,0		8,9										

\* significativa ao nível de 95%  
 \*\* significativa ao nível de 99%

A banda TM4 apresentou o menor valor de coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,49$ ), ainda que a regressão seja significativa ao nível de 99%. Nas demais bandas o conjunto de parâmetros explicam mais de 60% da variabilidade dos valores de reflectância. O menor valor de  $R^2$  observado na banda TM4, pode ser atribuído à maior variabilidade presente nos dados de reflectância nesta banda, uma vez que nela diversos fatores afetam de maneira distinta a resposta espectral de superfícies vegetadas. Outra possível causa está ligada à deficiência no modelamento da variável SUB neste trabalho (como se verá mais adiante), a qual verifica-se como de grande importância nesta banda.

O parâmetro SOLO foi considerado significativo na explicação da variabilidade da resposta dos pomares nas bandas TM3, TM4, TM5 e TM7; UNIF foi significativo para as bandas TM1, TM3 e TM7; o parâmetro ALT para a banda TM4.

A análise dos resíduos revelou um caso drástico de "outlier", quanto ao valor da reflectância da banda TM1 observada no talhão N215, o qual foi deletado da avaliação, como recomendam os procedimentos relatados em Weisberg (1980). De resto pela análise dos resíduos não observou-se evidências de inadequação do modelo linear, sendo que apenas para a banda TM4, observou-se uma sutil tendência de heterogeneidade da variância, talvez em função da escassez de valores de reflectância baixos. Tais observações (à exceção da presença de "outliers") repetem-se para os demais grupos de análise.

Quanto ao grupo PERA, os parâmetros COB e SUB foram também os mais significativos, sendo que o parâmetro COB foi significativo nos modelos de todas as bandas, exceto a banda TM4. Já o parâmetro SUB, revelou-se significativo para os modelos explicativos das bandas TM1, TM3, TM4 e TM7.

Os parâmetros de maior F parcial foram, ora COB (TM1, TM2 e TM5), ora o SUB (TM3, TM4 e TM7).

Outros parâmetros significativos foram SOLO (TM1, TM2 e TM7), ALT (TM2, TM3, TM5 e TM7) e ORFIL aparece como significativo (porém com baixo valor de F parcial) para a banda TM4.

Novamente o modelo com menor coeficiente de determinação foi o referente à banda TM4 ( $R^2 = 0,45$ ) sendo que os restantes apresentaram valores sempre superiores a 70% de explicação da variabilidade dos valores de reflectância.

No grupo VALÊNCIA verifica-se que os parâmetros COB e SUB são efetivamente os mais significativos, presentes nos modelos explicativos de todas as bandas analisadas.

Os maiores valores de F parcial sempre estiveram relacionados a um destes parâmetros, COB (TM2, TM4, TM5) e SUB (TM1, TM3, TM7).

Outros dois parâmetros lograram ser considerados significativos, ALT (TM4 e TM5) e SOLO (TM7).

Quanto ao coeficiente de determinação, em todos os modelos obtiveram-se valores próximos ou

superiores a 70% da explicação da variabilidade da reflectância em cada banda, sendo que a regressão foi significativa no nível de 99% para todos os modelos.

Os grupos NATAL e HAMLIN apresentam resultados mais complexos.

No grupo NATAL obtiveram-se como significativos os parâmetros: COB, presente para os modelos de explicação das bandas TM1, TM2 e TM4; SUB para as bandas TM3, TM4 e TM7; SOLO (TM3, TM5 e TM7) e UNIF (TM1).

Os coeficientes de determinação apresentaram variações entre 43% e 72% de explicação da variabilidade da resposta espectral. Nos modelos referentes às bandas TM1 e TM4 a regressão foi significativa no nível de 95% e nos demais, no nível de 99%.

Já no grupo HAMLIN, o parâmetro COB, foi o mais significativo, presente nos modelos referentes às bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7. O segundo parâmetro de maior expressão foi UNIF, o qual se revelou significativo nos modelos referentes às bandas TM1, TM3, TM4 e TM7. Outro parâmetro de importância neste grupo foi o SOLO, significativo para as bandas TM3, TM5 e TM7. O SUB, por sua vez, foi significativo apenas no modelo referente à banda TM4. Uma possível explicação é a pouca variabilidade deste parâmetro no conjunto dos dados. Ademais, o pequeno número de observações (amostras) deste grupo não permite uma avaliação mais consistente dos resultados.

Como se observa na Tabela 5.2., os modelos referentes às bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7 apresentam regressões significativas no nível de 99%. Para o modelo da

banda TM4, a regressão obtida foi significativa no nível de 95%.

A análise para as bandas TM1, TM2, TM5 e TM7, mostra que o parâmetro de maior significância é o índice COB, uma vez que sua influência nestas bandas é devida tanto ao aumento da fitomassa, quanto ao aumento de sombras no talhão (Colwell, 1974) o qual reforça o decréscimo na reflectância esperado.

Na banda TM3, verifica-se que os parâmetros SUB e COB são igualmente importantes, além do parâmetro SOLO, o qual aparece com grande importância em alguns modelos. Tal fato está ligado à evidência de que esta porção do espectro eletromagnético produz maiores informações sobre o solo (Westin e Lemme, 1978).

Já para a banda TM4, o parâmetro SUB é o de maior importância, o que é corroborado pelas afirmações de Casselles et alii (1985) e Gordon et alii (1986) a respeito da grande influência do substrato na resposta espectral de pomares. Nesta banda o parâmetro COB, contrariamente ao esperado, não possui uma grande significância nos modelos de explicação da variabilidade da reflectância. Tal se deve a um provável aumento das sombras no dossel com o aumento da cobertura do terreno por árvores de citros, o qual afeta a relação entre o índice de cobertura e a reflectância. Esta característica será melhor abordada no item posterior.

Os parâmetros relacionados às condições topográficas do terreno, DECL e ORDECL não foram considerados significativos (à exceção dos modelos referentes às bandas TM3 e TM5 do grupo HAMLIN, com baixos valores de F parcial, porém). Tal se deve à pouca variabilidade observada nas condições topográficas dos

talhões. A Figura 5.10, apresenta a frequência de talhões segundo a declividade.

Observa-se que a quase totalidade dos talhões situa-se entre 0% a 5% de declividade, variação pequena e possivelmente incapaz de afetar os resultados, como afirma Rosa (1987) em seu trabalho sobre as influências das características de iluminação na resposta espectral. Nestas condições o parâmetro ORDECL, também pouca influência é capaz de exercer. Tais resultados também foram observados para as condições das áreas de estudo do trabalho de Karaska et alii (1986).

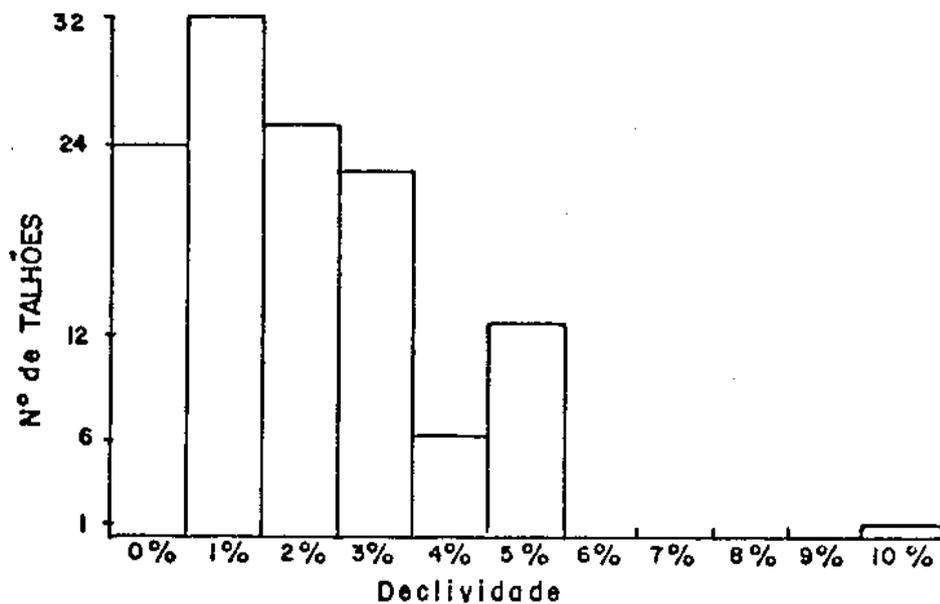


Fig. 5.10 - Frequência de talhões segundo a declividade para todos os talhões.

O parâmetro ORFIL, por seu turno, também foi considerado significativo a influenciar a resposta espectral dos pomares. Na verdade a influência deste está ligada à proporção de sombras no talhão. Este parâmetro, contudo, não se revelou eficiente neste modelamento.

O que se observa na geometria do dossel de citros é que tal parâmetro não pode ser encarado da mesma forma que para um dossel de cultura (Richardson et alii, 1975), pois como se verifica pela Figura 5.11, em função do espaçamento empregado, a proporção de sombras está afeta à influência dos parâmetros altura e largura da copa, azimute e ângulo de elevação solar e orientação das fileiras. Este último tem sua influência dependente do azimute solar, o que é evidenciado na figura, uma vez que alterações na orientação das fileiras podem não alterar a proporção de sombras.

A determinação da influência das sombras, passa necessariamente por um modelamento mais preciso, através da combinação dos fatores citados.

De uma forma genérica os resultados são suportados pela literatura, uma vez que os parâmetros de maior significação, são aqueles relacionados à proporção de fitomassa nos talhões, quais sejam, COB e SUB, o mesmo afirmam Gordon et alii (1986), Casselles et alii (1985); além de resultados semelhantes obtidos por Karaska et alii (1986). Por outro lado em função da pequena variabilidade observada nas condições topográficas, não se observou influência dos parâmetros a elas ligados, da mesma forma que no trabalho de Karaska et alii (1986).

É importante ressaltar que o modelamento do parâmetro SUB, não foi, de certa maneira, tão completo, uma vez que apenas ressalta as características de proporção de vegetação nas entrelinhas, sem contudo modelar as condições desta cobertura vegetal. Um modelamento mais preciso poderá permitir no futuro resultados mais aprimorados em relação ao grau de explicação da variabilidade dos valores de reflectância. De qualquer forma este foi considerado um parâmetro altamente significativo, confirmando as afirmações de Casselles et alii (1985) e Gandia et alii (1986) a respeito da importância do substrato na resposta espectral dos pomares de citros em dados de satélite.

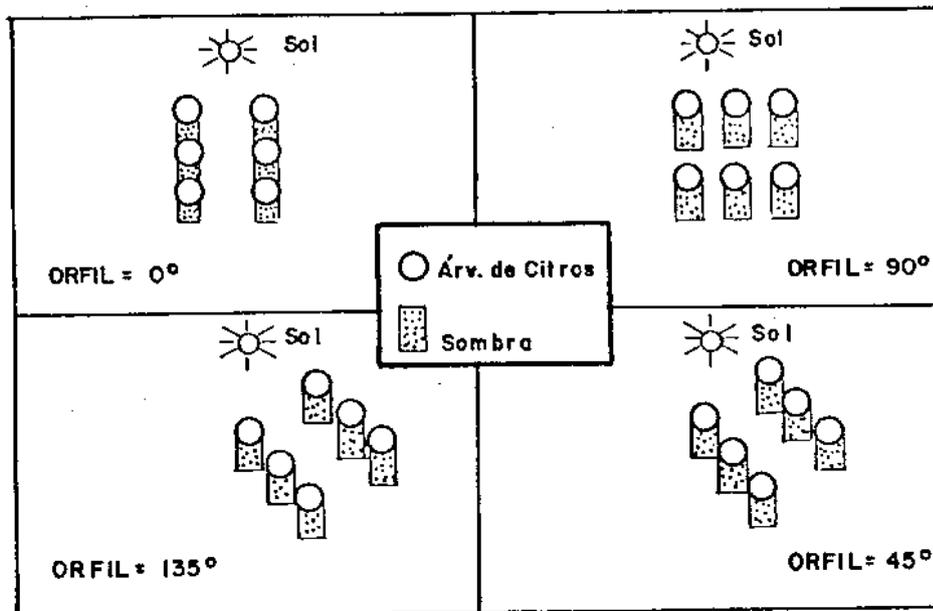


Fig. 5.11 - Diagrama da proporção de sombras para um dado azimute e mesma elevação solar.

Quanto a uma análise da influência das variedades, a abordagem metodológica e os resultados obtidos, não permitem conclusões precisas a respeito. As diferenças observadas nos resultados entre os grupos estão mais diretamente ligadas às diferentes variabilidades de alguns parâmetros observados nos grupos de análise. Como exemplo tem-se a pouca significância verificada com o parâmetro SOLO no grupo Valência, a qual ocorre provavelmente em função da pouca variabilidade deste parâmetro neste grupo, como se pode verificar na Figura 5.12.

Ou ainda à ausência de significância do parâmetro UNIF no modelo referente à banda TM1 do grupo VALÊNCIA, a qual está relacionada à pouca variabilidade deste parâmetro neste grupo (Figura 5.13).

O mesmo se verifica, em menor grau, com o parâmetro SUB no grupo NATAL, cuja significância é menor que em outros grupos. Pode-se verificar na Figura 5.14, que 2/3 dos valores deste parâmetro estão nos níveis 2 e 3 e praticamente 1/3 no nível 5, o que acarreta em uma variabilidade não tão consistente quanto aquela dos demais grupos.

Todos os modelos obtidos apresentaram significância da regressão ao nível de 99% de confiabilidade (a exceção de três modelos que a apresentaram ao nível de 95%), indicando uma efetiva influência dos parâmetros estudados nos valores de reflectância dos pomares de citros.

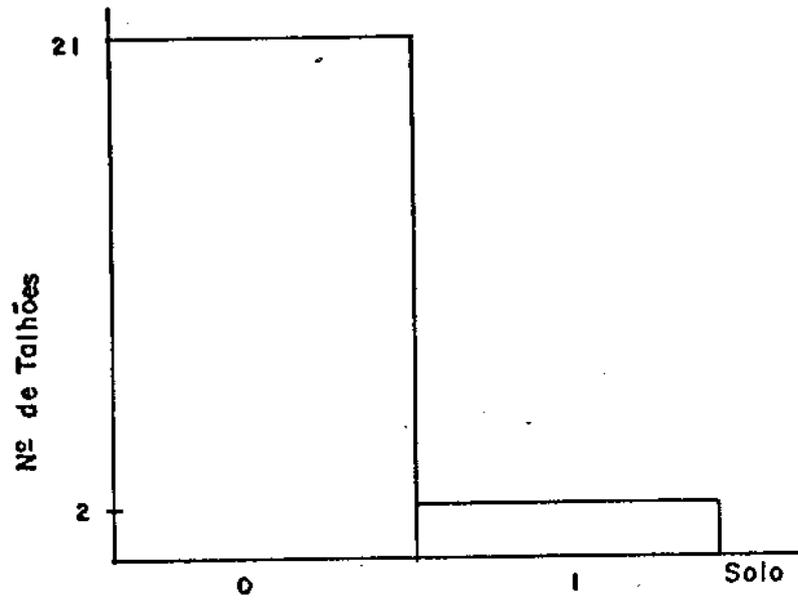


Fig. 5.12 - Frequência dos talhões segundo o parâmetro SOLO do grupo VALÊNCIA.

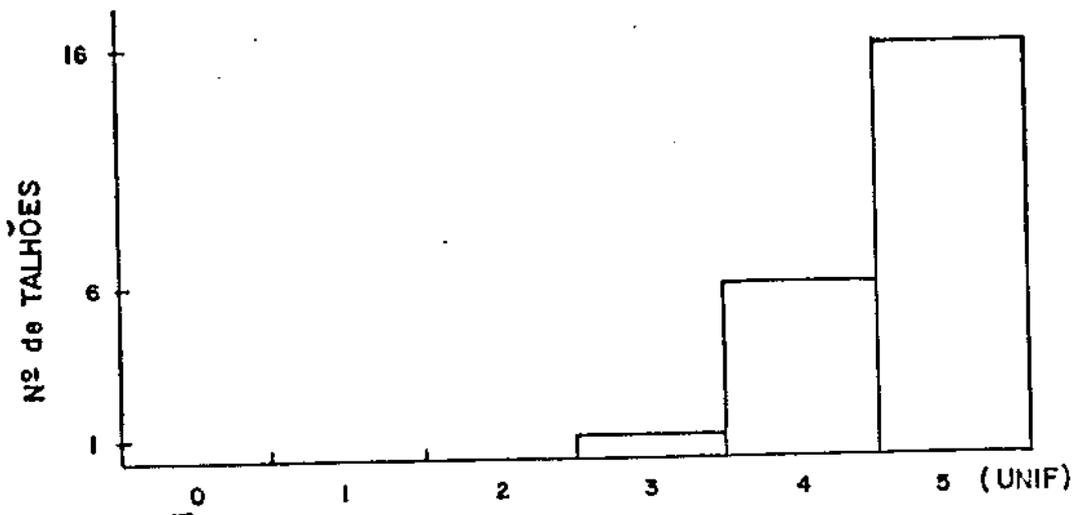


Fig. 5.13 - Frequência dos talhões segundo o parâmetro UNIF para o grupo VALÊNCIA.

Para uma avaliação dos dados fixando limites de variação, procedeu-se a uma análise por estratos de intervalos de idades, quais sejam:

ESTRATO 1 : Talhões com árvores entre 0 a 5 anos;

ESTRATO 2 : Talhões com árvores entre 6 a 10 anos;

ESTRATO 3 : Talhões com árvores entre 11 a 15 anos;

ESTRATO 4 : Talhões com árvores de idade igual ou superior a 16 anos.

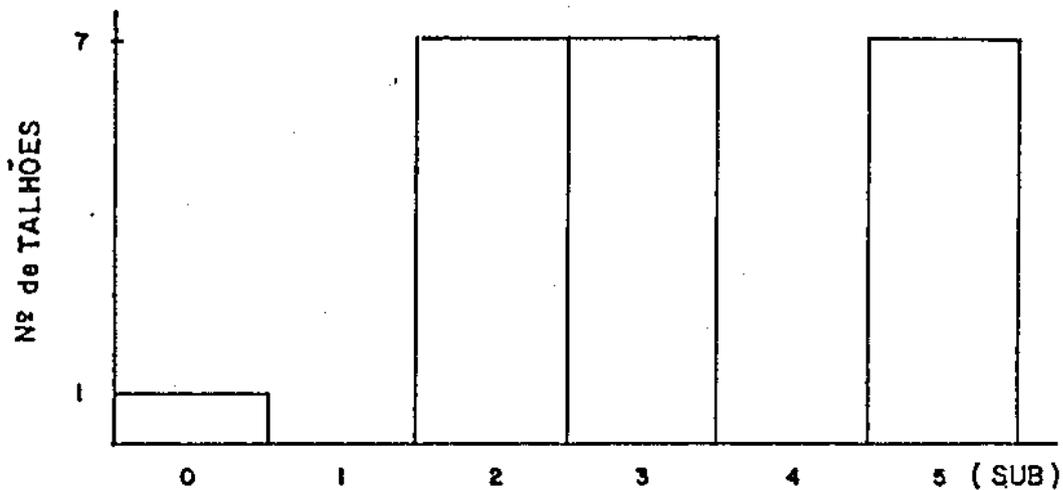


Fig. 5.14 - Frequência de talhões segundo os níveis de substrato para o grupo NATAL.

Os resultados do procedimento "Stepwise" aplicado por estrato são apresentados na Tabela 5.8.

No ESTRATO 1 (idade de 0 a 5 anos) os parâmetros COB, SUB e SOLO são os de maior significância. Para este estrato onde há menor cobertura do terreno por árvores de citros, da mesma forma como verificaram Heimes (1977), Kleman (1985) e Bauer et alii (1981), os parâmetros ligados ao slo e substrato possuem maior influência. Contudo nos modelos referentes às bandas TM5 e TM7, tais parâmetros não foram significativos. Uma explicação possível, talvez esteja relacionada às deficiências de modelamento da variável SUB. Observa-se que as regressões destas bandas não foram significativas. O pequeno número de amostras deste estrato também pode acarretar distúrbios nos resultados.

Para o ESTRATO 2 (idade de 6 a 10 anos), o parâmetro COB revela-se como mais significativo e em menor grau os parâmetros SOLO e SUB, este último com relação à banda TM4, comportamento aliás que se repete nos demais estratos, da mesma maneira como ocorre nos grupos anteriores (GERAL, PERA, etc.), evidenciando-se a influência marcante do substrato nesta banda.

TABELA 5.8

RESULTADOS DO PROCEDIMENTO "STEPWISE" POR ESTRATOS DE IDADE  
DOS POMARES

GRUPO BANDA	ESTRATO 1		ESTRATO 2		ESTRATO 3		ESTRATO 4	
	PARÂM.	R <sup>2</sup> F. PARC.						
TM1	SOLD	29,18 0,83**	SOLD	14,11 0,45**	SUB	80,73 0,69**	COB	4,92 0,31
	COB	24,15	COB	9,38	COB	24,06		
TM 2	COB	19,30 0,70**	COB	26,72 0,48**	COB	28,52 0,45**	COB	7,50 0,40*
	SOLD	6,38			SUB	11,45		
TM 3	COB	19,25 0,68**	COB	9,23	SUB	154,87 0,79**	COB	6,06 0,35
	SUB	4,12			COB	15,70		
TM 4	SUB	14,82 0,33	SUB	21,04 0,49**	SUB	17,90 0,51**	COB	16,91 0,63*
			ALT	6,98	COB	15,76	SOLD	5,97
					ALT	7,03		
TM 5	COB	9,31 0,55	COB	28,24 0,58**	SUB	38,22 0,57**	COB	4,09 0,27
	ORDECL	5,57	ALT	12,76	COB	26,39		
			SOLD	6,25				
TM 7	COB	12,18 0,46	COB	21,18 0,53*	SUB	148,23 0,78**		
			SOLD	10,45	COB	15,90		

\* - significativa ao nível de 90%  
\*\* - significativa ao nível de 99%

No ESTRATO 3 (idade de 11 a 15 anos) apenas os parâmetros COB e SUB, revelam-se como os mais significativos em todas as bandas. Observa-se que neste estrato a influência do parâmetro SOLO decresce, porém permanece a influência do substrato. Isso espelha a grande influência deste parâmetro nas diversas condições dos pomares, como afirmam Casselles et alii (1985) e Gandia et alii (1986) em função das características espaciais dos pomares.

Para o ESTRATO 4 (idade superior a 15 anos), ainda que pese o reduzido número de amostras, observa-se que o único parâmetro significativo é COB. Tal se deve possivelmente à menor proporção do substrato e do solo que são captados pelo sensor nestes talhões em função da maior cobertura do terreno por árvores de citros, bem como pelo aumento das sombras, que neste estrato tende a ser um fator determinante na resposta espectral dos talhões.

Em uma avaliação banda a banda, verifica-se que para as bandas TM1, TM2 e TM3, o parâmetro COB em todos os estratos é significativo, o que confirma a expressiva relação deste parâmetro com a resposta espectral nestas bandas, em função da influência conjunta do aumento da fitomassa e da proporção de sombras no talhão. Este comportamento apresenta-se melhor discutido na avaliação dos relacionamentos reflectância versus parâmetros culturais.

Para as bandas TM1 e TM2, observa-se ainda no primeiro estrato que o parâmetro SOLO foi significativo, o que provavelmente é função da menor cobertura do terreno por árvores de citros, onde o solo é mais visível.

Na banda TM1, este comportamento se repete para o ESTRATO 2, não se verificando o mesmo para a banda TM2, onde somente o parâmetro COB é significativo. Tal distinção é difícil de ser explicada, podendo apenas estar associada, ao fato de que para a banda TM2 o aumento da cobertura do terreno por árvores e citros, mascara a resposta do solo de maneira mais efetiva que para a banda TM1.

Na banda TM3, quanto ao primeiro estrato, além do parâmetro COB, SUB é considerado significativo, o que é coerente com o esperado, uma vez que este parâmetro é importante na resposta para esta banda, além do que a pouca cobertura do terreno por árvores evidencia o substrato.

Já no ESTRATO 2 apenas o parâmetro COB é considerado significativo.

Nos ESTRATOS 3 e 4, o comportamento para as 3 bandas (TM1, TM2, TM3) é semelhante, sendo que apenas COB e SUB são significativos, distinguindo-se apenas a banda TM3 por apresentar o parâmetro SUB com maior F parcial que COB (no ESTRATO 3), o que reafirma a idéia de que o substrato exerce uma influência marcante nesta banda.

Com relação à banda TM3, é de difícil explicação a ausência do parâmetro SOLO como variável significativa nos modelos, principalmente nos estratos de menor idade, uma vez que era de se esperar que esta banda fosse mais afetada pelas características dos solos.

Para a banda TM4, verifica-se que nos três primeiros estratos o parâmetro SUB é identificado como de maior significância, surgindo com baixa significância no ESTRATO 2 o parâmetro ALT e, no terceiro COB e ALT, e no

último SUB não é significativo surgindo o parâmetro COB como significativo. Este comportamento provavelmente relaciona-se com as influências dos parâmetros SUB e COB e da proporção de sombras já discutidas.

Quanto à banda TM5, o parâmetro COB foi significativo em todos os estratos, em função, da já referida influência conjunta do aumento da fitomassa e de sombras no talhão.

O parâmetro SUB foi significativo apenas no ESTRATO 3.

Para a banda TM7, da mesma forma que para a banda TM5, COB é o parâmetro mais significativo, contudo no último estrato nenhuma das variáveis é considerada significativa.

Nestas duas bandas (TM5 e TM7) observa-se uma certa influência do parâmetro SOLO no ESTRATO 2, como era esperado; porém no ESTRATO 1 nem SUB, nem SOLO são significativos. Uma possível explicação está afeta ao pequeno número de observações aliado a uma certa imperfeição no modelamento destes parâmetros.

De uma forma geral, o método "Stepwise" facilita os estudos de comportamento espectral de alvos. Há contudo que se atentar para alguns aspectos. Por exemplo, a amostragem deve levar em conta uma boa variabilidade dos parâmetros estudados, bem como a modelagem destes deve ser cuidadosa e precisa.

Uma observação dos resultados obtidos permite concluir, que em muitos casos determinados parâmetros são ou não determinados como significativos em função de sua

própria variabilidade e mesmo de seu relacionamento com outro parâmetro, sendo que os modelos finais podem ser prejudicados.

O modelamento mais adequado das variáveis em um trabalho que envolva a utilização do procedimento "Stepwise", envolve a utilização de variáveis em uma mesma forma, ou seja, todos os parâmetros analisados com modelamento estritamente quantitativo (ex: COB, ALT) ou todos os parâmetros com modelamento categorizante ou estratificante (ex: SOLO, SUB, UNIF). Parece que a utilização conjunta destes dois tipos de modelamento das variáveis, interfere nos resultados.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O sensoriamento remoto no nível de plataformas orbitais é extremamente complexo. Tal complexidade é fruto de uma gama de fatores que acarretam em variabilidade na resposta espectral dos diversos alvos da superfície terrestre. Neste trabalho procurou-se iniciar a compreensão de alguns desses fatores nos dados digitais do sensor TM a bordo do satélite LANDSAT-5, para pomares de citros.

Cabe a ressalva de que o trabalho não pretende ser conclusivo no que tange à compreensão e modelamento das variáveis que afetam a resposta espectral dos pomares, e sim iniciar essa compreensão e abrir caminho a outros estudos nesta direção. Dessa forma as conclusões aqui apresentadas iniciam-na a partir das informações e dos resultados obtidos com o conjunto de dados estudados e a metodologia empregada.

Considerando os resultados apresentados e discutidos no Capítulo 5, tem-se que:

O parâmetro COB possui um relacionamento inversamente proporcional com a reflectância nas bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7 .

O parâmetro SUB apresenta relacionamento negativo com a reflectância para as bandas TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7 e positivo para a banda TM4. Para esta última banda o parâmetro COB não apresenta relacionamento

significativo. Tal se deve sobretudo ao aumento de sombras que acompanha o aumento da cobertura do talhão pelas árvores de citros, em função dos espaçamentos empregados e distribuição dos pomares. O aumento de sombras nesta banda anula o efeito do aumento da fitomassa no aumento da reflectância. Essa é, contudo, uma hipótese levantada a ser melhor estudada em futuros trabalhos.

