



PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS

AUTORES/AUTHORS: TRIGO, FEIJÃO

SENSORIAMENTO REMOTO, ESPECTROSCOPIA

TM/LANDSAT

AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY

Marcelo de Jesus Jeneis
Marco Antonio Raupp
Diretor Geral

AUTOR RESPONSÁVEL
RESPONSIBLE AUTHOR

Antonio Roberto Formaggio

DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION

INTERNA / INTERNAL

EXTERNA / EXTERNAL

RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY

Tardin
Antonio Tebaldi Tardin

CDU/UDC

528.831:633.1

DATA / DATE

Janeiro 1989

TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICACION NO INPE-4791-RPE/584
	<p>RELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS ESPECTRAIS E AGRONÔMICOS DAS CULTURAS DE TRIGO E DE FEIJÃO</p>
AUTORES/AUTHORSHIP	<p>Antonio Roberto Formaggio José Carlos Neves Epiphânio</p>

ORIGEM
ORIGIN

DPA

PROJETO
PROJECT

DINAGR

Nº DE PAG.
NO OF PAGES

79

ULTIMA PAG.
LAST PAGE

77

VERSÃO
VERSION

Nº DE MAPAS
NO OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Foram efetuadas coletas de dados de 18 variáveis agronômicas de trigo e de feijão, cultivados sobre três tipos de latossolo da região noroeste do Estado de São Paulo. Coletaram-se também dados espectrais (TM-LANDSAT e espectroscopia de campo entre 400 e 1100nm), com os quais obtiveram-se três índices espectrais de vegetação: Razão Simples (RS), Razão Diferença Normalizada (ND) e Índice de Vegetação Transformado (TVI). Foram feitas análises gráficas, bem como análises de correlação linear simples entre as variáveis agronômicas e as variáveis espectrais. Foi possível constatar a existência de respostas muito interessantes das variáveis espectrais à medida que as variáveis agronômicas estudadas variavam no decorrer dos ciclos do trigo e do feijão. Entre outras indicações, salienta-se que as bandas individuais TM3, TM4 e TM5 mostraram ser as que detêm maior conteúdo de informação sobre dosséis de culturas agrícolas e as que melhor respondem às variações fenológicas das duas culturas durante o decorrer dos seus ciclos. A banda TM4 mostrou-se muito mais correlacionada com as variáveis agronômicas indicadoras de fenologia (ex.: Cobertura Vegetal, Número de Folhas Verdes/pl. e IAF). A banda TM5 evidenciou-se mais correlacionada com variáveis agronômicas indicadoras de massa (Fitomassa e Peso de Matéria Seca, p. ex.). A técnica de espectroscopia de campo pode ser considerada como um excelente meio de se realizar estudos envolvendo modelagens a partir de relações entre variáveis agronômicas/espectrais. Para os dados de espectroscopia de campo, houve menor número de correlação para a cultura de trigo do que para a cultura de feijão. Os índices de vegetação, em virtude de condições uniformes de obtenção dos dados, não levaram a correlações significativamente maiores do que se tivessem sido usadas apenas bandas individuais.

OBSERVAÇÕES / REMARKS

Relatório do Projeto DINAGR, realizado em convênio entre INPE/EMBRAPA (CNPDA)-Jaguariuna-SP.



EMBRAPA

SIP - SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA PESQUISA

PROJETO DE PESQUISA

FORM.13 - RELATÓRIO

FORM	PROJETO
13	/
CÓDIGO DO PROJETO	
80	1860404

RELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS ESPECTRAIS E AGRONÔMICOS DAS CULTURAS DE TRIGO E DE FEIJÃO

Antonio Roberto Formaggio
José Carlos Neves Epiphânio

PESQUISA REALIZADA ATRAVÉS DE CONVÊNIO INPE/EMBRAPA

São José dos Campos, outubro de 1988

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	2
LISTA DE TABELAS	4
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	6
2. <u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	7
2.1 - Propriedades refletivas da vegetação	7
2.2 - O sistema LANDSAT	10
2.3 - Índices espectrais de vegetação	11
3. <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	13
3.1 - Descrição geral das áreas de estudo	13
3.2 - Seleção de áreas/acompanhamento das culturas	15
3.3 - Coleta de parâmetros agronômicos	18
3.4 - Aquisição dos parâmetros espectrais	21
3.4.1 - Dados do TM/LANDSAT-5	21
3.4.2 - Dados de espectroscopia de campo	30
3.4.3 - Geração dos índices de vegetação	32
3.5 - Análise dos dados	34
3.5.1 - Análises gráficas	34
3.5.2 - Análises estatísticas	34
4. <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	35
4.1 - Comportamento das variáveis agronômicas	35
4.2 - Comportamento das variáveis espectrais	48
4.2.1 - Dados TM/LANDSAT-5	48
4.2.2 - Dados de espectroscopia de campo	56
4.3 - Relações quantitativas entre as variáveis agronômicas e as variáveis es pectrais	59
4.3.1 - Dados de satélite	59
4.3.2 - Dados de espectroscopia de campo	66
5. <u>CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	69
6. <u>AGRADECIMENTOS</u>	72
7. <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	73
APÊNDICE A - EXEMPLAR DA FICHA PARA COLETA DE DADOS DE CAMPO	77

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1.1 - Principais características da resposta espectral de vegetação verde (Hoffer, 1978)	8
2.1.2 - Reflectância de camadas foliares de algodão superpostas (Myers, 1970)	9
3.1.1 - Localização dos três módulos de 15km x 15km selecionados como áreas de estudo, a NW do estado de São Paulo	13
3.1.2 - Disposição espacial das unidades litoestratigráficas dos três módulos de estudo (adaptado de IPT, 1981b)	14
3.3.1 - Diagrama de dispersão e equação de regressão para as variáveis peso e área foliar do feijão	19
3.4.1 - Representação esquemática de uma imagem digital, das diferentes bandas TM, dos pixels, das tonalidades para os alvos solo/vegetação e dos correspondentes níveis de cinza	23
4.1.1 - Comportamento da variável agrônômica Altura Média, durante as 7 campanhas de campo, para os quatro grupos de idade (T_1 , T_2 , T_3 e T_4) das áreas de trigo	37
4.1.2 - Comportamento variável agrônômica Número de Folhas Verdes/planta, durante as 7 campanhas de campo, para os quatro grupos de idade (T_1 , T_2 , T_3 e T_4) das áreas de trigo	38
4.1.3 - Comportamento da variável agrônômica Peso da Matéria Seca/planta, durante as 7 campanhas de campo, para os quatro grupos de idade (T_1 , T_2 , T_3 e T_4) das áreas de trigo	38
4.1.4 - Comportamento da variável agrônômica Porcentagem de Cobertura Vegetal, durante as 7 campanhas de campo, para os quatro grupos de idade (T_1 , T_2 , T_3 e T_4) das áreas de trigo	39
4.1.5 - Comportamento da variável agrônômica Teor de Umidade, durante as 7 campanhas de campo, para os quatro grupos de idade (T_1 , T_2 , T_3 e T_4) das áreas de trigo	39
4.1.6 - Comportamento da variável agrônômica Índice de Área Foliar, durante as 7 campanhas de campo, para os quatro grupos de idade (T_1 , T_2 , T_3 e T_4) das áreas de trigo	40
4.1.7 - Comportamento da variável agrônômica Fitomassa, durante as 7 campanhas de campo, para os quatro grupos de idade (T_1 , T_2 , T_3 e T_4) das áreas de trigo	41
4.1.8- Comportamento de 7 variáveis agrônômicas durante as 7 campanhas de campo, para o grupo de idade T_3 das áreas de trigo (considerando-se o grupo T_3 como representativo do comportamento do trigo)	42
4.1.9 - Comportamento da variável agrônômica Altura Média, durante as 7 campanhas de campo, para os 5 grupos de idade (F_1 , F_2 , F_3 , F_4 e F_5) das áreas de feijão	43
4.1.10- Comportamento da variável agrônômica Número de Folhas Verdes/planta, durante as 7 campanhas de campo, para os 5 grupos de idade (F_1 , F_2 , F_3 , F_4 e F_5) das áreas de feijão	44
4.1.11- Comportamento da variável agrônômica Peso da Matéria Seca/planta, durante as 7 campanhas de campo, para os 5 grupos de idade (F_1 , F_2 , F_3 , F_4 e F_5) das áreas de feijão	44



4.1.12 - Comportamento da variável agronômica Porcentagem de Cobertura Vegetal, durante as 7 campanhas de campo, para os 5 grupos de idade (F ₁ , F ₂ , F ₃ , F ₄ e F ₅) das áreas de feijão	45
4.1.13 - Comportamento da variável agronômica Teor de Umidade (%), durante as 7 campanhas de campo, para os 5 grupos de idade (F ₁ , F ₂ , F ₃ , F ₄ e F ₅) das áreas de feijão	46
4.1.14 - Comportamento da variável agronômica Índice de Áre Foliar, durante as 7 campanhas de campo, para os 5 grupos de idade (F ₁ , F ₂ , F ₃ , F ₄ e F ₅) das áreas de feijão	47
4.1.15 - Comportamento da variável agronômica Fitomassa, durante as 7 campanhas de campo, para os 5 grupos de idade (F ₁ , F ₂ , F ₃ , F ₄ e F ₅) das áreas de feijão	47
4.1.16 - Comportamento de 7 variáveis agronômicas, durante as 7 campanhas de campo, para o grupo de idade F ₅ das áreas de feijão	48
4.2.1 - Comportamento dos níveis de cinza nas 6 bandas refletivas do TM/LANDSAT-5, para os 4 subgrupos de idade das áreas de trigo (passagem de 20/06/87)	49
4.2.2 - Comportamento dos níveis de cinza nas 6 bandas refletivas do TM/LANDSAT-5, para os 4 subgrupos de idade das áreas de trigo (passagem de 06/07/87)	50
4.2.3 - Comportamento dos níveis de cinza nas 6 bandas refletivas do TM/LANDSAT-5, para subgrupos de idade das áreas de feijão (passagem de 20/06/87)	53
4.2.4 - Comportamento dos níveis de cinza nas 6 bandas refletivas do TM/LANDSAT-5, para 5 subgrupos de idade das áreas de feijão (passagem de 06/07/87)	54
4.2.5(a,b)-Curvas espectrais para a cultura de feijão aos 20, 32, 34, 38, 88 e 92 dias de idade	56
4.2.6(a,b)-Curvas espectrais para a cultura de trigo aos 14, 22, 53, 71, 81 e 109 dias de idade	58

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.2.1 - Distribuição das 55 áreas nos três módulos de estudo	16
3.2.2 - Datas das passagens LANDSAT e datas das campanhas de campo	17
3.4.1 - Bandas TM/LANDSAT-5 e suas principais aplicações potenciais	22
3.4.2 - Agrupamento das áreas de trigo e de feijão por idade e dados gerais sobre cada área	25
4.1.1 - Agrupamentos das 13 áreas de trigo e das 42 áreas de feijão, de acordo com as respectivas datas de plantio	36
4.3.1 - Coeficientes de correlação linear simples entre 18 variáveis agrônomicas do trigo e do feijão com 18 variáveis espectrais do TM/LANDSAT-5.	61
4.3.2 - Quantidades de coeficientes de correlação (em quatro diferentes faixas), somatórias de pontos para as variáveis agrônomicas e para as variáveis espectrais, resumidos da Tabela 4.3.1	63
4.3.3 - Coeficientes de correlação linear simples entre: - as bandas simuladas RTM1, 2, 3, 4 do LANDSAT; - três modelos de índices de vegetação (RRS, RND e RTV); e - três parâmetros agrônomicos (IAF, FIT e COV), para as culturas de inverno de trigo e de feijão irrigados	67



RESUMO

Foram efetuadas coletas de dados de 18 variáveis agrônômicas de trigo e de feijão, cultivados sobre três tipos de latossolo da região noroeste do Estado de São Paulo. Coletaram-se também dados espectrais (TM/LANDSAT e espectroscopia de campo entre 400 e 1100nm), com os quais obtiveram-se três índices espectrais de vegetação: Razão Simples (RS), Razão Diferença Normalizada (ND) e Índice de Vegetação Transformado (TVI). Foram feitas análises gráficas, bem como análises de correlação linear simples entre as variáveis agrônômicas e as variáveis espectrais. Foi possível constatar a existência de respostas muito interessantes das variáveis espectrais à medida que as variáveis agrônômicas estudadas variavam no decorrer dos ciclos do trigo e do feijão. Entre outras indicações, salienta-se que as bandas individuais TM3, TM4 e TM5 mostraram ser as que detêm maior conteúdo de informação sobre dosséis de culturas agrícolas e as que melhor respondem às variações fenológicas das duas culturas durante o decorrer dos seus ciclos. A banda TM4 mostrou-se muito mais correlacionada com as variáveis agrônômicas indicadoras de fenologia (ex.: Cobertura Vegetal, Número de Folhas Verdes/pl. e IAF). A banda TM5 evidenciou-se mais correlacionada com variáveis agrônômicas indicadoras de massa (Fitomassa e Peso de Matéria Seca, p. ex.). A técnica de espectroscopia de campo pode ser considerada como um excelente meio de se realizar estudos envolvendo modelagens a partir de relações entre variáveis agrônômicas/espectrais. Para os dados de espectroscopia de campo, houve menor número de correlação para a cultura de trigo do que para a cultura de feijão. Os índices de vegetação, em virtude de condições uniformes de obtenção dos dados, não levaram a correlações significativamente maiores do que se tivessem sido usadas apenas nas bandas individuais.

ABSTRACT

Data of 18 cultural parameters of wheat and bean were collected. Wheat and bean were growing over three types of oxisols in the NW region of São Paulo State. Spectral data (TM/LANDSAT and 400-1100nm field spectroscopy) were collected too and three types of vegetation indexes were obtained: IR/red simple ratio (RS), Normalized Difference (ND) and Transformed Vegetation Index (TVI). Graphic and Simple Linear Correlation analyses were made between spectral and agronomic variables. Spectral parameters correlated very interestingly with agronomic variables during wheat and bean cycles phenological variations. TM3, TM4 and TM5 were the singular bands which contained more information about crop canopy; these three bands answered very well to phenological variations during the crop cycles. TM4 was more correlated with agronomic variables which indicate foliage



conditions (ex.: Vegetal Covering, number of green leaf/plant and LAI). TM5 band was more correlated with agronomic variables which indicate crop mass (phytomass and weight of dry matter, for example). Field spectroscopy was considered an excellent way for studying and modelling agronomic/spectral variables. For field spectroscopy there was smaller correlations for wheat than for bean. Spectral/agronomic correlations for vegetation indexes weren't better than for singular TM bands, probably due to the uniform conditions in the moment of the data collection.

1. INTRODUÇÃO

O presente documento constitui-se no relatório de encerramento do projeto "DINÂMICA DA ATIVIDADE AGRÍCOLA NA REGIÃO DE BARRETOS (SP) E SUA INFLUÊNCIA NO SENSORIAMENTO REMOTO DE CULTURAS", financiado pela EMBRAPA .

A pesquisa deste projeto foi encetada com vistas a se adquirir conhecimentos sobre as relações entre parâmetros agronômicos e parâmetros espectrais de duas culturas de grande interesse nacional: o trigo e o feijão.

Sabe-se que, em vários países, vêm sendo desenvolvidos modelos de crescimento/produzitividade de culturas, os quais integram a resposta das plantas aos ambientes do solo e aéreo através de simulações da sua fotossíntese, da sua evapotranspiração, da sua acumulação de matéria seca (crescimento), da sua fenologia, da sua resposta a estresses e da sua produzitividade. Estes modelos têm sido desenvolvidos para importantes culturas, tais como o trigo, a soja, o milho, o arroz e o sorgo. Tipicamente, eles são alimentados diariamente e requerem, por exemplo, temperaturas do ar diárias, máxima e mínima, dados de insolação, e de precipitação; além de dados dos solos, como profundidade para enraizamento e disponibilidade de água para as plantas.

Nos últimos anos, vêm sendo estimulados os esforços para que se utilizem também dados espectrais (no intervalo entre 0,35 a 14µm) ou parâmetros derivados deles para auxiliarem aqueles modelos agrometeorológicos ou ainda para servirem como dados independentes sobre o desenvolvimento e o rendimento das culturas.

A principal vantagem desta abordagem é que observações espectrais podem apresentar resposta para variações dentro de e entre campos agrícolas devidas a estresses (nematóides, doenças, salinidade, resíduos de herbicidas, poluentes atmosféricos, p. ex.), as práticas anteriores e atuais de manejo e de tratamentos culturais (fertilidade residual, cultivos, manejo de restos culturais, aplicações de reguladores de crescimento, p. ex.) e a tipos de solos, parâmetros estes difíceis de incluir nos modelos tradicionais.



Desta maneira, objetivou-se precipuamente, com a pesquisa aqui reportada, fornecer subsídios a uma abordagem de análise de atributos espectrais para obtenção de informações sobre as culturas de trigo e de feijão, com vistas a futuros desenvolvimentos em termos de modelagem numérica envolvendo variáveis espectrais, agrônomicas e meteorológicas.

Isto, considerando-se que, em termos brasileiros, existem poucas pesquisas em andamento nesta importante avenida do sensoriamento remoto agrícola e fez-se mister explorar da melhor maneira possível a enorme quantidade de dados multiespectrais e multitemporais disponibilizados pelos sensores de satélites de observação terrestre atualmente em órbita.

O próprio Brasil participa dos benefícios proporcionados pelos satélites de sensoriamento remoto sendo usuário dos dados LANDSAT e SPOT e, além disso, ele mesmo desenvolvendo os satélites da MECB (Missão Espacial Completa Brasileira) e o da CBERS ("China-Brazil Earth Resources Satellite"); este último em conjunto com a República Popular da China.

Em futuro próximo desenha-se a perspectiva de se terem disponíveis vários tipos de sensores a bordo de plataformas em órbitas da Terra, gerando vários tipos de produtos, os quais deverão ser pesquisados quanto aos melhores e mais oportunos usos em benefício dos países usuários.

Espera-se, então, com o presente projeto, ter trazido contribuições no sentido de se utilizar variáveis espectrais para modelagens de crescimento/produção das culturas de trigo e de feijão, a partir de dados coletados por sensores colocados em satélites de recursos naturais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - PROPRIEDADES REFLETIVAS DA VEGETAÇÃO

Como é afirmado por Knipling (1970), as propriedades de reflectância de folhas individuais são básicas para o entendimento da refletividade de uma planta inteira ou do dossel de uma vegetação (Figura 2.1.1).

Entre $0,4\mu\text{m}$ (azul) e $0,7\mu\text{m}$ (vermelho), a reflectância é muito baixa. Em $0,55\mu\text{m}$ ocorre um pico, o qual explica a percepção da cor verde da vegetação; este pico é causado por duas bandas de absorção da clorofila centradas em aproximadamente $0,45\mu\text{m}$ e em $0,65\mu\text{m}$ (Hoffer, 1978). Os pigmentos carotenos e xantófilas também absor



vem energia próximo de 0,45µm. Desta maneira, mudanças na pigmentação de uma folha afetarão a forma da curva de reflectância na região entre 0,4 e 0,7µm (Hoffer e Johannsen, 1969).

Na região espectral entre 0,7µm e 1,4µm, as folhas verdes sadias apresentam altos valores de reflectância (45-50%), alta transmitância (45-50%) e baixa absorptância (menos que 5%), conforme explica Hoffer (1978).

Essa elevada reflexão de energia na região do infravermelho é atribuída por vários autores à estrutura interna das folhas, entre eles, Gates et alii (1965), Knipling (1970) e Bunnik (1978).

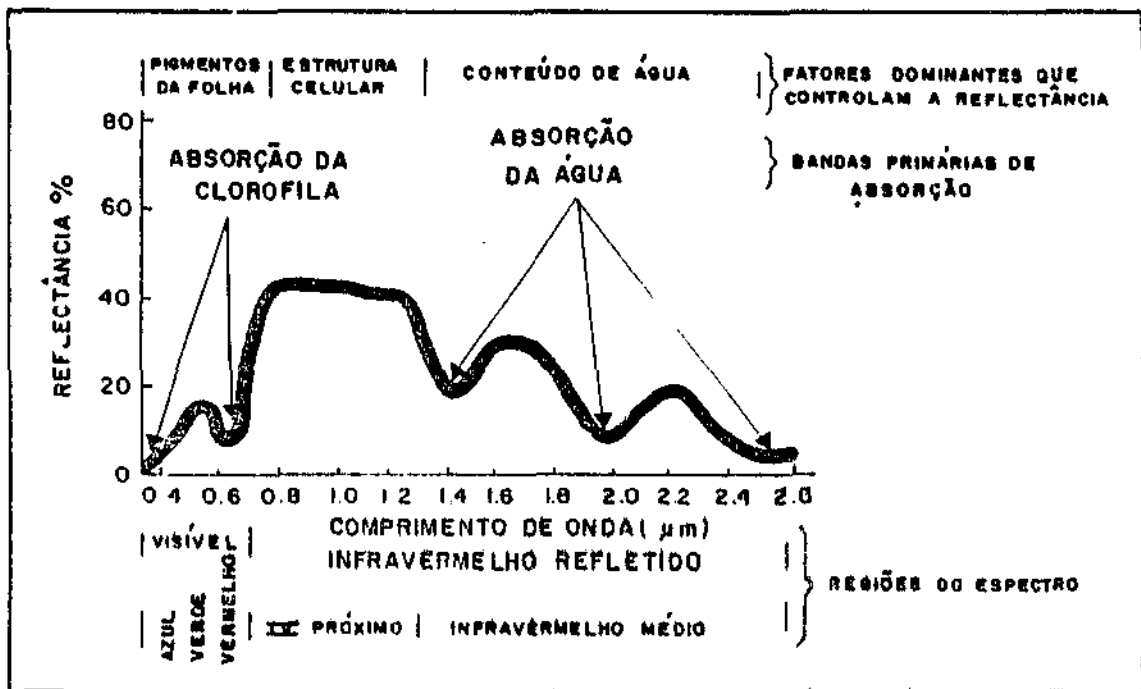


Fig. 2.1.1 - Principais características da resposta espectral de vegetação verde (Hoffer, 1978).

Segundo esses autores, a radiação solar é difundida e espalhada através da cutícula e epiderme foliar para as células do mesófilo e cavidades de ar no interior da folha. Aí a radiação é novamente espalhada e sofre múltiplas reflexões e refrações devido à diferença de índice de refração entre o ar (1,0) e as paredes celulares hidratadas (1,4).



Sinclair et alii (1971) mostraram que os espectros de reflexão de folhas verdes sadias de várias culturas com teores semelhantes de umidade eram diferentes em magnitude, mas semelhantes na forma das curvas. As diferenças na reflectância foram atribuídas à estrutura interna das folhas.

Na região do infravermelho médio, a água absorve fortemente energia em determinados comprimentos de onda e, pelo fato de as folhas verdes conterem elevados teores de umidade, estas bandas de absorção pela água dominam a resposta espectral nesta região espectral. Estes picos de absorção ocorrem nas imediações dos comprimentos de onda $1,5\mu\text{m}$, $1,9\mu\text{m}$ e $2,7\mu\text{m}$.

É importante notar que, em comparação com a reflectância de uma folha individual, múltiplas camadas de folhas podem causar reflectâncias maiores (acima de 85%) na porção espectral do IV próximo. Isto é atribuído à reflectância aditiva múltipla, ou seja, a energia transmitida através da primeira (superior) camada de folhas é refletida pela segunda camada, sendo transmitida de volta através da primeira camada; e assim sucessivamente para maior número de camadas (Myers, 1970). Um bom exemplo deste fenômeno é mostrado na Figura 2.1.2.

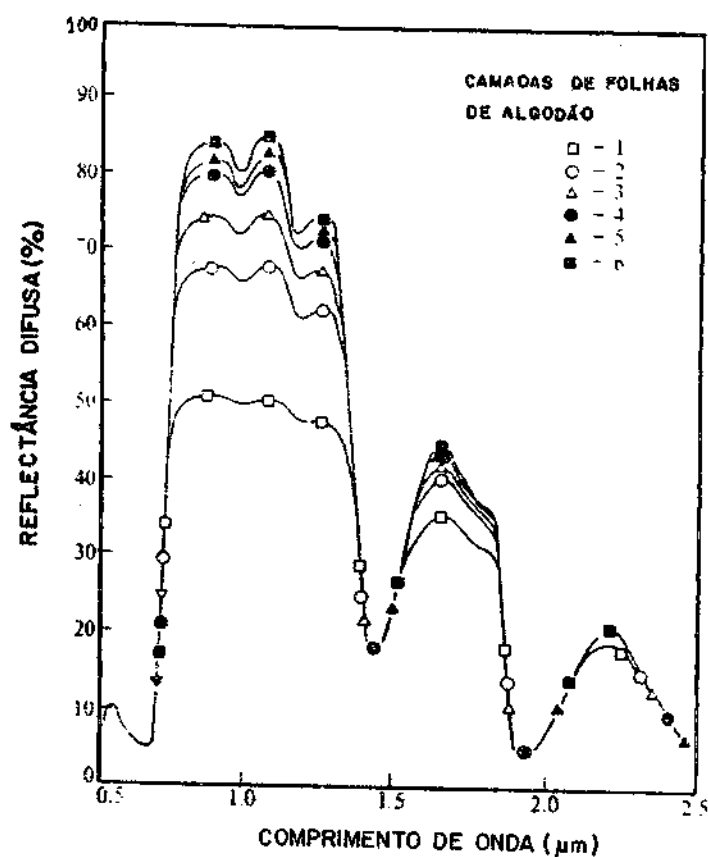


Fig. 2.1.2 - Reflectância de camadas foliares de algodão superpostas (Myers, 1970).



De acordo com Myers (1970) e Gausman et alii (1976) a reflectância máxima no IV, causada pelo fenômeno da reflectância múltipla, ocorre para um número entre 6 e 8 camadas.

Como afirma Gardner (1983), em situação de campo, o número efetivo de camadas foliares é geralmente inferior do que aquele requerido para atingir a reflectância máxima. Em consequência, a reflectância IV próxima (0,7 a 1,4 μ m) de um dossel cultural geralmente aumentará continuamente à medida que o índice de área foliar aumentar.

2.2 - O SISTEMA LANDSAT

O LANDSAT-5 transita numa órbita quase polar, repetitiva, a cada 16 dias, circular, síncrona com o Sol, a uma altitude de 705km. A órbita tem um ângulo de 98,2^o em relação ao equador terrestre e este é cruzado sempre durante a forte descendente (de norte para sul) de cada órbita por volta das 09:45 horas (hora solar local).

No caso brasileiro, os dados adquiridos pelo TM/LANDSAT-5 são enviados telemetricamente para a Estação de Recepção localizada em Cuiabá (MT), onde são gravados em fitas digitais. Estas fitas são enviadas para o Laboratório de Geração e de Processamento de Imagens do INPE, em Cachoeira Paulista (SP), onde são obtidos os produtos finais na forma de imagens fotográficas ou de fitas digitais compatíveis com computador ("compatible computer tape" ou, também, CCT).

Antes de se obter os produtos finais citados, são executados alguns processamentos sobre os dados brutos recebidos da Estação de Recepção visando procedimentos de correções geométrica e radiométrica.

Os dois objetivos principais da correção radiométrica são remover os problemas de "striping" que ocorrem devido a diferenças de performance de detector - a - detector, bem como permitir a conversão dos números digitais contidos nas fitas (um número para cada pixel) em unidades radiométricas absolutas. A conversão dos números digitais contidos nas fitas CCT em unidades radiométricas absolutas permite ao pesquisador medir variações temporais e espaciais na radiância de cena de uma forma consistente e quantitativa (NASA, 1984).

