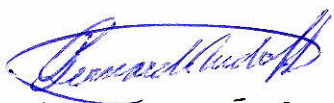
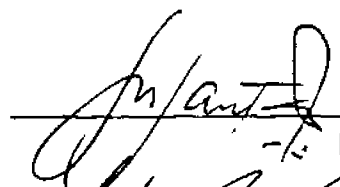


1. Publicação nº <i>INPE-3744-TDL/202</i>	2. Versão	3. Data <i>Dezembro 1985</i>	5. Distribuição ☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem <i>DRH-DSR</i>	Programa <i>FRH/SER</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>ÍNDICES VEGETATIVOS DADOS LANDSAT</i> <i>MODELO AGROMETEOROLÓGICO ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:633.61(816.1)</i>			
8. Título <i>DADOS LANDSAT NA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR</i>		10. Páginas: <i>114</i>	
		11. Última página: <i>B.9</i>	
		12. Revisada por	
9. Autoria <i>Bernardo Friedrich Theodor Rudorff</i>		13. Autorizada por <i>Cetúlio Teixeira Batista</i> <i>Marco Antonio Raupp</i> Diretor Geral	
Assinatura responsável 			
14. Resumo/Notas <i>Foi avaliado o uso potencial dos dados LANDSAT, em conjunto com dados de um modelo agrometeorológico, para a previsão da produtividade da cana-de-açúcar (Saccarum officinarum). O estudo foi desenvolvido no município de Lençóis Paulista - SP, nos canaviais da Usina Barra Grande. Analisaram-se os dados LANDSAT de cinco passagens disponíveis entre o período de setembro de 1982 a abril de 1983. Nas imagens do satélite foram localizadas áreas cana vieiras, extraíndo-se os níveis de cinza que foram transformados em valores de reflectância e, em seguida, em índices vegetativos que devem expressar as condições de crescimento da cultura. Além disso, foi desenvolvido um modelo que utiliza parâmetros agronômicos para calcular a produtividade máxima da cultura, a qual é função da temperatura, radiação e duração do ciclo. Esta produtividade é penalizada à medida em que as condições hídricas não supram a demanda de água pela cultura, obtendo-se assim uma produtividade estimada, denominada real. Melhores resultados foram alcançados com o uso de ambos os modelos (agrometeorológico e índice vegetativo) na estimativa da produtividade. A regressão linear dos dados destes dois modelos com os dados de produtividade observados em cada uma das áreas canavieiras explicou 56% da variação. As regressões lineares feitas separadamente dos dados obtidos pelos modelos agrometeorológico e índice vegetativo explicaram respectivamente 38% e 32% da variação. Embora os resultados mostrem que os dados do satélite têm potencial para ser utilizados nas estimativas de produtividade, o modelo proposto deve ser considerado como preliminar pois requer estudos de desenvolvimento e validação.</i>			
15. Observações <i>Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações aprovada em 28 de junho de 1985.</i>			

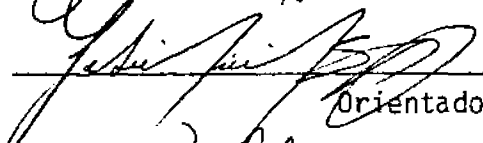
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

Dr. Jesus Marden dos Santos



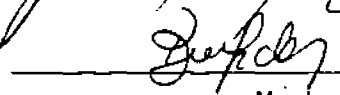
Presidente

Dr. Getúlio Teixeira Batista



Orientador

Engº Agro. Bernardo Yasuhiro Ide, Mestre



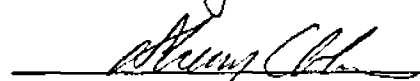
Membro da Banca
-convidado-

Dra. Evelyn M.L.Moraes Novo



Membro da Banca

Eng^a Agro. Sherry Chou Chen, M.Sc.



Membro da Banca

Candidata: Bernardo F. T. Rudorff

São José dos Campos, 28 de junho de 1985

Aos meus pais
pelo apoio dado a minha formação
dedico.

À minha esposa Heloisa, pelo
incentivo e compreensão, e aos
meus filhos Frederico, Conrado e
Natália, pelas horas de convívio
furtadas,
ofereço.

AGRADECIMENTOS

Aos pesquisadores Getulio Teixeira Batista, Thelma Krug de Moraes e Sherry Chou Chen pela orientação, incentivo e sugestões.

Ao programador Moacir Godoy Júnior pelas suas fundamentais contribuições na elaboração de programas computacionais.

À Usina Barra Grande pelo fornecimento das informações de campo, em especial ao Engenheiro Agrônomo Erseni Nelli pela colaboração no envio destas informações.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

E, finalmente, ao Instituto de Pesquisas Espaciais por ter permitido a realização deste trabalho, além de fornecer meios para sua execução.

ABSTRACT

*The potential use of LANDSAT data in conjunction with data obtained from an agronomic-meteorologic model, for sugarcane (*Saccharum officinarum*) yield forecasting, were evaluated. The study area comprises the sugarcane plantations of the Usina Barra Grande in the municipality of Lençóis Paulista - SP. Useful LANDSAT data of five passages between September 1982 and April 1983 were analysed. Several sugarcane fields were identified on the satellite images, and gray levels values were obtained and converted into reflectance values, being then transformed into vegetation indexes that should express crop grow conditions. Besides, a model based on agronomic and meteorologic parameters to calculate the maximum yield, as a function of temperature, radiation and lenght of growing season was developed. When the water supply is insufficient to attend crop demand, this yield is decreased and a so-called real yield estimate is obtained. Better results were achieved when using both models (agrometeorologic and vegetation index) in yield estimates. Linear regression of the two variables (agrometeorologic and vegetation index models) with observed yield data of each sugarcane fields explained 56% of the variation. Separate linear regressions with data obtained by the agrometeorologic model and vegetation index models explained respectively 38% and 32% of the vegetation. Although results show that satellite data can be potentially used in yield estimates, the proposed model must be considered as preliminar, since it needs development and evaluations studies.*

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>xi</i>
LISTA DE TABELAS	<i>xiii</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
<u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO DE LITERATURA</u>	3
2.1 - A energia refletida pelas plantas	3
2.2 - Sensoriamento remoto e modelos de produtividade	6
2.3 - Transformação dos dados LANDSAT em índices vegetativos	8
2.4 - Aplicações dos índices vegetativos	10
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODO</u>	13
3.1 - Área de estudo	13
3.2 - Cana-de-açúcar	14
3.3 - Estimativa da previsão da safra na usina	17
3.4 - Medidas de Toneladas de Massa Verde por Hectare (TMVH)	17
3.5 - Dados de produtividade	18
3.6 - Dados LANDSAT	18
3.7 - IMAGE-100	27
3.8 - Procedimento para aquisição dos dados espectrais	28
3.9 - Normalização dos dados digitais do LANDSAT	28
3.10 - Índices vegetativos	30
3.11 - Modelo agrometeorológico	31
3.12 - Modelo de produtividade	47
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	49
4.1 - Definição do período de aquisição dos dados LANDSAT	49
4.2 - Seleção dos índices vegetativos	53
4.3 - Correlação entre a produtividade e índices vegetativos	55
4.4 - Modelo agrometeorológico	59
4.5 - Modelo de produtividade	64
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u>	69

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
APÊNDICE A - DADOS ESPECTRAIS DO SENSOR MSS E VALORES DOS ÍNDICES VEGETATIVOS	
APÊNDICE B - LISTAGEM DO PROGRAMA DO MODELO AGROMETEOROLÓGICO	

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Resposta espectral característica da vegetação verde	4
2.2 - Reflectância da combinação de folhas de algodão superpostas até um total de seis camadas	5
3.1 - Localização da área de estudo	14
3.2 - Dinâmica do cultivo da cana-de-açúcar	15
3.3 - Distribuição dos canaviais amostrados na área de estudo ...	19
3.4 - Bandas espectrais do MSS em relação à curva de reflectância da vegetação	26
4.1 - Média e desvio padrão do Índice vegetativo (RVI) para as 5 passagens analisadas	50
4.2 - Regressão da produtividade com o Índice vegetativo RVI para todas as áreas canavieiras na passagem do LANDSAT de a) 24 de janeiro de 1983 e b) 25 de fevereiro de 1983	58
4.3 - Regressão da produtividade observada com a produtividade do modelo agrometeorológico considerando todo o ciclo da cultura	60

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Medidas de Tonelada de Massa Verde por Hectare (TMVH) para os meses correspondentes ao período mais próximo da aquisição dos dados espectrais em 32 áreas amostradas	20
3.2 - Dados de produtividade em ton/ha e informações sobre o tipo de variedade, estágio de corte, data de plantio e data de corte (colheita)	22
3.3 - Data das imagens LANDSAT e respectivas percentagens de cobertura de nuvens e ângulo de elevação solar	27
3.4 - Dados de calibração do sensor MSS do LANDSAT-4 para o período de setembro de 1982 a agosto de 1983	30
3.5 - Principais índices vegetativos para o sensor MSS do LANDSAT	31
3.6 - Valores de radiação de onda curta que penetra na atmosfera (Roc) em cal/cm ² /dia, da taxa de produção de matéria seca da cultura padrão em dias claros (TC) e em dias nublados (TN) em kg/ha/dia, do número de horas de insolação (N) e da radiação extraterrestre (Ret) em cal/cm ² /dia, para a latitude de mais próxima da área de estudo	35
3.7 - Valores da taxa de produção de matéria seca em kg/ha/hora para o grupo de culturas relativo à cana-de-açúcar e para temperatura média durante o período de crescimento	36
3.8 - Valores mensais do fator da cultura (kc) e da profundidade do sistema radicular em metros	40
3.9 - Fração da água disponível no solo para a planta (f) sem que $ETR < ETM$ em função do valor da evapotranspiração máxima (ETM) em mm/dia	41
3.10 - Evapotranspiração real (ETR) em função do IADS, de $(1 - f) \times CRAS \times D$ e de ETM	42
3.11 - Dados meteorológicos	43
4.1 - Coeficiente de correlação (r), erro padrão da estimativa (e) da regressão linear e tamanho da amostra (N) para a relação entre a produtividade observada e os índices vegetativos (RVI e TVI) nas cinco passagens do LANDSAT	52
4.2 - Coeficientes de correlação (r), erro padrão da estimativa (e) da regressão linear e tamanho da amostra (N) para produtividade observada e cinco índices vegetativos para as duas melhores passagens do LANDSAT	54
4.3 - Coeficientes de correlação (r), erro padrão da estimativa (e) da regressão linear e tamanho da amostra (N) para produtividade observada e melhores índices vegetativos para as melhores passagens do LANDSAT	56

	<u>Pág.</u>
4.4 - Produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico considerando todo o ciclo e produtividade observada pela usina	61
4.5 - Equação de regressão do modelo de produtividade para duas passagens do LANDSAT, coeficientes de correlação (r), variação explicada (r^2), erro padrão da estimativa (e) e tamanho da amostra (N)	65
4.6 - Coeficiente de correlação (r), erro padrão da estimativa (e) e tamanho da amostra (N) para a relação entre a produtividade observada e a medida de TMVH	66
4.7 - Coeficiente de correlação (r), erro padrão da estimativa (e) e tamanho da amostra (N) para a relação entre a medida de TMVH e o Índice vegetativo RVI	67

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

É indiscutível a importância de informações confiáveis sobre a previsão de safras agrícolas, especialmente no caso de culturas envolvidas no comércio internacional devido ao crescimento demográfico e ao impacto da crise energética.

A produção de uma cultura agrícola é estimada através do produto da área plantada pela produtividade agrícola. Os dados de sensoriamento remoto, em particular aqueles obtidos pelo sistema LANDSAT, tem um grande potencial para fornecer informações tanto sobre a área plantada quanto sobre a produtividade agrícola.

O desenvolvimento de metodologias para avaliação de áreas plantadas com culturas agrícolas, utilizando dados LANDSAT, tem sido constante alvo de interesse do INPE. Todavia, estes dados também tem se mostrado úteis para estimar parâmetros agrícolas que se relacionam com a produtividade.

A previsão de safra para grandes áreas, através de métodos convencionais, apresenta limitações principalmente no que se refere à coleta de dados. As flutuações na produtividade, que se observam de ano para ano, são causadas em grande parte pelas condições meteorológicas, muito embora outros fatores ambientais, além de fatores agrônômicos, também exerçam importante influência sobre estas flutuações.

Neste contexto, a finalidade deste trabalho é contribuir para o aperfeiçoamento das técnicas de quantificação da produtividade agrícola. Assim sendo propõe-se um modelo de produtividade agrícola que incorpora, variáveis agrometeorológicas e variáveis espectrais obtidas pelo satélite LANDSAT.

A cultura da cana-de-açúcar foi escolhida para este estudo devido a sua grande importância na economia nacional, e ao fato de os estudos para estimativa de área plantada desta cultura, utilizando dados LANDSAT, se encontrarem em fase bastante avançada. Por isso, surge a necessidade de obter também a estimativa da produtividade para que se possa finalmente dispor da previsão da safra da cana-de-açúcar, de forma objetiva, através de técnicas de sensoriamento remoto.

Para alcançar o objetivo proposto foram definidos os seguintes objetivos específicos: identificar o período mais adequado para aquisição dos dados LANDSAT; selecionar os índices vegetativos que melhor se correlacionem com a produtividade; verificar a correlação entre a produtividade agrícola observada e os dados LANDSAT transformados em índices vegetativos; adaptar e testar o modelo agrometeorológico; incorporar o modelo de índices vegetativos ao modelo agrometeorológico a fim de obter um modelo agrometeorológico-espectral que estime a produtividade da cana-de-açúcar.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - A ENERGIA REFLETIDA PELAS PLANTAS

Hoffer e Johansen (1969) afirmaram que é fundamental o conhecimento sobre a interação da radiação solar com a vegetação a fim de esclarecer as variações quantitativas e qualitativas gravadas pelo sensor e, desta forma, predizer melhor as condições sob as quais se observam as mudanças nas características espectrais dos materiais.

Gates (1970), Knippling et alii (1970), Hoffer e Johansen (1969) e Hoffer (1978) mostraram que a reflectância de uma vegetação verde é distinta e completamente variável com o comprimento de onda, como ilustra a Figura 2.1.

De acordo com De Carolis e Amoedo (1980) os fatores relevantes na resposta espectral da folha são: pigmentos, estrutura interna das folhas, conteúdo de água, estado nutricional, maturidade e condições fitossanitárias.

As folhas das plantas refletem, transmitem e absorvem a radiação incidente de acordo com a seguinte equação do balanço da energia:

$$\phi_i = \phi_r + \phi_a + \phi_t, \quad (2.1)$$

onde ϕ_i , ϕ_r , ϕ_a e ϕ_t são os fluxos da radiação incidente, refletida, absorvida e transmitida, respectivamente num dado comprimento de onda (λ). Grande parte dos sistemas sensores operam na faixa reflectiva do espectro eletromagnético correspondente ao comprimento de onda de 0,3 m a 3,0 m, de tal forma que a Equação 2.1 também pode ser escrita como:

$$\phi_i - \phi_r = \phi_a + \phi_t \quad (2.2)$$

Observando a Figura 2.1 verifica-se primeiramente que na região visível do espectro eletromagnético ocorre uma baixa reflectância no azul e no vermelho, devido à alta absortância da energia incidente pelos pigmentos na folha, especialmente a clorofila; embora outros pigmentos como as antocianinas e os carotenóides também exerçam efeito sobre a absortância, segundo Knipling et alii (1970).

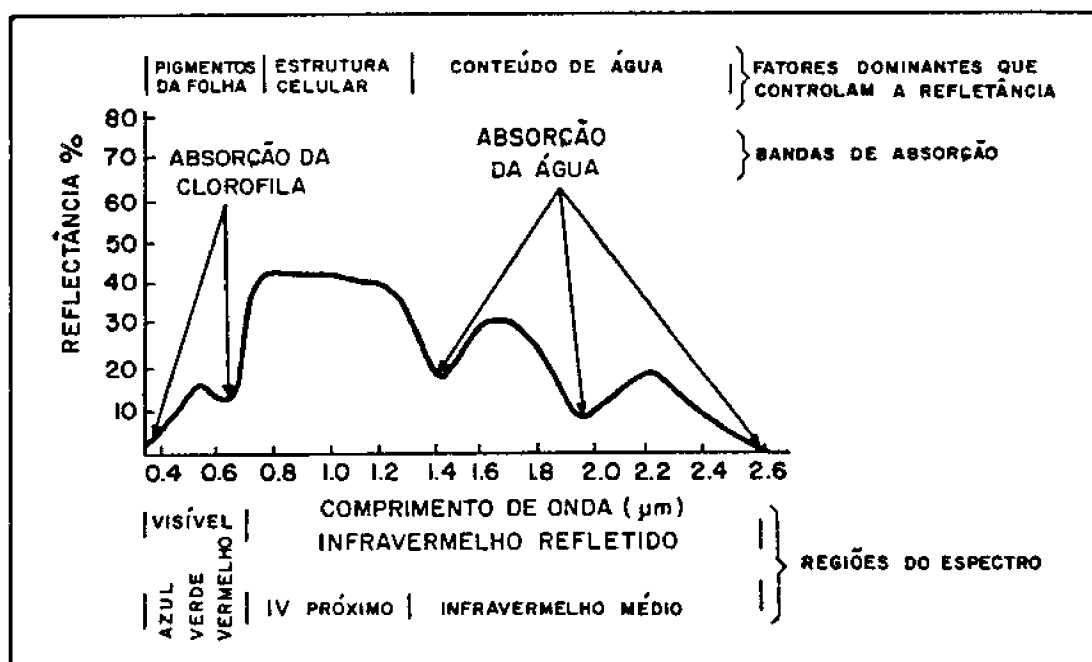


Fig. 2.1 - Resposta espectral característica de vegetação verde.
FONTE: Hoffer (1978), p.232

No espectro eletromagnético há uma região denominada infravermelho próximo (0,7μm a 1,4μm), na qual a vegetação verde se caracteriza pela alta reflectância (45-50%), alta transmitância (45-50%) e baixa absortância (menos que 5%) (Hoffer, 1978). Gates et alii (1965) e Sinclair et alii (1971) afirmam que nesta região do espectro a reflectância é em grande parte controlada pela estrutura interna das folhas de uma planta. Myers (1970) mostrou que a comparação entre a reflectância de uma única folha e a reflectância de múltiplas camadas de folhas pode ser aumentada até 85%, na região do infravermelho próximo, como mostra a Figura 2.2.

Observa-se que apenas nesta região se detectam variações na resposta espectral da vegetação em função do aumento do número de camadas de folhas, especialmente nas proximidades de 1 micrometro de comprimento de onda.

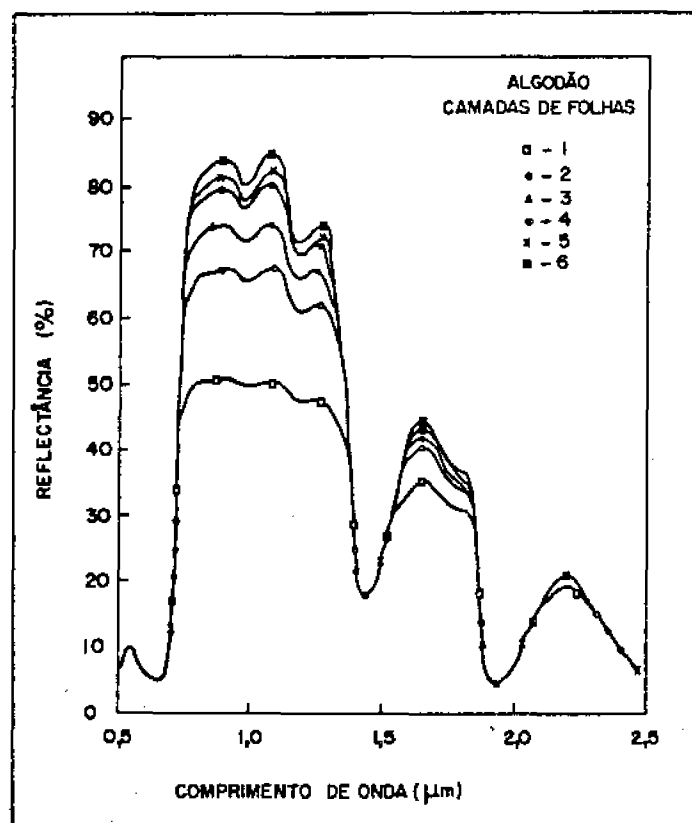


Fig. 2.2 - Reflectância da combinação de folhas de algodão superpostas até um total de seis camadas.

FONTE: Myers (1970), p.255.

Os estudos de Al Abbas et alli (1974) sobre a reflectância das plantas com deficiência nutricional mostraram que houve um aumento da reflectância das folhas na região do visível do espectro eletromagnético e atribuíram o fato à menor concentração de pigmentos responsáveis pela absorção da energia.

Knipling et alli (1970) afirmam que na região do infravermelho próximo ocorrem variações na quantidade de energia refletida pela planta quando esta está sujeita ao ataque de pragas e doenças, ao estresse por falta de água ou à senescência, e que os fatores predominan

tes destas variações são: diminuição do índice de área foliar e alteração da estrutura interna e morfologia das folhas.

2.2 - SENSORIAMENTO REMOTO E MODELOS DE PRODUTIVIDADE

Um modelo para estimativa da produtividade de uma cultura visa representar de forma simplificada a relação existente entre a cultura e o seu ambiente. De acordo com Newman (1974), segundo Baier (1979), os modelos desta natureza podem ser determinísticos ou estocásticos. Os modelos determinísticos estabelecem as relações entre a cultura e seu meio através de fórmulas matemáticas e do emprego de alguns fatores obtidos empiricamente. Os modelos estocásticos utilizam técnicas estatísticas de regressão para determinar o melhor ajuste entre variáveis climatológicas ou meteorológicas e parâmetros agrônômicos. Um modelo também pode ter, de forma combinada, características tanto de um modelo determinístico quanto estocástico.

Baier (1979) classificou os modelos que relacionam a cultura com o seu meio em três grupos: modelos de simulação de crescimento, que são uma representação simplificada dos mecanismos físicos, químicos e fisiológicos implícitos nos processos de crescimento das plantas, modelos de análise da cultura e seu meio, definidos como o produto de dois ou mais fatores que representam de forma simplificada a relação existente entre a resposta da planta (ex: produtividade) e as variáveis ambientais durante o ciclo da cultura; modelos estatísticos empíricos que empregam técnicas estatísticas utilizando séries históricas de dados climatológicos e de produtividade.

Os modelos de produtividade até hoje desenvolvidas não são capazes de simular com perfeição o efeito conjunto de diversos elementos meteorológicos e culturais que influenciam na produtividade. Por outro lado, é muito difícil de obter informações precisas e de forma rápida, ao nível de campo, para grandes áreas, a fim de utilizá-las na estimativa de produtividade (Colwell, 1979).

Os satélites da série LANDSAT, inicialmente lançados no começo da década de 70, em operação até hoje, têm a característica de permitir o monitoramento de culturas agrícolas sobre grandes áreas e de forma rápida, embora com uma resolução temporal efetiva não muito estável, principalmente devido à possível presença de nuvens sobre a área imageada.

Nos últimos anos foram realizadas diversas pesquisas que envolvem o uso de dados digitais do LANDSAT com intuito de estimar a produtividade de culturas agrícolas. A correlação significativa encontrada entre os dados espectrais de reflectância das plantas e os parâmetros agrônômicos relacionados com a produtividade, incentivou o uso destes dados em modelos de produtividade (Pearson and Miller 1972, Ashley and Rea 1975, Tucker et alii 1980, 1981, Richardson and Wiegand 1977, Richardson et alii 1982, Wiegand et alii 1979, Hatfield et alii 1981, 1983, entre outros).

