



PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS
AUTORES / **AUTHORS**
 ÍNDICES VEGETATIVOS
 MODELO AGROMETEOROLÓGICO
 MODELO DE PRODUTIVIDADE

AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY
 Roberto Pereira da Cunha
 Diretor Sens. Remoto

AUTOR RESPONSÁVEL
 RESPONSIBLE AUTHOR

 Bernardo F.T. Rudorff

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

REVISADA POR / REVISED BY

 Antonio Roberto Formaggio

COU/UOC
 528.711.7:633.61

DATA / DATE
 Junho, 1989

TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO INPE-4831-RPE/592
	ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR ATRAVÉS DE UM MODELO AGROMETEOROLÓGICO-ESPECTRAL
AUTORES/AUTHORSHIP	Bernardo Friedrich Theodor Rudorff Getulio Teixeira Batista

ORIGEM
ORIGIN
DPA

PROJETO
PROJECT
ESTIMA

Nº DE PAG.
NO OF PAGES
100

ULTIMA PAG.
LAST PAGE
B13

VERSÃO
VERSION

Nº DE MAPAS
NO OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um modelo de estimativa de produtividade agrícola da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). O modelo utiliza dados espectrais do Landsat em conjunto com dados de produtividade estimados a partir de um modelo agrometeorológico. A área teste abrange os canaviais da Usina Barra Grande situada em Lençóis Paulista (SP). Foram utilizados dados de produção, da usina, de quatro anos safras. Com os dados de produtividade observada do primeiro ano safra analisado (83/84) foi feita a regressão com os dados espectrais e agrometeorológicos deste mesmo ano safra obtendo-se assim o modelo para a safra 84/85. Para se obter o modelo de estimativa nos anos safra seguintes (inclusive da safra 87/88) foi utilizado a mesma sistemática, sendo que os dados das safras anteriores foram incluídos na construção do modelo de cada ano safra. As estimativas de produtividade obtidas através deste modelo explicaram 69%, 54% e 50% da variação da produtividade observada, respectivamente nos anos safra 84/85, 85/86 e 86/87. Foram analisadas também as estimativas de produtividade obtidas a partir dos dados espectrais (modelo índice vegetativo) e dados agrometeorológicos (modelo agrometeorológico) a fim de verificar o desempenho destes modelos, em separado.

OBSERVAÇÕES / REMARKS
 Projeto realizado em convênio com o Banco do Brasil S.A. e financiado pela Fundação Banco do Brasil.

AGRADECIMENTOS

À Usina Barra Grande pelo fornecimento das informações sobre o sistema de produção agrícola da Usina, em especial ao Engenheiro Agrônomo Érseni Nelli.

À Fundação Banco do Brasil pelo suporte financeiro que viabilizou a realização deste trabalho.

Aos Engenheiros Agrônomos Bernardo Yosuhiko Ide e Luiz Salviati pelo incentivo, sugestões e envio de informações relevantes.

À estagiária Cilma Cabral pela datilografia deste trabalho.

•
• •

ABSTRACT

This work has the objective to assess the performance of an yield estimation model for sugarcane (*Saccharum officinarum*). The model uses spectral data along with yield data estimated from an agrometeorological model. The test site includes the sugarcane plantations of the Barra Grande Plant located in Lençois Paulista municipality in São Paulo State. Production data of four crop years were analyzed. Yield data observed in the first crop year (1983/84) were regressed against spectral and agrometeorological data of that same year. This provided the model to predict the yield for the next crop year i.e. 1984/85. The model to predict the yield of subsequent years (up to 1987/88) were obtained by incorporating all previous years data. The yield estimations obtained from these models explained 69%, 54%, and 50% of the yield variation in the 1984/85, 1985/86, and 1986/87 crop years, respectively. The accuracy of yield estimations based on spectral data only (vegetation index model) and on agrometeorological data only (agrometeorological model) were also investigated.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1 - Resposta espectral característica de vegetação verde.....	6
Fig. 2.2 - Reflectância de folhas de algodão superpostas até um total de seis camadas.....	7
Fig. 3.1 - Localização da área de estudo.....	12
Fig. 3.2 - Dinâmica do cultivo da cana-de-açúcar.....	13
Fig. 4.1 - Regressão da produtividade observada (PO) com a produtividade estimada pelo modelo proposto (PEST) para a safra 84/85.....	53
Fig. 4.2 - Regressão da produtividade observada (PO) com a produtividade estimada pelo modelo proposto (PEST) para a safra 85/86.....	54
Fig. 4.3 - Regressão da produtividade observada (PO) com a produtividade estimada pelo modelo proposto (PEST) para a safra 86/87.....	55

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	<i>vii</i>
LISTA DE TABELAS.....	<i>ix</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</u>	<u>1</u>
<u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO DE LITERATURA.....</u>	<u>5</u>
2.1 - A ENERGIA REFLETIDA PELAS PLANTAS.....	5
2.2 - SENSORIAMENTO REMOTO E MODELOS DE PRODUTIVIDADE...	7
2.3 - TRANSFORMAÇÃO DOS DADOS LANDSAT EM ÍNDICES VEGETATIVOS E SUAS APLICAÇÕES.....	9
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS.....</u>	<u>11</u>
3.1 - ÁREA ESTUDO.....	11
3.2 - CANA-DE-AÇÚCAR.....	12
3.3 - ESTIMATIVA DA SAFRA NA USINA.....	14
3.4 - DADOS E INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS NA USINA REFERENTE À CANA-DE-AÇÚCAR.....	15
3.5 - DADOS LANDSAT.....	23
3.6 - SELEÇÃO DA AMOSTRA DAS ÁREAS CANAVIEIRAS....	24
3.7 - IMAGE-100.....	24
3.8 - PROCEDIMENTO PARA AQUISIÇÃO DOS DADOS ESPECTRAIS NO I-100.....	25
3.9 - NORMALIZAÇÃO DOS DADOS DIGITAIS DO LANDSAT.....	26
3.10 - ÍNDICE VEGETATIVO.....	27
3.11 - MODELO AGROMETEOROLÓGICO.....	29
3.12 - MODELO DE PRODUTIVIDADE PROPOSTO.....	43

<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES</u>	45
4.1 - MODELO AGROMETEOROLÓGICO.....	45
4.2 - MODELO ÍNDICE VEGETATIVO.....	50
4.3 - MODELO PROPOSTO.....	51
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u>	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
APENDICE A - DADOS DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA USINA, DADOS ESPECTRAIS DO LANDSAT E PRODUTIVIDADE ESTIMADA PELOS MODELOS ANALISADOS NA SAFRA 83/84, 84/85, 85/86 E 86/87.	
APENDICE B - LISTAGEM DO PROGRAMA DO MODELO AGROMETEOROLÓGICO E ARQUIVO DE DADOS.	

LISTA DE TABELAS

1.1 - CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES E SENSORES TRANSMISSORES DE DADOS PARA AS ANTENAS DE RECEPÇÃO DE CUIABÁ-MT E CACHOEIRA PAULISTA-SP.....	2
3.1 - DADOS DE PRODUÇÃO (Ton), ÁREA PLANTADA (Ha) E PRODUTIVIDADE (Ton/Ha) PARA AS PRINCIPAIS VARIEDADES/ESTÁGIOS COLHIDOS NA SAFRA 83/84 NA USINA BARRA GRANDE.....	16
3.2 - DADOS DE PRODUÇÃO (Ton), ÁREA PLANTADA (Ha) E PRODUTIVIDADE (Ton/Ha) PARA AS PRINCIPAIS VARIEDADES/ESTÁGIOS COLHIDOS NA SAFRA 84/85 NA USINA BARRA GRANDE.....	17
3.3 - DADOS DE PRODUÇÃO (Ton.), ÁREA PLANTADA (Ha) E PRODUTIVIDADE (Ton/Ha) PARA AS PRINCIPAIS VARIEDADES/ESTÁGIOS COLHIDAS NA SAFRA 85/86 NA USINA BARRA GRANDE.....	18
3.4 - DADOS DE PRODUÇÃO (Ton.), ÁREA PLANTADA (Ha) E PRODUTIVIDADE (Ton/Ha) PARA AS PRINCIPAIS VARIEDADES/ESTÁGIOS COLHIDAS NA SAFRA 86/87 NA USINA BARRA GRANDE.....	19
3.5 - DADOS DE PRODUÇÃO (%) E PRODUTIVIDADE (Ton/Ha) PARA AS PRINCIPAIS VARIEDADES NAS SAFRAS 83/84, 84/85, 85/86 E 86/87.....	20
3.6 - PERCENTAGEM DE ÁREAS DE SOCA E RESSOCA COLHIDAS EM CADA MÊS POR VARIEDADE DURANTE A SAFRA 83/84...	21
3.7 - PERCENTAGEM DE ÁREAS DE SOCA E RESSOCA COLHIDAS EM CADA MÊS POR VARIEDADE DURANTE A SAFRA 84/85...	21
3.8 - PERCENTAGEM DE ÁREAS DE SOCA E RESSOCA COLHIDAS EM CADA MÊS POR VARIEDADE DURANTE A SAFRA 85/86...	22
3.9 - PERCENTAGEM DE ÁREAS DE SOCA E RESSOCA COLHIDAS EM CADA MÊS POR VARIEDADE DURANTE A SAFRA 86/87...	22
3.10 - PERCENTAGEM DE ÁREAS DE CANA SOCA E RESSOCA COLHIDAS EM CADA MÊS POR VARIEDADE DURANTE A SAFRA 84/85, 85/86, E 86/87.....	23
3.11 - DATA DAS IMAGENS LANDSAT E BANDAS ESPECTRAIS ADQUIRIDAS.....	24



4.3 - PRODUTIVIDADE ESTIMADA PELO MODELO AGROMETEOROLÓGICO (TON/HA), PARA A USINA, COM E SEM FATOR VARIEDADE/ESTÁGIO E ERRO DA ESTIMATIVA EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE OBSERVADA (%).....	49
4.4 - RESULTADOS DA REGRESSÃO DA PRODUTIVIDADE OBSERVADA (PO) COM A PRODUTIVIDADE ESTIMADA PELO MODELO AGROMETEOROLÓGICO SEM E COM FATOR VARIEDADE/ESTÁGIO.....	49
4.5 - MODELO DO ÍNDICE VEGETATIVO E RESULTADOS DA REGRESSÃO DA PRODUTIVIDADE OBSERVADA COM A PRODUTIVIDADE ESTIMADA POR ESTE MODELO.....	51
4.6 - PRODUTIVIDADE MÉDIA ESTIMADA PELO MODELO DO ÍNDICE VEGETATIVO E ERRO (%) EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE OBSERVADA.....	51
4.7 - MODELO PROPOSTO E RESULTADO DA REGRESSÃO DA PRODUTIVIDADE OBSERVADA COM A PRODUTIVIDADE ESTIMADA PELO MODELO PROPOSTO.....	56
4.8 - RESUMO DOS RESULTADOS DA REGRESSÃO DA PRODUTIVIDADE OBSERVADA (PO) COM A PRODUTIVIDADE ESTIMADA PELOS TRÊS MODELOS ANALISADOS, PRODUTIVIDADE MÉDIA ESTIMADA E ERRO RELATIVO (%) PELOS MODELOS NOS ANOS SAFRA 84/85, 85/86 E 86/87.....	56

3.12 - RADIÂNCIA ESPECTRAL MÁXIMA (Rmax) E MÍNIMA (Rmin), IRRADIÂNCIA NO TOPO DA ATMOSFERA (E) E ÂNGULO DE ELEVAÇÃO SOLAR PARA AS IMAGENS MSS.....	28
3.13 - RADIAÇÃO DE ONDA CURTA QUE PENETRA NA ATMOSFERA (Roc) EM CAL/CM2/DIA, TAXA DE PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA CULTURA PADRÃO EM DIAS CLAROS (TC) E EM DIAS NUBLADOS (TN) EM KG/HA/DIA, NÚMERO DE HORAS DE INSOLAÇÃO (N) E RADIAÇÃO EXTRATERRESTRE (Ret) EM CAL/CM2/DIA, PARA A LATITUDE MAIS PRÓXIMA DA ÁREA DE ESTUDO.....	32
3.14 - TAXA DE PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA EM KG/HA/HORA, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA, PARA O GRUPO DE CULTURAS RELATIVO À CANA-DE-AÇÚCAR.....	32
3.15 - VALORES MENSIS DO FATOR DA CULTURA (KC) DO FATOR DE PRODUTIVIDADE (KP) E DA PRODUTIVIDADE DO SISTEMA RADICULAR (D) EM METROS.....	35
3.16 - 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.....	36
3.17 - ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ETR) A PARTIR DOS VALORES: IADS, ((1 - f) x CRAS x D) E ETM.....	37
3.18 - NÚMERO DE ÁREAS COLHIDAS OU PLANTADAS POR MÊS NO ANO SAFRA ANTERIOR AO ANO SAFRA 83/84.....	39
3.19 - NÚMERO DE ÁREAS COLHIDAS OU PLANTADAS POR MÊS NO ANO SAFRA ANTERIOR AO ANO SAFRA 84/85.....	40
3.20 - NÚMERO DE ÁREAS COLHIDAS OU PLANTADAS POR MÊS NO ANO SAFRA ANTERIOR AO ANO SAFRA 85/86.....	41
3.21 - NÚMERO DE ÁREAS COLHIDAS OU PLANTADAS POR MÊS NO ANO SAFRA ANTERIOR AO ANO SAFRA 86/87.....	42
4.1 - RESULTADOS DO MODELO AGROMETEOROLÓGICO POR ANO SAFRA.....	46
4.2 - VALORES POR VAR/EST DE FVE, DA PRODUTIVIDADE OBSERVADA (PO), DA PRODUTIVIDADE ESTIMADA PELO MODELO AGROMETEOROLÓGICO SEM FVE (PEP) E COM FVE (PEF), E % DE ÁREA PLANTADA PARA AS SAFRAS 84/85, 85/86, 86/87 E FVE PARA 87/88	47

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O planejamento adequado de inúmeras atividades relacionadas com a produção de alimentos e com o abastecimento do mercado consumidor dependem de uma série de informações prognósticas que devem ser confiáveis e estar disponíveis em tempo hábil.

A produção agrícola de uma cultura depende de diversos fatores e a quantificação do efeito dos mesmos sobre a produção é bastante difícil pois podem variar muito de ano para ano. A produção agrícola de uma cultura é obtida através do produto da área plantada pela produtividade.

A técnica de sensoriamento remoto tem mostrado um grande potencial para estimar tanto a área plantada quanto a produtividade de culturas agrícolas.

Com o recente avanço tecnológico na obtenção de dados por sensoriamento remoto, dispõe-se hoje de diversos satélites que captam, através de seus sensores, dados da superfície terrestre em diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Estes dados são obtidos com uma certa repetitividade a qual depende do satélite em órbita. Para a próxima década estão previstos lançamentos de diversos satélites por vários países, inclusive o Brasil. Desta forma num futuro próximo haverá a disponibilidade de uma grande quantidade de imagens orbitais, e conseqüentemente a dinâmica da atividade agrícola poderá ser melhor acompanhada.

Atualmente o Brasil recebe dados de sensoriamento remoto de três satélites (Landsat, SPOT e NOAA) através das antenas de recepção localizadas em Cuiabá-MT e Cachoeira Paulista-SP. As características básicas destes satélites e de seus sensores são mostrados na Tabela 1.1.

Diversas metodologias foram desenvolvidas no INPE visando a utilização dos dados Landsat para estimar áreas plantadas com culturas agrícolas. Mais recentemente estes mesmos dados têm sido utilizados também para estimar a produtividade, devido à característica espectral desses dados que são obtidos em faixas do espectro eletromagnético nas quais a cultura reflete suas condições de crescimento e desenvolvimento.

TABELA 1.1

CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES E SENSORES TRANSMISSORES DE DADOS
PARA AS ANTENAS DE RECEPÇÃO DE CUIABÁ-MT E CACHOEIRA PAULISTA-SP.

SATÉLITE	SENSOR	BANDA ESPECTRAL VISÍVEL e IVP	LARGURA BANDA (nm)	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m)	LARGURA DA ÓRBITA	ALTITUDE (Km)	HORÁRIO DE CRUZAMENTO NO EQUADOR
SPOT	HRV	1 2 3	500-590 610-690 790-900	20	117	822	10:30
LANDSAT	TM	1 2 3 4	450-520 520-600 630-690 760-900	30	180	716	9:30
	MSS	1 2 3 4	400-500 500-600 700-800 800-1100	80			
NOAA-9 e NOAA-10	AVHRR	1 2	580-680 725-1000	1100	horiz. a horiz.	833	VARIÁVEL

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 e econômicos, também exerçam importante influência.

A quantificação do efeito de alguns fatores relevantes sobre a produtividade pode ser feita através de modelos que estabelecem uma relação entre a variação destes fatores e a produtividade.

O emprego de modelos que utilizam variáveis meteorológicas para explicar variações na produtividade agrícola tem sido bastante comum. No entanto, há outras variáveis que também exercem influências sobre a produtividade e não são consideradas neste tipo de modelo, de tal forma que as estimativas podem ser fracas dependendo da maior ou menor influência das variáveis não meteorológicas sobre a produtividade.

Os dados obtidos pelo satélite Landsat, quando transformados em índices vegetativos expressam o efeito coletivo de diversos fatores sobre a produtividade. Rudorff (1985), em seu trabalho de estimativa de produtividade agrícola da cultura da cana-de-açúcar, utilizou os dados Landsat e chegou a resultados

encorajadores. Todavia, recomenda que seu trabalho necessita de um maior aprofundamento além de uma repetitividade em vários anos safra. Seguindo as recomendações deste trabalho, Rudorff e Batista (1988) elaboraram um modelo de estimativa de produtividade com base em dados de três anos-safra e obtiveram uma variação explicada de 72% da produtividade observada a partir dos dados agrometeorológicos e espectrais destes mesmos anos-safra.

O presente trabalho visa testar este modelo e verificar sua potencialidade para estimar a produtividade da cana-de-açúcar em anos-safra subseqüentes. Também visa implementar as devidas adaptações que se fazem necessárias em função das alterações ocorridas no sistema de produção da Usina Barra Grande situada no município de Lençóis Paulista-SP. Esta usina figura entre as mais bem organizadas do País e portanto dispõe de uma série de informações fundamentais para a construção de um modelo de produtividade.

•
• •

CAPÍTULO 2

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - A ENERGIA REFLETIDA PELAS PLANTAS

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 , ϕ_t são os fluxos da radiação incidente, refletida, absorvida e transmitida, respectivamente num dado comprimento de onda. Grande parte dos sistemas sensores operam na faixa refletiva do espectro eletromagnético correspondente aos comprimentos de onda de 300 nm a 3000 nm, de tal forma que a Equação 2.1 também pode ser escrita como:

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

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 absorptância da energia incidente pelos pigmentos na folha, especialmente a clorofila; embora outros pigmentos como as antocianinas e os carotenóides também exercem efeito sobre a absorptância, segundo Knipling et alii (1970).

No espectro eletromagnético há uma região denominada infravermelho próximo (700 nm a 1400 nm), na qual a vegetação verde e sadia se caracteriza pela alta reflectância (45-50%), alta transmitância (45-50%) e baixa absorptância (menos que 5%) (Hoffer, 1978). Gates et alii (1965) e Sinclair et alii (1971) afirmaram 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.

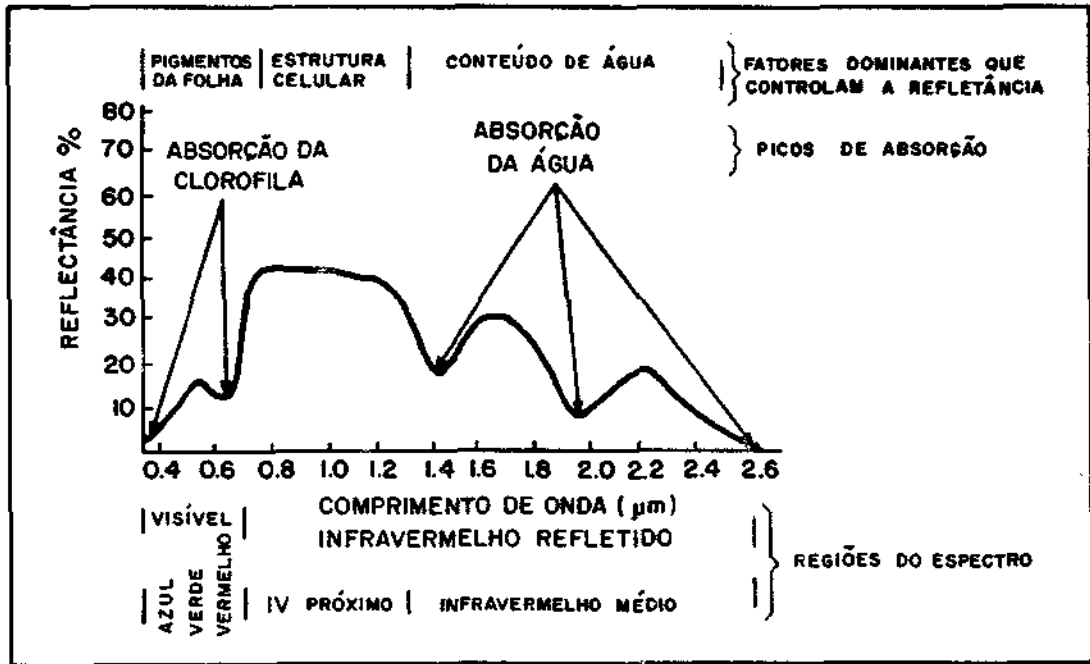


Fig. 2.1 - Resposta espectral característica de vegetação verde.

FONTE: Hoffer (1978), p. 232

Observa-se que apenas nesta região do espectro eletromagnético se detectam variações na resposta espectral da vegetação em função do aumento do número de camadas de folhas, especialmente nas proximidades do comprimento de onda de 1000 nm.

Os estudos de Al Abbas et alii (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 alii (1970) afirmam que na região do infravermelho próximo ocorrem variações na quantidade de energia refletida pela planta quando ela está sujeita ao ataque de pragas e doenças, ao estresse por falta de água ou à senescência, e que os fatores predominantes destas variações são: diminuição do índice de área foliar, alteração da estrutura interna e morfologia das folhas.

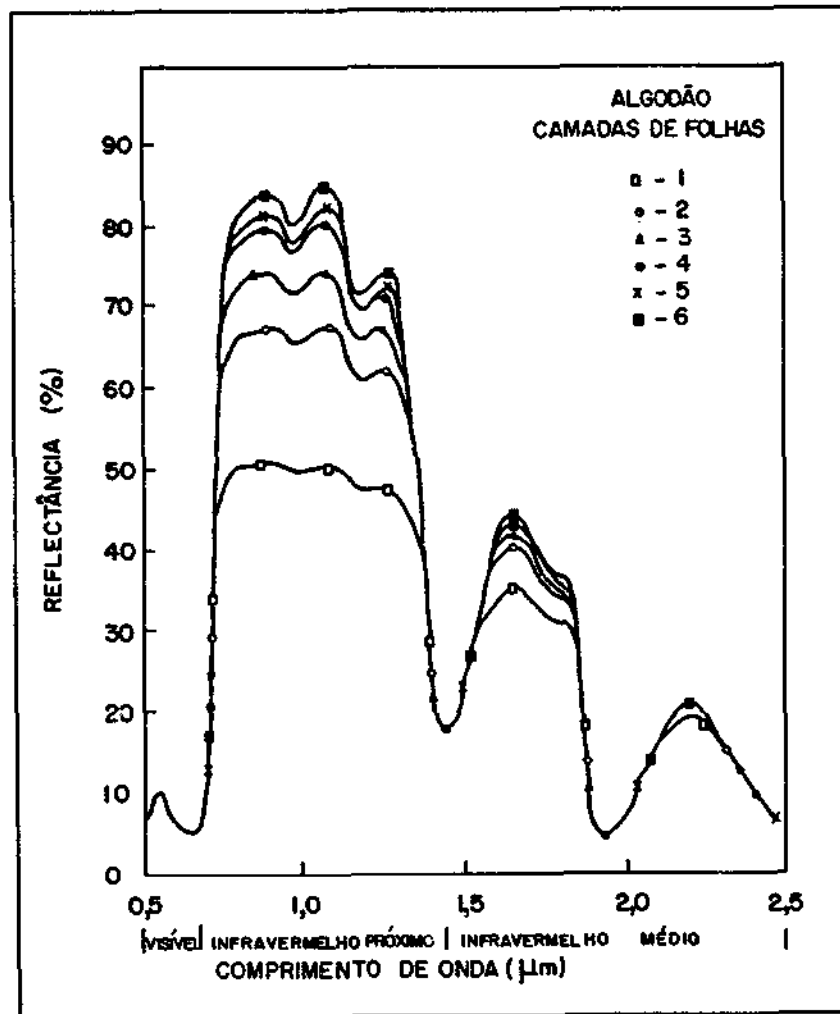


Fig. 2.2 - Reflectância de folhas de algodão superpostas até um total de seis camadas.

FONTE: Myers (1970), p. 255.

2.2 - SENSORIAMENTO REMOTO E MODELOS DE PRODUTIVIDADE

Um modelo para estimativa de 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

agronômicos. Um modelo também pode ter, de forma combinada, características de um modelo determinístico e de um modelo estocástico.

Baier (1979) classificou os modelos que relacionam a cultura com o seu meio em três grupos: (1) modelos de simulação de crescimento, que são uma representação simplificada dos mecanismos físicos, químicos e fisiológicos implícitos nos processos de crescimento das plantas; (2) 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; (3) modelos estatísticos empíricos que empregam técnicas estatísticas utilizando séries históricas de dados climatológicos e de produtividade.