Quanto ao SOLO, observou-se que os valores de reflectância tendem a ser maiores para o solo LE que para o solo LV nas bandas TM3, TM5 e TM7. Tal conclusão, contudo merece uma continuidade dos estudos em função da característica da amostragem deste trabalho.

O parâmetro Uniformidade (UNIF), foi significativo e sua influência pode estar associada a um aumento das sombras com a diminuição da uniformidade. Contudo, ocorre uma associação entre este parâmetro e a idade dos pomares, que pode ter condicionado este comportamento

De uma forma geral a complexidade da resposta espectral dos pomares de citros pode ser expressa em função da variação de três parâmetros básicos da superfície dos pomares: as árvores de citros, as sombras por elas produzidas e o substrato. Assim sendo, a variabilidade de situações encontradas em cada um destes componentes e as influências de uns sobre os outros, acarretam uma grande heterogeneidade de respostas para o sensor TM.

Os parâmetros de cobertura do terreno por árvores de citros (COB) e a proporção de vegetação nas entrelinhas presente no talhão (SUB), são os que possuem influência mais significativa na resposta espectral dos pomares. Sendo que o parâmetro COB possui maior

significância nas bandas TM1, TM2, TM5 e TM7, significância similar a SUB na banda TM3 e o parâmetro SUB apresenta maior significância para a banda TM4.

O parâmetro SOLO possui influência significativa, principalmente para as bandas TM3, TM5 e TM7.

A metodologia empregada revelou-se de grande potencial para o estudo do comportamento espectral de alvos agrícolas. O modelamento de alguns parâmetros porém necessita de um maior aprimoramento.

O trabalho propiciou o início do processo de compreensão dos fatores que afetam a resposta espectral dos pomares de citros, não esgotando, de forma alguma o assunto. Aprofundamentos e novos estudos deverão ser realizados para alcançar uma compreensão cada vez mais efetiva do comportamento espectral dos pomares de citros.

Tendo em vista esta complementação e a partir da experiência adquirida neste trabalho, sugere-se o seu desdobramento no sentido de se estabelecer:

- Um modelamento mais efetivo do parâmetro substrato, subdividindo-o e conferindo-lhe um caráter mais quantitativo.
- Estabelecimento de um modelo de estimativa da proporção de sombras em um talhão de citros, tomando-se em conta os aspectos de porte das árvores, espaçamento, orientação das linhas de plantio (fileiras) além dos ângulos de azimute e elevação solar.

- Simulações e medições radiométricas em pomares
- Análise mais efetiva da influência das variáveis associadas aos solos.
- Fixarem-se as variáveis significativas e efetuar um procedimento de análise discriminante com as diversas variedades e espécies de citros cultivadas, visando testar a significância desta variável na resposta espectral dos pomares de citros.
- Por fim realizar uma análise multitemporal da resposta espectral dos pomares.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, M.T.A. Vegetação. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Geografia do Brasil, Região Sudeste, Rio de Janeiro, 1977. v.1.
- ASSUNÇÃO, G.V. & DUARTE, V. Avaliação de áreas preparadas para plantio (SOLONÚ) utilizando dados digitalizados do Landsat, através de tratamento automático no I-100. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1983. (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).
- . Relationship between tree density, leaf area index, soil metal content, and Landsat MSS canopy radiance values. IN: ESA. IGARSS,86 SYMPOSIUM. Zurich, Swiss, 1986. Proceedings. p. 1401-1404. (ESA SP-254).
- 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. IN: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON SIGNATURES OF REMOTELY SENSED OBJECTS. Avignon, France, 1981. Proceedings, Montfavet, INRA, 1981, p. 261-269.

- BECKMAN, O.R. Stepwise multiple regression program.  
São Paulo, Departamento de Engenharia de Produção.  
EPUSP, 1970.
- BLAZQUEZ, C.H.; HORN, F.W. Aerial Color Photography  
Applications in Citriculture. Washington-DC,  
(NASA RP-1067).
- BLAZQUEZ, C.H.; HORN, F.W.; EDWARDS, G.J. Detection and  
damage assessment of citrus tree losses with aerial  
color infrared photography (ACIR). IN: BIENNIAL  
WORKSHOP ON COLOR AERIAL PHOTOGRAPHY IN THE PLANT  
SCIENCES, Luray, 1981. Proceedings. Falls Church,  
VI, American Society of Photogrammetry, 1981, p.  
115-126.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Atlas Climatológico  
do Brasil. Rio de Janeiro, Escritório de  
Meteorologia, 1965.
- BOWKER, D.E.; DAVIS, R.E.; MYRICK, D.L.; STACY, K.;  
JONES, W.T. Spectral Reflectances of Natural  
Targets for Use in Remote Sensing Studies.  
Washington-DC, NASA, 1985, 184p (Reference  
Publication 1139).
- BURROUGHS. Burroughs Advanced Statistical Inquiry  
System (BASIS); user's manual. Detroit, MI,  
Burroughss, 1975.
- 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.

CAETANO, A.A. Técnicas culturais mais recomendadas em pomares de citros. IN: SIMPÓSIO SOBRE PRODUTIVIDADE DE CITROS. Jaboticabal, 1985. Anais, Jaboticabal, UNESP, p.85-90.

CAETANO, A.A. Tratos culturais em citros. IN: RODRIGUEZ, O. & VIÉGAS, F. Citricultura brasileira. Campinas, Fundação Cargill, 1980. p. 431-443.

CARDENAS, R.; GAUSMAN, H.W.; PEYNANO, A. Detection of boron and chloride toxicities by aerial photography. IN: BIENNIAL WORKSHOP ON AERIAL COLOR PHOTOGRAPHY IN PLANT SCIENCES, Gainesville, Flórida, 1971. Proceedings VI, American Society of Photogrammetry, Falls Church, 1971, p. 98-113.

CASSELLES, 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.

CHANTERJEE, S. & PRICE, R. Regression analysis by Example. New York, NY, John Wiley & Sons, 1977.

CHAVEZ JR., P.S. An improved dark object subtraction technique for atmospheric correction of multispectral data. Remote Sensing of Environment, 24:459-479, 1988.

COMISSÃO DE SOLOS DO CENTRO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISAS AGRONÔMICAS (CENEPA). Levantamento de Reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, 1960. 634 p.

COLWELL, J.E. Vegetation canopy reflectance. Remote Sensing of Environment, 3:175-183, 1974.

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, set. 1987. (INPE-4334-TDL/290) [Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Instituto de Pesquisas Espaciais].

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Projeto Radambrasil. Folhas SF 23/24, Rio de Janeiro e Vitória. Rio de Janeiro, DNPM, 1983. v 32.

ENGELS, J.L.; WEISTEIN, O. Thematic Mapper, an overview. IEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, GE-21(3):258-265, 1983.

EPIPHANIO, J.C.N.; VALÉRIO FILHO, M. FRANÇA, G.V. Comportamento espectral de complexos solos-culturas agrícolas em Áreas irrigadas, Relatório Final. São Paulo, FAPESP, 1987. 104p.

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: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal, 1988. Anais, São José dos Campos, INPE, 1988. p. 400-405,

FIGUEIREDO, J.O. Varietades-copa de valor comercial. IN: RODRIGUEZ, O. & VIÉGAS, F. Citricultura brasileira, Campinas, Fundação Cargill. 1980. p. 243-273,

- FRANKLIN, J. Thematic Mapper analysis of coniferous forest structure and composition. International Journal of Remote Sensing, 7(10):1287-1301, 1986.
- FUNDECITROS. Focos de Cancro Cítrico Ainda Aparecem em São Paulo. Folha de São Paulo, São Paulo, 3 abr. 1988. Cad. B Agrofolha, B.8.
- FURLANI, G.M. Estudo geomorfológico das boçorocas de Casa Branca. São Paulo, FFLCH/USP, 1980, 380p. [Dissertação de Mestrado - FFLCH].
- GANDÍA, S.; CASELLES, V.; GILABERT, A.; MELIÁ, J. Spectral signature of rice fields using Landsat-5 TM in the mediterranean coast of Spain. IN: SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING FOR RESOURCES DEVELOPMENT AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. Enschede, (NE). Proceedings Netherlands, p. 257-259, 1986.
- GAUSMAN, H.W.; ESCOBAR, D.E.; WIEGAND, C.L. Reflectance and photographic characteristics of three citrus varieties for discrimination purposes. F. Shahrokhi, Remote sensing of earth resources. Tennessee. Univ. of Tennessee Space Institute, 1976. p. 333-347, 1976.
- 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.
- GORDON, D.K.; PHILIPSON, W.R. A texture enhancement procedure for separating orchard from forest in Thematic Mapper data. International Journal of Remote Sensing 7(2):301-304, 1986.

- HART, W.G.; INGLE, S.J.; DAVIS, M.R.; HIGGINS, A.; BOLING, J.C. Some uses of infrared aerial color photography in entomology. IN: BIENNIAL WORKSHOP ON AERIAL COLOR PHOTOGRAPHY IN PLANT SCIENCES, Gainesville, Flórida, 1971. Proceedings. Falls Church, VI, American Society of Photogrammetry, 1971.
- HEIMES, F.J. Effects of scene proportions on spectral reflectance in Lodgepole Pine. Fort Collins, Colorado State University, 1977. 109p. [Dissertação de mestrado - Colorado State University].
- HLAVKA, C.A.; HARALICK, R.M.; CARLYLE, S.M.; YOKOYAMA, R. The discrimination of winter-wheat using a growth-stage signature. Remote Sensing of Environment, 9(4):277-294, 1980.
- HOCKING, R.R. The analysis and selection of variables in linear regression. Biometrics, 32:1-49, 1976.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (IGC). Carta de Utilização da Terra do Estado de São Paulo. Folha Campinas, 1982.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (IGC). Carta de Utilização da Terra do Estado de São Paulo. Folha Ribeirão Preto, São Paulo, 1987.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, 1981. v. 1, 94p.
- KARASKA, M.A.; WALSH, S.S.; 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.

- KENNEDY, W.J.; BANCROFT, T.A. Model building for prediction in regression based on repeated significance tests. Annuary of Mathematics and Statistics, 42:1273-1284, 1971.
- 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).
- KOFFLER, N.F. Identificação da cultura de cana-de-açúcar (Saccharum spp) através de fotografias aéreas infravermelhas coloridas e dados multiespectrais do satélite LANDSAT. Piracicaba, ESALQ/USP, 1982. 234p. [Tese de Doutorado - ESALQ].
- LABORATORY FOR AGRICULTURAL REMOTE SENSING (LARS). Remote multispectral sensing in agriculture. Lafayette, IN. Indiana, Purdue University, 1968. p. 6-7.
- MALAVOLTA, E. Nutrição e Adubação dos Citros. IN: SIMPÓSIO SOBRE PRODUTIVIDADE DE CITROS. Jaboticabal, 1985. Anais. Jaboticabal, UNESP, 1985. p. 163-192,
- MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. Landsat MSS and TM post calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at satellite temperatures. Landsat Technical Notes, 1:3-8, 1986.
- MCDONALD, G.C.; SCHWING, R.C. Instabilities of regression estimates relating air pollution to mortality. Technometrics, 15:463-481, 1973.

- MENDONÇA, F.J. Sensoriamento remoto aplicado à agricultura: princípios básicos, metodologias e aplicações. São José dos Campos, INPE, set. 1981, 81p.
- MONTENEGRO, H. Clima e Solos. IN: RODRIGUEZ, O. & VIÉGAS, F. Citricultura brasileira, Campinas, Fundação Cargill, p. 243-273, 1980.
- MONTGOMERY, D.C. & PECK, E.A. Introduction to linear regression analysis. New York, NY, Wiley, 1982.
- MOREIRA, C.S. Clima e produtividade na citricultura. IN: SIMPÓSIO SOBRE PRODUTIVIDADE DE CITROS. Jaboticabal, 1985. Anais. Jaboticabal, UNESP, p. 13-20, 1985.
- MOREIRA, M.A.; ASSUNÇÃO, G.V.; KRUG, T.; AROSTEGUI, M.H.; YOURDAN, H.L.; RAMIREZ, W.M.; POLICH, R.A.; AGNELLO, J.C.; DARLUZO, H.C. Identificação e avaliação de áreas com arroz irrigado em Corrientes AG, através de técnicas de sensoriamento remoto. São José dos Campos, FUNCATE, 1987. 170p.
- MORSE, A.; CARD, D.H. Benchmark Data on the separability among crops in the southern San Joaquin Valley of California. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, Michigan, 1983. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1983. p. 907-914,
- NAERT, B. Caracterisation de la signature spectrale, spatiale et temporelle de vignes et vergers - application a la teledetection du sol et de la culture. IN: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON SPECTRAL SIGNATURES OF OBJECTS IN REMOTE SENSING. Les Arcs, France, 1985. Proceedings, Montfavet(FR), INRA, 1985. p.467-474. (ESA SP-247).

- NETER, J. & WASSERMAN, W. Applied Linear Statistical Models. Richard D. Irwin, Homewood, Illinois, 1974.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA)  
LANDSAT-4 Data Users Handbook. USA, 1984.
- POMPEU JR., J. Importância da escolha de copas e porta-enxertos na produtividade dos citros. IN: SIMPÓSIO SOBRE PRODUTIVIDADE DE CITROS, Jaboticabal, 1985. Anais, UNESP, Jaboticabal, 1985. p. 33-40.
- PROVESI, J.R. Zoneamento ecológico para a cultura da macieira utilizando dados do sensor TM/Landsat e AHRV - NOAA. São José dos Campos. [Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto - Instituto de Pesquisas Espaciais] INPE, Maio 1988. (INPE-4597-TDL/333).
- RANSON, K.J.; DAUGHTRY, C.S.T.; BIEHL, L.L. Sun angle, view angle, and background effects on spectral response of simulated balsam fir canopies. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(5):649-658, 1986.
- RANSON, K.J.; DAUGHTRY, C.S.T. Scene shadow effects on multispectral response. IEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing GE25(4):502-509, 1987.
- RIBEIRO, E.A.; II, F.A.M.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V. Manual do usuário dos sistemas de tratamento de imagens digitais. São José dos Campos, INPE, 1982, 152p.
- RICHARDSON, A.J.; WIEGAND, C.L.; GAUSMAN, H.W.; CUELLAR, J.A.; GEBERMAN, A.H. Plant, soil and shadow reflectance components of row crops. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 4(11):1401-1406, 1975.

- RICHARDSON, A.J. & WIEGAND, C.L. Distinguishing vegetation from soil background. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43(12):1541-1552, 1977.
- ROBINOVE, C.J. Computation with physical values from LANDSAT digital data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48(5):781-784, 1982.
- RODRIGUEZ, O. & VIÉGAS, F. Citricultura brasileira. Campinas, Fundação Cargill, 1980. 739p.
- SCAICO, O. Utilização de variáveis fictícias em modelo de previsão de demanda. Revista de Engenharia de Produção, 1:12-22, 1979.
- SCHOWENGERDT, R.A. Techniques for image processing and classification in remote sensing. London, Academic, 1983. 249p.
- TARDIN, A.T.; PALESTINO, C.V.B.; SONNENBURG, C.R. Assessment of the damage caused by frost of 1975 to coffee and wheat crops in the northeast of the state of Parana Using LANDSAT images with automatic classification. São José dos Campos, INPE, 1977. (INPE-1007-NTE/078).
- TEÓFILO SOBRINHO, J. Densidades de plantio para citros. IN: SIMPÓSIO SOBRE PRODUTIVIDADE DE CITROS. Jaboticabal, 1985. Anais, Jaboticabal, UNESP, 1985, p.41-56.

- TODD, J.W. Aerial photograph to inventory commercial citrus trees in Florida. IN: BIENNIAL WORKSHOP ON AERIAL COLOR PHOTOGRAPHY IN PLANT SCIENCES, Gainesville, Florida, 1971. Proceedings. Falls Church American Society of Photogrammetry, Falls Church, VI, 1971.
- TODD, J.W. Aerial photograph in inventory of commercial citrus tree in Florida. IN: BIENNIAL WORKSHOP ON AERIAL COLOR PHOTOGRAPHY IN PLANT SCIENCES, 1983. Proceedings, Falls Church, XII, American Society of Photogrammetry, 1983.
- TUCKER, C.J. A comparison of satellite sensor bands for vegetation monitoring. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 44(11):1369-1380, 1978.
- VINAGRODOV, B. Remote sensing of the arid zone vegetation in the visible spectrum for studying the productivity. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT. Michigan, 1969. Proceedings, Ann Arbor, Michigan, 1969, p. 1237-1250.
- ZAR, J.H. Biostatistical analysis. Englewood Cliffs, NJ, 1974. Prentice Hall, Inc.,
- 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. New York, NY, John Wiley & Sons, New York, NY, 1980.

WESTIN, F.C. & LEMME, G.D. LANDSAT spectral signatures:  
studies with soil association and vegetation.  
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,  
46(3): 315-325, 1978.

APÊNDICE A

PARÂMETROS CULTURAIS E RESPOSTA ESPECTRAL DOS POMARES

TABELA A.1  
PARÂMETROS CULTURAIS DOS POMARES

FAZ/TAL	SOLO	COB	ID	ORFIL	DECL	ORDECL	ALT	SUB	UNIF	VAR
C502	1	0,13	4	60	3	320	2,4	2	5	PER
S055	0	0,10	5	100	0	150	2,3	3	5	PER
M001	0	0,14	6	150	1	210	3,3	3	4	PER
C999	1	0,06	6	50	1	310	2,3	3	5	PER
S062	0	0,23	8	150	2	150	3,7	0	5	PER
C324	1	0,17	8	120	1	215	2,9	5	5	PER
C336	1	0,18	8	130	2	45	3,3	5	5	PER
C209	1	0,19	9	180	3	260	3,1	2	4	PER
C214	1	0,16	9	50	0	200	2,5	2	5	PER
C131	1	0,17	10	170	2	285	3,5	5	5	PER
C204	1	0,20	10	10	2	285	3,2	4	5	PER
C129	1	0,27	10	50	1	310	3,7	2	5	PER
S037	0	0,21	12	90	4	10	3,3	0	3	PER
N215	0	0,30	13	10	4	10	3,8	4	1	PER
N132	0	0,23	14	50	1	320	3,2	5	2	PER
N142	0	0,22	14	50	2	320	3,8	5	1	PER
N152	0	0,25	14	50	1	20	3,8	5	3	PER
C325	1	0,17	8	160	0	270	3,0	5	3	PER
C207	1	0,18	9	140	2	290	3,1	5	5	PER
C777	1	0,07	6	50	1	300	2,2	4	3	PER
C132	1	0,18	10	170	2	250	3,6	5	3	PER
C128	1	0,17	10	180	2	290	3,8	5	5	PER
C130	1	0,28	10	50	1	300	3,7	4	5	PER
M057	0	0,02	2	160	3	30	1,0	3	5	PER
M047	0	0,05	2	50	5	140	1,7	2	5	PER
M049	0	0,06	3	140	3	240	2,2	0	5	PER
M018	0	0,19	5	70	3	240	3,6	3	5	PER
M021	0	0,14	5	40	3	30	3,3	3	5	PER
M022	0	0,12	5	70	0	100	2,4	3	5	PER

(continua)

TABELA A.1 (continuação)

FAZ/TAL	SOLO	COB	ID	ORFIL	DECL	ORDECL	ALT	SUB	UNIF	VAR
M023	0	0,13	6	170	0	100	2,0	3	5	PER
M016	0	0,18	6	50	0	250	3,0	2	5	PER
A008	0	0,19	10	15	1	270	3,4	3	5	PER
A006	0	0,22	10	150	1	280	3,7	2	4	PER
A009	0	0,16	10	70	2	170	3,6	4	5	PER
A003	0	0,25	10	160	0	180	3,6	4	5	PER
M033	0	0,17	10	15	0	270	3,6	3	3	PER
N042	0	0,35	13	160	5	80	3,6	5	4	PER
N041	0	0,42	13	10	5	120	3,9	4	3	PER
N043	0	0,35	13	10	5	120	3,6	5	2	PER
N221	0	0,23	13	10	0	200	3,4	5	1	PER
N231	0	0,28	13	20	3	290	3,4	4	1	PER
N252	0	0,27	13	50	3	290	3,8	5	1	PER
N131	0	0,31	14	40	1	330	4,2	5	2	PER
N141	0	0,23	14	50	1	300	3,7	4	1	PER
N122	0	0,25	14	140	2	320	3,9	5	1	PER
N053	0	0,35	15	40	3	320	4,0	5	1	PER
N052	0	0,30	15	90	4	360	3,9	5	1	PER
N062	0	0,37	15	90	2	240	4,1	5	1	PER
N041	0	0,26	15	100	4	000	3,9	5	4	PER
N043	0	0,33	15	100	2	340	4,2	5	4	PER
N054	0	0,35	15	100	1	280	4,1	5	3	PER
N162	0	0,28	14	10	5	260	3,8	5	3	PER
N091	0	0,27	15	50	2	300	4,1	5	3	PER
N055	0	0,27	15	50	2	280	3,9	5	3	PER
C505	1	0,10	4	30	0	90	2,4	3	5	NAT
C508	1	0,12	4	140	5	90	2,5	5	5	NAT
C305	1	0,13	5	160	3	80	2,6	3	5	NAT
C402	1	0,14	5	110	1	210	2,8	5	5	NAT
C315	1	0,22	6	150	5	250	3,6	5	5	NAT
C328	1	0,17	6	160	0	200	3,0	2	5	NAT
C335	1	0,16	8	10	2	90	2,9	3	5	NAT

(continua)

TABELA A.1 (continuação)

FAZ/TAL	SOLO	COB	ID	ORFIL	DECL	ORDECL	ALT	SUB	UNIF	VAR
C334	1	0,20	8	170	1	90	3,2	2	3	NAT
C326	1	0,20	8	165	0	200	3,4	3	5	NAT
C302	1	0,21	8	150	0	80	3,0	2	5	NAT
C206	1	0,25	9	115	3	190	3,5	2	5	NAT
C110	1	0,29	9	120	3	45	3,8	3	5	NAT
C215	1	0,29	9	135	2	240	3,9	2	5	NAT
C213	1	0,31	9	140	0	180	3,6	5	5	NAT
C210	1	0,26	9	140	0	180	3,8	2	5	NAT
S007	0	0,25	9	160	0	270	3,7	0	5	NAT
N023	0	0,35	15	10	1	320	4,1	5	4	NAT
N033	0	0,38	15	230	1	350	4,2	5	4	NAT
N031	0	0,37	16	280	3	310	3,9	5	3	NAT
S018	0	0,34	17	250	0	220	4,0	2	5	NAT
C325	1	0,17	8	160	0	270	3,0	3	5	NAT
M055	0	0,03	2	130	5	230	1,5	0	5	VAL
M043	0	0,19	5	110	2	170	3,5	3	5	VAL
M173	0	0,18	5	170	3	80	3,5	0	5	VAL
C332	1	0,22	7	145	0	90	3,7	3	5	VAL
S063	0	0,38	8	70	4	135	1,5	0	5	VAL
S030	0	0,40	11	80	1	190	3,8	0	5	VAL
N033	0	0,43	12	10	5	170	4,5	2	5	VAL
N143	0	0,22	14	150	1	330	3,5	5	4	VAL
N024	0	0,36	15	10	1	320	4,3	5	5	VAL
N020	0	0,34	15	110	2	20	3,5	5	4	VAL
M045	0	0,38	15	130	3	210	3,8	2	5	VAL
N022	0	0,37	15	40	0	150	4,3	5	5	VAL
N025	0	0,34	15	50	2	140	4,1	5	4	VAL
N026	0	0,38	15	50	4	160	4,4	5	3	VAL
M174	0	0,43	17	20	1	100	3,9	1	5	VAL
S034	0	0,32	17	160	0	280	3,6	1	5	VAL
M003	0	0,37	17	170	3	70	3,8	2	5	VAL
S026	0	0,36	18	20	1	90	4,1	3	5	VAL

(continua)

TABELA A.1 (continuação)

FAZ/TAL SOLO	COB	ID	ORFIL	DECL	ORDECL	ALT	SUB	UNIF	VAR
S015	0	0,28	18	30	2	10	3,5	0	5 VAL
A001	0	0,25	18	70	1	140	3,6	5	4 VAL
S022	0	0,32	18	180	1	100	3,7	0	5 VAL
N034	0	0,53	12	10	5	70	5,6	2	4 VAL
N035	0	0,46	12	30	10	80	4,6	2	4 VAL
M039	0	0,08	3	90	5	150	2,3	5	5 HAM
C127	1	0,34	9	60	3	120	2,7	2	4 HAM
C119	1	0,35	10	125	1	45	4,4	2	3 HAM
C124	1	0,36	10	70	0	190	4,3	2	5 HAM
C120	1	0,39	10	70	3	330	4,9	3	1 HAM
C116	1	0,39	11	170	2	170	5,3	2	4 HAM
C118	1	0,34	11	70	1	325	4,9	2	1 HAM
N037	0	0,50	12	70	5	150	5,1	5	5 HAM
N036	0	0,52	12	70	5	150	5,2	5	5 HAM
N133	0	0,32	14	50	1	330	5,1	5	1 HAM
N123	0	0,33	15	50	3	300	5,4	5	1 HAM
M036	0	0,33	18	180	3	260	5,4	0	3 HAM
S027	0	0,39	18	20	1	100	5,1	0	5 HAM
C318	1	0,33	8	180	1	270	5,8	2	5 POM
C319	1	0,30	8	180	1	270	4,2	5	4 POM
N144	0	0,37	14	70	4	10	4,2	5	5 POM
N153	0	0,50	14	50	1	330	5,2	5	5 POM
C112	1	0,53	10	75	0	200	5,4	5	5 BAH
C107	1	0,40	10	95	2	16	5,0	2	3 BAH
C108	1	0,43	10	170	1	170	4,3	2	4 BAH
C888	1	0,41	10	180	2	300	5,4	2	3 BAH
C105	1	0,44	16	65	2	320	4,6	2	1 BAH
S056	0	0,43	16	20	0	230	4,6	0	5 TAH
M204	0	0,26	6	100	2	100	5,4	2	5 RUB
C311	1	0,46	8	150	2	60	3,8	0	5 TAH

(conclusão)

FAZ = C - FAZENDA CAMPO GRANDE  
S - FAZENDA SÃO CARLOS  
M - FAZENDA MARCHEZAN  
A - FAZENDA ALVORADA  
N - FAZENDA NOVA ERA

SOLO = TIPO DE SOLO: 0 = LATOSSOLO VERMELHO AMARELO (LV)  
1 = LATOSSOLO VERMELHO ESCURO (LE)

COB = COBERTURA DO TERRENO POR ARVORES DE CITROS

ID = IDADE DOS POMARES EM ANOS

ORFIL = ORIENTAÇÃO DAS FILEIRAS

DECL = DECLIVIDADE EM GRAU DO DECLIVE

ORDECL = ORIENTAÇÃO DO DECLIVE EM GRAUS A PARTIR DO NORTE

ALT = ALTURA MÉDIA DAS ARVORES DE CITROS EM METROS

SUB = ESTRATIFICAÇÃO DO SUBSTRATO EM TERMOS DE PROPORÇÃO DE VEGETAÇÃO NAS ENTRELINHAS

UNIF = UNIFORMIDADE DO TALHÃO

VAR = VARIEDADE: PER - PERA  
NAT - NATAL  
VAL - VALÊNCIA  
HAM - HAMLIN  
BAH - BAHIA  
RUB - RUBI  
POM - POMELO  
TAH - LIMÃO TAHITI