Embora grande parte destes trabalhos tenha sido conduzida em campos experimentais utilizando radiômetros portáteis, Wiegand et alii (1979) apontam o sensoriamento remoto orbital como uma técnica viável para relacionar as variáveis espectrais com a produtividade para grandes áreas, entretanto carecem de estudos que tornem a relação numérica dos dados LANDSAT/produtividade menos dependente das variações da camada atmosférica e dos dados de calibração de sensor.

A produtividade de uma cultura depende de uma série de fatores culturais tais como: uso de fertilizantes, controle fitossanitário, tratos culturais, densidade de plantio e de elementos meteorológicos tais como: temperatura, água no solo, radiação, além de outros. Estes fatores e elementos afetam também de certa forma a reflectância da vegetação e podem ser associados com a produtividade final da cultura, de acordo com Wiegand et alii (1979), Thompson e Wehmanen (1979), Brakke e Kanemasu (1979), Rao et alii (1982), Richardson et alii (1982) e Wiegand (1984).

Trabalhos desenvolvidos mais recentemente como os de Richardson et alii (1982) e Barnett e Thompson (1982), utilizando dados digitais do LANDSAT em conjunto com dados agrometeorológicos, obtiveram resultados bastante superiores na estimativa da produtividade, quando comparados com as estimativas obtidas a partir de um dos conjuntos de dados isolados.

Com base nesta linha de pensamento propõe-se desenvolver um modelo agrometeorológico de natureza determinística, que empregue dados agrônômicos e meteorológicos a partir da metodologia proposta por Doorembos e Kassam (1979), e a ele incorporar uma variável espectral denominada índice vegetativo.

2.3 - TRANSFORMAÇÃO DOS DADOS LANDSAT EM ÍNDICES VEGETATIVOS

O emprego de transformações lineares de bandas espectrais de sensores remotos tem a finalidade de exprimir melhor a característica do comportamento espectral de culturas e da vegetação, evidenciando assim suas condições de crescimento através dos denominados índices vegetativos.

Idealmente um índice vegetativo deve ser bastante sensível à vegetação e insensível às variações de fundo (solo e sombras), além de ser pouco influenciado pela atmosfera, como sugerem Jackson et alii (1983). Entretanto, não se dispõe de nenhum índice que atenda a todos estes requisitos, e os autores sugerem que para o acompanhamento de uma cultura, ao longo de seu ciclo, sejam utilizados dois ou mais índices.

A seguir são revisados os principais modelos de índices vegetativos utilizados no monitoramento do crescimento de culturas agrícolas e da vegetação.

Na análise dos dados LANDSAT, a aplicação da razão de bandas do infravermelho próximo (MSS 7) e do vermelho (MSS 5), foi revisada por Tucker (1979) que cita os trabalhos de Rouse et alii (1973,

1974), Carneggie et alli (1974), Johnson (1976) e Maxwell (1976). Jackson et alli (1983) concluíram que esta razão de bandas somente deve ser utilizada quando a cultura cobre mais que 50% do solo.

A diferença dos valores de radiância das bandas MSS 7 e MSS 5, dividida pela soma destas bandas, deu origem ao índice denominado diferença normalizada (DN):

$$DN = (MSS\ 7 - MSS\ 5)/(MSS\ 7 + MSS\ 5). \quad (2.3)$$

Para evitar os valores negativos de DN e possibilitar que a variância seja proporcional ao valor médio, foi adicionada uma constante de 0,5 e extraída a raiz quadrada que deu origem ao denominado índice vegetativo transformado (TVI):

$$TVI = DN + 0,5 \quad (2.4)$$

Estas transformações se mostraram apropriadas para detectar culturas até com 15% de cobertura do solo, embora sejam pouco sensíveis para detectar estresse em coberturas vegetadas densas, segundo Jackson et alli (1983). De acordo com o mesmo autor, a diferença das bandas MSS 7 e MSS 5, denominada índice vegetativo da diferença (DVI), também apresenta comportamento semelhante:

$$DVI = 2,4 \times MSS\ 7 - MSS\ 5 \quad (2.5)$$

A transformação denominada índice vegetativo da diferença (DDVI), dada por:

$$DDVI = (2 \times MSS\ 7 - MSS\ 6) - (MSS\ 5 - MSS\ 4) \quad (2.6)$$

foi desenvolvida para obter um índice vegetativo muito pouco afetado pela atmosfera. Este, no entanto, tem a desvantagem de ser muito influenciado pelo solo, especialmente quando este for de tonalidade clara, de acordo com Jackson et alli (1983).

Outra transformação é o Índice vegetativo perpendicular (PVI) que requer a determinação de uma linha de solos para o cálculo do índice o qual foi desenvolvido por Richardson e Wiegand (1977). Este índice é pouco influenciado pela reflectância do solo.

Kauth e Thomas (1976) desenvolveram uma técnica para transformar as quatro bandas do LANDSAT em novas componentes, através de equações lineares, cujos coeficientes dependem de dados de calibração do sensor MSS. Esta técnica se baseia na variação do sinal recebido pelo sensor durante o ciclo de uma cultura. A transformação isola na primeira componente a informação referente ao solo e na segunda, a informação referente à vegetação, cuja denominação é GVI.

No presente trabalho os Índices vegetativos PVI e GVI não foram utilizados, pois requerem alguns estudos básicos para sua adaptação na área de estudo.

2.4 - APLICAÇÕES DOS ÍNDICES VEGETATIVOS

A utilização de Índices vegetativos para estimativa da biomassa ou Índice de área foliar foi relatada pela primeira vez por Jordan (1969), segundo Tucker (1979).

A avaliação de biomassa de pastagem, utilizando dados LANDSAT, foi feita pela primeira vez por Rouse et alii (1973), segundo Tucker (1979). Ashley e Rea (1975) mostraram a utilidade dos dados LANDSAT para representar as variações fenológicas da vegetação.

Tucker (1979), comparando diversos Índices vegetativos, concluiu que muitos deles davam resultados semelhantes na estimativa da biomassa fotossinteticamente ativa.

Thompson e Wehmanen (1979) e Thompson (1982) empregaram dados digitais do LANDSAT para detecção e monitoramento de culturas agrícolas sob estresse de água, em grandes áreas, e também obtiveram resultados encorajadores na estimativa da produtividade da cultura do trigo.

Tucker et alli (1980) concluíram que há uma estreita relação entre os índices vegetativos e as condições de crescimento da cultura do trigo o que explica grande parte da variação que ocorre no rendimento dos grãos.

Idso et alli (1980) estimaram a produtividade do trigo utilizando um índice vegetativo com o qual acompanharam a taxa de senescência da cultura com base no fato de as plantas sob estresse entrarem em senescência mais cedo e terem um rendimento de grãos menor. Apoiados nesta pesquisa, Pinter et alli (1981) utilizaram uma nova técnica para prever a produtividade do trigo, cultivado sob diversos regimes de estresse de umidade, na qual os autores integraram os índices vegetativos a partir da fase de emborrachamento da cultura, e correlacionaram este valor com a produtividade final.

A aplicação de índices vegetativos para estimativa da produtividade de culturas agrícolas é bastante evidente, entretanto o acompanhamento temporal destas culturas, utilizando dados digitais do LANDSAT, para avaliação das condições da cultura visando a estimativa da produtividade tem sido pouco estudado.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODO

3.1 - ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na Usina Barra Grande no município de Lençóis Paulista - SP e é caracterizada pelo intenso cultivo da cana-de-açúcar. Situa-se numa área de aproximadamente 40.000 hectares, cujas coordenadas são 22°33' e 22°55'S e 48°37' e 48°58'W, conforme a Figura 3.1.

A geologia da área encontra-se representada pela ocorrência de arenito do Grupo Bauru, Formação Marília e Adamantina, e de rochas basálticas do Grupo São Bento, Formação Serra Geral (IPT, 1981a). A área possui um sistema de relevos de degradação, em planaltos dissecados, onde predomina a categoria colinas amplas e, em algumas áreas, ocorrem morrotes alongados e espigões (IPT, 1981b).

Os tipos de solos sobre os quais estão as áreas de cana-de-açúcar são classificados em Latossolo Vermelho Escuro e Areia Quartzosa, que representam 75% e 11% respectivamente do total das áreas canavieiras. Os demais solos são Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada, que representam 6%, 4% e 3% respectivamente do total das áreas canavieiras (Nelli, 1983).

As principais classes de ocupação do solo na região são: reflorestamento, áreas agrícolas e cerrados (IF, 1975). O clima é úmido, quente e com inverno seco, e a precipitação no mês mais seco é inferior a 30mm. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio é inferior a 18°C (Setzer, 1966).

A escolha da área canavieira da Usina Barra Grande para a condução de um trabalho que visa estimar a produtividade agrícola da cana-de-açúcar se deve ao fato de a usina possuir relevantes informações sobre as condições de cultivo da cultura e um controle rígido dos dados

de produtividade da cultura. Também dispõem-se de dados meteorológicos necessários para o modelo agrometeorológico. Isto tudo fornece condições ideais para desenvolver um modelo de produtividade que envolva dados LANDSAT, informações agronômicas e dados meteorológicos.

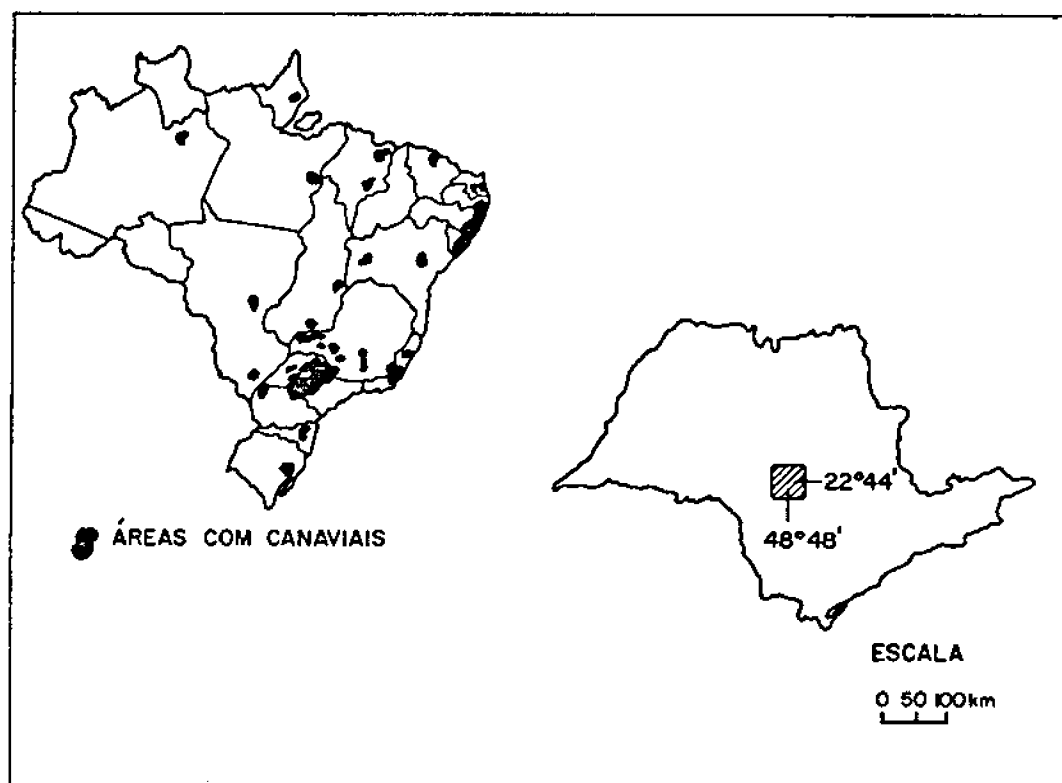


Fig. 3.1 - Localização da área de estudo.

3.2 - CANA-DE-AÇÚCAR

A área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) no Brasil é de aproximadamente 3,7 milhões de hectares e sua matéria prima é utilizada principalmente na produção de açúcar e álcool (IAA, Planalsucar, 1984).

A cana-de-açúcar é originária da Ásia, provavelmente de Assam e Bengala, e foi introduzida no Brasil em 1530 por Martim Afonso de Souza. Esta cultura é plantada com sucesso entre as latitudes 35° Norte e Sul. Em geral, altitudes elevadas e ausência ou excesso de precipitação impedem o seu cultivo.

A cana-de-açúcar é denominada cana planta até a primeira colheita, tendo um período de crescimento em torno de 12 ou 18 meses, dependendo da época do plantio. Após a primeira colheita ela passa a ser denominada soca, seguida pela ressoca e segunda ressoca, tendo cada uma destas fases um período de aproximadamente 12 meses de crescimento. A Figura 3.2 ilustra esta dinâmica de cultivo e o acúmulo de matéria seca ao longo do período de crescimento.

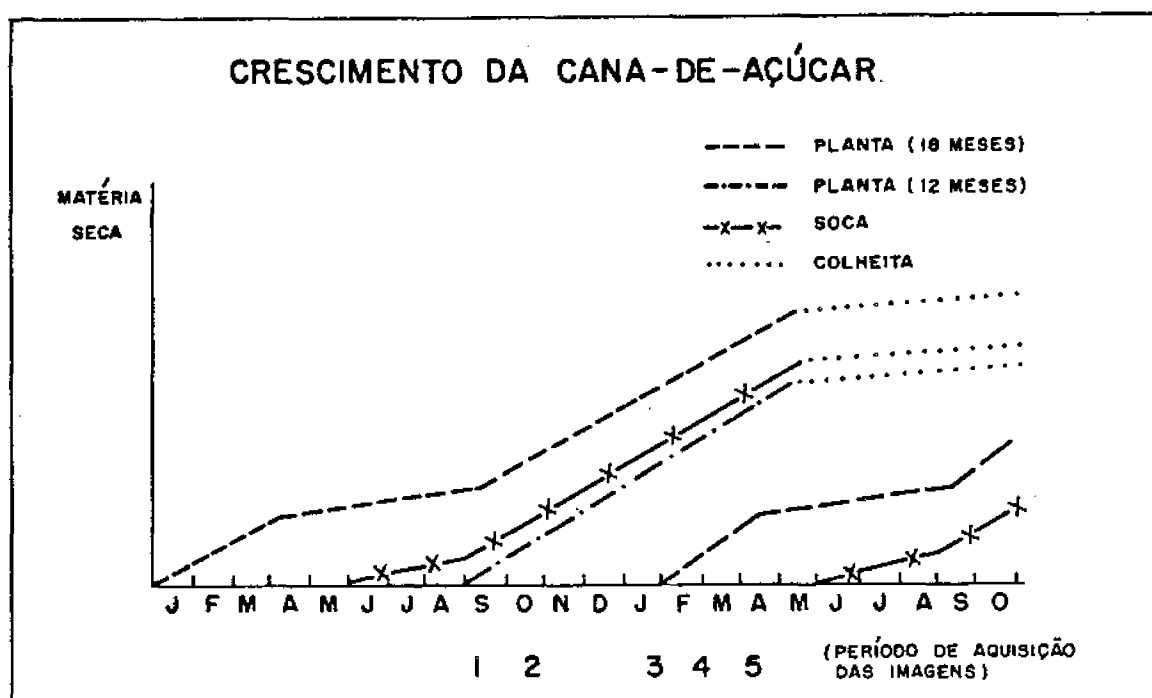


Fig. 3.2 - Dinâmica do cultivo da cana-de-açúcar.

A cana-de-açúcar é uma planta de clima tropical e tem máximo potencial de produção na fase vegetativa quando se desenvolve a temperatura entre 22°C e 30°C. Em temperaturas inferiores a 20°C o crescimento é muito reduzido e paraliza aos 10°C. Dependendo do clima a cultura exige de 1500 a 2500mm de água durante o período de crescimento. Para ser induzida ao repouso requer um déficit hídrico ou térmico a fim de acumular sacarose nos colmos.

A cultura não é muito exigente em solos, todavia prefere aqueles com profundidade acima de 1 metro, com boa aeração e boa drena

nagem. O pH ótimo está em torno de 6,5 entretanto cresce bem nos limites de 5,0 a 8,5.

As exigências nutricionais para uma produtividade de 100 ton/ha são de 100 a 200 kg/ha de nitrogênio, 20 a 90 kg/ha de fósforo e 120 a 160 kg/ha de potássio. O espaçamento entre linhas deve ser de 1,1 a 1,4 metro.

A produtividade agrícola da cana-de-açúcar é dada pelo peso dos colmos, porém é muito importante que seu teor de sacarose esteja acima de 15% do peso fresco, pois é este valor que irá determinar a produção de açúcar ou de álcool por tonelada de cana.

Entre as seis principais variedades de cana-de-açúcar plantadas no Estado de São Paulo podem-se citar: NA56-79, CB41-76, IAC52/150, SP70-1143, IAC48/65 e IAC51/205 que perfazem um total de 78,67% da área plantada (IAA.PlanaIsucar, 1984). Na área de estudo as principais variedades plantadas são: NA56-79, SP70-1143, IAC52/150, IAC51/205 e CB45-155. Do total da área cultivada com estas variedades, 50% corresponde à variedade NA-56-79, 15%, à variedade SP70-1143, 15%, à variedade CB45-155, 12%, à variedade IAC51/205; e 3%, à variedade IAC52/150.

O maior acúmulo de sacarose nos colmos depende não apenas de um déficit hídrico ou térmico como já foi mencionado, mas também da variedade. A variedade é denominada precoce, média ou tardia de acordo com a época em que tem maior teor de sacarose nos colmos durante o período da colheita. A variedade NA56-79 é denominada precoce, pois o maior acúmulo do teor de sacarose se dá nos primeiros meses do período da colheita. Por ser uma variedade de grande representatividade em área plantada, ela é praticamente a única variedade colhida nos primeiros cinco meses. Posteriormente são colhidas as variedades denominadas médias, ou seja, aquelas em que o teor de sacarose é maior no período intermediário da colheita (IAC52/150 e SP70-1143). Finalmente são colhidas as variedades denominadas tardias, cujo maior teor de sacarose é alcançado no final da época da colheita (IAC51/205).

3.3 - ESTIMATIVA DA PREVISÃO DA SAFRA NA USINA

A safra da cana-de-açúcar na Região Centro-Sul tem início no mês de abril e termina em novembro do mesmo ano. Para que a unidade industrial, produtora do açúcar e do álcool, seja plenamente suprida de matéria prima (colmos de cana), é muito importante que antes do início da safra haja uma estimativa bastante exata do volume de cana disponível para moagem. Esta informação, ao nível da usina, é utilizada no planejamento das atividades de corte e transporte da cana-de-açúcar, além de ser fundamental para as atividades econômicas e administrativas.

No caso da Usina Barra Grande, área deste estudo, a estimativa da safra é realizada pelo Departamento Agrícola desta usina e tem duas abordagens: subjetiva e objetiva. A subjetiva é feita através da visita dos técnicos às lavouras antes do início da safra, e depende muito da experiência dos técnicos. Para contornar esta subjetividade é feita também, pouco antes do início da colheita, uma amostragem em algumas áreas canavieiras, cuja distribuição espacial é mostrada na Figura 3.3. Para tal são contados os números de colmos por 10 metros lineares para obter o número de colmos por hectare (3repetições/área). Posteriormente são pesados 30 colmos (3 repetições) para obter o peso/colmo. Com o número de colmos/ha e o peso/colmo é obtida a estimativa da produtividade agrícola nas áreas amostradas que fornecem a produtividade média estimada para a safra.

Como a usina tem um controle rigoroso da área plantada e não depende do fornecimento de cana-de-açúcar de terceiros, a estimativa da produção da safra é obtida através do produto da estimativa da produtividade pela área plantada.

3.4 - MEDIDAS DE TONELADA DE MASSA VERDE POR HECTARE (TMVH)

O peso da tonelada de massa verde por hectare (TMVH) é uma medida disponível na usina, obtida com a finalidade de verificar a resposta do crescimento da cana-de-açúcar sujeita a diferentes níveis de adubação. Estes testes na Usina Barra Grande são feitos em 32 áreas

amostrais distribuídas na área de estudo e representadas de forma hachurada na Figura 3.3. Em cada uma das áreas são cortados 10 metros lineares (5 repetições) de cana (colmos e folhas) a fim de obter o peso desta massa verde por hectare. Este procedimento é feito a cada mês após o plantio (cana planta) ou corte (cana soca) da cana-de-açúcar e tem como finalidade verificar em qual nível de adubação há uma melhor resposta no crescimento da cultura.

No presente trabalho estas medidas serão utilizadas para verificar se existe uma correlação significativa entre esta medida e os dados espectrais, e se estas trazem alguma contribuição para o modelo de produtividade proposto. Na Tabela 3.1 se encontram as medidas de TMVH correspondentes às datas mais próximas das passagens do satélite, além da variedade e do estágio de corte (cana planta ou soca).

3.5 - DADOS DE PRODUTIVIDADE

Junto à Usina Barra Grande foram obtidos inicialmente os dados de produtividade em toneladas por hectare para as 32 áreas representadas de forma hachurada na Figura 3.3. Posteriormente obtiveram-se informações sobre outras 42 áreas representadas de forma pontilhada na mesma figura. As informações disponíveis nestas áreas são: variedade, data de plantio (cana planta) ou data de corte (cana soca), número de cortes da cana e data de colheita (Tabela 3.2).

3.6 - DADOS LANDSAT

Para obtenção da informação espectral nas 74 áreas mostradas na Figura 3.3, foram utilizadas imagens obtidas pelo sensor MSS do satélite LANDSAT-4. As imagens são obtidas em quatro bandas do espectro eletromagnético cujas respostas em relação à curva espectral típica da vegetação é mostrada na Figura 3.4. As imagens abrangem uma área de 185 x 185km com uma resolução espacial de 59 x 82 metros e resolução temporal de 16 dias.

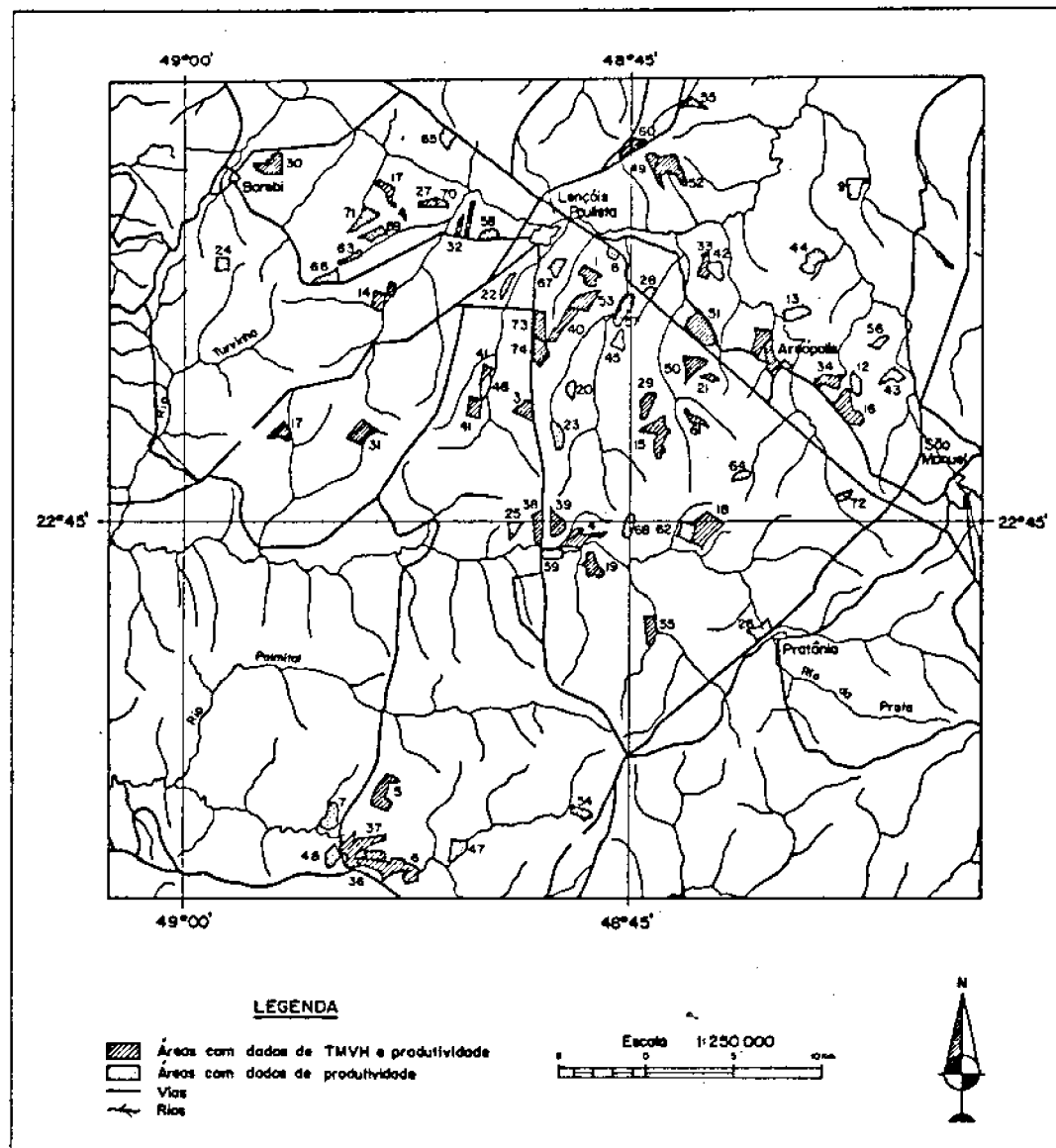


Fig. 3.3 - Distribuição dos canais amostrados na área de estudo.