Os modelos de produtividade até hoje desenvolvidos não são capazes de simular com perfeição o efeito conjunto de diversos elementos meteorológicos e culturais que influenciam a produtividade. Por outro lado, é muito difícil 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).

O primeiro satélite da série Landsat, foi lançado no início da década de 70, sendo que hoje se encontra em operação o Landsat-5. Este satélite tem a característica de permitir o monitoramento de culturas agrícolas sobre grandes áreas e de forma rápida. Uma mesma área é recoberta a cada 16 dias desde que a presença de nuvens não impeça o imageamento.

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 a reflectância das plantas e parâmetros agrônômicos, relacionados com a produtividade, incentivou o uso destes dados em modelos de produtividade (Pearson e Miller, 1972; Ashley e Rea, 1975; Tucker et alii, 1980, 1981; Richardson e Wiegand, 1977; Richardson et alii, 1982; Wiegand et alii 1979, Hatfield, 1981, 1983; Rudorff, 1985; Rudorff e Batista, 1988 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. Todavia não se dispõe de métodos muito eficientes que tornem a relação numérica dos dados Landsat/produtividade menos dependente das variações da camada atmosférica e dos dados de calibração do sensor.

A produtividade de uma cultura depende de uma série de fatores tais como: uso de fertilizantes, controle fitossanitário, tratos culturais, densidade de plantio, temperatura, água no solo, radiação, além de outros. Estes fatores afetam em maior ou menor grau a reflectância da vegetação a qual pode ser relacionada 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), Barnett e Thompson (1982), Rudorff (1985) e Rudorff e Batista (1988), utilizaram os dados digitais do Landsat em conjunto com dados agrometeorológicos e obtiveram resultados melhores do que as estimativas obtidas com os dados agrometeorológicos e espectrais em separado.

Rudorff (1985) e Rudorff e Batista (1988) utilizaram os dados de produtividade estimados a partir de um modelo agrometeorológico em conjunto com dados espectrais obtidos das imagens do satélite Landsat e obtiveram um modelo de estimativa de produtividade de cana-de-açúcar através da técnica estatística de regressão.

2.3 - TRANFORMAÇÃO DOS DADOS LANDSAT EM ÍNDICES VEGETATIVOS E SUAS APLICAÇÕES

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.

Rudorff (1985) utilizou vários índices revisados por Jackson et alii (1983) e os resultados mostraram que o RVI além de ser um índice simples, está entre os que melhor evidenciam a relação entre os dados espectrais e a produtividade agrícola observada da cana-de-açúcar. Tucker (1979) concluiu em seu trabalho que a maioria das transformações de bandas espectrais (índices vegetativos) dão resultados semelhantes na estimativa da biomassa fotossinteticamente ativa. Jackson et alii (1983) recomendam o uso do RVI quando a cultura cobre o solo em mais do que 50%. A cana-de-açúcar cobre quase que totalmente o solo por

ocasião das passagens do satélite analisadas neste trabalho, o que propicia o uso do RVI.

Thompson e Wehmanen (1979) e Thompson (1978) empregaram dados digitais do Landsat para detecção e monitoramento de culturas agrícolas sob estresse de água, em grandes áreas, e obtiveram resultados encorajadores na estimativa da produtividade da cultura do trigo.

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

Idso et alii (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 que as plantas sob estresse entram em senescência mais cedo e têm um rendimento de grãos menor. Apoiados nesta pesquisa, Pinter et alii (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.

Rudorff (1985) em seu trabalho sobre a cultura da cana-de-açúcar concluiu que os índices vegetativos obtidos pouco antes do início da safra são os que melhor se correlacionam com a produtividade final.

Rudorff e Batista (1988) dando continuidade a este trabalho utilizaram dados de produtividade observada em três anos safra para obter um modelo de estimativa a partir de dados espectrais e agrometeorológicos. Eles obtiveram um coeficiente de determinação de 72% e recomendam que este modelo seja validado e adaptado para anos-safra subsequentes.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - ÁREA ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Lençóis Paulista-SP abrangendo as áreas canavieiras da Usina Barra Grande as quais ocupam cerca de 40.000 ha. As coordenadas geográficas da área são 22°00'S a 23°00'S e 49°30W a 49°00W, 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. 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, área agrícola e cerrados (IF, 1975). O clima é úmido quente e com inverno seco, e a precipitação no mês mais seco é inferior a 30 mm. A temperatura média mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio é inferior a 18°C (Setzer, 1966).

A escolha desta área para o estudo do presente trabalho tem como principal justificativa o fato de que a Usina Barra Grande tem um elevado padrão tecnológico e figura entre as usinas mais bem organizadas do Brasil. Tendo-se em vista testar e adaptar um modelo de estimativa de produtividade agrícola é fundamental que isto seja realizado por meio de informações confiáveis.

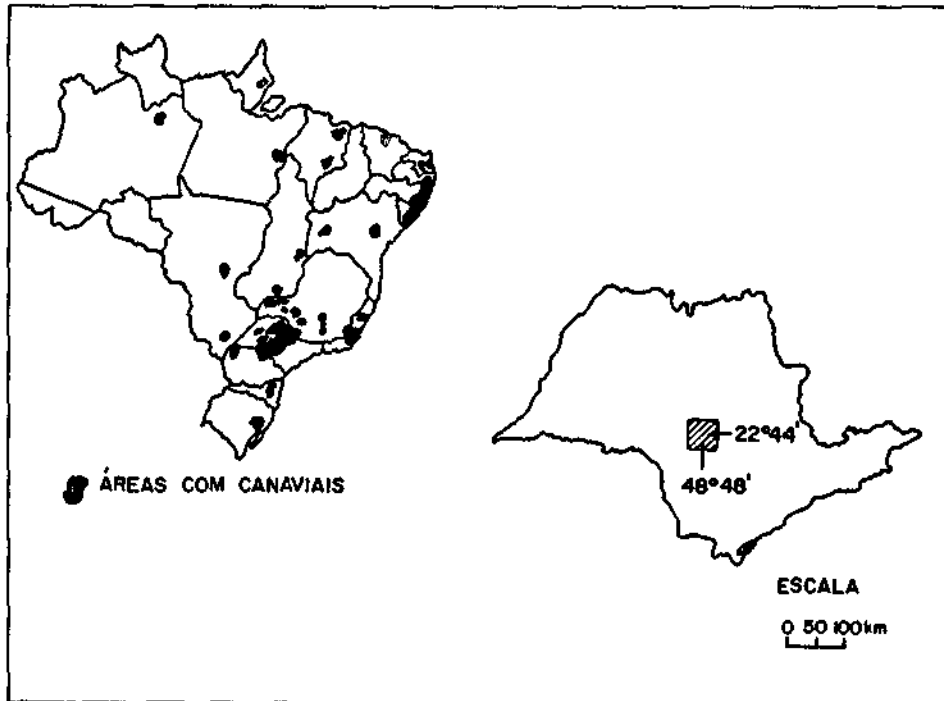


Fig. 3.1 - Localização da área de estudo.

3.2 - CANA-DE-AÇÚCAR

A área cultivada com cana-de-açúcar (Sccharum officinarum) no estado de São Paulo na safra de 1987 foi de aproximadamente 1,73 milhões de hectares que corresponde a cerca de 40% da área cultivada com cana no Brasil. A produção na safra de 1987, no Estado de São Paulo, foi de 130 milhões de toneladas de colmos que correspondem a 48,5% da produção nacional (IBGE, 1988). A matéria prima da cana-de-açúcar (colmos) é utilizada para produção de açúcar e álcool sendo que o Estado de São Paulo é responsável por aproximadamente 46% da produção de açúcar e 66% da produção de álcool do País. (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 pelas demais rressocas, tendo cada uma destas fases um período de aproximadamente 12 meses de crescimento. A Figura 3.2 ilustra esta dinâmica do cultivo e o acúmulo de matéria verde ao longo do período de crescimento.

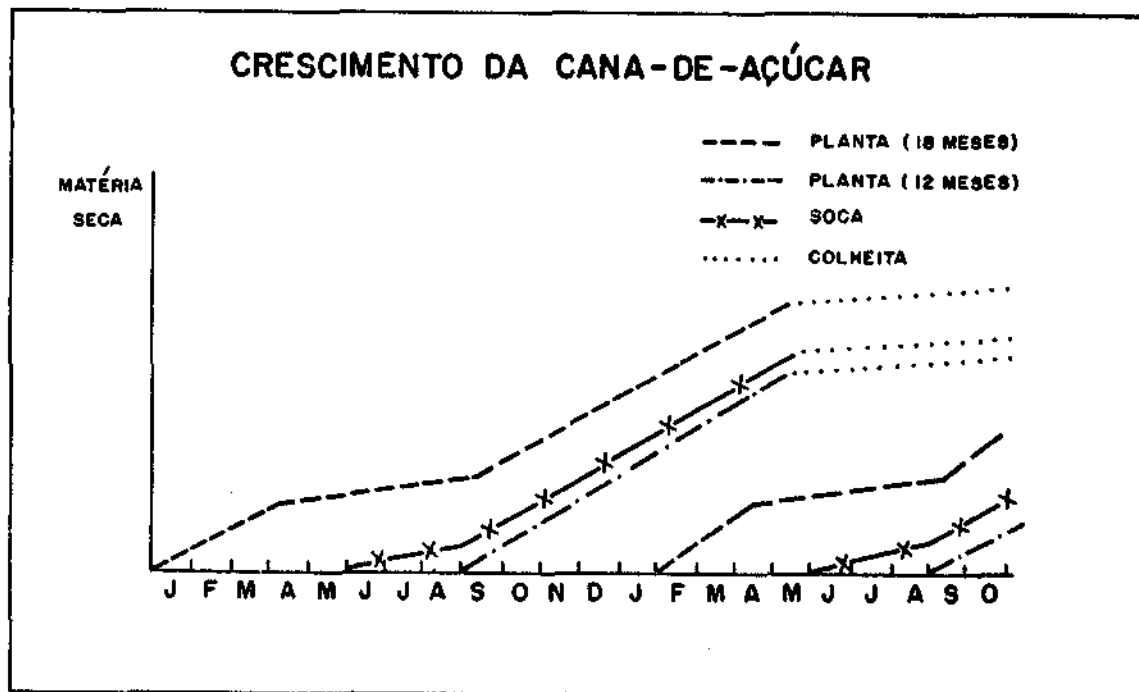


Fig. 3.2 - Dinâmica do cultivo da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta de clima tropical e tem máximo potencial de produção na fase vegetativa quando se desenvolve à 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 2500 mm 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 solo, todavia prefere aqueles com profundidade acima de 1 metro, com boa aeração e boa drenagem. O ph ótimo está em torno de 6,5 entretanto cresce bem no intervalo 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 por ano. 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 o 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 78,7%, da área plantada (IAA. Planalsucar, 1984). Na área de estudo as principais variedades plantadas são: NA56-79, SP70-1143, IAC51/205, IAC52/150, SP70-1078. Do total da área cultivada com estas variedades, aproximadamente 50% corresponde à variedade NA56-79. A variedade SP70-1143 passou de 10% da área plantada em 83 para 30% na safra 86, substituindo gradativamente as variedades CB41-76, IAC52/150, IAC48/65 e IAC51/205 no sistema de produção da usina.

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 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, a estimativa da safra é realizada pelo Departamento Agrícola através da visita dos técnicos às lavouras antes do início da safra, e depende muito da experiência dos técnicos.

Como a usina tem um controle rigoroso da área plantada e não depende do fornecimento da 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 - DADOS E INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS NA USINA REFERENTE À CANA-DE-AÇÚCAR

Visto ser de grande importância para a usina uma estimativa preditiva do rendimento agrícola, há um grande interesse por parte da mesma em investir esforços na exploração de técnicas inovadoras que venham proporcionar melhorias na atual sistemática de previsão da estimativa do rendimento agrícola. Contudo o sistema de previsão vigente na usina fornece boas estimativas e portanto é necessário que, primeiramente, seja adquirido um conhecimento amplo e também detalhado de todo o sistema de produção agrícola da usina.

As áreas agrícolas da Usina Barra Grande são divididas em diversas fazendas que por sua vez são divididas em talhões e estes subdivididos em lotes. Via de regra cada talhão é cultivado com uma mesma variedade que se encontra numa determinada fase ou estágio do ciclo da cultura que pode ser cana planta, soca ou ressoca. Os talhões e lotes são identificados através de um código (endereço) sobre cartas planimétricas que contém a distribuição espacial das lavouras de cana. Para cada talhão e lote são disponíveis listagens que contém dados sobre a variedade, estágio, tipo de solo, área, produção, data do plantio e data do penúltimo e último corte. Diversos outros dados também são disponíveis no entanto não foram utilizados pois são mais pertinentes a estudos do rendimento industrial e não agrícola como é o caso deste estudo. As informações disponíveis foram obtidas para os anos-safras de 83/84, 84/85, 85/86 e 86/87. Estas informações foram tratadas pelo computador através de programas específicos obtendo-se um resumo das principais variedades plantadas em termos do estágio de corte, produção e área. As informações são apresentadas nas Tabelas 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 respectivamente para os anos safra 83/84, 84/85, 85/86 e 86/87. A Tabela 3.5 apresenta um resumo das informações contidas nas Tabelas 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4.

TABELA 3.1

DADOS DE PRODUÇÃO (Ton), ÁREA PLANTADA (Ha) E PRODUTIVIDADE (Ton/Ha) PARA AS PRINCIPAIS VARIEDADES/ESTÁGIOS COLHIDOS NA SAFRA 83/84 NA USINA BARRA GRANDE

VARIEDADE	ESTÁGIO*	PRODUÇÃO		ÁREA		PRODUTIVIDADE (Ton/Ha)
		ABSOLUTA (Ton)	RELATIVA (%)	ABSOLUTA (Ha)	RELATIVA (%)	
NA56-79	1	464.121	14,7	4.128	10,2	112,4
	2	391.514	12,4	4.323	10,8	90,6
	3	335.444	10,6	4.010	10,0	83,6
	4	179.626	5,7	2.243	5,6	80,1
	≥5	377.916	12,0	5.297	13,2	71,3
	TODOS	1.748.621	55,5	20.005	49,8	87,4
CB45-155	2	11.330	0,3	237	0,6	47,8
	3	165.866	5,3	2.966	7,4	55,9
	4	161.004	5,1	3.196	8,0	50,4
	≥5	147.666	4,7	2.569	6,4	57,5
	TODOS	485.906	15,4	8.969	15,4	54,2
SP70-1143	1	302.862	9,6	3.035	7,6	99,8
	2	44.546	1,4	428	1,0	104,0
	TODOS	347.408	11,0	3.463	8,6	100,3
IAG51/205	1	62.227	2,0	624	1,5	99,7
	2	134.439	4,3	2.223	5,5	60,5
	3	65.234	2,1	1.076	2,7	60,6
	4	28.651	0,9	519	1,3	55,2
	≥5	20.398	0,6	271	0,7	75,2
	TODOS	310.949	9,9	4.714	11,7	66,0
TODAS	1	829.210	26,3	7.787	19,4	114,6
TODAS	≥2	2.063.673	65,5	29.364	73,1	70,3
TODAS	TODOS	2.892.883	91,8	37.151	92,5	77,8
TODAS GERAL	TODOS.GER	3.151.706	100,0	40.137	100,0	78,5

* ESTÁGIO = 1 (CANA PLANTA)

ESTÁGIO ≥2 (SOCA E RESSOCA)

TABELA 3.2

DADOS DE PRODUÇÃO (Ton), ÁREA PLANTADA (Ha) E PRODUTIVIDADE (Ton/Ha) PARA AS PRINCIPAIS VARIEDADES/ESTÁGIOS COLHIDOS NA SAFRA 84/85 NA USINA BARRA GRANDE

VARIEDADE	ESTÁGIO*	PRODUÇÃO		ÁREA		PRODUTIVIDADE (Ton/Ha)
		ABSOLUTA (Ton)	RELATIVA (%)	ABSOLUTA (Ha)	RELATIVA (%)	
NA56-79	1	166.544	6,4	1.459	3,8	114,1
	2	366.099	14,0	4.553	11,9	80,4
	3	322.130	12,3	4.367	11,4	73,8
	4	272.759	10,4	4.093	10,7	66,6
	≧ 5	377.333	14,4	5.951	15,6	63,4
	TODOS	1.506.489	57,5	20.445	53,5	73,7
SP70-1143	1	165.600	6,3	1.840	4,8	90,0
	2	238.018	9,1	3.190	8,3	74,6
	3	27.151	1,0	393	1,0	69,0
	4	2.334	0,1	30	0,1	76,4
	TODOS	433.905	16,5	5.454	14,3	79,4
CB45-155	2	10.318	0,4	208	0,5	49,6
	3	12.770	0,5	302	0,8	42,3
	4	133.673	5,1	2.850	7,5	46,9
	≧ 5	84.372	3,2	1.785	4,7	47,3
	TODOS	241.133	9,2	5.145	13,5	46,9
IAC51/205	1	1.408	0,1	15	0,1	93,7
	2	42.670	1,6	732	1,9	58,2
	3	126.127	4,8	2.283	6,0	55,2
	4	48.957	1,9	991	2,6	49,4
	≧ 5	8.428	0,3	131	0,3	64,3
	TODOS	227.590	8,7	4.152	10,9	54,8
TODAS	1	333.552	12,7	3.314	8,7	100,7
	≧ 2	2.074.763	79,2	31.883	83,4	65,0
	TODOS	2.408.315	91,9	35.196	92,2	68,4
TODAS GERAL	TODOS.GER	2.621.343	100,0	38.205	100,0	68,6

* ESTÁGIO = 1 (CANA PLANTA)

ESTÁGIO ≧ 2 (SOCA E RESSOCA)

TABELA 3.3

DADOS DE PRODUÇÃO (Ton.), ÁREA PLANTADA (Ha) E PRODUTIVIDADE (Ton/Ha) PARA AS PRINCIPAIS VARIEDADES/ESTÁGIOS COLHIDAS NA SAFRA 85/86 NA USINA BARRA GRANDE

VARIEDADE	ESTÁGIO*	PRODUÇÃO		ÁREA		PRODUTIVIDADE (Ton/Ha)
		ABSOLUTA (Ton)	RELATIVA (%)	ABSOLUTA (Ha)	RELATIVA (%)	
NA56-79	1	173.632	6,0	1.375	3,7	126,2
	2	175.178	6,1	1.701	4,6	103,0
	3	385.201	13,3	4.640	12,5	83,0
	4	326.774	11,3	4.279	11,5	74,4
	≅ 5	553.042	19,2	7.486	20,2	73,9
	TODOS	1.577.789	54,7	19.210	51,8	82,0
SP70-1143	1	258.982	9,0	2.712	7,3	95,5
	2	180.948	6,3	2.140	5,8	84,5
	3	212.754	7,4	3.155	8,5	67,4
	4	26.533	0,9	377	1,0	70,3
	TODOS	679.217	23,5	8.384	22,6	81,0
IAC51/205	3	38.806	1,3	705	1,9	55,0
	4	95.615	3,3	1.772	4,8	53,9
	5	29.223	1,0	686	1,8	42,6
	TODOS	163.644	5,7	3.146	8,5	52,0
SP70-1078	1	74.403	2,5	820	2,2	90,7
	2	34.035	1,2	476	1,3	71,4
	3	19.642	0,7	321	0,9	61,6
	TODOS	128.080	4,4	1.618	4,4	79,2
CB45-155	3	8.034	0,2	162	0,4	49,6
	4	8.228	0,3	160	0,4	51,5
	≅ 5	65.726	2,3	1.246	3,4	52,3
	TODOS	81.988	2,8	1.568	4,2	52,0
IAC52/150	2	22.611	0,8	317	0,9	71,3
	3	19.357	0,7	277	0,7	69,7
	4	23.502	0,8	368	1,0	63,8
	TODOS	65.470	2,3	963	2,6	68,0
TODAS	1	507.017	17,5	4.907	13,2	103,3
	≅ 2	2.189.171	75,9	30.001	80,9	73,0
	TODOS	2.696.188	93,4	34.908	94,2	77,2
TODAS GERAL	TDOS.GER.	2.885.268	100,0	37.076	100,0	77,8

* ESTÁGIO = 1 (CANA PLANTA)

ESTÁGIO ≅ 2 (SOCA E RESSOCA)

TABELA 3.4

DADOS DE PRODUÇÃO (Ton.), ÁREA PLANTADA (Ha) E PRODUTIVIDADE (Ton/Ha) PARA AS PRINCIPAIS VARIEDADES/ESTÁGIOS COLHIDAS NA SAFRA 86/87 NA USINA BARRA GRANDE

VARIEDADE	ESTÁGIO*	PRODUÇÃO		ÁREA		PRODUTIVIDADE (Ton/Ha)
		ABSOLUTA (Ton)	RELATIVA (%)	ABSOLUTA (Ha)	RELATIVA (%)	
NA56-79	1	217.656	7,8	2.199	5,6	99,00
	2	169.474	6,1	1.939	4,9	87,41
	3	139.015	5,0	1.659	4,2	83,77
	4	297.766	10,7	4.505	11,5	66,09
	≅ 5	462.206	16,6	6.974	17,8	66,28
	TODOS	1.286.117	46,2	17.278	44,0	74,44
CB45-155	≅ 4	25.065	0,9	481	1,2	52,11
IAC52/150	≅ 5	16.366	0,6	285	0,7	57,42
IAC51/205	4	31.220	1,1	634	1,6	49,22
	≅ 5	46.620	1,7	1.075	2,7	43,37
	TODOS	77.840	2,8	1.718	4,4	45,31
IAC48-65	3	20.181	0,7	296	0,8	68,18
	4	18.493	0,7	276	0,7	67,00
	≅ 5	27.191	1,0	462	1,2	58,85
	TODOS	65.865	2,4	1.034	2,6	63,70
SP70-1078	1	38.304	1,4	591	1,5	64,78
	2	75.366	2,7	1.030	2,6	73,17
	3	30.412	1,1	518	1,3	58,70
	4	17.727	0,6	329	0,8	53,82
	TODOS	161.809	5,8	2.468	6,3	65,56
SP70-1143	1	275.895	9,3	3.150	8,0	81,87
	2	249.108	8,9	3.365	8,6	74,02
	3	140.238	5,0	2.179	5,6	64,36
	4	172.378	6,2	3.153	8,0	54,67
	TODOS	819.620	29,4	11.847	30,2	69,18

(continua)

Tabela 3.4 - Conclusão.

VARIEDADE	ESTÁGIO*	PRODUÇÃO		ÁREA		PRODUTIVIDADE (Ton/Ha)
		ABSOLUTA (Ton)	RELATIVA (%)	ABSOLUTA (Ha)	RELATIVA (%)	
80	1	148.887	5,3	1.514	3,9	98,33
	2	29.750	1,0	325	0,8	91,40
	TODOS	178.637	6,4	1.839	4,7	97,14
81	1	25.278	0,9	243	0,6	104,01
	2	24.358	0,9	263	0,6	92,51
	TODOS	49.645	1,8	506	1,3	98,11
TODAS	1	688.029	24,6	7.697	19,7	89,39
TODAS	≥2	1.992.935	71,5	29.759	75,8	66,97
TODAS	TODOS	2.680.964	96,2	37.456	95,5	71,58
TODAS GERAL	TDOS.GER.	2.785.855	100,0	39.235	100,0	71,00

* ESTÁGIO = 1 (CANA PLANTA)

ESTÁGIO ≥ 2 (SOCA E RESSOCA)

TABELA 3.5

DADOS DE PRODUÇÃO (%) E PRODUTIVIDADE (Ton/Ha) PARA AS PRINCIPAIS VARIETADES NAS SAFRAS 83/84, 84/85, 85/86 E 86/87

SAFRA	83/84	84/85	85/86	86/87
Produtividade (ton/ha) CANA PLANTA	106,5	100,7	103,3	89,4
Produtividade (ton/ha) SOCA E RESSOCA	70,3	65,0	73,0	67,0
Produção (%) CANA PLANTA	26,3	12,7	17,5	24,6
Produção (%) SOCA E RESSOCA	65,5	79,2	75,9	71,5
Produtividade (ton/ha) Das variedades analisadas	77,8	68,4	77,2	71,6
Produtividade (Ton/Ha) Geral da usina	78,5	68,6	77,8	71,0

Com a finalidade de se obter uma visão geral sobre a época de colheita de cada variedade durante o período da safra, foi feito um resumo das áreas canavieiras em termos da data da colheita em cada mês. Os dados desta análise são apresentados em termos percentuais, ou seja, a percentagem de áreas canavieiras colhidas de uma determinada variedade num mês e são apresentados nas Tabelas 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9 respectivamente para as safras 83/84, 84/85, 85/86 e 86/87.

A cana-soca e resocka sofre a cada ano uma colheita e portanto devem decorrer 12 meses entre cada colheita. Para verificar se isto realmente ocorre foram obtidos os percentuais das áreas de soca e resocka dentro de um intervalo de 7 a 18 meses de crescimento entre uma safra e a seguinte. Esta análise foi feita nas safras 83/84, 84/85, 85/86 e 86/87 e é apresentada na Tabela 3.10.