TABELA A.2

REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DOS POMARES

FAZ/TAL	REF1	REF2	REF3	REF4	REF5	REF7
C502	0,015	0,036	0,058	0,137	0,132	0,093
S055	0,025	0,053	0,085	0,180	0,195	0,135
M001	0,026	0,055	0,076	0,192	0,187	0,121
C999	0,018	0,046	0,083	0,170	0,203	0,164
S062	0,022	0,043	0,087	0,178	0,179	0,112
C324	0,017	0,045	0,069	0,205	0,192	0,126
C336	0,018	0,049	0,078	0,202	0,191	0,141
C209	0,019	0,048	0,081	0,190	0,204	0,151
C214	0,018	0,046	0,079	0,189	0,195	0,147
C131	0,015	0,038	0,051	0,229	0,170	0,097
C204	0,017	0,041	0,062	0,217	0,180	0,116
C129	0,013	0,034	0,052	0,180	0,163	0,106
S037	0,022	0,044	0,070	0,164	0,182	0,121
N215		0,030	0,031	0,182	0,135	0,060
N132	0,011	0,036	0,032	0,263	0,135	0,054
N142	0,012	0,040	0,036	0,208	0,143	0,060
N152	0,010	0,034	0,028	0,221	0,142	0,053
C325	0,020	0,052	0,079	0,212	0,194	0,133
C207	0,018	0,042	0,057	0,235	0,177	0,105
C777	0,021	0,054	0,087	0,208	0,225	0,159
C132	0,014	0,037	0,046	0,251	0,166	0,081
C128	0,015	0,036	0,044	0,246	0,164	0,080
C130	0,015	0,037	0,046	0,231	0,156	0,083
M057	0,037	0,070	0,112	0,178	0,240	0,195
M047	0,037	0,074	0,109	0,205	0,255	0,179
M049	0,034	0,068	0,111	0,167	0,211	0,166

(continua)

TABELA A.2 (continuação)

FAZ/TAL	REF1	REF2	REF3	REF4	REF5	REF7
M018	0,023	0,045	0,059	0,181	0,168	0,102
M021	0,026	0,053	0,072	0,195	0,208	0,131
M022	0,025	0,050	0,064	0,197	0,198	0,124
M023	0,024	0,048	0,058	0,206	0,190	0,108
M016	0,025	0,052	0,067	0,184	0,182	0,113
A008	0,023	0,047	0,064	0,188	0,175	0,109
A006	0,022	0,045	0,070	0,175	0,172	0,118
A009	0,023	0,049	0,062	0,193	0,168	0,099
A003	0,021	0,045	0,059	0,197	0,162	0,095
M033	0,024	0,049	0,061	0,186	0,181	0,109
N042	0,011	0,037	0,033	0,214	0,150	0,059
N041	0,009	0,031	0,030	0,167	0,139	0,058
N043	0,008	0,035	0,027	0,177	0,127	0,049
N221	0,012	0,038	0,038	0,203	0,160	0,074
N231	0,012	0,038	0,041	0,180	0,156	0,078
N252	0,010	0,033	0,036	0,177	0,146	0,067
N131	0,011	0,037	0,030	0,209	0,139	0,053
N141	0,013	0,041	0,039	0,205	0,139	0,061
N122	0,012	0,040	0,034	0,216	0,151	0,062
N053	0,010	0,033	0,032	0,196	0,130	0,051
N052	0,011	0,037	0,031	0,190	0,136	0,055
N062	0,010	0,033	0,025	0,240	0,137	0,049
N041	0,009	0,035	0,026	0,239	0,136	0,047
N043	0,009	0,032	0,023	0,233	0,134	0,045
N054	0,009	0,032	0,025	0,216	0,132	0,046
N162	0,013	0,040	0,042	0,211	0,163	0,080
N091	0,011	0,033	0,029	0,190	0,132	0,052
N055	0,009	0,032	0,023	0,232	0,134	0,047
C505	0,018	0,046	0,067	0,168	0,162	0,119
C508	0,017	0,043	0,050	0,258	0,188	0,095
C305	0,025	0,062	0,099	0,225	0,241	0,181
C402	0,017	0,043	0,051	0,247	0,173	0,096

(continua)

TABELA A.2 (continuação)

FAZ/TAL	REF1	REF2	REF3	REF4	REF5	REF7
C315	0,028	0,044	0,060	0,212	0,176	0,105
C328	0,020	0,049	0,075	0,197	0,184	0,124
C335	0,022	0,054	0,087	0,204	0,206	0,154
C334	0,019	0,050	0,072	0,212	0,189	0,127
C326	0,021	0,052	0,080	0,216	0,237	0,127
C302	0,016	0,044	0,073	0,173	0,185	0,144
C206	0,016	0,041	0,064	0,187	0,180	0,121
C110	0,014	0,035	0,045	0,199	0,139	0,073
C215	0,017	0,044	0,069	0,192	0,185	0,126
C213	0,018	0,045	0,072	0,192	0,193	0,134
C210	0,018	0,045	0,070	0,190	0,185	0,134
S007	0,020	0,042	0,064	0,170	0,166	0,105
N023	0,009	0,032	0,023	0,221	0,128	0,041
N033	0,008	0,032	0,023	0,218	0,129	0,043
N031	0,006	0,027	0,024	0,174	0,110	0,040
S018	0,019	0,036	0,058	0,189	0,158	0,076
C325	0,020	0,052	0,079	0,212	0,194	0,133
M055	0,032	0,064	0,101	0,186	0,222	0,151
M043	0,023	0,045	0,060	0,188	0,177	0,105
M173	0,025	0,051	0,074	0,190	0,194	0,134
C332	0,016	0,044	0,058	0,220	0,181	0,144
S063	0,017	0,034	0,071	0,101	0,098	0,085
S030	0,020	0,040	0,062	0,165	0,172	0,112
N033	0,006	0,022	0,032	0,150	0,113	0,054
N143	0,011	0,039	0,030	0,234	0,153	0,059
N024	0,007	0,028	0,022	0,192	0,118	0,043
N020	0,007	0,026	0,027	0,162	0,118	0,049
N045	0,021	0,039	0,058	0,145	0,149	0,093
N022	0,007	0,036	0,022	0,195	0,118	0,039
N025	0,009	0,029	0,029	0,190	0,129	0,052
N026	0,006	0,026	0,022	0,186	0,121	0,053
M174	0,020	0,037	0,049	0,159	0,155	0,092

(continua)

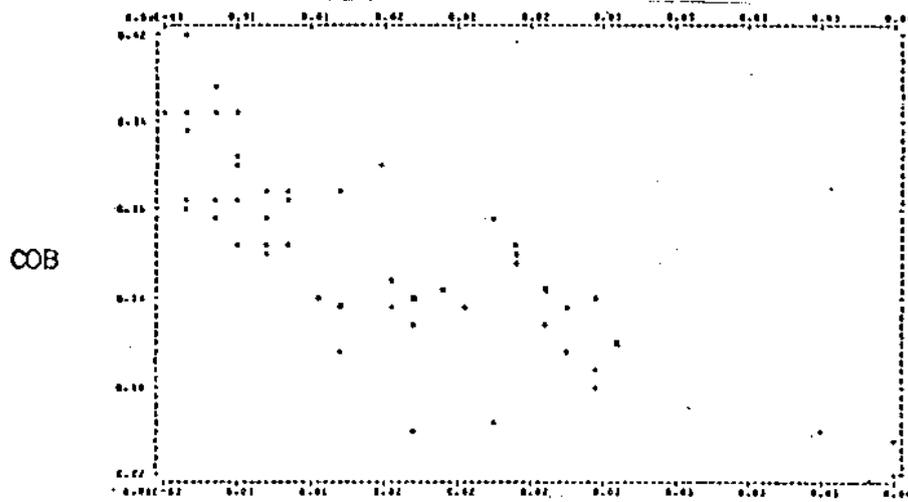
TABELA A.2 (continuação)

FAZ/TAL	REF1	REF2	REF3	REF4	REF5	REF7
S034	0,022	0,043	0,061	0,176	0,181	0,108
M003	0,018	0,036	0,049	0,156	0,149	0,086
S026	0,013	0,024	0,030	0,145	0,119	0,053
S015	0,021	0,045	0,058	0,192	0,171	0,095
A001	0,023	0,048	0,053	0,244	0,174	0,089
S022	0,022	0,033	0,042	0,180	0,130	0,060
N034	0,011	0,033	0,037	0,168	0,143	0,071
N035	0,012	0,034	0,044	0,171	0,154	0,084
M039	0,033	0,065	0,091	0,205	0,224	0,146
C127	0,017	0,040	0,060	0,204	0,176	0,109
C119	0,013	0,034	0,055	0,178	0,159	0,105
C124	0,013	0,034	0,057	0,179	0,162	0,110
C120	0,016	0,043	0,055	0,216	0,175	0,101
C116	0,015	0,037	0,051	0,187	0,147	0,088
C118	0,014	0,035	0,054	0,177	0,154	0,103
N037	0,009	0,032	0,028	0,197	0,130	0,051
N036	0,006	0,024	0,026	0,157	0,100	0,038
N133	0,010	0,035	0,028	0,224	0,131	0,048
N123	0,008	0,030	0,021	0,256	0,129	0,040
M036	0,017	0,032	0,039	0,173	0,141	0,070
S027	0,016	0,031	0,036	0,159	0,133	0,060
C318	0,017	0,047	0,070	0,205	0,229	0,122
C319	0,017	0,045	0,061	0,218	0,172	0,108
N144	0,009	0,030	0,030	0,181	0,122	0,053
N153	0,008	0,030	0,029	0,201	0,128	0,051
C112	0,013	0,034	0,043	0,218	0,155	0,088
C107	0,016	0,039	0,058	0,190	0,163	0,101
C108	0,014	0,035	0,042	0,215	0,146	0,073
C888	0,015	0,037	0,050	0,180	0,171	0,091
C105	0,013	0,032	0,039	0,188	0,155	0,090
S056	0,014	0,029	0,034	0,166	0,131	0,061
M204	0,023	0,045	0,061	0,200	0,188	0,110
C311	0,016	0,038	0,061	0,192	0,161	0,103

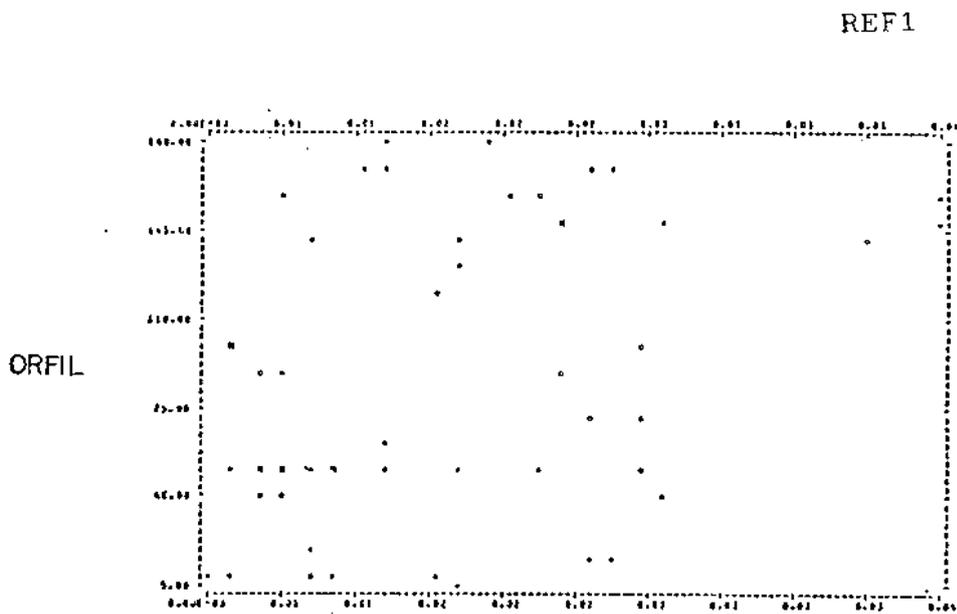
(conclusão)

APÊNDICE B

RELACIONAMENTOS ENTRE OS PARÂMETROS CULTURAIS E A  
REFLECTÂNCIA ESPECTRAL, GRUPOS PERA, NATAL, VALÊNCIA E  
HAMLIN



(a)



(b)

Fig. B.1 - Relacionamentos entre a reflectância para a banda TM1, grupo PERA e os parâmetros significativos, (a) COB, (b) ORFIL, (c) ORDECL, (d) ALT, (e) SUB, (f) UNIF.

(continua)

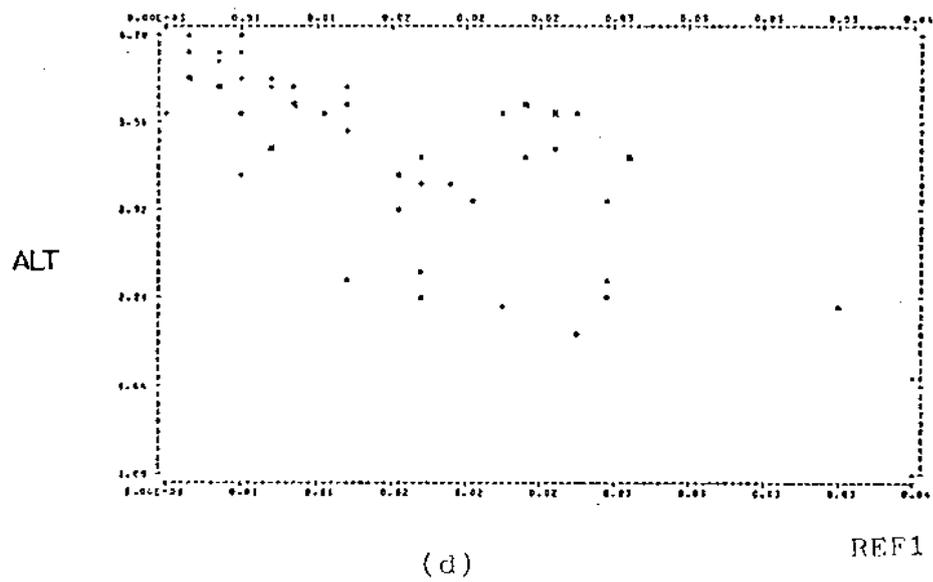
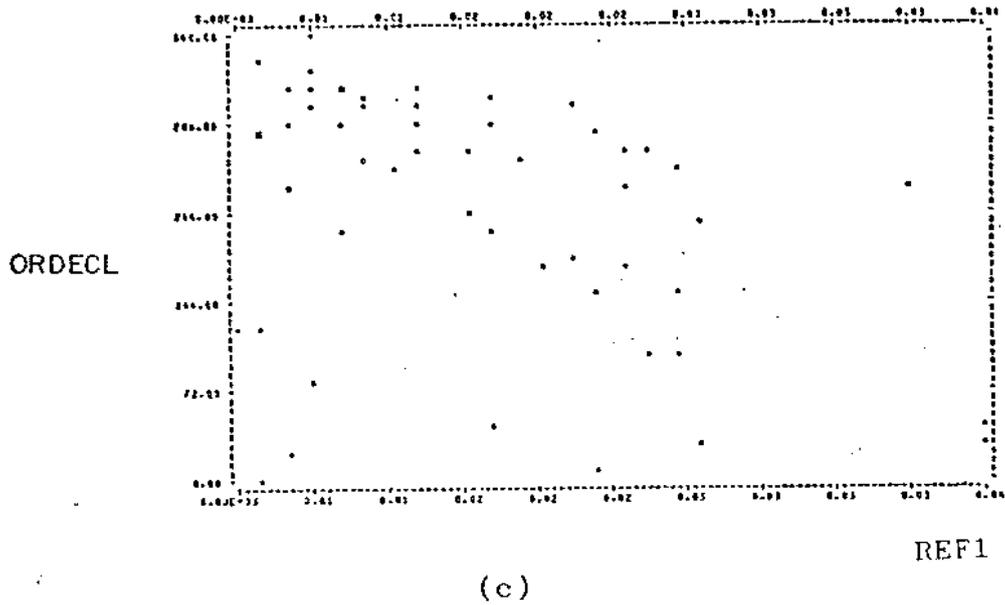
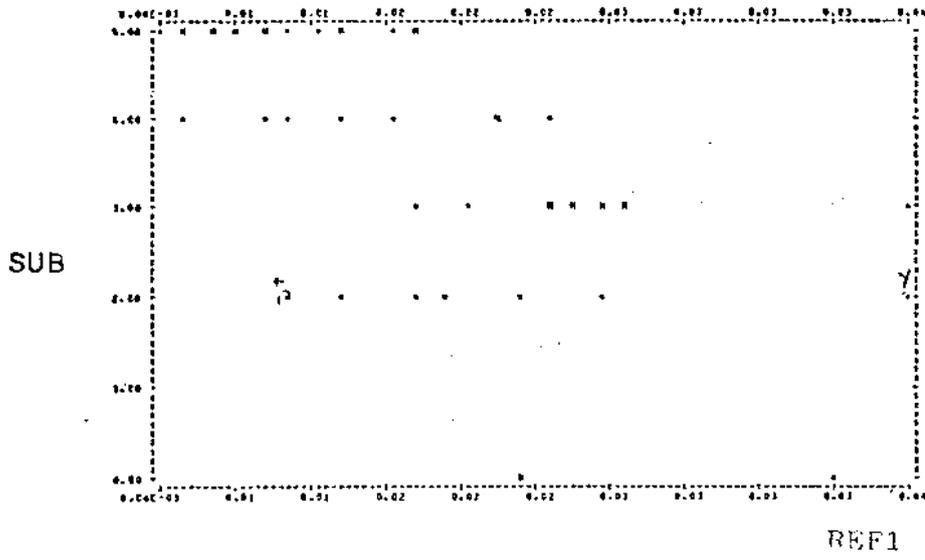
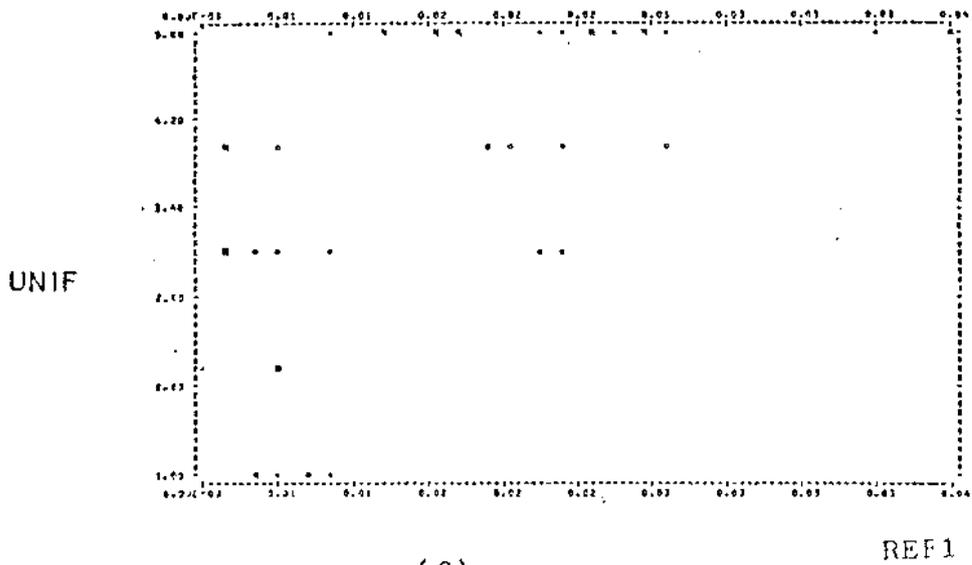


Fig. B.1 - Continuação.  
(continua)



(e)



(f)

Fig. B.1 - Conclusão.

Y

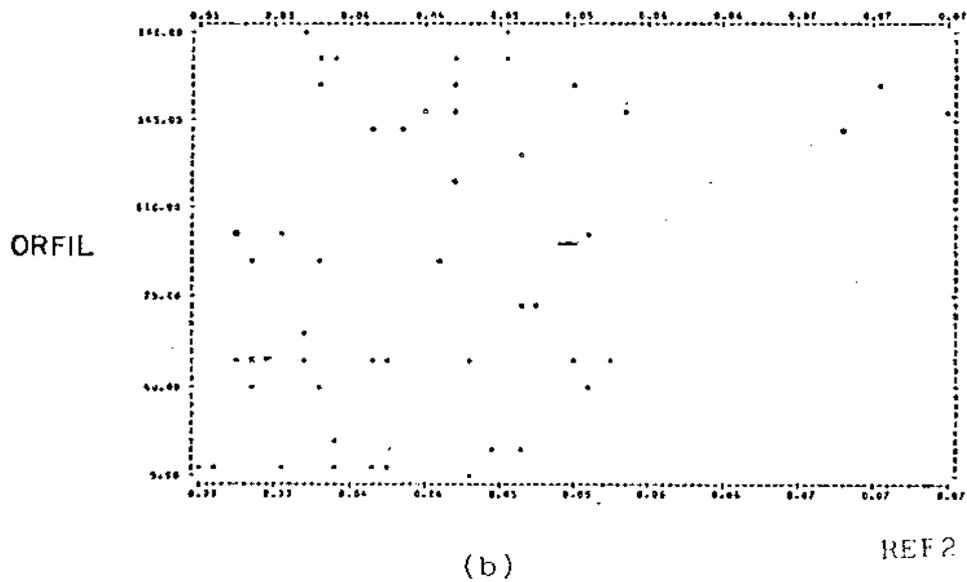
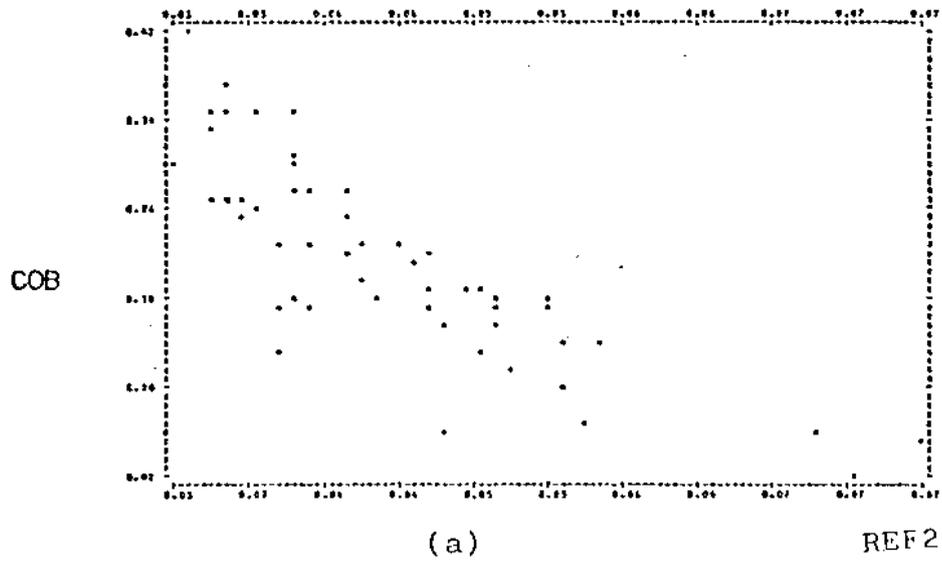


Fig. B.2 - Relacionamentos entre a reflectância e os parâmetros significativos (grupo PERA), (a) COB, (b) ORFIL, (c) ALT, (d) SUB, (e) UNIF.

(continua)

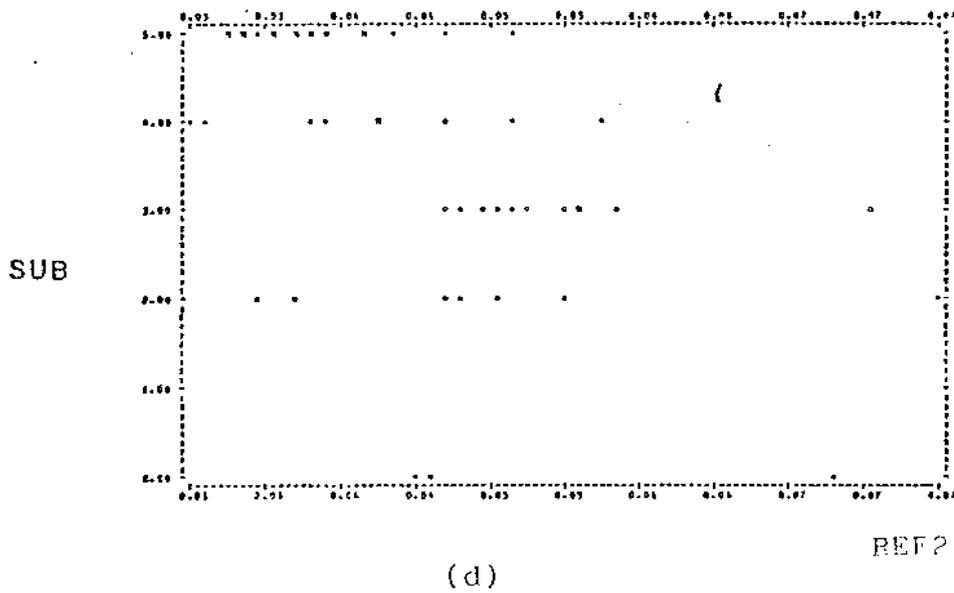
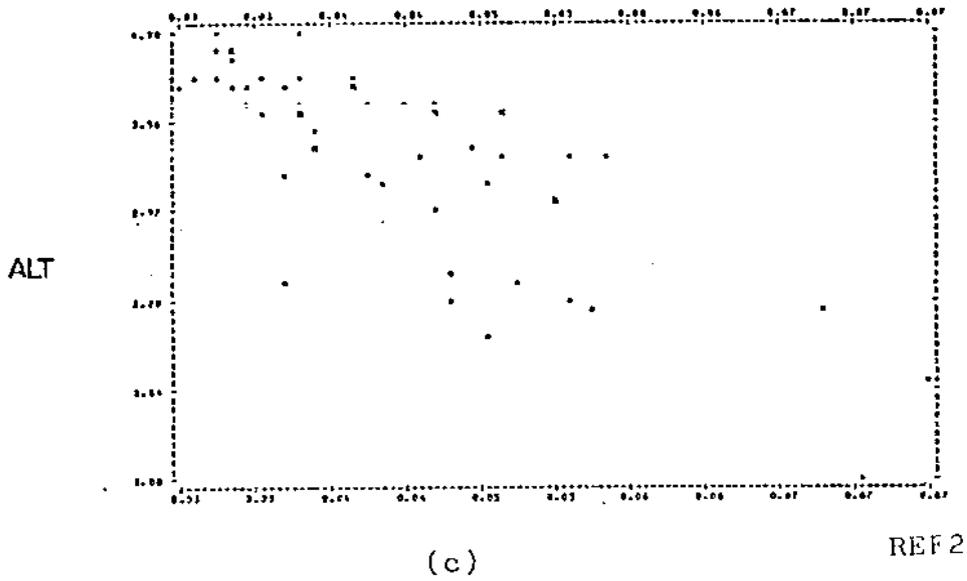
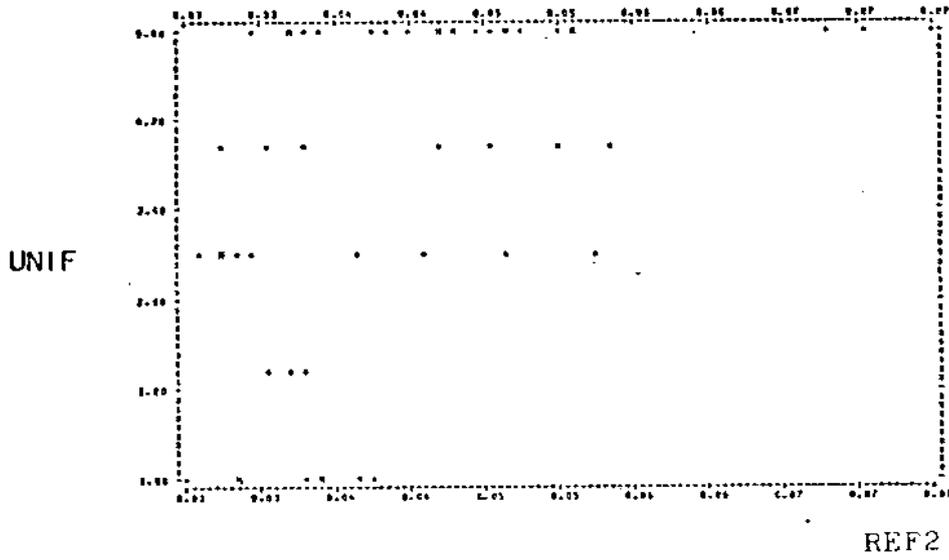


Fig. B.2 - Continuação.  
(continua)



(e)

Fig. B.2 - Conclusão.