TABELA 3.1

MEDIDAS DE TONELADA DE MASSA VERDE POR HECTARE (TMVH) PARA OS MESES
CORRESPONDENTES AO PERÍODO MAIS PRÓXIMO DA AQUISIÇÃO DOS
DADOS ESPECTRAIS EM 32 ÁREAS AMOSTRADAS

NÚMERO DA ÁREA	VARIEDADE	CORTE	T M V H				
			SET	OUT	JAN	FEV	ABR
1	NA56-79	1	77,6	75,6	114,3	142,3	-
2	NA56-79	1	60,7	74,8	93,2	101,7	-
3	NA56-79	1	48,5	53,3	76,3	75,3	-
4	NA56-79	1	6,2	27,1	77,7	87,4	-
5	NA56-79	1	4,5	20,3	94,5	86,0	-
6	NA56-79	1	1,6	13,0	95,6	111,5	-
14	SP70-1143	1	22,0	36,9	97,2	112,3	112,6
15	SP70-1143	1	11,5	29,8	93,1	113,9	-
17	SP70-1143	1	15,7	35,7	104,0	115,6	144,7
18	SP70-1143	1	16,0	43,5	110,8	120,2	144,0
19	SP70-1143	1	18,2	40,0	94,0	97,7	118,6
27	IAC52/150	1	95,2	76,9	112,1	117,4	-
30	IAC51/205	1	53,1	50,0	75,0	86,5	-
31	IAC51/205	1	39,4	69,3	116,0	113,0	141,6
32	NA56-79	2	4,6	12,2	75,0	90,8	106,3
33	NA56-79	2	5,4	16,8	113,0	121,7	154,6
34	NA56-79	2	6,7	23,4	66,4	79,3	-
35	NA56-79	2	5,8	20,6	74,4	78,9	95,3
36	NA56-79	2	2,4	8,1	84,5	91,3	110,6

(continua)

Tabela 3.1 - Conclusão

NÚMERO DA ÁREA	VARIEDADE	CORTE	T M V H				
			SET	OUT	JAN	FEV	ABR
37	NA56-79	2	4,4	13,5	71,5	76,7	86,8
38	NA56-79	2	11,7	35,3	107,8	108,0	-
39	NA56-79	2	11,4	36,5	112,1	105,3	-
40	NA56-79	2	8,9	26,6	90,3	99,4	137,9
41	NA56-79	2	-	2,1	76,3	92,6	94,5
49	NA56-79	3	2,0	7,7	67,2	75,1	61,9
50	NA56-79	3	3,3	10,9	81,0	84,9	93,9
51	NA56-79	3	6,0	17,1	78,1	82,7	95,1
52	NA56-79	3	2,6	8,7	72,8	74,4	65,2
53	NA56-79	3	11,1	39,2	123,5	116,9	151,2
60	SP70-1143	2	-	2,0	109,3	129,4	142,9
73	CB45-155	2	-	1,0	82,2	90,0	109,5
74	CB45-155	2	-	1,0	70,8	88,2	103,1

TABELA 3.2

DADOS DE PRODUTIVIDADE EM TON/HA E INFORMAÇÕES SOBRE O TIPO DE VARIEDADE
ESTÁGIO DE CORTE, DATA DE PLANTIO E DATA DE CORTE (COLHEITA)

NÚMERO DA ÁREA	PRODUTIVIDADE	VARIEDADE	CORTE	DATA DO CORTE OU PLANTIO	DATA DO CORTE
1	132,8	NA56-79	1	30/11/81	13/05/83
2	122,0	NA56-79	1	22/12/81	18/05/83
3	75,2	NA56-79	1	21/01/82	11/04/83
4	93,2	NA56-79	1	30/03/82	14/07/83
5	101,0	NA56-79	1	04/03/82	24/06/83
6	114,7	NA56-79	1	19/04/82	09/08/83
7	125,8	NA56-79	1	31/03/82	25/07/83
8	151,0	NA56-79	1	12/08/81	03/07/83
9	146,5	NA56-79	1	24/03/82	05/08/83
10	114,9	NA56-79	1	22/12/81	10/05/83
11	106,1	NA56-79	1	19/02/82	18/04/83
12	82,0	NA56-79	1	22/04/82	12/04/83
13	120,4	NA56-79	1	23/02/82	28/07/83
14	92,4	SP70-1143	1	26/01/82	25/10/83
15	94,6	SP70-1143	1	14/06/82	10/06/83
16	99,8	SP70-1143	1	26/01/82	26/09/83
17	101,9	SP70-1143	1	24/03/82	10/08/83
18	95,6	SP70-1143	1	30/03/82	11/08/83
19	101,8	SP70-1143	1	26/03/82	28/06/83
20	121,5	SP70-1143	1	10/03/82	15/09/83

(continua)

Tabela 3.2 - Continuação

NÚMERO DA ÁREA	PRODUTIVIDADE	VARIEDADE	CORTE	DATA DO CORTE OU PLANTIO	DATA DO CORTE
21	112,3	SP70-1143	1	29/03/82	21/07/83
22	106,3	SP70-1143	1	30/01/82	17/06/83
23	89,5	SP70-1143	1	04/03/82	31/08/83
24	100,5	SP70-1143	1	18/02/82	09/10/83
25	100,2	SP70-1143	1	25/03/82	17/07/83
26	101,2	SP70-1143	1	16/02/82	25/10/83
27	131,4	IAC52/150	1	30/11/81	13/06/83
28	145,7	IAC52/150	1	17/12/81	09/08/83
29	87,6	IAC52/150	1	23/02/82	09/07/83
30	76,2	IAC51/205	1	30/12/81	20/08/83
31	108,6	IAC51/205	1	04/02/82	28/09/83
32	78,8	NA56-79	2	27/05/82	27/05/83
33	115,7	NA56-79	2	15/05/82	17/10/83
34	68,7	NA56-79	2	09/05/82	15/04/83
35	91,3	NA56-79	2	30/04/82	20/05/83
36	93,7	NA56-79	2	03/06/82	26/08/83
37	74,9	NA56-79	2	17/05/82	14/05/83
38	101,5	NA56-79	2	21/04/82	28/04/83
39	93,1	NA56-79	2	26/04/82	26/04/83
40	115,9	NA56-79	2	15/05/82	12/05/83
41	79,5	NA56-79	2	02/07/82	21/04/83

(continua)

Tabela 3.2 - Continuação

NÚMERO DA ÁREA	PRODUTIVIDADE	VARIEDADE	CORTE	DATA DO CORTE OU PLANTIO	DATA DO CORTE
42	102,7	NA56-79	2	10/09/82	04/09/83
43	110,2	NA-56-79	2	26/04/82	06/05/83
44	90,7	NA56-79	2	02/09/82	12/08/83
45	89,1	NA56-79	2	28/06/82	12/06/83
46	76,9	NA56-79	2	02/07/82	09/06/83
47	61,1	NA56-79	2	09/06/82	25/05/83
48	103,4	NA56-79	2	09/08/82	12/10/83
49	56,0	NA56-79	2	20/05/82	01/06/83
50	77,1	NA56-79	2	03/06/82	26/08/83
51	90,2	NA56-79	3	15/05/82	17/05/83
52	59,8	NA56-79	3	20/05/82	10/06/83
53	103,9	NA56-79	3	04/04/82	10/05/83
54	67,1	NA56-79	3	28/10/82	29/11/83
55	68,9	NA56-79	3	17/08/82	23/06/83
56	89,4	NA56-79	3	02/05/82	22/04/83
57	97,8	NA56-79	3	20/08/82	01/09/83
58	70,1	NA56-79	4	21/05/82	24/05/83
59	93,9	NA56-79	4	03/05/82	15/06/83
60	104,4	SP70-1143	2	20/07/82	06/10/83
61	102,6	SP70-1143	2	25/03/82	27/07/83
62	105,0	SP70-1143	2	31/03/82	10/08/83
63	102,9	SP70-1143	2	16/02/82	17/08/83

(continua)

Tabela 3.2 - Conclusão

NÚMERO DA ÁREA	PRODUTIVIDADE	VARIEDADE	CORTE	DATA DO CORTE OU PLANTIO	DATA DO CORTE
64	65,4	IAC52/150	2	06/07/82	17/08/83
65	97,1	IAC52/150	2	23/06/82	07/06/83
66	61,5	IAC52/150	2	24/08/82	06/09/83
67	86,8	IAC52/150	3	04/07/82	31/07/83
68	53,3	IAC51/205	2	05/11/82	31/10/83
69	79,9	IAC51/205	2	30/09/82	15/08/83
70	85,0	IAC51/205	2	06/08/82	12/09/83
71	61,0	IAC51/205	3	24/09/82	29/10/83
72	73,6	IAC51/205	3	02/11/82	24/10/83
73	76,1	CB45-155	2	03/08/82	30/09/83
74	81,0	CB45-155	2	07/08/82	24/09/83

As imagens utilizadas correspondem à órbita 221, ponto 75 + 13 segundos. As passagens selecionadas para o presente trabalho e as respectivas percentagens de cobertura de nuvens na área de estudo, nas diversas passagens, são mostradas na Tabela 3.3. A escolha destas passagens se deve ao fato de serem as únicas disponíveis com uma cobertura de nuvens aceitável para o trabalho.

A fim de facilitar a análise dos dados no computador, localizou-se a área de estudo em cada uma das fitas compatíveis com o computador (CCTs) e, posteriormente, armazenou-se apenas a área de interesse, nas cinco passagens do satélite, em uma única fita magnética. Antes do armazenamento dos dados nesta fita foi feita uma correção de pré-pro

cessamento para eliminar o "stripping" que é o ruído causado pela diferença na variação do *ganho "offset"* dos seis detectores de uma banda do MSS. Esta correção consiste na passagem de um filtro sobre as quatro bandas da imagem do LANDSAT (Kumar, 1977).

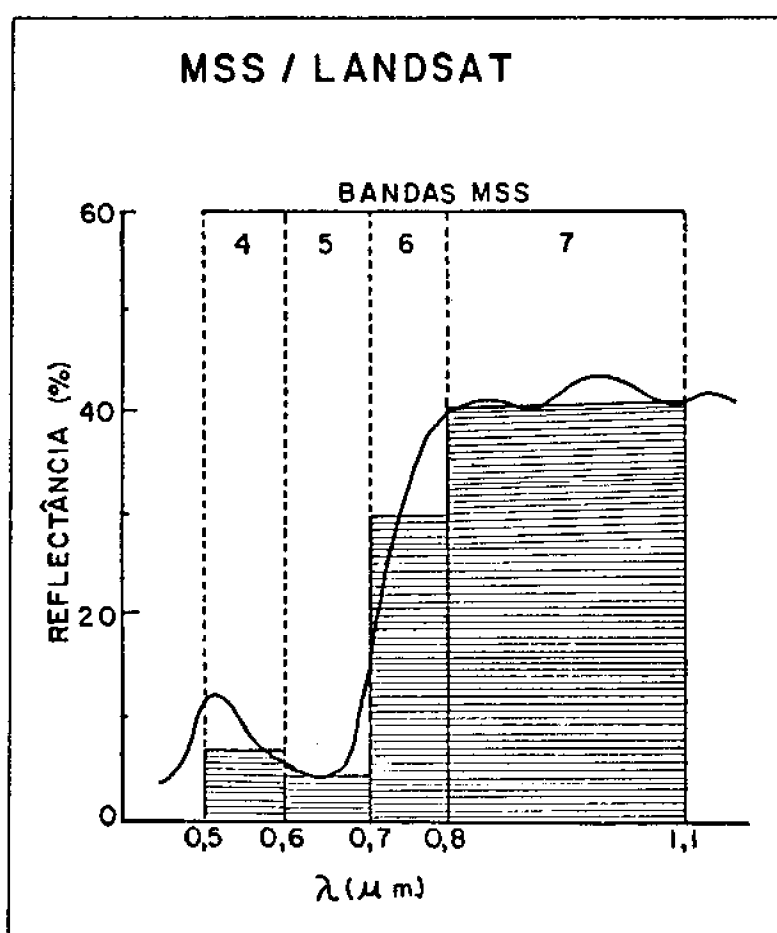


Fig. 3.4 - Bandas espectrais do MSS em relação à curva espectral de reflectância da vegetação.

TABELA 3.3

DATA DAS IMAGENS LANDSAT E RESPECTIVAS PERCENTAGENS DE
COBERTURA DE NUVENS E ÂNGULO DE ELEVAÇÃO SOLAR

DATA DA IMAGEM	% DE COBERTURA DE NUVENS	ÂNGULO DE ELEVAÇÃO SOLAR
02 set. 1982	15	41 ^o
20 out. 1982	0	54 ^o
24 jan. 1983	5	51 ^o
25 fev. 1983	15	48 ^o
14 abr. 1983	40	41 ^o

3.7 - IMAGE-100

O Sistema Interativo de Análise de Imagens Multiespectrais (IMAGE-100) disponível no INPE é um sistema interativo, conversacional e projetado para extrair automaticamente informações multiespectrais de imagens obtidas por satélites ou aviões através de sensores remotos (Ribeiro et alii 1982). O IMAGE-100 possui um "hardware" especial que opera sob o controle de um minicomputador PDP-11/45, que controla também o "software" implementado e permite os mais diversos processamentos e tratamentos de imagens multiespectrais.

O IMAGE-100 possui também uma unidade digitalizadora de imagens com a qual se pode inserir na memória dele uma imagem fotográfica, uma carta topográfica ou um desenho qualquer.

3.8 - PROCEDIMENTO PARA AQUISIÇÃO DOS DADOS ESPECTRAIS

As áreas mostradas na Figura 3.3 foram desenhadas sobre uma carta topográfica na escala de 1:250.000. Esta carta foi ajustada sobre uma imagem do satélite no vídeo do IMAGE-100 através da unidade digitalizadora e gravada no quinto canal do IMAGE-100. Esta operação foi repetida para as cinco passagens do satélite.

Esta sistemática facilitou a execução do trabalho no que se refere a extração da informação espectral das imagens do satélite, uma vez que é muito difícil localizar precisamente uma pequena área sobre a imagem, especialmente quando não se dispõem de referências evidentes. A escala da imagem do satélite no vídeo do IMAGE-100 foi a de 1:150.000.

A obtenção dos níveis de cinza foi conseguida através do posicionamento do cursor sobre a área de interesse, de tal forma que este ficasse contido na área analisada. O cursor usado foi o menor possível (4 "pixels"), pois as áreas são pequenas. Posteriormente foi utilizado o programa denominado SINGLE CELL e obtidos os valores médios e as variâncias dos níveis de cinza para cada uma das bandas da imagem, além da frequência de ocorrência de cada nível de cinza, embora na análise dos resultados tivessem sido utilizados apenas os valores médios.

3.9 - NORMALIZAÇÃO DOS DADOS DIGITAIS DO LANDSAT

A normalização dos dados digitais do LANDSAT consiste na transformação dos valores de níveis de cinza em valores de reflectância.

Rudorff e Batista (1985) mostraram, em seu trabalho sobre a resposta espectral da cana-de-açúcar através de dados multitemporais do LANDSAT-MSS, que os valores dos níveis digitais das bandas do sensor MSS tanto na região do visível quanto no infravermelho próximo do espectro eletromagnético não correspondem adequadamente ao comportamento esperado de uma curva espectral de vegetação, mostrado na Figura

3.4, e que na transformação destes níveis digitais em valores de reflectância é observado o comportamento típico da curva de reflectância da vegetação.

Embora a análise dos dados gravados pelo sensor MSS é usualmente feita diretamente com base no nível digital, pretende-se, neste trabalho, transformar o nível digital num valor físico (reflectância).

A reflectância (ρ) para uma superfície lambertiana pode ser calculada da seguinte forma (Robinove, 1982):

$$\text{Reflectância} = \frac{\pi}{E \sin \alpha} \left[\frac{NC}{NC_{MAX}} (R_{MAX} - R_{MIN}) + R_{MIN} \right], \quad (3.1)$$

onde:

E = irradiância em mW/cm^2 no topo da atmosfera, cujos valores são apresentados na Tabela 3.4;

α = ângulo de elevação solar da imagem (Tabela 3.3);

NC = nível de cinza extraído da fita CCT;

NC_{MAX} = nível digital máximo;

R_{MAX} = radiância máxima medida pelo detector em $mW/cm^2/sr$;

R_{MIN} = radiância mínima medida pelo detector em $mW/cm^2/sr$.

A transformação dos níveis digitais em valores de reflectância, através da Equação 3.1, tem a vantagem de levar em consideração os dados de calibração do sensor MSS (R_{MAX} e R_{MIN}), a bordo do LANDSAT-4, durante o período de aquisição das imagens, os quais são mostrados na Tabela 3.4 (NASA, 1984). Desta forma, os valores de reflectância não estariam sujeitos às variações das calibrações do sensor, o que torna os dados espectrais mais estáveis numa análise temporal.

TABELA 3.4

DADOS DE CALIBRAÇÃO DO SENSOR MSS DO LANDSAT-4 PARA O
PERÍODO DE SETEMBRO DE 1982 A AGOSTO DE 1983

BANDA	1* $R_{\max}$	2* $R_{\min}$	$NC_{\max}$	3** E
4	2,38	0,04	128	17,70
5	1,64	0,04	128	15,15
6	1,42	0,05	128	12,37
7	3,49	0,12	128	24,91

* 1 e 2 valores obtidos em $mW/cm^2/sr$

** 3 valores obtidos em mW/cm^2 (Taekakara et alli 1969).

Os cálculos para normalização dos dados LANDSAT foram feitos utilizando o computador Burroughs 6800, disponível no INPE.

3.10 - ÍNDICES VEGETATIVOS

Na literatura são mostrados diversos modelos para transformar os dados espectrais em índices vegetativos, os quais são mostrados na Tabela 3.5.

Para transformar os dados espectrais (reflectância) em índices vegetativos através dos modelos constantes na Tabela 3.5, utilizou-se o computador Burroughs 6800.

TABELA 3.5

PRINCIPAIS ÍNDICES VEGETATIVOS PARA O
SENSOR MSS DO LANDSAT

ÍNDICE	TRANSFORMAÇÃO	REFERÊNCIAS
RVI	MSS7/MSS5	Tucker, 1979
DN	$(\text{MSS } 7 - \text{MSS } 5) / (\text{MSS } 7 + \text{MSS } 5)$	Malila et alli, 1980
DDVI	$(\text{MSS } 7 - \text{MSS } 6) - (\text{MSS } 5 - \text{MSS } 4)$	Jackson et alli, 1983
TVI	$(\text{MSS } 7 - \text{MSS } 5) / (\text{MSS } 7 + \text{MSS } 5) + 0,5$	Richardson, 1981
TVI6	$(\text{MSS } 6 - \text{MSS } 5) / (\text{MSS } 6 + \text{MSS } 5) + 0,5$	Richardson, 1981

3.11 - MODELO AGROMETEOROLÓGICO

O modelo agrometeorológico foi desenvolvido baseado no método proposto por Doorembos e Kassam (1979), no qual é descrita uma metodologia para estimar a produtividade de uma cultura em função da disponibilidade de água no solo. Para calcular esta produtividade através das diversas equações descritas a seguir, foi escrito um programa denominado SAFRAS, cuja listagem em linguagem FORTRAN se encontra no Apêndice B.

A quantificação do efeito do estresse hídrico sobre a produtividade da cultura é obtida relacionando o decréscimo da produtividade relativa $(1 - PR/PM)$ com o déficit da evapotranspiração relativa $(1 - ETR/ETM)$, através do fator de resposta à produtividade (k_p), por meio da seguinte equação:

$$(1 - PR/PM) = k_p (1 - ETR/ETM) \quad (3.2)$$

onde:

PR = Produtividade Real;

PM = Produtividade Máxima;

kp = Fator de Resposta à Produtividade;

ETR = Evapotranspiração Real;

ETM = Evapotranspiração Máxima.

Quando a quantidade de água disponível para a cultura for suficiente e suprir adequadamente a demanda de água, então $ETR = ETM$ e, conseqüentemente, a produtividade máxima (PM) não será penalizada. No entanto, quando a demanda de água pela cultura for maior do que a água disponível, então $ETR < ETM$ e conseqüentemente $PR < PM$. O valor de kp para as diversas culturas foi obtido com base em numerosos experimentos citados na referência bibliográfica de Doorembos e Kassam (1979). Para a cultura da cana-de-açúcar este fator é igual a 1,2, o que implica num déficit de produtividade relativa proporcionalmente maior do que o déficit de evapotranspiração relativa.

A produtividade máxima (PM) de uma cultura é essencialmente determinada pelas suas características genéticas e sua adaptação ao meio. A produtividade máxima no contexto deste trabalho é definida como a produtividade agrícola de uma variedade de boa produção, bem adaptada ao meio, na qual, água, nutrientes, pragas e doenças não são fatores limitantes do crescimento da cultura. Os fatores climáticos que determinam o valor de PM são: temperatura e radiação durante o ciclo da cultura.

A metodologia para o cálculo da PM foi desenvolvida por Kassam descrita em Doorembos e Kassam (1979), a qual pode ser empregada tanto em bases continentais quanto em locais específicos. São utilizados dados de radiação para o cálculo da produtividade máxima da cultura padrão, a qual é adequada posteriormente para obter o valor

da produtividade máxima da cultura de interesse específico. O cálculo da produtividade máxima da cultura padrão (PMP) é feito através da seguinte equação:

$$PMP = F \times TN + (1 - F) \times TC, \quad (3.3)$$

onde:

F = Fração do dia em que o céu está nublado; ou $F = (Roc - 0,5 \times Rocr)/0,8 \times Roc$, onde Roc é a máxima radiação de onda curta que penetra na atmosfera em dias claros em $\text{cal/cm}^2/\text{dia}$ (Tabela 3.6) e $Rocr$ é a radiação que realmente está penetrando na atmosfera em $\text{cal/cm}^2/\text{dia}$ ou $Rocr = (0,25 + 0,50 \times n/N) \times Ret$, onde n é o número de horas de insolação (Tabela 3.11), N é o número máximo de horas de insolação que pode ocorrer (Tabela 3.6) e Ret é a radiação extraterrestre em $\text{cal/cm}^2/\text{dia}$ (Tabela 3.6).