TABELA 3.6

PERCENTAGEM DE ÁREAS DE SOCA E RESSOCA COLHIDAS EM CADA MÊS POR VARIEDADE DURANTE A SAFRA 83/84

MES VARIEDADE	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	TODOS
NA56-79	6,9	12,7	16,7	25,0	13,9	8,8	12,3	3,7	63,0
CB45-155	---	---	---	2,1	2,5	10,3	37,0	48,0	17,1
SP70-1143	---	---	7,1	17,5	28,6	22,2	23,0	1,6	7,7
IAC51/205	---	---	---	2,5	3,7	29,4	38,1	26,2	10,2
TODAS	4,9	8,1	11,1	17,8	11,9	12,0	19,7	14,6	100

TABELA 3.7

PERCENTAGEM DE ÁREAS DE SOCA E RESSOCA COLHIDAS EM CADA MÊS POR VARIEDADE DURANTE A SAFRA 84/85

MES VARIEDADE	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	TODOS
NA56-79	18,8	26,4	18,3	15,8	7,8	9,0	2,6	1,3	65,0
SP70-1143	3,8	1,0	4,3	13,9	22,6	28,4	23,5	2,4	12,3
CB45-155				1,4	5,7	20,8	50,7	21,3	12,5
IAC51/205				4,2	9,6	21,1	49,4	15,7	9,8
TODAS	12,8	17,3	12,5	12,6	9,5	14,1	16,0	5,3	100

TABELA 3.8

PERCENTAGEM DE ÁREAS DE SOCA E RESSOCA COLHIDAS EM CADA MÊS POR VARIEDADE DURANTE A SAFRA 85/86

MES VARIEDADE	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	TODOS
NA56-79	7,3	28,1	17,3	16,0	13,2	9,6	6,0	2,3	
SP70-1143		1,5	2,6	2,6	11,2	22,9	28,8	30,4	
IAC51/205					10,5	16,2	30,8	42,5	
SP70-1078	9,6	31,2	18,3	18,3	6,2	7,2			
CB45-155				1,0					
TODAS	4,7	18,2	12,2	12,0	12,6	12,9	13,4	13,9	100

TABELA 3.9

PERCENTAGEM DE ÁREAS DE CANA SOCA E RESSOCA COLHIDAS EM CADA MÊS POR VARIEDADE DURANTE A SAFRA 86/87

MES VARIEDADE	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	TODOS
NA56-79	1,0	23,0	25,0	16,0	8,0	12,0	10,0	3,0	48,0
CB45-155		5,0		15,0	30,0		50,0		2,0
IAC52/160				38,0	46,0	8,0		8,0	1,0
IAC51/205				5,0	19,0	12,0	42,0	21,0	5,0
IAC48-65			15,0	12,0	62,0	8,0		3,0	2,0
SP70-1078		7,0	40,0	21,0	13,0	1,0	6,0	11,0	7,0
SP70-1143		4,0	20,0	14,0	14,0	23,0	17,0	26,0	26,0
80	1,0	7,0	6,0	3,0	1,0	27,0	24,0	31,0	6,0
81		22,0	30,0	13,0	4,0	13,0	4,0	13,0	2,0
TODAS	1,0	14,0	17,0	15,0	12,0	15,0	14,0	13,0	100,0

TABELA 3.10

PERCENTAGEM DE ÁREAS DE CANA SOCA E RESSOCA COLHIDAS EM CADA MÊS
POR VARIEDADE DURANTE A SAFRA 84/85, 85/86, E 86/87

PERÍODO DE CRESCIMENTO	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ANO SAFRA												
83/84	1,3	1,3	1,6	3,4	12,6	30,3	22,5	13,8	8,8	2,4	1,0	0,9
84/85	0,1	0,3	4,8	20,9	33,8	23,9	7,6	3,2	1,8	1,3	0,8	1,5
85/86			0,4	1,0	11,7	26,4	27,8	15,5	10,6	4,1	1,7	0,7
86/87		0,3	1,4	6,2	13,8	26,2	17,5	7,6	3,1	1,1	0,9	0,4

3.5 - DADOS LANDSAT

Os dados Landsat foram utilizados no presente trabalho na forma de fitas magnéticas compatíveis com o computador (CCT's) a fim de se extrair delas as informações gravadas pelo sensor, a bordo do satélite, sobre as áreas canavieiras da área de estudo.

Os satélites Landsat 4 e 5 foram lançados respectivamente em 16 de julho de 1982 e 1^o de março de 1984, levando a bordo os sensores MSS (Multispectral Scanner Subsystem) e TM (Thematic Mapper). Estes sensores geram imagens em determinadas faixas do espectro eletromagnético e a tonalidade das imagens varia de acordo com a intensidade da energia refletida pelos alvos na superfície terrestre.

O satélite Landsat tem órbita héliossíncrona e circula em torno da terra a uma altitude média de 720 km. As faixas de imageamento ou órbitas tem a largura de 185 km com uma resolução temporal de 16 dias. Os sensores MSS e TM possuem respectivamente uma resolução espacial de 59' x 82 metros e de 30 x 30 metros.

O satélite Landsat 4 teve problemas na transmissão de dados do sensor TM para a estação terrestre de rastreamento situada em Cuiabá-MT e conseqüentemente utilizou-se neste trabalho apenas os dados MSS para este satélite. Rudorff (1985) concluiu em seu trabalho que a época mais propícia de aquisição de dados Landsat para o estabelecimento de um modelo de produtividade para cana-de-açúcar situa-se em torno do mês de fevereiro, ou seja, 1 a 2 meses antes do início da safra. Portanto, foram adquiridas as imagens do sensor MSS para cada ano-safra (uma por safra) disponíveis neste período conforme mostra a Tabela 3.11. As imagens MSS correspondem à órbita 221

ponto 75 +13 segundos, ou seja, a imagem abrange a metade inferior do ponto 75 e metade superior do ponto 76.

TABELA 3.11

DATA DAS IMAGENS LANDSAT E BANDAS ESPECTRAIS ADQUIRIDAS

ANO SAFRA	DATA DE IMAGEM	SENSOR	BANDAS	LANDSAT
83/84	25/FEV/83	MSS	1, 2, 3, 4,	4
84/85	28/FEV/84	MSS	1, 2, 3, 4,	4
85/86	26/MAR/85	MSS	1, 2, 3, 4,	5
86/87	25/FEV/86	MSS	1, 2, 3, 4,	5

3.6 - SELEÇÃO DA AMOSTRA DAS ÁREAS CANAVIEIRAS

O conjunto de amostras das áreas canavieiras da Usina Barra Grande foi obtido a partir da informação contida nas Tabelas 3.1 a 3.4. Optou-se por selecionar uma amostra de aproximadamente 130 elementos para que as principais variedades/estágios de cada ano-safra tivessem uma certa representatividade no conjunto de amostras.

A seleção dos elementos dos conjuntos amostrais nos quatro anos-safra foi feita em função da área relativa plantada (%) das principais variedades e estágios. Desta forma o número de elementos de uma dada variedade/estágio no conjunto amostral corresponde, em termos percentuais, à área relativa plantada daquela variedade/estágio na usina.

A escolha dos elementos da amostra sobre as áreas canavieiras da Usina Barra Grande foi feita ao acaso, muito embora procurou-se obter uma boa distribuição espacial dos elementos (áreas canavieiras) além de selecionar sempre que possível áreas tendendo a formas quadráticas para facilitar a obtenção dos níveis de cinza das áreas canavieiras.

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.

3.8 - PROCEDIMENTO PARA AQUISIÇÃO DOS DADOS ESPECTRAIS NO I-100

Os dados da imagem do satélite se encontram na forma de fitas magnéticas compatíveis com o computador (CCT's) e são primeiramente transferidas para a unidade de disco magnético do I-100. Em seguida são transferidos para a unidade de armazenamento de imagens onde os dados são processados através de programas específicos. A imagem é visualizada no monitor de televisão a cores e os comandos para o processamento dos dados é feito através do console e do terminal gráfico do I-100.

No presente trabalho as imagens MSS foram visualizadas no vídeo do I-100 através de módulos na escala de 1:100.000 os quais abrangem uma área no terreno de aproximadamente 30 x 30 km.

A escolha da escala de 1:100.000 para visualização das imagens MSS se deve ao fato de que nesta escala a resolução da imagem é compatível com a resolução do monitor de televisão que é de 512 linhas por 512 colunas e desta forma cada pixel da imagem corresponde a um elemento de resolução do monitor de televisão.

A fim de facilitar a localização das áreas canavieiras sobre a imagem MSS, no vídeo do I-100, foi obtida uma transparência positiva, na escala de 1:100.000, do mapa da distribuição espacial das áreas canavieiras na Usina Barra Grande. Esta transparência foi colocada sobre o vídeo podendo-se assim localizar com facilidade os talhões de cana sobre a imagem.

Uma vez localizado o talhão de cana posicionou-se o cursor sobre esta área canavieira. O cursor é gerado eletronicamente e possui forma, tamanho e posição variáveis e é controlado por teclas no painel de controle do console do analisador de imagens. Para se obter o nível de cinza gravado pelo sensor em cada uma de suas bandas espectrais utilizou-se o programa MAXV01. Através deste programa cria-se um arquivo que pode conter até 32 amostras. Cada amostra possui coordenadas sobre a imagem (módulo) no vídeo do I-100 de acordo com a posição e forma do cursor e que ficam registradas no arquivo. De cada amostra são obtidos os seguintes parâmetros: n^o de pontos (pixels) do cursor, média e matriz de autocorrelação das bandas espectrais.

Para cada módulo das imagens foram obtidos tantos arquivos quanto necessário, lembrando-se que cada arquivo pode conter até 32 amostras. Visto que cada amostra possui seu "endereço" no vídeo do I-100, pode-se utilizar este mesmo "endereço" para obter os parâmetros de uma nova amostra sobre a mesma área canavieira em outra data de passagem do satélite, para

um mesmo módulo, pois este corresponde à mesma posição relativa nas diversas datas de passagem do satélite. Este procedimento facilita e acelera bastante o trabalho de aquisição dos dados espectrais das imagens, no I-100, e tem a vantagem de propiciar a amostragem do mesmo talhão sobre aproximadamente a mesma área no talhão em cada uma das imagens, nos diferentes anos-safra.

Os parâmetros obtidos pelo programa MAXV01 são impressos na impressora DEC-LP-11 ligada ao I-100, obtendo-se uma listagem dos parâmetros com a devida identificação de cada amostra.

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.

Vários trabalhos, entre eles os de Robinove (1982), Middleton e Lu (1985), Medeiros (1987) mostraram a validade e a impotência de se transformar o nível de cinza em um valor físico (reflectância).

A variação do valor digital de um alvo, gravado pelo sensor, ao longo das passagens do satélite (a cada 16 dias), não se refere unicamente à variação da energia refletida pelo alvo mas também da camada atmosférica, do ângulo de elevação solar, da variação na calibração do sensor e outros. Também podem ocorrer variações por ocasião do processamento das fitas CCT's.

As variações ocorridas por fatores atmosféricos e meteorológicos dificilmente podem ser corrigidos a não ser que se disponha de dados da camada atmosférica o que somente é possível na proximidade de grandes aeroportos. A presença de nuvens impede que a energia refletida pelos alvos chegue até o sensor.

Para minimizar as variações causadas pelo sensor foram utilizados os dados de radiância espectral máxima e mínima em $\text{mW.cm}^{-2}.\text{ster}^{-1}.\text{um}^{-1}$ nas bandas do MSS (Tabela 3.12) para os satélites Landsat 4 e Landsat 5 nos diferentes períodos de calibração em que foram adquiridas as imagens. Estes dados foram utilizados tanto na geração das fitas CCT's quanto na posterior transformação dos níveis de cinza em reflectância na qual é utilizado também o ângulo de elevação solar na data e horário de tomada da imagem e cujos valores também se encontram na Tabela 3.12.

A normalização dos dados é imprescindível num trabalho desta natureza no qual se pretende obter um modelo de produtividade a partir de dados digitais do Landsat adquiridos por diferentes satélites (LANDSAT 4 e 5) em diferentes anos. A

normalização torna os dados espectrais mais estáveis para uma análise multitemporal.

Para transformar os níveis de cinza, obtidos da imagem do satélite, em reflectância, foi utilizada a seguinte equação (Brian and Barker, 1987).

$$\text{Reflectância} = \frac{d^2 \pi}{E \sin \alpha} \left[\frac{NC}{NCMAX} \chi (RMAX - RMIN) + RMIN \right] \quad (3.1)$$

onde:

E = irradiância em mW/cm^2 no topo da atmosfera, cujos valores são apresentados na Tabela 3.12;

α = ângulo de elevação solar da imagem (Tabela 3.12);

NC = nível de cinza extraído da fita CCT;

NCMAX = nível digital máximo (para as bandas do MSS é 127);

RMAX = radiância mínima medida pelo detector em $\text{mW/cm}^2/\text{sr}$ (Tabela 3.12).

RMIN = radiância mínima medida pelo detector em $\text{mW/cm}^2/\text{sr}$ (Tabela 3.12).

d = distância do sol à terra em unidade astronômicas (Tabela 3.12)

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

3.10 - ÍNDICE VEGETATIVO

Na literatura são mostrados diversos modelos para transformar os dados espectrais em índices vegetativos. O índice da razão das bandas infravermelho/vermelho é indicado para estimar biomassa de vegetação que cobre mais do que 50% do solo (Jackson et alii, 1983). Por ocasião de obtenção das imagens do satélite a cultura canavieira cobre praticamente todo o solo pois já se encontra na fase final de máximo crescimento vegetativo e conseqüentemente o índice da razão de bandas (MSS4/MSS2) é bastante indicado. Rudorff (1985) testou vários índices vegetativos e correlacionou-os com a produtividade observada e não obteve diferença significativa entre os índices.

TABELA 3.12

RADIÂNCIA ESPECTRAL MÁXIMA (Rmax) E MÍNIMA (Rmin), IRRADIÂNCIA NO TOPO DA ATMOSFERA (E) E ÂNGULO DE ELEVÇÃO SOLAR PARA AS IMAGENS MSS

DATA DA IMAGEM	MSS1			MSS2			MSS3			MSS4			ÂNGULO DE ELEVÇÃO SOLAR	DISTÂNCIA SOL A TERRA (u.a.)
	R (Max)	R (Min)	E	R (Max)	R (Min)	E	R (Max)	R (Min)	E	R (Max)	R (Min)	E		
25/02/83	23,0	0,2	185,1	18,0	0,4	159,3	13,0	0,4	126,0	13,0	0,3	87,8	480	0,9898
28/02/84	23,8	0,4	185,1	16,4	0,4	159,3	14,2	0,5	126,0	11,6	0,4	87,8	470	0,9905
26/03/85	26,8	0,3	184,9	17,9	0,3	159,5	14,8	0,5	125,3	12,3	0,3	87,0	450	0,9976
25/02/86	26,8	0,3	184,9	17,9	0,3	159,5	14,8	0,5	125,3	12,3	0,3	87,0	480	0,9898

FONTE: Brian e Barker (1987).

Assim optou-se pelo seguinte índice vegetativo:

$$RVI = MSS 4 / MSS 2 \quad (3.2)$$

onde:

RVI = índice vegetativo

MSS 4 = valor de reflectância na banda 4

MSS 2 = valor de reflectância na banda 2

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 FORTRAN se encontra no Apêndice B.

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

$$(1 - PE/PM) = k_p (1 - ETR/ETM) \quad (3.3)$$

onde:

PE = produtividade estimada;

PM = produtividade máxima;

k_p = fator de resposta à produtividade (Tabela 3.15);

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 $PE < PM$. O valor de k_p 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 ao 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 desenvolvido por Kassam (1977) e está descrita em Doorembos e Kassam (1979), podendo 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:

$$PMP = F \times TN + (1 - F) \times TC, \quad (3.4)$$

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 3.13) 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 B.1). N é o número máximo de horas de insolação, que pode ocorrer (Tabela 3.13) e Ret é a radiação extraterrestre em $\text{cal/cm}^2/\text{dia}$ (Tabela 3.13);

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 3.13).

A produção de matéria seca bruta da cultura depende de sua espécie e da temperatura do meio em que se desenvolve. Para a cultura padrão considera-se uma produção de 20 kg/ha/hora . A cultura em questão pode ter uma produção maior, igual ou menor do que a cultura padrão, dependendo da temperatura e do grupo da cultura (grupo C3 ou C4). A Tabela 3.14 mostra os valores da taxa de produção de matéria seca (TM), para o grupo relativo à cana-de-açúcar, crescendo a 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 $TM > 20\text{kg/ha/hora}$,

$$PMB = Fx(0,8+0,01xTM) x T + (1-F) x (0,5+0,025xTM) x TC \quad (3.5)$$

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

$$PMB = Fx(0,5+0,025xTM) x TN + (1-F) x (0,05xTM) x TC \quad (3.6)$$

A produção de matéria seca por grupo de cultura (PMB) se refere àquela 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 (ND).

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

$$PM = PMB \times FCC \times FR \times FPA \times ND \quad (3.7)$$

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;

ND = número de dias do ciclo da cultura.

TABELA 3.13

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

MESES LAT. 20° SUL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	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 3.14

TAXA DE PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA EM KG/HA/HORA, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA, PARA O GRUPO DE CULTURAS RELATIVO À CANA-DE-ACÚCAR

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

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

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 (kc), que ajusta os valores da ER aos valores da ETM de acordo com o estágio de crescimento da cultura. A Tabela 3.15 mostra os valores mensais de kc 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 15 cm, 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 no Apêndice B na Tabela B.1. Os arquivos que contém os valores k_c , k_p e profundidade do sistema radicular (D) e que variam de acordo com o estágio da cultura e da data de plantio ou corte, e que foram utilizados neste trabalho, se encontram no Apêndice B. Neste apêndice encontram-se também os arquivos das tabelas utilizadas no programa do modelo agrometeorológico.

A evapotranspiração máxima (ETM) de uma cultura é mantida até que uma fração (f) da água disponível no solo seja 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:

$$(1 - f) \times CRAS \times D, \quad (3.8)$$

onde:

$1-f$ = fração de água disponível no solo para a cultura em que $ETR < ETM$;

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

D = profundidade do sistema radicular (m).

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 3.15 mostra em metros a profundidade do sistema radicular (D) para cana planta de ano, cana planta de ano e meio e soca para cada mês após o plantio (cana planta) ou corte (soca). Os valores da fração (f) de água disponível no solo para os diferentes valores de ETM estão na Tabela 3.16.

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

$$IADS = (PP + ARM - (1 - f) \times CRAS \times D) / ETM_{\text{mensal}} \quad (3.9)$$

onde:

PP = total de precipitação pluviométrica mensal em mm/mês (Tabela B.1.);

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 3.8;

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

Com os valores do índice de água disponível no solo (IADS), a evapotranspiração máxima (ETM), a quantidade de água restante no solo para a cultura, $((1-f) \times CRAS \times D)$ pode-se obter uma estimativa da evapotranspiração real (ETR) utilizando a Tabela 3.17.

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 3.3 da seguinte maneira:

$$PE = PM (1 - k_p(1 - ETR/ETM)). \quad (3.10)$$

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

A produtividade (PE) calculada pelo programa SAFRAS listado no Apêndice B é obtida em função da data de plantio (cana planta) ou data de corte (soca) e da data de corte da cana no ano-safra em questão. No presente trabalho considerou-se esta data de corte como sendo no mês de abril obtendo-se assim uma estimativa preditiva, pois a colheita na região sul canavieira tem início a partir do mês de abril.

O valor de PE obtido pelo modelo, expresso em toneladas de cana/hectare, representa um valor médio da produtividade agrícola da cana-de-açúcar obtido num certo período para uma determinada condição climatológica. Portanto o modelo não leva em conta a variação do potencial de produção das diversas variedades

TABELA 3.15

VALORES MENSAIS DO FATOR DA CULTURA (KC) DO FATOR DE
PRODUTIVIDADE (KP) E DA PRODUTIVIDADE DO SISTEMA
RADICULAR (D) EM METROS

MESES APÓS PLANT. OU COLH.	CANA-DE ANO PLANTIO AGO. A NOV.			CANA-DE-ANO E MEIO PLANTIO NOVEMBRO A ABRIL			CANA SOCA CORTE MAIO A NOVEMBRO		
	*kc	D	kp	*kc	D	kp	*kc	D	kp
1	0,3	0,2	0,75	0,3	0,2	0,75	0,3	0,3	0,75
2	0,4-0,5	0,3	0,75	0,4-0,5	0,3	0,75	0,3-0,4	0,4	0,75
3	0,6-0,8	0,4-0,5	0,75	0,5-0,7	0,3-0,4	0,75	0,4-0,6	0,5-0,6	0,75
4	0,8-1,1	0,5-0,7	0,75	0,6-0,8	0,4-0,5	0,75	0,4-0,8	0,6-0,8	0,75
5	1,0-1,2	0,6-0,8	0,75	0,6-0,9	0,4-0,6	0,75	0,5-0,9	0,7-1,0	0,75
6	1,1-1,2	0,7-1,0	0,75	0,6-1,1	0,4-0,7	0,75	0,7-1,0	0,8-1,0	0,75
7	1,1-1,3	0,8-1,0	0,75	0,7-1,2	0,5-0,8	0,75	0,8-1,2	0,9-1,0	0,75
8	0,9-1,2	0,9-1,0	0,75	0,8-1,2	0,6-0,8	0,75	1,0-1,2	1,0	0,75
9	0,7-1,1	1,0	0,5-0,75	0,9-1,2	0,7-0,9	0,75	1,1-1,2	1,0	0,50-0,75
10	0,6-0,9	1,0	0,5-0,75	1,1-1,2	0,8-0,9	0,75	1,0-1,2	1,0	0,50-0,75
11	0,6-0,9	1,0	0,5-0,75	1,2-1,3	0,9-1,0	0,75	0,8-1,1	1,0	0,1 -0,75
12	0,6-0,9	1,0	0,1-0,75	1,3	1,0	0,75	0,7-1,0	1,0	0,1 -0,75
13	0,6-0,7	1,0	0,1-0,75	1,2-1,3	1,0	0,75	0,6-0,9	1,0	0,1 -0,75
14	0,6-0,7	1,0	0,1-0,5	1,0-1,3	1,0	0,5-0,75	0,6-0,7	1,0	0,1 -0,5
15	0,6-0,7	1,0	0,1-0,5	0,8-1,3	1,0	0,5-0,75	0,6-0,7	1,0	0,1 -0,5
16				0,7-1,1	1,0	0,5-0,75	0,6	1,0	0,1
17				0,6-1,1	1,0	0,5-0,75			
18				0,6-1,1	1,0	0,5-0,75			
19				0,6-0,8	1,0	0,1-0,5			
20				0,7-0,6	1,0	0,1-0,5			
21				0,6	1,0	0,1			
22				0,6	1,0	0,1			

* FONTE: Planalsucar (1984), p. 48.

em diferentes estágios. Assumindo que o valor de PE é calculado para uma variedade padrão pode-se ajustar o valor de PE às demais variedades através de um fator variedade/estágio (VE) que indica o quanto esta variedade é mais ou menos produtiva em relação à variedade padrão. O cálculo deste fator foi feito utilizando-se as produtividades médias para as principais variedades e estágios nos anos safras 83/84, 84/85, 85/86 e 86/87 (Tabelas 3.1 a 3.4) conforme mostra a Equação 3.11. Este fator somente pode ser calculado e utilizado a partir do segundo ano safra em estudo pois depende dos dados de produção do ano anterior, à medida em que os anos-safra avançam obtém-se um fator que leva em conta todos os anos anteriores ao do ano-safra em questão.

$$FVE(X, Y, Z) = \frac{PO(X, Y, Z)}{PEP(X, Y, Z)} \quad (3.11)$$

onde:

FVE = fator variedade/estágio;

PO = produtividade observada;

PEP = produtividade média ponderada estimada pelo modelo (Equação 3.13);

X = ano safra;

Y = variedade;

Z = estágio.

TABELA 3.16

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	0,4	0,425	0,40

TABELA 3.17

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL (ETR) A PARTIR DOS VALORES:
IADS, ((1 - f) x CRAS x D) E ETM

(1-f)x CRASxD	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	3,9	5,2	6,7	8,1	1,7	3,2	4,4	5,6	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
100	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) x CRASxD	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)

O período de colheita da cana-de-açúcar na região de estudo tem início em abril e termina em novembro. Durante este período determinadas variedades são colhidas predominantemente no início, no meio ou no final da safra conforme mostraram as Tabelas 3.6 a 3.9. A época de colheita exerce influência sobre o valor de PE e para levar em conta este efeito no cálculo do fator VE utilizou-se os dados da Tabela 3.18 para calcular o valor médio de PE ponderado pelo número de áreas colhidas em cada mês o qual foi denominado PEP.

$$PEP (X, Y, Z) = \frac{\sum_{i=ABR}^{NOV} (PE (i) \times N (i))}{N} \quad (3.12)$$

onde:

PEP = Produtividade média estimada pelo modelo agrometeorológico ponderado pelo número de áreas plantadas ou colhidas em cada mês de uma dada variedade, num determinado estágio;

- i = mês do plantio (cana planta) ou colheita (cana soca);
- N = n^o. de áreas plantadas ou colhidas de uma dada variedade/estágio em cada ano-safra anterior ao ano-safra em questão (Tabela 3.18).
- X = ano-safra
- Y = variedade
- Z = estágio

Finalmente a produtividade estimada final (PEF) em ton/ha obtida pelo modelo agrometeorológico é calculada da seguinte maneira:

$$PEF = PEP \times VE \quad (3.13)$$

onde:

- PEF = produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico para uma dada variedades num determinado estágio, considerando o período que vai do plantio ou corte até o mês de abril do ano safra em questão;
- PEP = produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico considerando o período que vai do plantio ou corte até o mês de abril do ano safra em questão;
- FVE = fator de ajuste para variedade/estágio. (Equação 3.11).