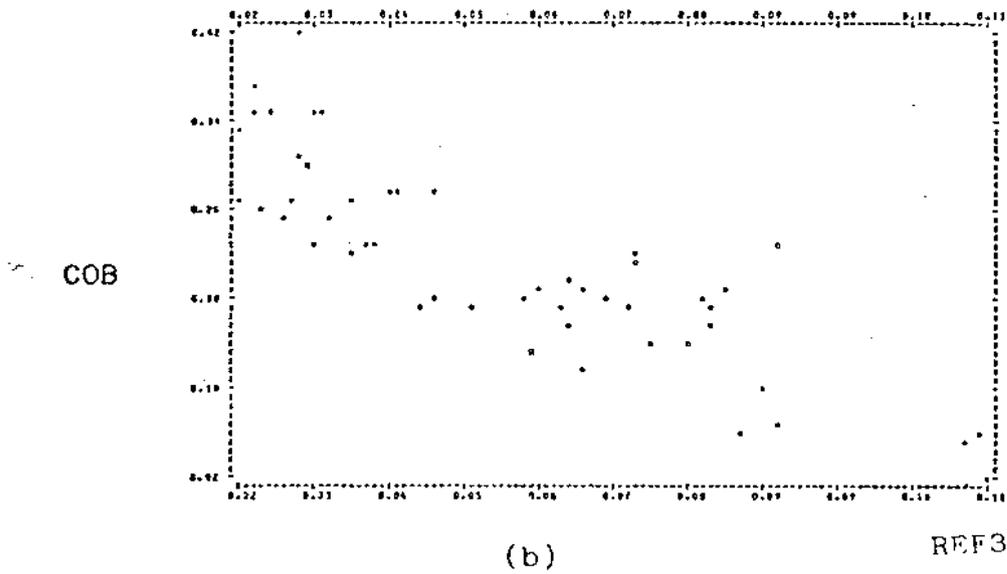
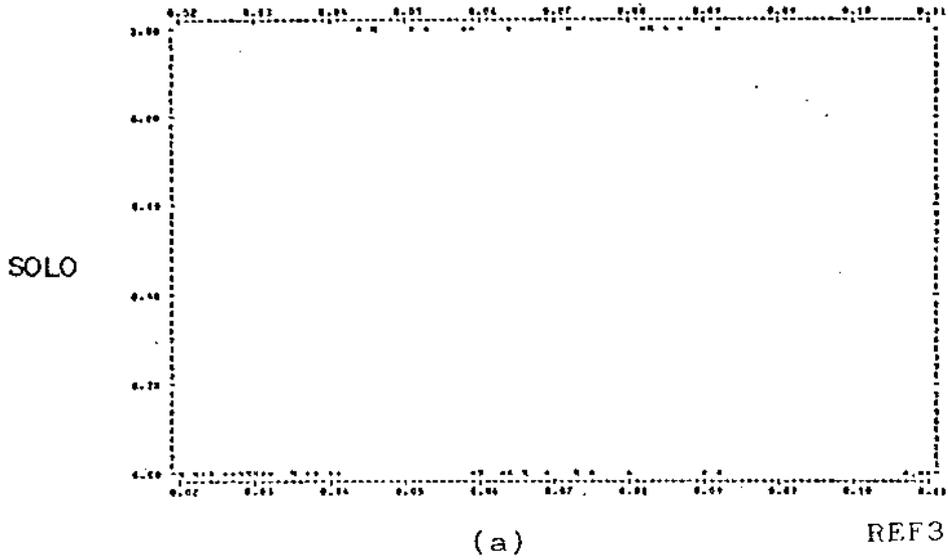
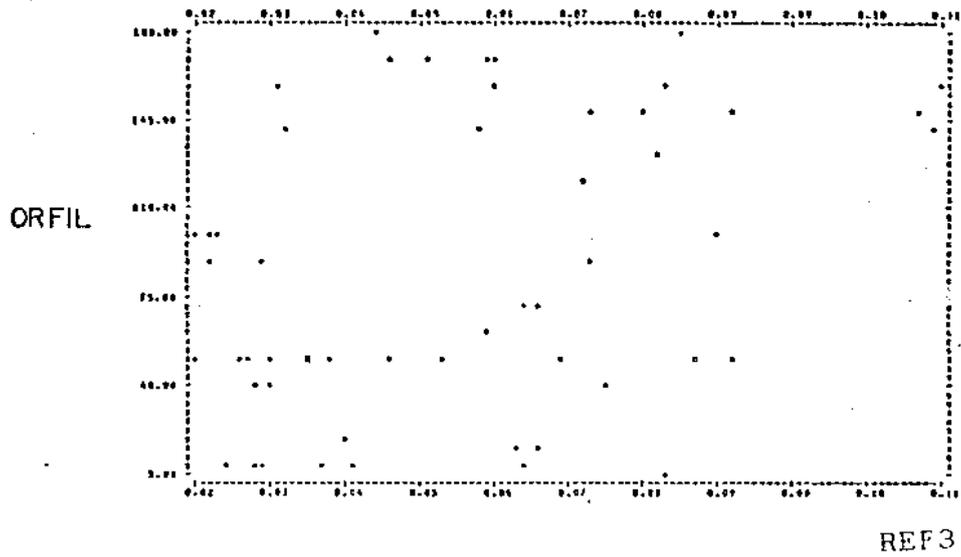
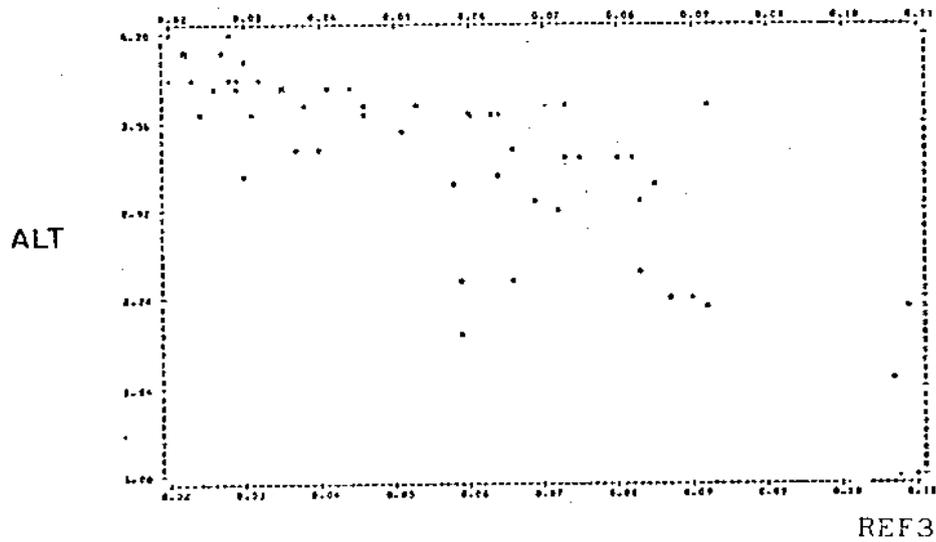


Fig. B.3 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM3, grupo PERA e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORFIL, (d) ALT, (e) SUB, (f) UNIF.

(continua)



(c)



(d)

Fig. B.3 - Continuação.

(continua)

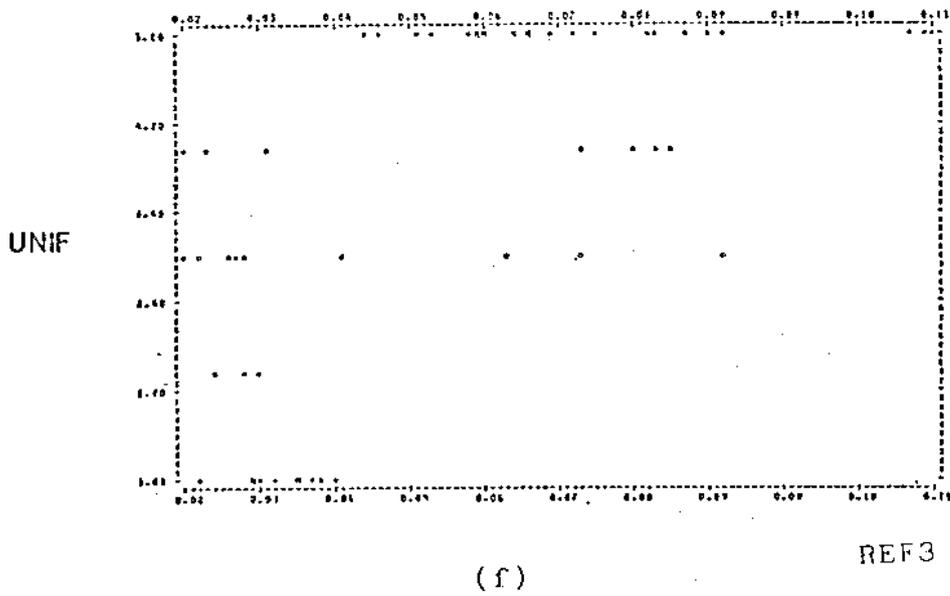
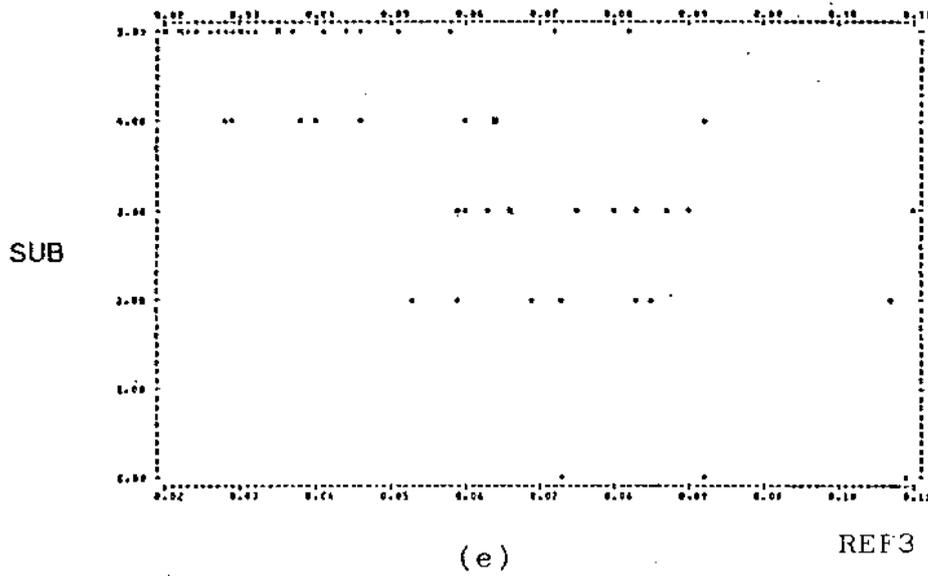


Fig. 3 - Conclusão.

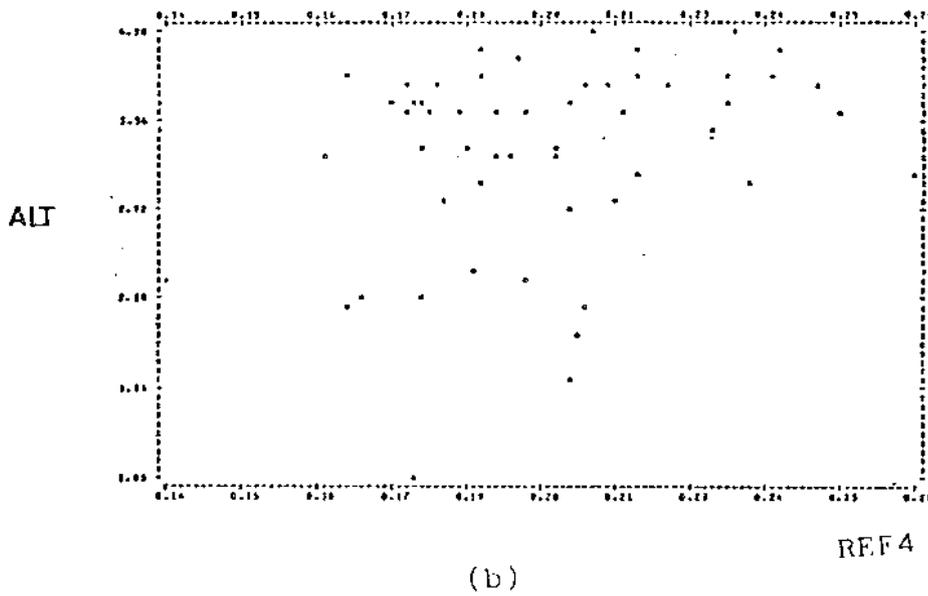
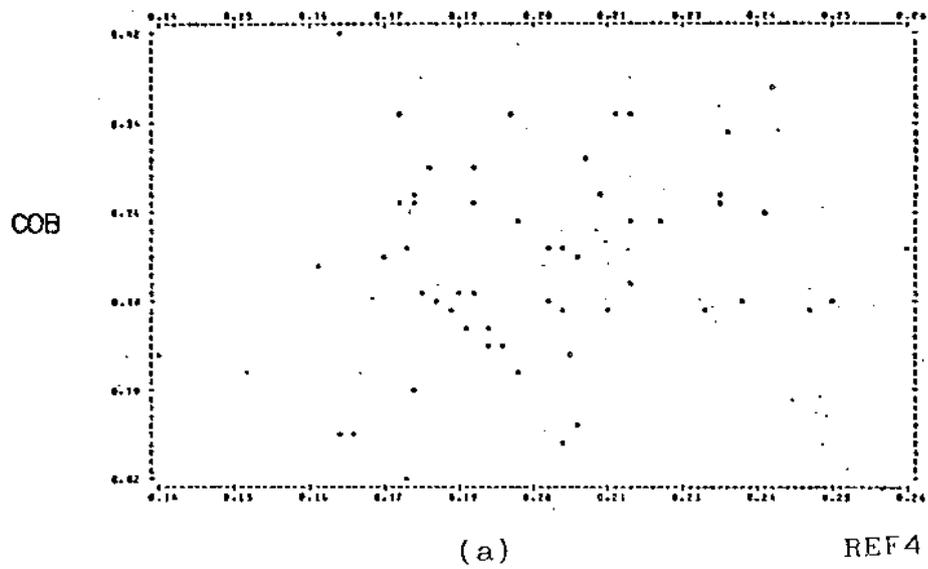
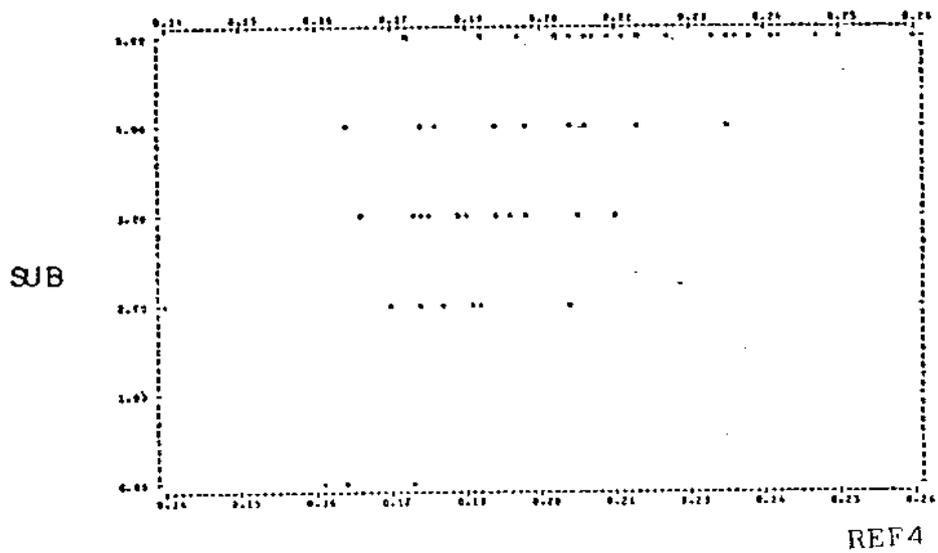


Fig. B.4 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM4, Grupo PERA e os parâmetros significativos (a) COB, (b) ALT e (c) SUB.

(continua)



(c)

Fig. B.4 - Conclusão.

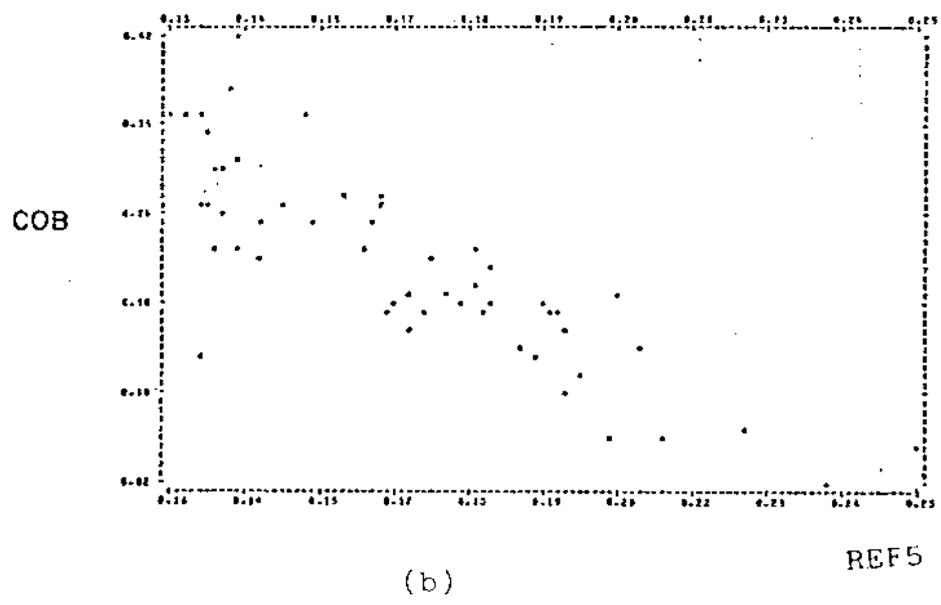
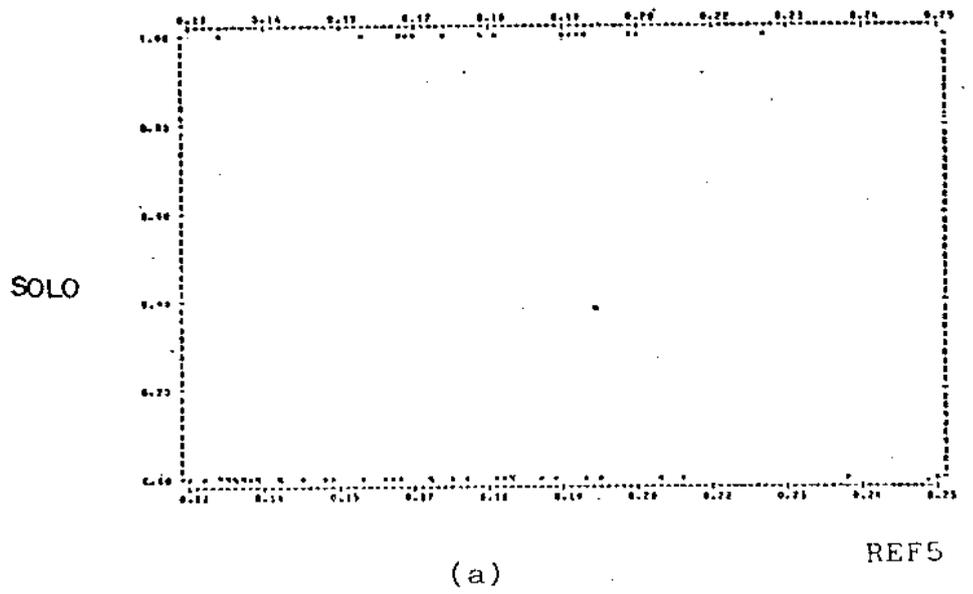


Fig. B.5 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM5, grupo PERA e os parâmetros significativos, (a) SOLO, (b) COB, (c) ORFIL, (d) ORDECL, (e) ALT, (f) SUB, (g) UNIF.

(continua)

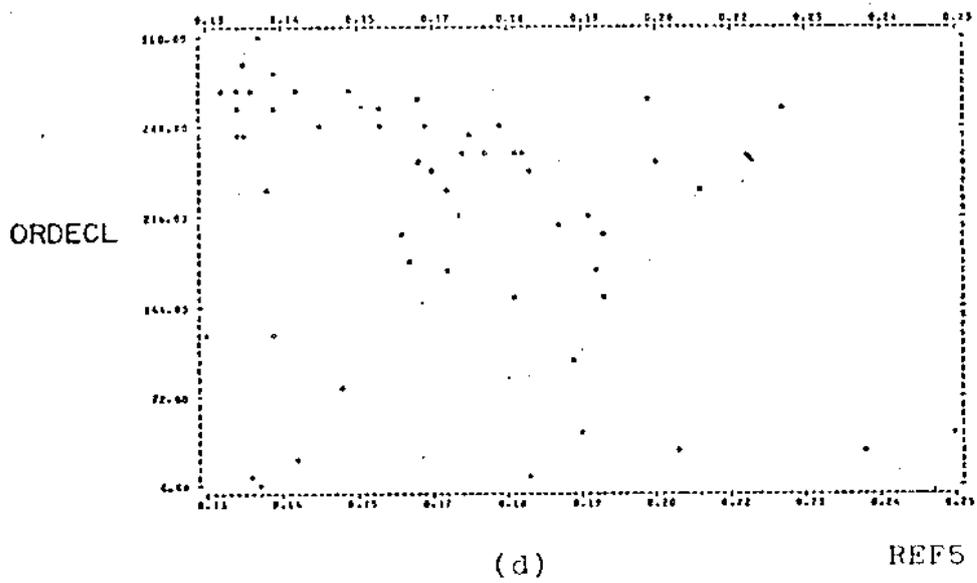
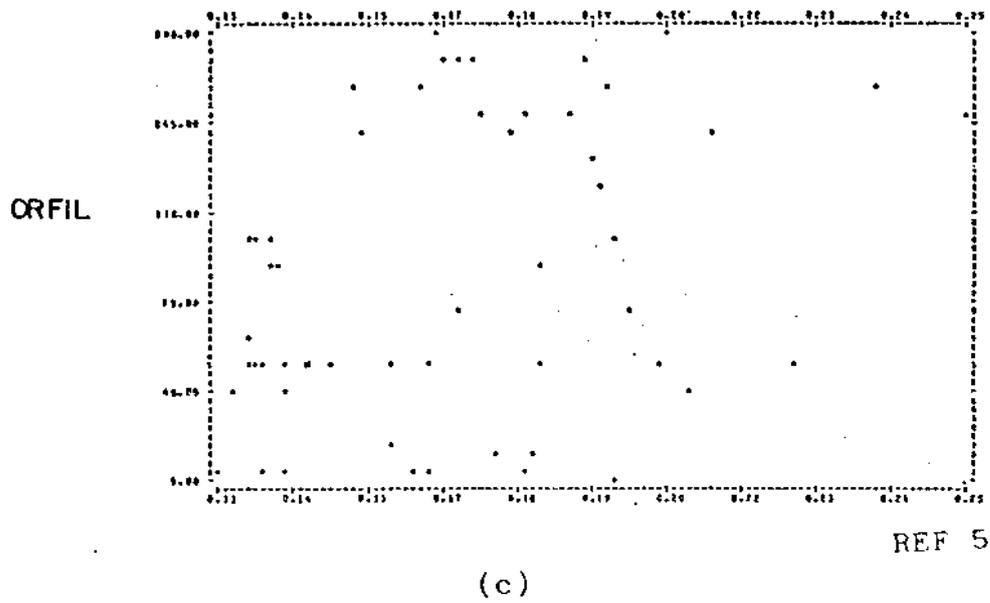
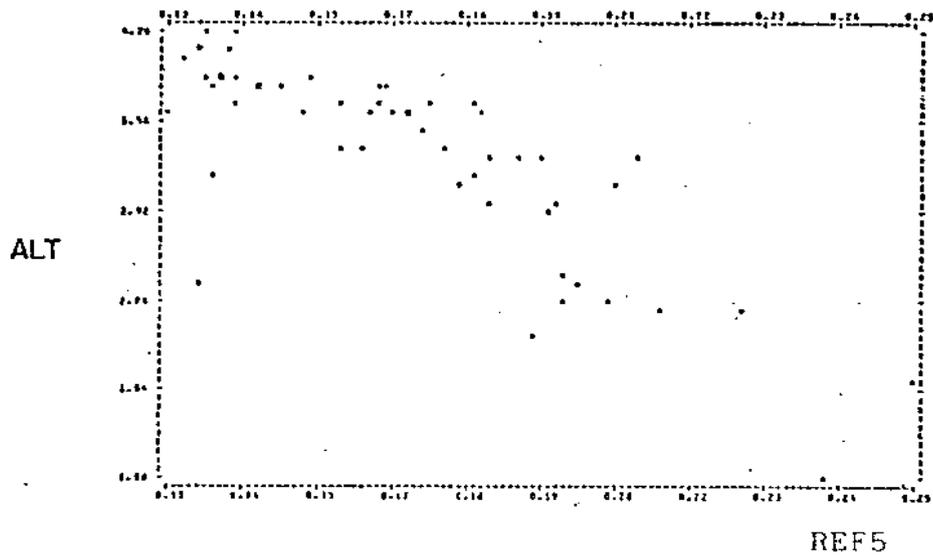
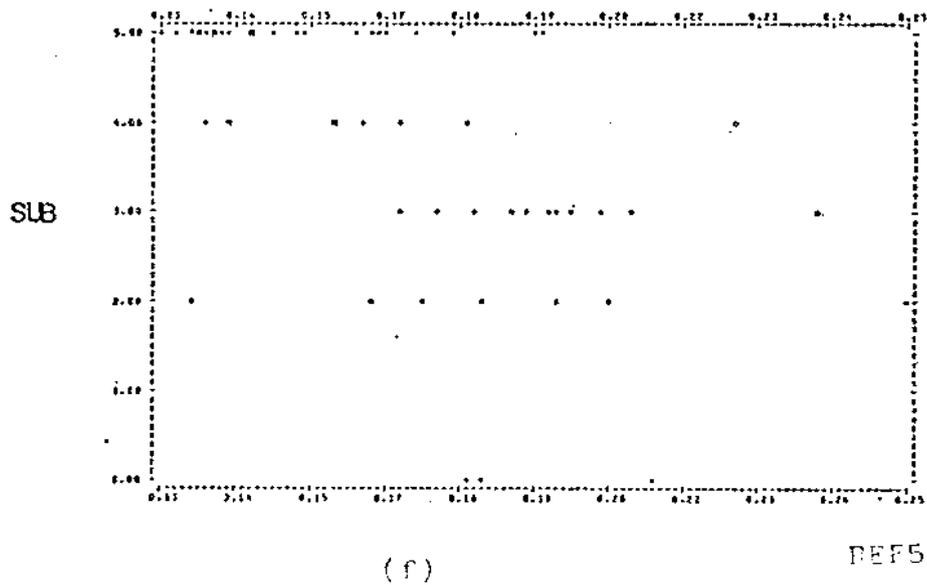


Fig. B.5 - Continuação.

(continua)



(e)



(f)

Fig. B.5 - Continuação.