TN e TC = Taxa de produção de matéria seca bruta da cultura padrão em dias nublados e em dias claros, em kg/ha/dia (Tabela 3.6)

A produção de matéria seca bruta da cultura depende da espécie e da temperatura do meio. Para a cultura padrão considera-se uma produção de 20kg/ha/hora . A cultura em questão pode ter uma produção maior, igual ou menor à cultura padrão, dependendo da temperatura e do grupo da cultura (planta do grupo C3 ou C4). A Tabela 3.7 mostra os valores da taxa de produção de matéria seca (TM), para o grupo relativo à cana-de-açúcar, crescendo à temperaturas médias entre 15° e 35°C .

Os valores de TN e TC são ajustados através de equações de regressão para obter a produção de matéria seca do grupo em que se encontra a cultura em questão (PMB) a uma determinada temperatura, conforme mostram as equações a seguir:

Se $TM > 20\text{kg/ha/hora}$,

$$PMB = Fx(0,8+0,01xTM)xTN+(1-F)(0,5+0,025xTM)xTC; \quad (3.4)$$

Se $TM < 20\text{kg/ha/dora}$,

$$PMB = Fx(0,5+0,025xTM)xTN+(1-F)x(0,05xTM)xTC. \quad (3.5)$$

A produção de matéria seca por grupo de cultura (PMB) se refere aquela taxa de produção máxima alcançada nos estágios de pleno crescimento. Nos estágios iniciais e finais de crescimento da cultura esta taxa é bem inferior. A taxa média de produção de matéria seca da cultura em questão, ao longo de seu ciclo, é aproximadamente 50% da taxa máxima de produção a qual é multiplicada por um fator de compensação do crescimento (FCC) igual a 0,5.

Da energia gerada pela planta, 50% é consumida nos processos metabólicos (respiração), ou seja, a matéria seca bruta é multiplicada por um fator de respiração (FR) igual a 0,5 para obter a produção de matéria seca líquida.

Para converter o total de matéria seca líquida produzida pela cultura em produtividade agrícola da cana-de-açúcar, cuja medida é dada em toneladas de matéria fresca de colmos, multiplica-se a matéria seca líquida por um fator de produtividade agrícola (FPA) igual a 2,3, de acordo com Ometto (1981).

Como a produção de matéria seca é calculada com base em taxas diárias, este valor deve ser multiplicado pelo número total de dias do ciclo da cultura (N).

TABELA 3.6

VALORES DA RADIAÇÃO DE ONDA CURTA QUE PENETRA NA ATMOSFERA (Roc) EM CAL/CM²/DIA, DA TAXA DE PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA CULTURA PADRÃO EM DIAS CLAROS (TC) E EM DIAS NUBLADOS (TN) EM KG/HA/DIA, DO NÚMERO DE HORAS DE INSOLAÇÃO (N) E DA RADIAÇÃO EXTRATERRESTRE (Ret) EM CAL/CM²/DIA, PARA A LATITUDE MAIS PRÓXIMA DA ÁREA DE ESTUDO

MESES LAT.20° SUL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Roc	399	386	357	313	264	238	249	293	337	375	394	400
TC	465	451	425	387	348	325	334	371	407	439	460	468
TN	249	242	226	203	178	164	170	193	215	235	246	250
N	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9	11,0	11,5	12,0	12,6	13,1	13,3
Ret	1027	948	873	743	625	566	590	684	808	926	1003	1032

FONTE: Doorembo e Kassam (1979), p.9.

TABELA 3.7

VALORES DA TAXA DE PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA EM KG/HA/HORA PARA
O GRUPO DE CULTURAS RELATIVO À CANA-DE-AÇÚCAR E PARA
TEMPERATURA MÉDIA DURANTE O PERÍODO DE CRESCIMENTO

T ^o C	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
T M	5	7	11	19	31	45	52	58	62	64	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65

FONTE: Doorenbos e Kassam (1979), p.12

Finalmente, pode-se obter o valor da produtividade máxima de acordo com a equação:

$$PM = PMB \times FCC \times FR \times FPA \times N, \quad (3.6)$$

onde:

PMB = produção de matéria seca bruta do grupo da cultura,

FCC = fator de compensação do crescimento,

FR = fator de respiração,

FPA = fator de produtividade agrícola,

N = número de dias do ciclo da cultura.

No presente trabalho a produtividade máxima (PM) foi calculada para períodos mensais, efetuando-se posteriormente a soma dos valores mensais de PM durante o ciclo da cultura para obter então o valor total da PM da cultura.

O cálculo da evapotranspiração máxima (ETM) é feito a partir do conceito da evapotranspiração de referência (ER), a qual é relacionada com a ETM através do coeficiente da cultura (k_c), que ajusta os valores da ER aos valores da ETM de acordo com o estágio de crescimento da cultura. A Tabela 3.8 mostra os valores mensais de k_c para cana planta de ano, cana planta de ano e meio e cana soca (Planalsucar, 1984). ER representa a taxa de evapotranspiração em mm/dia de uma superfície plantada com uma gramínea de altura que varia entre 8 a 15cm, que cobre totalmente o solo, e que cresce ativamente sem limitações de disponibilidade de água (Ometto, 1981). O cálculo de ER é feito utilizando um método prático para aplicação da fórmula de Penman apresentado por Frère (1979). Os dados meteorológicos necessários para o cálculo estão na Tabela 3.11.

A evapotranspiração máxima (ETM) de uma cultura é mantida até que uma fração (f) da água disponível no solo for consumida. A partir do consumo desta fração (f), a evapotranspiração real (ETR) passa a ser menor do que a evapotranspiração máxima (ETM). Nestas condições o valor de ETR dependerá do valor do ETM e da água restante no solo e disponível para a cultura que é dada pela equação:

$$(1 - f) \times \text{CRAS} \times D, \quad (3.7)$$

onde:

$1 - f$ = fração de água disponível no solo para a cultura em que $\text{ETR} < \text{ETM}$,

CRAS = capacidade de retenção de água no solo mm/m (na área de estudo utilizou-se o valor de 100mm/m).

D = profundidade do sistema radicular.

Esta quantidade de água restante no solo e disponível para a cultura depende da cultura, da evapotranspiração máxima (ETM), da capacidade de retenção de água pelo solo (CRAS) e da profundidade do sistema radicular (D). A Tabela 3.8 mostra em metros a profundidade do sistema radicular (D) para cana planta de ano, cana planta de ano e meio e cana soca para cada mês após o plantio (cana planta) ou corte (cana soca). Os valores da fração (f) de água disponível no solo para os diferentes valores de ETM estão na Tabela 3.9.

O cálculo da evapotranspiração real (ETR) no presente trabalho é feito para períodos mensais utilizando um índice de água disponível no solo (IADS).

$$\text{IADS} = (\text{PP} + \text{ARM} - (1 - f) \times \text{CRAS} \times D) / \text{ETM}_{\text{mensal}} \quad (3.8)$$

onde:

PP = total de precipitação pluviométrica mensal em mm/mês (Tabela 3.11),

ARM = água disponível no solo, em mm, para a planta no início de cada mês a qual é calculada por meio do balanço hídrico de Thornthwait-Mather (Motta, 1979) em mm,

$(1 - f) \times CRAS \times D$ = definido na Equação 3.7,

ETM_{mensal} = evapotranspiração máxima mensal em mm/mês.

Com o valor do Índice (IADS), a evapotranspiração máxima (ETM) e a quantidade de água restante no solo para a cultura, em que $ETR < ETM, ((1 - f) \times CRAS \times D)$ pode-se obter uma estimativa da evapotranspiração real (ETR) utilizando a Tabela 3.10.

Quando o valor do IADS ≥ 1 , então $ETR = ETM$; quando $IADS < 0$, então ETR/ETM é tão pequeno que o crescimento da cultura está seriamente comprometido, a não ser que a ETM for pequena e o valor de $(1 - f) \times CRAS \times D$ for grande.

Finalmente pode-se calcular a produtividade real estimada pela equação 3.2 da seguinte maneira:

$$PR = PM \{1 - kp(1 - ETR/ETM)\}. \quad (3.9)$$

Tanto a evapotranspiração máxima (ETM) quanto a evapotranspiração real (ETR) são calculadas mês a mês e somadas posteriormente para obter o total do déficit de evapotranspiração relativa $(1 - ETR/ETM)$ durante todo o ciclo da cultura.

TABELA 3.8

VALORES MENSAIS DO FATOR DA CULTURA (kc) E DA PROFUNDIDADE
DO SISTEMA RADICULAR EM METROS

MESES APÓS PLANTIO	CANA-DE-ANO PLANTIO AGOSTO A NOVEMBRO		CANA-DE-ANO E MEIO PLANTIO NOVEMBRO A ABRIL		CANA SOCA CORTE MAIO A NOVEMBRO	
	*kc	D	*kc	D	*kc	D
1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3
2	0,4-5,0	0,3	0,4-0,5	0,3	0,3-0,4	0,4
3	0,6-0,8	0,4-0,5	0,5-0,7	0,3-0,4	0,4-0,6	0,5-0,6
4	0,8-1,1	0,5-0,7	0,6-0,8	0,4-0,5	0,4-0,8	0,6-0,8
5	1,0-1,2	0,6-0,9	0,6-0,9	0,4-0,6	0,5-0,9	0,7-1,0
6	1,1-1,2	0,7-1,0	0,6-1,1	0,4-0,7	0,7-1,0	0,8-1,0
7	1,1-1,3	0,8-1,0	0,7-1,2	0,5-0,8	0,8-1,2	0,9-1,0
8	0,9-1,2	0,9-1,0	0,8-1,2	0,6-0,8	1,0-1,2	1,0
9	0,7-1,1	1,0	0,9-1,2	0,7-0,9	1,1-1,2	1,0
10	0,6-0,9	1,0	1,1-1,2	0,8-0,9	1,0-1,2	1,0
11	0,6-0,9	1,0	1,2-1,3	0,9-1,0	0,8-1,1	1,0
12	0,6-0,9	1,0	1,3	1,0	0,7-1,0	1,0
13	0,6-0,7	1,0	1,2-1,3	1,0	0,6-0,9	1,0
14	0,6-0,7	1,0	1,0-1,3	1,0	0,6-0,7	1,0
15	0,6-0,7	1,0	0,8-1,3	1,0	0,6-0,7	1,0

(continua)

Tabela 3.8 - Conclusão

MESES APÓS PLANTIO	CANA-DE-ANO PLANTIO AGOSTO A NOVENBRO		CANA-DE-ANO E MEIO PLANTIO NOVENBRO A ABRIL		CANA SOCA CORTE MAIO A NOVENBRO	
	*kc	D	*kc	D	*kc	D
16			0,7-1,1	1,0	0,6	1,0
17			0,6-1,1	1,0		
18			0,6-1,0	1,0		
19			0,6-0,8	1,0		
20			0,7-0,6	1,0		
21			0,6	1,0		
22			0,6	1,0		

*FONTE: Planalsucar (1984), p.48

TABELA 3.9

FRACÃO DA ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO PARA A PLANTA (f) SEM QUE $ETR < ETM$
EM FUNÇÃO DO VALOR DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA (ETM) EM MM/DIA

ETM	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f	0,875	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,425	0,40

TABELA 3.10
EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ETR) EM FUNÇÃO DO IADS, DE $(1 - f) \times \text{CRAS} \times D$ E DE ETM

$(1 - f) \times \text{CRAS} \times D$	IADS = 0,83					IADS = 0,67					IADS = 0,5				
	ETM mensal, mm/dia					ETM mensal, mm/dia					ETM mensal, mm/dia				
	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10
25	1,9	3,8	5,6	7,3	9,1	1,8	3,3	4,8	6,1	7,5	1,6	2,8	3,8	4,8	5,8
50	2,0	3,9	5,7	7,6	9,4	1,9	3,6	5,2	6,7	8,1	1,7	3,2	4,4	5,5	6,5
100	2,0	3,9	5,9	7,8	9,6	1,9	3,8	5,5	7,2	8,8	1,9	3,5	5,0	6,3	7,6
150	2,0	4,0	5,9	7,8	9,7	2,0	3,8	5,7	7,4	9,1	1,9	3,7	5,3	6,7	8,1
200	2,0	4,0	5,9	7,9	9,8	2,0	3,9	5,7	7,5	9,3	1,9	3,7	5,4	7,0	8,5

$(1 - f) \times \text{CRAS} \times D$	IADS = 0,33					IADS = 0,17					IADS = 0				
	ETM mensal, mm/dia					ETM mensal, mm/dia					ETM mensal, mm/dia				
	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10
25	1,3	2,1	2,8	3,5	4,2	1,1	1,5	1,8	2,2	2,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
50	1,6	2,7	3,5	4,3	5,0	1,4	2,1	2,8	3,0	3,3	1,2	1,5	1,6	1,7	1,7
100	1,8	3,2	4,3	5,3	6,2	1,7	2,8	3,6	4,2	4,7	1,5	2,3	2,8	3,0	3,2
150	1,8	3,4	4,7	5,9	7,0	1,7	3,1	4,2	5,0	5,7	1,7	2,7	3,5	4,0	4,3
200	1,9	3,5	5,0	6,3	7,5	1,8	3,3	4,5	5,5	6,4	1,7	3,0	4,0	4,7	5,1

FONTE: Doorembos e Kassam (1979), p.34

TABELA 3.11

DADOS METEOROLÓGICOS

A	M	D	ND	NH	PPT	UR	TM	VV	TX	TI
81	11	1	10	6,60	62,0	77,0	24,5	1,7	28,4	20,6
81	11	2	10	8,00	73,0	77,0	24,0	1,7	29,7	18,2
81	11	3	10	9,80	13,0	77,0	24,0	1,7	29,3	18,6
81	12	1	10	2,8	70,0	79,0	22,2	1,8	26,3	18,2
81	12	2	10	7,70	26,0	79,0	22,7	1,8	27,8	17,7
81	12	3	11	7,00	76,0	79,0	23,8	1,8	28,7	18,9
82	1	1	10	6,40	141,0	79,0	24,1	1,7	29,7	18,6
82	1	2	10	9,70	100,0	79,0	24,1	1,7	29,9	18,3
82	1	3	11	3,90	93,0	79,0	22,5	1,7	26,4	18,7
82	2	1	10	5,80	109,0	77,0	24,1	1,3	28,6	19,6
82	2	2	10	9,70	10,0	77,0	26,4	1,3	32,2	20,7
82	2	3	8	6,10	135,0	77,0	25,2	1,3	30,3	20,2
82	3	1	10	4,80	39,0	85,0	23,4	1,5	27,7	19,1
82	3	2	10	3,40	123,0	85,0	23,6	1,5	27,5	19,8
82	3	3	11	6,80	21,0	85,0	24,0	1,5	28,7	19,3
82	4	1	10	9,80	1,0	77,0	21,9	1,8	27,7	16,2
82	4	2	10	6,70	52,0	77,0	21,1	1,8	26,1	16,0
82	4	3	10	8,90	0,0	77,0	20,3	1,8	25,7	14,9
82	5	1	10	10,30	2,0	72,0	18,9	1,3	25,5	12,3
82	5	2	10	7,50	16,0	72,0	21,3	1,3	27,8	14,9
82	5	3	11	4,80	32,0	72,0	17,3	1,3	22,0	12,7

(continua)

Tabela 3.11 - Continuação

A	M	D	ND	NH	PPT	UR	TM	VV	TX	TI
82	6	1	10	7,80	0,0	80,0	19,8	1,2	25,6	14,0
82	6	2	10	4,70	88,0	80,0	20,1	1,2	24,8	15,3
82	6	3	10	3,40	97,0	80,0	20,8	1,2	24,8	16,9
82	7	1	10	8,50	0,0	72,0	20,6	1,1	26,3	15,0
82	7	2	10	6,10	35,0	72,0	18,9	1,1	24,2	13,6
82	7	3	11	9,50	4,0	72,0	19,3	1,1	25,8	12,8
82	8	1	10	5,70	13,0	71,0	19,6	1,3	25,1	14,2
82	8	2	10	8,60	4,0	71,0	20,0	2,0	26,3	14,2
82	8	3	11	7,60	0,0	71,0	23,0	1,3	30,0	16,2
82	9	1	10	9,10	4,0	68,0	21,0	1,9	28,1	13,9
82	9	2	10	7,50	1,0	68,0	23,5	1,9	30,0	17,1
82	9	3	10	5,40	8,0	68,0	21,1	1,9	27,3	15,0
82	10	1	10	4,60	96,0	78,0	22,0	1,6	27,1	16,9
82	10	2	10	6,30	90,0	78,0	21,8	1,6	27,9	15,7
82	10	3	11	7,90	36,0	78,0	25,1	1,6	30,8	19,4
82	11	1	10	9,30	23,0	81,0	25,7	1,5	31,7	19,8
82	11	2	10	5,40	100,0	81,0	23,1	1,5	28,0	18,2
82	11	3	10	5,60	79,0	81,0	25,4	1,5	30,7	20,2
82	12	1	10	5,10	108,0	85,0	22,4	1,5	27,4	17,4
82	12	2	10	2,60	116,0	85,0	23,8	1,5	27,5	20,1
82	12	3	11	5,60	55,0	85,0	23,3	1,5	27,5	19,1
83	1	1	10	5,60	393,6	86,0	24,9	1,5	28,8	20,1

(continua)

Tabela 3.11 - Continuação

A	M	D	ND	NH	PPT	UR	TM	VV	TX	TI
83	1	2	10	5,60	0,0	86,0	24,9	1,5	28,8	20,1
83	1	2	11	5,60	0,0	86,0	24,9	1,5	28,8	20,1
83	2	1	10	6,40	153,4	81,0	25,2	1,4	30,8	19,6
83	2	2	10	6,40	0,0	81,0	25,2	1,4	30,8	19,6
83	2	3	8	6,40	0,0	81,0	25,2	1,4	30,8	19,6
83	3	1	10	6,90	137,8	81,0	23,7	1,6	29,3	17,3
83	3	2	10	6,90	0,0	81,0	23,7	1,6	29,3	17,3
83	3	3	11	6,90	0,0	81,0	23,7	1,6	29,3	17,3
83	4	1	10	6,20	160,6	82,0	22,2	1,0	28,3	17,1
83	4	2	10	6,20	0,0	82,0	22,2	1,0	28,3	17,1
83	4	3	10	6,20	0,0	82,0	22,2	1,0	28,3	17,1
83	5	1	10	5,10	261,6	83,0	20,5	1,1	26,4	15,4
83	5	2	10	5,10	0,0	83,0	20,5	1,1	26,4	15,4
83	5	3	11	5,10	0,0	83,0	20,5	1,1	26,4	15,4
83	6	1	10	4,70	240,0	81,0	17,6	0,9	22,8	12,4
83	6	2	10	4,70	0,0	81,0	17,6	0,9	22,8	12,4
83	6	3	10	4,70	0,0	81,0	17,6	0,9	22,8	12,4
83	7	1	10	6,90	17,0	68,0	19,1	1,2	26,1	11,8
83	7	2	10	6,90	0,0	68,0	19,1	1,2	26,1	11,8
83	7	3	11	6,90	0,0	68,0	19,1	1,2	26,1	11,8
83	8	1	10	9,61	0,0	63,0	18,6	1,3	25,6	13,5
83	8	2	10	9,61	0,0	63,0	18,6	1,3	25,6	13,5

(continua)

Tabela 3.11 - Conclusão

A	M	D	ND	NH	PPT	UR	TM	VV	TX	TI
83	8	3	10	9,61	0,0	63,0	18,6	1,3	25,6	13,5
83	9	1	10	4,67	218,0	83,0	18,5	1,6	23,2	14,1
83	9	2	10	4,67	0,0	83,0	18,5	1,6	23,2	14,1
83	9	3	11	4,67	0,0	83,0	18,5	1,6	23,2	14,1
83	10	1	10	6,51	121,0	78,0	21,4	1,7	26,5	16,3
83	10	1	10	6,51	0,0	78,0	21,4	1,7	26,5	16,3
83	10	3	10	6,51	0,0	78,0	21,4	1,7	26,5	16,3
83	11	1	10	7,48	132,0	72,0	22,4	1,2	27,9	17,0
83	11	2	10	7,48	0,0	72,0	22,4	1,2	27,9	17,0
83	11	3	10	7,48	0,0	72,0	22,4	1,2	27,9	17,0
83	12	1	10	5,10	252,0	82,0	22,8	1,3	27,4	18,3
83	12	2	10	5,10	0,0	82,0	22,8	1,3	27,4	18,3
83	12	3	11	5,10	0,0	82,0	22,8	1,3	27,4	18,3

Obs.:

- 1) A = Ano; M = Mês; ND = Número de dias do decêndio; NH = Número de horas de insolação por dia; PPT = Precipitação pluviométrica; UR = Umidade relativa; TM = Temperatura média; VV = Velocidade do vento a 2m.; TX = Temperatura máxima; TI = Temperatura mínima.
- 2) Os dados de precipitação e temperatura foram obtidos na Usina Barra Grande, a velocidade do vento em São Manuel e a insolação e umidade relativa em Botucatu.

3.12 - MODELO DE PRODUTIVIDADE

O modelo de produtividade proposto no presente trabalho visa combinar o modelo agrometeorológico com os índices vegetativos. O modelo agrometeorológico explica as variações na produtividade da cultura em função das condições climáticas que ocorrem numa dada região, não levando em conta as variações que ocorrem entre as áreas cultiváveis por fatores tais como: nutrientes, tratos culturais, pragas e doenças. Obviamente estes fatores se fazem presentes na cultura, em maior ou menor grau, e refletem diretamente seu estado geral de crescimento.

Os dados LANDSAT são obtidos a partir de uma visão sinótica da cultura, e a transformação destes dados em índices vegetativos, a fim de atenuar os efeitos de fundo e atmosféricos, é útil para o acompanhamento geral da cultura em áreas individualizadas devido a alta resolução espacial destes dados.

Foram avaliadas as seguintes alternativas para a combinação destes modelos (agrometeorológico e índices vegetativos) num único modelo de estimativa de produtividade:

- a) fazer a regressão com os dados obtidos na usina e os obtidos pelo modelo agrometeorológicos e índices vegetativos para uma data específica conforme proposto por Barnett e Thompson (1982) e Richardson et alii (1982);
- b) fazer a integração dos índices vegetativos ao longo das passagens do satélite (Pinter et al. 1981) e correlacionar este valor e o do modelo agrometeorológico com os dados de produtividade da usina;
- c) verificar a possibilidade de utilizar as medidas de TMVH no modelo de estimativa de produtividade.

Os coeficientes da equação de regressão e os valores dos Índices de correlação foram obtidos a partir da rotina MULTR do sistema BASIS (Burroughs Advanced Statistical Inquiry System).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - DEFINIÇÃO DO PERÍODO DE AQUISIÇÃO DOS DADOS LANDSAT

Neste trabalho a definição do período mais adequado de aquisição dos dados LANDSAT foi baseada nas 5 passagens disponíveis. Inicialmente obtiveram-se os dados espectrais transformados em índices vegetativos (RVI e TVI) nas 32 áreas canavieiras relacionadas na Tabela 3.1, cujos valores de reflectância nas quatro bandas do sensor MSS e índices vegetativos (RVI e TVI) são mostrados na Tabela A.1. A Figura 4.1 mostra a média e o desvio padrão do índice RVI, nas cinco passagens do satélite, tanto para o conjunto de todas as áreas quanto para as áreas de cana planta (14) e cana soca (18) separadamente.

As ascendência do valor do índice vegetativo entre o período de setembro a janeiro realmente é esperado, pois neste período ocorre o maior incremento no índice de área foliar (IAF) e na cobertura do solo pela cultura. Como consequência ocorre uma maior reflectância da energia incidente no comprimento de onda da banda MSS 7 devido às múltiplas reflexões da energia incidente pelas camadas de folhas e uma menor reflectância da energia incidente no comprimento de onda correspondente à banda MSS 5, devido à maior presença de clorofila responsável pela absorção desta energia.