O propósito da correção geométrica é criar uma representação adequada da superfície terrestre, consistente com os dados de imagem digital multiespectral TM. A correção realoca a posição de cada número digital radiometricamente corrigido num sistema de coordenadas que corresponde a uma projeção cartográfica (NASA, 1984).



Estes processamentos, contudo, não alteram a proporcionalidade existente entre os valores de níveis de cinza e o correspondente comportamento espectral dos alvos de uma imagem digital obtida por satélite, garantindo a coerência com os princípios fundamentais que norteiam as técnicas de sensoriamento remoto.

2.3 - ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO

Os índices espectrais de vegetação correspondem a modelos de transformação de medições espectrais, com a finalidade de estimar diversos tipos de parâmetros desta vegetação, tais como: fitomassa, índice de área foliar, porcentagem de cobertura vegetal do solo, etc.

Tais índices de vegetação dependem de combinações matemáticas de valores de radiância em duas ou mais bandas espectrais obtidas por um determinado dispositivo de sensoriamento.

Na última década, várias pesquisas têm sido feitas no sentido de, principalmente através do uso dos vários tipos de índices de vegetação, atingir uma das mais perseguidas metas de investigação sobre sensoriamento remoto de coberturas vegetais: conseguir estimar parâmetros agrônômicos-chaves (p. ex. o índice de área foliar) usando-se somente a reflectância de dossel em vários comprimentos de onda.

Wiegand (1984) afirma que os índices de vegetação capturam informações sobre as condições e o desenvolvimento de dossel; respondem às diferenças de manejo e de perfis de solos entre campos agrícolas; e fornecem meios de quantificar o desenvolvimento de culturas em resposta a estresses. Desta maneira, há méritos em se continuar desenvolvendo o uso de parâmetros espectrais para uso em modelos agrometeorológicos de estimativas de desenvolvimento/produktividade de culturas.

Dentre os modelos de índices de vegetação desenvolvidos, alguns mais utilizados e citados têm sido a "greenness" (Kauth e Thomas, 1976), o índice de vegetação perpendicular ou PVI (Richardson e Wiegand, 1977), a diferença normalizada (Tucker, 1979) e o índice de vegetação transformado ou TVI (Rouse et alii, 1973). De acordo com Wiegand (1984), estes índices são altamente correlacionados com o índice de área foliar, com a fitomassa verde e com a porcentagem de cobertura.

Best e Harlam (1985) verificaram coeficientes de correlação altamente significativos, com o modelo exponencial, quando confrontaram Índice de Área Foliar (IAF) de aveia com os modelos de índice de vegetação Diferença Normalizada e Razão Simples.



Bauer et alii (1981), Ahlrichs e Bauer (1983), Asrar et alii (1984) e Hatfield et alii (1985), trabalhando com a cultura de trigo, verificaram que houve significativas correlações entre IAF e reflectâncias nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, bem como para as relações entre essas bandas. Essas diversas relações mostraram-se lineares em alguns casos e exponenciais em outros, onde os valores de IAF eram elevados.

Outro parâmetro agrícola de interesse é o peso da matéria verde ou fitomassa.

Boutton e Tiezen (1983) observaram significativas correlações entre essa variável e a razão entre as reflectâncias do IV próximo e do vermelho, medidas no nível de campo para pastagens.

Curran (1982), utilizando o Índice de vegetação Diferença Normalizada também já observara correlações significativas com fitomassa, em pastagens. Curran (1983) afirma que, para pastagens, em que a biomassa é linearmente correlacionada com o IAF, é possível usar uma simples curva de calibração para estimar a fitomassa a partir da avaliação do IAF.

Kollenkark et alii (1982a), estudando a cultura da soja, observaram correlações significativas entre peso da matéria verde e parâmetros de sensoriamento remoto, com algumas variações nos coeficientes de determinação em função dos tipos de solo.

A porcentagem de cobertura do solo pela cultura é outro parâmetro de interesse.

Kollenkark et alii (1982a) observaram elevados valores de coeficientes de correlação entre esse parâmetro agrônômico e a reflectância no vermelho e IV próximo, bem como a razão IV/vermelho, para a cultura da soja.

Kanemasu (1974), estudando a cultura do trigo, obteve coeficientes de correlação da ordem de 0,64 e de 0,72 entre reflectância no IV próximo e IAF e porcentagem de cobertura do solo, respectivamente. Kollenkark et alii (1982b) verificaram uma relação inversa entre porcentagem de cobertura do solo e reflectância na região do vermelho e uma relação direta na região do IV próximo. Curran (1982) verificou uma relação direta com a Diferença Normalizada.



3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - DESCRIÇÃO GERAL DAS ÁREAS DE ESTUDO

As áreas de estudos estão situadas na região noroeste do Estado de São Paulo e são constituídas de três módulos de 15km x 15km, sendo que um módulo localiza-se no município de Colômbia, outro em Barretos e outro em Guaíra (Figura 3.1.1).

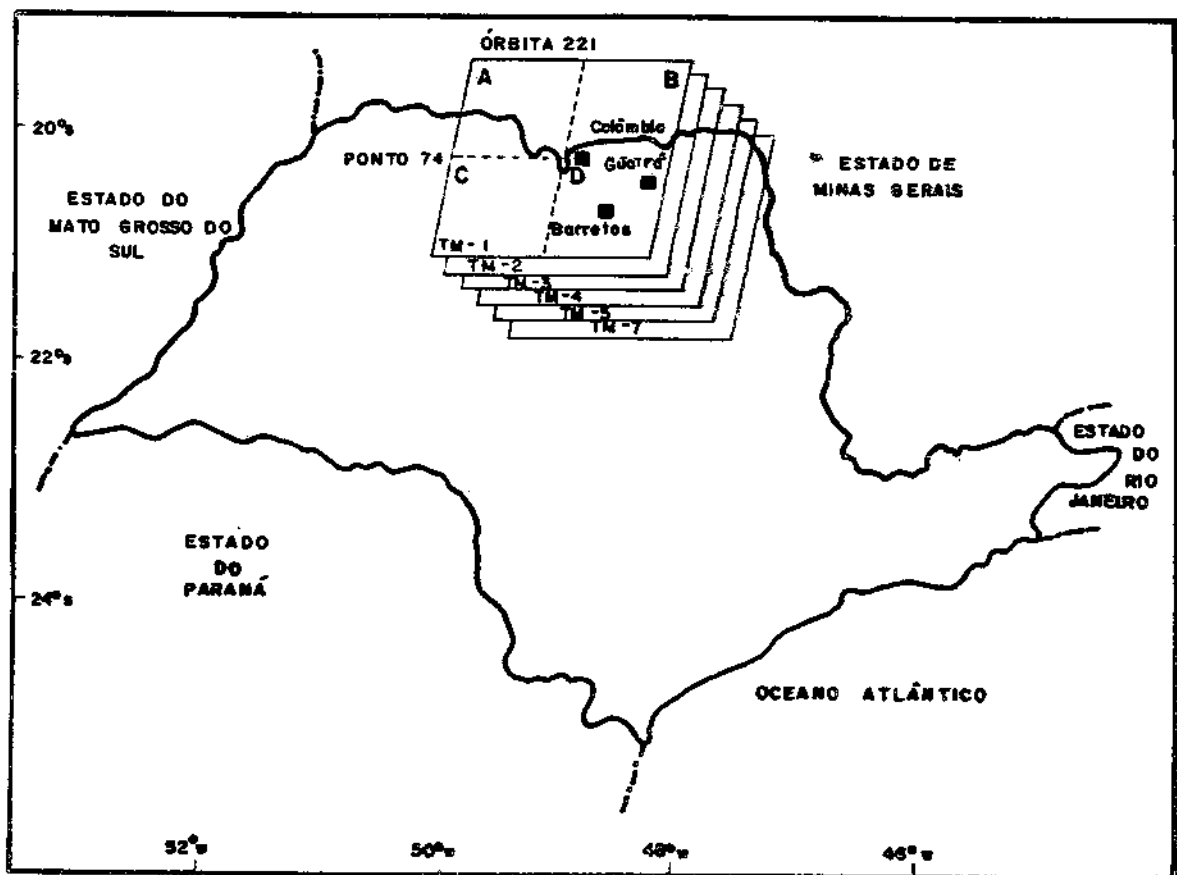


Fig. 3.1.1 - Localização dos três módulos de 15km x 15km selecionados como áreas de estudo, a NW do Estado de São Paulo.

Segundo a compartimentação geomorfológica regional proposta por IPT (1981a), as áreas correspondentes aos três módulos de estudo situam-se nas Áreas In divisas do Planalto Ocidental. Nelas ocorre a presença de relevos de colinas amplas, com densidades de drenagem pouco maiores nas áreas sedimentares do que naquelas áreas desenvolvidas sobre rochas basálticas. Nas áreas basálticas, a marcante persistência de formas colinosas do tipo colinas médias e principalmente de colinas amplas é uma condição que parece estar ligada a uma grande espessura e permeabilidade



dos solos, favorecendo a percolação de águas em subsuperfície, e o aparecimento de lagos perenes ou temporários, além de resultar num maior espaçamento dos cursos d'água.

Na Figura 3.1.2 está mostrada a disposição espacial das unidades litoestratigráficas que compõem a geologia dos três módulos de estudo.

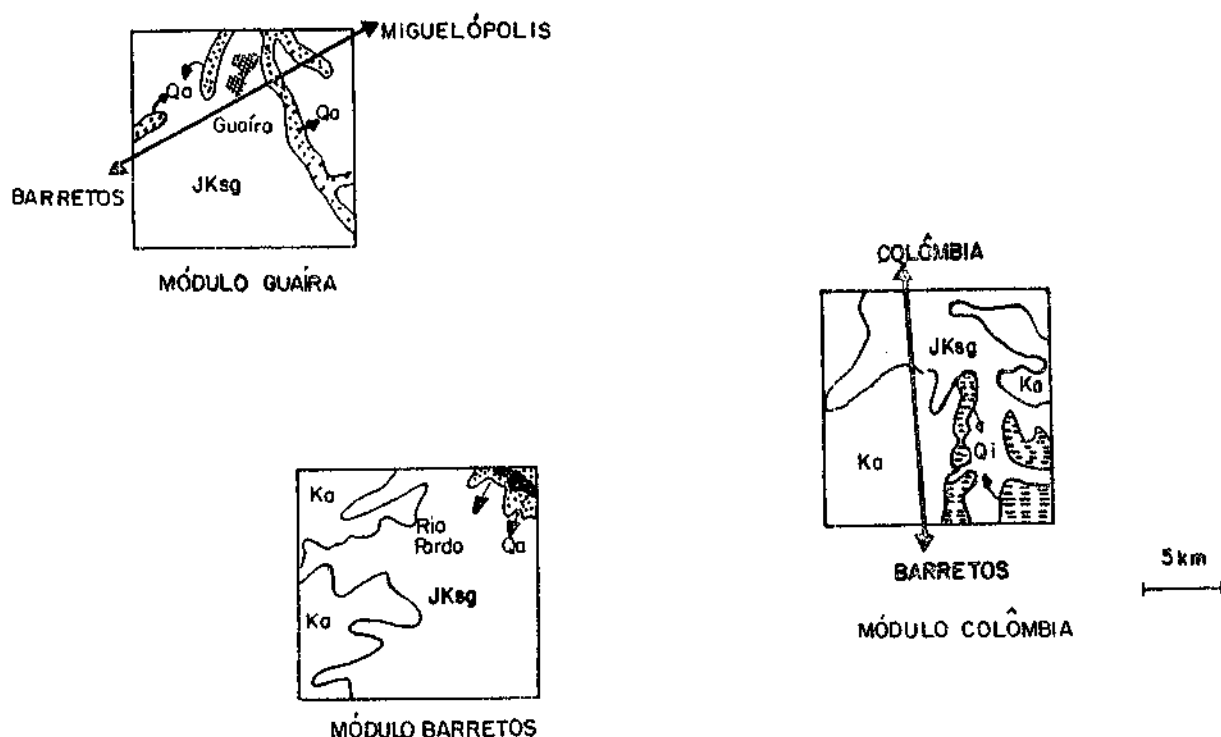


Fig. 3.1.2 - Disposição espacial das unidades litoestratigráficas dos três módulos de estudo (adaptado de IPT, 1981b).

O detalhamento descritivo das referidas unidades litoestratigráficas é feito com base em IPT (1981b), conforme segue:

JKsg - Formação Serra Geral (Grupo São Bento), constituída de rochas vulcânicas toleíticas em derrames basálticos de coloração cinza a negra, textura afanítica, com intercalações de arenitos, finos a médios, e esparsos níveis vitrofíricos não individualizados;

Ka - Formação Adamantina (Grupo Bauru), constituída de depósitos fluviais com



predominância de arenitos finos, podendo apresentar cimentação e nódulos carbonáticos, com lentes de siltitos arenosos e argilitos, ocorrendo em bancos maciços;

- QI - Sedimentos Continentais Indiferenciados, que são depósitos continentais incluindo sedimentos elúvio-coluvionares de natureza areno-argilosa e depósitos de caráter variado associados a encostas;
- Qa - Sedimentos Aluvionares, que são aluviões em geral, incluindo areias in consolidadas de granulação variável, argilas e cascalheiras fluviais, em depósito de calha e/ou terçoço.

Os materiais geológicos acima descritos originaram solos com horizontes B - latossólicos, de maneira absolutamente predominante, sendo que os limites pedológicos geralmente confundem-se com os limites litoestratigráficos (Figura 3.1.2). Desta maneira, segundo CNEPA (1960), ocorrem os solos: Latossolo Roxo (LR) (principalmente nos módulos de Guaíra e de Barretos), Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa (LEa) (originados do arenito Bauru sem cimento calcário) e Latossolo Vermelho Amarelo (LVa) (pequena mancha no módulo de Guaíra).

Na região predomina o tipo climático Aw de Köppen, clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno (maio a setembro), sendo julho o mês em que atinge a maior intensidade, um dos fatores limitantes a culturas de inverno. O índice pluviométrico varia entre 1100 e 1300mm anuais (CNEPA, 1960).

De maneira geral, a região pode ser considerada de ocupação agro-pastoril, ocorrendo extensas e contínuas áreas de pastagens, pouca vegetação natural primitiva e uma grande quantidade de áreas utilizadas com culturas anuais de sequeiro e, principalmente por grandes sistemas de aspersão do tipo "pivô central". Sistema este que começou a ser utilizado na década de 70, vem passando por um grande incremento e faz do município de Guaíra, por exemplo, o que apresenta maior quantidade de áreas irrigadas por aspersão do Brasil.

As culturas de maior interesse são o feijão, o trigo, o milho, a cana-de-açúcar, o sorgo, o tomate, a soja, vindo os citros numa posição secundária.

3.2 - SELEÇÃO DE ÁREAS/ACOMPANHAMENTO DAS CULTURAS

A região de Barretos/Guaíra/Colômbia possui excelentes condições sob o ponto de vista do sensoriamento remoto de culturas, dadas algumas características como:



- predominância de relevo suave ondulado a plano: condição que minimiza o efeito topográfico sobre o ângulo de incidência da luz solar, concorrendo para uma iluminação uniforme do terreno, como afirma Koffler (1982);
- ocorrência de áreas agrícolas irrigadas por pivôs centrais, com grandes dimensões (60 a 100ha), compatíveis com as especificações dos sistemas sensores orbitais existentes;
- ocorrência de culturas de inverno, época do ano em que há melhores probabilidades de obtenção de imagens de satélite livres de cobertura de nuvens;
- predominância de três tipos de solos de grande importância e representatividade agrícola em termos de Estado de São Paulo: o Latossolo Roxo, o Latossolo Vermelho-Escuro e o Latossolo Vermelho Amarelo; e,
- dominância de bom nível cultural dos proprietários, os quais facilitam o acesso às suas fazendas e mantêm bons registros de controles agrônômicos das suas plantações.

Assim, de posse de uma imagem TM/LANDSAT-5 de junho de 1986, bem como de informações advindas de contatos efetuados no ano de 1986 durante a execução de um outro projeto anterior (também na área de Sensoriamento Remoto Agrícola), foram selecionados 55 áreas dentro dos três módulos de 15km x 15km, distribuídos conforme indicado na Tabela 3.2.1.

TABELA 3.2.1

DISTRIBUIÇÃO DAS 55 ÁREAS NOS TRÊS MÓDULOS DE ESTUDO

MÓDULOS \ CULTURAS	CULTURAS	
	FEIJÃO	TRIGO
Guaíra	26	3
Barretos	13	4
Colômbia	3	6

Selecionadas as áreas e efetuados os devidos contatos com os respectivos proprietários (1ª missão de campo), foi iniciada uma série de 7 missões de coleta de dados "in situ" para vários parâmetros agrônômicos, visando fazer o acompanhamento das condições das culturas do trigo e do feijão durante os seus respectivos ciclos biológicos.



A fim de facilitar e ordenar os trabalhos em cada local, elaborou-se uma ficha de campo (APÊNDICE A), onde os seguintes itens deviam ser preenchidos para cada área em cada missão de campo: código da área, módulo, missão, data, observadores, cultura, variedade, data de plantio, orientação das fileiras, espaçamento, altura média, número de plantas/metro linear, número de folhas verdes/planta, número de folhas secas/planta, peso de matéria verde/"n" plantas, área foliar, uniformidade de cultura, porcentagem de cobertura do solo pelas plantas (estimativa visual), unidade do solo, estágio vegetativo, número do filme/número de foto, observações gerais, croqui dos pontos de coleta.

Cabe ressaltar aqui que cada missão de acompanhamento das culturas/coleta de dados agrônômicos e espectrais foi levada a efeito em datas praticamente simultâneas com as passagens do satélite LANDSAT sobre a região de estudo (quadrante E da imagem da órbita 221 ponto 74), conforme é demonstrado na Tabela 3.2.2. Como o número de áreas era grande e eram muitos os procedimentos em cada área, foram necessários, em média, três dias antes e três dias depois de trabalhos ao redor das datas de passagem do satélite.

TABELA 3.2.2

DATAS DAS PASSAGENS LANDSAT E DATAS DAS CAMPANHAS DE CAMPO

DATAS DAS PASSAGENS LANDSAT	DATAS DAS CAMPANHAS DE CAMPO	Nº DA MISSÃO	% COBERTURA DE NUVENS
19/maio/87	19 a 23/maio/87	(1)	60%
04/junho/87	31/maio a 06/junho/87	1ª	90%
20/junho/87	17 a 23/junho/87	2ª	10%
06/julho/87	04 a 10/julho/87	3ª	0%
22/julho/87	20 a 25/julho/87	4ª	(2)
07/agosto/87	03 a 08/agosto/87	5ª	90%
23/agosto/87	18 a 23/agosto/87	6ª	(3)
08/setembro/87	04 a 10/setembro/87	7ª	100%

- (1) Missão efetuada para localização das áreas e contatos com os respectivos proprietários.
- (2) Imagem não gravada devido a manutenção automática no próprio satélite.
- (3) Imagem não gravada devido a problemas técnicos na Estação de Recepção de Cuiabá (MT).



3.3 - COLETA DE PARÂMETROS AGRONÔMICOS

Muitos parâmetros de culturas têm sido estudados visando verificar-se a existência de relações com o comportamento espectral destas culturas. Estes parâmetros devem ser indicadores do grau de desenvolvimento, do vigor e das condições gerais das culturas em questão. Os parâmetros e os respectivos métodos de coleta são descritos a seguir:

- a) Peso da Matéria Verde (PV) - obtido pela pesagem direta de várias amostras de plantas coletadas ao acaso dentro de cada área, em balança portátil (capacidade para 1,610kg) com precisão de 0,1g. Os valores finais são dados em unidades de g/planta.
- b) Peso da Matéria Seca (PS) - uma parte das amostras de peso da matéria verde era acondicionada em sacos de papel identificados para cada área. Estas amostras eram, então, levadas para estufa com ventilação forçada, onde permaneciam por 24 a 48 horas a uma temperatura média de 75°C. Os valores finais são dados em unidades de g/planta.
- c) Teor de Umidade (TU%) - tendo-se os valores de PV e de PS, a porcentagem de umidade era obtida através de cálculos, conforme a equação (1).

$$TU\% = \left[\frac{PV - PS}{PV} \right] \times 100 \quad (1)$$

- d) Área Foliar (AF) - este parâmetro era obtido de maneira diferente para cada cultura. No caso do trigo, assumiu-se a forma da folha como retangular, obtendo-se a área a partir de medidas de comprimento e largura foliar. Desta maneira, através de várias amostras, obtinha-se a área foliar média por planta.

Quanto à área foliar para o feijão, inicialmente foi obtido um grande número de amostras de folhas de feijão, as quais foram pesadas; em seguida, as folhas de cada amostra pesada eram decalcadas em papel e, posteriormente, a área era medida através de mesa digitalizadora acoplada em microcomputador PC, com software adequado para medição de áreas. Assim, de posse de vários pares de peso x área aplicou-se procedimento estatístico de regressão linear, em que a área foi mantida como variável dependente. Na Figura 3.3.1 são apresentados o diagrama de dispersão e a equação de reta obtidos.

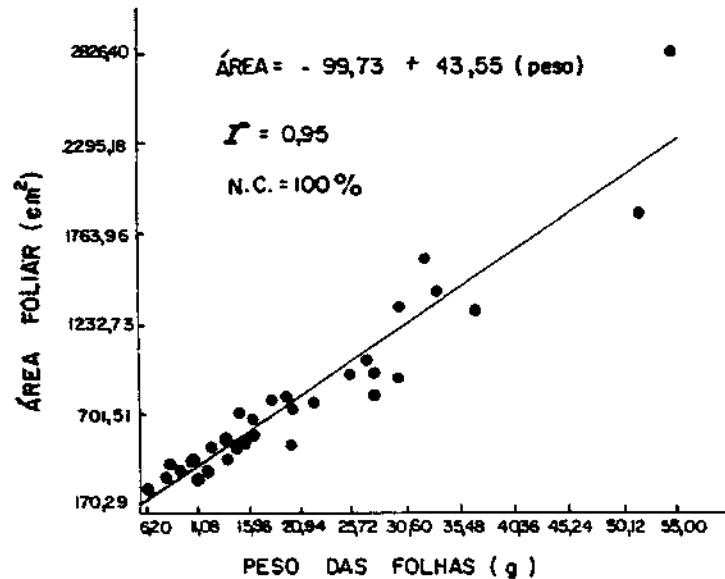


Fig. 3.3.1 - Diagrama de dispersão e equação de regressão para as variáveis peso e área foliar do feijão.

Assim, por questões de maior simplicidade, no campo as amostras de folhas eram pesadas e, posteriormente, através da equação já referida obtinham-se as áreas foliares. Os valores finais são dados em área foliar média por planta, em unidades de cm²/pl.

- e) Índice de Área Foliar (IAF) - este parâmetro é definido como a relação entre a área foliar total e a área de solo disponível para a planta. Assim, de posse da área foliar média por planta, do espaçamento médio e do número médio de plantas por metro linear, calculou-se o parâmetro IAF, conforme a equação (2).

$$IAF = (NPM \times AF) / EF \quad (2)$$

onde:

NPM = número médio de plantas por metro linear (plantas/m);

AF = área foliar média por planta (m²/planta);

EF = espaçamento médio entre fileiras (m).

Este procedimento para o cálculo do parâmetro IAF já fora utilizado por Epiphânio (1988).



- f) Fitomassa (F) - os valores para este parâmetro foram obtidos por simples cálculos envolvendo os dados de peso da matéria verde e de número médio de plantas por metro linear, conforme a equação (3).

$$F = PV \times NPM \text{ (g/m)} \quad (3)$$

onde:

PV = peso médio da matéria verde por planta (g/planta);

NPM = número médio de plantas por metro linear (plantas/m).

- g) Porcentagem de Cobertura Vegetal (COV) - este parâmetro visa avaliar, numa visada vertical, a quantidade de material vegetal verde das culturas, que está cobrindo a superfície do terreno na data de obtenção da imagem de satélite (ou em data a mais próxima possível). Para isso, em cada área, foi obtida uma fotografia vertical com câmara manual a cerca de dois metros de altura, procurando-se tomar uma amostra que representasse as condições de cobertura vegetal da área. Sobre a fotografia é feita, então, a determinação da quantidade de cobertura vegetal dada pela cultura através de uma grade de pontos compatível com a fotografia, fazendo-se, em seguida, o cálculo da porcentagem. Método semelhante já fora utilizado por Heilman et alii (1981) e por Epiphânio (1988).
- h) Rendimento Estimado (RE) - nas últimas missões de campo (mais especificamente na 6ª e na 7ª missões), muitas áreas de trigo e de feijão já estavam praticamente maduras e em ponto de colheita. Dados os objetivos deste projeto de se investigar também as relações das variáveis espectrais com a produtividade, foram coletados dados para o RE. Para isso, em cada área considerada em ponto de colheita, eram delimitadas três amostras de 1m², ao acaso, nas quais todas as vagens (no caso do feijão) ou todas as espiguetas (para o trigo) eram colhidas e embaladas em sacos previamente identificados. Em seguida, os grãos eram separados da palha e pesados obtendo-se o peso de grãos por m². Com a média das três amostras, por expansão direta, calcula-se o rendimento em kg/ha.

Cabe salientar que, no caso do feijão muitas amostras de vagens estavam com um teor de umidade muito elevado e foram deixadas em estufa por 24 horas a cerca de 70°C, antes da pesagem dos grãos.

- i) Rendimento Declarado (RD) - quando se chegava numa determinada área para a respectiva coleta de seus parâmetros agrônômicos e a cultura já havia sido colhida, procurava-se o proprietário que fornecia o rendimento encontrado na colheita, em kg/ha. Mesmo nos casos de se ter RE, quando possível também se obteve o RD.



Os parâmetros: NÚMERO DE FOLHAS VERDES/PLANTA, NÚMERO DE FOLHAS SECAS/PLANTA, ALTURA MÉDIA DAS PLANTAS, ESPAÇAMENTO E NÚMERO DE PLANTAS/METRO foram obtidos por medições ou por contagens diretas.

3.4 - AQUISIÇÃO DOS PARÂMETROS ESPECTRAIS

Os parâmetros espectrais, sobre os quais se fundamentaram as diversas análises do presente trabalho, provieram de sensores colocados em dois níveis de coleta; ou seja, no nível orbital (dados TM/LANDSAT-5) e no nível de campo (radiometria). A seguir são fornecidos subsídios a respeito das metodologias de aquisição dos dados espectrais nos dois níveis.

3.4.1 - DADOS DO TM/LANDSAT-5

Inicialmente convém descrever, embora de forma resumida, alguns detalhes operacionais do sistema LANDSAT, a fim de propiciar melhor entendimento sobre vários procedimentos adotados neste trabalho.

O primeiro satélite LANDSAT era, originariamente denominado ERTS ("Earth Resources Technology Satellite") e foi lançado em 23 de julho de 1972 pela NASA.

Dois outros satélites praticamente iguais foram lançados em anos posteriores, sempre tendo a bordo como principal sistema sensor o "Multispectral Scanner Subsystem" (MSS). A repetitividade de obtenção de imagens do mesmo ponto terrestre (cobrindo 185km x 185km cada imagem) era de 18 dias, sempre à mesma hora solar local. A resolução espacial era de 79 metros, com quatro bandas espectrais (entre 400 e 1100nm).