(continua)

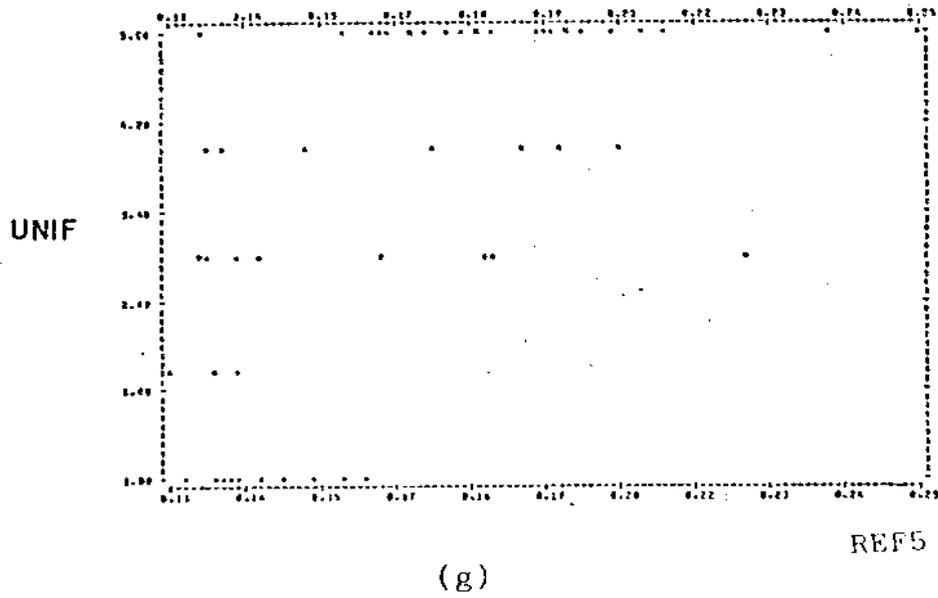


Fig. B.5 - Conclusão.

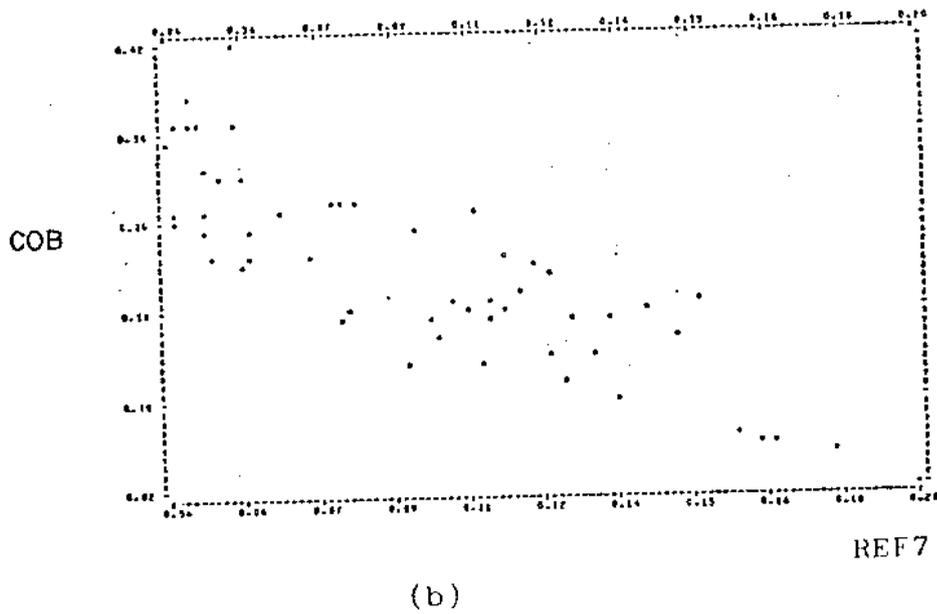
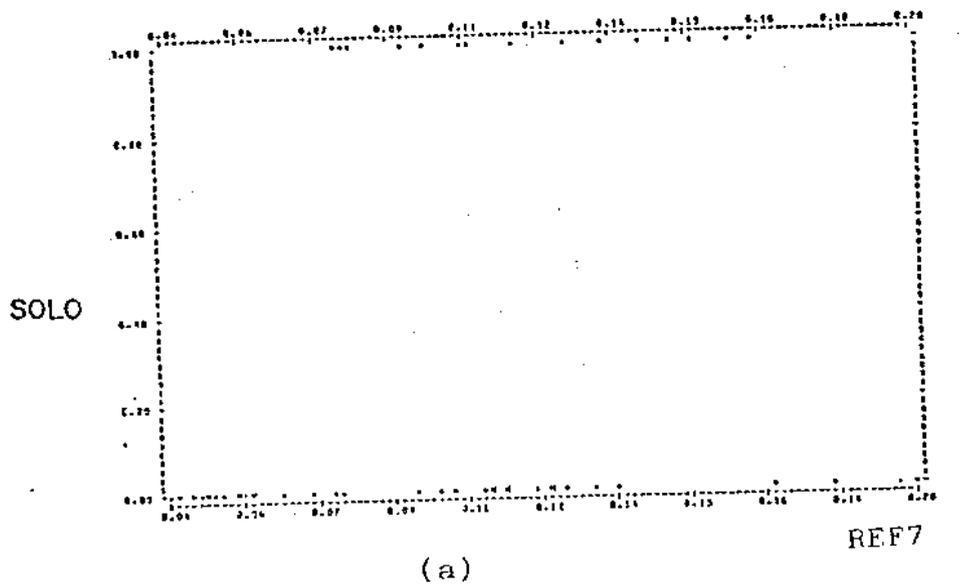


Fig. B.6 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM7, grupo PERA e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORFIL, (d) ALT, (e) SUB, (f) UNIF.

(continua)

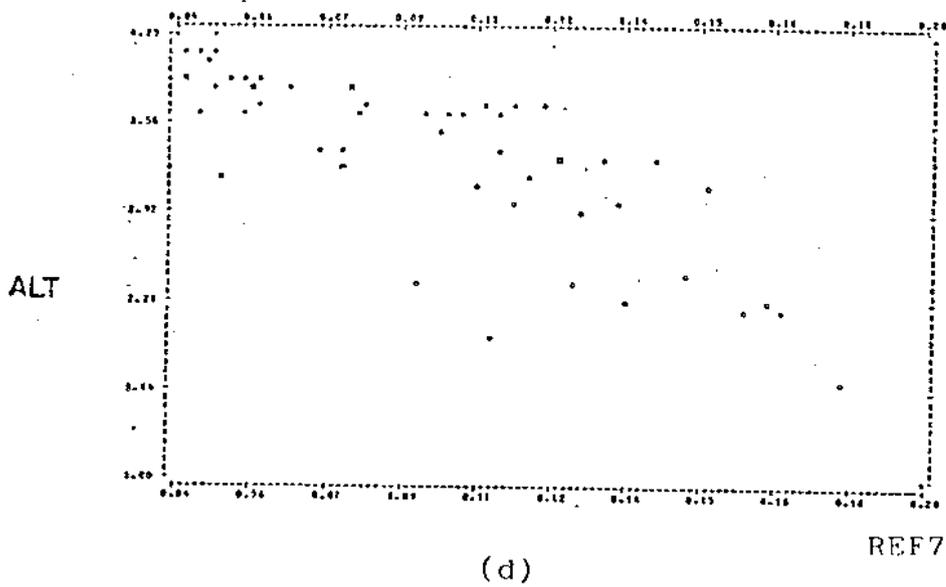
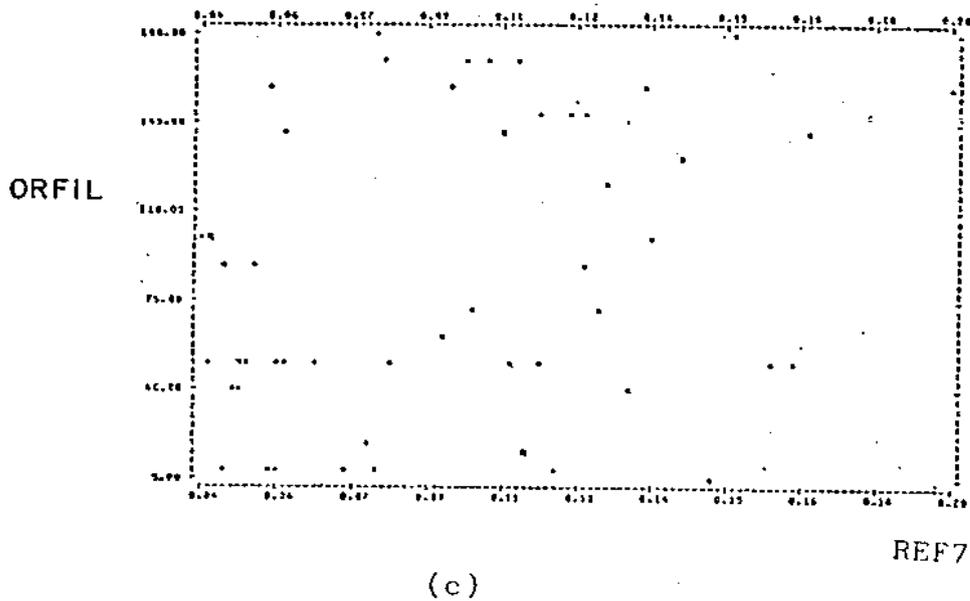
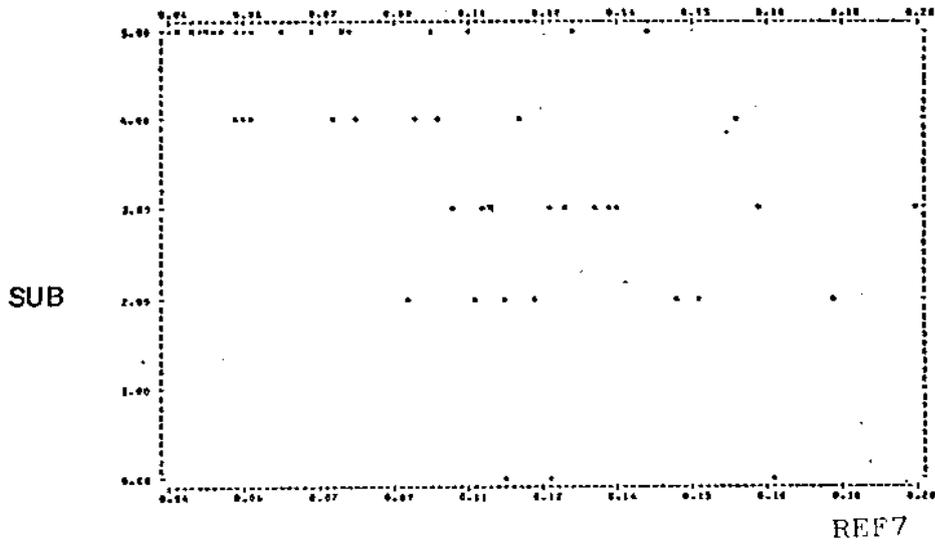
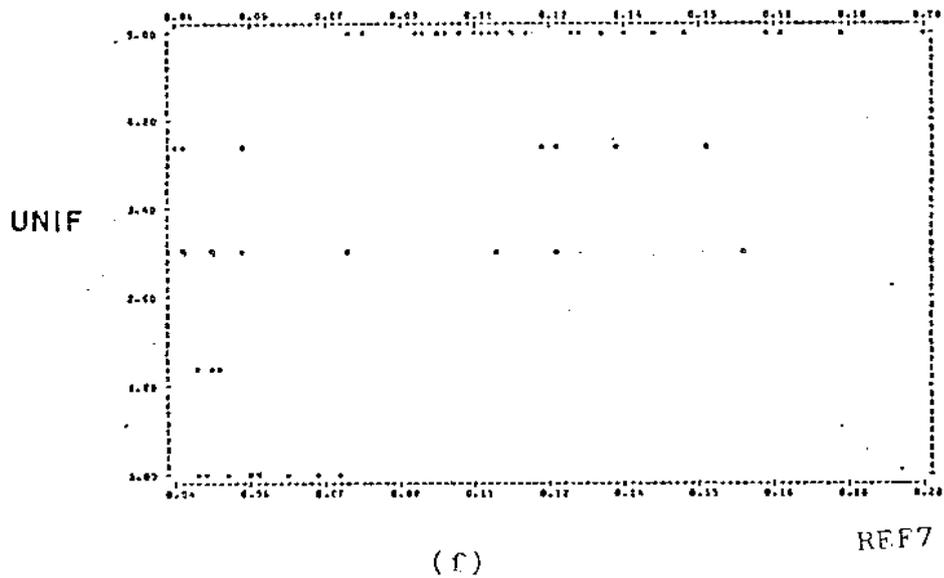


Fig. B.6 - Continuação.

(continua)



(e)



(f)

Fig. B.6 - Conclusão.

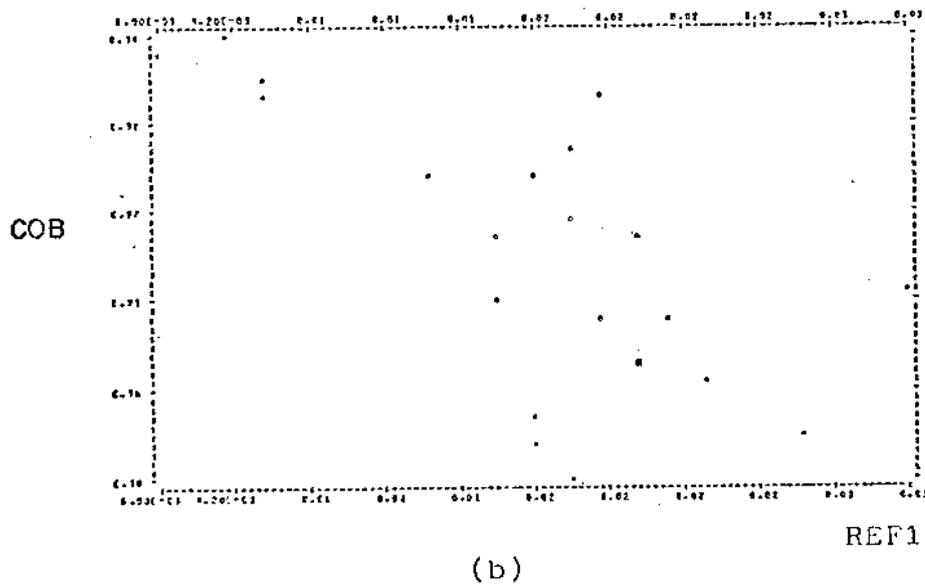
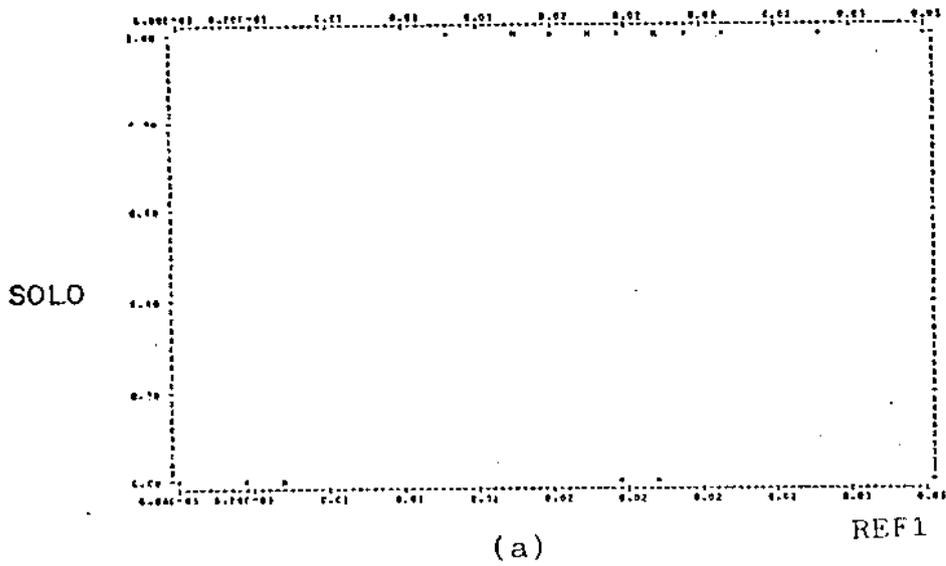
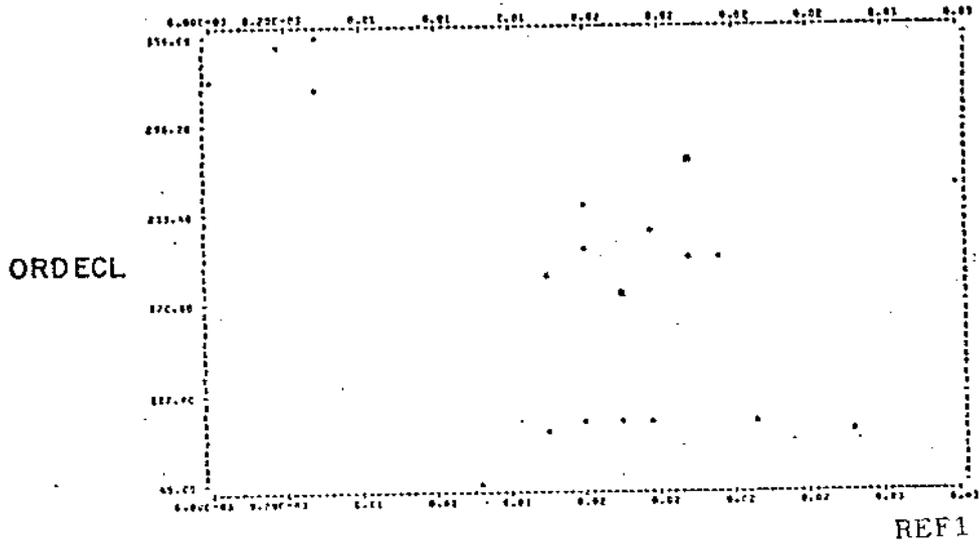
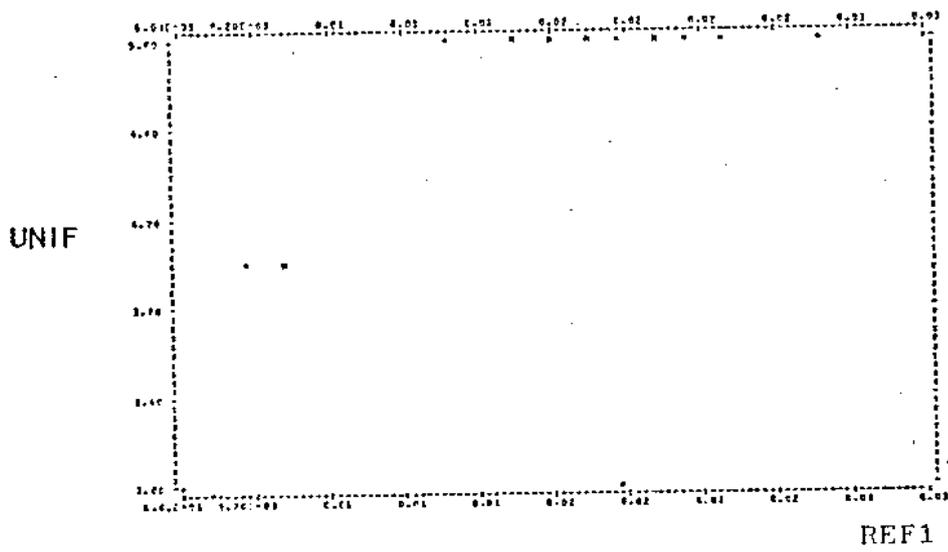


Fig. B.7 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM1, grupo NATAL e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORDECL, (d) UNIF.

(continua)



(c)



(d)

Fig. B.7 - Conclusão.

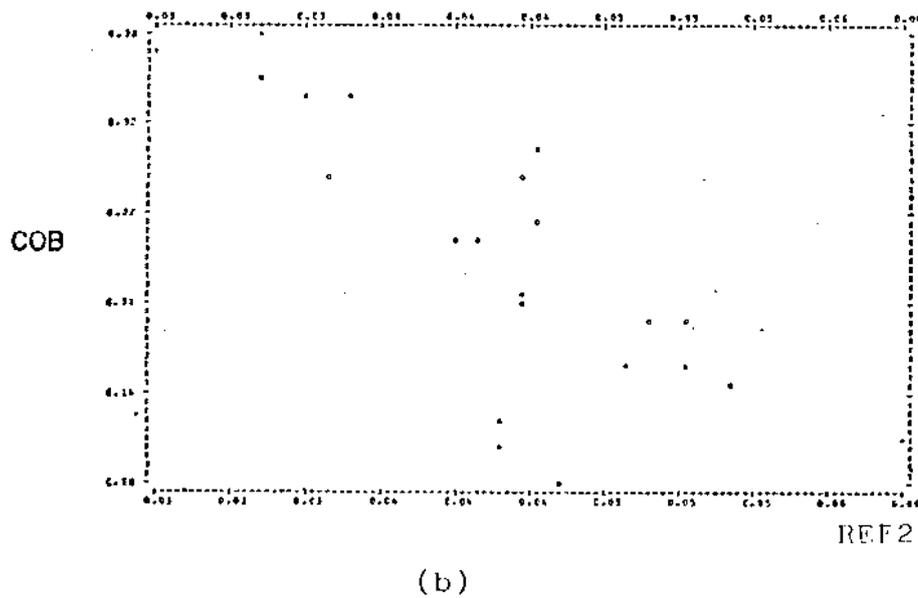
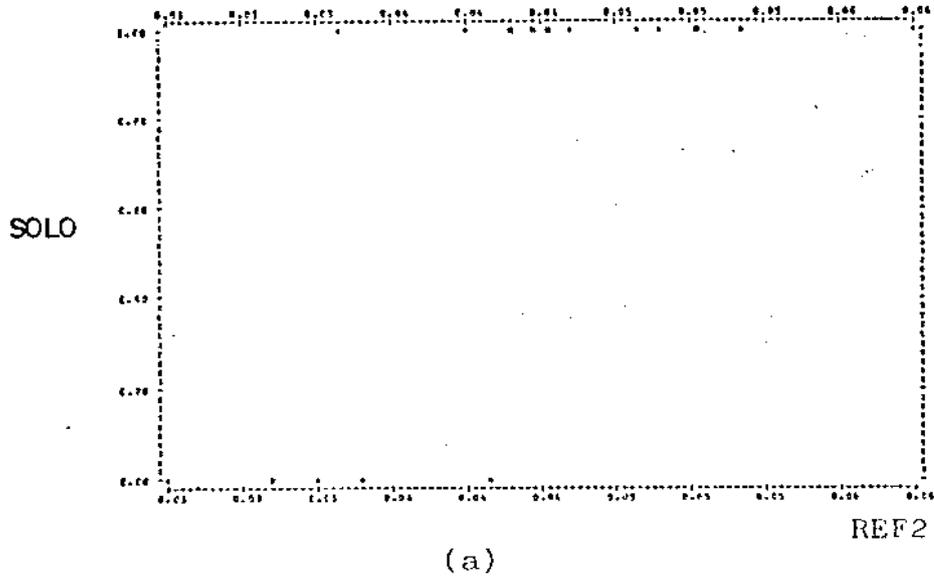


Fig. B.8 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM2, grupo NATAL e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORDECL, (d) UNIF.

(continua)

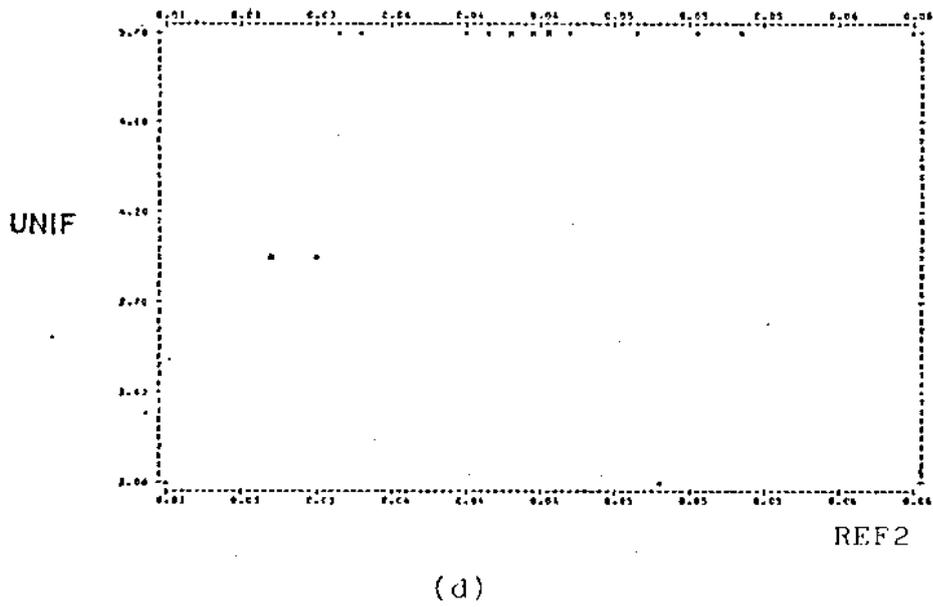
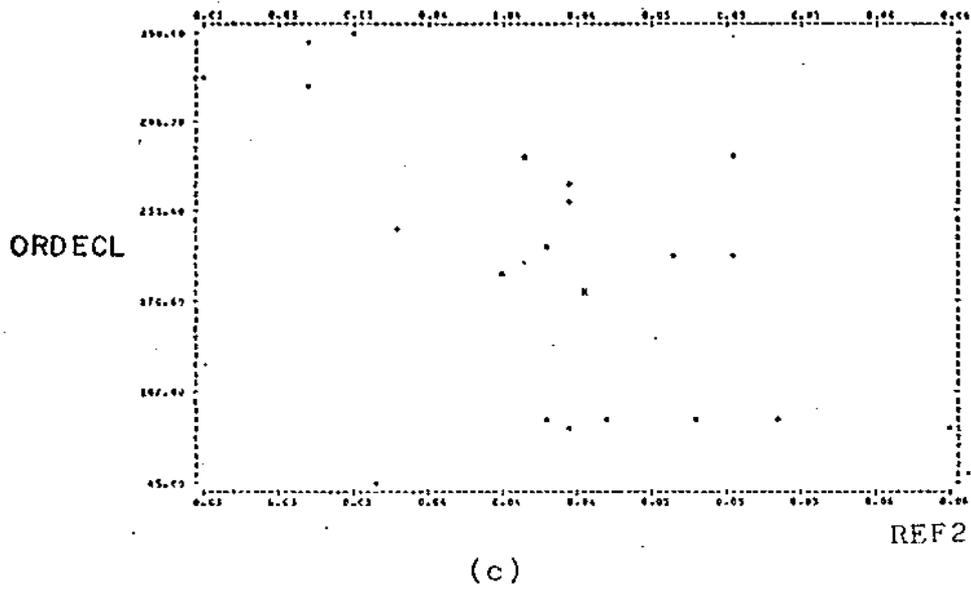


Fig. B.8 - Conclusão.