Na passagem de 2 de setembro nota-se que os valores dos índices vegetativos para a cana planta são, em média, sempre superiores aos valores para a cana soca, o que se deve ao fato de as áreas de cana planta terem sido plantadas principalmente entre o período de dezembro de 1981 a março de 1982, enquanto as áreas de cana soca começaram a ser colhidas a partir de maio. Este mesmo efeito, embora com menor intensidade, é observado na passagem de 20 de outubro.

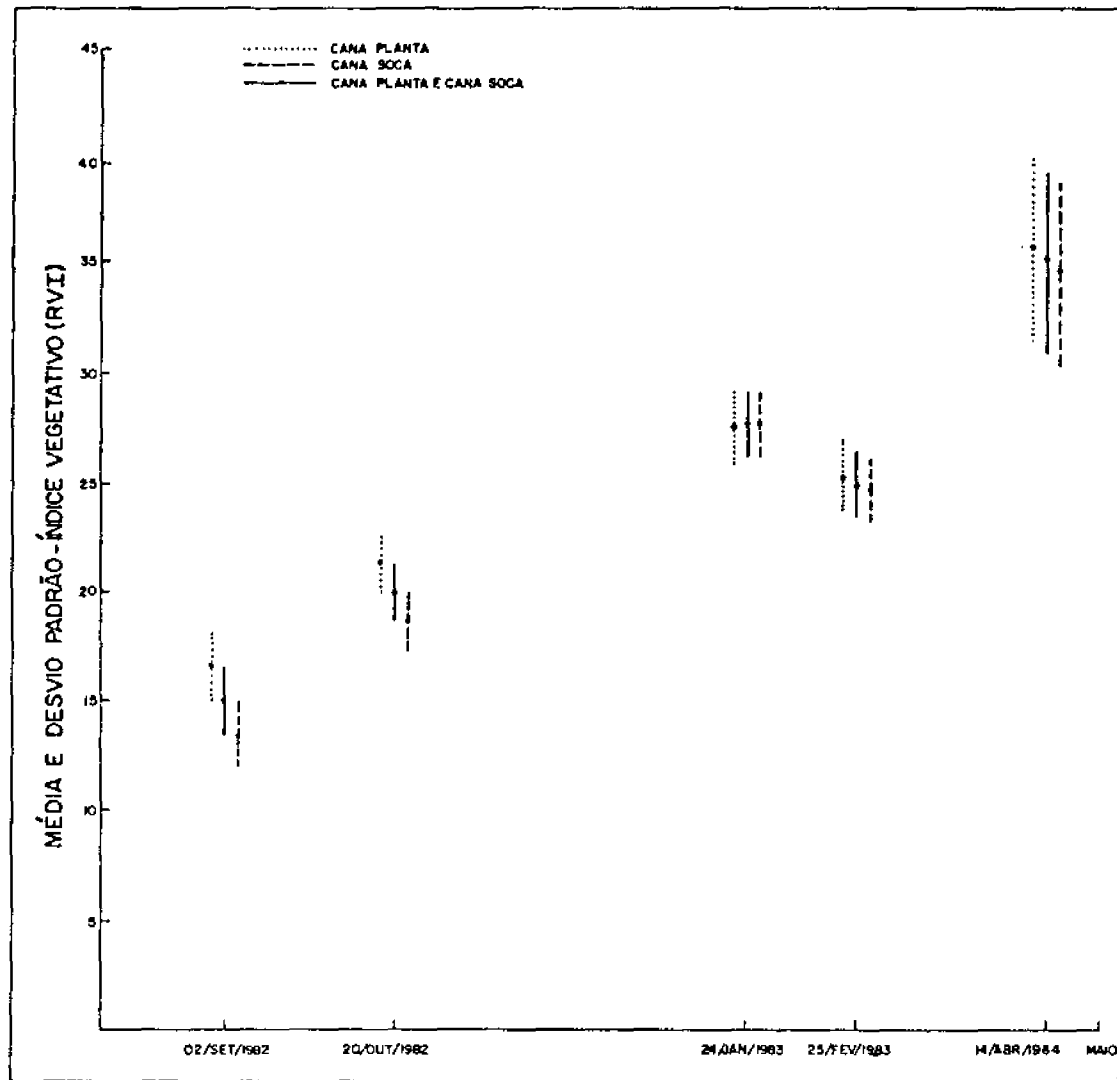


Fig. 4.1 - Média de desvio padrão do Índice vegetativo (RVI) para as 5 passagens analisadas.

Na passagem de 24 de janeiro observaram-se em média, os maiores índices vegetativos; e a média para a cana soca é ligeiramente superior à da cana planta. Para a data de 25 de fevereiro a média dos índices vegetativos das áreas da cana planta é superior à das áreas de cana soca, o que é altamente desejável, pois a produtividade da cana planta é em média superior à da cana soca, o que vem colocar esta passagem como favorita em relação à de 24 de janeiro.

Na passagem de 14 de abril continuou-se a observar que as áreas de cana soca têm, em média, valores menores do que as áreas de cana planta; entretanto o elevado desvio padrão e a grande diferença da média do índice vegetativo em relação à passagem anterior levanta suspeitas sobre a qualidade dos dados para esta passagem, uma vez que não se observam mudanças relevantes do ponto de vista da cultura entre os meses de fevereiro e abril. Considerando que esta passagem apresenta uma quantidade significativa de nuvens e sombras de nuvens impedindo e dificultando a localização de áreas canavieiras para a obtenção dos dados espectrais, preferiu-se eliminar esta passagem da análise dos dados.

No mês de janeiro todas as áreas destinadas ao corte, neste mesmo ano, têm o solo totalmente coberto pela cultura. Nos meses de setembro e outubro do ano anterior muitas áreas canavieiras, especialmente as de cana soca, têm parte de seu solo exposto e o valor do índice vegetativo será diretamente afetado por este fator. É desejável entretanto que o valor do índice vegetativo reflita apenas as condições da cultura livre da influência direta do fator do solo. Índices vegetativos tais como PVI e GVI, propostos por Richardson e Wiegand (1977) e Kauth e Thomas (1976), provavelmente forneceriam resultados melhores para as passagens de 2 de setembro e 20 de outubro, dada a influência direta do solo no valor do dado espectral.

A Tabela 4.1 mostra os coeficientes de correlação (r) e o erro padrão da estimativa da regressão linear (e) entre índices vegetativos e produtividade nas 5 passagens do LANDSAT. Nota-se que, a medida que se avança na sequência cronológico das passagens do satélite,

o coeficiente de correlação (r), considerando conjuntamente a cana planta e cana soca, aumenta exceto para a passagem de 14 de abril a qual, por razões anteriormente descritas, foi eliminada da análise dos resultados. As baixas correlações observadas para as passagens de 2 de setembro e 20 de outubro indicam claramente que estas passagens são inadequadas para estimar a produtividade final através de índices vegetativos. Grande parte das áreas canavieiras se encontram neste período num estágio incipiente de crescimento e não refletem ainda o potencial da futura produção. Em adição, o fator solo exerce muita influência nos dados espectrais adquiridos neste período. Tais fatos reforçam a conclusão de que este período é inadequado para a aquisição dos dados LANDSAT.

TABELA 4.1

COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r), ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (e) DA REGRESSÃO LINEAR E TAMANHO DA AMOSTRA (N) PARA A RELAÇÃO ENTRE A PRODUTIVIDADE OBSERVADA E OS ÍNDICES VEGETATIVOS (RVI E TVI) NAS CINCO PASSAGENS DO LANDSAT

DATA DA PASSAGEM	ÍNDICE VEGETATIVO	r	e (TON/HA)	N
02 set. 1982	RVI	0,24	18,69	29
	TVI	0,25	18,64	
20 out. 1982	RVI	0,33	17,40	32
	TVI	0,35*	17,26	
24 jan. 1983	RVI	0,45*	16,76	31
	TVI	0,42*	16,97	
25 fev. 1983	RVI	0,65**	13,61	29
	TVI	0,67**	13,27	
14 abr. 1983	RVI	0,01	18,78	24
	TVI	-	-	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Contudo, verificou-se se a adição dos índices vegetativos das passagens de 2 de setembro e 20 de outubro às passagens de 24 de janeiro ou de 25 de fevereiro poderia melhorar os resultados, o que no entanto não acarretou nenhuma melhora nos resultados destas últimas passagens, quando analisadas separadamente.

Tanto para a data de 24 de janeiro quanto para a de 25 de fevereiro os coeficientes de correlação de ambos os índices vegetativos foram pelo menos significativos ao nível de confiança de 5%. Entretanto, os índices vegetativos da passagem de 25 de fevereiro se correlacionam melhor com a produtividade final, o que vem enfatizar a colocação feita anteriormente a respeito desta passagem na análise da Figura 4.1. Inferiu-se que este é o período mais adequado de aquisição dos dados LANDSAT.

Ao final desta etapa observou-se que o conjunto de 32 amostras era pequeno para a análise da relação entre índice vegetativo e produtividade e que seria desejável dar continuidade ao trabalho com um número maior de amostras. Assim, o conjunto foi elevado para 74 amostras. Preferiu-se também manter nas análises subseqüentes a data de 24 de janeiro, uma vez que é difícil estabelecer um período rígido de aquisição dos dados LANDSAT, especialmente devido à cobertura de nuvens sobre a área por ocasião da passagem do satélite.

4.2 - SELEÇÃO DOS ÍNDICES VEGETATIVOS

Para selecionar o índice vegetativo mais adequado dentre os índices relacionados na Tabela 3.5, foram obtidos os coeficientes de correlação (r) entre os índices vegetativos e a produtividade agrícola observada para as datas previamente selecionadas.

A Tabela 4.2 mostra os resultados para o conjunto de 74 amostras cujos dados espectrais foram obtidos somente para 60 e 70 amostras, respectivamente nas datas de 24 de janeiro e 25 de fevereiro, uma vez que nem sempre foi possível obter estes dados para todas as

amostras devido ao deslocamento da imagem em relação à área de estudo e à presença de nuvens e sombras de nuvens sobre algumas amostras. A Tabela A.2 mostra os valores de reflectância nas quatro bandas do sensor MSS e os valores dos cinco índices vegetativos para estas duas passagens.

Analisando os resultados da Tabela 4.2 nota-se que os índices vegetativos que melhor evidenciaram a relação existente entre os dados espectrais e as condições de crescimento da cultura que se refletem sobre a produtividade final foram o RVI, TVI e TVI6.

TABELA 4.2

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r), ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (e) DA
REGRESSÃO LINEAR E TAMANHO DA AMOSTRA (N) PARA PRODUTIVIDADE
OBSERVADA E CINCO ÍNDICES VEGETATIVOS PARA AS
DUAS MELHORES PASSAGENS DO LANDSAT

DATA DA PASSAGEM	ÍNDICE VEGETATIVO	r	e (TON/HA)	N
24 jan. 1983	RVI	0,38**	19,01	60
	DN	0,21	20,13	
	DDVI	0,26*	19,90	
	TVI	0,37**	19,08	
	TVI6	0,39**	19,96	
25 fev. 1983	RVI	0,56**	17,62	70
	DN	0,44**	19,21	
	DDVI	0,46**	19,01	
	TVI	0,59**	17,18	
	TVI6	0,60**	17,10	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Estudos anteriores concluíram que a maioria dos índices vegetativos dão resultados semelhantes na estimativa da biomassa fotosinteticamente ativa (Tucker, 1979).

A cultura canavieira cobre o solo totalmente por ocasião das passagens analisadas, o que propicia o uso do índice vegetativo RVI, indicado para tais condições (Jackson, et alii, 1983).

Os índices TVI e TVI6 diferem em sua formulação por utilizar, o primeiro, dados espectrais da banda MSS 7, e o segundo, dados espectrais da banda MSS 6. Dada a similaridade tanto na formulação quanto nos resultados destes dois índices, torna-se indiferente o emprego de um ou de outro, embora se tenha dado preferência ao índice TVI, pois este utiliza dados da banda MSS 7 na sua formulação, comprimento de onda no qual a resposta na reflectância da vegetação é mais acentuada do que na banda MSS 6.

Os índices DN e DDVI geralmente apresentam desempenhos inferiores aos índices acima mencionados e conseqüentemente foram eliminados da seleção. Considerando a simplicidade na formulação do índice RVI e o bom desempenho deste índice e do TVI, optou-se por selecionar os dois índices como os mais adequados.

4.3 - CORRELAÇÃO ENTRE PRODUTIVIDADE E ÍNDICES VEGETATIVOS

Para verificar a capacidade dos dados LANDSAT em estimar a produtividade final da cana-de-açúcar através dos modelos dos índices vegetativos, foram feitas regressões lineares dos índices (RVI e TVI) sobre a produtividade obtida na usina para as datas de 24 de janeiro e 25 de fevereiro (Tabela 4.3).

O conjunto de 74 amostras foi dividido em dois subconjuntos: um de áreas com cana planta (32 amostras) e outro com áreas de cana soca (42 amostras). Esta divisão tem como finalidade verificar diferenças entre estes subconjuntos em termos da relação dos dados espectrais com a produtividade final da cultura.

TABELA 4.3

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r), ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (e) DA REGRESSÃO LINEAR E TAMANHO DA AMOSTRA (N) PARA PRODUTIVIDADE OBSERVADA E MELHORES ÍNDICES VEGETATIVOS PARA AS MELHORES PASSAGENS DO LANDSAT

DATA DA PASSAGEM	ÍNDICE VEGETATIVO	ÁREAS DE CANA PLANTA E SOCA				ÁREAS DE CANA PLANTA				ÁREAS DE CANA SOCA			
		r	e (ton/ha)	N		r	e (ton/ha)	N		r	e (ton/ha)	N	
24 jan.	RVI	0,38**	19,01	60		0,21	19,86	25		0,56	13,62	35	
	TVI	0,37**	19,08			0,23	19,78			0,55	13,79		
25 fev.	RVI	0,56**	17,62	70		0,29	19,80	29		0,68**	12,67	41	
	TVI	0,59**	17,18			0,31	19,64			0,70**	12,23		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Evidentemente estes dois conjuntos não são homogêneos, pois em cada um deles encontram-se diversas variedades, e nas áreas de cana soca encontram-se também diversos estágios de corte (soca, resoca e 2ª resoca), como pode ser visto na Tabela 3.2.

A Figura 4.2a e b mostra graficamente a correlação de RVI com a produtividade para o conjunto de todas as áreas canavieiras, onde o índice vegetativo explica 14% e 31% da variação na produtividade, respectivamente para as passagens de 24 de janeiro e 25 de fevereiro.

Analisando esta mesma figura nota-se que apesar da baixa correlação existe uma nítida tendência na distribuição dos pontos e que apenas alguns deles fogem a esta tendência, especialmente na passagem de 25 de fevereiro (Figura 4.2b). Na Figura 3.3 pode-se verificar que algumas áreas (8 e 28), por serem muito pequenas, devem ter tido influência de alvos vizinhos ("pixels" misturados) nos seus dados espectrais, não refletindo assim as condições reais da cultura na área. Outras áreas (9, 49 e 52) foram difíceis de ser localizadas precisamente sobre a imagem devido à ausência de alvos notáveis próximos a estas áreas. Neste sentido, o uso de imagens com melhor resolução espacial viria minimizar este tipo de erro, pois permitiria a localização delas com melhor exatidão.

Na Tabela 4.3 observa-se que há uma diferença significativa entre as áreas de cana planta e as áreas de cana soca, no que se refere à correlação do índice vegetativo com a produtividade para ambas as datas. As áreas de cana soca se correlacionam melhor do que as áreas de cana planta, o que é favorável, pois no sistema de produção de cana-de-açúcar 75% a 85% são áreas de cana soca, enquanto neste estudo apenas 58% das áreas amostradas eram de cana soca.

Com a adição dos índices vegetativos de 24 de janeiro aos índices de 25 de fevereiro, a variação na produtividade explicada é de 27%, ou seja, inferior àquela obtida utilizando apenas os índices da imagem de 25 de fevereiro, que é de 31%.

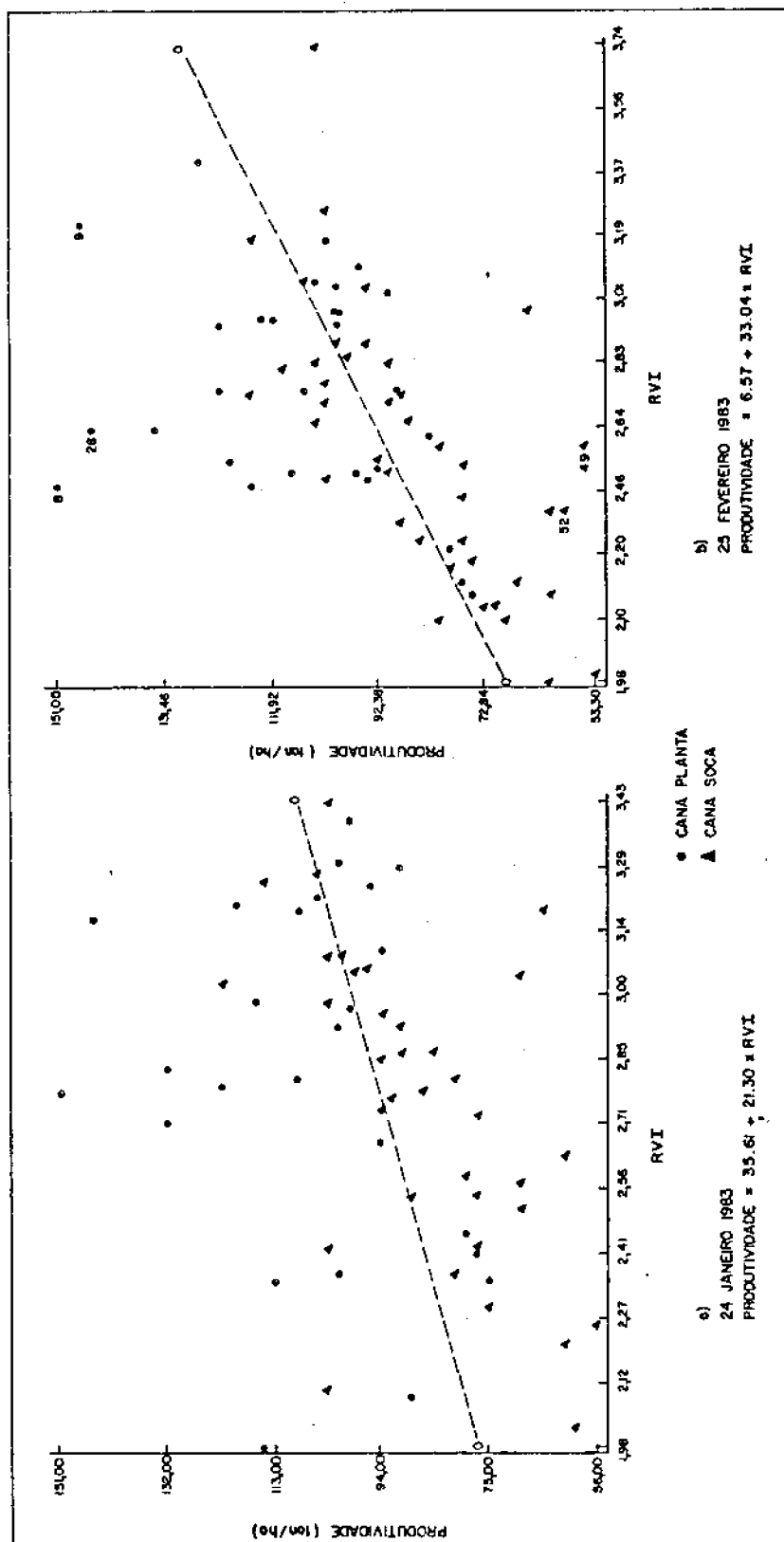


Fig. 4.2 - Regressão da produtividade com o Índice vegetativo RVI para todas as áreas canavieiras na passagem do LANDSAT de a) 24 de janeiro de 1983 e b) 25 de fevereiro de 1983.

4.4 - MODELO AGROMETEOROLÓGICO

Através do modelo agrometeorológico foram obtidas as estimativas das produtividades máxima e real para as 74 áreas canavieiras das quais se dispõem de informações sobre a data de plantio e/ou corte e data da colheita na safra de 1983/1984.

Visto que a partir do mês de abril o crescimento da cana-de-açúcar é reduzido em função das condições climáticas, entrando a cultura no estágio de maturação, estabeleceu-se que a estimativa da produtividade pelo modelo agrometeorológico fosse baseada nos dados meteorológicos coletados até março, até mesmo para fornecer a estimativa prognóstica da produtividade. Esta estimativa foi correlacionada com a produtividade medida pela usina e obteve-se uma explicação da variação da produtividade através do modelo agrometeorológico de 38%.

Foram também obtidas as estimativas de produtividade, pelo modelo agrometeorológico, levando em conta todo o ciclo da cultura, a fim de verificar o desempenho deste modelo que foi feito através da regressão da produtividade medida pela usina com a produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico, a qual é mostrada graficamente na Figura 4.3, onde o modelo agrometeorológico explica 41% da variação na produtividade. Observa-se nesta figura uma nítida tendência dos pontos em torno da reta de regressão, exceto para dois pontos que correspondem às áreas 9 e 30, os quais estão discrepantes. Por isto, suspeita-se dos dados fornecidos para estas áreas em função das condições climáticas a que estiveram submetidas. A eliminação destes dois pontos leva a variação explicada para 49%. Devido à impossibilidade de averiguar a veracidade da informação sobre estas áreas, optou-se por mantê-las no conjunto de amostras.

Nos anos de 1982 e 1983 as condições climáticas foram bastante favoráveis para a cultura canavieira, especialmente com relação à precipitação pluviométrica, como pode ser visto na Tabela 3.11. Houve apenas uma penalização insignificante da produtividade máxima estimada das soqueiras colhidas em setembro e outubro de 1982, devido a um ligeiro déficit de evapotranspiração relativa.