Incorporando avanços e melhorias tecnológicas em relação ao MSS, em julho de 1982 foi colocado em órbita, a bordo do LANDSAT-4, o sensor "Thematic Mapper" (TM). Esses avanços incluem melhor resolução espacial (30m x 30m para as bandas do visível e do infravermelho refletido), maior número de faixas espectrais (6 bandas do espectro refletido e 1 banda no termal) e localizadas em novas regiões do espectro eletromagnético e um maior número de níveis de quantização dos dados (256 níveis no TM e 64 no MSS) levando a uma maior sensibilidade radiométrica.

Em março de 1984 foi lançado o LANDSAT-5, também portando os sensores MSS e TM, os quais ainda atualmente encontram-se em operação; o TM/LANDSAT-4 já foi desativado. A repetitividade dos dados do LANDSAT-5 é de 16 dias.

Na Tabela 3.4.1 são apresentadas as sete bandas do TM/LANDSAT-5 e as principais aplicações potenciais que foram consideradas para a seleção de cada banda.

TABELA 3.4.1

BANDAS TM/LANDSAT-5 E SUAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES POTENCIAIS

BANDA	INTERVALO ESPECTRAL (μm)	APLICAÇÕES POTENCIAIS
1	0,45 - 0,52	Estudos batimétricos em regiões litorâneas de água limpa, até profundidade de 20 a 40m; mapeamentos de superfície de água e análise de materiais em suspensão. É denominada de banda azul. Diferenciação solo/vegetação. Sensitividade à concentração de carotenos e clorofila. Alguma possibilidade de identificação de Fe^{+3} e Mn^{+3} .
2	0,52 - 0,60	Mapeamento de vegetação sadia pela reflexão verde cujo pico se situa em $0,55\mu\text{m}$.
3	0,63 - 0,69	Banda de absorção da clorofila; significativa na diferenciação de espécies vegetais.
4	0,76 - 0,90	Estudos de volume da biomassa e delimitação de corpos d'água.
5	1,55 - 1,75	Estresses de vegetação por desequilíbrio de água na cobertura foliar. Expectativa na identificação de mineralizações superficiais, sobretudo com os dados da divisão da banda 5 pela banda 1.
6	10,4 - 12,5	Propriedades térmicas de solo, rocha, vegetação e água. Estudos de contraste térmico entre litologias de rochas silicáticas.
7	2,08 - 2,35	Esta é considerada estritamente uma banda geológica, selecionada para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal. Neste intervalo estão presentes algumas importantes bandas de absorção de rochas carbonáticas.

FONTE: NASA (1984a).

Descrições mais detalhadas sobre vários aspectos operacionais do sistema TM/LANDSAT podem ser encontrados em USGS (1984), NASA (1984b), Menezes (1986) e Epiphânio (1988).

Convém ainda assinalar que os produtos gerados pelo sensor TM podem ser armazenados em fitas magnéticas compatíveis ao computador (ou "computer comptible tapes", CCT's), ou seja, são consideradas como *imagem digital*.

Uma imagem digital é uma representação numérica de um produto qualquer, obtido através de sensores. A imagem analógica tem a sua área particionada em um número finito de sub-áreas minúsculas (também denominadas "células de resolução" ou "pixels"); a cada sub-área é atribuída um valor de nível de cinza (que pode variar de 0 a 255) proporcional à sua radiância. Desta maneira, uma imagem digital pode ser considerada como sendo uma matriz bi-dimensional de pixels, cujos níveis de cinza podem variar entre 0 e 255, onde os pixels com valores menores aparecerão com tonalidades mais escuras e vice-versa (Figura 3.4.1).

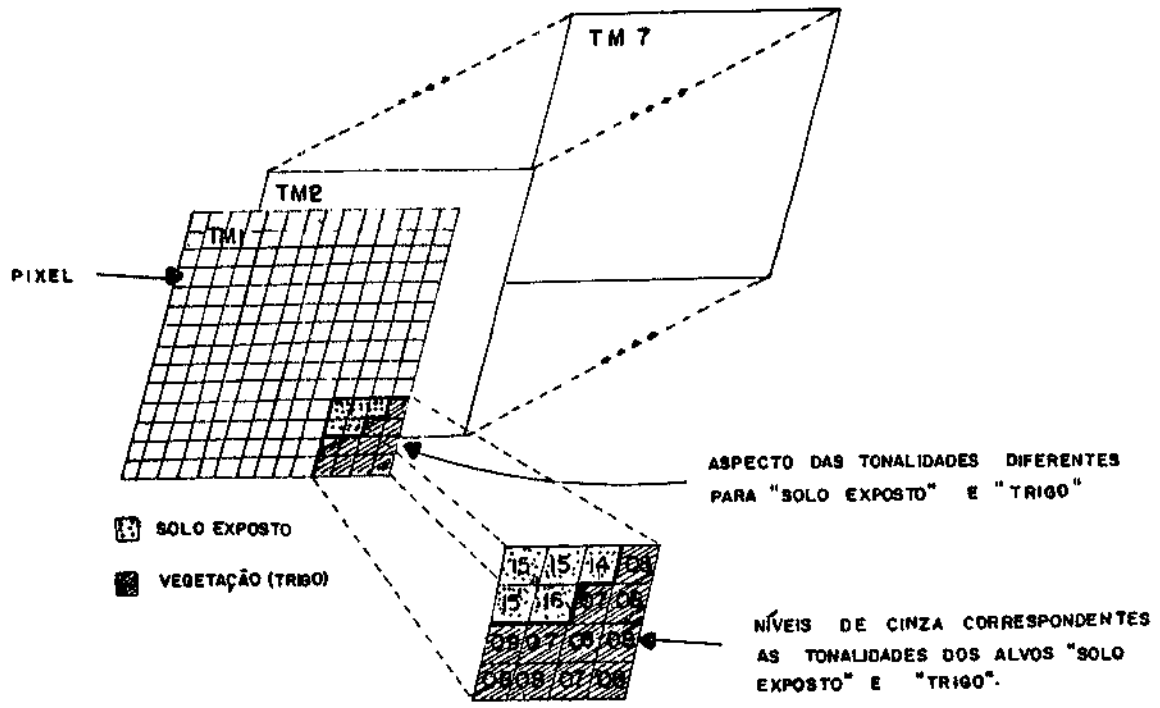


Fig. 3.4.1 - Representação esquemática de uma imagem digital, das diferentes bandas TM, dos pixels, das tonalidades para os alvos solo/vegetação e dos correspondentes níveis de cinza.



As imagens digitais apresentam a grande vantagem (sobre as imagens analógicas) de poderem ser armazenadas em fitas magnéticas compatíveis com computador ("compatible computer tapes" ou CCT's), para posteriores processamentos em computadores.

Cada pixel está associado a um nível de cinza, que é uma representação numérica quantizada dos valores de radiância correspondentes a cada pequena área unitária imageada no terreno (30m x 30m, para o TM). Somente valores discretos ou inteiros de níveis de cinza são associados aos pixels.

Assinala-se ainda que, além da dimensão espacial ou geométrica (tamanho e disposição dos pixels em formato de matriz bi-dimensional) da imagem digital, há ainda a dimensão espectral (no caso do TM, sete bandas) e a dimensão temporal (a cada 16 dias se tem uma imagem do mesmo local terrestre, para o TM/LANDSAT).

Assim, uma imagem digital pode ser considerada como uma matriz multidimensional de níveis de cinza referentes a uma cena.

Torna-se fácil inferir que, quanto maior o número de pixels da matriz, melhor deverá ser a resolução espacial da imagem e que, quanto maior for o intervalo total dos valores de níveis de cinza, melhor será a resolução radiométrica. O número de subdivisões do espectro eletromagnético, em que a radiância é medida determina a resolução espectral (7 bandas para o TM).

No presente trabalho, a imagem TM/LANDSAT-5 que cobre as áreas dos três módulos de estudo (Guaíra, Barretos e Colômbia) é a correspondente ao quadrante 221/74E.

Dados os problemas já esclarecidos no item 3.2 deste relatório, foi possível trabalhar apenas com duas datas de passagem do TM/LANDSAT-5, ou seja, as dos dias 20/06/87 e 06/07/87.

Teria sido ideal que, para as sete missões de coleta de dados agrônomicos, houvesse as sete correspondentes imagens isentas de nuvens, a fim de se poder acompanhar todas as áreas de trigo e de soja nas várias etapas de seus ciclos.

Contudo, dado que as datas de plantio das diversas áreas estenderam-se por um período bastante longo, como já foi frisado anteriormente, numa mesma data de passagem do satélite foi possível obter-se grupos de áreas que estavam em diferentes fases de seus ciclos, como é mostrado na Tabela 3.4.2 com base em quinzenas, dentro



TABELA 3.4.2

AGRUPAMENTO DAS ÁREAS DE TRIGO E DE FEIJÃO POR IDADE E DADOS GERAIS SOBRE CADA ÁREA

QUINZENAS DE PLANTIO	GRUPOS	Nº DE ORDEM	ÁREAS	DATAS DE PLANTIO	DATAS DE COLHEITA	DURAÇÃO CICLO CULTURAL (DIAS)	IDADE EM 20/JUN	IDADE EM 06/JUL
15 a 30/ABR	T ₁	1	AD.A ₂ (B)	25/ABR	24/AGO	121	56	72
		2	AD.A ₂ (C)	25/ABR	25/AGO	122	57	73
01 a 15/maio	T ₂	3	GA.E(A)	11/maio	01/set	113	40	56
		4	GA.E(B)	07/maio	03/set	119	44	60
		5	AD.A ₅	02/maio	25/ago	124	49	65
		6	SK.K ₁ (A)	14/maio	15/set	124	37	53
		7	SK.K ₂ (B)	05/maio	15/set	133	46	62
16 a 31/maio	T ₃	8	GA.D	26/maio	-	-	25	41
		9	GA.C	22/maio	-	-	29	45
01 a 30/jun	T ₄	10	SK.k ₁ (C)	19/jun	-	-	01	17
		11	BR.B ₁ (B)	01/jun	-	-	20	36
		12	AD.A ₃ (A)	09/jun	-	-	11	27
		13	AD.A ₃ (B)	09/jun	-	-	11	27
01 a 15/abr	F ₁	14	BU.P ₁	16/abr	23/jul	100	65	81
		15	BU.P ₂ (A)	09/abr	12/jul	94	72	88
		16	BU.P ₄ (A)	05/abr	08/jul	94	64	80
		17	BU.P ₅	08/abr	23/jul	106	73	89
		18	FU.F ₂ (A)	01/abr	05/jul	96	81	já colhido
		19	PS.P ₁ (A)	07/abr	05/jul	89	74	já colhido
		20	JS.8	13/abr	14/jul	92	68	84
		21	SK.K ₃ (A)	12/abr	20/jul	99	69	85
		22	FU.F ₂ (B)	20/abr	01/jul	102	91	já colhido
		16 a 30/abr	F ₂	23	BU.P ₃	25/abr	05/ago	102
24	AD.A ₂ (A)			23/abr	01/ago	100	58	74
25	PC.P ₁ (A)			29/abr	02/ago	96	52	68
26	FU.F ₁ (B)			23/abr	01/ago	100	58	74
27	EA.P ₁			19/abr	24/jul	96	62	78
28	AG.A(A)			29/abr	26/ago	118	52	68
29	PS.P ₁ (B)			28/abr	24/jul	87	53	69
30	JS.C			29/abr	02/ago	96	52	68
31	SK.K ₂ (A)			27/abr	11/ago	106	54	70
32	SK.K ₃ (B)			29/abr	06/ago	100	53	69
01 a 15/maio	F ₃	33	GA.F	01/maio	04/ago	96	51	67
		34	MU.MI	05/maio	10/ago	97	46	62
		35	BU.P ₂ (B)	02/maio	09/ago	99	49	65
		36	BR.B ₂ (B)	14/maio	28/ago	106	37	53
		37	PC.P ₁ (B)	10/maio	16/ago	98	41	57
		38	FU.F ₁ (A)	06/maio	13/ago	99	45	61
		39	EA.P ₂	15/maio	19/ago	96	36	52
		40	HI.P ₁ (A)	04/maio	15/ago	103	47	63
		41	JS.E	13/maio	16/ago	95	38	54
		42	AG.A ₁ (A)	15/maio	21/ago	98	36	52
		43	AC.A ₂	01/maio	06/ago	98	50	66
16 a 31/maio	F ₄	44	GA.A	16/maio	19/ago	95	35	51
		45	MU.M ₂	19/maio	23/ago	86	32	48
		46	MU.M ₂	27/maio	10/set	107	24	40
		47	AD.A ₁	19/maio	20/ago	93	32	48
		48	AG.A(B)	18/maio	02/set	107	33	49
		49	JS.A	29/maio	31/ago	94	22	38
50	AC.A ₁ (B)	16/maio	23/ago	99	35	51		
01 a 15/jun	F ₅	51	GA.B	02/jun	05/set	95	18	34
		52	BU.P ₄ (C)	10/jun	16/set	98	10	26
		53	PC.P ₂ (A)	10/jun	05/set	87	10	26
		54	BA.B	08/jun	17/set	101	12	28
		55	PC.P ₂ (C)	01/jun	03/set	95	19	35



das quais havia sido feito o plantio de cada área. Desta forma, as áreas foram com partimentadas em 4 grupos para o trigo e 6 grupos para o feijão.

Os valores de radiância das culturas de trigo e de feijão imageadas pelo TM/LANDSAT nas datas de 20/06/87 e de 06/07/87 são os valores espectrais a nível orbital básicos para o presente estudo.

Estes valores estão armazenados em fitas CCT na forma de pixels associados a níveis de cinza (proporcionais às radiâncias dos alvos), os quais devem ser recuperados a fim de se poder fazer as análises de suas relações com as variáveis agronômicas coletadas no campo naquelas duas datas.

Para se recuperar os níveis de cinza das fitas CCT foi utilizado o Sistema Analisador de Imagens Digitais denominado Image-100 (General Electric, 1976). As características detalhadas de funcionamento e os "softwares" de processamento e de classificações automáticas do Image-100 podem ser encontrados em Ribeiro et alii (1982).

Em poucas palavras, o Image-100 é um sistema iterativo (permite controle e modificação do processo de análise baseado no conhecimento prévio da imagem em estudo), conversacional, que utiliza um "hardware" especial operando sob o controle de um minicomputador PDP-11/45 para a implementação de algoritmos de extração de informações espectrais sobre alvos de superfície terrestre contidos em imagens digitais.

A imagem a ser analisada é carregada no sistema através de fitas magnéticas digitais (CCT) aparecendo, então, num monitor de televisão. O usuário posiciona um cursor (o qual tem forma e tamanho variáveis e pode ser movido através da tela) sobre a área ou alvo de seu interesse, permitindo ao sistema adquirir a "assinatura" (comportamento espectral típico) correspondente à referida área ou alvo.

A tela do monitor comporta uma imagem de 512 x 512 pontos de informação. A imagem correspondente a um quadrante do TM/LANDSAT cobre cerca de 92km x 92km, com aproximadamente 3000 pixels x 3000 pixels ou pontos de informação, em cada banda espectral.

Entre os motivos que levaram a se trabalhar com três áreas modulares de 15km x 15km (Guaíra, Barretos e Colômbia), foi considerado o de se compatibilizar escala de trabalho com a situação de 1 ponto de informação da tela corresponder a 1 ponto de informação (pixel) de imagens digitais. Este requisito é atendido, para



as imagens TM, com uma área modular de 15km x 15km sendo mostrada na tela numa escala aproximada de 1:51.000; condições estas adotadas nesta etapa do trabalho.

Assim, antes de se proceder à extração dos valores de níveis de cinza das áreas de trigo e feijão para as CCT's das duas datas julgou-se importante realizar algum tipo de correção quanto aos efeitos atmosféricos, o qual costuma trazer efeitos aditivos indesejáveis sobre os níveis de cinza de imagens orbitais.

Sabe-se que a radiância medida pelo sensor TM difere da radiância intrínseca do material imageado, devido a efeitos de absorção e de espalhamento causados pelos aerossóis, gases e moléculas d'água da atmosfera, confundindo as características espectrais dos alvos presentes numa imagem digital orbital.

O espalhamento atmosférico possui um efeito aditivo sobre os valores de radiância que chegam ao sensor, obedecendo uma relação em que o efeito é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda (princípio do espalhamento de Rayleigh). Desta maneira, é explicável o porquê das imagens de faixas espectrais de menores comprimentos de onda (TM1, p. ex.) serem bem mais intensamente afetadas que as de bandas correspondentes a comprimentos de onda maiores.

O efeito de absorção atmosférica reflete-se na subtração de valores de brilho para os comprimentos de onda maiores (infravermelhos) por causa da absorção da energia pelas moléculas d'água nestas regiões do espectro.

É reconhecidamente bastante difícil a coleta dos parâmetros que caracterizem o estado da atmosfera sobre uma determinada área, num determinado momento, de forma rigorosamente exata.

A rigor, estes parâmetros atmosféricos deveriam ser coletados para uma determinada área de interesse na mesma hora em que o satélite adquiriu a cena, através de equipamentos de radiosondagem. Então, estes dados seriam utilizados em modelos numéricos computacionais de correção atmosférica como o Lowtran VI (Kneizys et alii, 1983), por exemplo. Tais procedimentos são considerados extremamente custosos e estão ainda em desenvolvimento.



Desta maneira, tentando contornar estas dificuldades de maneira satisfatória, algumas técnicas operacionais de correção dos efeitos atmosféricos sobre dados sensoriados remotamente foram desenvolvidas, entre as quais tem sido muito utilizado o procedimento descrito por Schowengerdt (1983).

Neste método de correção atmosférica, a água límpida é tomada como referência, dado que sua reflectância é praticamente zero na região do infravermelho refletido.

Como afirma Menezes (1986), ajustes para absorções atmosféricas são difíceis de se determinar porque a atmosfera é muito variável na quantidade de vapor d'água, tamanho das moléculas, etc. O que se faz então é tentar eliminar o efeito da radiância adicionada pelo espalhamento atmosférico. Para isto, basta determinar os valores digitais ou níveis de cinza dos alvos que deveriam, por princípio, ter valores zero de reflectância e, na imagem em estudo, são maiores que zero devido à contribuição atmosférica. Em seguida, estes valores são subtraídos para todos os pixels da referida imagem.

Assim, no Image-100, inicialmente foi utilizado o programa "SINGLE-CELL" que faz a contagem do número de pixels correspondentes a cada nível de cinza (parâmetro que pode variar de 0 a 255), ou seja, gera um histograma. Em seguida, o programa "HLIST" fornece a listagem das frequências de ocorrência de pixels em cada nível de cinza, ou seja, lista o histograma numérico. De posse desta listagem e visualizando-se o histograma de barras, pode-se verificar em quais níveis de cinza devem estar ocorrendo interferências atmosféricas. Isto é, valores de níveis de cinza muito acima de zero, numa determinada banda, para corpos d'água limpa, indicam efeitos atmosféricos.

A fim de se poder visualizar em que pontos estavam determinados níveis de cinza, utilizou-se o programa "TBUILD", também denominado "construção de assinatura". Este programa mostra no tema (ou alarme) do sistema Imagem-100 os filtros correspondentes a um determinado nível de cinza.

Iniciava-se sempre a alarmar, na banda TM7 (onde geralmente o efeito atmosférico aditivo é bem menor e a absorção da radiação eletromagnética incidente pela água é total), os pixels de nível de cinza inferiores, verificando-se se eram correspondentes a corpos d'água ou sombras. Em caso positivo, também as outras bandas eram verificadas quanto aos seus menores níveis de cinza e, se a localização destes correspondia aos mesmos pixels alarmados para as bandas TM7, anotavam-se os valores destes níveis de cinza.



Estes valores passam a ser considerados como o efeito atmosférico aditivo nas diferentes bandas refletidas na data e no momento daquela passagem TM/LANDSAT sobre a área de estudo.

A etapa seguinte consistiu na amostragem dos níveis de cinza para todas as áreas de trigo e de feijão, nas duas datas de passagem TM/LANDSAT-5 disponíveis (20/06/87 e 06/07/87).

Para tanto, inicialmente foi utilizado o programa MAXVER com a finalidade de localizar as amostras de níveis de cinza para a primeira data (20/06/87) e para a sua posterior apresentação no monitor do sistema Image-100. Foram selecionadas 5 amostras de 12 pixels cada uma, para cada área de trigo e de feijão.

O programa "LIMPAR" foi utilizado para apagar todos os pixels carregados na tela que não pertencessem às amostras selecionadas, nos quatro canais do sistema Image-100.

Em seguida, o programa "IMPNIIV" permitiu a impressão dos níveis de cinza correspondentes às diversas áreas amostrais selecionadas, nos 6 canais TM de energia refletida.

Todas as amostras selecionadas tinham as suas coordenadas x/y gravadas em fitas de papel, para posterior recuperação e apresentação na tela do sistema.

Apresentando-se estas amostras na referida tela e mantendo-se uma banda TM da passagem de 20/junho carregada num dos canais do sistema e na sua tela, carregaram-se outros canais da passagem de 06/julho. Assim, por translação (movimentos tentativos da imagem toda nas várias direções), fez-se a sobreposição a mais exata possível da imagem de julho sobre a imagem de junho.

Desta maneira, as localizações das amostras para a passagem de julho foram praticamente as mesmas de passagem de junho, evitando-se, assim, a intervenção de fatores outros que não apenas as variações da dinâmica fenológica cíclica das culturas nas suas respostas espectrais, quando são consideradas ambas as passagens do satélite.

De posse das listagens de níveis de cinza fornecidas pelo uso do programa "IMPNIIV", foram identificadas as áreas e, posteriormente, os dados das várias amostras foram armazenadas em computador. Neste ponto, foi efetuado programa para subtração dos efeitos atmosféricos aditivos, obtendo-se então os valores de níveis

de cinza corrigidos, os quais serviram de base para as diversas análises realizadas neste trabalho.

3.4.2 - DADOS DE ESPECTROSCOPIA DE CAMPO

Como afirma Milton (1987), a espectroscopia de campo é uma técnica de fundamental importância no sensoriamento remoto, tanto a nível de pesquisa fundamental, como para aplicações operacionais.

Entretanto, a grande gama de tipos de instrumentos disponíveis, bem como a grande variação de diferentes técnicas usadas, têm resultado em problemas de comparabilidade de dados entre estudos, o que pode comprometer seriamente o valor de longo prazo de tais dados.

Assim, é essencial que todos os dados espectrais coletados no campo sejam apoiados por informações adequadas sobre as condições de medição e por dados auxiliares apropriados. Caso estes cuidados de documentação não sejam tomados, raramente todo o potencial da espectroscopia de campo será explorado.

A espectroscopia de campo envolve o estudo das interrelações entre características espectrais de objetos e seus atributos biofísicos no ambiente de campo.

O olho humano é sensível a somente uma pequena parte do espectro eletromagnético (aproximadamente de 0,4 a 0,7 μ m), enquanto que a espectroscopia em suporte ao sensoriamento remoto opera dentro de uma faixa muito mais larga.

Em geral, os alvos naturais não são refletores perfeitamente difusos, ou seja, lambertianos. Portanto, a intensidade do fluxo refletido varia com o ângulo com o qual ele deixa a superfície. Conseqüentemente, pode-se dizer que o ambiente de radiação compreende duas distribuições hemisféricas da radiação eletromagnética, uma chegando (irradiância) e outra saindo (radiância). É a interação entre estas duas distribuições que constitui o foco de interesse da espectroscopia de campo.

Tanto a radiância quanto a irradiância variam com o zênite e com o azimute; portanto, para especificar integralmente o campo de reflectância no alvo, a reflectância deveria ser medida em todas as possíveis posições fonte/sensor resultando na "função de distribuição da reflectância bi-direcional (FDRB), como é sustentado por Milton(1987). Contudo, no ambiente de campo, a medição da irradiância na superfície do alvo não é possível e uma alternativa à FDRB tem sido utilizada.



A alternativa encontrada foi a padronização da radiância refletida através do uso de um painel especificado como sendo *perfeitamente difusor*, que reflete completamente e que seja visado sob as mesmas condições de irradiação e na mesma geometria que o alvo. A radiância do alvo é então medida como uma proporção da radiância do referido painel. Tal configuração de medição pode ser referida como *di-cônica*, a medida que tanto o alvo quanto o painel são sensoriados usando instrumentos com um campo de visada estreito e cônico.

Na prática, porém, painéis-padrão *perfeitamente lambertianos* são impossíveis de se obter. Isto resulta em se usar o "fator de reflectância bi-direcional" (FRB).

O termo "bi-direcional", neste contexto, refere-se aos dois ângulos envolvidos, ou seja, um para a posição da fonte iluminada e outro para a posição do sensor.

O uso do FRB ao invés da FDRB para representar a reflectância espectral de alvos naturais envolve várias suposições, que incluem as seguintes:

- o campo de visada do sensor é menor que 20 graus;
- o painel de reflectância deve preencher o campo-de-visada do sensor;
- não deve haver mudança na quantidade ou na distribuição de irradiação entre as medições das radiâncias do alvo e do painel;
- o fluxo solar direto domina o campo de irradiação. Ou seja, o sol é assumido brilhar num céu escuro e a luz difusa ("sky light") é ignorada;
- o sensor responde numa forma linear às variações no fluxo radiante;
- as propriedades de reflectância do painel padrão são conhecidas e invariantes no curso das medições.

Destas suposições, aquela que é sempre violada na situação de campo é a ausência de luz difusa, que resulta em medições de campo do FRB serem feitas sob uma distribuição de irradiação que pode ser significativamente diferente do delgado cone alongado já anteriormente referido.

Uma abordagem alternativa proposta por Duggin (1980) consiste em se medir simultaneamente a irradiação e a radiância refletida do alvo, a fim de se eliminar erros nos fatores de reflectância que poderiam ser causados por flutuações de irradiação que ocorrem durante ou entre medições sequenciais do alvo e do painel refletor-padrão.



Quanto aos parâmetros espectrais do presente estudo foram obtidos por um radiômetro portátil KIMOTO, modelo 2703-MP, com um ângulo de visada de 10° . Obtiveram-se curvas espectrais em várias datas durante os ciclos biológicos do trigo e do feijão, nos seguintes comprimentos de onda: 400, 425, 450, 475, 500, 525, 550, 575, 600, 625, 650, 675, 700, 750, 850, 950, e 1050nm. Todas as leituras tinham como meio de saída uma impressora a bateria, sendo que cada ciclo completo de leitura dos 17 comprimentos de onda necessitava de cerca de 60 segundos para ser executado. Em cada ponto amostral era feita uma curva espectral numa placa padrão branca de sulfato de bário pintado (confeccionada no Instituto de Pesquisas Espaciais, Departamento de Pesquisa e Aplicações em Sensoriamento Remoto; São José dos Campos, SP), em seguida duas medições sobre a cultura e novamente uma medida na placa de referência. O radiômetro era colocado na posição vertical (a nadir) em relação ao alvo por um operador sobre uma escada portátil, a uma altura de cerca de 2,5m do nível do terreno cobrindo então uma área correspondente a um círculo com diâmetro de aproximadamente 50cm. As medições radiométricas foram efetuadas sempre num período horário do dia compreendido entre 09:00 hs e 15:00 hs, tomando-se o cuidado de realizá-las sempre em dias claros, evitando-se ao máximo dias com "haze" ou com nuvens cumulus no horizonte, fatores atmosféricos que poderiam interferir na irradiância solar sobre os alvos e a placa padrão. Para cada ponto amostral foi obtida uma fotografia exatamente da área "vista" pelo radiômetro, através de câmara com objetiva "zoom", a fim de documentar com detalhes as condições do alvo e também para se obter a porcentagem de cobertura do solo com material vegetal das culturas. Os dados registrados na impressora do radiômetro foram transferidos para computador e os valores de reflectância foram devidamente determinados através do uso de média das duas leituras de radiância de cultura e da média das duas leituras de radiância da placa padrão.