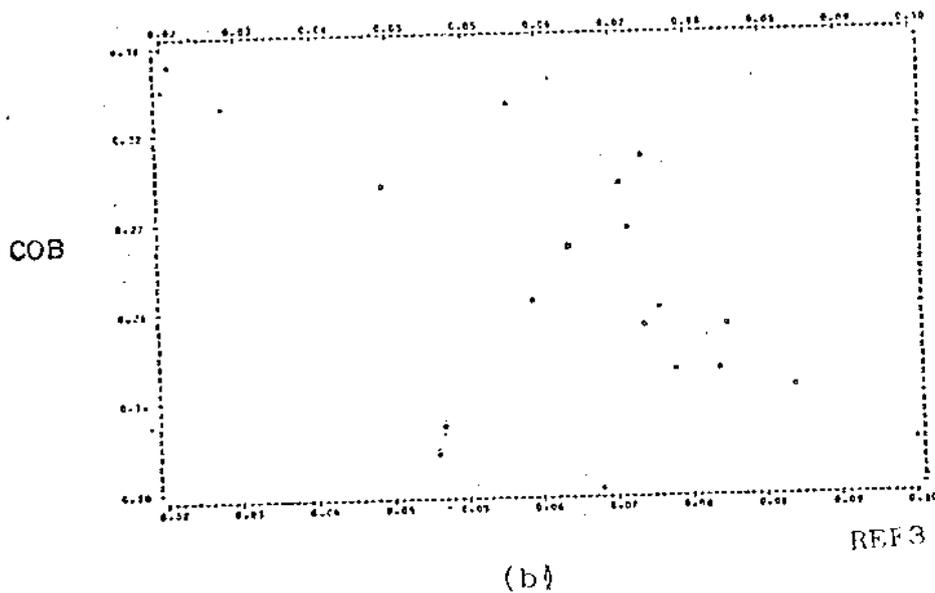
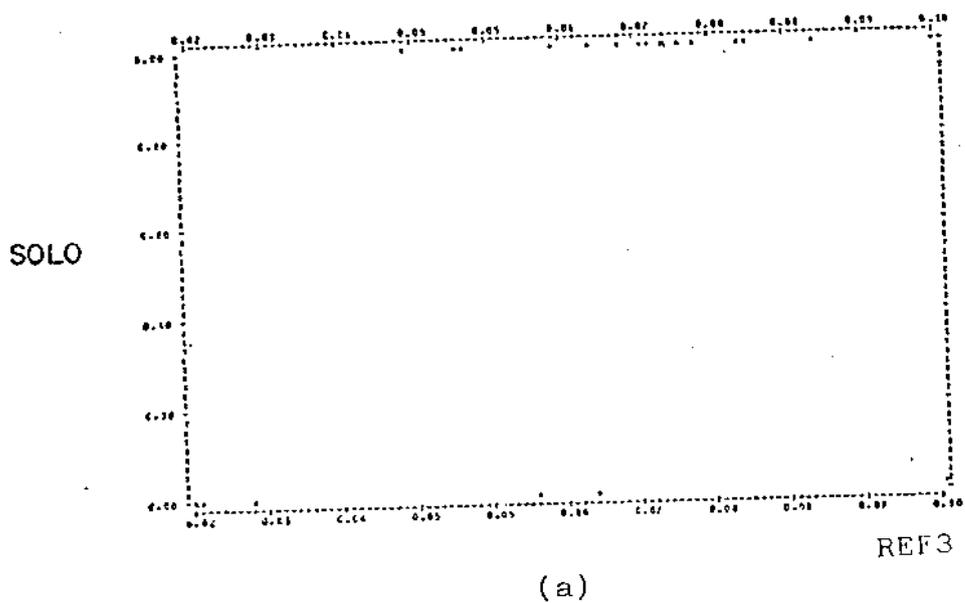
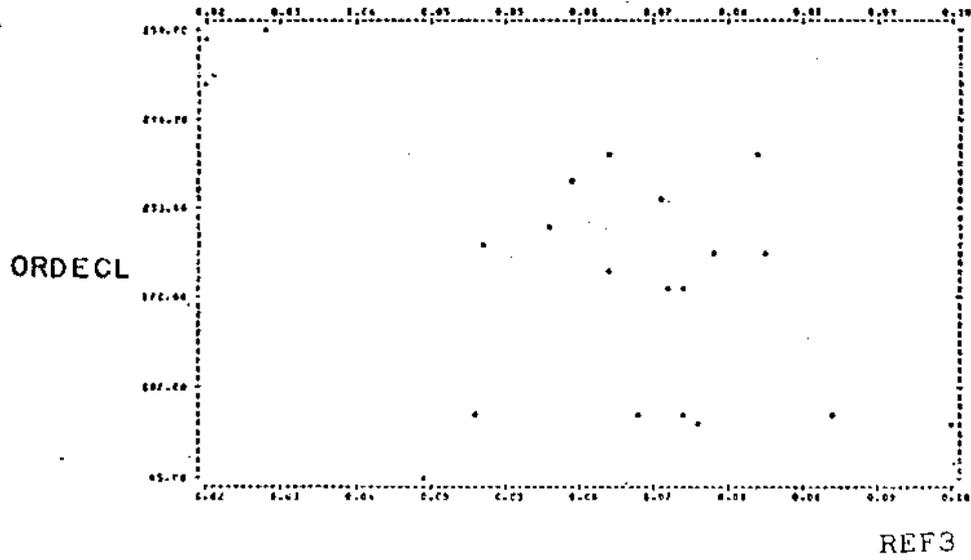
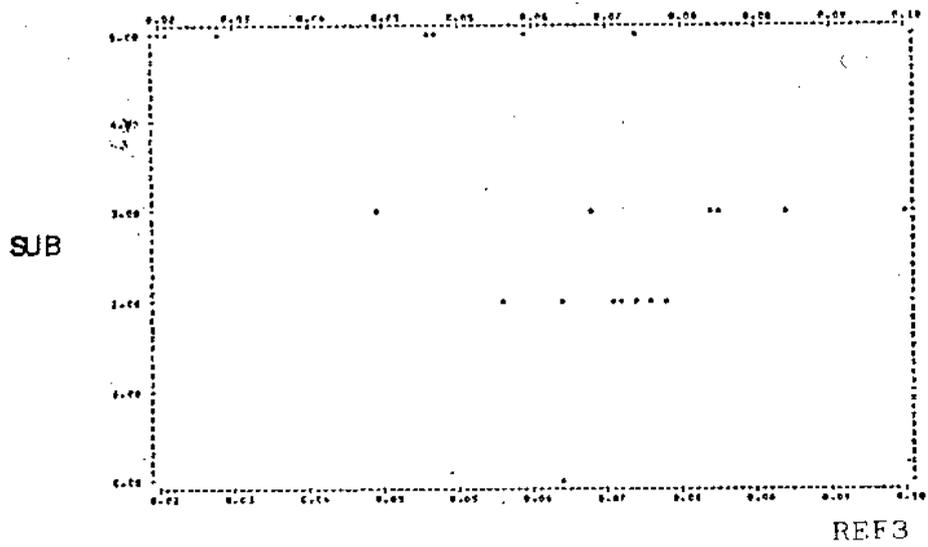


Fig. B.9 - Relacionamentos entre a reflectância para a banda TM3 e os parâmetros significativos, (a) SOLO, (b) COB, (c) ORDECL, (d) SUB, (e) UNIF.

(continua)



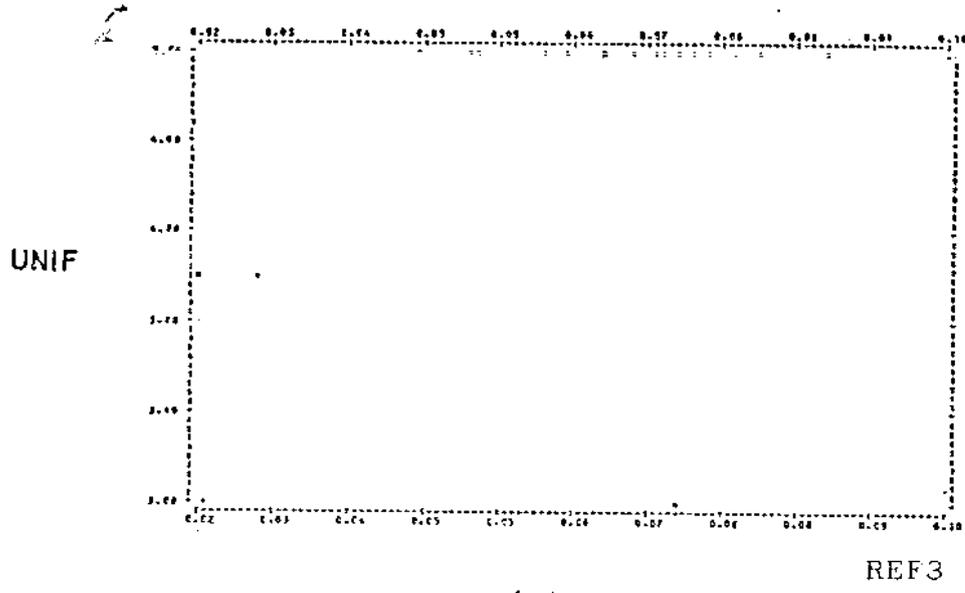
(c)



(d)

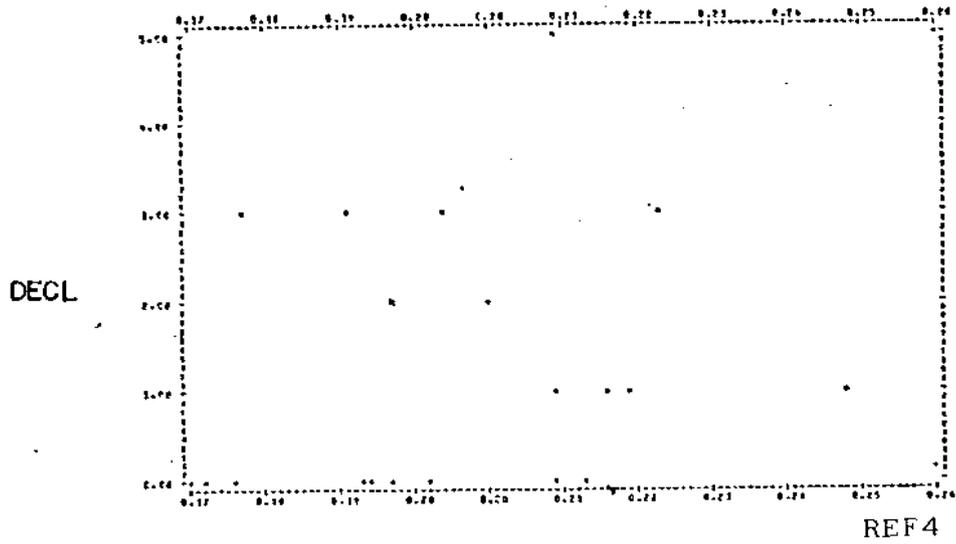
Fig. B.9 - Continuação.

(continua)

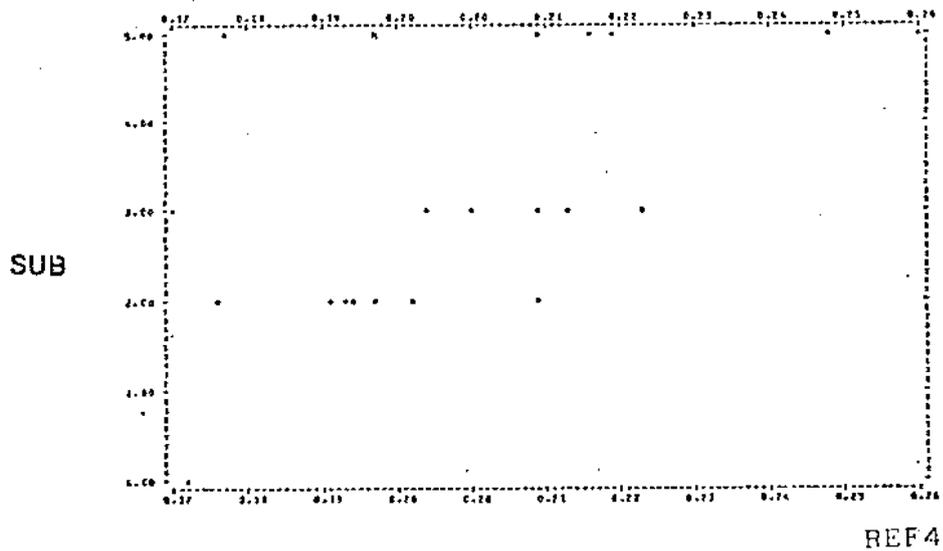


(e)

Fig. B.9 - Conclusão.



(a)



(b)

Fig. B.10 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM4, grupo NATAL e os parâmetros significativos (a) DECL, (b) SUB.

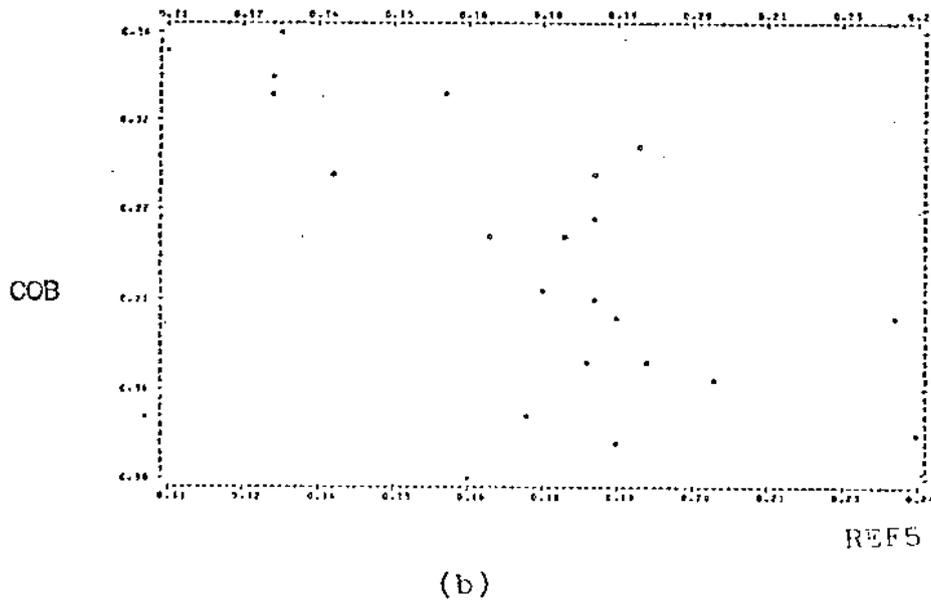
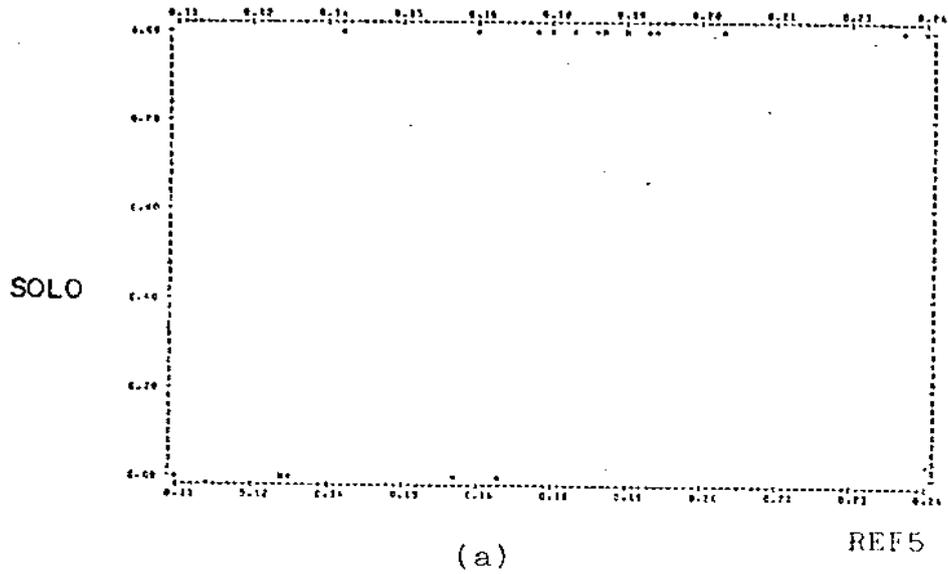
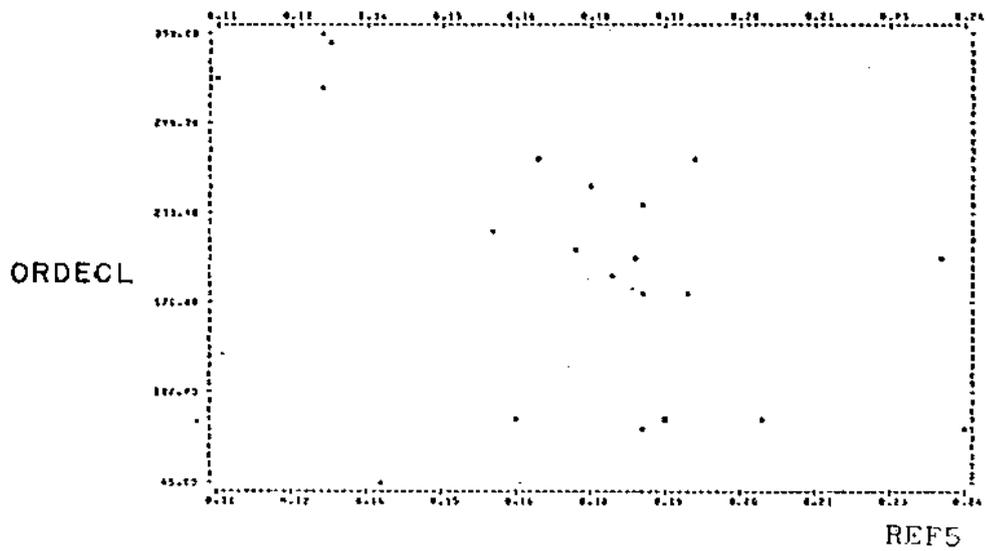
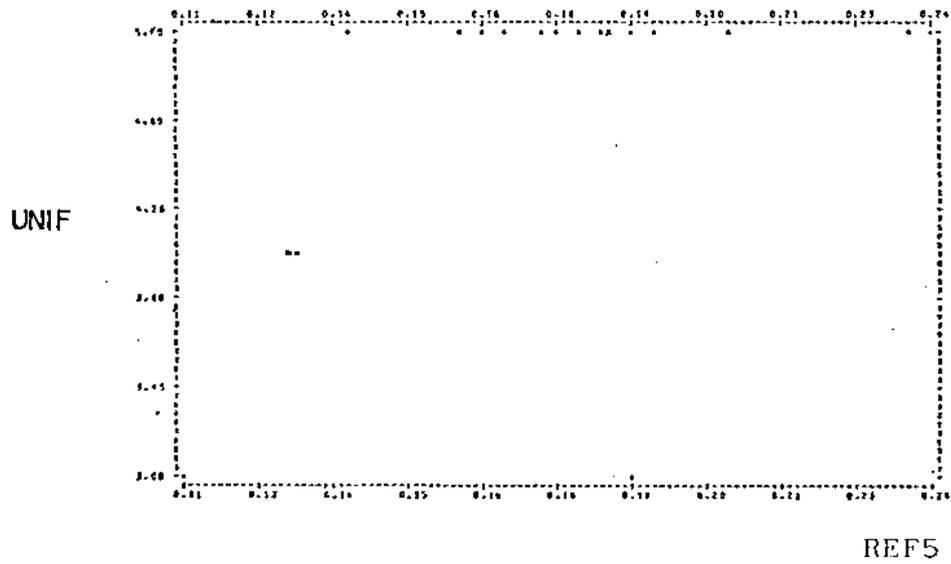


Fig. B.11 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM5, grupo NATAL e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORDECL, (d) UNIF.

(continua)

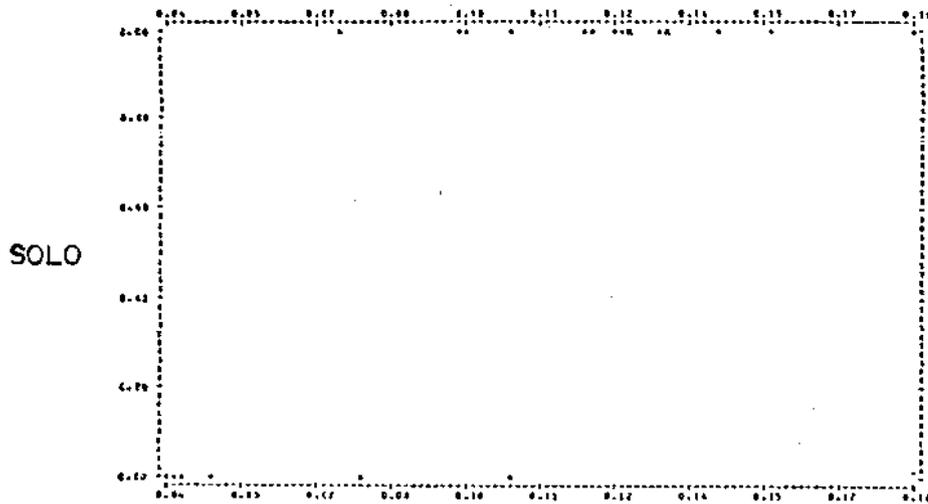


(c)

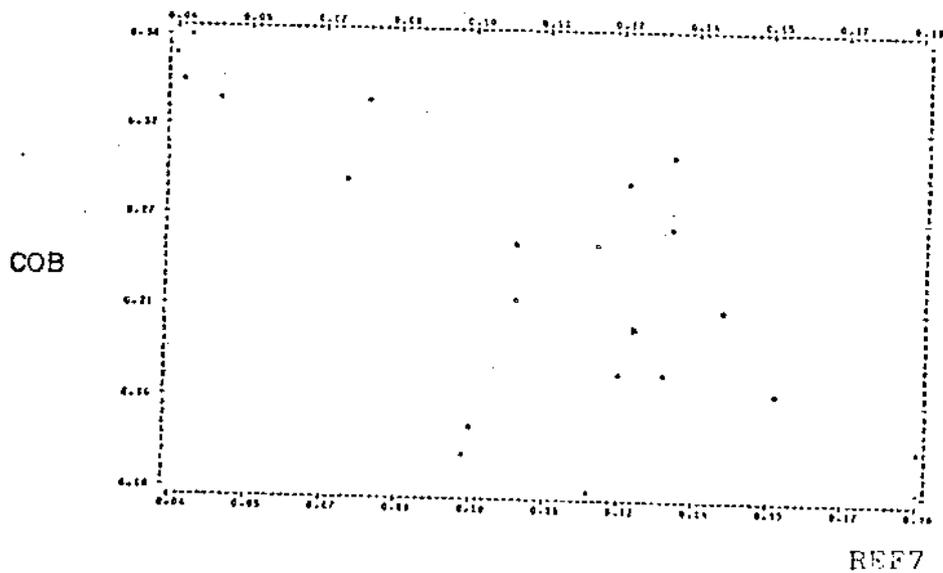


(d)

Fig. B.11 - Conclusão.



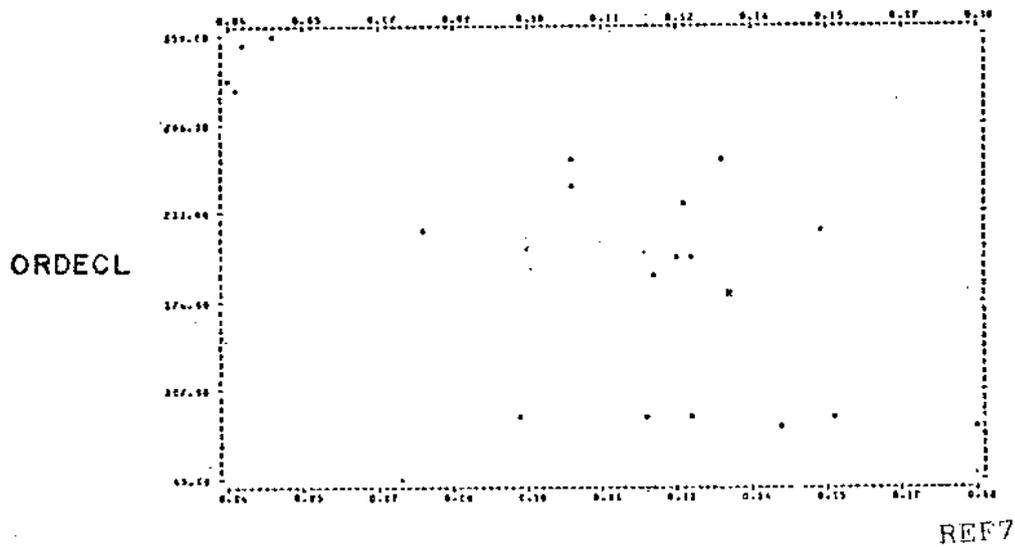
(a)



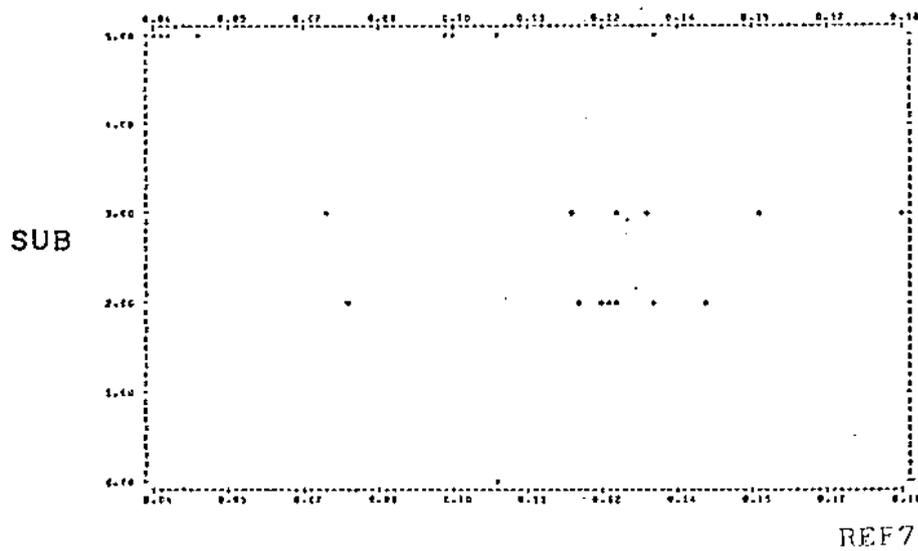
(b)

Fig. B.12 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM7, grupo NATAL e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORDECL, (d) SUB, (e) UNIF.

(continua)



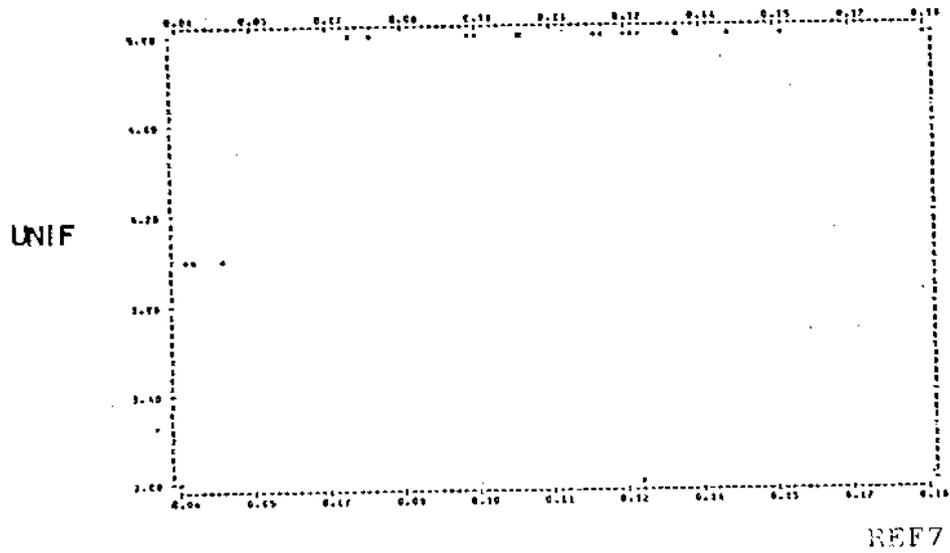
(c)



(d)

Fig. B.12 - Continuação.

(continua)



(e)

Fig. B.12 - Conclusão.