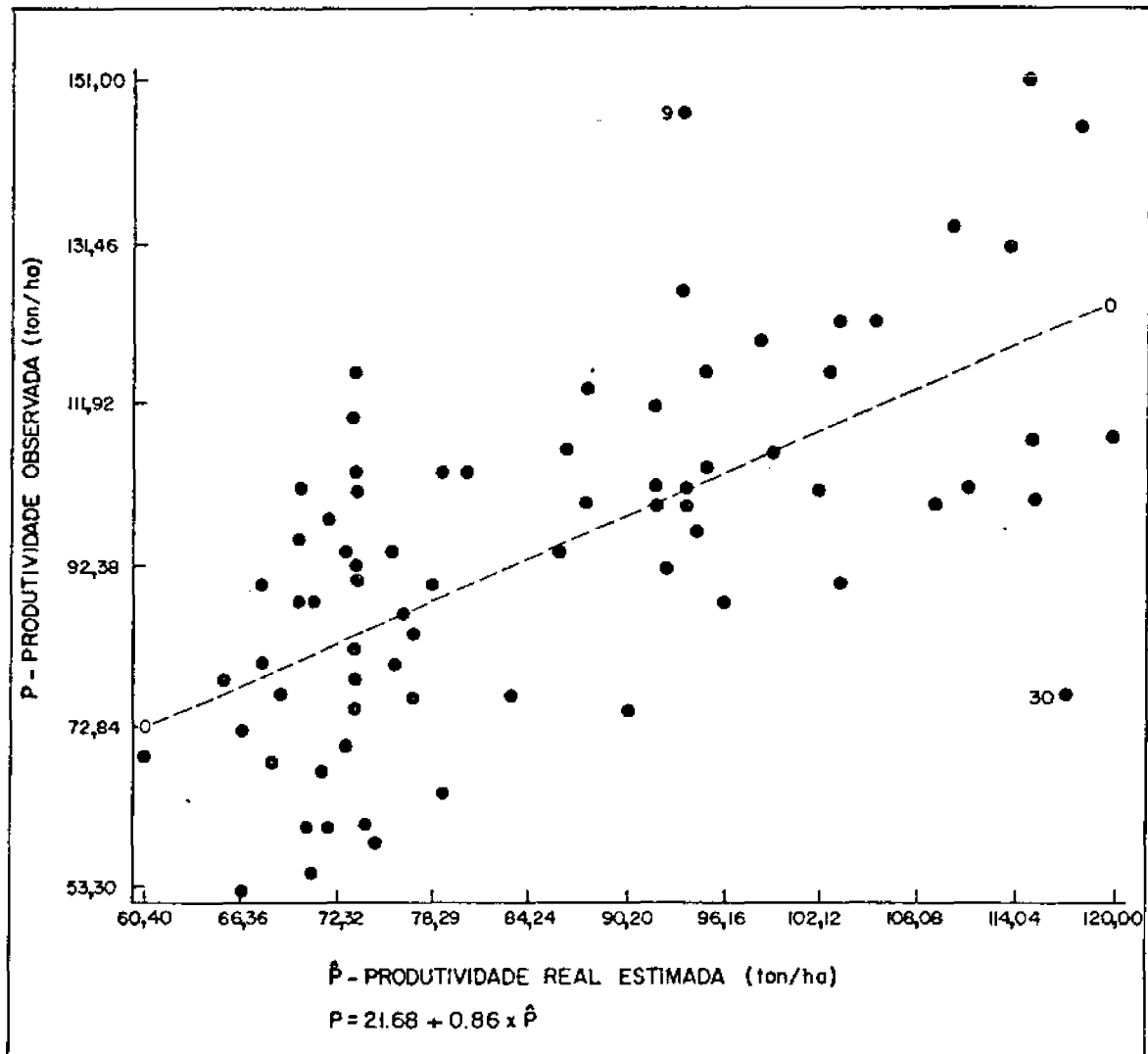


Fig. 4.3 - Regressão da produtividade observada com a produtividade do modelo agrometeorológico considerando todo o ciclo da cultura.

A Tabela 4.4 mostra a produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico, considerando todo o ciclo da cultura e a produtividade obtida pela usina para cada uma das 74 áreas, além dos valores médios destas produtividades. A média da produtividade da usina, do conjunto das 74 amostras, foi de 94 ton/ha, ou seja, superior à produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico. Contudo não foram feitas modificações neste modelo para tentar elevar a produtividade estimada, uma vez que este conjunto de amostras não representa bem a produtividade de média geral da usina que foi de 79 ton/ha para o ano safra de 1983/1984.

TABELA 4.4

PRODUTIVIDADE ESTIMADA PELO MODELO AGROMETEOROLÓGICO CONSIDERANDO
TODO O CICLO E PRODUTIVIDADE OBSERVADA PELA USINA

NÚMERO DA ÁREA	P R O D U T I V I D A D E	
	MODELO AGROMETEOROLÓGICO	USINA
1	110,5	132,2
2	105,6	122,0
3	90,0	75,2
4	92,5	93,2
5	94,0	101,0
6	87,6	114,7
7	94,0	125,8
8	115,0	151,0
9	94,0	146,5
10	103,0	114,9
11	86,5	106,1
12	73,5	82,0
13	98,5	120,4
14	120,0	108,6
15	73,0	94,6
16	115,0	99,8
17	94,0	101,9
18	94,5	95,6
19	87,6	101,1
20	103,4	121,6

(continua)

Tabela 4.4 - Continuação

NÚMERO DA ÁREA	P R O D U T I V I D A D E	
	MODELO AGROMETEOROLÓGICO	USINA
21	92,0	112,3
22	99,5	106,6
23	103,4	89,5
24	109,0	100,5
25	92,2	100,2
26	111,0	101,2
27	114,0	131,4
28	118,0	145,7
29	96,0	87,6
30	117,0	76,2
31	115,0	108,6
32	73,5	78,8
33	95,5	115,7
34	68,0	68,7
35	78,0	93,3
36	86,0	93,7
37	73,5	74,9
38	73,5	101,5
39	73,5	93,1
40	73,5	115,9
41	65,0	79,5
42	70,0	102,7

(continua)

Tabela 4.4 - Continuação

NÚMERO DA ÁREA	P R O D U T I V I D A D E	
	MODELO AGROMETEOROLÓGICO	USINA
43	73,5	110,2
44	67,5	90,7
45	70,0	89,1
46	69,0	76,9
47	70,5	56,0
48	79,0	77,1
49	70,5	56,0
50	83,0	77,1
51	73,5	90,2
52	74,5	59,8
53	73,5	103,9
54	71,0	67,1
55	60,4	68,9
56	70,5	89,4
57	72,0	97,8
58	73,0	70,1
59	76,0	93,9
60	80,5	104,4
61	92,2	102,6
62	95,0	105,0
63	102,0	102,9
64	79,0	65,4

(continua)

Tabela 4.4 - Conclusão

NÚMERO DA ÁREA	P R O D U T I V I D A D E	
	MODELO AGROMETEOROLÓGICO	USINA
65	70,0	97,1
66	74,0	61,5
67	76,6	86,8
68	66,5	53,3
69	67,5	79,9
70	76,8	85,0
71	72,0	61,0
72	66,5	73,6
73	77,0	76,1
74	76,0	80,1
MÉDIA	85,0	94,0

4.5 - MODELO DE PRODUTIVIDADE

A combinação dos dois modelos (agrometeorológico e índices vegetativos) num único modelo de estimativa de produtividade tem como finalidade verificar se os dados espectrais do satélite LANDSAT, em conjunto com dados de produtividade estimados pelo modelo agrometeorológico, explicam melhor a variação na produtividade observada.

Com base nos resultados obtidos nos itens anteriores, foi feita a regressão dos dados de produtividade observados com os dados de produtividade do modelo agrometeorológico obtidos até março (p) e o

Índice vegetativo (RVI) nas passagens do satélite de 24 de janeiro e 25 de fevereiro de 1983 para cada área canavieira, obtendo-se os resultados mostrados na Tabela 4.5.

TABELA 4.5

EQUAÇÃO DE REGRESSÃO DO MODELO DE PRODUTIVIDADE PARA DUAS PASSAGENS DO LANDSAT, COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r), VARIAÇÃO EXPLICADA (r²), ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (e) E TAMANHO DA AMOSTRA (N)

DATA DA PASSAGEM	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	r	R	e (ton/ha)	N
24 jan.	$P = 14,06 + 0,82p + 18,50 \text{ RVI}$	0,72**	0,52	14,45	60
25 fev.	$P = 21,64 + 0,71p + 25,12 \text{ RVI}$	0,75**	0,56	14,23	70

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

A melhoria de P, em relação a p, como estimador da produtividade da cana-de-açúcar, indica a melhoria que os dados espectrais acarretam quando incorporados aos dados do modelo agrometeorológico. Para a passagem de 24 de janeiro a variação explicada na produtividade passou de 38% para 52% e para a passagem de 25 de fevereiro a variação explicada passou de 38% para 56%.

A incorporação de Índices vegetativos integrados ao longo de duas ou mais passagens do satélite no modelo de produtividade não foi feita, pois no item 4.1 mostrou-se que os índices vegetativos multitemporais não acarretam melhora nos resultados, quando comparados com aqueles obtidos com as melhores passagens isoladas.

A utilização das medidas de TMVH no modelo de produtividade não estava clara, resolveu-se, portanto, verificar primeiramente

qual a relação desta medida com a produtividade por ocasião dos meses em que se adquiriram as imagens do satélite, uma vez que as medidas de TMVH são obtidas mensalmente. A Tabela 4.6 mostra os resultados da análise estatística feita entre a produtividade observada e as medidas de TMVH. Da mesma forma, como no caso dos índices vegetativos, os melhores resultados foram obtidos nos períodos mais próximos ao da colheita. Apesar de esta medida ser obtida diretamente no campo, ela explica somente 60,8% da variação na produtividade para a medida de TMVH do mês de fevereiro. Em seguida verificou-se qual a relação da medida de TMVH com o índice vegetativo RVI, obtendo-se os resultados da Tabela 4.7.

TABELA 4.6

COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r), ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (e) E
TAMANHO DA AMOSTRA (N) PARA A RELAÇÃO ENTRE A
PRODUTIVIDADE OBSERVADA E A MEDIDA DE TMVH

MÊS DA MEDIDA DE TMVH	r	e (ton/ha)	N
SETEMBRO	0,51**	16,60	32
OUTUBRO	0,58**	15,71	
JANEIRO	0,76**	12,38	
FEVEREIRO	0,78**	12,07	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 4.7

COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r), ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (e) E
TAMANHO DA AMOSTRA (N) PARA A RELAÇÃO ENTRE A
MEDIDA DE TMVH E O ÍNDICE VEGETATIVO RVI

MÊS DA MEDIDA DE TMVH	DATA DA PASSAGEM	r	e (ton/ha)	N
SETEMBRO	02 set. 1982	0,47**	21,38	29
OUTUBRO	20 out. 1982	0,60**	19,25	32
JANEIRO	24 jan. 1983	0,66**	12,56	31
FEVEREIRO	25 fev. 1983	0,54**	16,44	29

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

O índice de correlação da passagem de 25 de fevereiro foi superior somente ao da passagem de 02 de setembro de 1982 e a melhor relação entre a medida de TMVH e o índice vegetativo foi obtido na passagem de 24 de janeiro de 1983. Na Tabela 4.1 são mostrados os resultados da relação entre a produtividade observada e os índices vegetativos (RVI e TVI) nas cinco passagens do LANDSAT para o mesmo conjunto de áreas canavieiras, onde se dispõem das medidas de TMVH. Pode-se verificar também que os dados espectrais da data da passagem de 25 de fevereiro são os que melhor se correlacionam com a produtividade.

Finalmente, fez-se combinação das medidas de TMVH com os índices vegetativos para estimar a produtividade através de uma equação de regressão, e os resultados obtidos em termos da variação explicada da produtividade foram praticamente os mesmos comparados com aqueles que utilizaram apenas as medidas de TMVH como estimador da produtividade.

Visto que as medidas de TMVH são obtidas de forma retrita e sua finalidade principal é verificar a resposta da cultura a diferentes níveis de adubação, resolveu-se não incluir estas medidas no modelo de produtividade, mantendo-se a idéia inicial da incorporação dos dados do modelo agrometeorológico com os dados espectrais, para estimar a produtividade da cana-de-açúcar.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os objetivos estabelecidos e os resultados alcançados, conclui-se que:

- 1) os Índices vegetativos das imagens do sensor MSS das passagens do satélite LANDSAT, mais próximas do período da colheita se correlacionam melhor com a produtividade observada;
- 2) dos cinco Índices vegetativos estudados, o RVI, TVI6 e o TVI apresentam os melhores resultados em termos da sua relação com a produtividade da cana-de-açúcar;
- 3) o Índice de correlação entre a produtividade observada e o Índice vegetativo RVI para as duas melhores passagens (24 de janeiro e 25 de fevereiro) foi significativo ao nível de 1% de probabilidade, considerando o conjunto de todas as áreas canavieiras;
- 4) existe uma diferença marcante nos coeficientes de correlação entre a produtividade observada e os Índices vegetativos de áreas de cana planta (não-significativo ao nível de 5% de probabilidade) e de áreas de cana soca (significativo ao nível de 1% de probabilidade);
- 5) os Índices vegetativos multitemporais testados não melhoraram a correlação com a produtividade observada, quando comparada com o Índice vegetativo da melhor passagem do satélite;
- 6) a amostra (74 áreas canavieiras) não foi representativa em termos da produtividade média de toda área canavieira da Usina (94 ton/ha), comparada com a produtividade média geral da usina (79 ton/ha) que foi 19% inferior.
- 7) o modelo agrometeorológico subestimou a produtividade média em 10,6%, comparado com a produtividade média observada no conjunto de amostras analisadas no presente trabalho.

- 8) através do modelo agrometeorológico não foi observada nenhuma deficiência hídrica relevante que viesse penalizar a produtividade máxima estimada durante o período analisado;
- 9) o modelo de produtividade proposto explica 56% da variação na produtividade utilizando o índice vegetativo RVI da passagem de 25 de fevereiro, enquanto o modelo agrometeorológico explica apenas 38% da variação na produtividade observada;

Em virtude da experiência adquirida, recomenda-se que:

- 1) seja adquirida uma amostra mais representativa do sistema de produção da cana-de-açúcar, considerando inclusive as principais variedades plantadas, o que não foi possível neste estudo devido ao pequeno número de amostras das diferentes variedades plantadas;
- 2) seja dada continuidade a este trabalho em área mais abrangente, em anos subsequentes, para que posteriormente se possa extrapolar, através de pequenas modificações, o modelo de produtividade proposto;
- 3) dado o avanço tecnológico ocorrido durante o desenrolar desta pesquisa, sejam utilizadas as imagens gravadas pelo novo sensor TM, devido sua maior resolução espacial, o que possibilitará uma localização mais exata das áreas canavieiras sobre a imagem obtida pelo satélite;
- 4) seja dada muita atenção no sentido de tornar os dados espectrais o menos possível influenciados pelas variações ambientais que ocorrem entre as tomadas das imagens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-ABBAS, A.; BARR, H.R.; HALL, J.D.; CRANE, F.L.; BAUMGARDNER, M.F.
Spectra of normal and nutrient deficient maize leaves. *Agronomy Journal*, 66(1): 16-20, Jan./Feb. 1974.
- ASHLEY, M.D.; REA, J. Seasonal vegetation differences from ERTS imagery.
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 41(6): 713-719,
June 1975.
- BAIER, W. Note on the terminology of crop-wether models. *Agricultural Meteorology*, 20(2): 137-145, Apr., 1979.
- BARNETT, T.L.; THOMPSON, D.R. The use of large-area spectral data in wheat yield estimation. *Remote Sensing of Environment*, 12(6): 509-518, Dec. 1982.
- BRÄKKE, T.W.; KANEMASU, E.T. Estimated winter wheat yield from LANDSAT MSS using spectral techniques. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 13., Ann Arbor, MI, 1979. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1979, p. 629-641.
- COLWELL, J.E. Possible future directions in crop yield forecasting. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 13., Ann Arbor, MI, 1979. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1979, p. 1781-1788.
- DAVE, J.V.; BERNSTEIN, R. Effect of terrain orientation and solar position on satellite level luminance observations. *Remote Sensing of Environment*, 12(4): 331-348, 1982
- DE CAROLIS, C.; AMOEDO, P. Basic problems in the reflectance and emittance properties of vegetations. In: FRAYSSE, G. ed. *Remote sensing application in agriculture and hidrology*. Luxemburg, A.A.Balkema, 1980. p.69-79.
- DOOREMBOS, J.; KASSAM, A.H. *Yield response to water*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. (FAO-Plant Production and Protection, Paper nº 33).

- FRÈRE, M.; POPOV, G.F. *Agrometeorological and forecasting*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1979. (FAO-Plant Production and Protection, Paper nº 17).
- GATES, D.M. Physical and physiological properties of plants. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Remote sensing with special reference to agriculture and forestry*. Washington, DC. 1970. p.224-252.
- GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHLETER, J.C.; WIEDNER, V.R. Spectral properties of plants. *Applied Optics*, 4(1):11-12, 1965.
- HATFIELD, J.L. Remote sensing estimators of potential and actual crop yield. *Remote Sensing of Environment*, 13(4): 301-311, 1983.
- Spectral behavior of wheat yield variety trials. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 47(10): 1487-1491, Oct. 1981.
- HEILMANN, J.L.; HEILMANN, W.E.; MOORE, D.G. Evaluating the crop coefficient using spectral reflectance. *Agronomy Journal*, 74(6): 967-971, Nov./Dec. 1982.
- HOFEFR, R.M. Biological and physical consideration in applying computer aided analysis techniques to remote sensor data. In: SWAIN, P. H.; DAVIS, S.M. ed. *Remote sensing the quantitative approach*. New York, McGraw Hill, Inc., 1978, p. 228-289.
- HOFFER, R.M.; JOHANSEN, C.J. Ecological potentials in spectral signature analysis. In: P.L. JOHANSEN, ed. *Remote sensing in ecology*. University of Georgia Press. Athens. GA. 1969.
- INSTITUTO DO AÇÚCAR E DO ALCOOL. PROGRAMA NACIONAL DE MELHORAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR (IAA.PLANALSUCAR) *Relatório anual 1983*. Rio de Janeiro, 1984.
- IDSO, S.B.; PINTER, P.J.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J. Estimation of grain yields by remote sensing of crop senescence rates. *Remote Sensing of Environment*, 9(1): 87-91, 1980.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de Minas e Geologia Aplicada (IPT). *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1981a. v.2 (Monografia, 5).

- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de Minas e Geologia Aplicada (IPT). Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, A bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. In: ———. *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1981b. V.1. (Monografia, 6).
- INSTITUTO FLORESTAL (IF). *Levantamento da cobertura vegetal natural e do reflorestamento no Estado de São Paulo*. 2.ed. São Paulo, 1975. (Bol. Técnico nº 11).
- JACKSON, R.D.; SLATER, P.N.; PINTER, P.J. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmosphere. *Remote Sensing of Environment*, 13(3): 187-208, 1983.
- 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: ANNUAL SYMPOSIUM MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 2., West Lafayette, IN, 1976. *Proceedings*. West Lafayette, IN, Purdue University 1976, p. 41-51.
- KNIPLING, E.B.; LAMBECK, P.F.; CRIST, E.P. Physiscal and physiological basis for the reflectance of visible and near infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 1(3): 155-159, 1970.
- KUMAR, R.; CAVALCANTI, L.A. *Radiometric correction of LANDSAT data*. São José dos Campos, INPE, Oct., 1977. (INPE-1149-PE/102).
- MALILA, W.A.; LAMBECK, P.F.; CRIST, E.P. LANDSAT feature for agricultural applications. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 14., Ann Arbor, MI, 1980. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1980, p.793-803.
- MARKHAM, B.L.; KIMES, D.S.; TUCKER, C.J. Temporal spectral response of a corn canopy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47(11): 1599-1605, Nov. 1981.
- MAXWELL, E.L. Multivariate system analysis of multispectral imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42(9): 1173-1186, Sept. 1976.

- MOTA, F.S. *Meteorologia agrícola*. 4.ed. São Paulo, Nobel. 1979.
- MYERS, V.I. Soil, water and plant relation. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Remote sensing with special reference to agriculture and forestry*. Washington, D.C. 1970. p.253-297.
- NASA. *LANDSAT to ground station interface description*. Washington, DC, 1984. 93p. Revision B. Inédito.
- NELLI, E. Tipos de solos na Usina Barra Grande. Lencóis Paulista, 1983. Comunicação pessoal a B.F.T.Rudorff, em 25 de setembro de 1983.
- OMETTO, J.C. *Bioclimatologia Vegetal*, São Paulo, Agronômica Ceres, 1981, 425p.
- PEARSON, R.L.; MILLER, L.D. Remote mapping of standing crop biomass for estimating of the productivity of the shortgrass prairie. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8., Ann Arbor, MI, 1972. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1972, p.1357-1381.
- PINTER, P.J.; JACKSON, R.D.; IDSO, S.B.; REGINATO, R.J. Multidate spectral reflectance as predictors of yield in a water stressed wheat and barley. *International Journal of Remote Sensing*, 2(1): 43-48, 1981.
- RAO, M.V.K.; AYYANGER, R.S.; RAO, P.P.N. Role of multispectral data in assessing crop management and crop yield. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA WITH SPECIAL EMPHASIS ON CROP INVENTORY AND MONITORING, 8., West Lafayette, In. *Proceedings*. West Lafayette, IN, Purdue University July 7-9, 1982, p.226-234.
- RIBEIRO, E.A.; II, F.A.M.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V. *Manual dos usuários dos sistemas de tratamentos de imagens digitais*. São José dos Campos, INPE, out. 1982.
- RICHARDSON, A.J.; WIEGAND, C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(12): 1541-1552, Dec. 1977.

- RICHARDSON, A.J.; WIEGAND, C.L.; ARKIN, G.F.; NIXON, P.R.; GERBERMANN, A.H. Remotely-sensed spectral indicators of sorghum development and their use in growth modellins. *Agricultural Meteorology*, 26(1): 11-23, 1982.
- ROBINOVE, C.J. Computation with physical values from LANDSAT digital data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(5): 781-784, May, 1982.
- RUDORFF, B.F.T.; BATISTA, G.T. *Resposta espectral da cana-de-açúcar através de dados multitemporais do MSS do LANDSAT-4*. São José dos Campos, INPE, mar.1985. (INPE-3474-PRE/717).
- SETZER, J. *Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Uruguai, 1966, 66p.
- SINCLAIR, T.R.; HOFFER, R.M.; SCHREIBER, M.M. Reflectance and internal structure of leaves from several crops during a growing season. *Agronomy Journal*, 63(6): 864-868, Nov./Dec. 1971.
- TAEKAEKARA, M.P.; KRUGER, R.; DUNCAN, C.H. Solar irradiance measurements from a reserch aircraft. *Applied Optics*, 8(8): 1969, p.1713-1731.
- THOMPSON, D.R. Monitoring growth and yield components by LANDSAT. In: *Feasibility of assessing crop conditions and yield from LANDSAT data*. Houston, TX, NASA, Lyndon B. Johnson Space Center, 1978. Section 5, p.5-1/5-9 (LACIE-00468, JSC-13732).
- THOMPSON, D.R.; WEHMANEN, O.A. Using LANDSAT digital data to detect moisture stress. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45(2): 201-207, Feb. 1979.
- TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2): 127-150, 1979.
- TUCKER, C.J.; HOLBEN, B.N.; ELGIN, J.H.; McMURTEY, J. Relationship of spectral data to grain variation. *Photogrammetric and Remote Sensing*, 46(5): 657-666, May 1980.

——— Remote sensing of total dry-matter. *Remote Sensing of Environment*, 11(3): 171-189, 1981.

WIEGAND, C.L.; RICHARDSON, A.J.; KANEMASU, E.T. Leaf index area estimates for wheat from LANDSAT and their implications for evapotranspiration and crop modelling. *Agronomy Journal*, 71(2): 336-342, Mar./Apr. 1979.

WIEGAND, C.L. The value of the direct observations of crop canopies for indicating growing conditions and yield. *International symposium on remote sensing of environment*, 18., Paris, France, Oct., 1984.