3.4.3 - GERAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

A partir dos dados espectrais do TM/LANDSAT-5 e da espectroscopia de campo, foram gerados os Índices de vegetação Razão Simples (Richardson e Wiegand, 1977), Diferença Normalizada (Rouse et alii, 1973) e o Índice de Vegetação Transformado (Rouse et alii, 1973), da maneira que se descreve a seguir.

No caso dos dados do TM/LANDSAT, de posse dos níveis de cinza corrigidos atmosféricamente, elaborou-se programa de computador na linguagem FORTRAN, através do qual foram executados os seguintes cálculos, de acordo com cada índice de vegetação:



a - Razão Simples (RS):

$$RS = TM4/TM3$$

b - Diferença Normalizada (ND):

$$ND = (TM4 - TM3)/(TM4 + TM3)$$

c - Índice de Vegetação Transformado (TVI):

$$TVI = \sqrt{[(TM4-TM3)/(TM4+TM3)] + 0,5}$$

Estes índices assim gerados passaram, então, a integrar um arquivo de computador juntamente com os níveis de cinza corrigidos atmosféricamente, das bandas TM individuais; arquivo este que, posteriormente, foi utilizado para as análises de correlação linear simples entre os dados de satélite e as variáveis agrônomicas.

Em relação aos valores de fator de reflectância obtidos pela espectroscopia de campo, a partir de 46 curvas radiométricas obtidas para este estudo, foram simuladas as bandas 1, 2, 3 e 4 do sensor Thematic Mapper do LANDSAT-5 da seguinte maneira:

$$RTM1 = (R_{450} + R_{475} + R_{500})/3$$

$$RTM2 = (R_{525} + R_{550} + R_{575} + R_{600})/4$$

$$RTM3 = (R_{625} + R_{650} + R_{675})/3$$

$$RTM4 = R_{850}$$

onde:

RTM 1,2,3,4 = designação dada aos valores de reflectância simulando as bandas LANDSAT/TM-1,2,3 e 4, a partir dos dados de radiometria de campo;

$R_{450,475} \dots$ = valor de reflectância obtida em condições de campo para o comprimento de onda 450, 475 ... (nm).

Os índices de vegetação foram obtidos através das seguintes equações:

a - Razão Simples (RS):

$$RS = RTM4/RTM3$$

b - Diferença Normalizada (ND):

$$ND = (RTM4-RTM3)/(RTM4+RTM3)$$

c - Índice de Vegetação Transformado (TVI):

$$TVI = \sqrt{[(RTM4-RTM3)/(RTM4+RTM3)] + 0,5}$$



NUM. PROJETO	13	NUM. FOLHA	34 / 77
CÓDIGO DO PROJETO			
80	118.6	0.4	0.4

3.5 - ANÁLISES DOS DADOS

Considerando-se os dados agronômicos mensurados durante as 7 campanhas de campo (em que cada uma das 55 áreas era revisitada simultaneamente às passagens do TM/LANDSAT), os dados de espectroscopia de campo e os dados extraídos das fitas CCT referentes às duas passagens de TM/LANDSAT-5, dispunha-se no final da fase de coleta de dados, de uma quantidade muito grande de dados. Dados estes que foram sendo ordenados, calculados, tabelados e arquivados em computador já durante a fase de coleta e também depois desta fase, prolongando-se um pouco mais do que previa o cronograma da proposta inicial à EMBRAPA. Foram efetuados, basicamente, dois tipos de análise dos dados: análises gráficas e análises estatísticas.

3.5.1 - ANÁLISES GRÁFICAS

Dispondo-se de todos os dados organizados, inicialmente foram feitas análises gráficas dos parâmetros agronômicos altura média, número de folhas verdes/planta, peso de matéria seca/planta, porcentagem de cobertura vegetal, teor de umidade, índice de área e fitomassa, tanto para o trigo quanto para o feijão.

Em seguida, foram feitas análises gráficas dos dados TM/LANDSAT-5 (para as duas passagens disponíveis) e dos dados de espectroscopia de campo, para as duas culturas de interesse.

Estas análises gráficas visam mostrar o comportamento das variáveis agronômicas e das variáveis espectrais (satélite e espectroscopia de campo), a fim de que se possa entender melhor as possíveis relações entre estes dois tipos de variáveis. Pelos vários gráficos é possível acompanhar as tendências das variáveis durante o desenrolar dos ciclos biológicos do feijão e do trigo, facilitando assim, possíveis explicações para a existência ou não daquelas relações buscadas.

3.5.2 - ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Visando-se quantificar estatisticamente as possíveis relações entre as variáveis agronômicas e as variáveis espectrais de que se dispunha, foram executadas análises de relação linear simples, através do pacote estatístico denominado BASIS (Burroughs, 1975), disponível no sistema computacional do INPE. A partir dos coeficientes de correlação obtidos e dos números de pares ajustados foram verificadas as significâncias das relações entre os dois tipos de variáveis, nos níveis de 1% e de 5%.



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente pesquisa fundamenta-se sobre variáveis de dois tipos: a) variáveis agronômicas: peso da matéria verde, peso da matéria seca, teor de umidade, espaçamento, altura média das plantas, número de folhas verdes/planta, área foliar/planta, rendimento estimado, rendimento declarado, porcentagem de cobertura verde, número de plantas/metro linear, índice de área foliar e fitomassa; e b) variáveis espectrais: níveis de cinza extraídos do TM/LANDSAT-5 e dados de espectroscopia de campo.

4.1 - COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS AGRONÔMICAS

Dos 13 parâmetros agronômicos mensurados nas 7 campanhas de campo, alguns são apenas auxiliares para o cálculo de outros (ex.: espaçamentos, área foliar/planta, número de plantas/metro linear), enquanto que outros serviram para fazer uma análise de crescimento, desenvolvimento e condições gerais das culturas de trigo e de feijão durante o decorrer de seus ciclos.

Assim, os parâmetros de vigor (peso da matéria seca, número de folhas verdes/planta, cobertura verde, fitomassa, teor de umidade e índice de área foliar) foram inicialmente utilizados para mostrar como foi o comportamento agronômico médio das duas culturas durante o ciclo estudado (inverno/87). Para esta análise, são utilizados os gráficos mostrados nas Figuras de 4.1.1 a 4.1.8 (Trigo) e de 4.1.9 a 4.1.16 (Feijão).

Convém atentar aqui que, dado que as datas de plantio das várias áreas ocorreram num largo espaço de tempo, as 13 áreas de trigo foram subdivididas em 4 grupos, enquanto que as 42 áreas de feijão foram alocadas em 5 grupos. Isto permite que áreas plantadas em datas próximas fiquem dentro do mesmo grupo, conforme mostra a Tabela 4.1.1.



TABELA 4.1.1

AGRUPAMENTO DAS 13 ÁREAS DE TRIGO E DAS 42 ÁREAS DE FEIJÃO, DE ACORDO COM AS RESPECTIVAS DATAS DE PLANTIO

CULTURA	GRUPOS	QUINZENAS DE PLANTIOS	Nº DE ÁREAS/GRUPO
TRIGO	T ₁	15 a 30/abril	02
	T ₂	01 a 15/maio	05
	T ₃	16 a 31/maio	02
	T ₄	Após 01/junho	04
FEIJÃO	F ₁	01 a 15/abril	09
	F ₂	16 a 30/abril	10
	F ₃	01 a 15/maio	11
	F ₄	16 a 31/maio	07
	F ₅	01 a 15/junho	05

A seguir são apresentadas as Figuras 4.1.1 a 4.1.6, que mostram os comportamentos das variáveis agronômicas número de folhas verdes/planta, peso da matéria seca, teores de umidade, fitomassa, índice de área foliar e cobertura verde, para a cultura de trigo irrigado em 13 áreas de estudo localizadas na região noroeste do Estado de São Paulo; após cada figura são colocadas as discussões pertinentes.

Analisando-se a Figura 4.1.1, pode-se perceber que a variável Altura Média das plantas de trigo apresenta um comportamento ascendente durante uma primeira parte de seu ciclo e, a partir deste ponto, ela permanece mais ou menos constante até a colheita.

As curvas dos grupos T₁, T₂ e T₃ apresentam um padrão bem típico e de finido, com um atraso proporcional às diferentes datas de plantio entre os grupos. Porém, a curva T₄ confundiu-se com a T₃, embora com o mesmo padrão ascendente com um platô no final. Presumivelmente as áreas do grupo T₃ não sejam significativamente diferentes das do grupo T₄, quanto aos efeitos causados por diferenças de datas de plantio, em função de possíveis diferenças de manejo, adubação, irrigação, fotoperíodo, solos, etc.

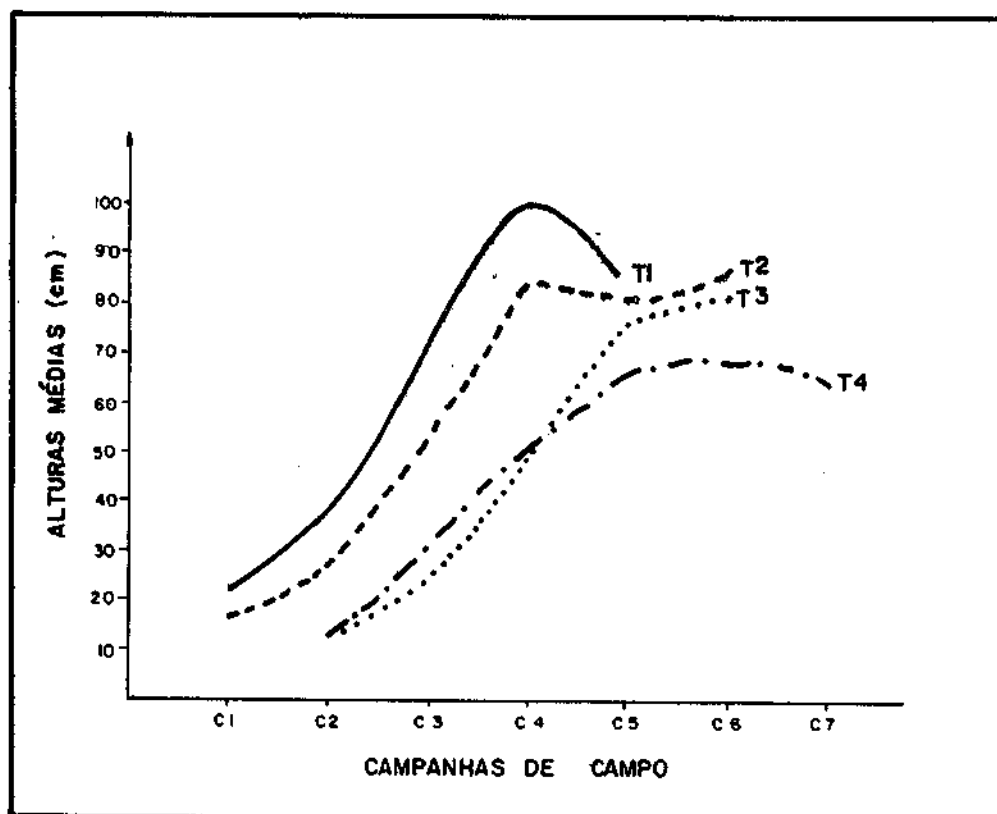


Fig. 4.1.1 - Comportamento da variável agrônoma Altura Média, durante as 7 campanhas de campo, para os quatro grupos de idade (T_1 , T_2 , T_3 e T_4) das áreas de trigo.

No tocante ao parâmetro Número de Folhas Verdes/planta (Figura 4.1.2.), tomando-se a curva T_3 como padrão, verifica-se que há um aumento muito grande e rápido no início do ciclo, atingindo-se um máximo por volta dos 47 dias; isto devido ao intenso e rápido perfilhamento inicial do trigo. Atingido o ponto de máximo, começa a ocorrer um declínio acentuado e rápido também, chegando a um ponto de mínimo no final do ciclo.

O parâmetro Peso da Matéria Seca/planta (Figura 4.1.3) apresenta, como era de se esperar, um comportamento francamente ascendente ao longo do ciclo (se for analisada a curva T_2 como típica para o trigo), atingindo um platô no final do ciclo. Novamente fica evidenciado que as áreas dos grupos T_3 e T_4 não apresentam um comportamento tipicamente diferenciado, apesar das diferentes datas de plantio.

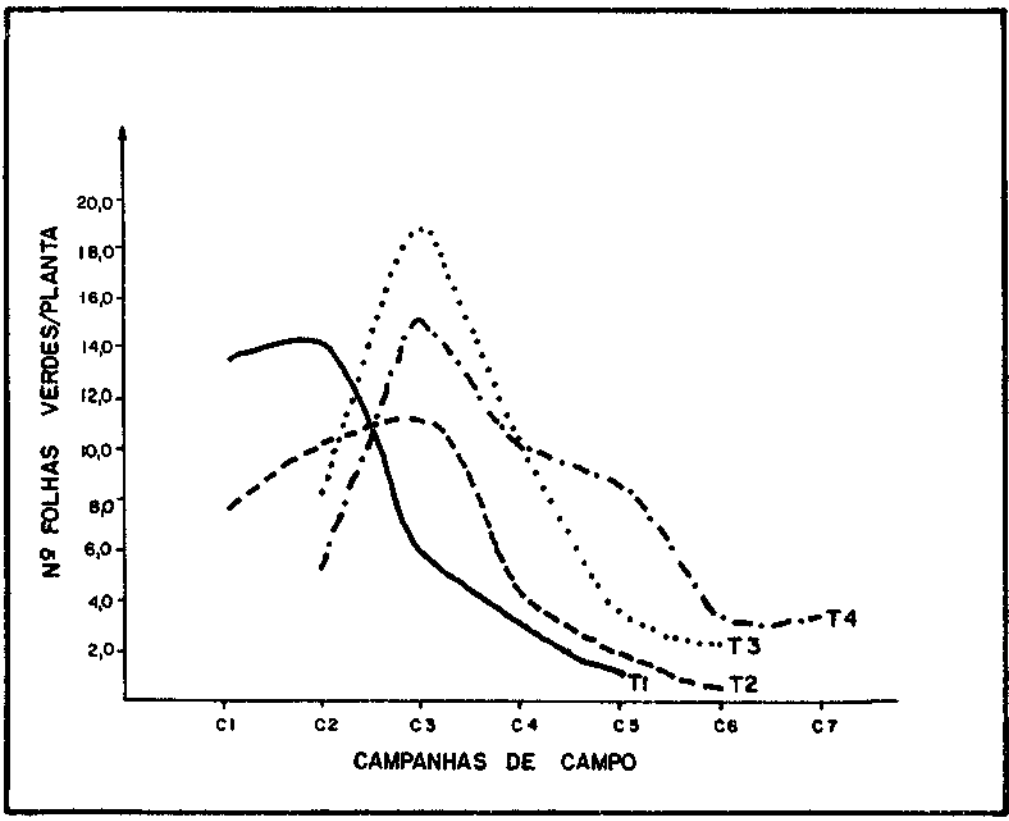


Fig. 4.1.2 - Comportamento variável agrônômica Número de Folhas Verdes/planta, durante as 7 campanhas de campo, para os quatro grupos de idade (T₁, T₂, T₃ e T₄) das áreas de trigo.

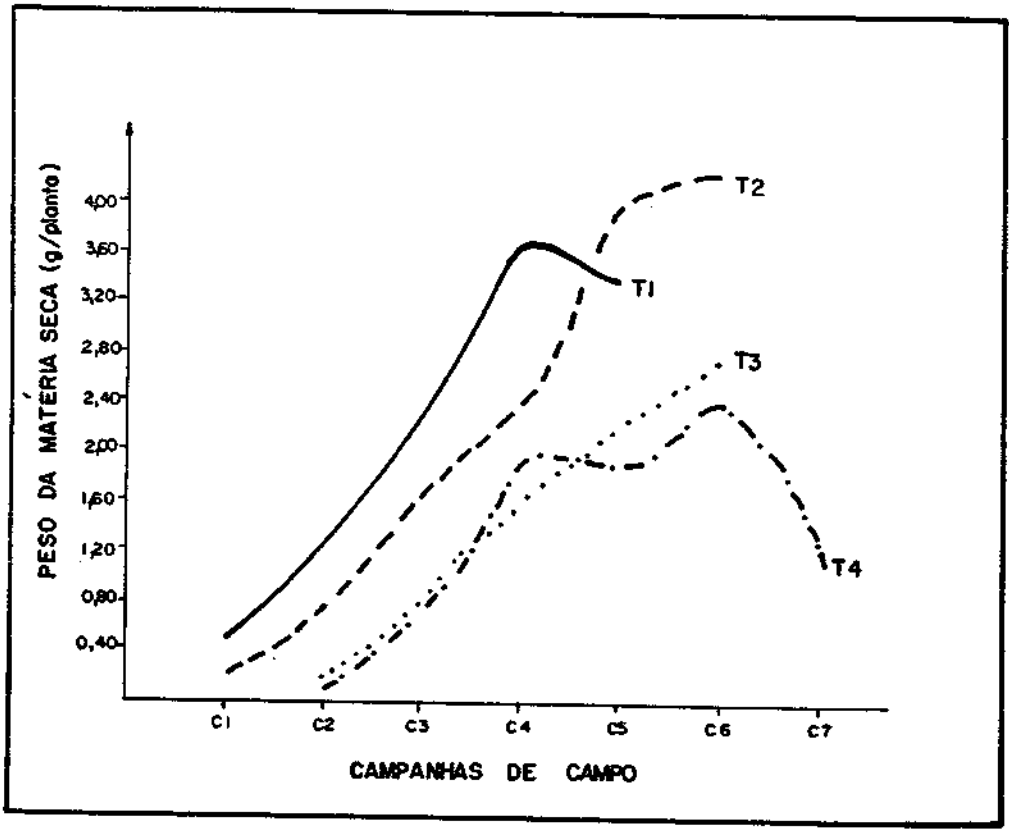


Fig. 4.1.3 - Comportamento da variável agrônômica Peso da Matéria Seca/planta, durante as 7 campanhas de campo, para os quatro grupos de idade (T₁, T₂, T₃ e T₄) das áreas de trigo.

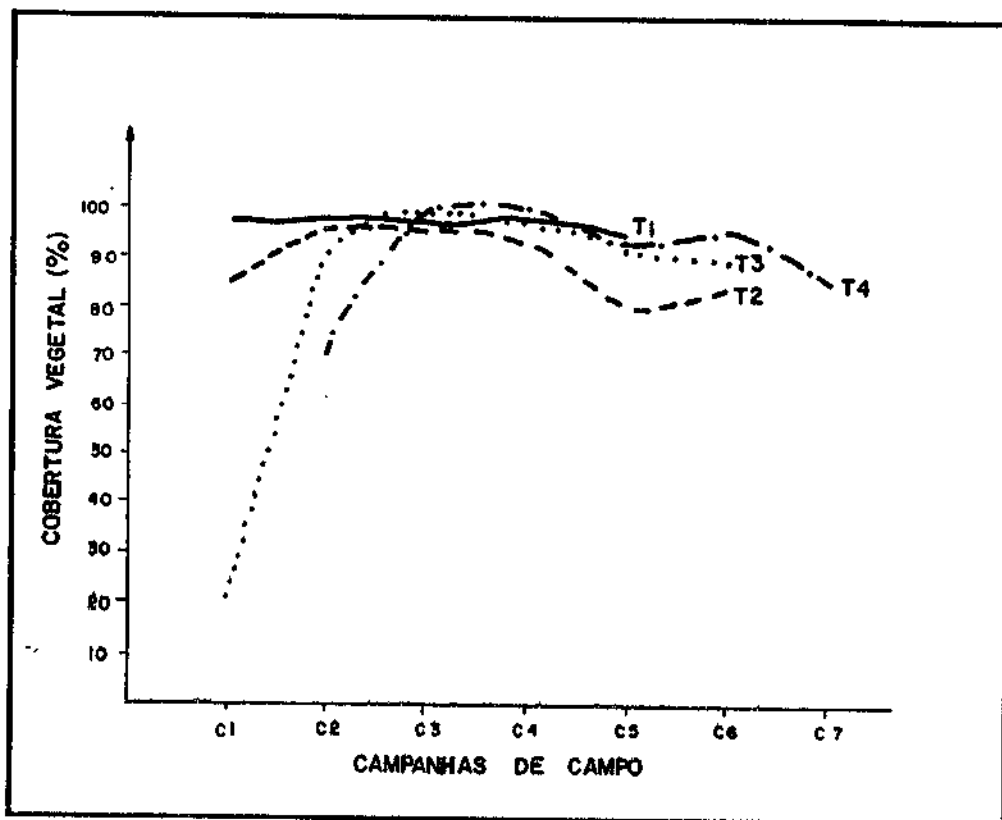


Fig. 4.1.4 - Comportamento do variável agrônômica Porcentagem de Cobertura Vegetal, durante as 7 campanhas de campo, para os quatro grupos de idade (T₁, T₂, T₃ e T₄) das áreas de trigo.

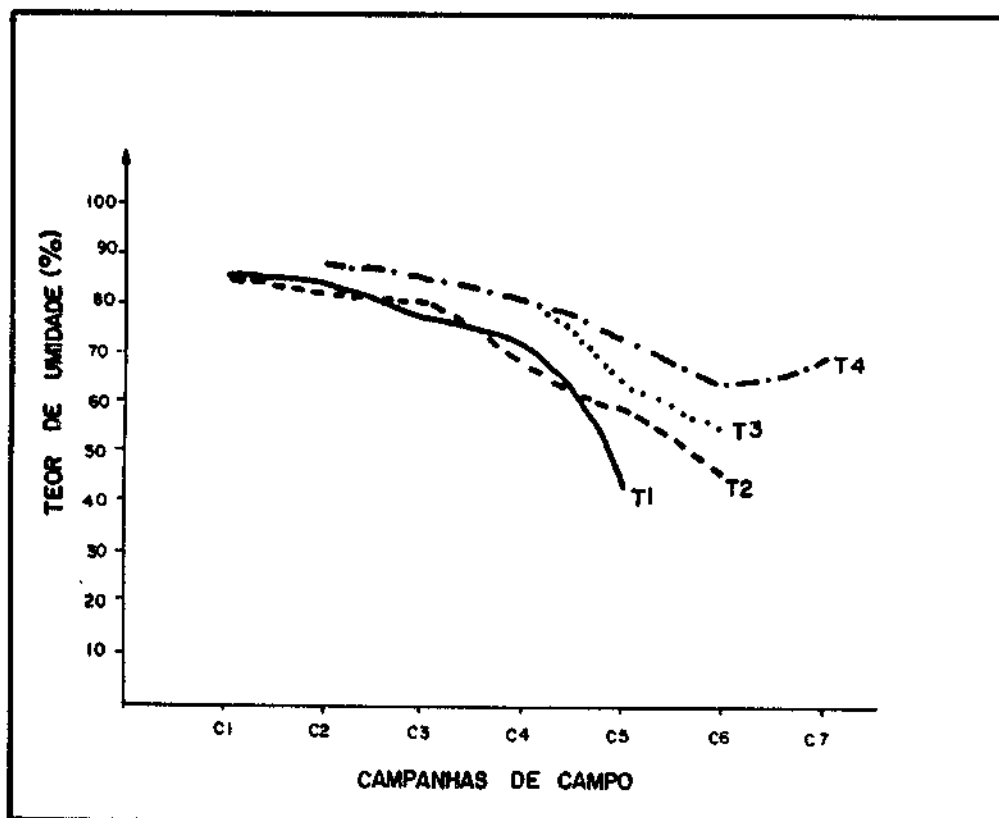


Fig. 4.1.5 - Comportamento da variável agrônômica Teor de Umidade, durante as 7 campanhas de campo, para os quatro grupos de idade (T₁, T₂, T₃ e T₄) das áreas de trigo.

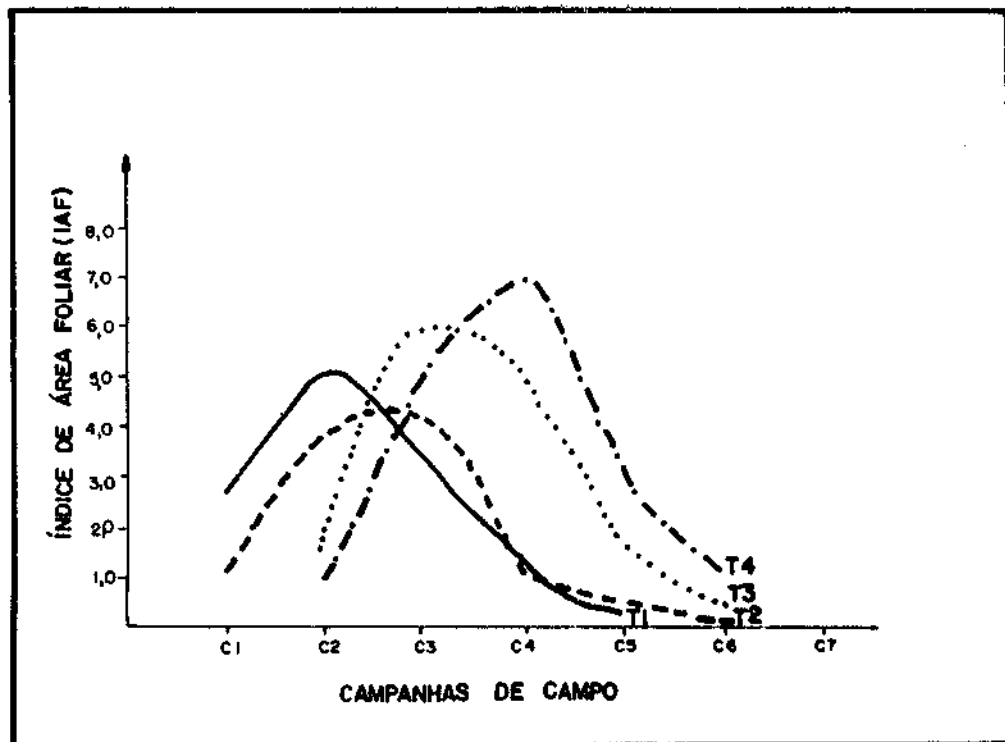


Fig. 4.1.6 - Comportamento da variável agrônômica Índice de Área Foliar, durante as 7 campanhas de campo, para os quatro grupos de idade (T_1 , T_2 , T_3 e T_4) das áreas de trigo.

A variável Porcentagem de Cobertura Vegetal (Figura 4.1.4), tomando-se a curva T_3 como representativa da cultura de trigo, apresenta, inicialmente, uma taxa de aumento muito grande e muito rápida, atingindo um platô próximo aos 100% após cerca de 31 dias de idade (na Figura 4.1.4, isto ocorre após a campanha de campo C2). A fase de crescimento rápido da Porcentagem de Cobertura Vegetal do solo pela cultura de trigo é praticamente concomitante com a fase de crescimento rápido do Número de Folhas Verdes em função do intenso perfilhamento, como já foi reportado anteriormente e era de se esperar que acontecesse. Porém, o platô próximo aos 100% de cobertura permanece pelo resto do ciclo, ao passo que o Número de Folhas Verdes/planta, após o pico dos 47 dias (Figura 4.1.2), decai acentuadamente. Isto significa que, após os 47 dias, a Porcentagem de Cobertura Vegetal dada pelo trigo é mais devida às folhas que vão secando, às espiguetas em desenvolvimento e aos tecidos de sustentação, fitomassa esta que vai tendendo a um amarelecimento progressivo até o final do ciclo.