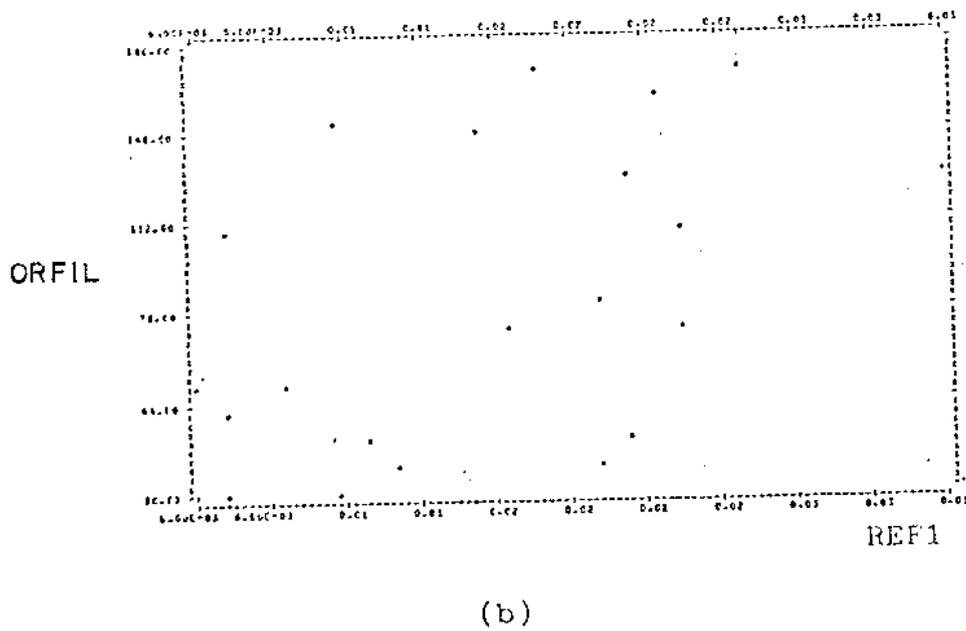
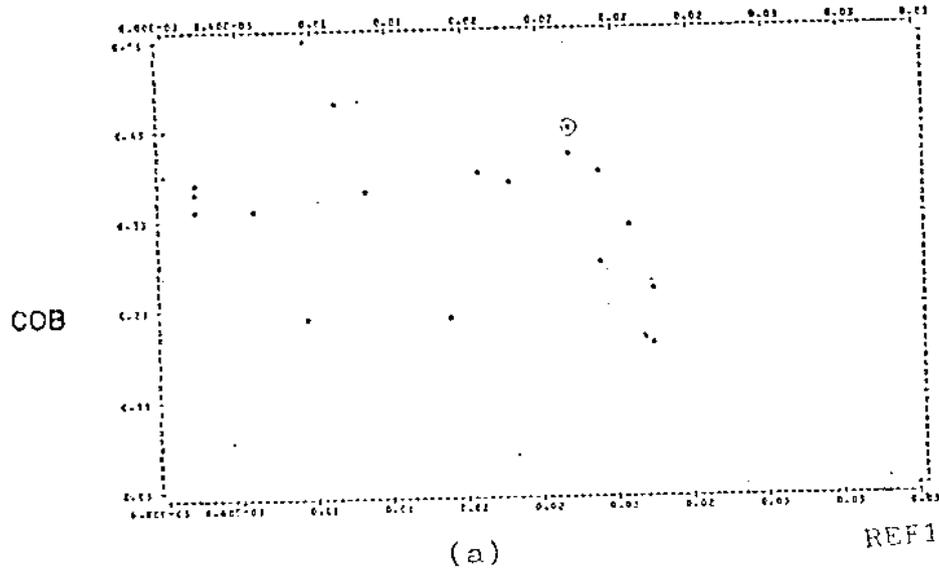
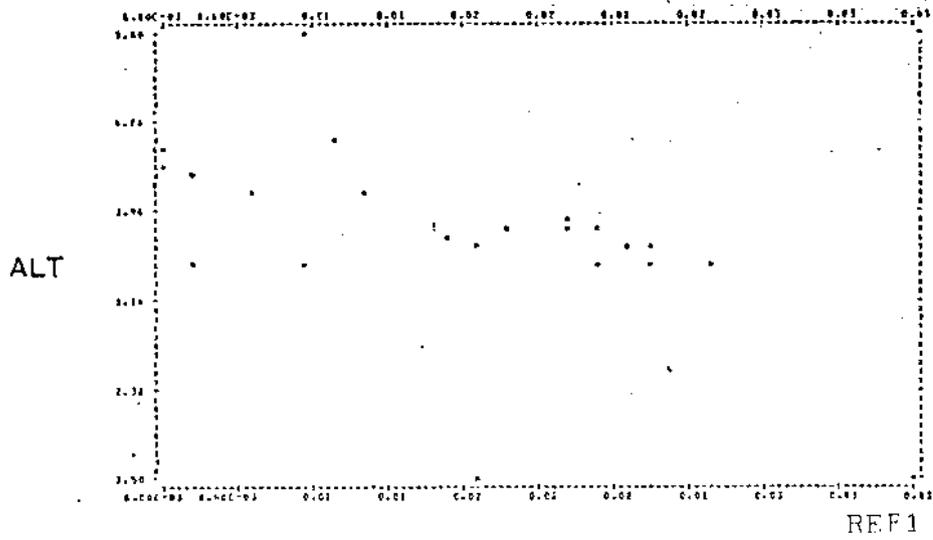
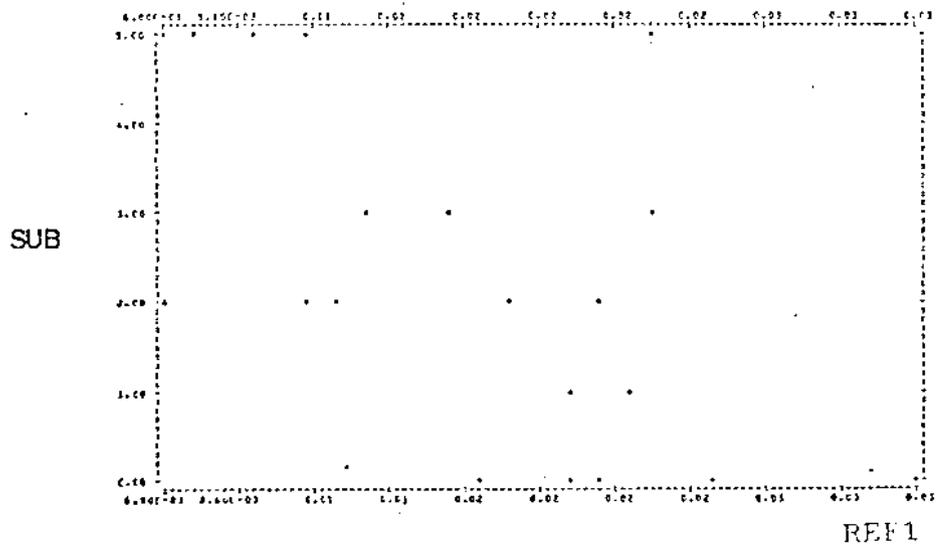


Fig. B.13 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM1, grupo VALÊNCIA e os parâmetros significativos (a) COB, (b) ORFIL, (c) ALT, (d) SUB e (e) UNIF.

(continua)



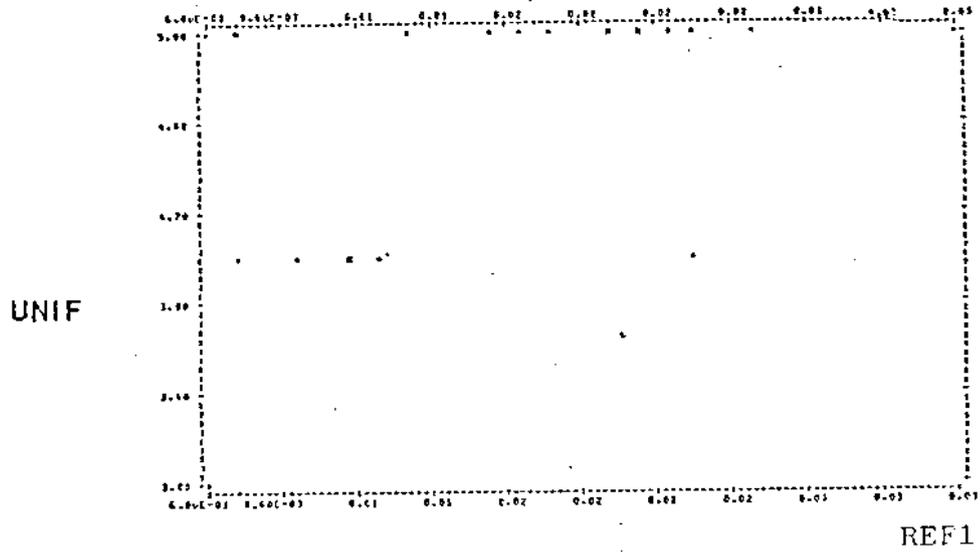
(c)



(d)

Fig. B.13 - Continuação.

(continua)



(e)

Fig. B.13 - Conclusão.

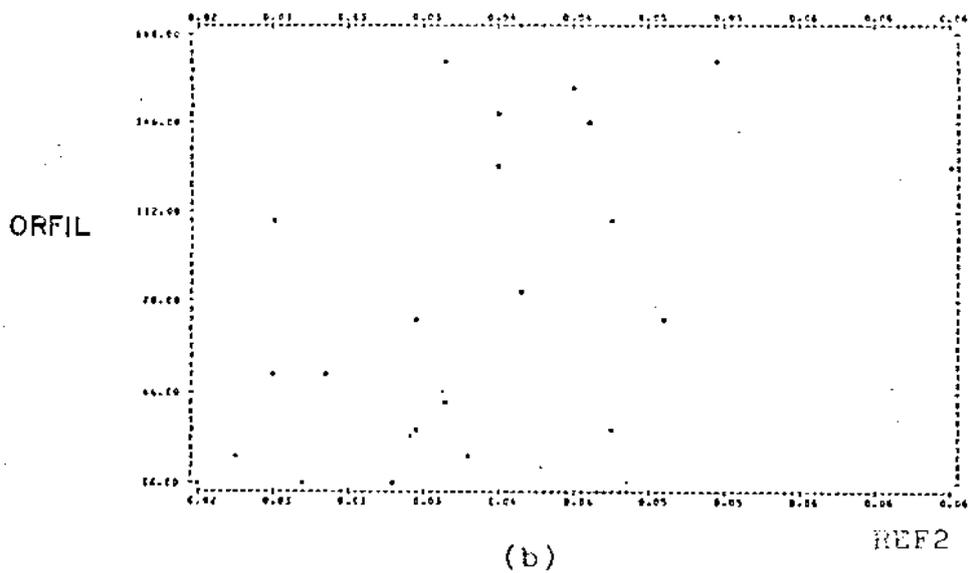
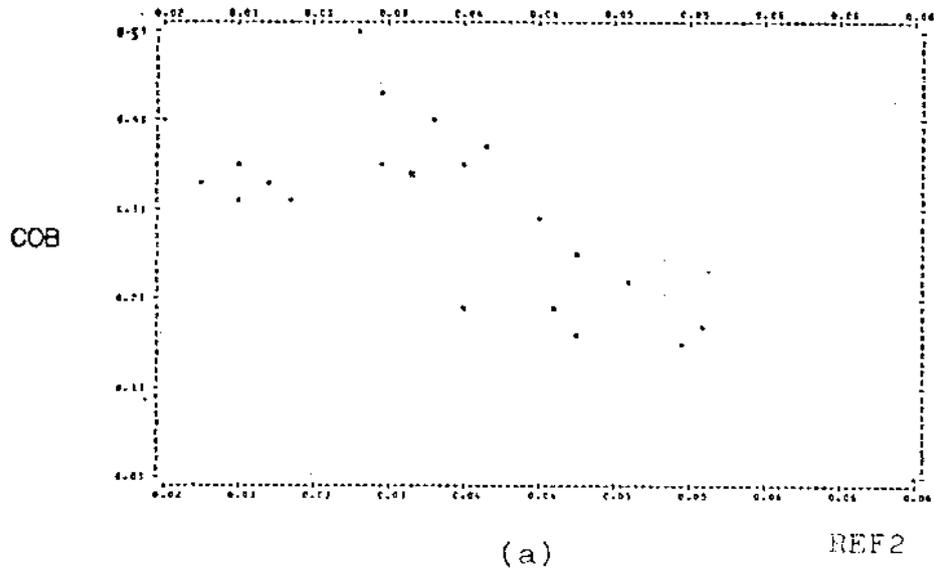


Fig. B. 14 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM2, grupo VALÊNCIA e os parâmetros significativos (a) COB, (b) ORFIL, (c) ALT, (d) SUB.

(continua)

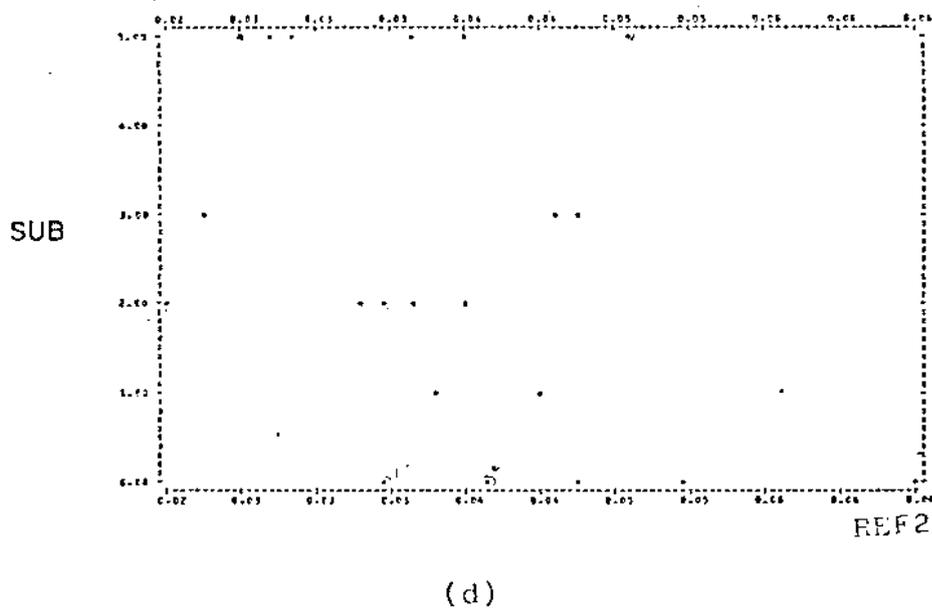
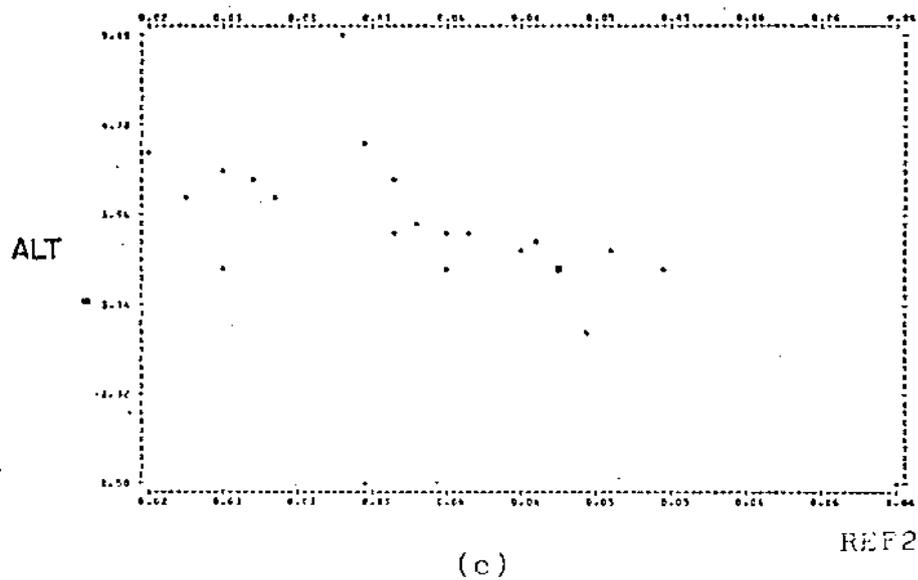


Fig. B.14 - Conclusão.

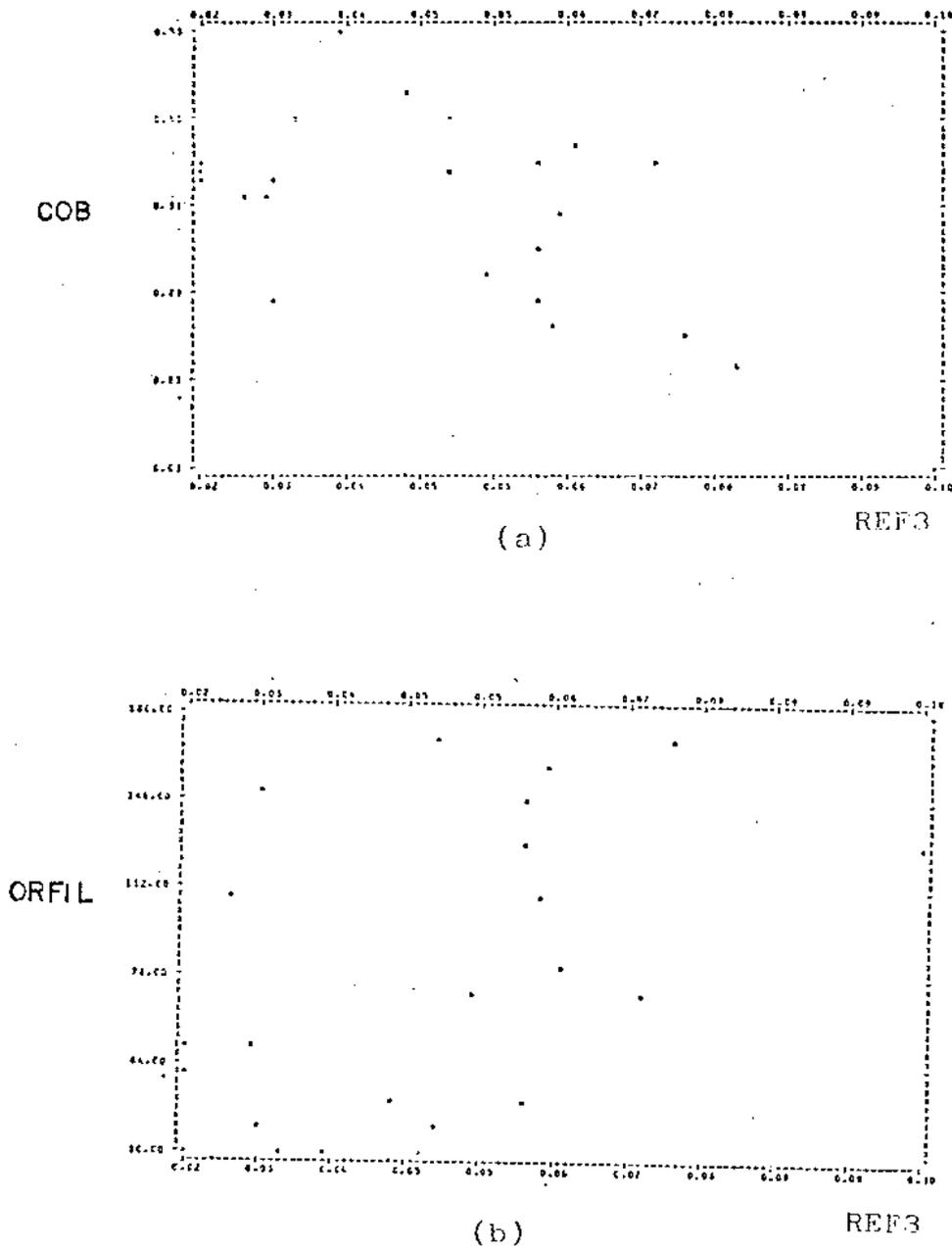
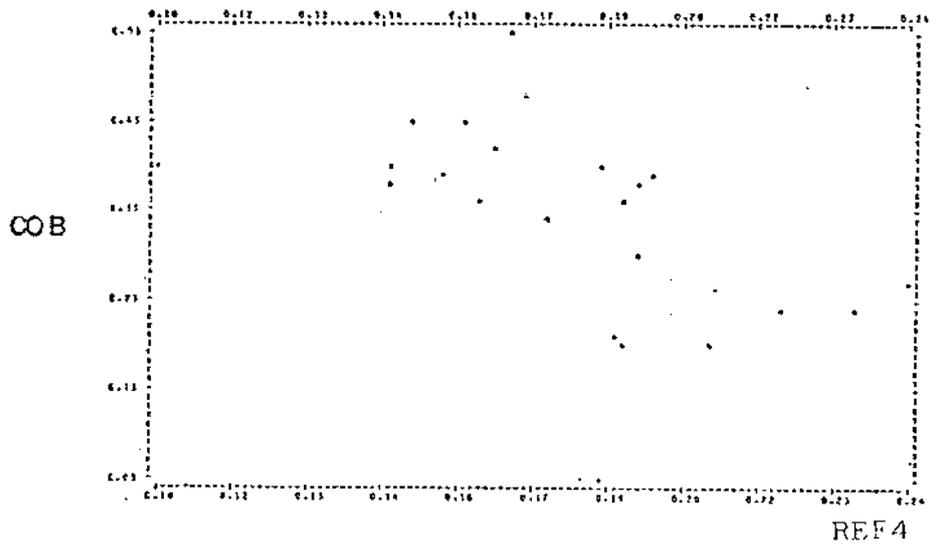


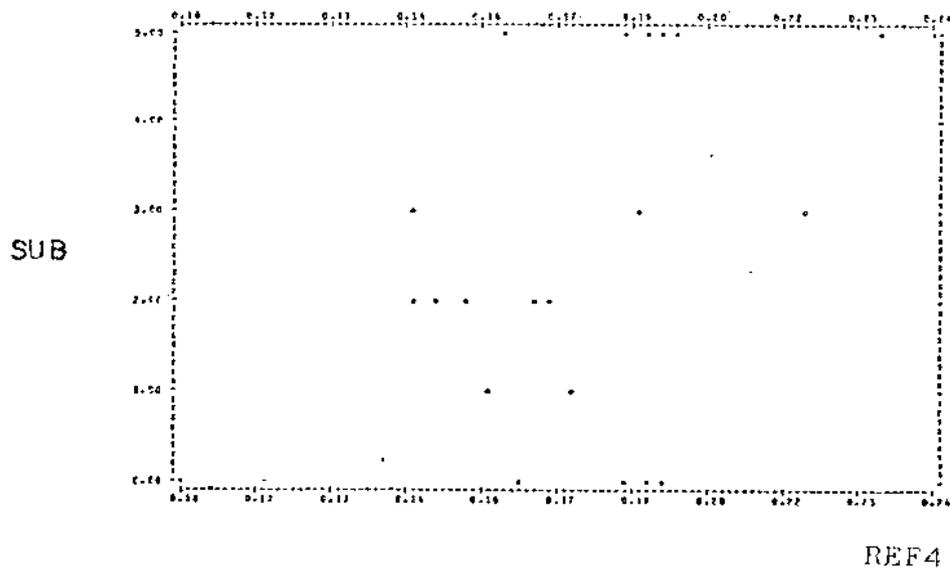
Fig. B.15 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM3, grupo VALÊNCIA e os parâmetros significativos (a) COB, (b) ORFIL, (c) ALT, (d) SUB, (e) UNIF.

(continua)





(a)



(b)

Fig. B.16 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM4, grupo VALÊNCIA e os parâmetros significativos (a) COB, (b) SUB).

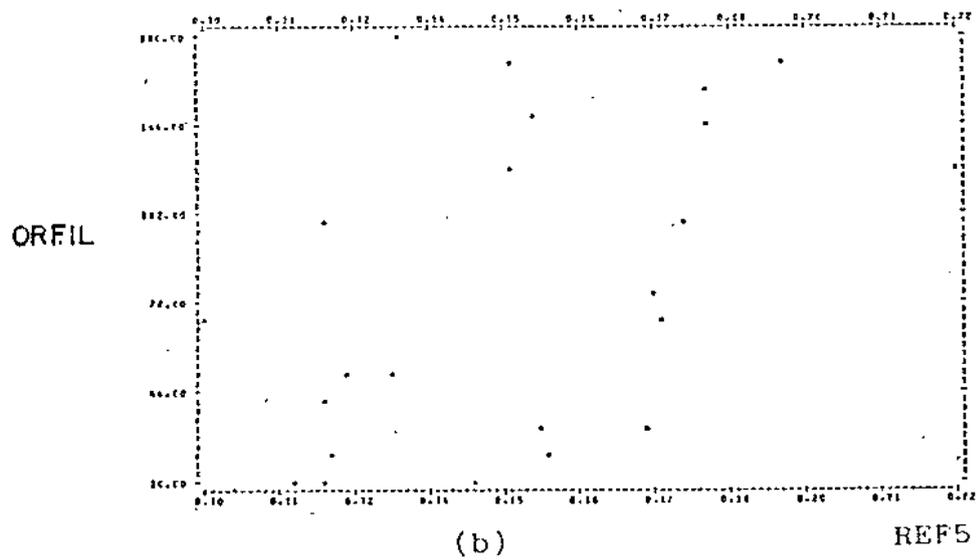
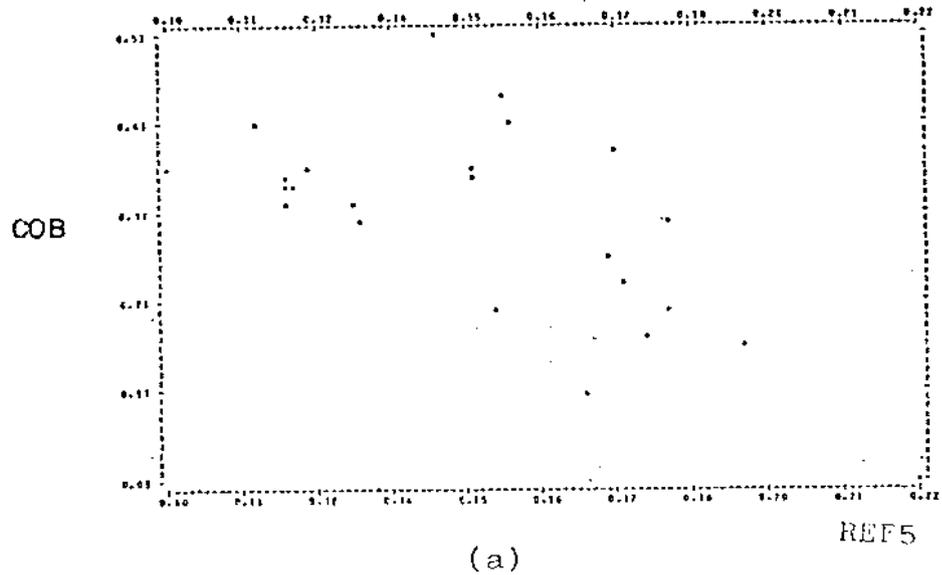
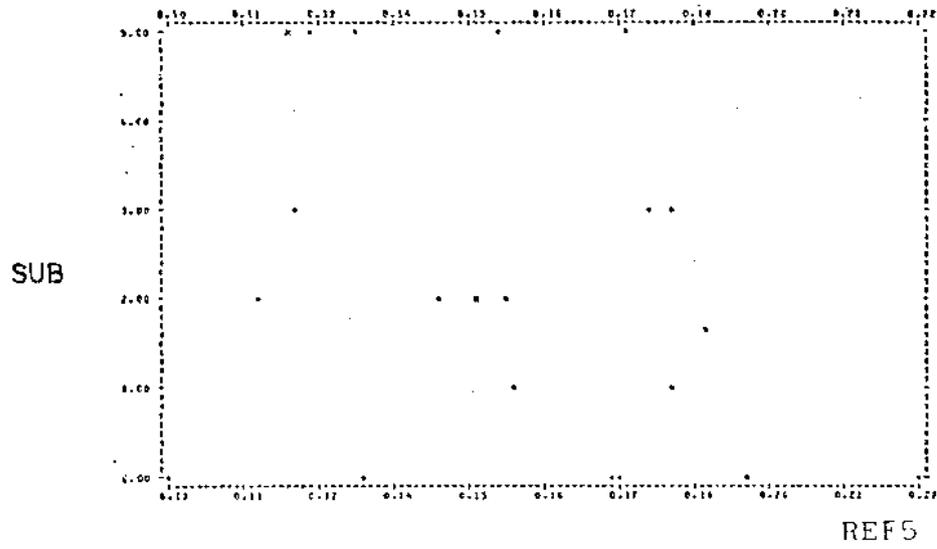


Fig. B.17 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM5, grupo VALÊNCIA e os parâmetros significativos (a) COB, (b) ORFIL, (c) SUB.

(continua)



(c)

Fig. B.17 - Conclusão.