APÊNDICE A

DADOS ESPECTRAIS DO SENSOR MSS E VALORES
DOS ÍNDICES VEGETATIVOS

TABELA A.1

VALORES DE REFLECTÂNCIA (R) PARA AS QUATRO BANDAS DO SENSOR MSS DO
LANDSAT E VALORES DOS ÍNDICES VEGETATIVOS (RVI E TVI) NAS CINCO
PASSAGENS DO SATÉLITE PARA O CONJUNTO DAS 32 ÁREAS CANAVIEIRAS

* A	* P	* R(4)	* R(5)	* R(6)	* R(7)	* RVI	* TVI
1	1	15,64	11,96	17,71	17,63	1,47	0,83
1	2	13,76	11,20	17,45	18,56	1,66	0,86
1	3	10,27	7,94	18,83	21,54	2,71	0,98
1	4	10,22	8,04	18,69	21,22	2,64	0,97
1	5	9,66	7,53	17,95	21,22	2,82	0,99
2	1	15,84	12,71	20,98	22,59	1,78	0,88
2	2	13,84	10,78	18,93	21,68	2,01	0,91
2	3	10,36	7,98	19,07	22,26	2,79	0,99
2	4	10,04	7,70	18,59	21,17	2,75	0,98
2	5	7,78	5,99	16,30	20,97	3,50	1,03
3	1	15,59	13,03	20,44	22,99	1,77	0,88
3	2	14,00	11,84	19,00	21,80	1,84	0,89
3	3	10,77	8,94	18,52	21,07	2,36	0,95
3	4	11,13	9,20	17,85	19,88	2,16	0,93
4	1	16,83	15,75	23,47	23,75	1,51	0,84
4	2	13,88	11,97	19,84	21,68	1,81	0,89
4	3	10,36	8,21	19,11	21,88	2,66	0,98
4	4	10,83	8,39	19,24	21,40	2,55	0,97
4	5	8,92	6,78	18,66	25,17	3,71	1,04

(continua)

Tabela A.1 - Continuação

* A	* P	* R(4)	* R(5)	* R(6)	* R(7)	* RVI	* TVI
5	1	16,44	14,33	22,84	24,97	1,74	0,88
5	2	13,88	10,95	20,48	24,10	2,20	0,94
5	3	11,61	10,11	20,54	23,93	2,37	0,95
5	4	10,65	7,87	20,27	23,36	2,97	1,00
6	1	15,79	13,97	17,21	15,05	1,08	0,73
6	2	13,44	10,78	17,79	18,23	1,69	0,87
6	3	12,11	11,35	21,28	22,44	1,98	0,91
6	4	10,30	7,70	19,65	22,78	2,96	1,00
7	1	16,58	15,12	20,98	21,93	1,45	0,83
7	2	14,04	12,64	19,40	21,64	1,71	0,87
7	3	11,32	9,08	21,45	25,51	2,81	0,99
7	5	9,76	7,38	19,61	25,67	3,48	1,03
8	2	14,28	12,87	19,50	21,55	1,68	0,87
8	3	11,69	8,61	22,68	26,62	3,09	1,01
8	4	11,35	9,37	21,04	23,32	2,49	0,96
8	5	8,77	6,59	21,97	29,72	4,51	1,07
9	1	15,94	12,75	23,47	26,89	2,11	0,93
9	2	13,84	11,04	20,85	25,04	2,27	0,94
9	4	10,61	8,29	21,26	24,66	2,98	1,00
10	1	16,19	13,54	21,23	22,33	1,65	0,86
10	2	13,92	11,30	20,07	23,11	2,05	0,92
10	3	10,31	7,91	22,22	26,11	3,30	1,02

(continua)

Tabela A.1 - Continuação

* A	* P	* R(4)	* R(5)	* R(6)	* R(7)	* RVI	* TVI
10	5	10,65	7,89	21,56	25,02	3,17	1,01
11	1	16,44	14,29	24,42	27,29	1,91	0,90
11	2	14,16	12,45	20,95	24,47	1,97	0,91
11	3	11,32	8,24	22,64	26,79	3,25	1,01
11	4	11,83	8,64	23,16	26,80	3,10	1,01
11	5	9,66	6,78	22,39	30,33	4,47	1,07
12	2	13,92	12,00	20,07	22,33	1,86	0,89
12	3	12,36	9,11	23,45	26,62	2,92	1,00
12	4	12,09	8,81	22,54	25,46	2,89	0,99
12	5	9,91	7,18	23,76	30,08	4,19	1,06
13	1	15,74	14,05	19,86	20,97	1,49	0,84
13	2	13,88	11,07	18,06	19,95	1,80	0,89
13	3	11,23	8,28	20,61	23,46	2,83	0,99
13	5	10,70	8,21	19,03	17,83	2,17	0,93
14	1	16,24	13,70	21,48	23,50	1,72	0,87
14	2	14,00	11,49	19,84	22,83	1,99	0,91
14	3	11,07	9,01	19,49	21,75	2,41	0,96
14	4	11,31	9,09	17,93	19,97	2,20	0,94
14	5	10,80	8,92	17,37	19,40	2,18	0,93
15	2	13,72	10,56	21,12	25,37	2,40	0,96
15	3	11,32	8,24	22,54	26,32	3,19	1,01
15	4	12,71	9,89	22,57	24,84	2,51	0,96

(continua)

Tabela A.1 - Continuação

* A	* P	* R(4)	* R(5)	* R(6)	* R(7)	* RVI	* TVI
15	5	10,65	7,69	22,06	28,21	3,67	1,04
16	1	15,89	14,84	19,40	18,44	1,24	0,78
16	2	14,04	12,52	18,70	19,91	1,59	0,85
16	3	10,61	9,31	19,74	22,95	2,46	0,96
16	4	11,35	9,23	19,13	21,26	2,30	0,95
16	5	10,60	8,72	17,58	19,60	2,25	0,94
17	1	15,25	12,20	18,00	17,63	1,45	0,83
17	2	13,76	10,56	18,53	19,62	1,86	0,89
17	3	9,69	7,48	20,93	24,36	3,26	1,02
17	4	10,17	7,35	20,30	23,32	3,17	1,01
17	5	9,76	7,85	18,95	22,99	2,93	1,00
18	1	16,19	16,34	22,51	22,99	1,41	0,82
18	2	14,16	13,19	21,15	23,44	1,78	0,88
18	3	10,61	8,74	20,61	22,56	2,58	0,97
18	4	11,09	10,03	19,06	20,95	2,09	0,92
19	1	16,19	14,69	23,38	25,37	1,73	0,88
19	2	14,04	11,68	20,85	23,85	2,04	0,92
19	3	10,48	8,41	19,77	23,20	2,76	0,98
19	4	10,74	8,36	20,23	22,74	2,72	0,98
19	5	9,41	6,98	19,82	24,92	3,57	1,03
20	1	15,05	13,78	16,50	13,68	0,99	0,70
20	2	13,76	11,62	17,39	17,37	1,49	0,84

(continua)

Tabela A.1 - Continuação

* A	* P	* R(4)	* R(5)	* R(6)	* R(7)	* RVI	* TVI
20	3	10,48	8,14	20,51	23,16	2,84	0,99
20	4	10,39	7,66	20,19	23,32	3,04	1,00
21	1	15,45	14,45	18,20	16,56	1,15	0,75
21	2	13,96	12,13	18,29	19,13	1,58	0,85
21	3	10,77	8,98	18,69	20,68	2,30	0,95
21	4	10,92	9,13	18,33	20,55	2,25	0,94
22	1	18,02	16,31	25,50	28,26	1,73	0,88
22	2	13,84	11,07	19,33	21,55	1,95	0,91
22	3	10,27	7,64	20,12	23,59	3,09	1,01
22	4	10,87	8,64	19,24	21,62	2,50	0,96
22	5	8,92	6,70	21,06	29,72	4,43	1,06
23	1	16,68	15,16	23,76	25,88	1,71	0,87
23	2	13,84	11,27	20,71	23,98	2,13	0,93
23	3	10,31	7,94	19,88	23,46	2,95	1,00
23	4	11,22	8,74	19,76	22,16	2,53	0,97
23	5	9,16	7,10	17,54	23,90	3,37	1,02
24	1	15,79	13,70	21,10	21,47	1,57	0,85
24	2	13,72	11,27	19,50	21,76	1,93	0,90
24	3	10,06	7,84	19,70	23,38	2,98	1,00
24	4	10,35	8,36	19,87	22,87	2,74	0,98
24	5	8,18	5,99	18,16	23,14	3,86	1,04
25	1	15,84	14,88	18,37	16,82	1,13	0,75

(continua)

Tabela A.1 - Continuação

* A	* P	* R(4)	* R(5)	* R(6)	* R(7)	* RVI	* TVI
25	2	14,04	13,19	18,86	19,87	1,51	0,84
25	3	10,69	8,94	20,23	23,16	2,59	0,97
25	4	11,09	9,61	19,43	21,49	2,23	0,94
25	5	9,16	6,78	18,45	24,26	3,58	1,03
26	1	15,69	14,76	19,40	19,10	1,29	0,79
26	2	14,28	13,48	19,87	21,31	1,58	0,85
26	3	10,86	9,88	19,35	21,97	2,22	0,94
26	4	10,78	8,74	18,66	21,00	2,40	0,96
26	5	10,30	8,88	17,50	19,96	2,25	0,94
27	1	15,74	14,29	20,19	19,20	1,34	0,80
27	2	14,00	13,03	20,51	23,36	1,79	0,89
27	3	10,94	8,98	20,16	22,86	2,55	0,97
27	4	10,78	8,85	18,26	20,55	2,32	0,95
28	1	15,94	14,57	20,90	20,92	1,44	0,82
28	2	13,92	12,13	19,81	21,72	1,79	0,89
28	3	10,57	7,91	19,21	22,69	2,87	0,99
28	4	10,78	8,39	18,62	21,17	2,52	0,97
28	5	8,27	5,80	19,28	25,42	4,39	1,06
29	1	15,89	13,38	20,32	21,17	1,58	0,85
29	2	13,92	11,23	18,86	21,92	1,95	0,91
29	3	10,11	7,91	19,56	23,59	2,98	1,00
29	4	10,83	8,32	19,35	22,11	2,66	0,98
29	5	12,03	12,75	14,43	15,81	1,24	0,78

(continua)

Tabela A.1 - Conclusão

* A	* P	* R(4)	* R(5)	* R(6)	* R(7)	* RVI	* TVI
30	1	15,40	14,57	17,58	15,55	1,07	0,73
30	2	13,96	12,93	19,44	21,84	1,69	0,87
30	3	12,07	9,08	24,18	28,03	3,09	1,01
30	4	11,57	8,92	21,80	25,20	2,83	0,99
30	5	10,95	8,36	21,93	26,08	3,12	1,01
31	1	15,59	14,29	16,55	14,79	1,04	0,72
31	2	14,08	13,44	18,63	19,42	1,44	0,83
31	3	11,11	9,08	21,45	24,66	2,72	0,98
31	4	11,53	9,44	21,40	23,94	2,54	0,97
31	5	9,16	6,98	19,90	26,54	3,80	1,04
32	1	15,69	14,92	17,13	14,95	1,00	0,71
32	2	14,48	14,73	19,27	20,24	1,37	0,81
32	3	11,32	9,91	19,67	23,55	2,38	0,95
32	4	11,18	9,13	20,89	23,63	2,59	0,97
32	5	9,51	7,38	21,15	28,21	3,82	1,04

* A = Número da área canavieira

P = Passagem do satélite 1-02 set. 1982
2-20 out. 1982
3-24 jan. 1983
4-25 fev. 1983
5-14 abr. 1983

R(1), R(2), R(3) e R(4) são os valores de reflectância nas bandas 4, 5, 6 e 7 do sensor MSS, respectivamente.

TABELA A.2

VALORES DE REFLECTÂNCIA (R) PARA AS QUATRO BANDAS DO SENSOR MSS DO
LANDSAT E VALORES DOS ÍNDICES VEGETATIVOS NAS DUAS MELHORES PASSA
GENS DO SATÉLITE PARA O CONJUNTO DAS 74 ÁREAS CANAVIEIRAS

* A	* P	* R(1)	* R(2)	* R(3)	* R(4)	* RVI	* TVI	* TVI6	* DC	* DDVI
1	1	10,27	7,94	18,83	21,54	2,71	0,98	0,95	0,09	5,04
1	2	10,22	8,04	18,69	21,22	2,64	0,97	0,95	0,09	4,70
2	1	10,36	7,98	19,07	22,26	2,79	0,99	0,95	0,11	5,57
2	2	10,04	7,70	18,59	21,17	2,75	0,98	0,96	0,09	4,94
3	1	10,77	8,94	18,52	21,07	2,36	0,95	0,92	0,09	4,38
3	2	11,13	9,20	17,85	19,88	2,16	0,93	0,91	0,07	3,96
4	1	10,36	8,21	19,11	21,88	2,66	0,98	0,95	0,09	4,92
4	2	10,83	8,39	19,24	21,40	2,55	0,97	0,94	0,07	4,59
5	1	11,61	10,11	20,54	23,93	2,37	0,95	0,92	0,10	4,88
5	2	10,65	7,87	20,27	23,36	2,97	1,00	0,97	0,10	5,88
6	1	12,11	11,35	21,28	22,44	1,98	0,91	0,90	0,03	1,92
6	2	10,30	7,70	19,65	22,78	2,96	1,00	0,97	0,10	5,75
7	2	10,17	7,63	21,73	26,04	3,42	1,02	0,99	0,13	6,86
8	1	10,48	8,01	19,53	22,31	2,78	0,99	0,96	0,09	5,25
8	2	10,17	8,50	19,35	21,13	2,49	0,96	0,94	0,06	3,45
9	2	10,26	7,70	21,62	24,79	3,22	1,01	0,99	0,10	5,74
10	2	9,95	7,70	17,89	19,12	2,48	0,96	0,95	0,05	3,49
11	2	10,17	8,39	19,54	23,14	2,76	0,98	0,95	0,11	5,38
12	2	10,83	8,15	18,51	21,35	2,62	0,97	0,94	0,10	5,52
13	1	9,86	7,51	20,23	24,02	3,20	1,01	0,98	0,12	6,13

(continua)

Tabela A.2 - Continuação

* A	* P	* R(1)	* R(2)	* R(3)	* R(4)	* RVI	* TVI	* TVI6	* DC	* DDVI
13	2	9,74	8,04	18,15	20,55	2,55	0,97	0,94	0,08	4,09
14	1	11,32	9,08	21,45	25,51	2,81	0,99	0,95	0,12	6,30
15	1	11,69	8,61	22,68	26,62	3,09	1,01	0,97	0,11	7,03
15	2	11,35	9,37	21,04	23,32	2,49	0,96	0,94	0,07	4,27
16	2	10,61	8,29	21,26	24,66	2,98	1,00	0,97	0,10	5,73
17	1	10,31	7,91	22,22	26,11	3,30	1,02	0,99	0,11	6,29
18	1	11,32	8,24	22,64	26,79	3,25	1,01	0,98	0,12	7,22
18	2	11,83	8,64	23,16	26,80	3,10	1,01	0,98	0,10	6,84
19	1	12,36	9,11	23,45	26,62	2,92	1,00	0,97	0,09	6,42
19	2	12,09	8,81	22,54	25,46	2,89	0,99	0,97	0,09	6,21
20	1	11,02	8,51	22,26	25,73	3,02	1,00	0,97	0,10	5,98
20	2	11,05	8,57	21,73	25,15	2,94	1,00	0,97	0,10	5,90
21	1	12,07	10,58	22,61	25,00	2,36	0,95	0,93	0,07	3,88
21	2	11,05	8,92	22,83	26,27	2,95	1,00	0,97	0,10	5,57
22	1	10,19	7,84	20,33	25,21	3,21	1,01	0,97	0,15	7,22
22	2	10,70	8,39	22,17	25,64	3,06	1,00	0,98	0,10	5,78
23	1	11,53	8,34	22,85	27,43	3,29	1,02	0,98	0,13	7,76
23	2	11,70	8,64	22,72	26,13	3,03	1,00	0,97	0,10	6,48
24	1	11,11	8,24	23,03	27,99	3,40	1,02	0,99	0,14	7,83
24	2	11,26	8,50	21,62	25,02	2,94	1,00	0,97	0,10	6,16
25	1	10,23	8,18	20,51	24,23	2,96	1,00	0,96	0,11	5,77
25	2	11,35	7,87	20,71	24,03	3,05	1,00	0,97	0,10	6,81
26	2	9,95	7,97	21,91	25,37	3,18	1,01	0,98	0,10	5,44

(continua)

Tabela A.2 - Continuação

* A	* P	* R(1)	* R(2)	* R(3)	* R(4)	* RVI	* TVI	* TVI6	* DC	* DDVI
27	1	11,23	8,28	20,61	23,46	2,83	0,99	0,96	0,09	5,80
28	1	9,65	7,34	20,51	23,29	3,17	1,01	0,99	0,09	5,08
28	2	12,36	8,39	20,08	22,25	2,65	0,98	0,95	0,07	6,13
29	1	10,61	9,34	20,33	19,53	2,09	0,92	0,93	-0,03	0,46
29	2	11,26	8,50	20,27	23,45	2,76	0,98	0,95	0,10	5,95
30	1	11,07	9,01	19,49	21,75	2,41	0,96	0,93	0,07	4,31
30	2	11,31	9,09	17,93	19,97	2,20	0,94	0,91	0,07	4,26
31	1	11,32	8,24	22,54	26,32	3,19	1,01	0,98	0,11	6,86
31	2	12,71	9,89	22,57	24,84	2,51	0,96	0,94	0,07	5,08
32	1	10,61	9,31	19,74	22,95	2,46	0,96	0,93	0,10	4,50
32	2	11,35	9,23	19,13	21,26	2,30	0,95	0,92	0,07	4,25
33	1	9,69	7,48	20,93	24,36	3,26	1,02	0,99	0,11	5,64
33	2	10,17	7,35	20,30	23,32	3,17	1,01	0,98	0,10	5,84
34	1	10,61	8,74	20,61	22,56	2,58	0,97	0,95	0,06	3,81
34	2	11,09	10,03	19,06	20,95	2,09	0,92	0,90	0,06	2,95
35	1	10,48	8,41	19,77	23,20	2,76	0,98	0,95	0,11	5,50
35	2	10,74	8,36	20,23	22,74	2,72	0,98	0,96	0,08	4,89
36	1	10,48	8,14	20,51	23,16	2,84	0,99	0,97	0,08	4,99
36	2	10,39	7,66	20,19	23,32	3,04	1,00	0,97	0,10	5,86
37	1	10,77	8,98	18,69	20,68	2,30	0,95	0,92	0,07	3,79
37	2	10,92	9,13	18,33	20,55	2,25	0,94	0,91	0,07	4,01
38	1	10,27	7,64	20,12	23,59	3,09	1,01	0,97	0,11	6,09
38	2	10,87	8,64	19,24	21,62	2,50	0,96	0,94	0,08	4,61

(continua)

Tabela A.2 - Continuação

* A	* P	* R(1)	* R(2)	* R(3)	* R(4)	* RVI	* TVI	* TVI6	* DC	* DDVI
39	1	10,31	7,94	19,88	23,46	2,95	1,00	0,96	0,11	5,95
39	2	11,22	8,74	19,76	22,16	2,53	0,97	0,94	0,08	4,88
40	1	10,06	7,84	19,70	23,38	2,98	1,00	0,96	0,12	5,89
40	2	10,35	8,36	19,87	22,87	2,74	0,98	0,95	0,10	5,00
41	1	10,69	8,94	20,23	23,16	2,59	0,97	0,94	0,09	4,68
41	2	11,09	9,61	19,43	21,49	2,23	0,94	0,92	0,07	3,54
42	1	10,06	7,24	21,03	24,87	3,43	1,02	0,99	0,12	6,66
42	2	10,61	7,45	21,62	24,35	3,27	1,02	0,99	0,09	5,88
43	2	10,48	8,04	20,08	22,60	2,81	0,99	0,96	0,08	4,95
44	1	10,19	7,34	18,93	21,45	2,92	0,99	0,97	0,09	5,36
44	2	10,26	7,80	19,43	22,02	2,82	0,99	0,96	0,09	5,06
45	1	10,61	8,51	18,83	21,67	2,55	0,97	0,94	0,09	4,93
45	2	10,61	8,74	19,17	20,77	2,38	0,95	0,93	0,05	3,47
46	1	10,82	9,34	19,63	22,65	2,42	0,96	0,92	0,09	4,49
46	2	10,83	8,67	18,99	21,13	2,44	0,96	0,93	0,07	4,30
47	2	10,39	8,85	18,26	21,22	2,40	0,95	0,92	0,10	4,51
48	1	10,69	9,41	20,51	22,86	2,43	0,96	0,93	0,07	3,63
48	2	10,39	6,93	22,46	25,91	3,74	1,04	1,01	0,11	6,91
49	1	11,23	9,58	19,11	21,54	2,25	0,94	0,91	0,08	4,08
49	2	10,61	8,39	19,79	21,67	2,58	0,97	0,95	0,06	4,09
50	1	10,94	8,98	20,16	22,86	2,55	0,97	0,94	0,08	4,67
50	2	10,78	8,85	18,26	20,55	2,32	0,95	0,92	0,08	4,23
51	1	10,57	7,91	19,21	22,69	2,87	0,99	0,96	0,11	6,13

(continua)

Tabela A.2 - Continuação

* A	* P	* R(1)	* R(2)	* R(3)	* R(4)	* RVI	* TVI	* TVI6	* DC	* DDVI
51	2	10,78	8,39	18,62	21,17	2,52	0,97	0,94	0,09	4,94
52	1	11,02	10,68	18,76	21,58	2,02	0,92	0,88	0,09	3,17
52	2	10,48	8,74	18,69	21,00	2,40	0,96	0,93	0,08	4,04
53	1	10,11	7,91	19,56	23,59	2,98	1,00	0,96	0,13	6,22
53	2	10,83	8,32	19,35	22,11	2,66	0,98	0,95	0,09	5,26
54	2	11,70	9,72	19,54	21,35	2,20	0,94	0,91	0,06	3,80
55	1	10,06	8,34	18,59	21,03	2,52	0,97	0,94	0,08	4,16
56	2	10,70	8,22	19,54	22,47	2,73	0,98	0,95	0,10	5,41
57	1	9,77	7,24	18,65	22,09	3,05	1,00	0,97	0,12	5,97
57	2	10,83	7,97	20,27	22,69	2,85	0,99	0,97	0,08	5,28
58	1	10,69	7,68	20,33	23,29	3,03	1,00	0,98	0,10	5,97
58	2	11,26	9,72	19,72	20,77	2,14	0,93	0,92	0,03	2,60
59	1	10,06	8,68	20,58	23,72	2,73	0,98	0,95	0,10	4,52
59	2	11,05	7,97	19,61	22,92	2,87	0,99	0,96	0,11	6,38
60	1	12,07	9,08	24,18	28,03	3,09	1,01	0,98	0,10	6,84
60	2	11,57	8,92	21,80	25,20	2,83	0,99	0,96	0,10	6,05
61	2	11,35	9,02	21,44	24,57	2,72	0,98	0,95	0,09	5,46
62	1	10,48	8,51	22,61	27,86	3,27	1,02	0,98	0,14	7,22
62	2	11,35	8,85	23,74	27,03	3,06	1,00	0,98	0,09	5,79
63	1	12,49	11,35	21,56	23,93	2,11	0,93	0,90	0,07	3,51
63	2	12,44	9,72	23,56	26,94	2,77	0,98	0,96	0,09	6,10
64	1	11,02	8,01	23,20	25,51	3,18	1,01	0,99	0,07	5,32
64	2	10,26	7,87	20,27	23,45	2,98	1,00	0,97	0,10	5,58

(continua)

Tabela A.2 - Conclusão

* A	* P	* R()	* R()	* R()	* R()	* RVI	* TVI	* TVI6	* DC	* DDVI
65	1	11,02	9,18	23,66	28,08	3,06	1,00	0,97	0,12	6,26
65	2	13,01	10,14	22,24	25,51	2,52	0,97	0,93	0,09	6,14
66	1	11,94	10,18	19,88	22,52	2,21	0,94	0,91	0,08	4,41
66	2	14,36	11,71	23,45	25,33	2,16	0,93	0,91	0,05	4,54
67	1	10,61	8,41	20,58	23,38	2,78	0,99	0,96	0,09	4,99
67	2	11,00	8,92	20,74	23,72	2,66	0,98	0,95	0,09	5,06
68	2	13,97	11,71	22,28	22,69	1,94	0,91	0,90	0,01	2,68
69	1	10,82	8,91	21,73	25,00	2,81	0,99	0,96	0,10	5,17
69	2	13,97	11,46	21,91	24,03	2,10	0,92	0,90	0,06	4,63
70	1	11,86	9,18	23,55	26,37	2,87	0,99	0,97	0,08	5,50
70	2	13,62	11,04	23,23	25,64	2,32	0,95	0,92	0,07	4,99
71	1	11,73	9,51	21,56	25,00	2,63	0,97	0,94	0,10	5,66
71	2	14,85	13,03	23,38	24,93	1,91	0,90	0,89	0,04	3,36
72	2	11,05	10,76	21,36	22,92	2,13	0,93	0,91	0,05	1,83
73	1	11,11	9,08	21,45	24,66	2,72	0,98	0,95	0,09	5,23
73	2	11,53	9,44	21,40	23,94	2,54	0,97	0,94	0,08	4,63
74	1	11,32	9,91	19,67	23,55	2,38	0,95	0,91	0,12	5,28
74	2	11,18	9,13	20,89	23,63	2,59	0,97	0,94	0,08	4,79

* A = Número da área canavieira

P = Passagem do satélite 1-24 jan. 1983
2-25 fev. 1983

R(1), R(2), R(3) e R(4) são os valores de refletância nas bandas 4, 5, 6 e 7 do sensor MSS respectivamente.