No que concerne ao parâmetro Teor de Umidade (%) (Figura 4.1.5), percebe-se que há uma tendência de permanência desta variável na faixa dos 80-90% até praticamente a metade do ciclo, quando inicia-se um secamento gradual até o final do ciclo, concomitantemente ao processo de maturação.



O Índice de Área Foliar (IAF), apresentado na Figura 4.1.6, apresenta um comportamento praticamente igual ao apresentado pelo parâmetro Número de Folhas Verdes/planta (Figura 4.1.2), como era de se esperar, dada a interdependência de ambos. Deve-se indicar que o IAF considera somente as folhas, ou as partes delas, fotossinteticamente ativas; isto é, que estejam verdes e com clorofila.

A Fitomassa (Figura 4.1.7) apresenta um comportamento bastante concordante com o Peso da Matéria Seca (Figura 4.1.3). Ou seja, há um aumento durante a primeira metade do ciclo, atingindo-se um pico e posteriormente ocorre um decréscimo gradual, provavelmente devido ao contínuo processo de senescimento e queda das folhas.

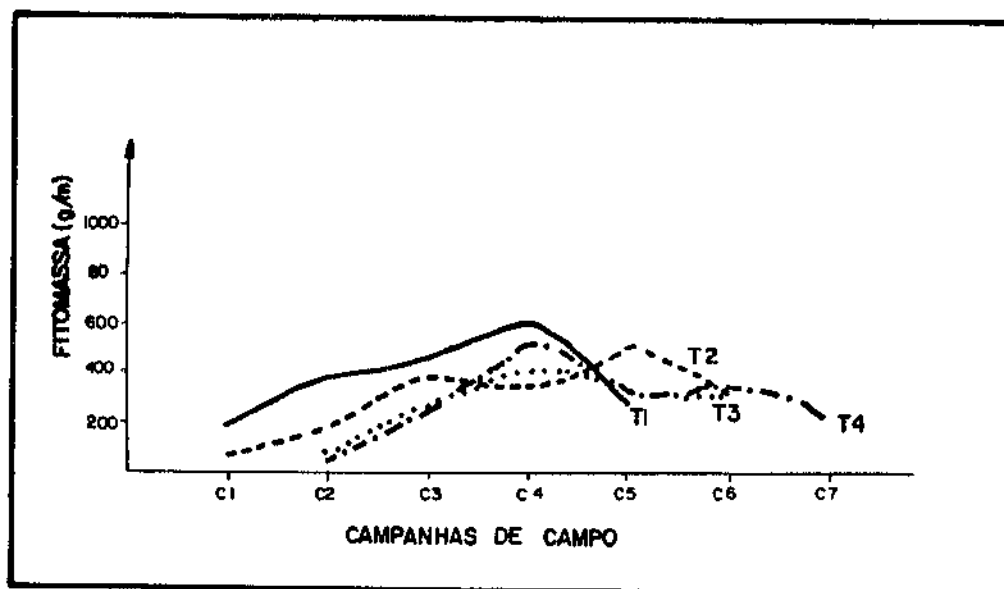


Fig. 4.1.7 - Comportamento da variável agrônômica Fitomassa, durante as 7 campanhas de campo, para os quatro grupos de idade (T_1 , T_2 , T_3 e T_4) das áreas de trigo.

A Figura 4.1.8 mostra as 7 variáveis agrônômicas discutidas até aqui colocadas juntas, a fim de que se possa visualizar o comportamento conjunto das mesmas durante o decorrer do ciclo do trigo.

Pelo exame desta figura, pode-se apontar, inicialmente, a similaridade e concomitância de comportamento das variáveis Número de Folhas Verde/planta e Índice de Área Foliar, uma vez que elas são interdependentes.

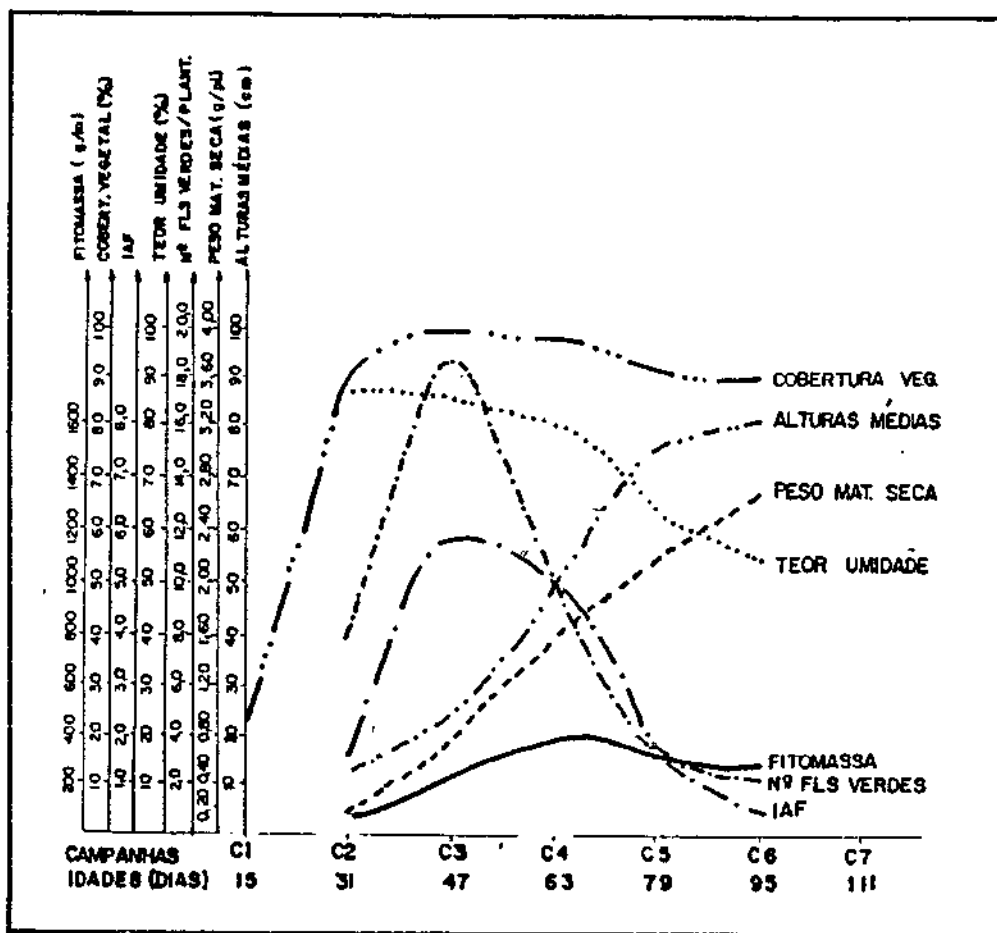


Fig. 4.1.8 - Comportamento de 7 variáveis agrônômicas durante as 7 campanhas de campo, para o grupo de idade T₃ das áreas de trigo (considerando-se o grupo T₃ como representativo do comportamento do trigo).

Nota-se também que, enquanto ocorre um aumento constante do Peso da Matéria Seca (g/planta), a partir dos 63 dias ocorre uma tendência de diminuição da Fitomassa (g/m), a qual deve ser principalmente explicada pela queda contínua mostrada pelo Teor de Umidade (%) na fase final do ciclo (maturação).

A Cobertura Vegetal (%) apresenta um aumento praticamente concomitante com o Número de Folhas Verdes/planta e com o Índice de Área Foliar até por volta dos 47 dias de idade; porém, a partir deste ponto, enquanto os dois últimos parâmetros de caem até o final do ciclo, a Porcentagem de Cobertura Vegetal permanece praticamente constante, ressaltando-se que a planta como um todo deve entrar num processo de contínuo amarelecimento a partir daquele ponto do seu ciclo.

A partir deste ponto passam a ser discutidas as variáveis agrônômicas mensuradas para as 52 áreas de feijão, cujos padrões de comportamento estão ilustrados na Figuras de 4.1.9 a 4.1.16.

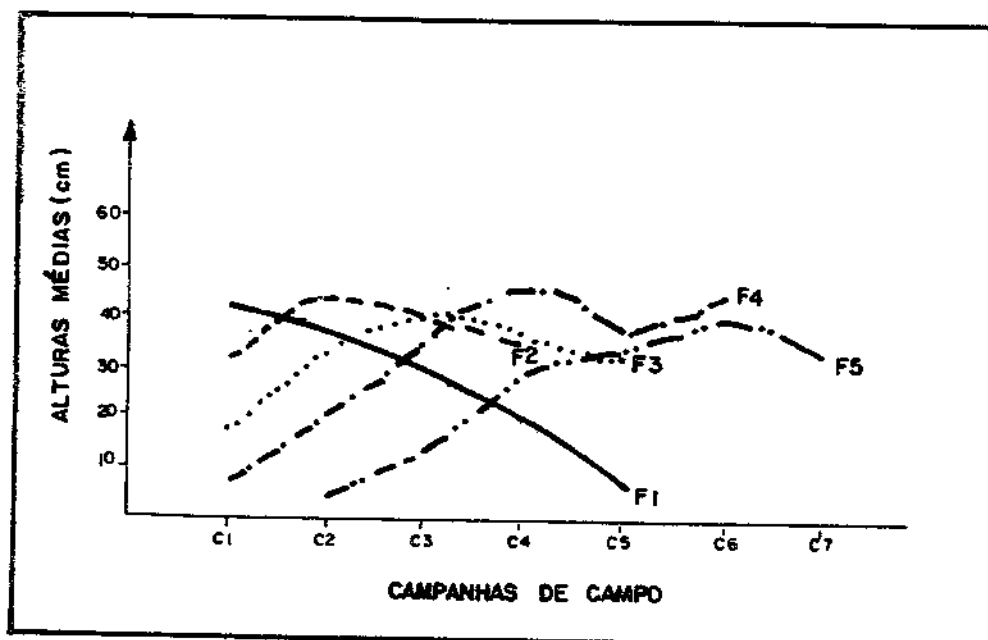


Fig. 4.1.9 - Comportamento da variável agrônômica Altura Média, durante as 7 campanhas de campo, para os 5 grupos de idade (F₁, F₂, F₃, F₄ e F₅) das áreas de feijão.

Analisando-se a Figura 4.1.9 e tomando-se a curva do grupo F₅ como representativa do feijão, nota-se que há um contínuo aumento da Altura Média das plantas até por volta do 77^o dia (campanha C6), a partir de quando ocorre ligeiro decréscimo, presumivelmente devido ao secamento e queda das folhas.

Em relação ao Número de Folhas Verdes/planta, tomando-se a curva do grupo F₅ como representativa do comportamento do feijão para este parâmetro, nota-se que na maior parte do ciclo há um crescimento gradual e constante até se atingir um ponto de máximo por volta dos 74 dias (campanha C6) e em seguida uma queda; a qual pode ser atribuída ao processo de secamento das folhas em função da fase de maturação do feijão.

O peso da Matéria Seca/planta, considerando-se a curva do grupo de idade 75 como representativa do feijão, também apresenta um padrão de comportamento similar ao do Número de Folhas Verdes/planta. Ou seja, há um crescimento constante na maior parte do ciclo, até se atingir um pico e em seguida ocorre uma queda, na fase de maturação, quando há um intenso secamento e queda das folhas.

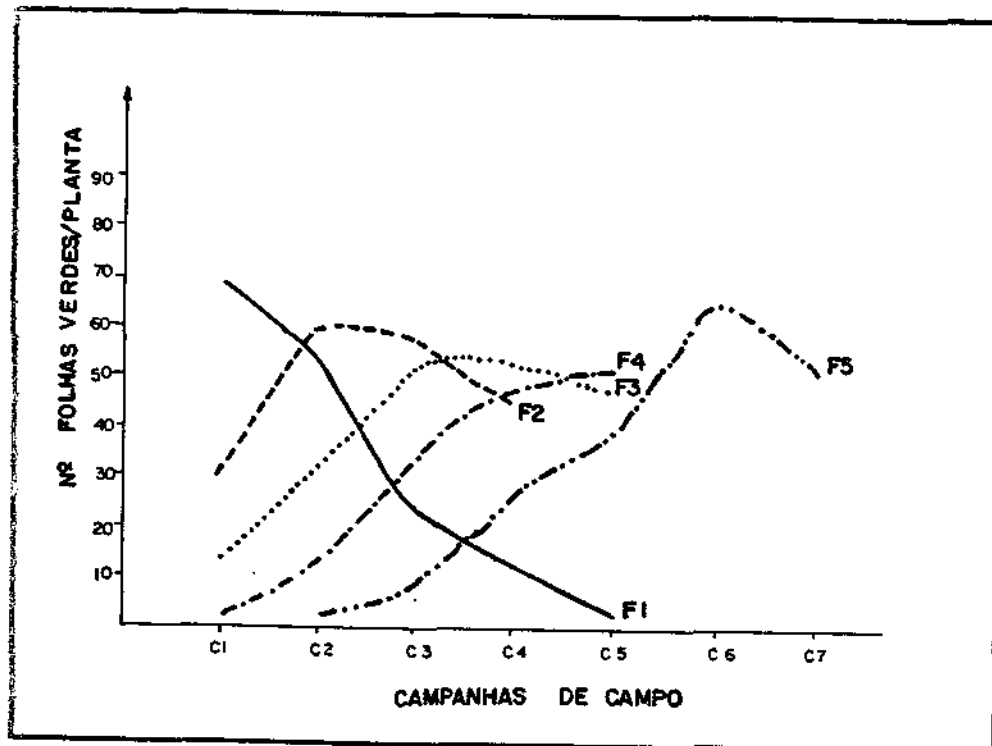


Fig. 4.1.10 - Comportamento da variável agrônômica Número de Folhas Verdes/planta, durante as 7 campanhas de campo, para os 5 grupos de idade (F_1 , F_2 , F_3 , F_4 e F_5) das áreas de feijão.

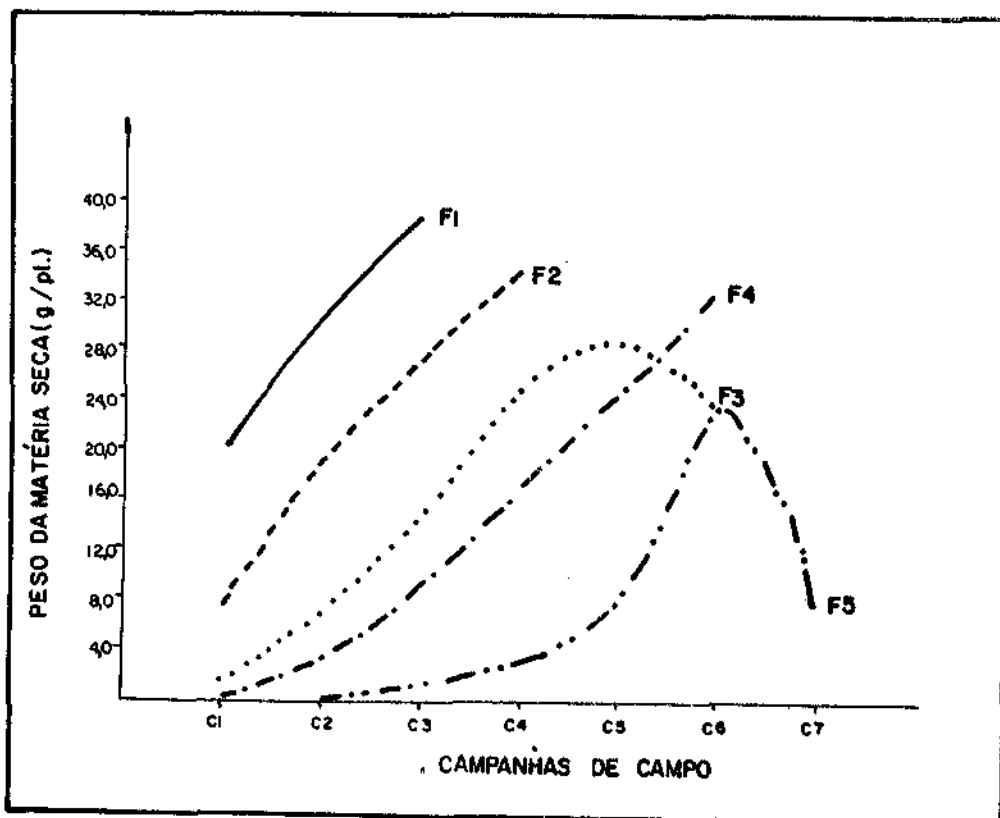


Fig. 4.1.11 - Comportamento da variável agrônômica Peso da Matéria Seca/planta, durante as 7 campanhas de campo, para os 5 grupos de idade (F_1 , F_2 , F_3 , F_4 e F_5) das áreas de feijão.



O parâmetro Porcentagem de Cobertura Vegetal do solo pelas plantas (Figura 4.1.12), elegendo-se a curva do grupo F5 como representativa, apresenta um padrão bastante semelhante aos padrões de comportamento do Número de Folhas Verdes/planta e do Peso de Matéria Seca. Ou seja, há aumento do parâmetro durante a maior parte do ciclo, um pico e queda a seguir. Se a curva F1 fosse deslocada para desempenhar o papel de dar continuidade à curva F5, verificar-se-ia que a Porcentagem de Cobertura do solo pelo feijão vai diminuindo nas fases finais do seu ciclo até a valores baixos (cerca de 10%); isto, em função da grande e rápida taxa de secamento e queda das folhas nas fases de maturação das vagens.

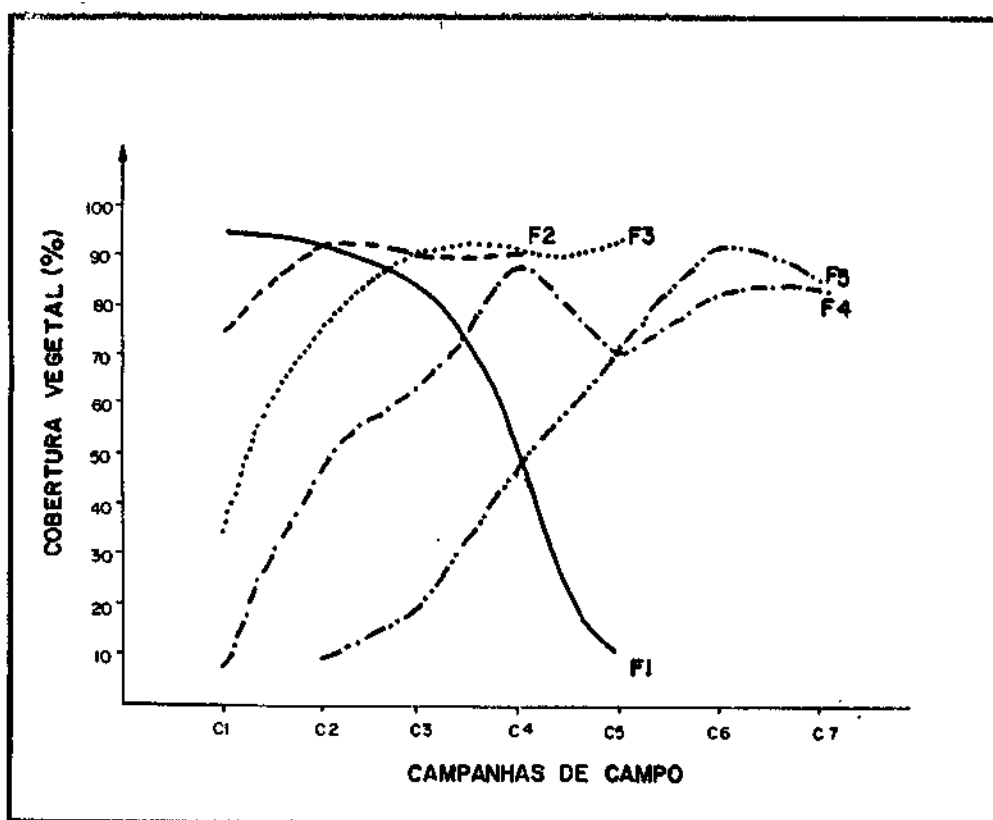


Fig. 4.1.12 - Comportamento do variável agrônômica Porcentagem de Cobertura Vegetal, durante as 7 campanhas de campo, para os 5 grupos de idade (F₁, F₂, F₃, F₄ e F₅) das áreas de feijão.

Analisando-se a Figura 4.1.13, que ilustra os dados de variação do Teor de Umidade (%) ao longo do ciclo do feijão, verifica-se que este parâmetro mantém-se praticamente constante na faixa dos 80-90%, não acompanhando os padrões de comportamento do Número de Folhas Verdes/planta e do Peso da Matéria Seca, por exemplo. Presumivelmente, nas fases finais do ciclo, quando as folhas secam e caem, a umidade é transferida para as vagens que realmente apresentam alta quantidade de umidade até pouco antes de estarem totalmente maduras.

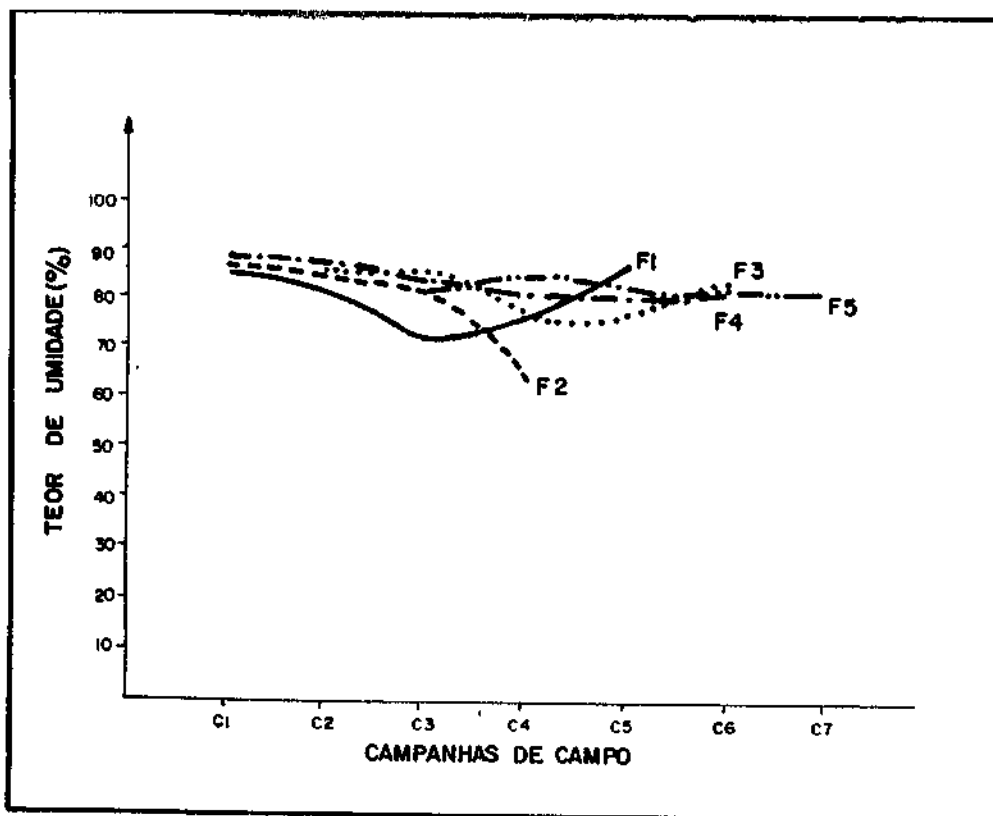


Fig. 4.1.13 - Comportamento da variável agrônômica Teor de Umidade (%), durante as 7 campanhas de campo, para os 5 grupos de idade (F_1 , F_2 , F_3 , F_4 e F_5) das áreas de feijão.

Considerando-se agora o parâmetro Índice de Área Foliar (Figura 4.1.14) e a curva F_5 como representativa do feijão para o IAF, nota-se que o seu padrão de comportamento também é semelhante aos padrões de Número de Folhas Verdes/planta e Porcentagem de Cobertura, o que está coerente com o que se deveria esperar do interrelacionamento entre estas variáveis agrônômicas do feijão.

Finalmente, com relação ao parâmetro Fitomassa (Figura 4.1.15), tomando-se a curva F_5 como a mais representativa do feijão, nota-se que há concordância de comportamento com outros parâmetros, como Peso de Matéria Seca, Número de Folhas Verdes/planta e Porcentagem de Cobertura Vegetal, ou seja, ocorrem aumentos durante grande parte do ciclo, atingindo-se um pico e posterior queda.

A Figura 4.1.16 mostra as 7 variáveis agrônômicas discutidas até aqui para o feijão, a fim de que se possa visualizar o comportamento conjunto das mesmas durante o decorrer do ciclo da cultura.

Nesta figura, nota-se inicialmente a similaridade e concomitância de comportamento das variáveis Número de Folhas Verdes/planta, Porcentagem de Cobertura Fitomassa, Índice de Área Foliar e Peso da Matéria Seca, indicando grande interrelação entre estas variáveis.



39

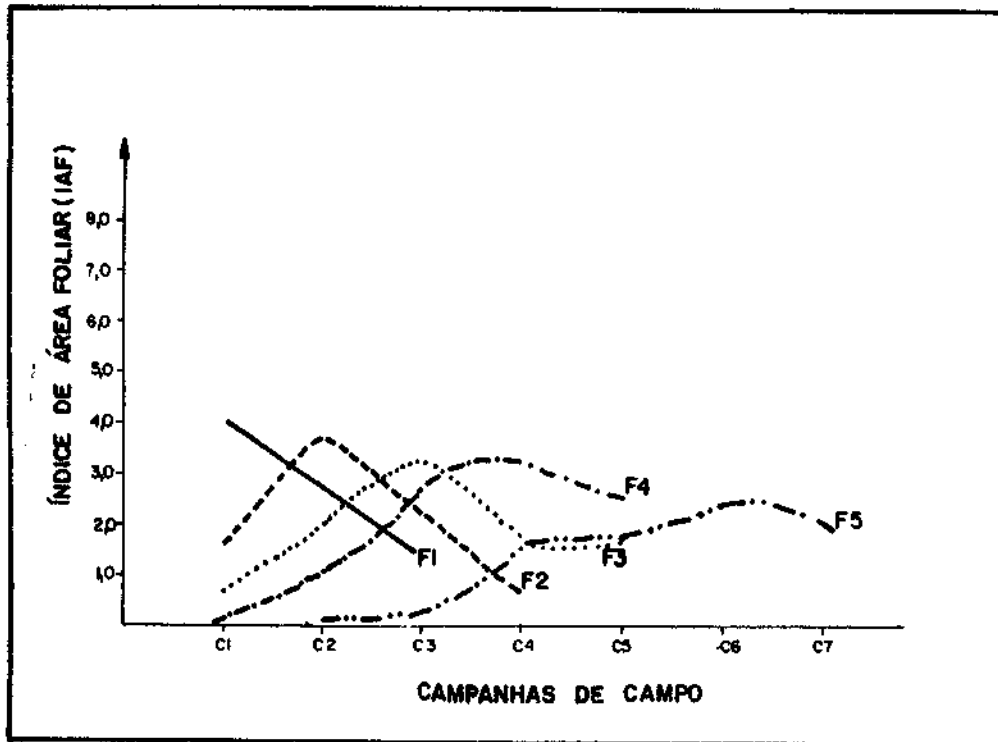


Fig. 4.1.14 - Comportamento da variável agrônômica Índice de Área Foliar, durante as 7 campanhas de campo, para os 5 grupos de idade (F₁, F₂, F₃, F₄ e F₅) das áreas de feijão.