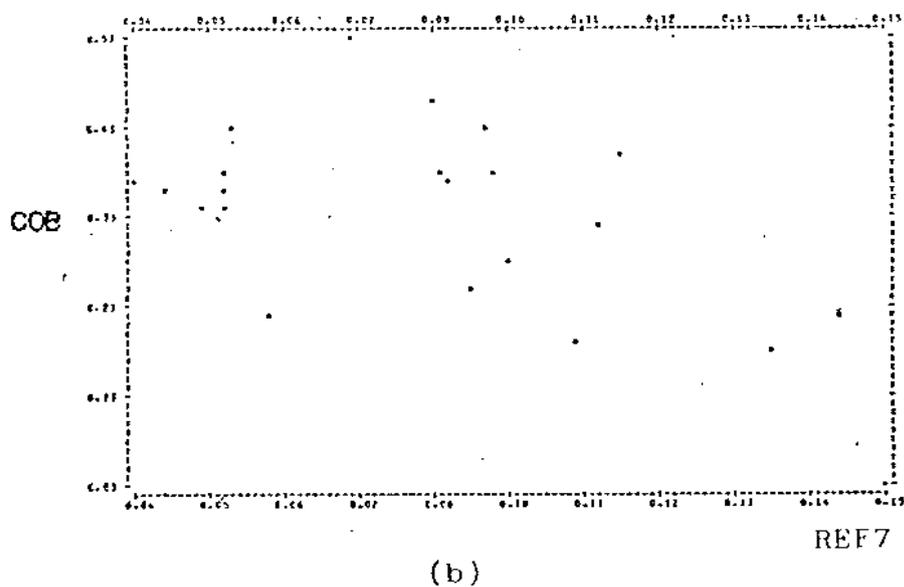
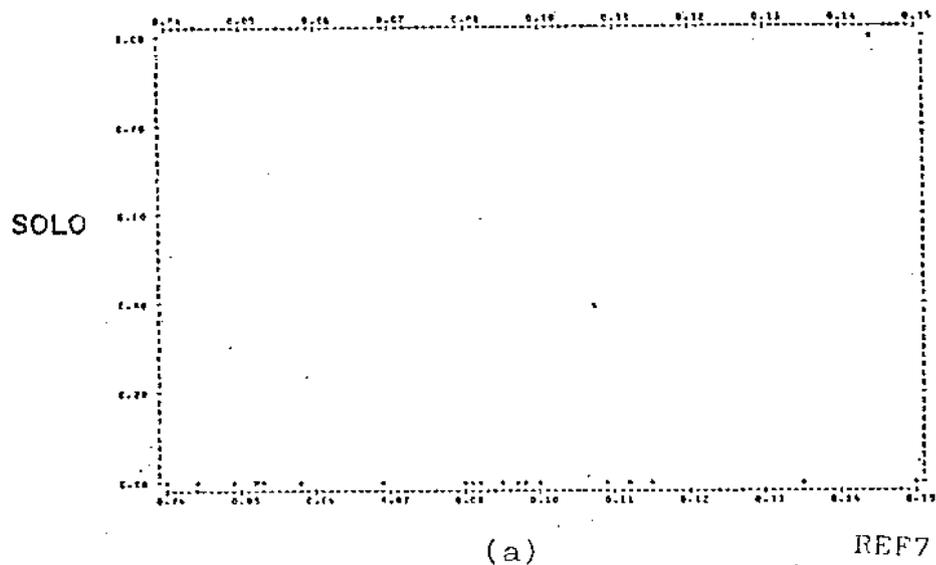


Fig. B.18 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM7, grupo VALÊNCIA e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB, (c) ORFIL, (d) ALT, (e) SUB, (f) UNIF.

(continua)

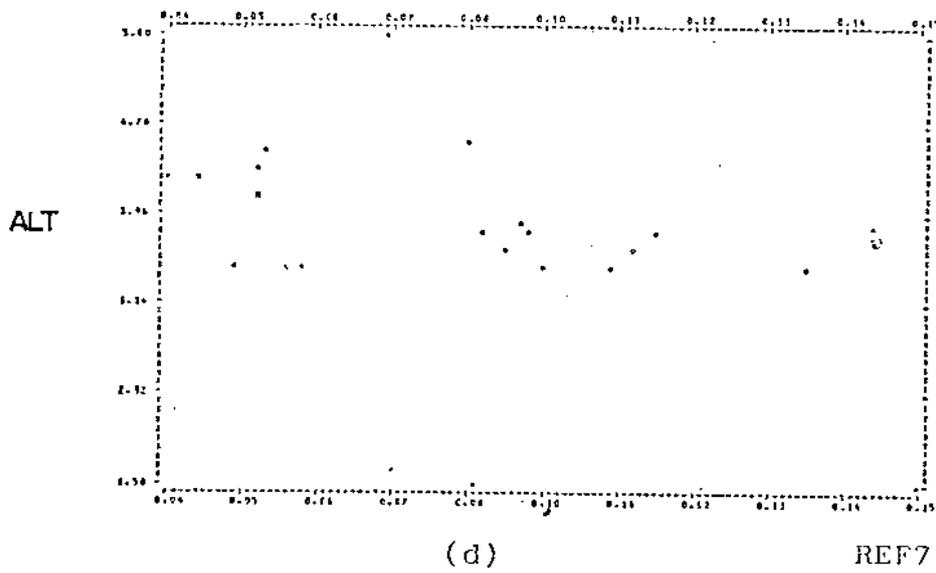
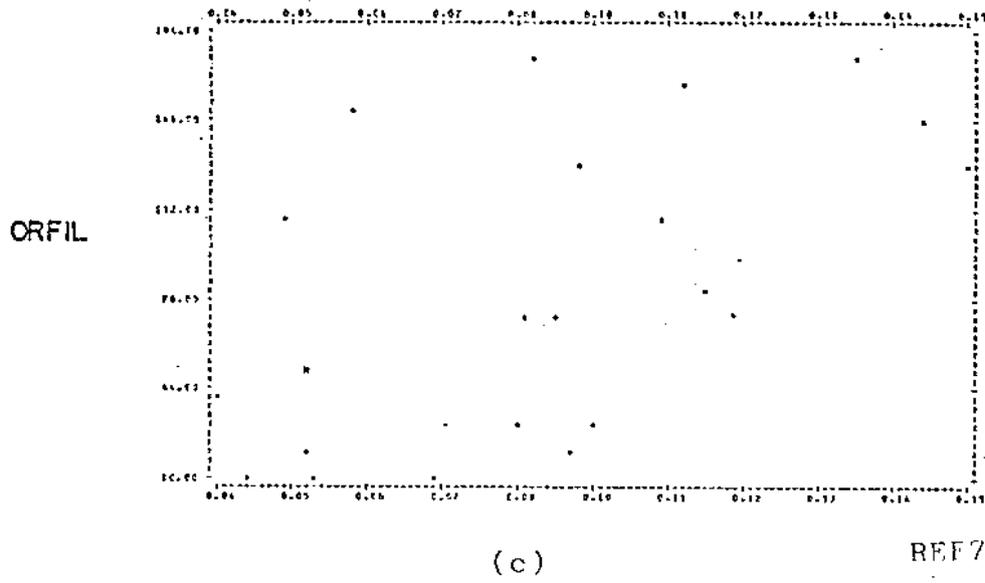


Fig. B.18 - Continuação.

(continua)

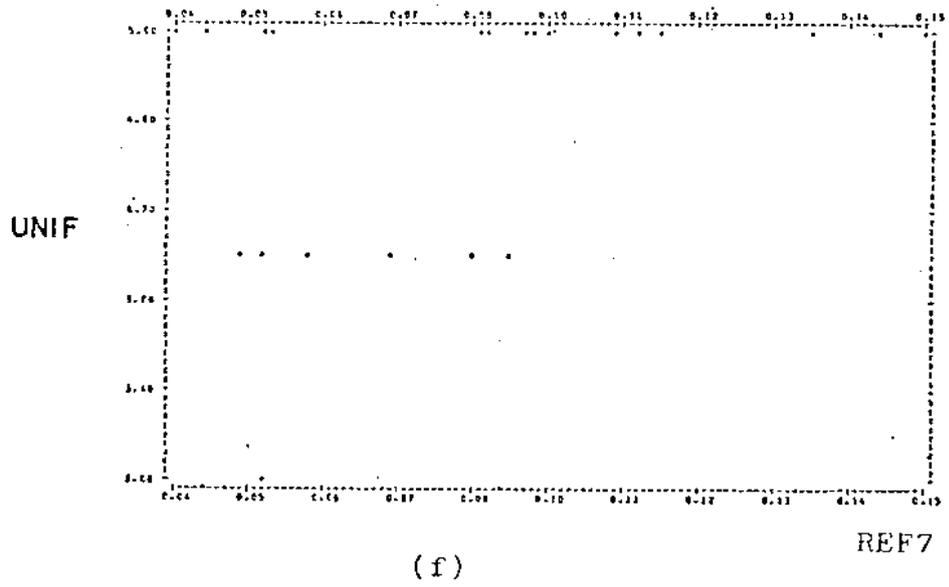
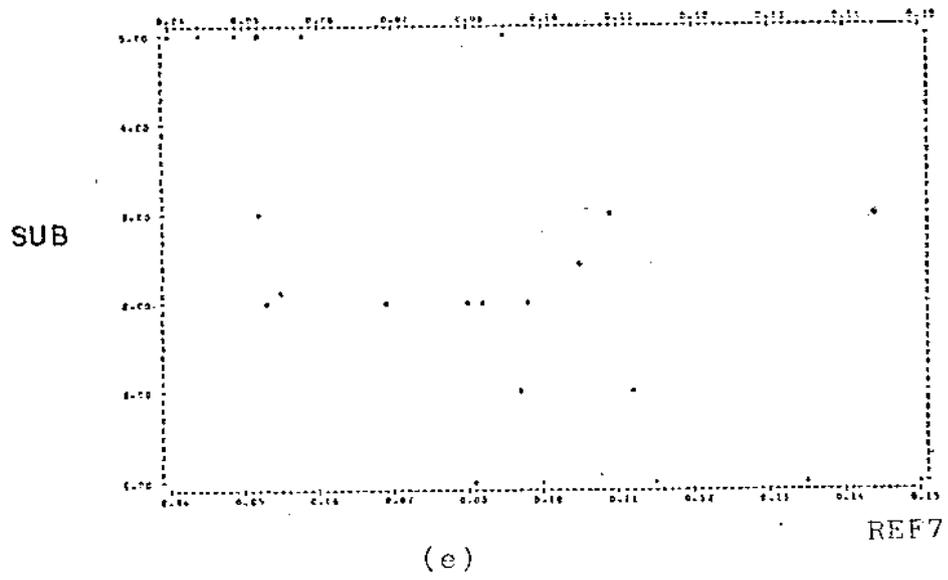


Fig. B.18 - Conclusão.

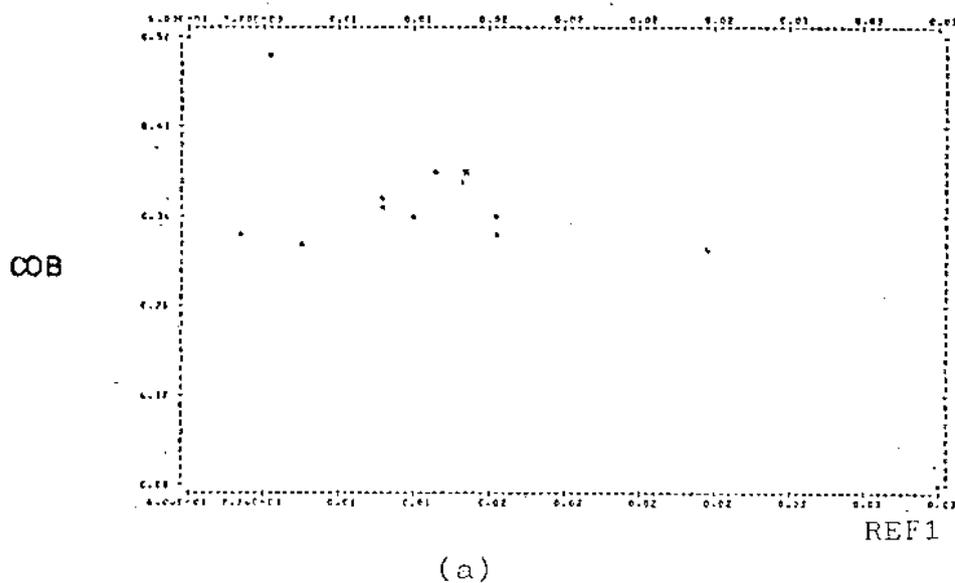
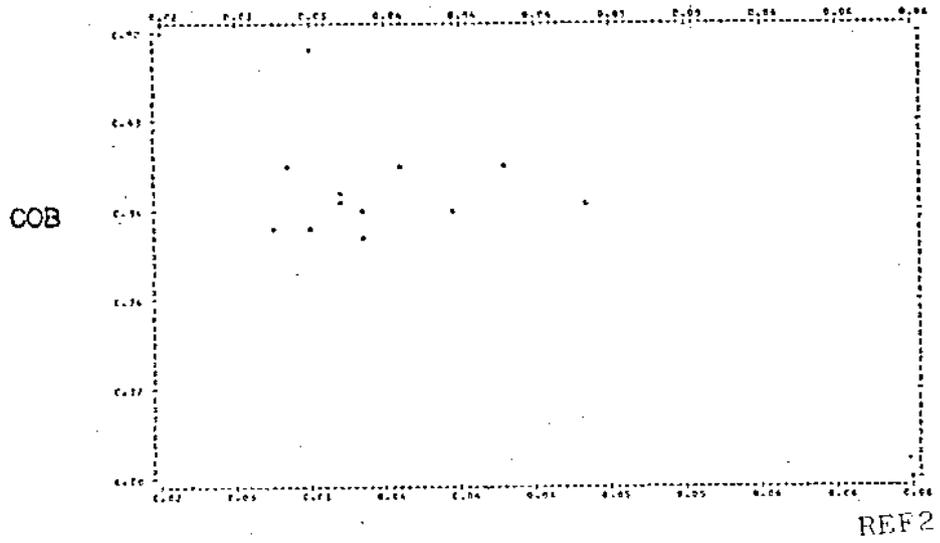
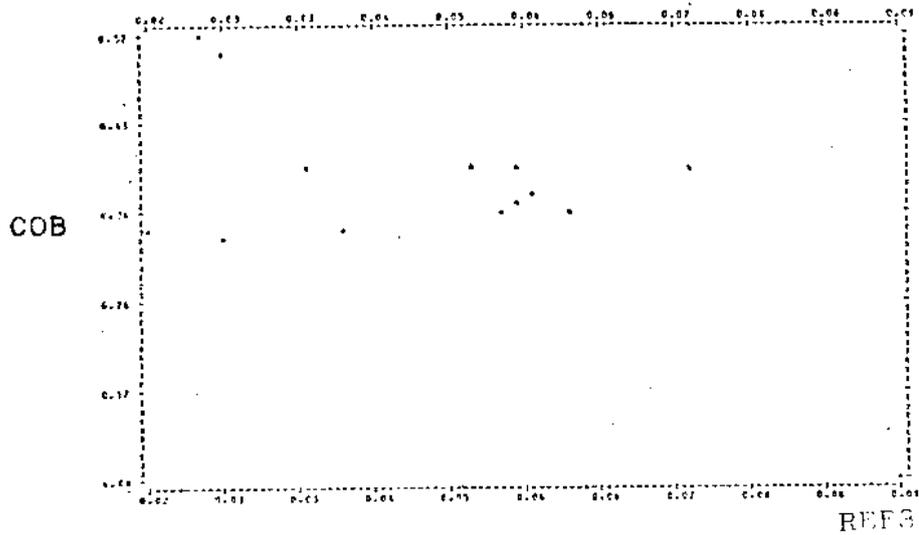


Fig. B.19 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM1 grupo VALÊNCIA e o parâmetro (a) COB.



(a)

Fig. B.20 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM2, grupo HAMLIN e o parâmetro (a) COB.



(a)

Fig. B.21 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM3, grupo HAMLIN e o parâmetro (a) COB.

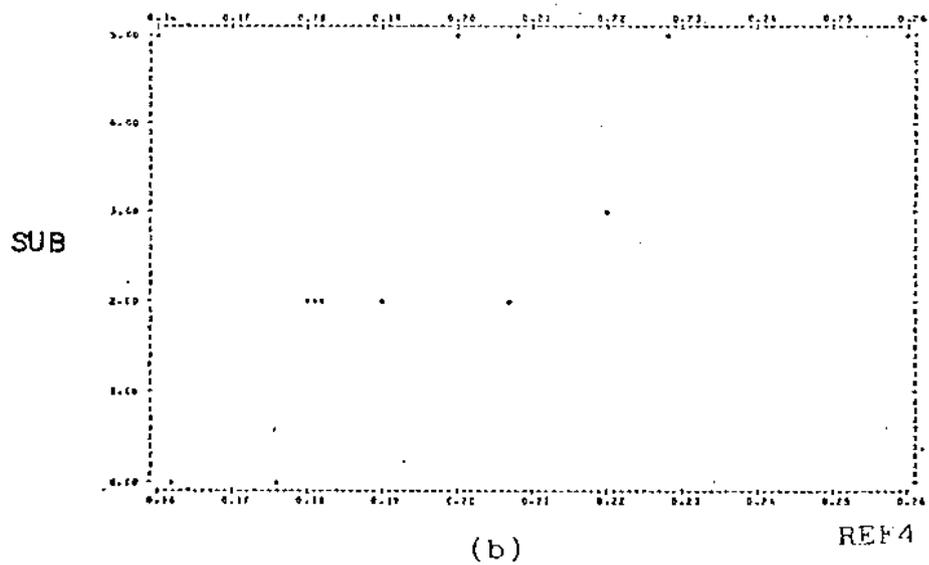
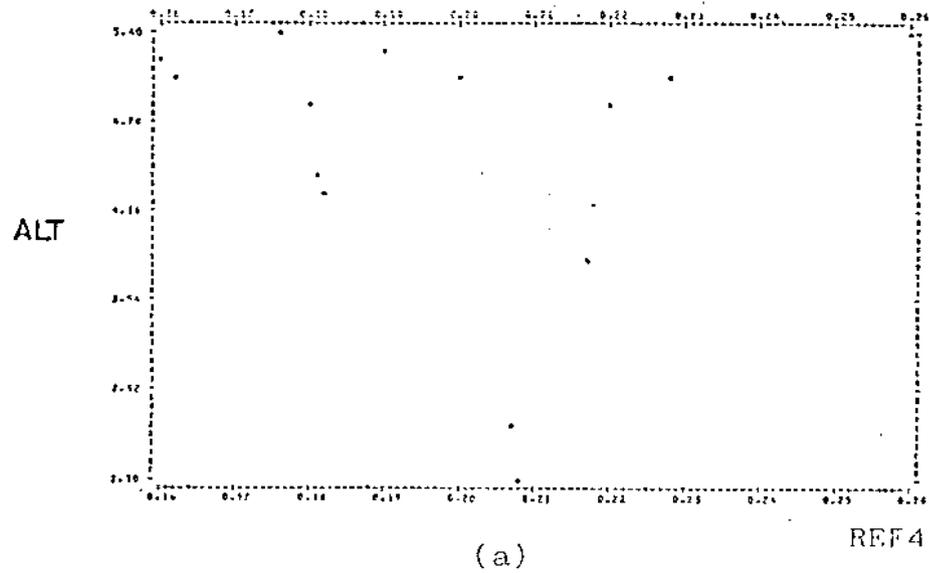
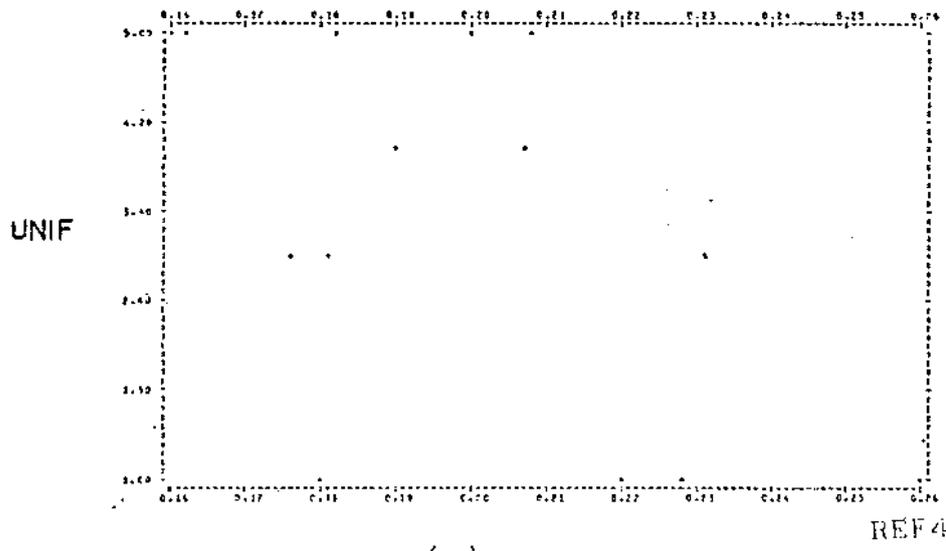


Fig. B.22 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM4, grupo HAMLIN e os parâmetros (a) ALT, (b) SUB, (c) UNIF.

(continua)



(c)

Fig. B.22 - Conclusão

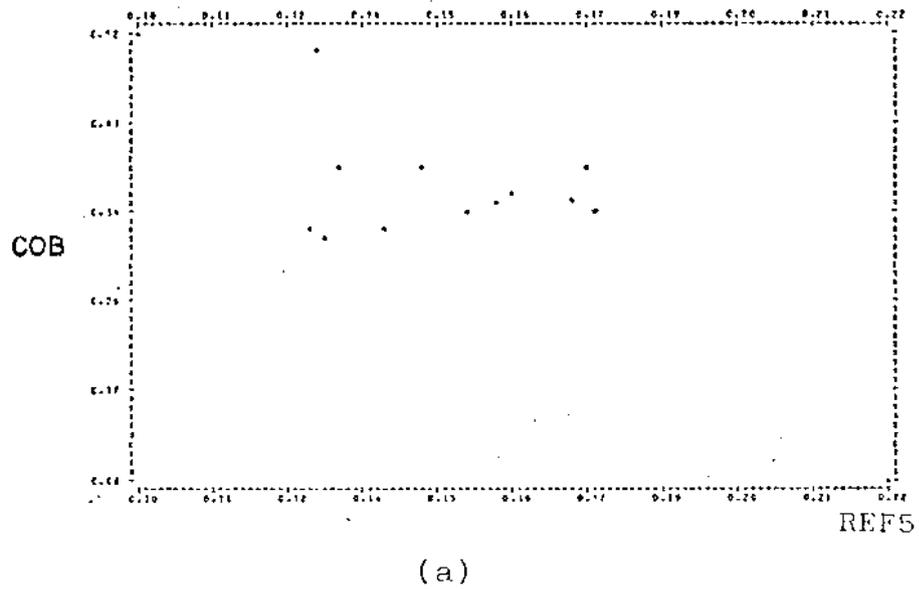


Fig. B.23 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM5, grupo HAMLIN e o parâmetro (a) COB.

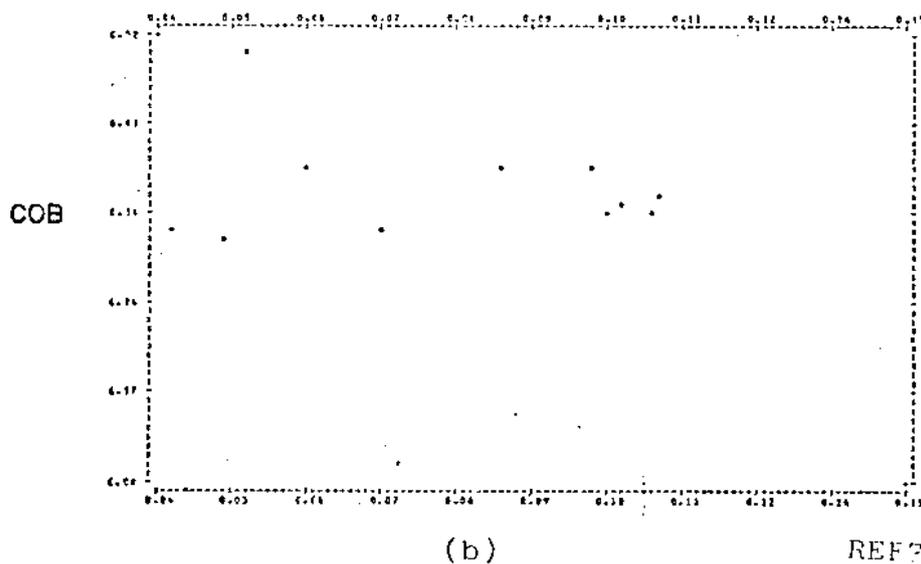
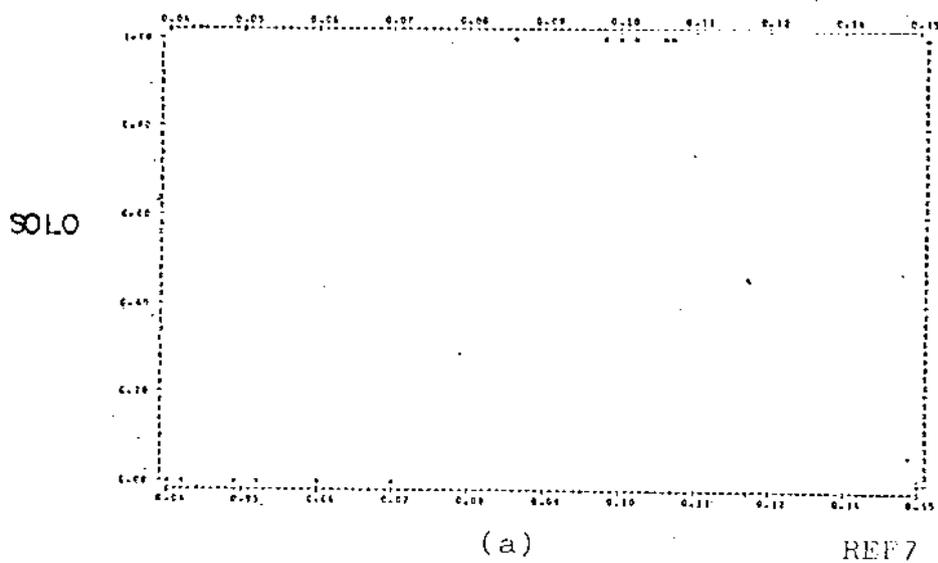


Fig. B.24 - Relacionamentos entre a reflectância da banda TM7, grupo HAMLIN e os parâmetros significativos (a) SOLO, (b) COB.

PROJETO CITRUS

FICHA DE CAMPO

Participantes:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Data: \_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

1. Módulo: \_\_\_\_\_ 2. Talhão: \_\_\_\_\_  
3. Variedade: \_\_\_\_\_ 4. Espaçamento: \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_  
5. Orient. Fileiras: \_\_\_\_\_ 6. Idade: \_\_\_\_\_

7. Substrato:

- Gramíneo Verde  
 Gramíneo Seco  
 Solo Exp. Seco  
 Solo Exp. Úmido  
 Solo Cultivado  
 \_\_\_\_\_

8. Estágio:

- Floração  
 Vegetativo  
 Frutos Verdes                      Ø médio: \_\_\_\_\_  
 Frutos Maduros                    Ø médio: \_\_\_\_\_  
 Pé Senescente  
 \_\_\_\_\_

9. Uniformidade: \_\_\_\_\_

10. Tipo de Solo: \_\_\_\_\_

10a. Declividade: \_\_\_\_\_

10b. Orientação da vertente: \_\_\_\_\_

10c. Número da foto: \_\_\_\_\_

11. Infestações Históricas:

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

Época: \_\_\_\_\_

% de Infestação: \_\_\_\_\_

12. Infestações Presentes:

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

% de Infestação: \_\_\_\_\_

13. Croqui: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

14. Medições:

altura (m)	Ø da Copa	altura (m)	Ø da Copa
1. _____	_____	16. _____	_____
2. _____	_____	17. _____	_____
3. _____	_____	18. _____	_____
4. _____	_____	19. _____	_____
5. _____	_____	20. _____	_____
6. _____	_____	21. _____	_____
7. _____	_____	22. _____	_____
8. _____	_____	23. _____	_____
9. _____	_____	24. _____	_____
10. _____	_____	25. _____	_____
11. _____	_____	26. _____	_____
12. _____	_____	27. _____	_____
13. _____	_____	28. _____	_____
14. _____	_____	29. _____	_____
15. _____	_____	30. _____	_____