TABELA 3.21

NÚMERO DE ÁREAS COLHIDAS OU PLANTADAS POR MÊS NO ANO SAFRA ANTERIOR AO ANO SAFRA 86/87

MÊS DA COL./PLANT. VAR/EST	JAN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	TOTAL
03/01	35	7	17	3								62
03/02	3	1	3	1	13	9	6	6	3	2	10	57
03/03				5	20	11	8	5	11	5	3	68
03/04				17	35	17	15	12	10	13	5	134
03/05				5	61	59	37	27	24	19	9	231
03/06												
03/07												
25/02												
25/03												
25/04							1	2	3	10	5	21
25/05												
25/06												
25/07												
48/01												
48/02												
48/03												
48/04								1	4	8	2	15
48/05								1	9	20	14	44
48/06												
72/01		5	2	2								9
72/02				5	13	4	5	2		1	4	34
72/03				2	4	3	1	1	5	1		17
72/04					1		4			1	1	7
73/01	29	24	9	6								68
73/02	4	2		1	1	3	5	10	20	20	10	76
73/03								12	4	27	11	54
73/04						1		4	15	20	35	75
80/01	23	3	3									29
80/02	5		1						1	2	5	14
81/01	10											10
81/02				2		5	2		1			10

3.12 - MODELO DE PRODUTIVIDADE PROPOSTO

O modelo de produtividade proposto neste trabalho visa combinar o resultado da estimativa da produtividade obtida pelo modelo agrometeorológico com os índices vegetativos a partir dos dados do satélite Landsat.

A alta frequência de registro dos dados meteorológicos ao longo do tempo permite acompanhar o crescimento da cana-de-açúcar em função da disponibilidade climática para a cultura, através do modelo agrometeorológico. Por outro lado os dados espectrais do satélite Landsat apresentam uma alta resolução espacial que permite observar as variações entre as áreas canavieiras uma vez que a resposta espectral da área canavieira deve representar o efeito coletivo de diversos fatores sobre o crescimento da cultura.

Com o modelo agrometeorológico podemos quantificar o efeito dos principais fatores climatológicos sobre a produtividade da cana-de-açúcar. Todavia através deste modelo não podemos quantificar o efeito de outros fatores (ex: solo, adubação, pragas, doenças, etc.) que também influem na produtividade.

A integração dos dados espectrais expressos pelo índice vegetativo com o modelo agrometeorológico não pode ser feito de forma multiplicativa uma vez que o índice vegetativo não é uma variável totalmente independente dos fatores utilizados no modelo agrometeorológico pois o efeito climático sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura também está representado no índice vegetativo.

Com base no trabalho de Barnett e Thompsom (1982) integrou-se os dados de produtividade estimados pelo modelo agrometeorológico com os índices vegetativos obtidos das imagem do satélite Landsat através da técnica estatística de regressão a fim de obter o modelo de produtividade proposto.

O primeiro ano safra da análise (83/84) foi utilizado para obter o modelo (equação de regressão) e que representa o melhor ajuste da produtividade observada com os índices vegetativos (RVI) e a produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico (PEP). Este modelo foi utilizado para estimar a produtividade no ano safra 84/85. O modelo para os anos safra seguintes foi obtido utilizando-se os dados dos anos safras anteriores.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - MODELO AGROMETEOROLÓGICO

O modelo agrometeorológico foi utilizado para obter os dados de produtividade estimada (PE) para cana-de-açúcar plantada entre os meses de dezembro e abril e também para a cana colhida entre os meses de abril e novembro. O modelo calcula primeiramente uma produtividade máxima (PM) cujo valor depende da disponibilidade climática para a cultura e supõe condições ideais de disponibilidades de água. Posteriormente o modelo calcula a evapotranspiração máxima (ETM) da cultura. Dependendo da quantidade de água disponível no solo para a cultura a evapotranspiração real (ETR) será igual ou menor à ETM. Se ETR for igual a ETM o valor de PM será igual ao valor de PE. Se ETR for menor do que ETM o valor de PM será multiplicado por um índice de penalização (IP) obtendo-se o valor de PE. Os valores de PM (ton/ha), IP e PE (ton/ha) foram obtidos para os anos safras 83/84, 84/85, 85/86 e 86/87 na Usina Barra Grande e são mostrado na Tabela 4.1.

Os valores de PE expressos em toneladas de colmos de cana por hectare representam a estimativa da produtividade em função da data de plantio ou colheita para uma variedade genérica da cultura da cana-de-açúcar. Visto que as variedades de cana-de-açúcar em seus diversos estágios de crescimento apresentam diferentes potenciais de produção calculou-se um fator de ajuste (FVE) para cada variedade/estágio, empregando-se a Equação 3.11 e cujos resultados são mostrados na Tabela 4.2. Os valores de PO, PEP, FVE e PEP para as amostras analisadas nos anos safras 83/84, 84/85, 85/86 e 86/87 estão respectivamente nas Tabelas A1, A2, A3 e A4.

Este fator foi utilizado na estimativa do modelo agrometeorológico a partir do ano-safra 84/85 sendo que o fator FVE para este ano-safra foi calculado com base nos dados do ano-safra anterior. Para os anos-safra 85/86 e 86/87 o fator FVE foi calculado levando em conta os dados dos 2 e 3 anos-safra anteriores, respectivamente. Na Tabela 4.2 são apresentados os valores do fator FVE, da produtividade observada (PO), da produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico sem FVE (PEP) e com FVE (PEF) por variedade/estágio para as safras 84/85, 85/86 e 86/87. Nesta tabela é apresentado também o valor de FVE a ser empregado na safra 87/88.

TABELA 4.1

RESULTADOS DO MODELO AGROMETEOROLÓGICO POR ANO SAFRA

ANO SAFRA		83/84			84/85			85/86			86/87		
PLANT. ou COL.		PM	IP	PE	PM	IP	PE	PM	IP	PE	PM	IP	PE
P L A N T A	DEZEMBRO	122	0,86	105	116	0,80	92	130	0,82	106	128	0,72	92
	JANEIRO	115	0,84	96	109	0,75	82	123	0,79	97	120	0,72	86
	FEVEREIRO	106	0,83	88	102	0,75	76	113	0,74	84	112	0,73	82
	MARÇO	97	0,84	82	93	0,73	68	103	0,76	78	104	0,74	78
	ABRIL	91	0,87	79	86	0,76	65	95	0,78	74	96	0,76	73
S O C I A	ABRIL	91	0,89	81	86	0,74	63	95	0,83	79	96	0,76	73
	MAIO	83	0,88	73	79	0,73	57	90	0,84	75	88	0,77	68
	JUNHO	77	0,87	68	75	0,73	54	83	0,83	69	83	0,79	65
	JULHO	73	0,87	63	71	0,80	57	77	0,83	64	80	0,81	64
	AGOSTO	67	0,88	59	56	0,77	51	71	0,84	60	76	0,81	62
	SETEMBRO	61	0,90	55	60	0,76	46	66	0,85	56	70	0,80	56
	OUTUBRO	54	0,89	48	56	0,77	43	59	0,86	51	62	0,86	53
	NOVEMBRO	46	0,95	44	49	0,87	43	49	0,92	45	53	0,91	48

Obs.: PM=Produtividade Máxima; IP=Índice de Penalização; PE=Prod. Estimada

TABELA 4.2

VALORES POR VAR/EST DE FVE, DA PRODUTIVIDADE OBSERVADA (PO), DA PRODUTIVIDADE ESTIMADA PELO MODELO AGROMETEOROLÓGICO SEM FVE (PEP) E COM FVE (PEF), E % DE ÁREA PLANTADA PARA AS SAFRAS 84/85, 85/86, 86/87 E FVE PARA 87/88.

SAFRA	84/85					85/86					
	VAR/EST	FVE	PO	PEP	PEF	AREA	FVE	PO	PEP	PEF	AREA
03/01		1,28	114,1	74,1	94,8	3,8	1,41	124,6	91,8	129,4	3,7
03/02		1,34	80,4	55,9	74,9	11,9	1,39	103,0	74,0	102,9	4,6
03/03		1,30	73,8	53,7	69,8		1,34	83,0	71,1	95,3	12,5
03/04		1,22	66,6	51,3	62,6	10,7	1,26	76,4	69,1	87,1	11,5
03/05		1,10	63,4	51,7	56,9	15,6	1,17	75,7	69,5	81,3	9,2
03/06								75,5	67,1	67,1	5,5
03/07								69,2	68,2	68,2	5,4
25/02		0,99	49,6	46,9	46,4	0,5	1,03				
25/03		1,17	42,3	48,2	56,4	0,8	1,03	49,6	58,0	59,7	0,4
25/04		1,01	46,9	45,5	46,0	7,5	1,02	51,5	52,8	53,9	0,4
25/05		1,03	47,3	44,0	45,3	4,7	1,06	51,7	49,6	52,6	2,1
25/06								53,4	51,4	51,4	0,7
25/07								56,3	51,0	51,0	0,5
48/01		1,14									
48/02		1,17	58,2	48,7	57,0	1,9	1,19				
48/03		1,14	55,2	44,9	51,2	6,0	1,19	55,0	50,3	59,9	1,9
48/04		1,00	49,4	44,3	44,3	2,6	1,06	53,9	54,1	57,3	4,8
48/05			63,4	44,6	44,6	0,3	1,44	42,6	52,4	75,5	1,8
48/06											
72/01			74,8	68,1	68,1	0,9	1,10	90,7	88,5	97,3	2,2
72/02			77,5	54,4	54,4	0,9	1,42	71,4	67,9	96,4	1,3
72/03								61,2	61,4	61,4	0,9
72/04						4,8					
73/01		1,16	90,0	73,6	85,4	8,3	1,19	95,5	86,2	102,6	7,3
73/02			77,6	48,7	48,7	1,0	1,53	84,5	64,9	99,3	5,8
73/03			69,0	49,2	49,2		1,40	67,4	56,3	78,8	8,5
73/04								70,3	56,9	56,9	1,0
80/01											
80/02											
81/01											
81/02											
MÉDIA			68,6	52,5	61,3			77,8	68,2	85,0	

(continua)

Tabela 4.2 - Conclusão

SAFRA	86/87					87/88
	FVE	PO	PEP	PEF	AREA	FVE
03/01	1,39	99,0	82,7	114,9	5,6	1,34
03/02	1,39	87,4	62,5	86,9	4,9	1,39
03/03	1,28	83,8	63,0	80,6	4,2	1,29
03/04	1,21	66,1	59,1	71,5	11,5	1,19
03/05	1,14	62,3	65,7	74,9	17,8	1,11
03/06	1,13					
03/07	1,01					
25/02	1,02					
25/03	0,97					
25/04	1,00	52,1	53,6	53,6	1,2	0,99
25/05	1,05					
25/06	1,04					
25/07	1,10					
48/01	1,14					
48/02	1,18					
48/03	1,15					
48/04	1,04	49,2	53,7	55,8	1,6	1,01
48/05	1,12	43,4	52,2	58,5	2,7	1,05
48/06						
72/01	1,06	64,8	79,1	83,8	1,5	1,00
72/02	1,23	73,2	64,6	79,5	2,6	1,20
72/03	1,00	58,7	63,1	63,1	1,3	0,98
72/04		53,8	60,7	60,7	0,8	0,89
73/01	1,16	81,9	82,4	95,6	8,0	1,18
73/02	1,40	74,0	57,6	80,6	8,6	1,37
73/03	1,30	64,4	54,2	70,5	5,6	1,27
73/04	1,24	54,7	51,9	64,4	8,0	1,19
80/01		98,3	84,8	84,8	3,9	1,16
80/02		91,4	60,0	60,0	0,8	1,52
81/01		04,0	86,0	86,0	0,6	1,21
81/02		92,5	65,5	65,5	0,7	1,41
MÉDIA		71,0	65,2	78,1		

A Tabela 4.3 mostra os valores da produtividade média estimada pelo modelo agrometeorológico com e sem o fator variedade/estágio, além do erro percentual destas estimativas em relação à produtividade da usina. Nas Tabelas A1, A2, A3 e A4 são apresentados os valores de PEP e PEF para cada amostra nos respectivos anos safra analisados.

TABELA 4.3

PRODUTIVIDADE ESTIMADA PELO MODELO AGROMETEOROLÓGICO (TON/HA), PARA A USINA, COM E SEM FATOR VARIEDADE/ESTÁGIO E ERRO DA ESTIMATIVA EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE OBSERVADA (%)

ANO SAFRA	PRODUTIVIDADE MÉDIA ESTIMADA PELO MODELO AGROMETEOROLÓGICO (TON/HA)		ERRO DA ESTIMATIVA (%)	
	SEM FATOR	COM FATOR	SEM FATOR	COM FATOR
83/84	65,1	----	-17,1	----
843/85	52,5	61,3	-23,5	-10,6
85/86	68,2	85,0	-12,3	+ 9,3
86/87	65,2	78,1	- 8,2	+10,0

Observamos que o fator variedade/estágio melhorou de forma pouco significativa a estimativa do modelo agrometeorológico. Isto se deve certamente ao fato de que as variações na produtividade observada e estimada pelo modelo agrometeorológico e que ocorrem de ano para ano entre uma certa variedade/estágio, não são constantes.

TABELA 4.4

RESULTADOS DA REGRESSÃO DA PRODUTIVIDADE OBSERVADA (PO) COM A PRODUTIVIDADE ESTIMADA PELO MODELO AGROMETEOROLÓGICO SEM E COM FATOR VARIEDADE/ESTÁGIO

ANO SAFRA	No. DE AMOSTRAS	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO		ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (%)	
		SEM FATOR	COM FATOR	SEM FATOR	COM FATOR
83/84	134	0,64	----	15,56	----
84/85	139	0,28	0,34	16,06	15,39
85/86	131	0,37	0,43	16,50	15,67
86/87	138	0,49	0,49	14,10	14,03

A Tabela 4.4 mostra os resultados da regressão entre os valores da produtividade observada (PO) e a produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico sem o fator

variedade/estágio (PEP) e com o fator variedade/estágio (PEF). Observamos que tanto o coeficiente de determinação quanto o erro padrão da estimativa não sofrem uma melhora significativa com o emprego do fator variedade/estágio. Desta forma podemos afirmar que a variação da produtividade não explicada pelo modelo agrometeorológico se deve principalmente a outros fatores (p. ex.: solo, fertilidade, data de colheita, etc.) que o modelo não leva em consideração e que portanto este fator precisa ser analisado em mais anos-safra para verificar sua validade. Assim sendo, as demais análises deste trabalho não levaram em conta a utilização do fator variedade/estágio (FVE).

4.2 - MODELO ÍNDICE VEGETATIVO

A fim de verificar o potencial dos dados espectrais (índice vegetativo) para estimar a produtividade da cana-de-açúcar foi feita a regressão dos dados de produtividade observada com o índice vegetativo para se obter a equação (modelo) que melhor ajusta estes dados. Com os dados do conjunto de amostra do ano-safra 83/84 obteve-se o modelo (equação de regressão) para estimar a produtividade no ano-safra 84/85. Da mesma forma foram obtidos os modelos para os anos-safra 85/86, 86/87 e 87/88. Estes resultados são mostrados na Tabela 4.5 juntamente com o erro padrão da estimativa (e) em ton/ha e o coeficiente de determinação (r^2) para a relação entre a produtividade observada e a produtividade estimada por estes modelos em cada ano-safra.

Na Tabela 4.6 são mostrados os valores da produtividade média estimada pelo modelo do índice vegetativo e o erro (%) desta estimativa em relação ao observado. Notamos que os erros destas estimativas são significativamente menores do que os erros das estimativas obtidas pelo modelo agrometeorológico.

TABELA 4.5

MODELO DO ÍNDICE VEGETATIVO E RESULTADOS DA REGRESSÃO DA
PRODUTIVIDADE OBSERVADA COM A PRODUTIVIDADE ESTIMADA POR ESTE
MODELO

ANO SAFRA	MODELO	ERRO PADRÃO EST. e (TON/HA)	COEF. DE DETERMINAÇÃO PROD. OBS.xPROD. EST. (r ²)
83/84	-----	-----	-----
84/85	$P = -31,9 + 28,6 * RVI$	12,15	0,59
85/86	$P = -35,6 + 29,0 * RVI$	18,12	0,24
86/87	$P = -11,8 + 22,4 * RVI$	18,56	0,14
87/88	$P = -3,29 + 20,0 * RVI$	-----	-----

TABELA 4.6

PRODUTIVIDADE MÉDIA ESTIMADA PELO MODELO DO ÍNDICE VEGETATIVO E
ERRO (%) EM RELAÇÃO À PRODUTIVIDADE OBSERVADA

ANO SAFRA	PRODUTIVIDADE MÉDIA ESTIMADA EM TON/HA	ERRO RELATIVO DA ESTIVATIVA (%)
84/85	72,1	5,1
85/86	83,8	7,7
86/87	75,5	6,3

4.3 MODELO PROPOSTO

Conforme foi visto no item 4.1 o modelo agrometeorológico explica boa parte da variação da produtividade observada. Todavia obtém-se através deste modelo uma estimativa que é essencialmente função da disponibilidade climática para a cultura desde o último corte ou plantio até o início da colheita, que ocorre no mês de abril. Desta forma outros fatores tais como variedade, estágio de corte, fertilidade, pragas e doenças não são levados em conta e sua influência na variação da produtividade é difícil de ser determinada.

Enquanto o modelo agrometeorológico acompanha o crescimento da cultura ao longo do tempo através das médias mensais de diversos fatores meteorológicos, o índice vegetativo representa o efeito coletivo de diversos fatores sobre o

crescimento da cultura. O índice vegetativo é uma medida da relação entre a energia refletida na região do infravermelho próximo (MSS 7) e da energia refletida na região do visível (MSS 5) do espectro eletromagnético, obtido sobre cada área canavieira no final da fase de maior crescimento da cultura (fevereiro-março) pouco antes da colheita.

Desta forma a alta frequência temporal dos dados utilizados no modelo agrometeorológico se deve complementar com a alta resolução espacial dos índices vegetativos. A integração deste dois dados (produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico e índice vegetativo) foi feita através da técnica estatística de regressão.

Com o conjunto de amostras do ano-safra 83/84 foi feita a regressão da produtividade observada com índice (RVI) e a produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico (PEP). A partir desta regressão obteve-se o modelo (equação de regressão) para estimar a produtividade na safra 84/85. Os modelos dos anos-safra 85/86, 86/87 e 87/88 foram obtidos da mesma forma, incorporando-se à regressão os dados (RVI e PEP) dos anos anteriores e os resultados são mostrados na Tabela 4.7.

Nesta mesma tabela não apresentados os coeficientes de determinação (r^2) e o erro padrão da estimativa (e) em ton/ha para a regressão dos dados de produtividade observada (PO) e produtividade estimada pelo modelo proposto (PEST). Podemos observar que este modelo explicou 69% da variação da produtividade observada no ano-safra 84/85. Para os anos-safra 85/86 e 86/87 o modelo proposto explicou 54% e 50% da variação da produtividade observada, respectivamente. O resultado da relação entre a produtividade observada (PO) e a produtividade estimada pelo modelo é também apresentado através das Figuras 4.1, 4.2 e 4.3. Os valores de PEST para os conjuntos de amostras analisados nos anos-safra 84/85, 85/86 e 86/87 estão respectivamente nas Tabelas A2, A3 e A4.

Na Tabela 4.8 são apresentados de forma resumida os resultados da regressão entre a produtividade observada (PO) e a produtividade estimada para os anos safra 84/85, 85/86 e 86/87 pelos modelos: agrometeorológico (PEP), índice vegetativo (PRVI) e proposto (PEST).

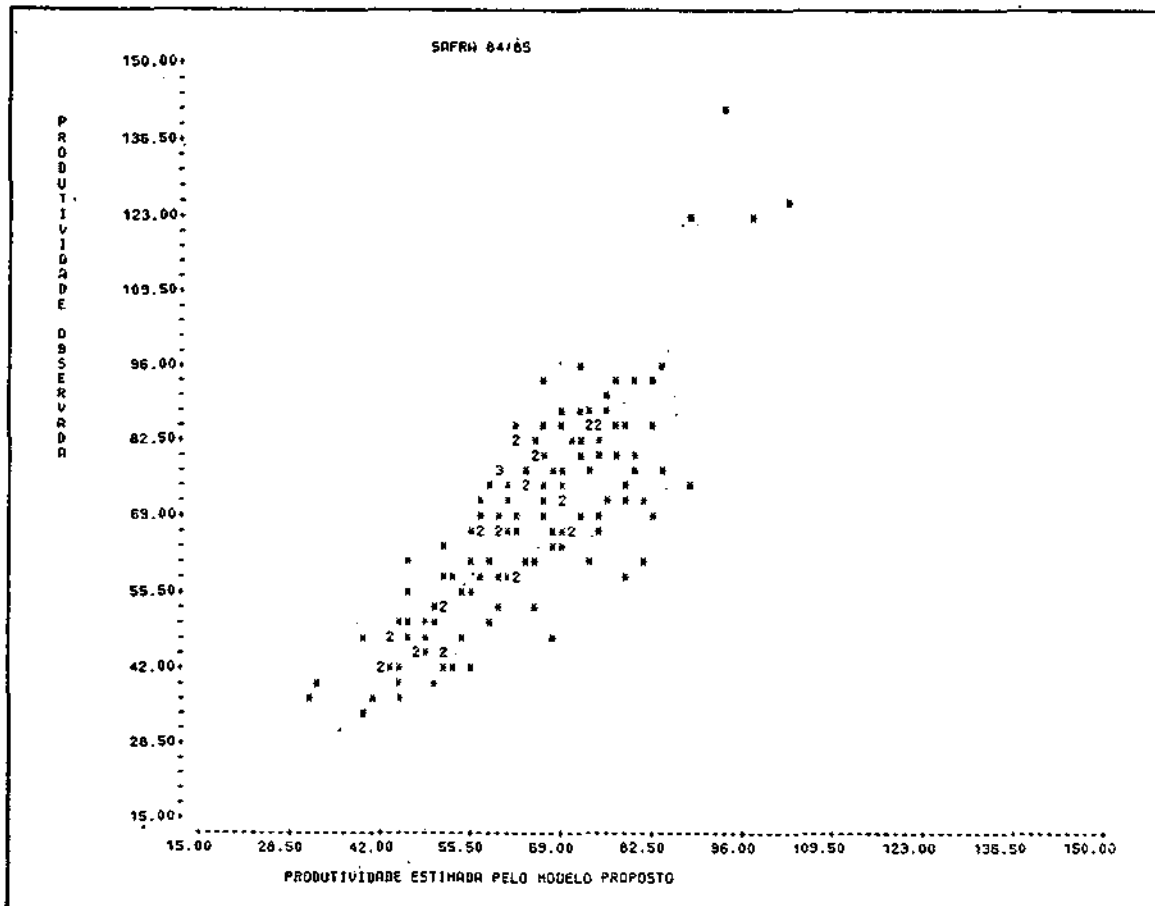


Fig. 4.1 - Regressão da produtividade observada (PO) com a produtividade estimada pelo modelo proposto (PEST) para a safra 84/85.

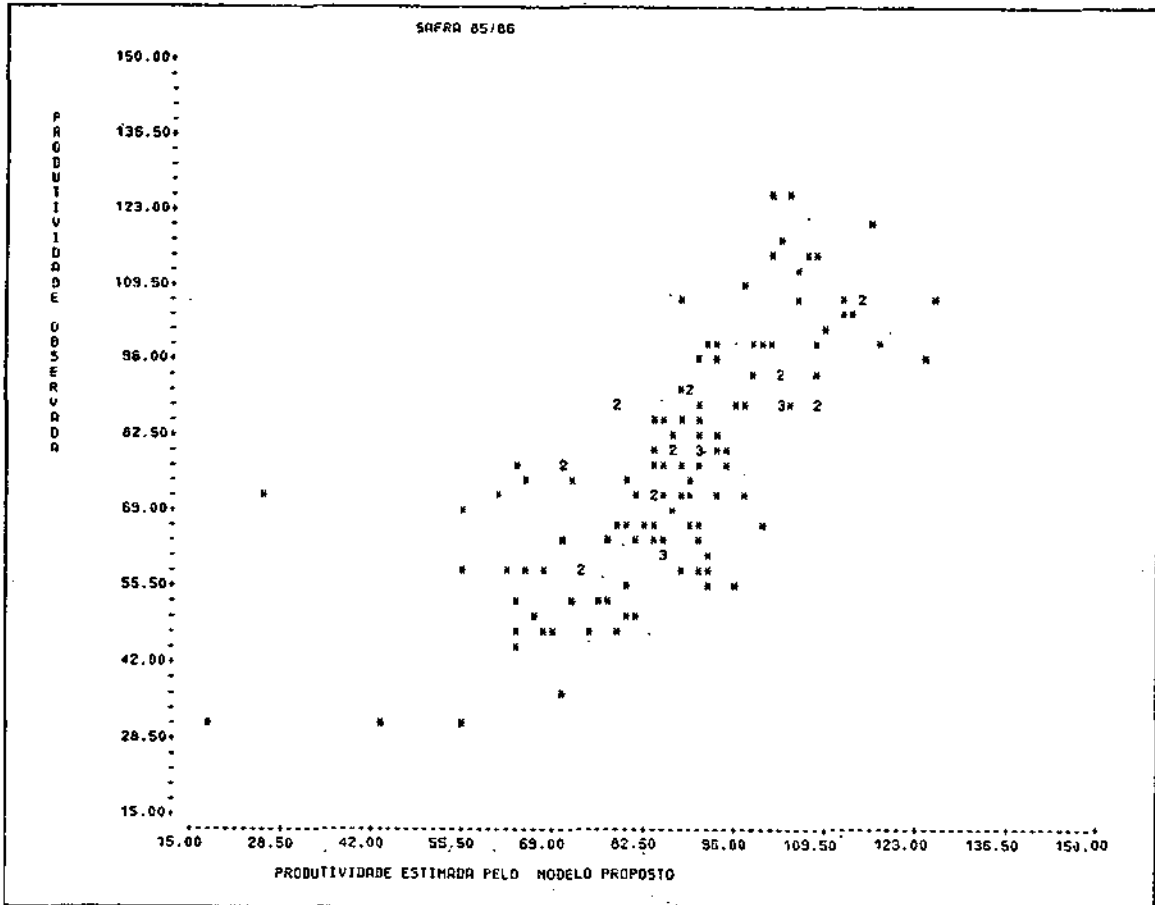


Fig. 4.2 - Regressão da produtividade observada (PO) com a produtividade estimada pelo modelo proposto (PEST) para a safra 85/86.