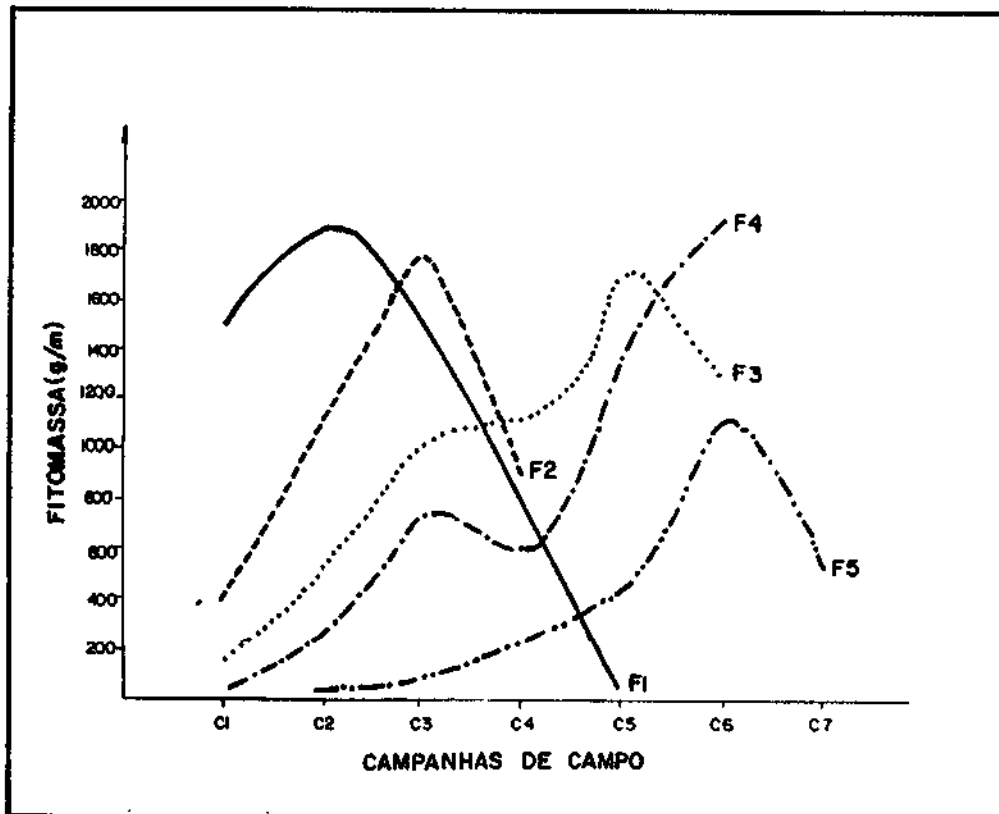


Fig. 4.1.15 - Comportamento da variável agrônômica Fitomassa, durante as 7 campanhas de campo, para os 5 grupos de idade (F₁, F₂, F₃, F₄ e F₅) das áreas de feijão.

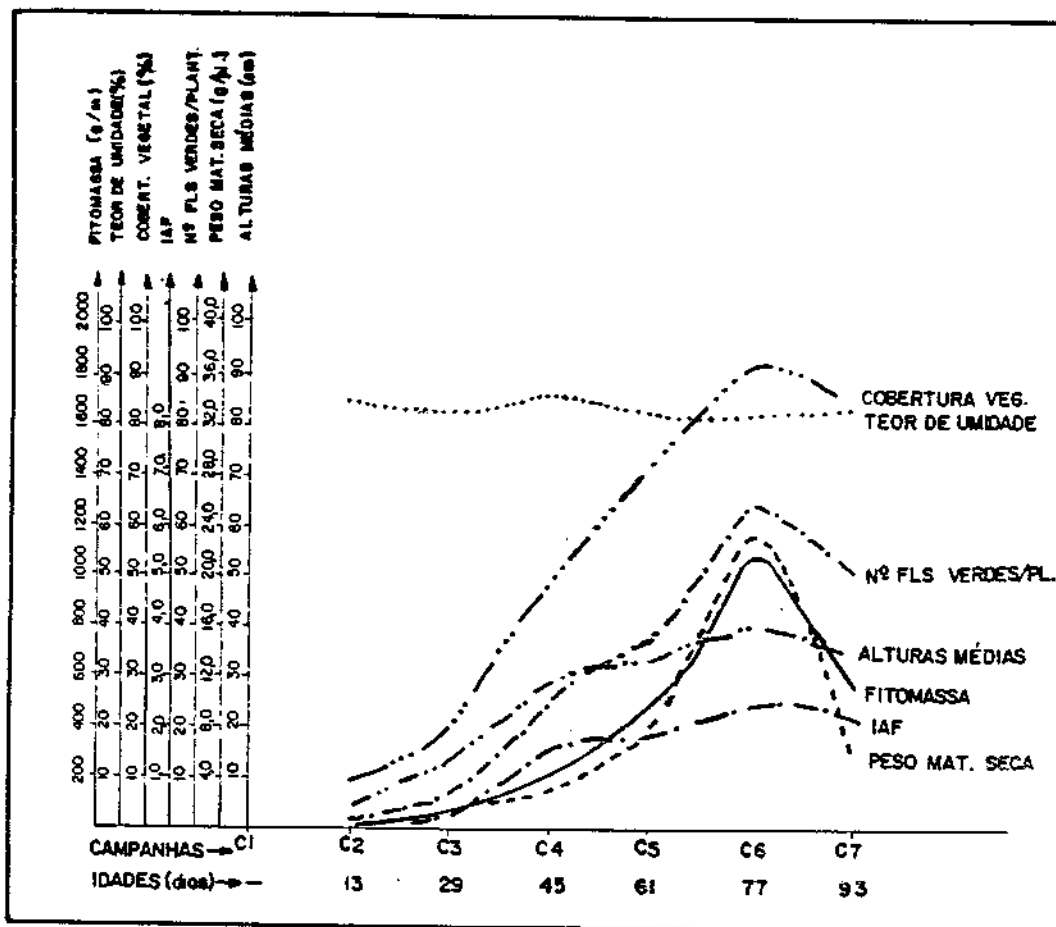
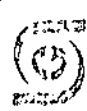


Fig. 4.1.16 - Comportamento de 7 variáveis agrônômicas, durante as 7 campanhas de campo, para o grupo de idade F₅ das áreas de feijão.

O Teor de Umidade (%) permaneceu, durante as 7 campanhas de campo, na faixa dos 80 - 90% e mesmo na fase final do ciclo, quando se dá a fase de maturação do feijão, ou seja, quando ocorre grande secamento e queda das folhas, que são a parte da planta que, em geral, contém altos teores de umidade.

4.2 - COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS ESPECTRAIS

4.2.1 - DADOS TM/LANDSAT-5

Os padrões de comportamento das culturas de trigo e de feijão, considerando-se os dados TM/LANDSAT, obtidos nesta pesquisa, podem ser considerados consistentes com a literatura, como se poderá verificar a seguir.

Como se pode recordar, foram utilizadas duas passagens TM/LANDSAT-5 sobre as áreas em estudo: a primeira datada de 20 de junho e a segunda de 06 de julho de 1987. Por se tratar de áreas irrigadas, houve grande dispersão temporal quanto às

datas de plantio das 13 áreas de trigo e das 52 áreas de feijão assim, as áreas de trigo foram divididas em 4 subgrupos quanto à idade e as áreas de feijão foram subdivididas em 5 subgrupos quanto à idade.

Inicialmente serão feitas considerações sobre o comportamento dos níveis de cinza nas 6 bandas refletivas do TM/LANDSAT, para o trigo. Posteriormente, serão feitos os mesmos tipos de considerações para o feijão.

As Figuras 4.2.1 e 4.2.2 mostram o comportamento dos níveis de cinza nas 6 bandas refletivas do TM/LANDSAT-5 para os 4 subgrupos de idade das áreas de trigo, para as passagens de junho e de julho, respectivamente.

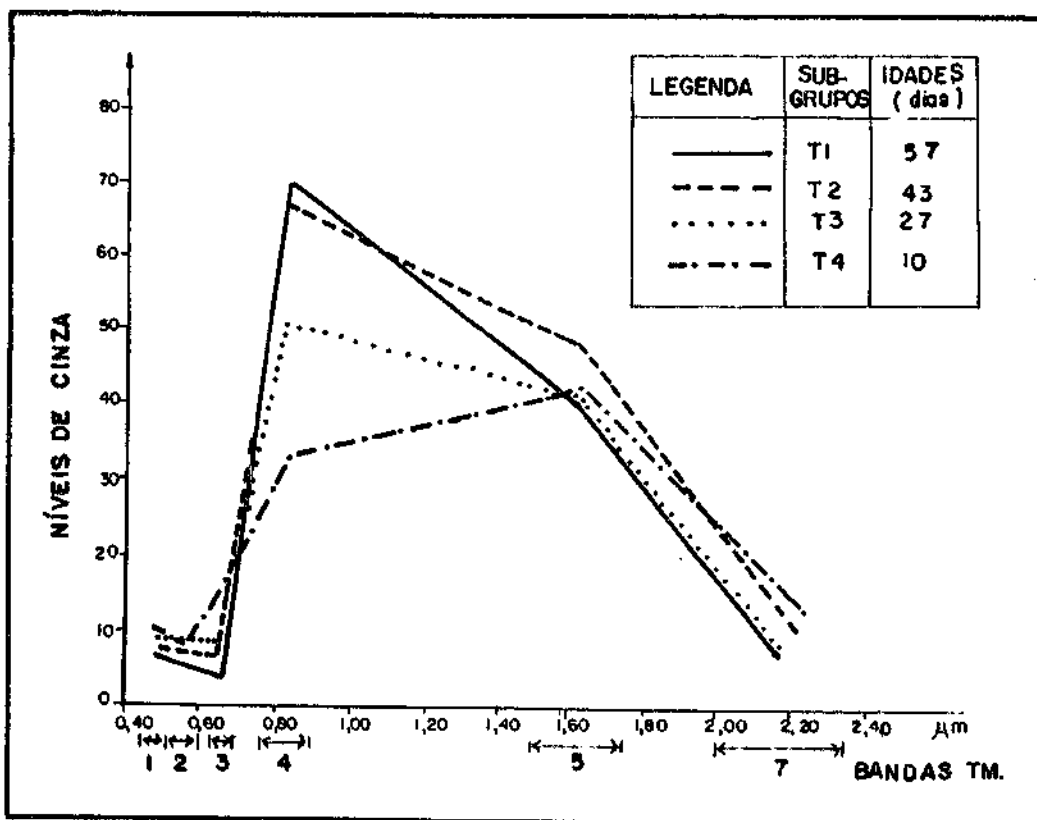


Fig. 4.2.1 - Comportamento dos níveis de cinza nas 6 bandas refletivas do TM/LANDSAT-5, para os 4 subgrupos de idade das áreas de trigo (passagem de 20/06/87).

Pela Figura 4.2.1, pode-se observar que as áreas do subgrupo T₁ (cerca de 57 dias de idade em 20/junho/87) e as do subgrupo T₂ (cerca de 43 dias de idade nesta primeira data de passagem do TM/LANDSAT) apresentam comportamentos espectrais semelhantes; além disso, podem ser considerados comportamentos espectrais típicos de dossês culturais verdes, maduros e não estressados.

Considerar-se-ã como expressão do comportamento espectral típico de vegetação, ou melhor, de dossês culturais verdes, aquelas curvas em que as bandas TM-1,



TM.2, TM-3 e TM-7 apresentem valores muito baixos de níveis de cinza e, além disso, a banda TM-4 exiba valores altos e bem mais elevados de níveis de cinza do que a banda TM-5. Este critério já fora utilizado por Epiphonio et alii (1987). Além disso, Epiphonio (1988) salienta que, quando se utilizam valores de níveis de cinza, um critério adequado para caracterizar o momento em que a cultura passa da fase de solo exposto para a fase de acúmulo de clorofila e massa verde pode ser definido pela relação entre as bandas TM4/TM5, ou seja, quando o nível de cinza na banda TM4 for superior ao nível de cinza da banda TM5 tem-se o comportamento espectral típico de vegetação.

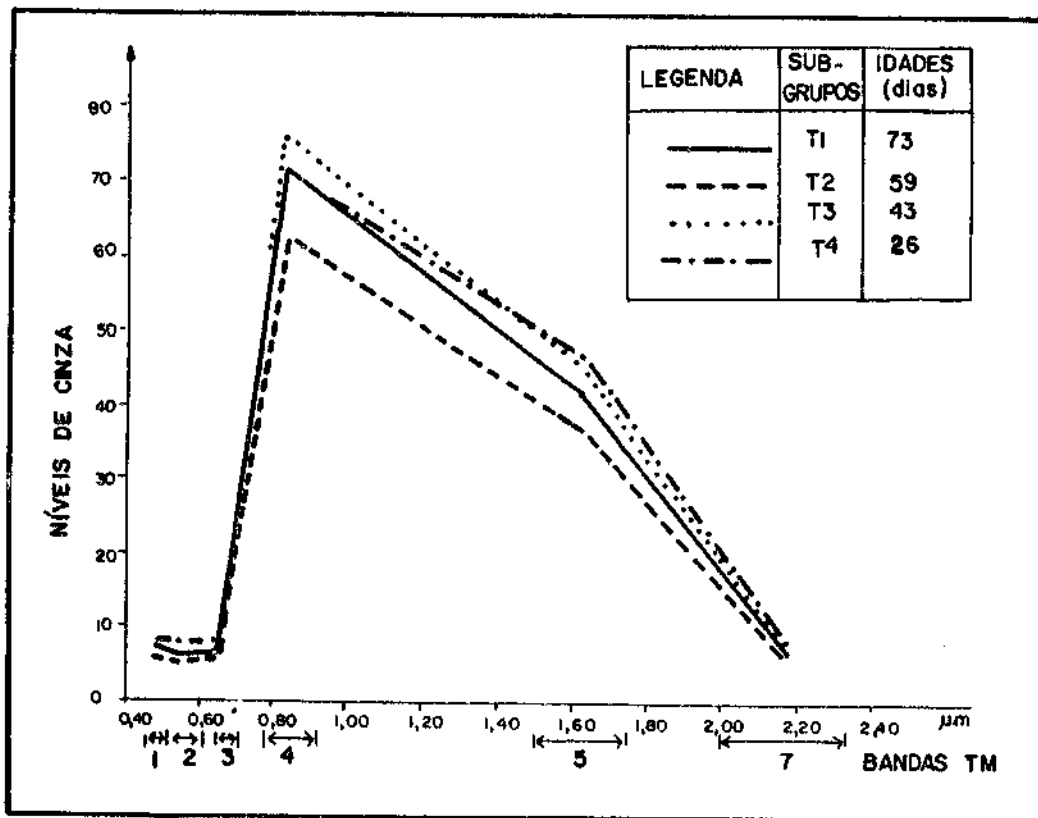


Fig. 4.2.2 - Comportamento dos níveis de cinza nas 6 bandas refletivas do TM/LANDSAT-5, para os 4 subgrupos de idade das áreas de trigo (passagem do 06/07/87).

Assim sendo, o subgrupo T₄ (Figura 4.2.1), com mais ou menos 10 dias de idade na data de passagem TM/LANDSAT-5 analisada (20/junho/87), não apresenta ainda um comportamento espectral típico de vegetação verde vigorosa quando observado a nível de satélite. Nesta idade, os dossês das áreas de trigo ainda não perfazem uma cobertura total do solo e a resposta espectral que chega aos detectores do TM/LANDSAT pode ser considerada uma mistura dada basicamente por dois elementos: solo exposto e vegetação verde clorofilada (além da contribuição das sombras dadas pelas plantas).



Já o subgrupo T_3 (Figura 4.2.1) apresenta um comportamento intermediário entre o subgrupo T_4 (pouco desenvolvido) e os subgrupos T_1/T_2 (trigo adulto, bem desenvolvido), uma vez que, em função da idade (cerca de 27 dias), as áreas do subgrupo T_3 encontram-se proporcionalmente desenvolvidas dentro daquele intervalo, como era de se esperar.

Os comportamentos espectrais dos 4 subgrupos de trigo (T_1 , T_2 , T_3 e T_4) mostrados na Figura 4.2.1 e discutidos até aqui podem ser considerados estarem de acordo com os comportamentos das variáveis agronômicas, mostrados nas Figuras 4.1.1 a 4.1.6 (Altura Média, Número de Folhas Verdes/planta, Peso de Matéria Seca/planta, Porcentagem de Cobertura Vegetal, Teor de Umidade e Índice de Área Foliar).

Conyem destacar que, nas Figuras de 4.1.1 a 4.1.6, devem ser considerados apenas os dados referentes à segunda campanha de campo (C2), que é a campanha de campo coincidente com a passagem de 20/junho/87.

Em resumo, as Figuras 4.1.1 a 4.1.6 ilustram muito bem que, em termos das variáveis agronômicas estudadas, o subgrupo T_1 é mais desenvolvido que o T_2 ; este, por sua vez, é mais desenvolvido que o subgrupo T_3 , o qual está mais desenvolvido que o T_4 em 20/junho/87.

Outro aspecto que ressalta, ao se analisar a Figura 4.2.1, são os valores de níveis de cinza nas bandas TM3 e TM4, para os subgrupos T_1 a T_4 . Na banda TM3, ocorrem aumentos nos valores de níveis de cinza de T_1 para T_4 , ou seja, o subgrupo T_1 (de maior idade) apresenta valores menores de níveis de cinza na banda TM3, ao passo que o subgrupo T_4 (de menor idade e, portanto, bem menos desenvolvido) apresenta os maiores valores na banda TM-3. Com relação à banda TM4, ocorre justamente o inverso, ou seja, as áreas mais desenvolvidas (subgrupo T_1) apresentam valores maiores de níveis de cinza, ao passo que, passando-se gradativamente por T_3 , T_2 e T_1 , tais valores vão diminuindo.

Assim sendo, pode-se afirmar que, através de uma análise visual e qualitativa das Figuras 4.1.1 a 4.1.6 e 4.2.1, o comportamento espectrais dados pelos níveis de cinza (dados TM/LANDSAT dos subgrupos T_1 , T_2 , T_3 e T_4) estão inteiramente coerentes com os comportamentos das variáveis agronômicas do trigo, conforme o que se encontra na literatura que trata do interrelacionamento entre variáveis agronômicas e variáveis espectrais.

Isto quer dizer que existe resposta das variáveis espectrais (dados TM/LANDSAT) às diferenças de vigor e de estágios de desenvolvimento (quantificados pelas variáveis agronômicas) das áreas de cultura de trigo.



Evidentemente, a magnitude desta resposta, as condições diversas em que ela ocorre, como são os interrelacionamentos das variáveis agronômicas/espectrais, as maneiras de se modelar tais relações e questões congêneres são alguns dos alvos de pesquisa científica atual, no intuito de utilizar cada vez melhor dados de sensoriamento remoto orbital, tais como os de LANDSAT, os do SPOT e outros.

Analisando-se agora a Figura 4.2.2, referente à passagem de 06/julho/87, em que as áreas estão com 16 dias de idade a mais que no caso da Figura 4.2.1, alguns aspectos podem ser discutidos.

Verifica-se, inicialmente, que o subgrupo T_4 passou a ter comportamento espectral francamente típico de vegetação, conforme o critério já assinalado anteriormente. Isto, em função do rápido desenvolvimento agronômico ocorrido neste lapso de 16 dias. Este rápido desenvolvimento está bem caracterizado pelos aumentos das variáveis agronômicas observados da segunda para a terceira campanha de campo (abscissas C2 e C3, nas Figuras de 4.1.1 a 4.1.6). Nestas figuras, os únicos parâmetros que diminuem de C2 para C3 são o Número de Folhas Verdes/planta e, conseqüentemente o IAF, apenas para o caso do subgrupo T_1 ; já os outros parâmetros aumentam (como é o caso de Altura Média, Peso da Matéria Seca/planta, Porcentagem de Cobertura Vegetal e Fitomassa) ou ficam praticamente constantes (é o caso do Teor de Umidade).

Examinando-se agora as Figuras 4.2.1 e 4.2.2 concomitantemente, pode-se considerá-las como um conjunto de 5 amostras temporais de comportamentos espectrais ao longo do ciclo do trigo (aos 10, aos 26/27, aos 43, aos 57/59 e aos 73 dias de idade). Desta maneira, verifica-se que ocorrem melhores relações entre variáveis agronômicas e variáveis espectrais na primeira fase do ciclo do trigo, quando, então, aumentos nos valores das variáveis agronômicas são correspondidos com as devidas respostas das variáveis espectrais, principalmente nas bandas TM-3 e TM-4.

Considerando, a partir deste ponto, a cultura de feijão, a Figura 4.2.3 mostra o comportamento dos níveis de cinza nas 6 bandas refletidas do TM/LANDSAT, para os subgrupos F_1 , F_2 , F_3 , F_4 e F_5 das áreas de feijão, para a passagem de 20/junho/87.

Pela Figura 4.2.3, pode-se observar que os subgrupos F_1 , F_2 e F_3 (com idades de 73, 55 e 43 dias em 20/junho/87, respectivamente) apresentam-se com comportamentos semelhantes de níveis de cinza.

Além disso, seguindo o mesmo critério adotado para o trigo, pode-se considerar que estes três subgrupos enquadram-se bem dentro de comportamento típico



de doses culturais verdes. Realmente, verifica-se, p.ex., que as curvas destes três subgrupos apresentam valores de níveis de cinza na banda TM4 maiores que os da banda TM5.

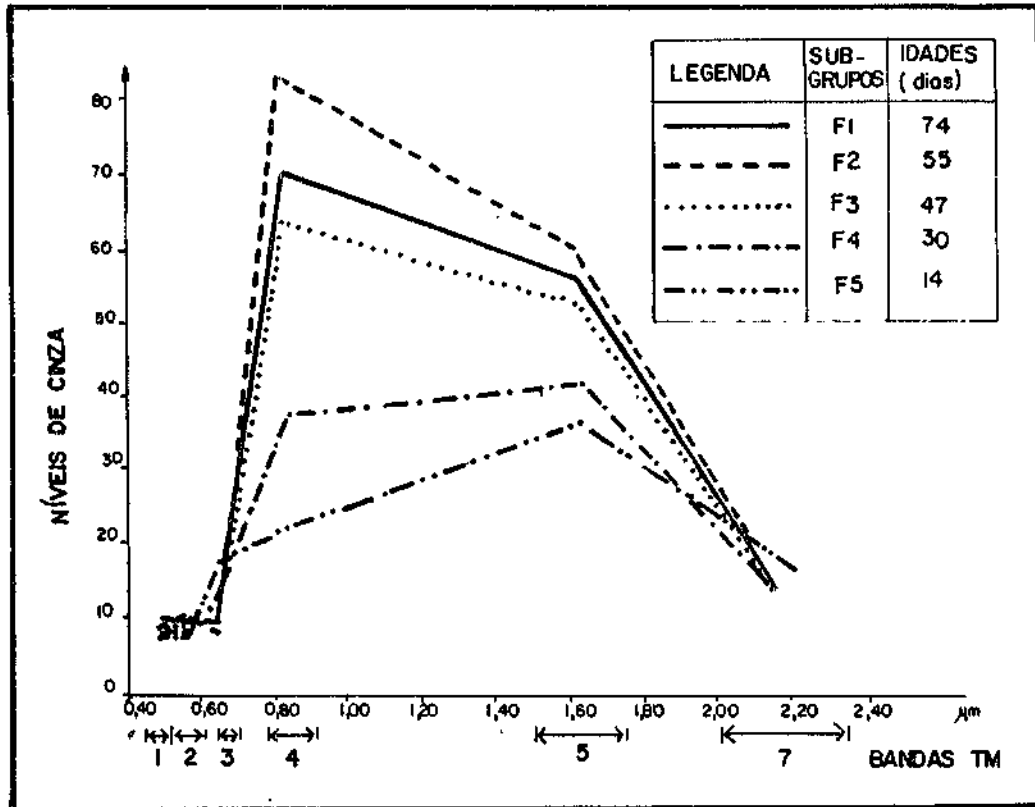


Fig. 4.2.3 - Comportamento dos níveis de cinza nas 6 bandas refletivas do TM/LANDSAT-5, para 5 subgrupos de idade das áreas de feijão (passagem de 20/06/87).

Numa primeira análise, seria mais coerente que os níveis de cinza do subgrupo F_1 tivessem sido maiores que os do subgrupo F_2 e os F_2 , maiores que os do subgrupo F_3 . No entanto, F_1 ficou numa posição intermediária entre F_2 e F_3 - isto pode ser facilmente entendido quando se faz uma análise dos comportamentos das variáveis agrônomicas destes subgrupos (Figuras 4.1.9 a 4.1.15). Verifica-se, nestas figuras, que as variáveis Altura Média, Número de Folhas Verdes/planta, Porcentagem de Cobertura e Índice de Área Foliar estão em declínio na abscissa C2 (ou seja, dados correspondentes à segunda campanha de campo, a qual coincidiu com a passagem de 20/junho/87) para o subgrupo F_1 , ao passo que elas estão em franca ascensão para os subgrupos F_2 e F_3 - isto explica a posição intermediária de F_1 em relação a F_2/F_3 .

Ainda na mesma Figura 4.2.3 e seguindo o mesmo critério de tipicidade de vegetação para as curvas de níveis de cinza TM/LANDSAT, verifica-se que os comportamentos dos subgrupos F_4 e F_5 são, em 20/junho/87, o resultado de uma mistura de respostas espectrais de solo exposto e de vegetação verde, basicamente.



Isto está inteiramente coerente com o comportamento das variáveis agrônômicas (abscissas C2, nas Figuras 4.1.9 a 4.1.15) para estes dois subgrupos. Ou seja, mais uma vez a resposta espectral mostra ser função das variáveis agrônômicas estudadas.

Salienta-se ainda a grande correlação entre as variáveis espectrais TM-3, TM-4 e TM-5 com as variáveis agrônômicas quantitativas do vigor da cultura de feijão, ou seja, à medida que aumenta o vigor (denotado por aumentos dos valores das variáveis agrônômicas consideradas), ocorrem proporcionalmente aumentos nas bandas TM-4 e TM-5 e diminuição na banda TM-3 (embora as amplitudes de variação nas bandas TM3 e TM-5 sejam bem menores que na banda TM-4).

Considerando-se agora a Figura 4.2.4, que mostra o comportamento dos níveis de cinza dos subgrupos F₁, F₂, F₃, F₄ e F₅ de feijão para a data de 06/julho/87 de passagem do TM/LANDSAT.