APÊNDICE B

LISTAGEM DO PROGRAMA DO MODELO AGROMETEOROLÓGICO

- B.2 -

LISTAGEM DO PROGRAMA UTILIZADO PARA O CÁLCULO DA
PRODUTIVIDADE REAL, ESTIMADA DA CONDIÇÃO DE AÇÚCAR
PELO MODELO AGROMETEOROLÓGICO

```

C*****
C*
C*   PROGRAMA      :   SAFRAS (MODELO AGROMETEOROLÓGICO)
C*
C*   AUTORES       :   BERNARDO FRIEDRICH THEODOR RUDORFF
C*                   :   MOACIR GODOY JUNIOR
C*
C*   FUNÇÃO        :   ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE
C*
C*   ENTRADA       :   DADOS METEOROLÓGICOS E AGRONÔMICOS
C*
C*   SAÍDA         :   PRODUTIVIDADE MÁXIMA E PRODUTIVIDADE REAL
C*                   :   ESTIMADA
C*
C*****

```

```

FILE 1(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="DADMET")
FILE 2(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="TABELAS")
FILE 3(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="KCKY")
FILE 4(KIND=PRINTER)
FILE 5(KIND=REMOTE,MYUSE=10)

```

C* DIMENSIONAMENTO DAS VARIÁVEIS A SEREM UTILIZADAS

```

      DIMENSION KANO(100),MFS(100),IDEC(100),ND(100),AH(100),AP(100),
*AU(100),AT(100),AV2(100),ATX(100),ATT(100),HTNSOL(100),NDI(100),
*,PRECIP(100),UNTRFI(100),TFMEDI(100),VHFD2M(100),THAX(100),
*TMIN(100),ILAT(100),IND(100),VALUE(100,100),CIAF(100),CGOL(100),
*ICU(100),AETH(100,100),ITEMP(100),EA(100),DELTA(100),AMDA(12),
*TPMSH(100,100),ETH(100),ARN(100),BR(1),RMF(100),ACHETH(100),
*,PNEST(100),ETMP(100),NEGACU(100),TKY(5),RMPTAC(50),ACHETA(100)
      DATA TKY/1,2,1.15,1.25,0.85,1.25/
      DATA AMDA/3HJAN,3HEFV,3HMAR,3HABR,3HMAI,3HJUN,3HJUL,3HAGO,3HSET,
*3HOUT,3HNOV,3HDEZ/

```

C* ARMAZENAMENTO DAS TABELAS

```

      WRITE(5,1)
1    FORMAT(1H1,20X,'S  A  F  R  A  S',//,71('='),////////,
      *EDY-'A  F  R  A  Z  E  R  A  N  D  O  P  A  D  O  S')
      DO 3 I=1,20
      READ(2,2)ELAT(I),LPO(I),(VALUF(I,J),J=1,12)
2    FORMAT(2I2,4X,12F6,4)
3    CONTINUE
      DO 5 I=1,8
      READ(2,4)CTAC(I),CCOL(I)
4    FORMAT(F3,1,1X,F4,2)
5    CONTINUE
      DO 7 I=1,2
      READ(2,6)ICU(I),(AETH(I,J),J=1,9)
6    FORMAT(1I,2X,9(F4,2,1X))
7    CONTINUE
      DO 9 I=1,21
      READ(2,8)ITIME(I),EAC(I),DELTA(I),(TPHSH(I,J),J=1,5)
8    FORMAT(12,7(2X,F6,3))
9    CONTINUE

C*  IDENTIFICACAO DA AREA

      WRITE(4,66)
10    WRITE(5,11)
11    FORMAT(1H1,20X,'S  A  F  R  A  S',//,71('='),////////,
      *' SUA OPCAO PARA MEDIAS EH :',//,13X,
      *'1 - MENSAGIS',//,13X,'2 - DECENDIOS',//,13X)
      READ(5,7)MEDIA
      IF(MEDIA.LE.1.AND.MEDIA.NE.2)GO TO 10
12    WRITE(5,13)
13    FORMAT(1H1,20X,'S  A  F  R  A  S',//,71('='),////////,
      *' QUAL O TIPO DE CULTURA??',//,10X,'1 - CANA',
      *',',10X,'2 - FEIJAO',//,10X,'3 - MILHO',//,10X,'4 - SOJA',//,10X,
      *'5 - ARROZ',//,13X)
      READ(5,7)IC
      IF(IC.LE.1.AND.IC.GT.5)GO TO 12
      IF(MEDIA.EQ.2)GO TO 23
14    WRITE(5,15)
15    FORMAT(1H1,20X,'S  A  F  R  A  S',//,71('='),////////,
      *' ENTRE COM O MES ANTERIOR',//,' E O ANO DO PLANTIO',//)
      READ(5,7)INES,IANO
      IF(INES.LE.1.OR.INES.GT.12.OR.IANO.GT.99)GO TO 14
16    WRITE(5,17)
17    FORMAT(1H1,20X,'S  A  F  R  A  S',//,71('='),////////,
      *' ENTRE COM O CICLO DA CULTURA EM MESES',//)
      READ(5,7)ICTCLO
      DO 20 I=1,3
18    READ(1,19)EANO(I),MES(I),IDEC(I),NDI(I),AH(I),AF(I),AHI(I),ATI(I),
      *AV2(I),ATX(I),ATT(I)

```

```
IF(KAMO(I).NE.IAMO.OR.INES.NE.MES(1))GO TO 18
19  FORMAT(A13,I3,I3,F6.2,2F6.1,F7.1,F6.1,F7.1,F6.1,F7.1)
NDIA=NDIA+NDI(I)
AHINSO=AHINSO+AH(I)
APRECT=APRECT+AP(I)
AUMIRE=AUMIRE+AU(I)
ATEMED=ATEMED+AT(I)
AVMED2=AVMED2+AV2(I)
ATMAX=ATMAX+ATX(I)
ATMIN=ATMIN+ATI(I)
20  CONTINUE
ND(I)=NDIA
HINSOL(I)=AHINSO/3.
PRECIP(I)=APRECT
UMIREL(I)=AUMIRE/3.
TEMEDT(I)=ATEMED/3
VMED2M(I)=AVMED2/3
TMAX(I)=ATMAX/3
TMIN(I)=ATMIN/3
NDIA=0
AHINSO=0.0
APRECT=0.0
AUMIRE=0.0
ATEMED=0.0
AVMED2=0.0
ATMAX=0.0
ATMIN=0.0
DO 22 K=2,ICICLO+1
DO 24 I=1,3
READ(4,49)KAMO(K),MES(K),IDEC(K),NDI(I),AH(I),AP(I),AU(I),AT(I),
*AV2(I),ATX(I),ATI(I)
NDIA=NDIA+NDI(I)
AHINSO=AHINSO+AH(I)
APRECT=APRECT+AP(I)
AUMIRE=AUMIRE+AU(I)
ATEMED=ATEMED+AT(I)
AVMED2=AVMED2+AV2(I)
ATMAX=ATMAX+ATX(I)
ATMIN=ATMIN+ATI(I)
21  CONTINUE
AMDGER=AMDGER+ATEMED
ND(K)=NDIA
HINSOL(K)=AHINSO/3
PRECIP(K)=APRECT
UMIREL(K)=AUMIRE/3
TEMEDT(K)=ATEMED/3
VMED2M(K)=AVMED2/3
TMAX(K)=ATMAX/3
TMIN(K)=ATMIN/3
NDIA=0
AHINSO=0.0
APRECT=0.0
```

```

AUMTPE=0.0
ATFNEP=0.0
AVNEP2=0.0
ATMAX=0.0
ATMIN=0.0
22  CONTINUE
    ANCIC=AMDGER/(3.*ICICLO)
    GO TO 29

C*   CALCULO POR DECENDIOS

23  WRITE(5,24)
24  FORMAT(1H1,20X,'S A F R A S',//,71('='),////////,
  *' ENTRE COM O MES-ANO',/,', E DECENDIO ANTERIOR AO PLANTIO ',//)
    READ(5,/)IMES,TANO,KDEC
    IF(TANO.GT.99.OR.IMES.LT.1.OR.IMES.GT.12.OR.KDEC.GT.3.OR.
  *KDEC.LT.1)GO TO 23
    WRITE(5,25)
25  FORMAT(1H1,20X,'S A F R A S',//,71('='),////////,
  *' ENTRE COM O NUMERO DE DECENDIOS DO CICLO DA CULTURA',//)
    READ(5,/)ICICLA
26  READ(1,19)KANO(1),MES(1),IDEC(1),ND(1),HINSOL(1),PRECIP(1),
  *UMIREL(1),TEHEDI(1),VMED2H(1),TMAX(1),TMIN(1),PNEST(1)
    IF(KANO(1).NE.IANO.OR.MES(1).NE.IMES.OR.IDEC(1).NE.KDEC)GO TO 26
    DO 27 K=2,ICICLA+1
      READ(1,19)KANO(K),MES(K),IDEC(K),ND(K),HINSOL(K),PRECIP(K),
  *UMIREL(K),TEHEDI(K),VMED2H(K),TMAX(K),TMIN(K),PNEST(K)
      SMMEN=SMMEN+TEHEDI(K)
27  CONTINUE
    AMCIC=SMMEN/ICICLA
28  IRODA=ICICLO+1
    IF(MEDIA.EQ.2)IRODA=ICICLA+1

C*   CALCULO DO YH

    CPNSI=0.5
    WRITE(5,29)
29  FORMAT(1H1,20X,'S A F R A S',//,71('='),////////,
  *' QUAL A LATITUDE MAIS PROXIMA DE SUA AREA ?',
  *//,1X,'10, 15, 20, 25, 30, 35 GRAUS ')
    READ(5,/)LAT
    WRITE(5,30)
30  FORMAT(1H1,20X,'S A F R A S',//,71('='),////////,
  *' QUAL A ALTITUDE DE SUA REGIAO ?')
    READ(5,/)ALT
    WRITE(5,31)
31  FORMAT(1H1,20X,'S A F R A S',//,71('='),////////,
  *' QUAL A CAPACIDADE DE RETENCAO DE AGUA DO SOLO?')
    READ(5,/)CPAS
    WRITE(5,32)

```

```

32  FORMAT(1H1,20X,'S  A  F  R  A  S',//,71('='),////////,
*' LOCALIZE SUA REGIÃO NO MAPA E ENTRE COM 1,2 OU 3')
  READ(5,/)R
  IF(R.EQ.1)GO TO 33
  IF(R.EQ.2)GO TO 34
  IF(R.EQ.3)GO TO 35
33  A=0.18
  B=0.55
  GO TO 36
34  A=0.25
  B=0.45
  GO TO 36
35  A=0.29
  B=0.42
36  WRITE(5,37)
37  FORMAT(1H1,20X,'S  A  F  R  A  S',//,71('='),////////,
*' SEUS PARÂMETROS PARA CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO',/,
*'          JÁ SE ENCONTRAM EM DISCO ? S/N ')
  READ(5,67)BR(1)
  DO 42 I=2,1804
  DO 38 K=1,30
    IF(TLAT(K).EQ.LAT.AND.IND(K).EQ.1)RMOCDC=VALUE(K,MES(I))
    IF(TLAT(K).EQ.LAT.AND.IND(K).EQ.2)HMI=VALUE(K,MES(I))
    IF(TLAT(K).EQ.LAT.AND.IND(K).EQ.3)RET=VALUE(K,MES(I))
    IF(TLAT(K).EQ.LAT.AND.IND(K).EQ.4)TPMSBN=VALUE(K,MES(I))
    IF(TLAT(K).EQ.LAT.AND.IND(K).EQ.5)TPMSBL=VALUE(K,MES(I))
38  CONTINUE
  RROCI=((A+B*HINSOL(I))/HMI)*RET*59
  FDCN=(RMOCDC-0.5*RROCI)/(0.8*RMOCDC)
  DO 39 L=1,24
    IF(ITEMP(L).EQ.FIX(TEMPDI(I)))ATPMSh=TPMSh(L,IC)
39  CONTINUE
  IF(ATPMSh.LT.20) GO TO 40
  AA=0.8
  BB=0.01
  CC=0.5
  DD=0.025
  GO TO 41
40  AA=0.5
  BB=0.025
  CC=0.0
  DD=0.05
41  RMP(I)=CPMSL*CIAF(IC)*CCOL(IC)*ND(I)*((FDCN*(AA+BB*ATPMSh)
*TPMSBN)+((1-FDCN)*(CC+DD*ATPMSh)*TPMSBL))
  RMPT=RMPT+RMP(I)
  IF(IC.EQ.1)RMPTAC(1)=RMPT
42  CONTINUE
  IF(IC.EQ.1)GO TO 45
  WRITE(4,43)IRODA-1,RMPT
43  FORMAT(' RENDIMENTO MÁXIMO ACUMULADO NO MES/DEC ',12,' =',F10.2)
  WRITE(4,44)
44  FORMAT(1H1)

```

```

45 DO 60 N=1,TRODA
   DO 56 LN=1,24
   IF (ITEMP(LN).EQ.1) IFIX(TEMEDI(M))ADELTA=DELTA(LN)
   IF (ITEMP(LN).EQ.2) IFIX(TEMEDI(M))AFA=FA(LN)
46 CONTINUE
   FTR(L)=1.505E-12*(1.60*(273.0+TEMEDI(M))**4
   DO 47 K=1,30
   IF (CHAT(K).EQ.1) AND (IND(K).EQ.2) HNT=VALUE(K,HES(4))
   IF (CHAT(K).EQ.1) AND (IND(K).EQ.3) PFT=VALUE(K,HES(4))
47 CONTINUE
   FIROL=0.4+0.8*(HINSOL(M)/HMI)
   ED=AEA*UMIRFI(M)/100.
   FEDROL=0.56-(0.079*SQRT(ED))
   RLCL=FTRCL*ETPOL*FEDROL
   RROCIH=(8*(H-HINSOL(M)/HMI))*RET
   RLTOC=EROCIH*0.75-RLCL
   GAMA=0.66
   PNHAR=1000
   IF (IC.EQ.1) PPNEST=PNHAR/(1+((9.84*IALT)/(278.04*(TEMEDI(M)+273)))
   IF (IC.EQ.1) TABLEX=(ADELTA*PNHAR)/(GAMA*PPNEST)
   IF (IC.NE.1) TABLEX=(ADELTA*PNHAR)/(GAMA*PNEST(M))
   ZDELTA=TMAX(M)-THIN(M)
   IF (ZDELTA.LE.12) ADEL=0.54
   IF (ZDELTA.GT.12 .AND. ZDELTA.LE.13) ADEL=0.61
   IF (ZDELTA.GT.13 .AND. ZDELTA.LE.14) ADEL=0.68
   IF (ZDELTA.GT.14 .AND. ZDELTA.LE.15) ADEL=0.75
   IF (ZDELTA.GT.15 .AND. ZDELTA.LE.16) ADEL=0.82
   IF (ZDELTA.GT.16) ADEL=0.89
   BDELTA=ADEL*VMFD2H(M)*(10.0/36.0)+1.0
   ETO=((TABLEX*RLTOC)+((0.26*(AEA-ED))*BDELTA))/(TABLEX+1)
   IF (DR(1).EQ.1) GO TO 50
   IF (MEDIA.EQ.1) WRITE(5,48) ICICLO,M-1
48 FORMAT(1H1,20X,'S A F R A S',//,71('='),//,///,
   *1H1,'SUA OPCAO : MEDIAS MENSAIS',//,
   *' DURACAO DO CICLO :',I2,' MESES',//,' ENTRE COM KC,KY E A',
   *' PROFUNDIDADE DO SISTEMA RADICULAR PARA 0',I2,' MES',//,///)
   IF (MEDIA.EQ.2) WRITE(5,49) ICICLO,M-1
49 FORMAT(1H1,20X,'S A F R A S',//,71('='),//,///,
   *1H1,'SUA OPCAO : MEDIAS DECENDIAIS',//,
   *' DURACAO DO CICLO :',I2,' DECENDIOS',//,
   *' ENTRE COM KC,KY E PROFUNDIDADE DO SISTEMA RADICULAR PARA',//,
   *' 0',I2,' DECENDIO',//,///)
   READ(5,/)CK,YK,D
   GO TO 51
50 READ(5,/)CK,YK,P
51 ETH(M)=CK*ETO
   ETH(M)=ETH(M)+AD(M)
   PPIFYH=PRECIP(M)-ETH(M)
   IF (H.RE.1) GO TO 52
   ARM(1)=0.5*PRECIP(1)+1
   NEGRCH(1)=(ALOG(ARM(1))-ALOG(CRAS))* (CRAS-2)
   GO TO 60

```

- B.8 -

```

52  IF(PPTETM.LT.0.160)GO TO 53.
    ARM(N)=PPTETM+ARM(N-1)
    IF(ARM(N).GT.CRAS)ARM(N)=CRAS
    NEGACU(N)=(ALOG(ARM(N))-ALOG(CRAS))*(CRAS-2)
    GO TO 54
52  NEGACU(N)=NEGACU(N-1)+PPTETM
    ARM(N)=CRAS*(EXP(NEGACU(N)/(CRAS-2)))
54  CETM=ETM(N)*0.5
    IF(ETM(N).LT.2.0)CETM=2.0
    IF(ETM(N).GT.40.0)CETM=40.0
    BETM=AETM(2,(IFIX(CETM-1)))
    IF(IC.EQ.2)BETM=AETM(1,(IFIX(CETM-1)))
    AGAREN=(1-BETM)*CRAS*0
    ARMPRF=ARM(N-1)*0+PRECIP(N)
    IF(ARMPRF.GT.CRAS)ARMPRF=CRAS
    ASI=(ARMPRF-AGAREN)/ETM(N)
    IF(ASI.GE.1.0)GO TO 54
    WRITE(5,55)ASI,AGAREN,ETM(N)
55  FORMAT(1H1,20X,'S A F R A S',//,71('='),////////,
    *' DADO ASI =' ,F7.3,' AGAREN =' ,F6.1,' ETM =' ,F5.3,/-
    *' PROCURE NA TABELA 1 O VALOR DE ETA E ENTRE COM O MESMO')
    READ(5,/)ETA
    GO TO 57
56  ETA=ETM(N)
57  ALPM=1.0-(YK*(1.0-ETA/ETM(N)))
    WRITE(4,58)N-1,ALPM
58  FORMAT(' INDICE DE PENALIZACAO PARA O ',I2,' MES/DECENDIO = ',
    *F10.2,/)
    ACTA=ACTA+ETA
    ACMETA(N)=ACTA
    ACTM=ACTM+ETM(N)
    ACNETM(N)=ACTM
    WRITE(4,59)ETO,ETM(N),ETA,ACTM,ACTA,ASI,AGAREN
59  FORMAT(' ETO          =' ,F8.3,/-
    *' ETM          =' ,F8.3,/,/' ETA          =' ,F8.3,/,/-
    *' ETM ACUMULADO =' ,F8.3,/,/' ETA ACUMULADO =' ,F8.3,/-
    *' ACT          =' ,F8.3,/,/' AGAREN          =' ,F8.3,/,/72('*'),/)
60  CONTINUE
    IF(IC.NE.1)GO TO 63
    DO 62 I=8,1000
        RIFG=1-(TKY(I)*(1-ACNETA(I)/ACNETM(I)))
        RRG=RIFG*RMPIAC(I)/1000.
        WRITE(4,64)ANDA(MES(2)),KANO(2),ANDA(MES(1)),KANO(1),
    *RMPIAC(I)/1000.,RRG,RIFG,I-1
61  FORMAT(////-' PARA PLANTIO EM ',A3,'/19',I2,2X,
    *'E COINHEITA EM ',A3,'/19',I2,/,/
    *' RENDIMENTO MAXIMO          =' ,F12.2,/-
    *' RENDIMENTO REAL          =' ,F12.2,/-
    *' INDICE DE PENALIZACAO GERAL =' ,F6.4,/-
    *' DURACAO DO CICLO          =' ,I2,1X,'MESES',////,71('*'))
62  CONTINUE
    GO TO 65

```

```

63  RIFB=1.-(TKY(IC)*(1.-ACTA/ACTM))
    RRG=RIFB*RMFT
    WRITE(4,64) IDEC(2)-MES(2),RIFB-RRG
64  FORMAT(///?' INDICE DE REABILITACAO GERAL'//?' PARA PLANTIO NO ',
*12,' DEPENDIO DO MES ',12,' >>>>?',F0.4,/,
*?' RENDIMENTO EFAL GERAL >>>>?',F0.1)
65  WRITE(5,65)
66  FORMAT(1H1,////,3X,7('S'),4X,7('A'),3X,9('F'),2X,8('R'),4X,7('A'),
*,4X,7('S'),/,2X,9('S'),2X,9('A'),2X,9('F'),2X,9('R'),2X,9('A'),2X
*,9('S'),/,2X,2('S'),5X,2('S'),2X,2('A'),5X,2('A'),2X,2('F'),5X,
*,2('F'),2X,2('R'),5X,2('R'),2X,2('A'),5X,2('A'),2X,2('S'),5X,
*,2('S'),/,2X,2('S'),9X,2('A'),5X,2('A'),2X,2('F'),9X,2('R'),
*,5X,2('R'),2X,2('A'),5X,2('A'),2X,2('S'),/,2X,9('S'),9X,9('A'),
*,2X,6('F'),5X,9('R'),2X,9('A'),2X,8('S'),/,3X,8('S'),2X,
*,9('A'),2X,6('F'),5X,8('R'),3X,9('A'),3X,8('S'),/,9X,2('S')-
*,2X,2('A'),5X,2('A'),2X,2('F'),9X,2('R'),2X,2('R'),5X,2('A'),
*,5X,2('A'),9X,2('S'),/,2X,2('S'),5X,2('S'),2X,2('A'),5X,2('A')
*,2X,2('F'),9X,2('R'),3X,2('R'),4X,2('A'),5X,2('A'),2X,2('S')-
*,5X,2('S'),/,2X,9('S'),2X,2('A'),5X,2('A'),2X,2('F'),9X,2('R')
*,4X,2('R'),3X,2('A'),5X,2('A'),2X,9('S'),/,3X,7('S'),9X,2('A')-
*,5X,2('A'),2X,2('F'),9X,2('R'),5X,2('R'),2X,2('A'),5X,2('A'),
*,3X,7('S'),////)
    REWIND 3
    REWIND 1
    AHINSO=0.0
    APRECI=0.0
    AUMIRE=0.0
    ATEMED=0.0
    AVMED2=0.0
    ATMAX=0.0
    ATMIN=0.0
    RMFT=0.0
    ACTA=0.0
    ACTM=0.0
    NDIA=0
    ANDGER=0.0
    WRITE(5,/) ?           QUPR   (C) CONTINUAR   OU   (P) PARAR   ??'
    READ(5,67) BR(1)
67  FORMAT(A1)
    IF(BR(1).EQ.1HC)GO TO 40
    STOP
    END

```