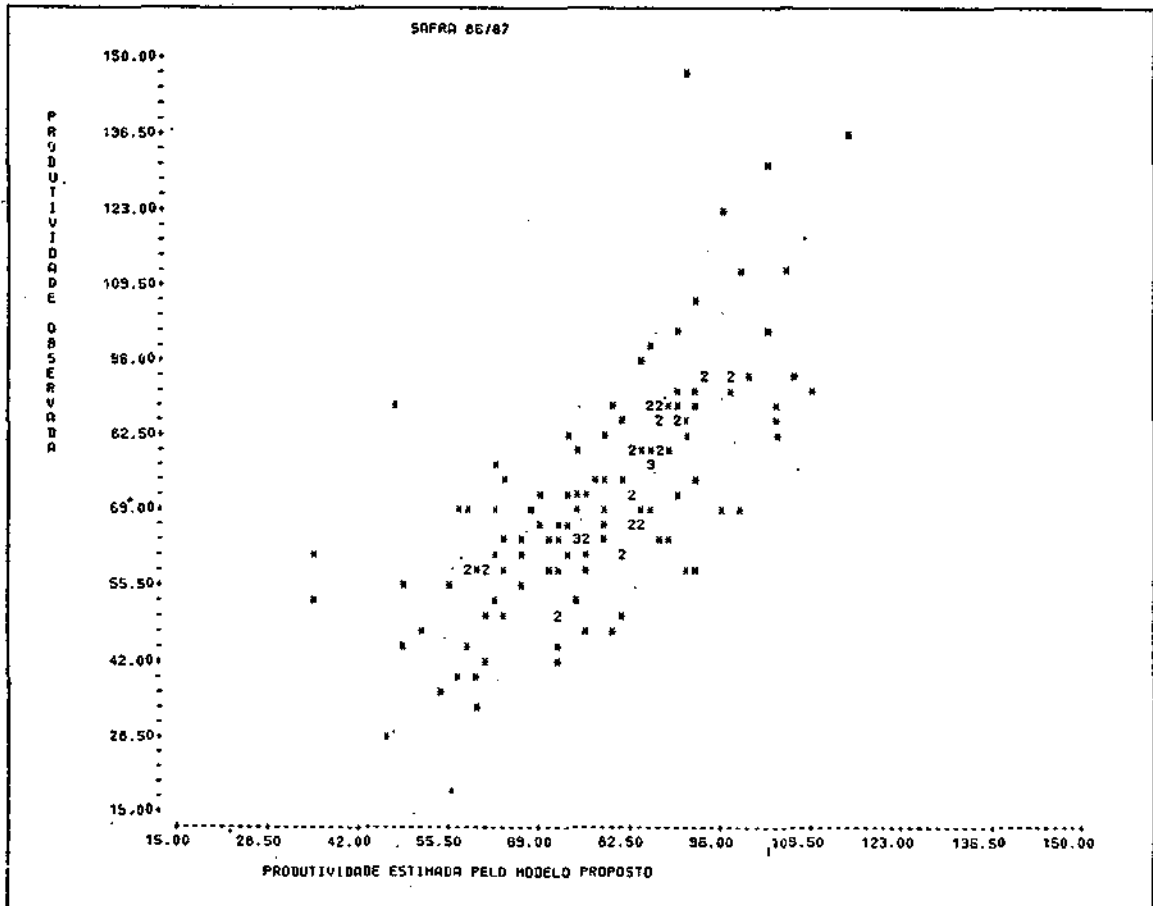


Fig. 4.3 - Regressão da produtividade observada (PO) com a produtividade estimada pelo modelo proposto (PEST) para a safra 86/87.

TABELA 4.7

MODELO PROPOSTO E RESULTADO DA REGRESSÃO DA PRODUTIVIDADE OBSERVADA COM A PRODUTIVIDADE ESTIMADA PELO MODELO PROPOSTO

ANO SAFRA	MODELO PROPOSTO	COEF. DE DET. PO x PEST. (r ²)	ERRO PAD. EST. (TON/HA) e
83/84	-----	-----	-----
84/85	$P = -43,4 + 17,1 * RVI + 0,862 * PEP$	0,69	10,5
85/86	$P = -44,9 + 19,9 * RVI + 0,747 * PEP$	0,54	14,1
86/87	$P = -34,3 + 15,7 * RVI + 0,788 * PEP$	0,50	14,0
87/88	$P = -31,3 + 14,0 * RVI + 0,825 * PEP$	-----	-----

TABELA 4.8

RESUMO DOS RESULTADOS DA REGRESSÃO DA PRODUTIVIDADE OBSERVADA (PO) COM A PRODUTIVIDADE ESTIMADA PELOS TRÊS MODELOS ANALISADOS, PRODUTIVIDADE MÉDIA ESTIMADA E ERRO RELATIVO (%) PELOS MODELOS NOS ANOS SAFRA 84/85, 85/86 E 86/87

ANO SAFRA	MODELO											
	AGROMETEOROLÓGICO				ÍNDICE VEGETATIVO				PROPOSTO			
	r ²	e	PEP MÉDIA	ERRO (%)	r ²	e	PEP MÉDIA	ERRO (%)	r ²	e	PEP MÉDIA	ERRO (%)
84/85	0,28	16,1	52,5	-23,5	0,59	12,2	72,1	5,1	0,69	10,5	63,3	- 7,7
85/86	0,37	16,5	68,2	-12,3	0,24	18,1	83,8	7,7	0,54	14,1	87,2	12,1
86/87	0,49	14,1	65,2	- 8,2	0,14	18,6	75,5	6,3	0,50	14,0	78,1	10,1

Analisando os resultados através destes três modelos temos uma grande dificuldade em afirmar qual destes três modelos é melhor. Se analisamos o resultado em termos da produtividade média estimada por cada um dos modelos, certamente optaríamos pelo modelo índice vegetativo que apresenta os menores erros relativos da estimativa nos três anos-safra quando comparados aos outros dois modelos. Por sua vez o modelo agrometeorológico poderia sofrer algumas melhorias no ajuste de alguns de seus fatores para elevar a produtividade média estimada, que está sendo sistematicamente subestimada. Além da relativa simplicidade de utilização deste modelo ele fornece uma estimativa da safra independente da disponibilidade de imagens de satélite.

O modelo proposto acarreta uma melhoria nos resultados, especialmente nos anos-safra 84/85 e 85/86, em termos da variação da produtividade observada explicada (r^2) e também do erro padrão da estimativa (e). Já no ano-safra 86/87 este modelo não apresenta melhoria quando comparado ao modelo agrometeorológico.

Todavia a superioridade do modelo proposto em relação ao modelo índice vegetativo está na estabilidade dos coeficientes da equação. Os coeficientes do modelo índice vegetativo variam muito de ano para ano (Tabela 4.5) tornando o modelo instável. Provavelmente esta instabilidade se deve a fatores atmosféricos e de calibração do sensor e que interferem de forma diferenciada nos valores de reflectância das imagens adquiridas no anos-safra em estudo.

A utilização da técnica estatística de regressão para obter um modelo de estimativa de produtividade conforme proposto neste trabalho requer que as variáveis (PEP e RVI) sejam independentes ou pelo menos tenham um certo grau de independência. Como vimos nas análises feitas anteriormente tanto PEP quanto o RVI são relativamente bons estimadores da produtividade de cana e mesmo assim são bastante independentes. O valor de PEP é proveniente da disponibilidade climática para a cultura durante o seu principal período de crescimento e o valor RVI representa de forma indireta o efeito dos diversos fatores que afetam a resposta espectral da cultura os quais tem estreita relação com a produtividade. Os coeficientes de correlação entre PEP e RVI para os anos-safra 83/84, 84/85, 85/86 e 86/87 foram respectivamente de: 0,25, 0,48, 0,03 e 0,18. Estes valores mostram que PEP e RVI são bastante independentes e portanto podem ser utilizados na técnica estatística de regressão.

•
• •

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

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

- 1) a incorporação do fator variedade/estágio à estimativa da produtividade obtida pelo modelo agrometeorológico não acarreta melhora significativa;
- 2) o fator variedade/estágio precisa ser obtido com base nos dados de produção de mais anos safras;
- 3) o modelo agrometeorológico deve sofrer um ajuste em alguns de seus fatores pois o modelo está sistematicamente subestimando a produtividade;
- 4) o modelo agrometeorológico explicou 64%, 28%, 37% e 49% da variação da produtividade observada respectivamente para os anos-safra 83/84, 84/85, 85/86 e 86/87;
- 5) o modelo índice vegetativo explicou 59%, 24% e 14% da variação da produtividade observada respectivamente para os anos-safra 84/85, 85/86 e 86/87;
- 6) o modelo índice vegetativo forneceu as melhores estimativas médias da produtividade nos três anos safras analisados, porém os coeficientes da equação do modelo variam bastante de ano para ano;
- 7) o modelo proposto explicou 69%, 54% e 50% da variação da produtividade observada respectivamente para os anos-safra 84/85, 85/86 e 86/87;
- 8) nos anos safra 84/85 e 85/86 o modelo proposto é significativamente melhor do que os modelos agrometeorológicos e índice vegetativo;
- 9) o modelo proposto possui uma boa estabilidade nos coeficientes das equações obtidas para os quatro anos-safra.

Em virtude da experiência adquirida, recomenda-se que:

- 1) o modelo agrometeorológico seja melhor ajustado em termos de seus fatores a fim de evitar a sistemática subestimativa em relação à produtividade observada;

- 2) parâmetros agronômicos utilizados no modelo agrometeorológico sejam estimados através dos dados espectrais;
- 3) sejam utilizados procedimentos de correção atmosférica para atenuar de certa forma os efeitos aditivos sobre os dados espectrais obtidos pelo satélite.

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, 1979.
- BAIER, W. Note on the terminology of crop-weather models. *Agricultural Meteorology*, 20(2):137-145, Apr. 1979.
- BRIAN, L.M.; BARKER, J.L. *Landsat MSS and TM Post - Calibration Dynamic Ranges, Extratmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures*. Greenbelt, MD, NASA/GSFC, (1987).
- 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.
- BRAKKE, 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, ERIM, 1979. p. 1781-1788.
- 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.; 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.
- HATFIELD, J.L. Spectral behavior of wheat yield variety trials. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 47(10):1487-1491, Oct. 1981.
- HOFFER, 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, NY, McGraw Hill, 1978, p. 228-289.
- 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 DO AÇÚCAR E DO ALCOOL. PROGRAMA NACIONAL DE MELHORAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR (IAA. PLANALSUCAR) *Relatório anual 1983*. Rio de Janeiro, 1984.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Levantamento sistemático da produção agrícola - outubro 1988*. Rio de Janeiro, 1988. p. 22.
- 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 Paranã 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. (Bo1. 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):187-298, 1983.
- KNIPLING, E.G.; LAMBECK, P.F.; CRIST, E.P. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 1(3):155-159, 1970.
- MIDDLETON, E.M.; LU, Y.C. Using solar elevation angle and radiance conversion to normalize forest spectral signatures. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 17., Ann Arbor, MI, 1983. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1983, Vol. 2, p. 895-905.
- MEDEIROS, J.S. *Desenvolvimento metodológico para detecção de alterações da cobertura vegetal através da análise digital de dados MSS-LANDSAT*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1987. (INPE-4123-TDL/262).
- 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.
- NELLI, E. *Tipos de solos na Usina Barra Grande*. Lencóis Paulista, 1983. Comunicação pessoal a B.F.T. Rudorff, em 25 de set. 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, Jan. 1981.

- RAO, M.V.K.; AYYANGER, R.S.; RAO, 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, July 7-9, 1982. *Proceedings*. West Lafayette, IN, Purdue University, 1982, p. 226-234.
- RIBEIRO, E.A.; II, F.A.M.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V. *Manual dos usuários dos sistemas de tratamento de imagens digitais*. São José dos Campos, INPE.DI.DSC.LTID., 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 modeling. *Agricultural Meteorology*, 26(1):11-23, Mar. 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. *Dados Landsat na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, dez. 1985. (INPE-3744-TDL/202).
- RUDORFF, B.F.T.; BATISTA, G.T. *Relatório da Fase I do Projeto ESTIMA - Desenvolvimento de um modelo para estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar baseado em dados Landsat e agrometeorológicos*. São José dos Campos, INPE, fev. 1988 (INPE-4466-RPE/560).
- SETZER, J. *Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Uruguai, 1966, 66 p.
- 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.

- THOMPSON, D.R. Monitoring growth and yield components by Landsat. In: NASA. *Feasibility of assessing crop conditions and yield from Landsat data*. Houston, TX, 1978. Lyndon B. Johnson Space Center. Sec. 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 area index 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. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 18., Paris, 1.5 Oct. 1984. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1984. V.3, p. 1551-1560.

APÊNDICE A

DADOS DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA USINA, DADOS ESPECTRAIS DO
PRODUTIVIDADE ESTIMADA PELOS MODELOS ANALISADOS NA SAFRA
83/84, 84/85, 85/86 E 86/87

Tabela A.1 - Continuação

R	F	T	V	E	S	P	N5	N7	R5	R7	RVI	PEP
86	37	7	25	3	1	53	44.92	101.50	17.2260	49.3474	2.68402	43
87	21	25	25	3	1	54	41.00	101.33	15.8154	49.2234	3.11238	43
88	42	76	25	3	1	57	42.33	111.67	18.2547	54.1019	3.32922	48
89	34	85	28	3	1	58	38.50	115.85	14.9145	55.1068	3.73440	48
90	34	90	25	3	1	59	41.45	115.85	15.9775	58.1212	3.51250	48
91	34	84	25	3	1	60	35.28	123.35	19.9955	59.6175	4.25941	48
92	34	80	25	3	1	60	36.70	108.50	14.2858	52.7850	3.70081	48
93	34	94	25	3	1	60	39.10	117.79	15.1307	56.9704	3.79523	43
94	34	88	25	3	1	60	43.30	123.00	18.6442	59.4474	3.57165	43
95	34	93	25	3	1	61	41.20	111.70	15.8675	54.1160	3.40621	43
96	34	91	25	3	1	62	38.75	118.50	15.0045	58.3807	3.75757	43
97	34	95	25	3	1	68	37.40	113.00	14.6180	57.5692	3.96473	43
98	34	83	25	3	1	67	41.95	125.10	18.1577	60.4302	3.74051	48
99	14	94	25	3	1	69	35.50	123.17	13.8333	59.5276	4.30320	48
100	12	28	25	3	1	76	34.17	122.17	13.3540	59.0558	4.42232	53
101	12	47	25	3	1	79	31.25	121.08	12.3018	58.5415	4.75879	83
102	12	48	25	3	1	83	31.81	117.25	12.5038	56.7345	4.53747	59
103	33	23	25	4	1	47	43.33	109.50	18.6550	53.0780	3.18650	48
104	21	60	25	4	1	52	38.91	111.28	14.3523	53.9175	3.75675	43
105	34	77	25	4	1	53	37.00	109.83	14.3735	53.2337	3.70760	48
106	34	78	25	4	1	55	43.00	109.75	18.5301	53.1960	3.21888	48
107	34	81	25	4	1	56	43.85	113.30	18.8424	54.8709	3.25780	48
108	35	89	48	2	1	48	41.83	84.75	16.1145	41.4089	2.56917	48
109	34	98	48	2	1	54	44.75	113.92	17.1888	55.1634	3.21338	55
110	15	3	48	2	1	63	35.50	107.58	13.8333	52.1722	3.77148	55
111	22	92	48	2	1	64	34.80	91.50	13.2925	44.5856	3.35412	63
112	34	8	48	2	1	64	36.11	116.47	14.0532	50.3685	4.01935	55
113	34	5	48	2	1	67	42.50	109.58	18.3559	53.1150	3.74749	55
114	35	96	48	2	1	66	36.58	113.17	14.1937	54.8096	3.88184	48
115	34	2	48	2	1	71	35.82	116.33	13.9847	56.3005	4.02588	48
116	33	62	48	2	1	60	41.83	122.50	18.1145	58.2115	3.67447	48
117	33	67	48	3	1	59	51.83	118.17	19.7182	57.1688	2.89928	65
118	33	65	48	3	1	63	37.33	118.83	14.4928	57.4888	3.08618	55
119	33	84	48	3	1	66	51.08	119.83	19.4101	57.9518	2.98427	53
120	14	93	48	3	1	70	31.50	105.59	12.3919	51.1908	4.13101	48
121	33	69	48	3	1	74	35.75	119.33	13.9214	57.7153	4.14523	55
122	33	79	48	3	1	77	40.65	123.29	16.6893	59.8684	3.79857	55
123	33	78	73	1	1	77	37.00	105.67	14.3799	51.2710	3.56895	56
124	22	10	73	1	1	88	31.33	118.33	12.3380	57.2441	4.54244	56
125	31	96	73	1	1	88	39.25	124.33	13.7432	60.0749	4.37123	82
126	41	87	73	1	1	90	29.50	120.83	11.6711	56.4476	5.00513	79
127	34	68	73	1	1	91	35.50	122.79	13.8441	59.0700	4.27812	79
128	77	95	73	1	1	92	39.98	124.80	12.1756	60.2707	4.95774	82
129	22	79	73	1	1	94	31.10	127.10	12.9884	61.4782	4.74044	88
130	62	79	73	1	1	98	32.85	115.25	12.8784	55.7989	4.33718	79
131	72	77	73	1	1	98	33.50	122.92	13.1342	59.4897	4.52727	88
132	77	38	73	1	1	99	20.75	129.83	11.9414	62.6088	5.24812	82
133	21	74	73	1	1	104	34.58	118.17	13.5618	58.2250	4.18420	88
134	21	73	73	1	1	121	31.33	126.87	12.3986	61.1789	4.96156	88
135	14	19	73	1	1	131	31.00	121.42	12.2117	58.7020	4.80784	96

Obs: R=Amostra; F=Fazenda; T=Talhão; V=Variedade; E=Estágio; S=Safra 83/84; P=Prod. observada; N5=Nível de cinza na banda 2; N7=Nível de cinza na banda 4; R5=Reflectância na banda 2; R7=Reflectância na banda 4; RVI=Índice vegetativo; PEP=Produtividade estimada modelo agrbmet.

Tabela A.2 - Continuação

A	F	T	V	E	S	P	N5	N7	R5	R7	RVI	PEP	FVE	PEF	PRVI	PEST
86	22	37	25	4	2	41	46.30	107.60	16.4979	47.4504	2.87897	43	1.01	43.43	50.427	42.090
87	35	55	25	4	2	42	41.33	100.06	14.8406	44.3057	2.98543	43	1.01	43.43	53.483	44.717
88	34	93	25	4	2	45	41.45	104.70	14.8806	46.2723	3.10999	43	1.01	43.43	67.014	48.676
89	34	90	25	4	2	46	40.50	105.85	14.5838	45.7493	3.20996	43	1.01	43.43	59.908	48.556
90	21	27	25	4	2	47	37.33	108.17	13.8068	47.2418	3.54392	43	1.01	43.43	69.170	54.056
91	32	7	25	4	2	47	42.63	101.17	15.3408	44.7679	2.91818	43	1.01	43.43	51.560	43.494
92	32	5	25	4	2	47	45.22	105.50	16.1378	47.0246	2.81315	43	1.01	43.43	51.439	46.708
93	34	60	25	4	2	48	40.65	102.50	14.6139	45.3395	3.10109	43	1.01	43.43	61.270	49.373
94	34	65	25	4	2	48	41.40	109.80	14.6640	48.4222	3.28769	43	1.01	43.43	63.340	50.010
95	34	63	25	4	2	52	40.05	100.80	14.4138	47.9586	3.33095	43	1.01	43.43	65.440	51.866
96	34	98	25	4	2	52	40.05	111.30	14.4138	49.0574	3.40351	43	1.01	43.43	70.334	54.792
97	34	95	25	4	2	56	37.75	110.65	13.6468	48.7821	3.57461	43	1.01	43.43	73.992	56.979
98	12	47	25	4	2	57	36.00	109.67	13.0939	48.3671	3.70253	43	1.01	43.43	66.654	55.178
99	12	28	25	4	2	62	38.67	109.00	13.9536	48.0034	3.44594	45	1.01	46.46	67.377	53.024
100	34	77	25	5	2	43	37.33	108.17	13.8068	46.8846	3.47121	43	1.03	44.25	65.650	51.991
101	33	23	25	5	2	46	41.83	116.33	15.0873	51.1827	3.41684	43	1.03	44.29	76.010	58.186
102	34	81	25	5	2	50	37.80	116.60	13.5964	51.3020	3.77309	43	1.03	44.29	49.02	55.544
103	33	59	48	3	2	38	51.67	115.25	18.2886	50.7303	2.77388	43	1.14	52.44	62.155	52.489
104	23	93	40	3	2	51	43.17	99.75	15.4542	44.1659	2.85786	51	1.14	50.14	49.035	49.411
105	35	69	48	3	2	55	31.75	94.92	11.6401	42.1209	3.81670	43	1.14	48.02	51.538	55.312
108	34	5	48	3	2	56	42.67	105.83	15.2874	46.2408	3.05747	43	1.14	49.02	67.377	53.024
107	15	3	48	3	2	57	41.83	112.00	15.0073	49.3539	3.28865	46	1.14	52.44	62.155	52.489
108	22	57	48	3	2	62	34.75	103.92	12.6464	45.9319	2.63200	46	1.14	52.44	71.975	58.359
109	35	90	48	3	2	65	35.83	109.17	13.0668	48.1533	3.78238	43	1.14	48.02	73.988	56.972
110	34	50	48	3	2	65	40.75	118.25	14.8472	51.1570	3.49239	46	1.14	52.44	67.377	53.024
111	34	8	48	3	2	80	38.53	116.42	13.2490	50.8023	3.84703	46	1.14	52.44	77.839	61.865
112	34	2	48	3	2	69	38.33	112.33	12.6399	49.4876	3.85469	43	1.14	49.02	70.344	54.581
113	33	62	48	3	2	70	33.02	112.00	12.3697	51.4714	4.16110	51	1.14	64.14	87.107	71.717
114	35	65	48	4	2	49	41.35	121.50	14.8406	53.3311	3.99078	43	1.00	43.00	71.031	58.201
115	31	64	48	4	2	41	44.07	107.67	15.9544	45.0468	2.92148	43	1.00	43.00	46.851	41.947
116	33	87	48	4	2	47	50.25	107.67	17.6151	47.5201	2.60741	43	1.00	43.00	44.385	39.279
117	33	69	48	4	2	53	39.00	108.58	14.0636	47.9055	3.49643	43	1.00	43.00	65.523	51.914
118	33	70	48	4	2	88	35.80	130.05	12.9916	48.9280	3.71391	43	1.00	43.00	74.890	57.518
119	14	93	48	4	2	72	34.87	117.00	12.6198	51.4714	4.07053	48	1.00	48.00	84.749	65.997
120	33	25	73	1	2	56	38.50	109.00	13.8969	45.8423	3.77715	70	1.10	88.18	61.826	78.151
121	34	27	73	1	2	70	38.73	111.32	13.9736	49.0699	3.53112	76	1.16	88.18	100.524	82.156
122	31	30	73	1	2	75	32.35	104.15	11.8491	46.8099	3.08940	76	1.16	86.48	79.238	88.698
123	22	02	73	1	2	78	35.08	115.83	12.7885	50.0759	3.99046	68	1.16	78.68	82.388	83.549
124	33	17	73	1	2	90	38.85	112.65	14.0130	49.7134	3.54754	60	1.16	78.68	89.550	75.875
125	73	91	73	1	2	122	42.81	130.61	11.9095	57.2364	4.76480	68	1.16	78.68	104.516	96.786
126	41	67	73	2	2	49	31.75	104.67	14.3137	48.6711	3.78072	43	1.00	43.00	61.357	49.474
127	11	70	71	2	2	40	47.58	116.17	18.0981	48.1787	2.87482	46	1.00	46.00	50.329	45.411
128	21	96	73	2	2	81	38.85	117.45	14.0130	51.6929	3.68045	51	1.00	51.00	73.535	63.697
129	22	30	73	2	2	81	38.87	117.08	13.2887	49.0112	3.74878	54	1.00	54.00	78.020	67.296
130	22	79	71	2	2	60	35.00	120.00	13.0299	50.5112	4.31207	46	1.00	46.00	82.139	70.415
131	22	77	73	2	2	73	38.00	128.69	13.7302	56.4222	4.10938	57	1.00	57.00	85.628	78.064
132	14	10	73	2	2	74	40.52	133.33	14.7939	58.3679	3.87084	46	1.00	46.00	81.667	64.154
133	21	74	73	2	2	77	34.67	105.83	12.6198	48.7408	3.78375	46	1.00	46.00	74.078	59.587
134	34	68	73	2	2	77	38.40	124.95	13.8636	54.4033	3.95577	46	1.00	46.00	81.229	63.892
135	22	10	73	2	2	80	35.42	131.00	12.8699	57.4965	4.46007	54	1.00	54.00	95.658	79.415
136	31	38	73	2	2	82	39.08	122.08	14.0903	53.6228	3.80565	57	1.00	57.00	78.942	70.811
137	32	4	73	2	2	84	41.67	131.60	14.9540	57.6123	3.85264	54	1.00	54.00	78.285	69.026
138	21	73	73	2	2	88	32.50	126.17	11.8922	55.3550	4.65318	41	1.00	41.00	101.181	71.511
139	42	79	73	2	2	94	35.55	121.70	12.9132	53.4619	4.14089	57	1.00	57.00	86.507	78.530

Obs: A=Amostra; F=Fazenda; T=Talhao; V=Variedade; E=Estagio; S=Safra 84/85; P=Prod. observada; N5=Nivel de cinza na banda 2; N7=Nivel de cinza na banda 4; R5=Reflectancia na banda 2; R7=Reflectancia na banda 4; RVI=Índice vegetativo; PEP=Produtividade estimada modelo agromet. FVE= Fator variedade/estagio; PEF= Prod. estimada pelo mod. agromet. com FVE; PRVI= Prod. estimada pelo mod. ind. veg.; PEST= Prod. estimada pelo mod. proposto.