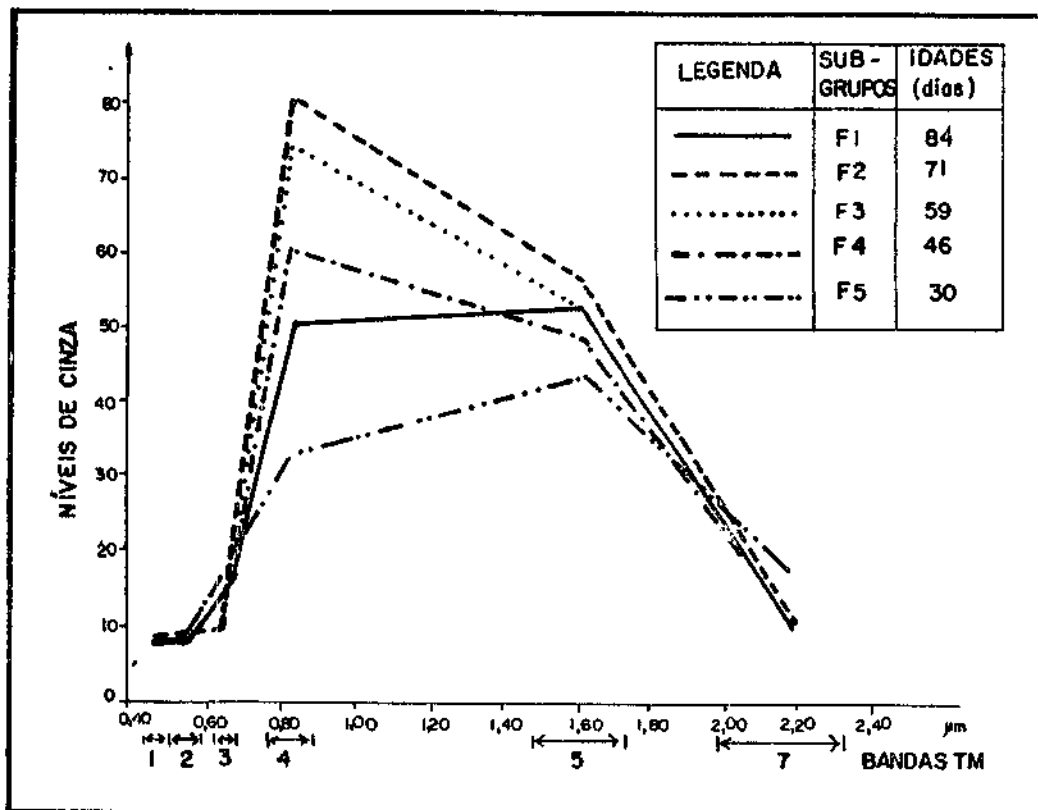


Fig. 4.2.4 - Comportamento dos níveis de cinza nas 6 bandas refletivas do TM/LANDSAT-5, para 5 subgrupos de idade das áreas de feijão (passagem de 06/07/87).

Nesta figura, nota-se inicialmente que o subgrupo F₁ perdeu a sua tipicidade de comportamento de vegetação verde, vigorosa. Isto pode ser atribuído à etapa do ciclo em que o feijão se encontra nesta data; ou seja, por volta dos 85 dias de idade, quando suas folhas normalmente já caíram e os tecidos de sustentação



e as vagens já se encontram praticamente secos e hã, novamente uma alta porcentagem de solo exposto e um baixo IAF (Figuras 4.1.9 a 4.1.15).

Verifica-se também que o subgrupo F₃ passou a ter comportamento típico de vegetação (não o tinha em 20/junho/87), com valores de níveis de cinza no TM-4 maiores que no TM-5. Evidencia-se que o desenvolvimento vegetativo ocorrido no lapso de 12 dias entre a passagem de 20 de junho (F₃ com 47 dias) e a de 06 de julho (F₃ com 59 dias de idade) foi a causa desta transformação. Isto pode ser demonstrado pelo desenvolvimento das variáveis agrônômicas de C2 para C3, nas Figuras de 4.1.9 a 4.1.15.

Quanto ao subgrupo F₅ (Figura 4.2.4), comparando-se com o seu comportamento em 20/junho/87 (Figura 4.2.3), verifica-se que houve um crescimento dos valores de níveis de cinza principalmente nas bandas TM-4 e TM-5, tendendo para chegar ao padrão de comportamento espectral típico de vegetação, com o seu desenvolvimento.

Neste caso, também esta tendência pode ser atribuída ao desenvolvimento das variáveis agrônômicas indicativas de vigor (analisar abscissas C3 nas Figuras 4.1.9 a 4.1.5).

Examinando-se agora as Figuras 4.2.3 e 4.2.4 concomitantemente, pode-se considerá-las como um conjunto de 6 amostras temporais de comportamentos espectrais ao longo do ciclo do feijão (aos 14, aos 30, aos 47, aos 55/59, aos 71/73 e aos 85 dias de idade). Assim sendo, constata-se que ocorrem aumentos de níveis de cinza nas bandas TM4 e TM5 desde as fases iniciais (solo exposto), passando pelas intermediárias (solo exposto + massa verde da cultura) e pelas fases de vigor máximo (cobertura total do solo pela fitomassa cultural clorofilada); nas fases finais do ciclo (quando as folhas normalmente já secaram e caíram, restando praticamente apenas os tecidos de sustentação e as vagens, com grande porcentagem de solo exposto novamente), os níveis de cinza nas bandas TM-4 e TM-5 voltam a cair, sendo que no TM-4 a diminuição é maior que no TM-5. Constata-se também que nas diferentes citadas fases do ciclo do feijão, os níveis de cinza na banda TM3 comportam-se de maneira praticamente inversa ao comportamento da banda TM-4.



4.2.2. - DADOS DE ESPECTROSCOPIA DE CAMPO

As Figuras 4.2.5(a,b) correspondem a amostras de curvas espectrais da cultura de feijão, obtidas em diferentes etapas do seu ciclo biológico, em condições de campo.

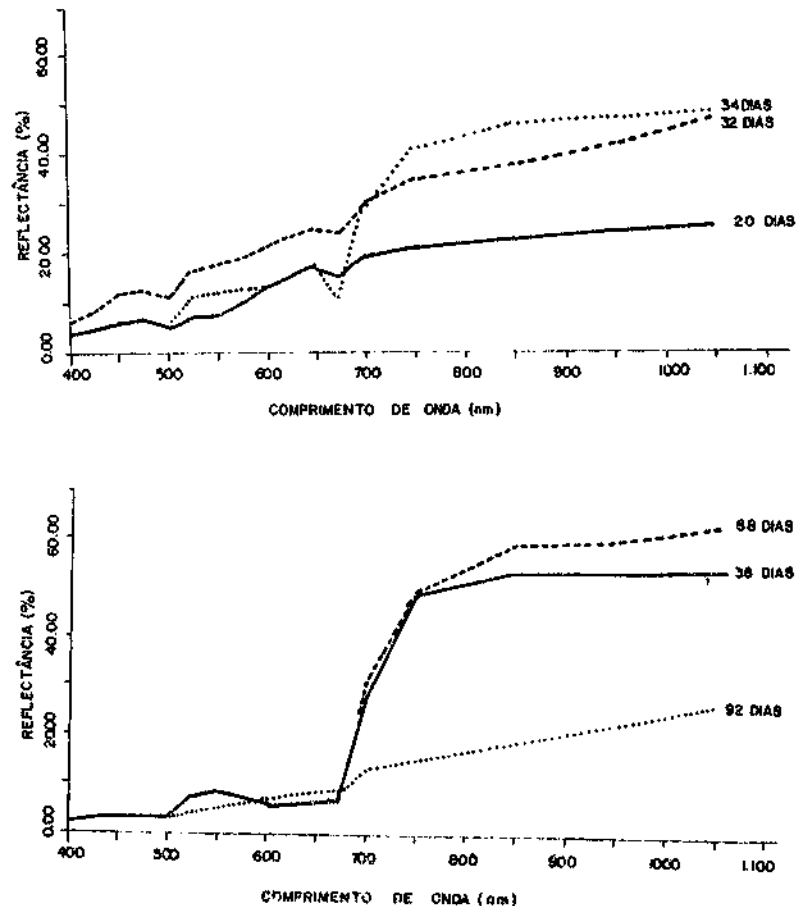


Fig. 4.2.5 (a,b) - Curvas espectrais para a cultura de feijão aos 20, 32, 34, 38, 88 e 92 dias de idade.

As curvas espectrais das Figuras 4.2.5 (a, b) permitem avaliar a dinâmica do comportamento espectral do feijão, desde a fase de solo praticamente exposto (curva dos 20 dias), passando por fases intermediárias (curvas dos 32 e 34 dias), em que o formato das curvas vai progressivamente assumindo a tipicidade do comportamento espectral de vegetação verde vigorosa (bem ilustrada pela curva dos 38 dias) e chegando à fase final do ciclo em que a correspondente resposta (curva dos 92 dias) toma feições diversas da tipicidade espectral da vegetação verde, porém semelhante à da fase inicial.

Como afirma Epiphânio (1988), da perspectiva do sensoriamento remoto, um ciclo agrícola completo poderia ser compreendido como a sequência das seguintes grandes etapas: solo exposto, acúmulo de clorofila e aumento da cobertura verde sobre o solo + queda da quantidade de clorofila + solo exposto, novamente. Conseqüente



mente, cada uma dessas etapas apresentaria comportamento espectral característico, o que está bem ilustrado nas Figuras 4.2.5 (a, b).

A cultura de feijão, na região de estudo, é plantada com espaçamento médio de 56cm entre fileiras de 9 a 12 plantas por metro linear, como já foi dito anteriormente, e é irrigada por grandes sistemas de aspersão conhecidos como "Pivô Central".

O desenvolvimento da cultura em termos de emissão foliar é lento no início do seu ciclo, e cresce geometricamente a partir das primeiras folhas até o início da maturação, sendo que há um constante incremento da quantidade de folhas fotosinteticamente ativas.

Assim, constata-se que, para a cultura de feijão, o comportamento espectral típico de vegetação verde vigorosa deve começar a ocorrer por volta do 34º ao 38º dia do ciclo a contar da data de plantio. O tempo de permanência desta tipicidade espectral deve durar até por volta do 88º dia do ciclo, ou seja, por um período de aproximadamente 50 dias.

Na região, o número médio de dias de duração do ciclo compreendido entre o plantio e a colheita foi de cerca de 106 dias, com um mínimo de 87 dias e um máximo de 118 dias. Estes números indicam que a fase final de maturação é razoavelmente variável quanto à sua duração, dependendo do manejo da água de irrigação exercido pelo proprietário de cada pivô central - alguns continuam a irrigar no final do ciclo, estendendo-o; enquanto que outros cortam cedo o fornecimento de água, acelerando o processo de maturação e, por conseguinte, diminuem a duração do ciclo.

Epiphanyo (1988), utilizando dados do TM/LANDSAT-5, para as culturas de trigo e feijão, na mesma região, sugeriu que o período em que o feijão passa a apresentar comportamento espectral típico de vegetação verde situa-se entre 40 e 50 dias após o plantio. Contudo, as diferenças de sensores (TM x radiômetro de campo), bem como de condições de obtenção dos dados espectrais (por exemplo, a interferência atmosférica nos dados TM) devem ser devidamente ponderadas numa possível comparação entre os resultados obtidos em ambos os trabalhos.

No tocante à cultura de trigo, nas Figuras 4.2.6 (a, b) são apresentadas amostras de curvas espectrais representativas das diferentes etapas do seu ciclo biológico.

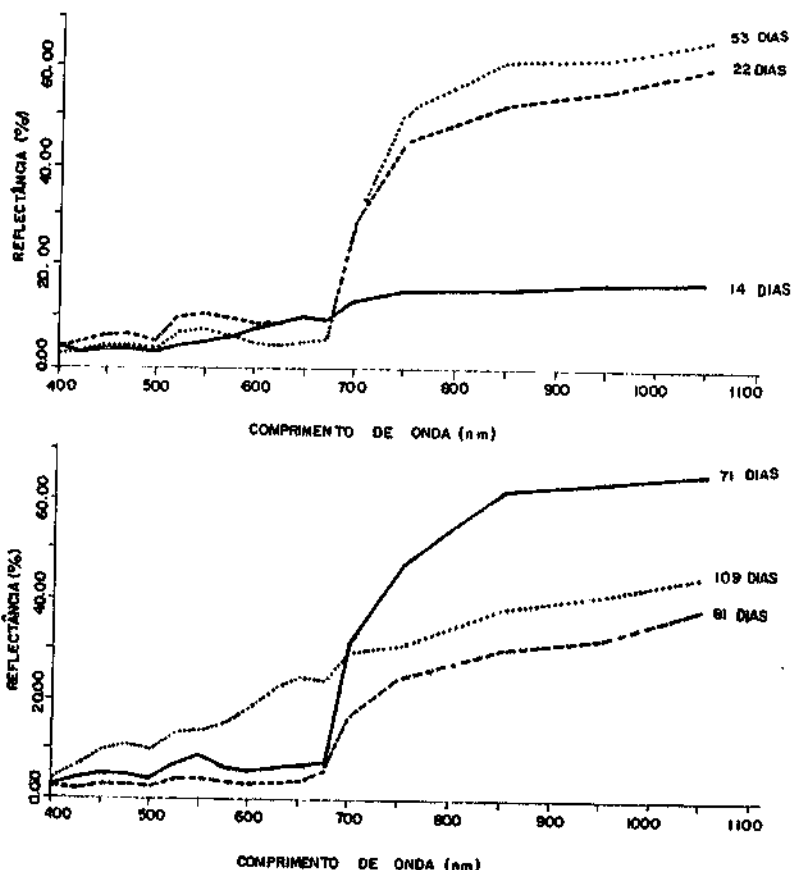


Fig. 4.2.6 (a, b) - Curvas espectrais para a cultura de trigo aos 14, 22, 53, 71, 81 e 109 dias de idade.

A dinâmica do comportamento espectral do trigo é bem distinta em relação à do feijão. Numa primeira fase, com baixa porcentagem de cobertura vegetal, a resposta espectral ainda é totalmente predominada pela reflectância do solo, como mostra a curva dos 14 dias, na Figura 4.2.6 (a). Entretanto, já aos 22 dias, a resposta apresenta as feições espectrais típicas de vegetação verde vigorosa, que se mantêm com estas mesmas feições nesta fase intermediária do ciclo (curvas dos 53 e dos 71 dias), vindo posteriormente a descaracterizar-se quando a parte aérea vai tornando-se totalmente amarelecida (curva dos 81 dias) na fase de maturação das espigas, até o final do ciclo (curva dos 109 dias).

Na região de estudo, a cultura de trigo é plantada com espaçamento médio de 18cm entre fileiras, com aproximadamente 50 plantas por metro linear. Em função desta alta quantidade de plantas por unidade de área, em condições normais de desenvolvimento, o crescimento inicial do trigo e seu perfilhamento são bastante rápidos, promovendo a cobertura completa do solo em pouco tempo. Contudo, concomitantemente ao desenvolvimento da cultura, com a grande rapidez de emissão de folhas verdes, há também um contínuo senescimento e amarelecimento das folhas, o que, a partir de determinado ponto do ciclo, faz começar a haver uma perda progressiva daquela tipicidade de comportamento espectral.



A partir dessas considerações e dos dados das Figuras 4.2.6(a, b), para o trigo, pode-se indicar que o comportamento espectral típico da vegetação inicia-se um pouco antes dos 22 dias de idade e, apesar de certo decaimento do comportamento espectral típico devido ao surgimento de espiguetas e uma perda gradativa das folhas verdes, ainda permanece aos 81 dias após o plantio. Isso sugere que a permanência com resposta espectral típica deve ser no mínimo de 60 dias.

Com relação ao trigo, Epiphany (1988) indicou que o tempo decorrido entre a data de plantio e a expressão do comportamento espectral típico de vegetação está situado abaixo de 30 dias. Isto está de acordo com o que foi encontrado no presente trabalho, embora os sensores e as condições de obtenção dos dados espectrais tenham sido diferentes.

Na região de estudo, o número médio de dias de duração do ciclo do trigo, entre a data de plantio e a de colheita, foi de 122 dias, com um mínimo de 113 dias e um máximo de 133 dias.

É interessante ressaltar ainda que, após o início da descaracterização de comportamento típico de vegetação verde vigorosa (que, como indicado anteriormente, ocorre pouco após os 81 dias de idade), a matéria vegetal acima do solo apresenta alturas médias superiores a 1 metro e coloração amarelo-palha, recobrando quase totalmente a superfície do solo. Assim sendo, as respostas espectrais vão assumindo características semelhantes às da palha seca como pode ser ilustrado pelas curvas dos 81 e dos 109 dias (Figura 4.2.6b). Além disso, devido à altura e ao espaçamento estreito (alta densidade de plantas/m²) ocorre grande auto-sombreamento, o que, evidentemente causa alterações na resposta espectral do trigo.

4.3 - RELAÇÕES QUANTITATIVAS ENTRE AS VARIÁVEIS AGRONÔMICAS E AS VARIÁVEIS ESPECTRAIS

4.3.1 - DADOS DE SATÉLITE

Satélites de órbita polar, como os das séries LANDSAT, NOAA e SPOT, com os seus imageadores multiespectrais, fornecem cobertura global da superfície terrestre de forma repetitiva já há algum tempo.

Desta maneira, as culturas que provêm a humanidade de alimentos, fibras e combustíveis são observadas com uma regularidade e uma resolução sem precedentes até antes da era dos satélites de observação da Terra.



Isto conduz a que se busquem as relações mais interessantes entre os parâmetros agrônômicos das culturas (indicadores do seu vigor, do seu desenvolvimento, da sua capacidade de interceptar luz e da sua performance de produtividade) e os parâmetros de comportamento espectral destas culturas de interesse.

Rememorando, os dados de satélite deste trabalho foram os referentes às passagens de 20/junho/87 e de 06/julho/87 do TM/LANDSAT-5.

A Tabela 4.3.1 mostra os coeficientes de correlação linear simples obtidos quando as variáveis agrônômicas desta pesquisa foram confrontadas com as respectivas variáveis espectrais do TM/LANDSAT-5.

A fim de facilitar a análise da Tabela 4.3.1, foi feito um quadro-resumo (Tabela 4.3.2), onde constam os números de coeficientes de correlação maiores que 0,80, entre 0,70 e 0,79, entre 0,69 e 0,60 e entre 0,59 e 0,50, para cada variável agrônômica. O mesmo foi feito para cada variável espectral. Para que se pudesse ter uma ponderação de quais as variáveis com maiores potenciais de correlação, atribuíram-se pesos a cada faixa, da seguinte maneira: peso 10 ($r^2 > 0,80$), peso 8 (r^2 entre 0,79 e 0,70), peso 6 (r^2 entre 0,69 e 0,60) e peso 4 (r^2 entre 0,59 e 0,50). Em seguida, obtiveram-se as somatórias de pontos para cada variável.

Analisando-se as Tabelas 4.3.1 e 4.3.2, verifica-se, inicialmente que, de acordo com a ponderação estabelecida e pela consequente somatória de pontos, as variáveis agrônômicas podem ser dispostas (numa ordem decrescente dos melhores para os piores coeficientes de correlação com as variáveis espectrais) da seguinte maneira:

COV > AM > IAF > FV >>> PV > FIT > PS > RD > OUTRAS

Desta ordenação decrescente podem ser identificados dois subgrupos de variáveis agrônômicas: de um lado as variáveis COV, AM, IAF e FV e, de outro, as variáveis PV, FIT, PS e RD.

Ou seja, as variáveis do primeiro subgrupo (são as variáveis agrônômicas mais relacionadas com a cobertura vegetal e com as condições do dossel cultural) são melhor correlacionadas com as variáveis espectrais do que as variáveis do segundo subgrupo (são as variáveis agrônômicas mais identificadas com a fitomassa cultural).

Este fato deve estar demonstrando que os indicadores agrônômicos de condições de dossel cultural são os principais responsáveis pela resposta espectral das culturas.



TABELA 4.3.1

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE 18 VARIÁVEIS AGRONÔMICAS DO TRIGO E DO FEIJÃO COM 18 VARIÁVEIS ESPECTRAIS DO TM/LANDSAT-5

VAR. ESPECT.	VAR. AGR.	RE	RD	IAF		PESOS MAT. VERDE		PESOS MAT. SECA		TEORES DE UNIDADE		ALTURAS MÉDIAS		Nº FLS. VERDES/PL.		COBERTURA VEGETAL		FITOMASSA	
				IA6	IAF7	PV6	PV7	PS6	PS7	TU6	TU7	AM6	AM7	FV6	FV7	COV6	COV7	FIT6	FIT7
RS6		0.16	.34*	.82**		.23		.19		-.22		.60		.31		.64		.29	
RS7		.30	.44	.67**		.10		.06		-.08		.64**		.15		.79**		.16	
NDV16		-.001	.06	.73**		.35		.33		-.31*		.74**		.51**		.84**		.39	
NDV17		.08	.19	.62**		.28		.25		-.14		.71**		.35		.88**		.36	
TV16		-.003	.02	.71**		.34		.32		-.30		.73**		.50**		.85**		.38	
TV17		.05	.13	.61**		.28		.26		-.14		.71**		.37		.88**		.37	
TM16		-.31*	-.41	-.12		.39		.37		.05		.35*		.53**		-.09		.34	
TM17		-.13	-.38	-.19		.21		.18		.15		-.33*		.07		-.38		.17	
TM26		-.45	-.39	-.03		.40		.43		-.10		.40*		.51**		-.01		.36	
TM27		-.39	-.58	-.18		.53**		.46		.26		.25		.45		-.28		.52	
TM36		-.19	-.21	-.70**		-.14		-.12		.19		-.50**		-.25		-.77**		-.20	
TM37		-.19	-.37	-.57**		-.04		-.04		.22		-.65**		-.11		-.76**		-.11	
TM46		-.12	-.09	.71**		.58**		.54**		-.25		.86**		.74**		.70**		.59**	
TM47		-.03	.01	.51**		.54**		.47**		.04		.54**		.60**		.77**		.58**	
TM56		-.27	-.38	.38		.61**		.59**		-.26		.75**		.75**		.34		.59**	
TM57		-.29	-.58	.06		.68**		.61**		.18		.04		.65**		.19		.65**	
TM76		-.18	-.27	-.39		-.16		.16		-.017		-.05		.10		-.55**		.09	
TM77		-.21	-.41	-.48		.08		.06		.25		-.57**		-.007		-.62**		-.004	



* Significativo ao nível de 5%

** Significativo ao nível de 1%

Legenda:

(-) Variáveis espectrais:

RS (6,7): Razão Simples

NDVI (6,7): Razão Diferença Normalizada

TVI (6,7): Índice de Vegetação Transformado

TM1 (6,7) a TM7 (6,7): Bandas individuais do TM/LANDSAT-5

(-) Variáveis agronômicas:

RE: Rendimento Estimado

RD: Rendimento Declarado

IAF 6(7): Índice de Área Foliar

PV 6(7): Peso da Matéria Verde

PS 6(7): Peso de Matéria Seca

TU 6(7): Teor de Umidade

AM 6(7): Alturas Médias

FV 6(7): Nº de Folhas Verdes/planta

COV 6(7): Porcentagem de Cobertura Vegetal

FIT 6(7): Fitomassa

OBS.: Os números 6 e 7 indicam que os dados da respectiva variável foram coletados na passagem TM/LANDSAT de junho (6) ou de julho (7) utilizada.

Além disso, uma constatação auspiciosa, em termos de sensoriamento remoto agrícola, é a de que existem boas correlações entre algumas variáveis agronômicas estudadas (indicadoras das condições de dossel culturais) e algumas variáveis espectrais obtidas pelo TM/LANDSAT-5.

Sabe-se que o IAF, por exemplo, é um dos atributos fundamentais dos dosséis culturais, em função de as folhas serem os tecidos fotossinteticamente ativos dominantes nos dosséis. Os produtos assimilados da fotossíntese suportam o desenvolvimento e os aumentos de peso de todas as partes da planta, desde as raízes até os órgãos reprodutivos.

Considere-se também que as folhas dominam as interações da radiação eletromagnética com as plantas, de tal modo que as interpretações do sensoriamento remoto agrícola devem ser baseadas principalmente nas características da folhagem dos dosséis culturais.



TABELA 4.3.2

QUANTIDADES DE COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (EM QUATRO DIFERENTES FAIXAS), SOMATÓRIAS DE PONTOS PARA AS VARIÁVEIS AGRONÔMICAS E PARA AS VARIÁVEIS ESPECTRAIS, RESUMIDOS DA TABELA 4.3.1

FAIXAS DE VARIÁVEIS	r				Σ PONTOS
	$r \geq 0,80$	0,79 a 0,70	0,69 a 0,60	0,59 a 0,50	
VAR. AGRONÔMICAS					
IAF6 (7)	1	4	3	3	72
RD6 (7)	-	-	-	2	8
PV6 (7)	-	-	2	3	24
PS6 (7)	-	-	1	2	12
AM6 (7)	1	5	3	3	80
FV6 (7)	-	2	2	4	68
COV6 (7)	4	5	2	1	96
FIT6 (7)	-	-	1	4	22
OUTRAS	-	-	-	-	-
VARIÁVEIS ESPECTRAIS					
RS6	1	-	2	-	22
RS7	-	1	2	-	20
NDVI6	1	2	-	1	30
NDVI7	1	1	1	-	24
TVI6	1	2	-	1	30
TVI7	1	1	1	-	24
TM16	-	-	-	1	4
TM17	-	-	-	-	-
TM26	-	-	-	1	4
TM27	-	-	-	3	12
TM36	-	2	-	1	20
TM37	-	1	1	1	18
TM46	1	3	-	3	46
TM47	-	1	1	4	30
TM56	-	2	1	2	30
TM57	-	-	4	1	28
TM76	-	-	-	1	4
TM77	-	-	1	1	10

OBS.: A legenda identificada de cada variável é a mesma da Tabela 4.3.1.



Analisando-se agora a Tabela 4.3.2 na sua porção referente às variáveis espectrais, é possível de se indicar a seguinte disposição decrescente quanto aos melhores coeficientes de correlação:

TM46 > (NDVI6 = TVI6 = TM47 = TM56) > TM57 > (NDVI7 = TVI7) > RS6 >
> (RS7 = TM36) > TM37 > OUTROS

Sobressai desta disposição decrescente a banda TM-4 da passagem de 20/junho/87.

É interessante assinalar que as variáveis agrônomicas melhor correlacionadas com a banda TM4 (tanto para a passagem de junho como para a de julho) são justamente aquelas indicadoras das condições de dossel: AM, FV, IAF e COV (ou seja, relacionadas com as folhagens das culturas).

Portanto, a região do infravermelho próximo (0,76 a 0,90µm, da banda TM4) é de alto interesse e contém grande quantidade de informações concernentes às variáveis agrônomicas relacionadas com os dosséis culturais.

Pode-se apontar que, para se estimar o IAF e a COV, a banda TM4 é a mais efetiva do que qualquer outra banda individual do TM/LANDSAT.

Após a banda TM4 (junho), na disposição decrescente já citada, vêm os índices de vegetação NDVI6 e TVI6, além das bandas TM47 e TM57.

Considerando-se que os índices NDVI6 e TVI6 são compostos das bandas TM4 e TM3, verifica-se novamente a grande importância da banda TM4, quando se quer estimar variáveis agrônomicas relacionadas com dosséis culturais através de variáveis espectrais.

A banda TM5, igualmente no IV refletido como a TM4, também apresenta bom potencial de correlações.

Quanto à questão de se utilizar relações entre bandas ou bandas individuais, sabe-se que vários pesquisadores têm examinado o uso destas relações (particularmente a relação IV/Vermelho), bem como de outras transformações envolvendo duas ou mais bandas espectrais com o propósito de realçar as correlações entre propriedades espectrais e propriedades agrônomicas dos dosséis culturais.

A essas transformações é atribuído o efeito de normalizar medições espectrais adquiridas sob condições variadas. Entretanto, como as condições de obten

ção das duas passagens TM/LANDSAT (20/junho/87 e 06/julho/87) foram de dias claros e sob ângulos solares relativamente uniformes, aquelas vantagens das transformações foram, presumivelmente, mínimas; desta forma, as correlações das variáveis de dos sêis (trigo/feijão) com as transformações (índices de vegetação) não foram significativamente maiores do que aquelas das melhores bandas individuais principalmente a TM4).