Tabela A.3 - Continuação

R	F	T	V	E	S	P	NS	N7	RS	R7	RVI	PEP	FVE	PEF	PRVI	PEST
86	34	58	48	4	3	47	31,58	90,25	12,9658	44,8710	3,46072	60	1,06	63,60	64,761	66,760
87	34	5	48	4	0	46	29,25	88,33	12,0705	42,5043	3,55142	51	1,06	54,05	67,661	64,069
88	33	62	48	4	3	46	29,87	101,50	12,2319	50,2743	4,11009	51	1,06	54,06	83,593	74,508
89	34	60	48	4	3	46	29,83	101,29	12,2304	50,1542	4,07977	56	1,06	59,36	82,713	75,119
90	34	2	48	4	3	52	27,25	93,63	11,3921	46,5084	4,12229	51	1,06	54,06	83,946	75,231
91	35	3	48	4	0	54	31,67	97,03	13,0004	46,5116	3,73155	58	1,06	59,36	72,615	71,180
92	34	8	48	4	3	55	29,75	103,19	11,1100	51,0859	4,59021	60	1,06	63,60	97,748	91,424
93	22	52	48	4	3	56	26,33	92,06	10,9466	45,7495	4,17062	58	1,06	59,36	85,640	80,086
94	33	67	48	5	3	31	35,67	97,56	14,5373	48,2015	3,32878	45	1,44	64,80	60,935	54,955
95	33	65	48	5	3	31	38,05	84,42	30,8326	43,9921	1,42881	45	1,44	54,80	5,777	17,108
96	33	69	48	5	3	37	28,92	83,00	11,8437	46,1918	3,86745	51	1,44	73,44	76,556	70,159
97	33	70	48	5	3	50	25,70	95,35	10,7905	47,3205	4,41578	51	1,44	73,44	92,574	81,151
98	14	93	48	5	3	63	77,83	95,33	11,5249	47,3109	4,10500	60	1,44	86,40	83,448	81,611
99	33	85	73	1	3	88	27,50	97,83	11,3981	48,5116	4,25610	84	1,19	99,98	87,827	102,544
100	34	76	73	1	3	88	27,98	96,93	11,5626	49,0399	4,23394	84	1,19	99,98	87,184	102,103
101	23	63	73	1	3	93	26,50	101,40	11,8139	50,7262	4,50026	84	1,19	99,98	95,647	108,597
102	34	79	73	1	3	93	29,65	100,65	12,2242	49,0600	4,07928	84	1,19	99,98	82,699	93,026
103	23	62	73	1	3	90	24,80	105,60	10,3607	52,2434	5,04248	84	1,19	99,98	110,631	118,193
104	31	63	73	1	3	100	27,14	102,09	11,2536	50,9419	4,52472	84	1,19	99,98	95,602	107,690
105	31	61	73	1	3	100	30,88	94,48	12,6891	46,8930	3,69552	84	1,19	99,98	71,570	91,389
106	34	80	73	1	3	102	26,75	103,00	11,1100	58,9947	4,59000	84	1,19	99,98	97,510	109,109
107	33	19	73	1	3	105	26,67	107,08	11,8792	52,9843	4,77900	84	1,19	99,98	103,988	112,962
108	33	20	73	1	3	109	30,00	105,50	12,3587	52,1934	4,22337	78	1,19	92,62	86,878	97,411
109	33	41	73	1	3	114	25,83	98,75	10,7565	78,9635	4,55167	84	1,19	99,98	96,361	108,414
110	33	25	73	2	3	65	29,17	95,00	12,8598	47,1524	3,91638	68	1,53	104,04	77,975	83,832
111	22	82	73	2	3	69	38,50	80,42	15,8247	40,8921	2,81555	60	1,53	91,80	48,051	55,944
112	31	24	73	2	3	70	27,50	92,50	11,3981	45,9517	4,03151	68	1,53	104,04	81,314	86,123
113	23	72	73	2	3	79	29,67	112,33	12,2019	55,4750	4,53519	69	1,53	91,80	95,925	90,173
114	31	77	73	2	3	81	31,72	110,32	12,6775	54,5104	4,24950	68	1,53	104,04	87,698	90,461
115	33	17	73	2	3	82	28,30	114,35	11,7056	54,5063	4,24950	46	1,53	79,38	105,433	86,240
116	37	20	73	2	3	65	29,75	96,69	12,2827	47,0711	3,86750	68	1,53	104,04	77,138	83,257
117	23	91	73	2	3	80	27,97	124,31	11,5787	61,2296	5,20812	56	1,53	85,68	117,755	102,166
118	33	14	73	2	3	100	28,17	124,68	11,6556	61,1192	5,24378	56	1,53	85,68	116,470	101,283
119	33	78	73	3	3	59	36,17	89,33	12,4240	44,4291	3,57805	56	1,40	76,40	60,106	60,098
120	14	19	73	3	3	59	31,33	115,50	12,6697	56,9053	4,42865	50	1,40	64,00	92,837	80,054
121	31	35	73	3	3	59	32,06	96,17	13,1272	47,7143	3,63477	51	1,40	71,40	69,086	65,529
122	22	79	73	3	3	60	29,20	100,60	12,0510	53,6649	4,45464	58	1,40	78,40	53,505	85,578
123	22	30	73	3	3	60	30,33	117,00	12,4055	57,7187	4,62786	51	1,40	71,40	58,463	85,182
124	21	95	73	3	3	62	27,75	107,00	11,4942	53,3001	4,63713	51	1,40	71,40	58,877	85,476
125	41	87	73	3	3	84	29,50	109,33	12,1686	49,7123	4,08597	45	1,40	63,00	62,093	70,020
126	22	77	73	3	3	64	31,06	114,89	12,7660	56,8769	4,43965	58	1,40	78,40	93,150	85,281
127	34	66	73	3	3	66	36,45	103,50	12,5316	51,4269	4,10378	56	1,40	78,40	83,410	78,597
128	21	74	73	3	3	74	28,50	84,82	11,7824	47,3111	3,59105	51	1,40	71,40	68,540	64,854
129	21	73	73	3	3	70	29,17	100,42	12,0006	53,5979	4,45172	59	1,40	78,40	93,500	85,521
130	22	18	73	3	3	76	39,50	111,92	15,6554	85,2789	3,53097	51	1,40	71,40	68,798	63,463
131	42	79	73	3	3	80	28,00	104,80	11,1200	51,8592	4,65870	60	1,40	84,00	95,539	92,649

Obs: A=Amostra; F=Fazenda; T=Talhão; V=Variedade; E=Estágio; S=Safra 85/86; P=Prod. observada; NS=Nível de cinza na banda 2; N7=Nível de cinza na banda 4; RS=Reflectância na banda 2; R7=Reflectância na banda 4; RVI=Índice vegetativo; PEP=Produtividade estimada modelo agromet. FVE= Fator variedade/estágio; PEF= Prod. estimada pelo mod. agromet. com FVE; PRVI= Prod. estimada pelo mod. ind. veg.; PEST= Prod. estimada pelo mod. proposto.

TABELA A.4

DADOS DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA USINA, DADOS ESPECTRAIS DO LANDSAT E
PRODUTIVIDADE ESTIMADA PELOS MODELOS ANALISADOS NA SAFRA 86/87

Table with 17 columns: D, F, I, V, E, S, P, NS, N2, R5, R7, RVI, PEP, FVE, PEF, PRUI, PEST. It contains 88 rows of numerical data representing production system parameters and estimated productivity.

(continua)

Tabela A.4 - Continuação

D	F	T	V	E	S	P	N5	N7	R5	R7	RVI	PEP	FVE	PEF	PRVI	PEST
86	34	86	73	1	4	78.27	29.48	84.56	11.3696	38.4005	3.48641	88.3	1.16	100.108	55.848	88.127
87	41	96	73	1	4	59.69	30.31	110.78	11.6803	51.2603	4.38629	82.0	1.18	95.120	86.453	89.161
88	35	55	73	1	4	64.63	30.58	95.50	11.7858	44.3928	3.76882	77.6	1.15	96.016	72.577	85.958
89	22	37	73	1	4	88.98	30.75	115.70	11.8467	53.4618	4.51450	86.3	1.16	100.108	89.325	104.582
90	33	20	73	1	4	58.60	30.82	89.00	11.9079	45.9044	3.86935	47.8	1.16	55.216	74.672	61.818
91	33	26	73	1	4	58.60	30.83	89.00	11.9114	45.9684	3.85910	82.0	1.16	95.120	74.648	90.505
92	33	59	73	1	4	68.68	31.17	109.33	11.9978	59.6159	4.21878	82.0	1.16	95.120	82.706	96.550
93	35	70	73	1	4	67.00	31.55	90.00	12.1454	41.9194	3.45148	82.0	1.16	95.120	65.513	84.504
94	34	75	73	1	4	85.38	39.63	98.83	15.0427	45.0820	3.05077	88.5	1.16	100.108	56.537	81.602
95	33	20	73	2	4	75.37	29.17	116.17	11.2789	53.6932	4.76089	53.4	1.40	74.760	94.844	82.525
96	33	81	73	2	4	92.38	29.86	124.86	11.5263	57.6028	4.98760	62.0	1.40	86.800	100.144	93.017
97	23	63	73	2	4	73.65	30.20	116.00	11.6487	53.6107	4.60261	68.4	1.40	95.760	81.303	91.663
98	31	80	73	2	4	62.78	30.60	107.89	11.7927	49.8681	4.23721	95.8	1.40	70.120	83.114	76.196
99	33	85	73	2	4	77.55	31.33	117.83	12.0554	54.4441	4.51582	62.0	1.40	86.800	85.354	85.454
100	31	80	73	2	4	90.92	31.36	108.11	12.0662	48.1672	4.07478	88.3	1.40	120.020	79.475	97.079
101	34	80	73	2	4	71.52	32.90	126.20	12.6205	58.2057	4.61290	84.3	1.40	90.020	51.509	68.777
102	34	76	73	2	4	88.01	33.23	116.23	12.7393	63.7202	4.21690	84.3	1.40	90.020	82.659	82.574
103	33	19	73	2	4	78.59	34.06	121.03	13.0432	59.2316	4.31114	62.0	1.40	88.600	84.765	82.241
104	34	79	73	2	4	69.90	41.45	103.75	16.4176	49.1055	2.93911	64.3	1.40	90.020	53.834	82.371
105	33	28	73	3	4	59.69	25.45	92.15	5.5191	42.8856	3.58374	63.4	1.30	69.420	84.095	75.524
106	33	25	73	3	4	43.24	28.28	98.92	11.3860	45.9325	4.31493	63.4	1.30	69.420	79.197	71.553
107	33	17	73	3	4	83.62	30.45	106.25	11.7387	60.1390	4.27850	47.6	1.30	61.880	81.659	79.256
108	33	14	73	3	4	66.28	30.63	110.25	11.8755	51.0298	4.29708	62.0	1.30	80.680	84.455	82.620
109	33	27	73	3	4	58.72	32.25	105.78	12.3665	49.4087	3.98374	53.4	1.30	69.420	77.666	70.481
110	23	72	73	3	4	58.91	33.00	99.33	12.6965	46.1169	3.64374	47.8	1.30	61.880	69.820	60.418
111	22	85	73	3	4	87.57	36.13	83.68	13.7830	39.1860	2.84161	47.8	1.30	61.880	51.852	47.822
112	23	91	73	3	4	59.20	36.65	102.11	14.0586	47.3670	3.76979	53.4	1.30	69.420	63.683	60.685
113	41	87	73	4	4	42.39	26.22	74.22	10.2182	34.8209	3.40830	53.4	1.24	88.216	84.546	81.269
114	21	74	73	4	4	73.00	29.67	89.75	11.4550	40.3059	4.04137	55.8	1.24	89.142	70.727	73.120
115	21	73	73	4	4	73.25	29.92	109.33	11.5479	50.6159	4.38412	53.4	1.24	86.216	88.382	70.594
116	14	19	73	4	4	49.05	30.23	116.00	11.6667	50.8171	4.36433	47.6	1.24	59.024	85.961	71.729
117	22	78	73	4	4	65.25	30.80	105.40	11.7567	48.8478	4.15490	47.6	1.24	55.024	81.279	58.441
118	34	84	73	4	4	93.09	30.60	118.35	11.7927	54.6740	4.63827	88.3	1.24	107.012	92.052	106.494
119	42	79	73	4	4	86.18	30.61	92.72	11.7963	43.1431	3.65735	55.8	1.24	65.192	67.125	67.091
120	22	67	73	4	4	81.82	32.75	102.58	12.5465	47.6791	3.78618	68.4	1.24	84.818	73.011	75.047
121	22	80	73	4	4	55.46	34.22	113.84	13.6466	52.6099	4.07349	47.6	1.24	59.024	76.326	66.378
122	34	60	73	4	4	51.49	34.35	94.70	13.1474	44.6239	3.35053	55.8	1.24	69.192	63.252	62.274
123	33	78	73	4	4	50.43	37.67	99.07	14.3373	46.2889	3.22724	82.0	1.24	101.680	60.490	80.584
124	23	95	73	4	4	46.92	41.75	103.30	15.8058	47.9930	3.03079	47.6	1.24	58.024	56.088	50.791
125	31	35	73	4	4	55.57	45.60	111.58	16.9755	51.6282	3.04193	53.4	1.24	66.216	56.326	55.528
126	22	4	73	5	4	66.44	33.33	111.22	12.7753	39.7463	4.02859	55.8	1.00	55.800	76.440	72.519
127	34	54	73	5	4	45.71	35.47	85.17	13.5495	44.3173	2.93429	47.6	1.00	47.600	53.628	49.277
128	21	28	80	1	4	112.80	26.17	101.33	10.1982	47.0167	4.61028	86.3	1.00	86.300	91.470	106.086
129	21	77	80	1	4	110.86	27.33	95.33	10.6357	44.3173	4.17408	86.3	1.00	86.300	91.713	95.247
130	21	23	80	1	4	137.89	27.58	91.90	10.7957	42.5842	3.97864	110.0	1.00	110.000	77.322	114.845
131	15	76	80	1	4	101.68	28.15	93.58	10.9109	43.5300	3.80369	77.0	1.00	77.600	77.567	89.485
132	14	59	80	1	4	49.97	30.68	108.39	11.6085	50.1930	4.32493	47.6	1.00	47.600	85.078	71.110
133	11	55	80	1	4	61.71	48.67	78.08	18.2964	36.5566	1.90607	47.8	1.00	47.600	32.059	34.578
134	33	10	80	2	4	93.05	28.30	88.41	10.9649	41.2040	3.75762	86.3	1.00	86.300	72.375	97.702
135	12	12	81	1	4	197.77	29.36	98.36	11.3464	42.0813	3.70679	86.3	1.00	86.300	71.277	91.932
136	16	4	81	2	4	85.20	27.17	95.25	10.5532	44.2817	4.19404	77.0	1.00	72.800	82.147	88.913
137	33	18	99	3	4	57.44	27.75	80.81	10.7669	37.7848	3.50234	47.6	1.00	47.600	66.888	58.366
138	12	38	89	4	4	73.74	24.44	78.03	9.2157	35.6343	3.80671	47.6	1.00	47.600	74.614	63.910

Obs: A=Amostra; F=Fazenda; T=Talhão; V=Variedade; E=Estágio; S=Safra 86/87; P=Prod. observada; N5=Nível de cinza na banda 2; N7=Nível de cinza na banda 4; R5=Reflectância na banda 2; R7=Reflectância na banda 4; RVI=Índice vegetativo; PEP=Produtividade estimada modelo agromet. FVE= Fator variedade/estágio; PEF= Prod. estimada pelo mod. agromet. com FVE; PRVI= Prod. estimada pelo mod. ind. veg.; PEST= Prod. estimada pelo mod. proposto.

APÊNDICE B

LISTAGEM DO PROGRAMA DO MODELO
AGROMETEOROLÓGICO E
ARQUIVOS DE DADOS

WORKFILE: USRI/SAFRAS (06/25/87)