A banda TM5 (tanto na passagem de junho, como na de julho) apresentou boas correlações com as variáveis agrônômicas de dossel altura média (AM) e número de folhas verdes/planta (FV); mas, também, com as variáveis de massa cultural, ou seja, fitomassa (FIT), peso da matéria verde (PV) e peso da matéria seca (PS), além do rendimento declarado (RD).

Realmente, Blad et alii (1983) encontraram que a banda TM5 é sensível às densidades de fitomassa, em estudo realizado com soja e milho; culturas estas que apresentam distribuições diferentes (horizontal e verticalmente) de fitomassa, considerando-se as suas respectivas arquiteturas de dossel.

A interpretação de padrões de resposta espectral como sendo devidos a densidades verticais ou horizontais de fitomassa pode ser considerada consistente com uma descrição agrônômica da distribuição de folhas dentro de um dossel. As folhas (e, conseqüentemente, o IAF) são distribuídas tanto horizontal quanto verticalmente dentro do dossel. A distribuição horizontal de folhas é função do espaçamento, da densidade de plantio, da ramificação, etc. A densidade vertical de folhas é igualmente uma função daquelas variáveis, mais é também função do número de camadas de folhas produzidas por cada tipo de planta. Desta maneira, considera-se que a relação entre área foliar vertical/área foliar horizontal pode ser usada como um indicador da arquitetura de dossel (Gardner, 1983).

No presente caso, mesmo que a distribuição horizontal de fitomassa fosse semelhante para o trigo e o feijão, a altura do trigo é bem maior. Assim sendo, a densidade vertical deve ser maior para o feijão do que para o trigo, embora os parâmetros espaçamento e densidade de plantio devam ser adequadamente considerados.

Isto conduz à recomendação de que se investiguem as relações parâmetros espectrais x parâmetros de dossel separando-se os dados do trigo dos do feijão.

Provavelmente, relações de bandas envolvendo a TM4 e a TM5 de forma conjunta sejam mais sensíveis aos parâmetros agrônômicos de massa e de estimativa de produtividade do que as bandas TM4 ou TM5 individualmente.



Os outros parâmetros espectrais não discutidos dentro deste item, não apresentaram bons coeficientes de correlação.

4.3.2 - DADOS DE ESPECTROSCOPIA DE CAMPO

Medições espectrais sobre dosséis de culturas, feitas a nível de campo, fornecem uma ligação imprescindível entre observações macro de campos agrícolas (sensores em aeronaves e em satélites) e observações micro no laboratório de amostras de folhas e de solos.

Um segundo papel relevante da radiometria de campo é o desenvolvimento e a verificação de modelos de radiação de dosséis. A possibilidade de inverter tais modelos a fim de estimar parâmetros agronomicamente importantes de dosséis culturais (e.g. IAF, COV, PMV) corrobora a importância dos dados de espectroscopia de campo.

Na Tabela 4.3.3, são apresentados os valores de coeficientes de correlação linear simples para o feijão, os quais relacionam: - os canais RTM1, 2, 3 e 4 (simulados a partir dos dados de radiometrias de campo); - os modelos de Índices de vegetação Razão Simples, Diferença Normalizada e Índice de Vegetação Transformado, obtidos a partir de RTM3 e RTM4 (designados respectivamente por RRS, RND e RTV); e, os indicadores das condições agrônômicas das duas culturas (Índice de Área foliar ou IAF, Fitomassa ou FIT e Porcentagem de Cobertura Vegetal ou COV).

Convém salientar que o que se está buscando através dos procedimentos de correlação linear simples (como os resumidos na Tabela 4.3.3) é verificar se existe uma relação linear entre as variáveis agrônômicas e as variáveis espectrais em estudo; em quais pares destas variáveis a relação linear existe, a ordem de grandeza desta relação, e se ela é estatisticamente significativa ou não.

Desta forma, conhecimentos podem ser gerados, de modo a se poder construir modelos, os quais, potencialmente permitirão obter vários tipos de informações sobre culturas agrícolas, a partir de dados de sensoriamento remoto.

Assim sendo, constata-se, pela análise da Tabela 4.3.3, que houve um maior número de boas correlações entre variáveis espectrais e agrônômicas para a cultura de feijão do que para o trigo.

Isto permite indicar que o comportamento das variáveis agrônômicas, ao longo do ciclo do feijão (uma vez que os dados utilizados referem-se a um ciclo completo), é semelhante ao comportamento das variáveis espectrais. Esta constatação pode ser considerada auspiciosa dentro dos objetivos do sensoriamento remoto agrícola, pelo potencial de informações sobre a cultura contido nestas relações.

TABELA 4.3.3

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE: - AS BANDAS SIMULADAS RTM1, 2, 3, 4 DO LANDSAT;
- TRÊS MODELOS DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (RRS, RND E RTV); E - TRÊS PARÂMETROS AGRONÔMICOS
(IAF, FIT E COV), PARA AS CULTURAS DE INVERNO DE TRIGO E DE FEIJÃO IRRIGADOS

PARÂMETROS CULTURAIS / PARÂMETROS ESPECTRAIS	TRIGO			FEIJÃO		
	IAF	FIT	COV	IAF	FIT	COV
RTM1	0,1083 NS	-0,3527 NS	0,2093 NS	-0,3616 NS	-0,3642 NS	-0,6691 (**)
RTM2	0,0586 NS	-0,5054 (*)	0,1784 NS	-0,1919 NS	-0,1996 NS	-0,5169 (**)
RTM3	-0,2721 NS	-0,3990 NS	-0,0176 NS	-0,5015 (*)	-0,4929 (*)	-0,8447 (**)
RTM4	0,6273 (*)	0,0801 NS	0,6447 (**)	0,5591 (*)	0,4870 (*)	0,7452 (**)
RRS	0,7118 (**)	0,3311 NS	0,4048 NS	0,5649 (*)	0,6203(**)	0,8595 (**)
RND	0,5166 (*)	0,3149 NS	0,4689 (*)	0,5641 (*)	0,5292 (*)	0,9112 (**)
RTV	0,4902 NS	0,2751 NS	0,4654 (*)	0,5579 (*)	0,5193 (*)	0,9109 (**)

NS = não significativo; (*) significativo a 5%; (**) significativo a 1%.

Legenda: RTM1, 2, 3, 4 = canais TM/LANDSAT, simulados a partir de dados obtidos por radiometria de campo;
 RRS = modelo de Índice de vegetação RAZÃO SIMPLES, obtidos com RTM3 e RTM4;
 RND = modelo de Índice de vegetação RAZÃO NORMALIZADA, obtido com RTM3 e RTM4;
 RTV = modelo de Índice de vegetação Transformado, obtido com RTM3 e RTM4;
 IAF = Índice de Área Foliar;
 FIT = Fitomassa;
 COV = Porcentagem de Cobertura Verde.





O menor número de boas relações entre os dois tipos de variáveis, para o trigo, poderia ser atribuído ao hábito mais diferenciado das variáveis agrônômicas em relação às variáveis espectrais durante o ciclo da cultura. Ou seja, nem sempre há relação do tipo linear entre ambos os tipos de variáveis; ou mesmo, a relação pode ser linear numa fase do ciclo e de outro tipo noutra fase. Seria interessante então, que fossem feitas investigações a respeito de tais relações para as diferentes fases do ciclo biológico do trigo.

No caso do feijão, houve correlações altamente significativas (a 1% e a 5%) para:

- cobertura vegetal (COV) com as 7 variáveis espectrais;
- fitomassa (FIT) com RTM3, RTM4 e os 3 índices de vegetação (RRS, RND e RTV); e,
- índice de área foliar (IAF) com 5 das 7 variáveis espectrais.

No caso do trigo, as melhores correlações lineares foram para:

- cobertura vegetal (COV) com RTM4 e os índices RND e RTV;
- fitomassa (FIT) com RTM2; e
- índice de área foliar (IAF) com RTM4 e os índices RRS e RND (em concordância com Bauer et alii, 1981, Ahlrichs e Bauer, 1983; Asrar et alii, 1984 e Hatfield et alii, 1985).

Assim, verifica-se que mudanças nas variáveis IAF, FIT e COV são manifestadas nas reflectâncias dos dosséis culturais de trigo e, principalmente, de feijão, de acordo com o modelo linear simples.

No caso da fitomassa do trigo, provavelmente não houve boas correlações pelo motivo de que as folhas constituem-se na maior porção das áreas refletidas das plantas em desenvolvimento, quando vistas verticalmente. No caso do trigo, a área foliar deve atingir um máximo próximo do momento em que ocorre a fase reprodutiva das plantas. Durante esta fase reprodutiva, as plantas acumulam fitomassa principalmente nos grãos, os quais contribuem com uma porção relativamente pequena da área de planta vista pelo sensor. Assim sendo, após atingir um máximo de área foliar, as acumulações de fitomassa continuam, mas provavelmente sem a correspondente resposta espectral.

Ainda analisando a Tabela 4.3.3, verifica-se que o maior potencial de boas correlações ocorreu para as bandas RTM3 e RTM4 e principalmente para os três modelos de índices de vegetação (RRS, RND e RTV).



De qualquer forma, observa-se que as relações entre as três variáveis agronômicas e as sete variáveis espectrais não seguem os mesmos padrões indistintamente, seja qual for a cultura. Então, torna-se necessário investigar estes tipos de relação para cada cultura, separadamente.

Finalizando, pode-se indicar que as variáveis espectrais, principalmente na faixa do vermelho e do IV próximo, bem como as combinações destas variáveis por meio de índices de vegetação, são sensíveis às variações de valores de variáveis agronômicas de grande interesse. Assim, elas poderiam servir como interessantes dados para modelos de estimativas de rendimentos agrícolas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta linha de pesquisa que busca as relações entre as variáveis agronômicas com o comportamento espectral de culturas mostra-se bastante promissora quanto ao seu potencial de fornecer informações acerca das condições de vigor, de fitomassa e de produtividade destas culturas. Em termos de Brasil, é irrisório o número de trabalhos científicos nesta área, a qual deve ser incentivada e há ainda um número muito grande de questões necessitando de respostas da pesquisa científica em sensoramento remoto agrícola.

As variáveis espectrais contêm informações sobre taxa de crescimento, taxa de senescência do dossel, e magnitude e duração da tipicidade de resposta verde e estimativas de absorção de luz, entre outros, como se pode encontrar em várias literaturas sobre o assunto. Assim, elas são indicadas como candidatas a servirem de dados de entrada para modelos agrometeorológicos de crescimento/produtividade de culturas.

Em relação aos parâmetros agronômicos desta pesquisa, pode-se considerar que eles serviram como excelentes indicadores do vigor e do desenvolvimento das culturas de feijão e de trigo. As metodologias de coleta foram corretas, podendo ser refinadas em outras pesquisas.

Considerando-se os dados de níveis de cinza do TM/LANDSAT-5, eles apresentaram-se coerentes com os diversos comportamentos das culturas, ou seja, à medida que ocorrem modificações fenológicas ao longo do ciclo biológico correspondentemente ocorreram variações no comportamento espectral destas culturas. Embora não se tenha podido dispor de 2 passagens do TM/LANDSAT-5, houve uma grande variação nas datas de plantio; assim, foi possível ter, numa mesma passagem, áreas em diversos estágios mostrando vários pontos dentro dos ciclos do trigo e do feijão.



Uma vez que trigo e feijão têm comportamentos fenológicos diferentes, sugere-se que, em pesquisas futuras, as diversas análises estatísticas sejam feitas separadamente, para cada cultura.

Outro ponto que foi possível levantar a partir do presente trabalho refere-se a que se façam estudos das relações entre variáveis agronômicas e variáveis espectrais considerando-se as diferentes fases da cultura; isto porque pode haver fases em que aquelas correlações são maiores do que quando os dados obtidos durante todo o ciclo são utilizados.

Além disso, seria interessante também que fossem feitas análises de correlação não são do tipo linear, uma vez que deve haver também outros tipos de relações entre os dois tipos de variáveis.

Dentre as seis bandas do TM/LANDSAT-5, as bandas TM3, TM4 e TM5 mostraram ser as que detêm maior conteúdo de informações sobre dosséis de culturas agrícolas e as que melhor respondem às variações e mudanças fenológicas das duas culturas estudadas, durante o decorrer dos seus ciclos.

Entre as três bandas acima citadas, a que melhor respondeu às variações dos parâmetros agronômicos estudados foi a banda TM4.

A banda TM4 mostrou-se muito mais correlativa com os parâmetros agronômicos indicadores de fenologia ou de folhagem, como a porcentagem de cobertura vegetal (COV), e número de folhas verdes (FV) e o índice de área foliar (IAF).

Por outro lado, a banda TM5 evidenciou-se mais correlacionada com variáveis agronômicas indicadoras de massa verde, como a fitomassa (FIT), o peso da matéria verde (PV), o peso da matéria seca (PS) e o rendimento declarado (RD).

Assim sendo, índices espectrais de vegetação do tipo relação simples entre duas bandas envolvendo as bandas TM4 e TM5 provavelmente serão portadores de boas informações sobre dosséis culturais agrícolas.

A técnica de espectroscopia de campo pode ser considerada um excelente meio de se realizar estudos com objetivos semelhantes aos deste trabalho. Tomando-se os devidos cuidados, as curvas espectrais obtidas em condições reais de campo (sem ter que se tomar amostras, levá-las para um ambiente totalmente artificial como o de um laboratório, para depois se extrapolar conclusões) oferecem todas as condições, facilidades e vantagens para apoiar e corroborar pesquisas com dados espectrais obtidos por sensores colocados em satélites de observação terrestre.



Os dados de espectroscopia de campo mostraram-se coerentes com os diversos comportamentos das culturas, nas diferentes fases dos seus ciclos biológicos. Isto evidencia que as metodologias empregadas durante as medições foram corretas.

Através da espectroscopia de campo ficou caracterizado que o comportamento espectral típico de vegetação verde, para o feijão, começa a ocorrer por volta do 34^o dia do ciclo, durando até cerca do 88^o dia.

No caso do trigo, o comportamento típico de vegetação verde inicia-se por volta do 22^o dia, iniciando a descaracterizar-se entre o 71^o e o 81^o dias do seu ciclo.

Em relação ao feijão, com os dados de espectroscopia de campo houve correlações altamente significativas (a 1% e a 5%) para as variáveis agronômicas: porcentagem de cobertura vegetal (COV), fitomassa (bandas simuladas TM3, TM4 e índices de vegetação razão simples, diferença normalizada e índice de vegetação transformado) e índice de área foliar.

Quanto ao trigo, com os dados de espectroscopia de campo houve menores correlações entre os dois tipos de variáveis do que para o feijão. As melhores correlações lineares foram para porcentagem de cobertura verde, fitomassa e índice de área foliar.

De qualquer forma, observou-se que as relações entre as variáveis agronômicas e as variáveis espectrais não seguem os mesmos padrões indistintamente, seja qual for a cultura.

Os índices de vegetação em geral, realçam as correlações entre propriedades espectrais e propriedades agronômicas dos dosséis de culturas. A essas transformações é atribuído o efeito de normalizar medições espectrais adquiridas sob condições variadas. No presente caso, como as condições de obtenção dos dados foram uniformes, aquelas vantagens não levaram a correlações significativamente maiores do que se tivessem sido utilizadas apenas bandas individuais.



6. AGRADECIMENTOS

O presente projeto não teria sido possível não fosse a expressiva participação de várias pessoas e instituições. A todos os autores registram os melhores agradecimentos. Devem ser citados: a EMBRAPA, pelo suporte financeiro; ao DAEE/SP na pessoa do Sr. Toshikazu Nakagawa pela atenção e apoio em todos os inúmeros momentos em que foi solicitado e pela cessão de uma sala, onde foram realizados vários tipos de trabalhos com amostras de plantas; à Fundação Educacional de Barretos, pela cessão de uma balança de campo; ao Instituto Agrônomo de Campinas, pelo empréstimo de uma estufa de ventilação forçada; aos estagiários, estudantes de agronomia Eduardo Aquino, Marcos Vogler, Rodolfo Barbosa, Davi Parê Filho e Renato Lamparelli, pelos excelentes trabalhos auxiliares executados; ao agrônomo Raul Lamparelli e ao engenheiro agrícola Rubens Lamparelli pelos auxílios em campanhas de campo para coletas de dados; à Sra. Eliana Miglioranza, pelo apoio computacional na etapa de obtenção das curvas espectrais a partir dos dados de espectroscopia de campo; à Sra. Vera Lúcia de Andrade, pelos trabalhos de datilografia; e aos Srs. Silvio Pereira Coimbra, Joaquim Godoi Filho e Srta. Rosimary M. Candeiro pelos desenhos.



7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLRICH, J.S.; BAUER, M.E. Relation of agronomic and multispectral reflectance characteristics of spring wheat canopies. *Agronomy Journal*, 75(6):987-993, 1983.
- ASRAR, G.; FUCHS, M.; KANEMASU, E.T.; HATFIELD, J.L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal*, 76(2):300-306, 1984.
- BAUER, M.E.; DAUGHTRY, C.S.T.; VANDERBILT, V.C. Spectral agronomic relationships of maize, soybean, and wheat canopies. IN: PROCEEDINGS OF THE 1st INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON SPECTRAL SIGNATURES OF OBJECTS IN REMOTE SENSING. Avignon, France, 8-11 September, 1981, p. 261-273.
- BEST, R.G.; HARLAM, J.C. Spectral estimation of green leaf area index of oats. *Remote Sensing of Environment*, 17(1):27-36, 1985.
- BLAD, B.L.; NORMAN, J.M.; GARDNER, B.R. *Field measurements, simulation modelling and development of analysis techniques for moisture stressed corn and soybeans - 1982 studies*. Center for Agricultural Meteorology and Climatology Progress Report 83-5, University of Nebraska, Lincoln, 1983. 289pp.
- BOUTTON, T.W.; TIESZEN, L.L. Estimation of plant biomass by spectral reflectance in an East African grassland. *Journal of Range Management*, 36(2):213-216, 1983.
- BUNNIK, N.J.J. *The multispectral reflectance of shortwave radiation by agricultural crops in relation with their morphological and optical properties*. Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen 78-1, 1978. 176p.
- BURROUGHS. *Burroughs advanced statistical inquiry system (Basis): user's manual* Detroit, MI, 1975. p.84-90.
- CNEPA (Comissão de Solos do Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas). *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo*. CNEPA, Rio de Janeiro, 1960. 634p. (Boletim nº 12).
- CURRAN, P.J. Multispectral photographic remote sensing of green vegetation biomass and productivity. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(2):243-250, 1982.
- CURRAN, P.J. Multispectral remote sensing for the estimation of green leaf area index. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A309:257-270, 1983.
- DUGGIN, M.J. The field measurement of reflectance factors. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46:643-647, 1980.



- EPIPHANIO, J.C.N.; VALÉRIO FILHO, M.; FRANÇA, G.V. *Comportamento espectral de complexos solo/culturas agrícolas em áreas irrigadas*. Relatório de Projeto. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). São José dos Campos, INPE, 1987. 104pp. (Datilografado).
- EPIPHANIO, J.C.N. *Dados TM/LANDSAT-5 no estudo das culturas de trigo e de feijão*. ESALQ/USP, Piracicaba, 1988. 180p. (Tese de Doutorado).
- GARDNER, B.R. *Techniques for remotely monitoring canopy development and estimating grain yield of moisture stressed corn*. University of Nebraska, Lincoln. PhD Thesis. 1983. 187pp.
- GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHLETER, J.C.; WEIDNER, V.R. Spectral properties of plants. *Applied Optics*, 4(1): 11-20, 1965.
- GAUSMAN, H.W.; RODRIGUEZ, R.R.; RICHARDSON, A.J. Infinite reflectance of dead compared with live vegetation. *Agronomy Journal*, 68:295-296. 1976.
- GENERAL ELECTRIC COMPANY. *Image-100 user manual*. Daytona Beach, Ground Systems Department. 1975.
- HATFIELD, J.L.; KANEMASU, E.T.; ASRAR, G.; JACKSON, R.D.; PINTER JR., P.J.; REGINATO, R.J.; IDSO, S.B. Leaf-area estimates from spectral measurements over various planting dates of wheat. *International Journal of Remote Sensing*, 6(1):167-175, 1985.
- HEILMAN, J.L.; HEILMAN, W.E.; MOORE, D.G. Remote sensing of canopy temperature at incomplete cover. *Agronomy Journal*, 73(3):403-406, 1981.
- HOFFER, R.M.; JOHANNSEN, C.J. Ecological potentials in spectral signature analysis. IN: JOHNSON, P.L. *Remote Sensing in Ecology*. Ed. Univ. of Georgia Press, Athens, GA. pp. 1-16. 1969.
- HOFFER, R.M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. IN: SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. *Remote Sensing: the Quantitative Approach*. Mc-Graw-Hill, Inc.; New York. pp. 228-289. 1978.
- IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO). *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Vol.1*. IPT, São Paulo, 1981a, 94p. (Publicação IPT nº 1183).
- IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO). *Mapa Geológico do Estado de São Paulo - Vol. 1*. IPT, São Paulo, 1981b, 126p. (Publicação IPT nº 1184).
- KANEMASU, E.T. Seasonal canopy reflectance patterns of wheat, sorghum and soybean. *Remote Sensing of Environment*, 3(1):43-47, 1974.



- KAUTH, R.J.; THOMAS, G.S. The tasseled cap - A graphic description of the spectral - temporal development of agricultural crops as seen by LANDSAT. IN: PROCEEDINGS OF MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA SYMPOSIUM. Purdue University, West Lafayette, IN. 1976, p.48, 41-51.
- KNEIZYS, F.X.; SHETLE, E.P.; GALLERY, W.O.; CHATWYN JR., J.H.; ABREN, L.W.; SEKLEY, J.E.A.; CLOUGH, S.A.; FERN, R.W. *Lowtran-6*. Air Force Cambridge Laboratory, Cambridge, MA, 1983. (Report nº 62340).
- KNIPLING, E.B. Physical and physiological basis for the the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of the Environment*, 1:155-159, 1970.
- KOFFLER, N.F. *Identificação da cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp.) através de fotografias aéreas infravermelhas coloridas e dados multiespectrais do satélite LANDSAT*. ESALQ/USP, Piracicaba, 1982. 234p. (Tese de Doutorado).
- KOLLENKARK, J.C.; DAUGHTRY, C.S.T.; BAUER, M.E.; HOUSLEY, T.C. Effects of cultural practices on agronomic and reflectance characteristics of soybean canopies. *Agronomy Journal*, 74(4): 751-758, 1982a.
- KOLLENKARK, J.C.; VANDERBILT, V.C.; DAUGHTRY, C.S.T.; BAUER, M.E. Influence of solar illumination angle on soybean canopy reflectance. *Applied Optics*, 21(7):1079-1184, 1982b.
- MENEZES, P.R. *Avaliação e seleção de bandas do sensor "Thematic Mapper" do LANDSAT-5 para a discriminação de rochas carbonáticas do grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semidetalhe*. IGUSP, São Paulo, 1986. 233p. (Tese de Doutorado).
- MYERS, V.I. Soil, water and plant relations. In: Remote Sensing with special reference to Agriculture and Forestry. National Academy of Sciences. Washington, D.C. pp. 253-297. 1970.
- NASA (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION) - *LANDSAT-4 data users Handbook*. Washington, USGS/EDC. 1984a. 210p.
- NASA (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION). *A prospectus for Thematic Mapper research in the earth sciences*. NASA, Greenbelt, MD, 1984b. 71p.
- RIBEIRO, E.A.; II, F.A.M.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V. *Manual de usuários dos sistemas de tratamento de imagens digitais*. INPE, São José dos Campos, 1982. 158p.
- RICHARDSON, A.J.; WIEGAND, C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(12):1541-1552. 1977.
- ROUSE, JR., J.W.; HASS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *3rd ERTS Symposium*, NASA SP-351. December, 10-14, 1973. Vol. I:309-317

SCHÖWENGERDT, R.A. *Techniques for image processing and classification in remote sensing*. London, Academic, 1983. 249p.

SINCLAIR, T.R.; SCHREIBER, M.M.; HOFFER, R.M. A diffuse reflectance hypothesis for the pathway of solar radiation through leaves. *Agronomy Journal*, 65:276-283. 1973.

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8:127-150, 1979.

WIEGAND, C.L. The value of direct observations of crop canopies for indicating growing conditions and yield. IN: PROCEEDINGS OF THE 18th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, Paris, France, 1-5 October, 1984. Vol. III, pp. 1551-1560.



APÊNDICE A

EXEMPLAR DA FICHA PARA COLETA DE DADOS DE CAMPO

ÁREA Nº _____ PROP. _____ PIVÔ _____ MÓDULO _____
 CULTURA _____ DATA DE PLANTIO _____ VARIEDADE _____
 ORIENTAÇÃO DAS FILEIRAS _____

	AMOSTRA	AMOSTRA	AMOSTRA
DATA			
ESPAÇAMENTO			
ALTURA MÉDIA			
PLANTAS/METRO			
Nº FOLHAS VERDES/PLANTA			
Nº FOLHAS SECAS/PLANTA			
PESO VERDE/"X" PLANTAS			
ÁREA FOLIAR			
UNIFORMIDADE DA CULTURA			
COBERTURA DO SOLO (%)			
DIÂMETRO DA PROJEÇÃO DA COPA (DPC)			
ESTÁGIO VEGETATIVO			
FOTOS Nºs			
OBSERVAÇÕES			



PROPOSTA PARA
PUBLICAÇÃO

- DISSERTAÇÃO
 TESE
 RELATÓRIO
 OUTROS

TÍTULO

RELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS ESPECTRAIS E AGRONÔMICOS DAS CULTURAS DE TRIGO E DE FEIJÃO

IDENTIFICAÇÃO

AUTOR(ES)

Antonio Roberto Formaggio
José Carlos Neves Epiphânio

ORIENTADOR

CO-ORIENTADOR

DISS. OU TESE

DIVULGAÇÃO

- EXTERNA INTERNA RESTRITA
RPE EVENTO/MEIO
 CONGRESSO REVISTA OUTROS

LIMITE DEFESA CURSO ORGÃO

____/____/____ ____/____/____ _____ _____

NOME DO REVISOR

Antonio Tebaldi Tardin

NOME DO RESPONSÁVEL

Antonio Roberto Formaggio

REV. TÉCNICA

RECEBIDO DEVOLVIDO ASSINATURA
____/____/____ ____/____/____ *Tardin*

APROVADO DATA ASSINATURA
 SIM *15/12/88*

APROVAÇÃO

REV. LINGUAGEM

Nº PRIOR. RECEBIDO NOME DO REVISOR
____ ____ ____/____/____ _____
PÁG. DEVOLVIDO ASSINATURA
____ ____/____/____ _____

OS AUTORES DEVEM MENCIONAR NO VERSO INSTRUÇÕES ESPECÍFICAS, ANEXANDO NORMAS, SE HOUVER

RECEBIDO DEVOLVIDO NOME DA DATILÓGRAFA
____ ____/____/____ _____

DATILOGRAFIA

Nº DA PUBLICAÇÃO: PÁG.:
CÓPIAS: Nº DISCO: LOCAL:

AUTORIZO A PUBLICAÇÃO

- SIM
 NÃO ____/____/____

DIRETOR

OBSERVAÇÕES E NOTAS

Este trabalho enquadra-se na seguinte classificação:

COM 4 (RPE) - Relatório de Pesquisa Externo