4:19 PM

```
1000 C*****
1010 C*
1020 C* PROGRAMA : SAFRAS (MODELO AGROMETEOROLOGICO) *
1030 C*
1040 C* AUTORES : BERNARDO FRIEDRICH THEODOR RUDDRFF *
1050 C* MCACIR GOOBY JUNIOR *
1060 C*
1070 C* FUNCAO : ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE *
1080 C*
1090 C* ENTRADA : DADOS METEOROLOGICOS E AGRONOMICOS *
1100 C*
1110 C* SAIDA : PRODUTIVIDADE MAXIMA E PRODUTIVIDADE REAL *
1120 C* ESTIMADA *
1130 C*
1140 C*****
1150
1160
1170
1180 FILE 1(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="DADMET")
1190 FILE 2(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="TABELAS")
1200 FILE 3(KIND=DISK,FILETYPE=7,TITLE="KCKY")
1210 FILE 4(KIND=PRINTER)
1220 FILE 5(KIND=REMOTE,MYUSE=ID)
1230
1240 C* DIMENSIONAMENTO DAS VARIAVEIS A SEREM UTILIZADAS
1250
1260
1270 DIMENSION KAND(100),MES(100),IDEC(100),VD(100),AH(100),AP(100),
1280 *AU(100),AT(100),AV2(100),ATX(100),ATI(100),HINSOL(100),NOI(100)
1290 *,PRECIP(100),UMIRFL(100),TEMEDIC(100),VHED2MC(100),THAX(100),
1300 *TMIN(100),ILAT(100),IND(100),VALUE(100,100),CIAF(100),CCOL(100),
1310 *ICU(100),AETH(100,100),IEMP(100),EA(100),DELTA(100),AMDA(12),
1320 *TPMSH(100,100),ETM(100),ARMC(100),BRC(1),RNP(100),ACMETM(100)
1330 *,PNEST(100),ETMC(100),NEGACU(100),TKY(5),RMP(5),ACMETA(100)
1340 DATA TKY/1.2,1.15,1.25,0.85,1.25/
1350 DATA AMDA/3HJAN,3HFEV,3HMAR,3HABR,3HMAI,3HJUN,3HJUL,3HAGO,3HSET,
1360 *3HOU1,3HNOV,3HCEZ/
1370
1380
1390 C* ARMAZENAMENTO DAS TABELAS
1400
1410
1420 WRITE(5,1)
1430 1 FORMAT(1H1,2CX,CS A F R A S*,//,71('='),//////)
1440 *20X,DA R M A Z E N A N D O D A D O S)
1450 DO 3 I=1,30
1460 READ(2,2)ILAT(I),IND(I),(VALUE(I,J),J=1,12)
1470 2 FORMAT(2I2,1X,12F6.1)
1480 3 CONTINUE
1490 DO 5 I=1,5
1500 READ(2,4)CIAF(I),CCOL(I)
1510 4 FORMAT(F3.1,1X,F4.2)
1520 5 CONTINUE
1530 DO 7 I=1,2
1540 READ(2,6)ICU(I),(AETH(I,J),J=1,9)
1550 6 FORMAT(I1,2X,9(F4.2,1X))
1560 7 CONTINUE
1570 DO 9 I=1,21
1580 READ(2,9)IEMP(I),EA(I),DELTA(I),(TPMSH(I,J),J=1,5)
1590 9 FORMAT(I2,7(2X,F6.3))
1600 9 CONTINUE
1610
1620
1630 C* IDENTIFICACAO DA AREA
1640
```

```
1650
1660 WRITE(4,66)
1670 10 WRITE(5,11)
1680 11 FORMAT(1H1,20X,8S A F R A S0,/,71(0=0),//////,
1690 *0 SUA DPCAO PARA MEDIAS EM :0,/,13X,
1700 *1 - MENSAIS,/,13X,*2 - DECENSIOS,////)
1710 READ(5,/)MEDIA
1720 IF(MEDIA.NE.1.AND.MEDIA.NE.2)GO TO 10
1730 12 WRITE(5,13)
1740 13 FORMAT(1H1,20X,2S A F R A S0,/,71(0=0),//////,
1750 *0 QUAL O TIPO DE CULTURA?20,/,10X,01 - CANA0,
1760 */,10X,*2 - FEIJA0,/,10X,*3 - MILHO,/,10X,*4 - SOJA,/,10X,
1770 *05 - ARROZ0,////)
1780 READ(5,/)IC
1790 IF(IC.LT.1.AND.IC.GT.5)GO TO 12
1800 IF(MEDIA.EQ.2)GO TO 23
1810 14 WRITE(5,15)
1820 15 FORMAT(1H1,20X,*S A F R A S,/,71(1=1),//////,
1830 *0 ENTRE COM O MES ANTERIOR,/,0 E O ANO DO PLANTIO0,/)
1840 READ(5,/)IMES,IAN0
1850 IF(IMES.LT.1-OR.IMES.GT.12-OR.IAN0.GT.99)GO TO 14
1860 16 WRITE(5,17)
1870 17 FORMAT(1H1,20X,8S A F R A S0,/,71(0=0),//////,
1880 *0 ENTRE COM O CICLO DA CULTURA EM MESES,/)
1890 READ(5,/)ICICLO
1900 DO 20 I=1,3
1910 18 READ(1,19)KANO(I),MES(I),IDEC(I),NDI(I),AH(I),AP(I),AU(I),AT(I),
1920 *AV2(I),ATX(I),ATI(I)
1930 IF(KANO(I).NE.1.AND.GR.IMES.NE.MES(I))GO TO 18
1940 19 FORMAT(2I3,I2,I3,F6.2,2F6.1,F7.1,F6.1,F7.1)
1950 NDIA=NDIA+NDI(I)
1960 AHINS0=AHINS0+AH(I)
1970 APRECI=APRECI+AP(I)
1980 AUMIRE=AUMIRE+AL(I)
1990 ATEMED=ATEMED+AT(I)
2000 AVMED2=AVMED2+AV2(I)
2010 ATHAX=ATHAX+ATX(I)
2020 ATMIN=ATMIN+ATI(I)
2030 20 CONTINUE
2040 YD(I)=YDIA
2050 HINSOL(I)=AHINS0/3.
2060 PRECIP(I)=APRECI
2070 UMIREL(I)=AUMIRE/3.
2080 TEMEDI(I)=ATEMED/3
2090 VMED2M(I)=AVMED2/3
2100 TMAX(I)=ATHAX/3
2110 TMIN(I)=ATMIN/3
2120 NDIA=0
2130 AHINS0=0.0
2140 APRECI=0.0
2150 AUMIRE=0.0
2160 ATEMED=0.0
2170 AVMED2=0.0
2180 ATHAX=0.0
2190 ATMIN=0.0
2200 DO 22 K=2,ICICLO+1
2210 DO 21 I=1,3
2220 HEAD(1,19)KANO(K),MES(K),IDEC(K),NDI(I),AH(I),AP(I),AU(I),AT(I),
2230 *AV2(I),ATX(I),ATI(I)
2240 NDIA=NDIA+NDI(I)
2250 AHINS0=AHINS0+AH(I)
2260 APRECI=APRECI+AP(I)
2270 AUMIRE=AUMIRE+AL(I)
2280 ATEMED=ATEMED+AT(I)
2290 AVMED2=AVMED2+AV2(I)
2300 ATHAX=ATHAX+ATX(I)
2310 ATMIN=ATMIN+ATI(I)
2320 21 CONTINUE
2330 AMDGER=AMDGER+ATEMED
2340 NO(K)=NDIA
2350 HINSOL(K)=AHINS0/3
2360 PRECIP(K)=APRECI
2370 UMIREL(K)=AUMIRE/3
```

```
2380 TEMEDI(K)=ATEMED/3
2390 VMED2M(K)=AVMED2/3
2400 TMAX(K)=ATMAX/3
2410 TMIN(K)=ATMIN/3
2420 NOIA=0
2430 AHINSO=0.0
2440 APRECI=0.0
2450 AUMIRE=0.0
2460 ATEMED=0.0
2470 AVMED2=0.0
2480 ATMAX=0.0
2490 ATMIN=0.0
2500 22 CONTINUE
2510 AMCIC=AMDGER/(3.*ICICLO)
2520 GO TO 28
2530
2540
2550 C* CALCULO POR DECENDIOS
2560
2570
2580 23 WRITE(5,24)
2590 24 FORMAT(1H1,20X,CS A F R A S0,/,7I(0=0),//////,
2600 *0 ENTRE COM O MES, ANO,/,0 E DECENDIO ANTERIOR AO PLANTIO 0,/)
2610 READ(5,/)IMES,IANO,KDEC
2620 IF(IANO.GT.99.OR.IMES.LT.1.OR.IMES.GT.12.OR.KDEC.GT.3.OR.
2630 *KDEC.LT.1)GO TO 23
2640 WRITE(5,25)
2650 25 FORMAT(1H1,20X,CS A F R A S0,/,7I(0=0),//////,
2660 *0 ENTRE COM O NUMERO DE DECENDIOS DO CICLO DA CULTURAD,/)
2670 READ(5,/)ICICLA
2680 26 READ(1,19)KANO(1),MES(1),IDEC(1),ND(1),HINSOL(1),PRECIP(1),
2690 *UMIREL(1),TEMED1(1),VMED2M(1),TMAX(1),TMIN(1),PNEST(1)
2700 IF(KANO(1).NE.IANO.OR.MES(1).NE.IMES.OR.IDEC(1).NE.KDEC)GO TO 26
2710 DO 27 K=2,ICICLA+1
2720 READ(1,19)KANO(K),MES(K),IDEC(K),ND(K),HINSOL(K),PRECIP(K),
2730 *UMIREL(K),TEMED1(K),VMED2M(K),TMAX(K),TMIN(K),PNEST(K)
2740 SMKEN=SMKEN+TEMED1(K)
2750 27 CONTINUE
2760 AMCIC=SMKEN/ICICLA
2770 28 IRODA=ICICLO+1
2780 IF(MCOIA.EQ.2)IRODA=ICICLA+1
2790
2800 C* CALCULO DO YN
2810
2820 CPMSL=0.5
2830 WRITE(5,29)
2840 29 FORMAT(1H1,20X,CS A F R A S0,/,7I(0=0),//////,
2850 *0 QUAL A LATITUDE MAIS PROXIMA DE SUA AREA ?0,
2860 *//,1X,10,15,20,25,30,35 GRAUS 0)
2870 READ(5,/)LAT
2880 WRITE(5,30)
2890 30 FORMAT(1H1,20X,CS A F R A S0,/,7I(0=0),//////,
2900 *0 QUAL A ALTITUDE DE SUA REGIAO ?0)
2910 READ(5,/)ALT
2920 WRITE(5,31)
2930 31 FORMAT(1H1,20X,CS A F R A S0,/,7I(0=0),//////,
2940 *0 QUAL A CAPACIDADE DE RETENCAO DE AGUA DO SOLO?0)
2950 READ(5,/)CRAS
2960 WRITE(5,32)
2970 32 FORMAT(1H1,20X,CS A F R A S0,/,7I(0=0),//////,
2980 *0 LOCALIZE SUA REGIAO NO MAPA E ENTRE COM 1,2 OU 3*)
2990 READ(5,/)R
3000 IF(R.EQ.1)GO TO 33
3010 IF(R.EQ.2)GO TO 34
3020 IF(R.EQ.3)GO TO 35
3030 33 A=0.18
3040 B=0.55
3050 GO TO 36
3060 34 A=0.25
3070 B=0.45
3080 GO TO 36
3090 35 A=0.29
3100 B=0.42
```

```
3110      36  WRITE(5,37)
3120      37  FORMAT(1H1,2GX,CS 'A F R A S0',/,7I(0=0),//////,
3130      *0 SEUS PARAMETROS PARA CALCULO DA EVAPOTRANSPIRACAO,/,
3140      *0
3150      READ(5,67)BR(1)
3160      DO 42 I=2,IRODA
3170      DO 38 K=1,30
3180      IF(ILAT(K).EQ.LAT.AND.IND(K).EQ.1)RMOCDC=VALUE(K,MES(I))
3190      IF(ILAT(K).EQ.LAT.AND.IND(K).EQ.2)HMI=VALUE(K,MES(I))
3200      IF(ILAT(K).EQ.LAT.AND.IND(K).EQ.3)RET=VALUE(K,MES(I))
3210      IF(ILAT(K).EQ.LAT.AND.IND(K).EQ.4)TPMSBN=VALUE(K,MES(I))
3220      IF(ILAT(K).EQ.LAT.AND.IND(K).EQ.5)TPMSBL=VALUE(K,MES(I))
3230      38  CONTINUE
3240      RRDCI=((A+H*HINSOL(I))/HMI)*RET*59
3250      FDCN=(RMOCDC-0.5*RRDCI)/(0.8*RMOCDC)
3260      DO 39 L=1,21
3270      IF(ITEMP(L).EQ.JFIX(TEMEDI(I)))ATPMSh=TPMSH(L,IC)
3280      39  CONTINUE
3290      IF(ATPMSh.LT.20) GO TO 40
3300      AA=0.8
3310      BB=0.01
3320      CC=0.5
3330      DD=0.025
3340      GO TO 41
3350      40  AA=0.5
3360      BB=0.025
3370      CC=0.0
3380      DD=0.05
3390      41  RMP(I)=CPMSL+CIAF(IC)*CCOL(IC)*VD(I)*((FDCN*(AA+BB*ATPMSh)
3400      *TPMSBA)+((1-FDCN)*(CC+DD*ATPMSh)*TPMSBL))
3410      RMPI=RMPI+RMP(I)
3420      IF(IC.EQ.1)RMPIAC(I)=RMPI
3430      42  CONTINUE
3440      IF(IC.EQ.1)GO TO 45
3450      WRITE(4,43)IRODA-1,RMPI
3460      43  FORMAT(0 RENDIMENTO MAXIMO ACUMULADO NO MES/DEC 0,I2,0 =0,F10.2)
3470      WRITE(4,44)
3480      44  FORMAT(1H1)
3490      45  DO 60 M=1,IRODA
3500      DO 46 LM=1,21
3510      IF(ITEMP(LM).EQ.JFIX(TEMEDI(M)))ADELTA=DELTA(LM)
3520      IF(ITEMP(LM).EQ.JFIX(TEMEDI(M)))AEA=EA(LM)
3530      46  CONTINUE
3540      ETRDL=1.385E-12*1440*(273.0+TEMEDI(M))**4
3550      DO 47 K=1,30
3560      IF(ILAT(K).EQ.LAT.AND.IND(K).EQ.2)HMI=VALUE(K,MES(M))
3570      IF(ILAT(K).EQ.LAT.AND.IND(K).EQ.3)RET=VALUE(K,MES(M))
3580      47  CONTINUE
3590      * EIROL=0.1+0.9*(HINSOL(M)/HMI)
3600      ED=AEA*UMIREL(M)/100.
3610      EEDROL=0.56-(0.079*SQR1(ED))
3620      RLQL=ETRDL*EIROL+EEDROL
3630      RRDCIM=(A+(B*HINSOL(M)/HMI))*RET
3640      RLTOC=RRDCIM*0.75-RLQL
3650      GAMA=0.66
3660      PNMAR=1000
3670      IF(IC.EQ.1)PPNEST=PNMAR/(1+((9.81*IALY)/(278.04*(TEMEDI(M)+273))))
3680      IF(IC.EQ.1)TABLEX=(ADELTA*PNMAR)/(GAMA*PPNEST)
3690      IF(IC.NE.1)TABLEX=(ADELTA*PNMAR)/(GAMA*PNEST(M))
3700      ZDELTA=TMAX(M)-TMIN(M)
3710      IF(ZDELTA.LE.12)ADEL=0.54
3720      IF(ZDELTA.GT.12.AND.ZDELTA.LE.13)ADEL=0.61
3730      IF(ZDELTA.GT.13.AND.ZDELTA.LE.14)ADEL=0.68
3740      IF(ZDELTA.GT.14.AND.ZDELTA.LE.15)ADEL=0.75
3750      IF(ZDELTA.GT.15.AND.ZDELTA.LE.16)ADEL=0.82
3760      IF(ZDELTA.GT.16)ADEL=0.99
3770      BDELTA=ADEL*VMEC2P(M)*(10.0/36.0)+1.0
3780      ETO=((TABLEX*RLTOC)+((0.26*(AEA-ED))*BDELTA))/(TABLEX+1)
3790      IF(BR(1).EQ.1HS)GO TO 50
3800      IF(MEDIA.EQ.1)WRITE(5,48)ICICLO,M-1
3810      48  FORMAT(1H1,2GX,CS 'A F R A S0',/,7I(0=0),//////,
3820      *1H1,0SUA OPCAO          : MEDIAS MENSATEIS,/,
3830      *0 DURACAO DO CICLO :',I2,' MESES',/,', ENTRE COM KC,KY E AC.
```

```

3840      *O PROFUNDIDADE DO SISTEMA RADICULAR PARA 00,12,0 MES0,////)
3850      IF(MEDIA.E0.2)WRITE(5,49)ICICLA,M-1
3860 49  FORMAT(1H1,20X,05  A  F  R  A  S0,///,71(0=0),//////,
3870      *1H1,CSUA OPCAO      : MEDIAS DECENDIAIS',//
3880      *1 DURACAO DO CICLO :0,12,0 DECENDIOS0,//
3890      *O ENTRE COM KC,KY E PROFUNDIDADE DO SISTEMA RADICULAR PARA0,//
3900      *O 00,12,0 DECENDIOS0,///)
3910      READ(5,/)CK,YK,C
3920      GO TO 51
3930 50  READ(3,/)CK,YK,C
3940 51  ETM(M)=CK*ETO
3950      ETMD(M)=ETM(M)*KD(M)
3960      PPTETM=PRECIP(M)-ETMD(M)
3970      IF(M.NE.1)GO TO 52
3980      ARM(1)=0.5*PRECIP(1)+1
3990      NEGACU(1)=(ALOG(ARM(1))-ALOG(CRAS))*(CRAS-2)
4000      GO TO 60
4010 52  IF(PPTETM.LT.0.)GO TO 53
4020      ARM(M)=PPTETM+ARM(M-1)
4030      IF(ARM(M).GT.CRAS)ARM(M)=CRAS
4040      NEGACU(M)=(ALOG(ARM(M))-ALOG(CRAS))*(CRAS-2)
4050      GO TO 54
4060 53  NEGACU(M)=NEGACU(M-1)+PPTETM
4070      ARM(M)=CRAS*(EXP(NEGACU(M))/(CRAS-2))
4080 54  CETM=ETM(M)+0.5
4090      IF(ETM(M).LT.2.0)CETM=2.0
4100      IF(ETM(M).GT.10.0)CETM=10.0
4110      BETH=AETM(2,(FIX(CETM-1)))
4120      IF(IC.E0.2)BETH=AETM(1,(FIX(CETM-1)))
4130      AGAREM=(1-BETH)*CRAS*0
4140      ARMPRE=ARM(M-1)*0+PRECIP(M)
4150      IF(ARMPRE.GT.CRAS)ARMPRE=CRAS
4160      ASI=(ARMPRE-AGAREM)/ETMD(M)
4170      IF(ASI.GE.1.0)GO TO 56
4180      WRITE(5,55)ASI,AGAREM,ETM(M)
4190 55  FORMAT(1H1,20X,05  A  F  R  A  S0,///,71(' '),//////,
4200      *O DADO ASI=C,F7.3,C AGAREM =0,F6.1,0 ETM =0,F5.3,//
4210      *O PROCURE NA TABELA 1 O VALOR DE ETA E ENTRE COM O MES00)
4220      READ(5,/)ETA
4230      GO TO 57
4240 56  ETA=ETM(M)
4250 57  AIPM=1.0-(YK*(1.0-ETA/ETM(M)))
4260  C*  WRITE(4,58)M-1,AIPM
4270 58  FORMAT(0  INDICE DE PENALIZACAO PARA O 0,12,0 MES/DECENDIO = 0,
4280      *F10.2,/)
4290      ACTA=ACTA+ETA
4300      ACMETA(M)=ACTA
4310      ACTM=ACTM+ETM(M)
4320      ACMETH(M)=ACTM
4330  C*  WRITE(4,59)EIO,ETM(M),ETA,ACTM,ACTA,ASI,AGAREM
4340 59  FORMAT(0  EIO      =0,F8.3,/,
4350      *O ETM      =0,F8.3,/,0 ETA      =0,F8.3,//
4360      *1 ETM ACUMULADO =',F8.3,/,1 ETA ACUNULADO =0,F8.3,//
4370      *0 ASI      =0,F8.3,/,0 AGAREM      =0,F8.3,///,72(0=0),///)
4380 60  CONTINUE
4390      IF(IC.NE.1)GO TO 63
4400      DO 62 I=2,IRODA
4410      RIG=1-(TKY(I)*(1-ACMETA(I)/ACMETH(I)))
4420      RRG=RIPG*RMPIAC(I)/1000.
4430      WRITE(4,61)AMDA(MES(2)),KAND(2),AMDA(MES(I)),KAND(I),
4440      *RMPIAC(I)/1000.,RRG,RIPG,I-1
4450 61  FORMAT(////,1  PARA PLANTIO EM ',A3,1/19',I2,2X,
4460      *DE COLHEITA EM 0,A3,0/190,I2,///,
4470      *0 RENDIMENTO MAXIMO      =0,F12.2,//
4480      *1 RENDIMENTO REAL      =',F12.2,//
4490      *0 INDICE DE PENALIZACAO GERAL =5,F6.4,//
4500      *0 DURACAO DO CICLO      = 0,I2,1X,0MESES0,////,71(0=0))
4510 62  CONTINUE
4520      GO TO 65
4530 63  RIG=1.-(TKY(IC)*(1.-ACTA/ACTM))
4540      RRG=RIPG*RMPI
4550      WRITE(4,64)IDEC(2),MES(2),RIPG,RRG
4560 64  FORMAT(////,0  INDICE DE PENALIZACAO GERAL0,/,0  PARA PLANTIO NO 0,

```

```
4570 *I2,' DECENIO DO MES ',I2,' >>>>',F8.4,/'
4580 *B RENDIMENTO REAL GERAL >>>>>B.F8.1)
4590 65 WRITE(5,66)
4600 66 FORMAT(1H1,////,3X,7('S'),4X,7('A'),3X,9('F'),2X,8('R'),4X,7(CAG)
4610 *4X,7(CSC),/,2X,9(CSO),2X,9(CAO),2X,9(CFO),2X,9(CRO),2X,9(CAO),2X,
4620 *9(CSO),/,2X,2(CSO),5X,2(CSO),2X,2(CAO),5X,2(CAO),2X,2(CFO),5X,
4630 *2('F'),2X,2('R'),5X,2('R'),2X,2('A'),5X,2('A'),2X,2('S'),5X,
4640 *2(CSC),/,2X,2(CSC),9X,2(CAO),5X,2(CAO),2X,2(CFO),9X,2(CRO),
4650 *5X,2(CRO),2X,2(CAC),5X,2(CAO),2X,2(CSO),/,2X,8(CSO),3X,9(CAO),
4660 *2X,6('F'),5X,9('R'),2X,9('A'),2X,8('S'),/,3X,8('S'),2X,
4670 *9(CAO),2X,6(CFC),5X,8(CRO),3X,9(CAO),3X,8(CSO),/,9X,2(CSO),
4680 *2X,2(CAO),5X,2(CAC),2X,2(CFO),9X,2(CRO),2X,2(CRO),5X,2(CAO),
4690 *5X,2('A'),9X,2('S'),/,2X,2('S'),5X,2('S'),2X,2('A'),5X,2('A')
4700 *2X,2(CFO),9X,2(CRO),3X,2(CRO),4X,2(CAO),5X,2(CAO),2X,2(CSO),
4710 *5X,2(CSO),/,2X,5(CSC),2X,2(CAO),5X,2(CAO),2X,2(CFO),9X,2(CRO)
4720 *4X,2('R'),3X,2('A'),5X,2('A'),2X,9('S'),/,3X,7('S'),3X,2('A'),
4730 *5X,2(CAO),2X,2(CFO),9X,2(CRO),5X,2(CRO),2X,2(CAO),5X,2(CAO),
4740 *3X,7(CSO),////)
4750 REWIND 3
4760 REWIND 1
4770 ANIVSO=0.0
4780 APRECI=0.0
4790 AUXIRE=0.0
4800 ATEMED=0.0
4810 AVPEO2=0.0
4820 ATMAX=0.0
4830 ATMIN=0.0
4840 RMPY=0.0
4850 ACTA=0.0
4860 ACTM=0.0
4870 VDI A=0
4880 AMOGER=0.0
4890 WRITE(5,/)B QUER (C) CONTINUAR OU (P) PARAR ???
4900 READ(5,67)QR(1)
4910 67 FORMAT(A1)
4920 IF(QR(1).EQ.1HC)GO TO 10
4930 STOP
4940 END
```

TABELA B1

LISTAGEM DO ARQUIVO TABELAS

OSRI/TABELAS (04/73/7)

100	10 1	375.0	377.0	359.0	345.0	311.0	291.0	299.0	332.0	359.0	375.0	377.0	374.0
200	10 2	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7
300	10 3	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.3	15.9	16.2	16.2
400	10 4	238.0	235.0	230.0	218.0	203.0	193.0	197.0	212.0	225.0	234.0	236.0	235.0
500	10 5	440.0	439.0	431.0	411.0	385.0	370.0	376.0	401.0	422.0	437.0	440.0	440.0
600	15 1	387.0	381.0	363.0	329.0	287.0	264.0	274.0	312.0	345.0	375.0	384.0	382.0
700	15 2	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0
800	15 3	16.7	16.4	15.4	13.9	12.3	11.4	11.9	13.1	14.6	15.8	16.5	16.6
900	15 4	242.0	235.0	229.0	210.0	190.0	173.0	183.0	202.0	220.0	234.0	241.0	242.0
1000	15 5	452.0	445.0	428.0	399.0	366.0	347.0	355.0	396.0	414.0	430.0	450.0	454.0
1100	20 1	399.0	386.0	357.0	313.0	264.0	238.0	249.0	295.0	337.0	375.0	394.0	400.0
1200	20 2	11.2	12.5	12.3	11.7	11.2	10.9	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3
1300	20 3	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
1400	20 4	249.0	242.0	226.0	203.0	178.0	164.0	170.0	193.0	215.0	235.0	246.0	250.0
1500	20 5	455.0	451.0	425.0	387.0	348.0	325.0	334.0	371.0	407.0	439.0	460.0	468.0
1600	25 1	405.0	395.0	349.0	292.0	237.0	209.0	220.0	265.0	320.0	369.0	397.0	400.0
1700	25 2	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7
1800	25 3	17.6	16.5	14.5	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.3	15.6	17.2	17.8
1900	25 4	253.0	242.0	221.0	193.0	163.0	147.0	153.0	180.0	207.0	233.0	242.0	255.0
2000	25 5	474.0	453.0	418.0	371.0	323.0	297.0	307.0	352.0	396.0	438.0	465.0	478.0
2100	30 1	411.0	384.0	333.0	270.0	219.0	179.0	191.0	245.0	303.0	363.0	400.0	417.0
2200	30 2	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0
2300	30 3	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
2400	30 4	258.0	241.0	215.0	182.0	148.0	130.0	137.0	168.0	200.0	232.0	251.0	261.0
2500	30 5	493.0	456.0	412.0	356.0	299.0	257.0	221.0	333.0	395.0	437.0	471.0	499.0
2600	35 1	412.0	376.0	315.0	245.0	180.0	148.0	161.0	217.0	291.0	351.0	398.0	491.0
2700	35 2	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5
2800	35 3	17.9	16.1	13.4	10.3	7.8	6.6	7.0	9.0	11.9	14.2	17.1	18.2
2900	35 4	260.0	241.0	209.0	168.0	130.0	110.0	115.0	152.0	189.0	232.0	252.0	264.0
3000	35 5	490.0	456.0	401.0	335.0	270.0	236.0	250.0	308.0	369.0	432.0	475.0	497.0
3100		0.5	2.30										
3200		0.5	0.30										
3300		0.5	0.40										
3400		0.5	0.35										
3500		0.5	0.45										
3600	1	0.80	0.70	0.60	0.50	0.45	0.42	0.37	0.35	0.30			
3700	2	0.87	0.80	0.70	0.60	0.55	0.50	0.45	0.42	0.40			
3800	15	17.040	1.096	5.000	20.000	5.000	15.000				15.000		
3900	16	19.170	1.102	13.000	23.500	7.000	21.000				21.000		
4000	17	19.370	1.228	22.500	27.000	11.000	25.000				25.000		
4100	18	20.630	1.300	30.000	30.000	19.000	28.000				28.000		
4200	19	21.960	1.373	37.500	32.000	31.000	31.000				31.000		
4300	20	23.370	1.445	45.000	33.000	45.000	32.500				32.500		
4400	21	24.860	1.531	52.500	34.000	52.500	33.500				33.500		
4500	22	26.430	1.610	58.000	34.000	58.000	34.000				34.000		
4600	23	28.090	1.703	62.000	33.000	62.000	34.500				34.500		
4700	24	29.830	1.795	64.000	31.500	64.000	35.000				35.000		
4800	25	31.670	1.888	65.000	30.000	65.000	35.000				35.000		
4900	26	33.610	1.987	65.000	27.000	65.000	35.500				35.500		
5000	27	35.550	2.092	65.000	25.000	65.000	35.500				35.500		
5100	28	37.500	2.204	65.000	22.500	65.000	35.500				35.500		
5200	29	40.060	2.317	65.000	19.000	65.000	35.500				35.500		
5300	30	42.430	2.435	65.000	15.000	65.000	35.000				35.000		
5400	31	44.930	2.561	65.000	9.500	65.000	35.000				35.000		
5500	32	47.550	2.686	65.000	5.500	65.000	34.500				34.500		
5600	33	50.310	2.818	65.000	2.500	65.000	34.000				34.000		
5700	34	53.200	2.957	65.000	0.500	65.000	33.500				33.500		

TABELA B2

**LISTAGEM DOS ARQUIVOS CONTENDO OS VALORES DE KC; KY e D PARA
CANA PLANTA DE ANO E MEIO PARA PLANTIOS EFETUADOS DE
NOVEMBRO A ABRIL**

PLANTIO EM NOVEMBRO	PLANTIO EM DEZEMBRO	PLANTIO EM JANEIRO
DSR1/KCYT1 (04/20/87)	DSR1/KCYT2 (04/21/87)	DSR1/KCYT3 (04/22/87)
100 0.00, 0.00, 0.00	100 0.30, 0.75, 0.20	100 0.30, 0.75, 0.20
200 0.30, 0.75, 0.20	200 0.50, 0.75, 0.30	200 0.50, 0.75, 0.30
300 0.50, 0.75, 0.30	300 0.70, 0.75, 0.40	300 0.70, 0.75, 0.40
400 0.70, 0.75, 0.40	400 0.80, 0.75, 0.50	400 0.80, 0.75, 0.50
500 0.80, 0.75, 0.50	500 0.90, 0.75, 0.60	500 0.90, 0.75, 0.50
600 0.90, 0.75, 0.60	600 1.10, 0.75, 0.70	600 0.90, 0.75, 0.60
700 1.10, 0.75, 0.70	700 1.20, 0.75, 0.70	700 0.90, 0.75, 0.60
800 1.20, 0.75, 0.80	800 1.10, 0.75, 0.80	800 0.90, 0.75, 0.70
900 1.20, 0.75, 0.80	900 1.10, 0.75, 0.80	900 0.90, 0.75, 0.70
1000 1.20, 0.75, 1.00	1000 1.10, 0.75, 0.90	1000 1.10, 0.75, 0.80
1100 1.20, 0.75, 1.00	1100 1.20, 0.75, 1.00	1100 1.30, 0.75, 0.90
1200 1.20, 0.75, 1.00	1200 1.30, 0.75, 1.00	1200 1.30, 0.75, 1.00
1300 1.30, 0.75, 1.00	1300 1.30, 0.75, 1.00	1300 1.30, 0.75, 1.00
1400 1.30, 0.75, 1.00	1400 1.30, 0.75, 1.00	1400 1.20, 0.75, 1.00
1500 1.30, 0.75, 1.00	1500 1.20, 0.75, 1.00	1500 1.20, 0.75, 1.00
1600 1.30, 0.75, 1.00	1600 1.20, 0.75, 1.00	1600 1.00, 0.50, 1.00
1700 1.20, 0.75, 1.00	1700 1.10, 0.75, 1.00	1700 0.90, 0.50, 1.00
1800 1.10, 0.75, 1.00	1800 0.90, 0.50, 1.00	1800 0.70, 0.10, 1.00
1900 1.00, 0.75, 1.00	1900 0.80, 0.50, 1.00	1900 0.60, 0.10, 1.00
2000 0.80, 0.50, 1.00	2000 0.70, 0.10, 1.00	2000 0.60, 0.10, 1.00
2100 0.70, 0.50, 1.00	2100 0.60, 0.10, 1.00	2100 0.60, 0.10, 1.00
2200 0.60, 0.10, 1.00	2200 0.60, 0.10, 1.00	
2300 0.60, 0.10, 1.00	2300 0.60, 0.10, 1.00	
2400 0.60, 0.10, 1.00		
2500 0.60, 0.10, 1.00		
PLANTIO EM FEVEREIRO	PLANTIO EM MARÇO	PLANTIO EM ABRIL
DSR1/KCYT4 (04/29/87)	DSR1/KCYT5 (04/29/87)	DSR1/KCYT6 (04/29/87)
100 0.00, 0.00, 0.00	100 0.00, 0.00, 0.00	100 0.00, 0.00, 0.00
200 0.30, 0.75, 0.20	200 0.30, 0.75, 0.20	200 0.30, 0.75, 0.20
300 0.50, 0.75, 0.30	300 0.50, 0.75, 0.30	300 0.40, 0.75, 0.30
400 0.70, 0.75, 0.40	400 0.60, 0.75, 0.30	400 0.50, 0.75, 0.30
500 0.80, 0.75, 0.40	500 0.70, 0.75, 0.40	500 0.60, 0.75, 0.40
600 0.80, 0.75, 0.50	600 0.70, 0.75, 0.40	500 0.60, 0.75, 0.40
700 0.60, 0.75, 0.50	700 0.70, 0.75, 0.40	700 0.60, 0.75, 0.40
800 0.80, 0.75, 0.60	800 0.70, 0.75, 0.50	800 0.70, 0.75, 0.50
900 0.80, 0.75, 0.60	900 0.80, 0.75, 0.60	900 0.70, 0.75, 0.60
1000 0.90, 0.75, 0.70	1000 1.00, 0.75, 0.70	1000 1.10, 0.75, 0.70
1100 1.10, 0.75, 0.80	1100 1.20, 0.75, 0.80	1100 1.20, 0.75, 0.80
1200 1.30, 0.75, 0.90	1200 1.30, 0.75, 0.90	1200 1.30, 0.75, 0.90
1300 1.30, 0.75, 1.00	1300 1.30, 0.75, 1.00	1300 1.30, 0.75, 1.00
1400 1.30, 0.75, 1.00	1400 1.20, 0.75, 1.00	1400 1.20, 0.75, 1.00
1500 1.20, 0.75, 1.00	1500 1.20, 0.75, 1.00	1500 1.00, 0.50, 1.00
1600 1.20, 0.75, 1.00	1600 1.00, 0.50, 1.00	1600 0.80, 0.50, 1.00
1700 1.00, 0.50, 1.00	1700 0.80, 0.50, 1.00	1700 0.70, 0.10, 1.00
1800 0.80, 0.50, 1.00	1800 0.70, 0.10, 1.00	1800 0.60, 0.10, 1.00
1900 0.70, 0.10, 1.00	1900 0.60, 0.10, 1.00	1900 0.60, 0.10, 1.00
2000 0.60, 0.10, 1.00	2000 0.60, 0.10, 1.00	2000 0.60, 0.10, 1.00
2100 0.60, 0.10, 1.00	2100 0.60, 0.10, 1.00	
2200 0.60, 0.10, 1.00		

TABELA B3

LISTAGEM DOS ARQUIVOS CONTENDO OS VALORES DE KC; KY E D PARA
CANA SOCA PARA OS CORTES EFETUADOS DE ABRIL A NOVEMBRO

CORTE EM ABRIL		CORTE EM MAIO		CORTE EM JUNHO		CORTE EM JULHO	
DSRI/RCKY51 (04/29/87)		DSRI/RCKY52 (04/29/87)		DSRI/RCKY53 (04/29/87)		DSRI/RCKY54 (04/29/87)	
100	0.00 0.00 0.00 0.00	100	0.00 0.00 0.00 0.00	100	0.00 0.00 0.00 0.00	100	0.00 0.00 0.00 0.00
200	0.30 0.75 0.30 0.30	200	0.30 0.75 0.30 0.30	200	0.30 0.75 0.30 0.30	200	0.30 0.75 0.30 0.30
300	0.30 0.75 0.30 0.30	300	0.30 0.75 0.30 0.40	300	0.30 0.75 0.30 0.40	300	0.30 0.75 0.30 0.40
400	0.30 0.75 0.40 0.40	400	0.50 0.75 0.5 0.5	400	0.50 0.75 0.50 0.50	400	0.50 0.75 0.50 0.50
500	0.40 0.75 0.50 0.50	500	0.50 0.75 0.6 0.6	500	0.60 0.75 0.60 0.60	500	0.60 0.75 0.60 0.60
600	0.40 0.75 0.60 0.60	600	0.50 0.75 0.7 0.7	600	0.70 0.75 0.70 0.70	600	0.60 0.75 0.70 0.70
700	0.50 0.75 0.70 0.70	700	0.70 0.75 0.8 0.8	700	0.80 0.75 0.80 0.80	700	0.70 0.75 0.80 0.80
800	0.50 0.75 0.80 0.80	800	0.80 0.75 0.8 0.8	800	1.00 0.75 1.00 1.00	800	1.00 0.75 1.00 1.00
900	0.80 0.75 0.90 0.90	900	1.00 0.75 1.0 1.0	900	1.20 0.75 1.20 1.20	900	1.20 0.75 1.20 1.20
1000	1.00 0.75 1.00 1.00	1000	1.20 0.75 1.0 1.0	1000	1.20 0.75 1.00 1.00	1000	1.20 0.75 1.00 1.00
1100	1.20 0.75 1.00 1.00	1100	1.20 0.75 1.0 1.0	1100	1.00 0.75 1.00 1.00	1100	1.00 0.75 1.00 1.00
1200	1.20 0.75 1.00 1.00	1200	1.00 0.75 1.0 1.0	1200	1.00 0.75 1.00 1.00	1200	1.00 0.50 1.00 1.00
1300	1.10 0.75 1.00 1.00	1300	1.00 0.75 1.0 1.0	1300	0.90 0.50 1.00 1.00	1300	0.90 0.50 1.00 1.00
1400	1.00 0.75 1.00 1.00	1400	0.90 0.50 1.0 1.0	1400	0.70 0.50 1.00 1.00	1400	0.70 0.50 1.00 1.00
1500	0.90 0.50 1.00 1.00	1500	0.70 0.50 1.0 1.0	1500	0.60 0.10 1.00 1.00	1500	0.60 0.10 1.00 1.00
1600	0.70 0.50 1.00 1.00	1600	0.60 0.10 1.0 1.0	1600	0.60 0.10 1.00 1.00	1600	0.60 0.10 1.00 1.00
1700	0.60 0.10 1.00 1.00	1700	0.60 0.10 1.0 1.0	1700	0.60 0.10 1.00 1.00	1700	0.60 0.10 1.00 1.00

CORTE EM AGOSTO		CORTE EM SETEMBRO		CORTE EM OUTUBRO		CORTE EM NOVEMBRO	
DSRI/RCKY55 (04/29/87)		DSRI/RCKY56 (04/29/87)		DSRI/RCKY57 (04/29/87)		DSRI/RCKY58 (04/29/87)	
100	0.00 0.00 0.00 0.00	100	0.00 0.00 0.00 0.00	100	0.00 0.00 0.00 0.00	100	0.00 0.00 0.00 0.00
200	0.30 0.75 0.30 0.30	200	0.30 0.75 0.30 0.30	200	0.30 0.75 0.30 0.30	200	0.30 0.75 0.30 0.30
300	0.40 0.75 0.40 0.40	300	0.40 0.75 0.40 0.40	300	0.40 0.75 0.40 0.40	300	0.40 0.75 0.40 0.40
400	0.60 0.75 0.60 0.60	400	0.50 0.75 0.60 0.60	400	0.60 0.75 0.60 0.60	400	0.60 0.75 0.60 0.60
500	0.80 0.75 0.80 0.80	500	0.80 0.75 0.80 0.80	500	0.80 0.75 0.80 0.80	500	0.80 0.75 0.80 0.80
600	0.90 0.75 1.00 1.00	600	1.00 0.75 1.00 1.00	600	1.00 0.75 1.00 1.00	600	1.00 0.75 1.00 1.00
700	1.00 0.75 1.00 1.00	700	1.20 0.75 1.00 1.00	700	1.20 0.75 1.00 1.00	700	1.20 0.75 1.00 1.00
800	1.20 0.75 1.00 1.00	800	1.00 0.75 1.00 1.00	800	1.20 0.75 1.00 1.00	800	1.20 0.75 1.00 1.00
900	1.20 0.75 1.00 1.00	900	1.00 0.75 1.00 1.00	900	1.20 0.75 1.00 1.00	900	1.20 0.75 1.00 1.00
1000	1.00 0.75 1.00 1.00	1000	1.00 0.50 1.00 1.00	1000	1.00 0.75 1.00 1.00	1000	1.00 0.50 1.00 1.00
1100	0.90 0.50 1.00 1.00	1100	0.90 0.50 1.00 1.00	1100	0.90 0.50 1.00 1.00	1100	0.80 0.50 1.00 1.00
1200	0.70 0.50 1.00 1.00	1200	0.70 0.50 1.00 1.00	1200	0.70 0.50 1.00 1.00	1200	0.60 0.10 1.00 1.00
1300	0.70 0.50 1.00 1.00	1300	0.70 0.50 1.00 1.00	1300	0.60 0.10 1.00 1.00	1300	0.60 0.10 1.00 1.00
1400	0.60 0.10 1.00 1.00	1400	0.60 0.10 1.00 1.00	1400	0.60 0.10 1.00 1.00	1400	0.60 0.10 1.00 1.00
1500	0.60 0.10 1.00 1.00	1500	0.60 0.10 1.00 1.00	1500	0.60 0.10 1.00 1.00	1500	0.60 0.10 1.00 1.00

TABELA B.4

LISTAGEM DO ARQUIVO CONTENDO DADOS METEOROLÓGICOS

A	M		NH	PPT	UR	TM	VV	TX	TI
81	11	1010	7.90	148.0	77.0	24.0	1.7	29.1	19.1
81	11	2010	7.90	148.0	77.0	24.0	1.7	29.1	19.1
81	11	3010	7.90	148.0	77.0	24.0	1.7	29.1	19.1
81	12	1010	5.80	167.0	79.0	22.9	1.8	27.6	18.3
81	12	2010	5.80	167.0	79.0	22.9	1.8	27.6	18.3
81	12	3010	5.80	167.0	79.0	22.9	1.8	27.6	18.3
82	1	1010	6.60	334.0	79.0	23.5	1.7	29.7	18.5
82	1	2010	6.60	334.0	79.0	23.5	1.7	29.7	18.5
82	1	3010	6.60	334.0	79.0	23.5	1.7	29.7	18.5
82	2	1010	7.50	254.0	77.0	25.2	1.3	30.4	20.2
82	2	2010	7.50	254.0	77.0	25.2	1.3	30.4	20.2
82	2	3010	7.50	254.0	77.0	25.2	1.3	30.4	20.2
82	3	1010	5.10	183.0	85.0	23.7	1.5	28.0	19.4
82	3	2010	5.10	183.0	85.0	23.7	1.5	28.0	19.4
82	3	3010	5.10	183.0	85.0	23.7	1.5	28.0	19.4
82	4	1010	9.00	53.0	77.0	21.1	1.8	26.5	15.7
82	4	2010	9.00	53.0	77.0	21.1	1.8	26.5	15.7
82	4	3010	9.00	53.0	77.0	21.1	1.8	26.5	15.7
82	5	1010	7.70	50.0	72.0	19.2	1.3	25.1	13.3
82	5	2010	7.70	50.0	72.0	19.2	1.3	25.1	13.3
82	5	3010	7.70	50.0	72.0	19.2	1.3	25.1	13.3
82	6	1010	5.30	185.0	80.0	20.2	1.2	25.1	15.4
82	6	2010	5.30	185.0	80.0	20.2	1.2	25.1	15.4
82	6	3010	5.30	185.0	80.0	20.2	1.2	25.1	15.4
82	7	1010	8.40	39.0	72.0	19.6	1.1	25.4	13.8
82	7	2010	8.40	39.0	72.0	19.6	1.1	25.4	13.8
82	7	3010	8.40	39.0	72.0	19.6	1.1	25.4	13.8
82	8	1010	7.40	17.0	71.0	20.9	1.3	27.1	14.9
82	8	2010	7.40	17.0	71.0	20.9	1.3	27.1	14.9
82	8	3010	7.40	17.0	71.0	20.9	1.3	27.1	14.9
82	9	1010	8.00	13.0	68.0	21.9	1.9	28.5	15.3
82	9	2010	8.00	13.0	68.0	21.9	1.9	28.5	15.3
82	9	3010	8.00	13.0	68.0	21.9	1.9	28.5	15.3
82	10	1010	6.80	222.0	78.0	23.0	1.6	28.6	17.3
82	10	2010	6.80	222.0	78.0	23.0	1.6	28.6	17.3
82	10	3010	6.80	222.0	78.0	23.0	1.6	28.6	17.3
82	11	1010	6.70	202.0	81.0	24.7	1.5	30.1	19.3
82	11	2010	6.70	202.0	81.0	24.7	1.5	30.1	19.3
82	11	3010	6.70	202.0	81.0	24.7	1.5	30.1	19.3
82	12	1010	4.50	279.0	85.0	23.2	1.5	27.5	18.9
82	12	2010	4.50	279.0	85.0	23.2	1.5	27.5	18.9
82	12	3010	4.50	279.0	85.0	23.2	1.5	27.5	18.9
83	1	1010	5.60	393.0	86.0	24.9	1.5	28.8	20.6
83	1	2010	5.60	393.0	86.0	24.9	1.5	28.8	20.6
83	1	3010	5.60	393.0	86.0	24.9	1.5	28.8	20.6
83	2	1010	6.40	153.0	81.0	25.2	1.4	30.8	19.6
83	2	2010	6.40	153.0	81.0	25.2	1.4	30.8	19.6
83	2	3010	6.40	153.0	81.0	25.2	1.4	30.8	19.6
83	3	1010	6.90	137.0	81.0	23.7	1.6	29.3	17.3
83	3	2010	6.90	137.0	81.0	23.7	1.6	29.3	17.3
83	3	3010	6.90	137.0	81.0	23.7	1.6	29.3	17.3
83	4	1010	6.20	160.0	82.0	22.2	1.0	28.3	17.1
83	4	2010	6.20	160.0	82.0	22.2	1.0	28.3	17.1
83	4	3010	6.20	160.0	82.0	22.2	1.0	28.3	17.1
83	5	1010	5.10	261.0	83.0	20.5	1.1	26.4	15.4
83	5	2010	5.10	261.0	83.0	20.5	1.1	26.4	15.4
83	5	3010	5.10	261.0	83.0	20.5	1.1	26.4	15.4
83	6	1010	4.70	240.0	81.0	17.6	0.9	22.8	12.4
83	6	2010	4.70	240.0	81.0	17.6	0.9	22.8	12.4
83	6	3010	4.70	240.0	81.0	17.6	0.9	22.8	12.4
83	7	1010	6.90	17.0	68.0	19.1	1.2	26.1	11.8
83	7	2010	6.90	17.0	68.0	19.1	1.2	26.1	11.8
83	7	3010	6.90	17.0	68.0	19.1	1.2	26.1	11.8
83	8	1010	9.30	0.0	63.0	18.6	1.3	25.6	13.5
83	8	2010	9.30	0.0	63.0	18.6	1.3	25.6	13.5
83	8	3010	9.30	0.0	63.0	18.6	1.3	25.6	13.5

(continua)

Tabela B.4 - Continuação

A	M		NH	PPT	UR	TM	VV	TX	TI
83	9	1010	4.80	218.0	83.0	18.5	1.6	23.2	14.1
83	9	2010	4.80	218.0	83.0	18.5	1.6	23.2	14.1
83	9	3010	4.80	218.0	83.0	18.5	1.6	23.2	14.1
83	10	1010	6.30	121.0	78.0	21.4	1.7	26.5	16.3
83	10	2010	6.30	121.0	78.0	21.4	1.7	26.5	16.3
83	10	3010	6.30	121.0	78.0	21.4	1.7	26.5	16.3
83	11	1010	7.70	132.0	72.0	22.4	1.2	27.9	17.0
83	11	2010	7.70	132.0	72.0	22.4	1.2	27.9	17.0
83	11	3010	7.70	132.0	72.0	22.4	1.2	27.9	17.0
83	12	1010	5.10	252.0	82.0	22.8	1.3	27.4	18.3
83	12	2010	5.10	252.0	82.0	22.8	1.3	27.4	18.3
83	12	3010	5.10	252.0	82.0	22.8	1.3	27.4	18.3
84	1	1010	7.80	160.0	73.0	27.0	1.2	34.0	20.0
84	1	2010	7.80	160.0	73.0	27.0	1.2	34.0	20.0
84	1	3010	7.80	160.0	73.0	27.0	1.2	34.0	20.0
84	2	1010	9.50	53.0	70.0	28.0	1.0	36.0	20.0
84	2	2010	9.50	53.0	70.0	28.0	1.0	36.0	20.0
84	2	3010	9.50	53.0	70.0	28.0	1.0	36.0	20.0
84	3	1010	6.80	113.0	76.0	26.0	1.3	33.0	19.0
84	3	2010	6.80	113.0	76.0	26.0	1.3	33.0	19.0
84	3	3010	6.80	113.0	76.0	26.0	1.3	33.0	19.0
84	4	1010	3.60	127.0	79.0	22.0	1.2	28.0	16.0
84	4	2010	3.60	127.0	79.0	22.0	1.2	28.0	16.0
84	4	3010	3.60	127.0	79.0	22.0	1.2	28.0	16.0
84	5	1010	7.70	49.0	73.0	22.0	0.6	29.0	15.0
84	5	2010	7.70	49.0	73.0	22.0	0.6	29.0	15.0
84	5	3010	7.70	49.0	73.0	22.0	0.6	29.0	15.0
84	6	1010	8.60	0.0	69.0	19.0	0.8	28.0	10.0
84	6	2010	8.60	0.0	69.0	19.0	0.8	28.0	10.0
84	6	3010	8.60	0.0	69.0	19.0	0.8	28.0	10.0
84	7	1010	8.80	8.0	61.0	20.0	1.2	28.0	11.0
84	7	2010	8.80	8.0	61.0	20.0	1.2	28.0	11.0
84	7	3010	8.80	8.0	61.0	20.0	1.2	28.0	11.0
84	8	1010	7.80	106.0	70.0	19.0	1.6	26.0	12.0
84	8	2010	7.80	106.0	70.0	19.0	1.6	26.0	12.0
84	8	3010	7.80	106.0	70.0	19.0	1.6	26.0	12.0
84	9	1010	7.70	100.0	63.0	20.0	1.2	28.0	12.0
84	9	2010	7.70	100.0	63.0	20.0	1.2	28.0	12.0
84	9	3010	7.70	100.0	63.0	20.0	1.2	28.0	12.0
84	10	1010	8.70	41.0	64.0	25.0	1.6	33.0	16.0
84	10	2010	8.70	41.0	64.0	25.0	1.6	33.0	16.0
84	10	3010	8.70	41.0	64.0	25.0	1.6	33.0	16.0
84	11	1010	8.40	129.0	71.0	25.0	1.6	32.0	18.0
84	11	2010	8.40	129.0	71.0	25.0	1.6	32.0	18.0
84	11	3010	8.40	129.0	71.0	25.0	1.6	32.0	18.0
84	12	1010	5.50	183.0	78.0	25.0	1.3	31.0	19.0
84	12	2010	5.50	183.0	78.0	25.0	1.3	31.0	19.0
84	12	3010	5.50	183.0	78.0	25.0	1.3	31.0	19.0
85	1	1010	6.20	143.0	78.0	24.0	1.6	31.0	18.0
85	1	2010	6.20	143.0	78.0	24.0	1.6	31.0	18.0
85	1	3010	6.20	143.0	78.0	24.0	1.6	31.0	18.0
85	2	1010	6.30	281.0	78.0	27.0	1.0	33.0	20.0
85	2	2010	6.30	281.0	78.0	27.0	1.0	33.0	20.0
85	2	3010	6.30	281.0	78.0	27.0	1.0	33.0	20.0
85	3	1010	6.40	204.0	80.0	25.0	1.0	30.0	19.0
85	3	2010	6.40	204.0	80.0	25.0	1.0	30.0	19.0
85	3	3010	6.40	204.0	80.0	25.0	1.0	30.0	19.0
85	4	1010	7.10	156.0	79.0	24.0	1.3	30.0	17.0
85	4	2010	7.10	156.0	79.0	24.0	1.3	30.0	17.0
85	4	3010	7.10	156.0	79.0	24.0	1.3	30.0	17.0
85	5	1010	8.30	62.0	71.0	19.0	0.9	27.0	11.0
85	5	2010	8.30	62.0	71.0	19.0	0.9	27.0	11.0
85	5	3010	8.30	62.0	71.0	19.0	0.9	27.0	11.0
85	6	1010	8.00	16.0	69.0	16.0	0.9	24.0	7.0
85	6	2010	8.00	16.0	69.0	16.0	0.9	24.0	7.0
85	6	3010	8.00	16.0	69.0	16.0	0.9	24.0	7.0
85	7	1010	9.20	16.0	65.0	16.0	1.1	25.0	8.0
85	7	2010	9.20	16.0	65.0	16.0	1.1	25.0	8.0
85	7	3010	9.20	16.0	65.0	16.0	1.1	25.0	8.0
85	8	1010	7.90	14.0	58.0	20.0	1.1	30.0	11.0
85	8	2010	7.90	14.0	58.0	20.0	1.1	30.0	11.0
85	8	3010	7.90	14.0	58.0	20.0	1.1	30.0	11.0
85	9	1010	7.30	83.0	67.0	22.0	1.3	29.0	14.0
85	9	2010	7.30	83.0	67.0	22.0	1.3	29.0	14.0
85	9	3010	7.30	83.0	67.0	22.0	1.3	29.0	14.0

(continua)

Tabela B.4 - Conclusão

A	M		NH	PPT	UR	TM	VV	TX	TI
85	10	1010	9.50	36.0	63.0	23.0	1.4	31.0	15.0
85	10	2010	9.50	36.0	63.0	23.0	1.4	31.0	15.0
85	10	3010	9.50	36.0	63.0	23.0	1.4	31.0	15.0
85	11	1010	8.50	165.0	67.0	25.0	1.5	33.0	18.0
85	11	2010	8.50	165.0	67.0	25.0	1.5	33.0	18.0
85	11	3010	8.50	165.0	67.0	25.0	1.5	33.0	18.0
85	12	1010	8.50	83.0	69.0	26.0	1.2	34.0	19.0
85	12	2010	8.50	83.0	69.0	26.0	1.2	34.0	19.0
85	12	3010	8.50	83.0	69.0	26.0	1.2	34.0	19.0
86	1	1010	7.80	133.0	76.0	26.0	1.1	30.0	21.0
86	1	2010	7.80	133.0	76.0	26.0	1.1	30.0	21.0
86	1	3010	7.80	133.0	76.0	26.0	1.1	30.0	21.0
86	2	1010	5.10	222.0	82.0	26.0	0.9	32.0	20.0
86	2	2010	5.10	222.0	82.0	26.0	0.9	32.0	20.0
86	2	3010	5.10	222.0	82.0	26.0	0.9	32.0	20.0
86	3	1010	6.10	237.0	80.0	25.0	1.1	32.0	19.0
86	3	2010	6.10	237.0	80.0	25.0	1.1	32.0	19.0
86	3	3010	6.10	237.0	80.0	25.0	1.1	32.0	19.0
86	4	1010	8.60	58.0	75.0	24.0	1.3	31.0	17.0
86	4	2010	8.60	58.0	75.0	24.0	1.3	31.0	17.0
86	4	3010	8.60	58.0	75.0	24.0	1.3	31.0	17.0
86	5	1010	6.20	88.0	76.0	21.0	0.9	27.0	15.0
86	5	2010	6.20	88.0	76.0	21.0	0.9	27.0	15.0
86	5	3010	6.20	88.0	76.0	21.0	0.9	27.0	15.0
86	6	1010	8.90	2.0	65.0	18.0	0.8	27.0	10.0
86	6	2010	8.90	2.0	65.0	18.0	0.8	27.0	10.0
86	6	3010	8.90	2.0	65.0	18.0	0.8	27.0	10.0
86	7	1010	7.80	15.0	67.0	17.0	1.3	25.0	9.0
86	7	2010	7.80	15.0	67.0	17.0	1.3	25.0	9.0
86	7	3010	7.80	15.0	67.0	17.0	1.3	25.0	9.0
86	8	1010	5.90	174.0	70.0	20.0	1.1	26.0	13.0
86	8	2010	5.90	174.0	70.0	20.0	1.1	26.0	13.0
86	8	3010	5.90	174.0	70.0	20.0	1.1	26.0	13.0
86	9	1010	7.30	70.0	68.0	21.0	1.6	29.0	14.0
86	9	2010	7.30	70.0	68.0	21.0	1.6	29.0	14.0
86	9	3010	7.30	70.0	68.0	21.0	1.6	29.0	14.0
86	10	1010	9.00	53.0	66.0	23.0	1.5	31.0	15.0
86	10	2010	9.00	53.0	66.0	23.0	1.5	31.0	15.0
86	10	3010	9.00	53.0	66.0	23.0	1.5	31.0	15.0
86	11	1010	7.30	152.0	65.0	25.0	1.6	33.0	18.0
86	11	2010	7.30	152.0	65.0	25.0	1.6	33.0	18.0
86	11	3010	7.30	152.0	65.0	25.0	1.6	33.0	18.0
86	12	1010	4.10	396.0	79.0	25.0	1.2	30.0	20.0
86	12	2010	4.10	396.0	79.0	25.0	1.2	30.0	20.0
86	12	3010	4.10	396.0	79.0	25.0	1.2	30.0	20.0
87	1	1010	6.70	265.0	73.0	24.5	1.2	29.0	20.0
87	1	2010	6.70	265.0	73.0	24.5	1.2	29.0	20.0
87	1	3010	6.70	265.0	73.0	24.5	1.2	29.0	20.0
87	2	1010	5.90	241.0	74.0	23.0	1.3	27.3	18.7
87	2	2010	5.90	241.0	74.0	23.0	1.3	27.3	18.7
87	2	3010	5.90	241.0	74.0	23.0	1.3	27.3	18.7
87	3	1010	8.10	51.0	72.0	23.2	1.1	28.5	17.9
87	3	2010	8.10	51.0	72.0	23.2	1.1	28.5	17.9
87	3	3010	8.10	51.0	72.0	23.2	1.1	28.5	17.9

OBS.: 1) A = Ano; M = Mês; 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.