

General Disclaimer

One or more of the Following Statements may affect this Document

- This document has been reproduced from the best copy furnished by the organizational source. It is being released in the interest of making available as much information as possible.
- This document may contain data, which exceeds the sheet parameters. It was furnished in this condition by the organizational source and is the best copy available.
- This document may contain tone-on-tone or color graphs, charts and/or pictures, which have been reproduced in black and white.
- This document is paginated as submitted by the original source.
- Portions of this document are not fully legible due to the historical nature of some of the material. However, it is the best reproduction available from the original submission.

(E85-10018 NASA-CR-168575) DEVELOPMENT AND
TESTING OF A RURAL CREDIT SUPERVISION SYSTEM
AT THE LEVEL OF COUNTIES AND RURAL
PROPERTIES UTILIZING REMOTE SENSING
TECHNIQUES (Instituto de Pesquisas Espaciais, G3/43

N85-11431

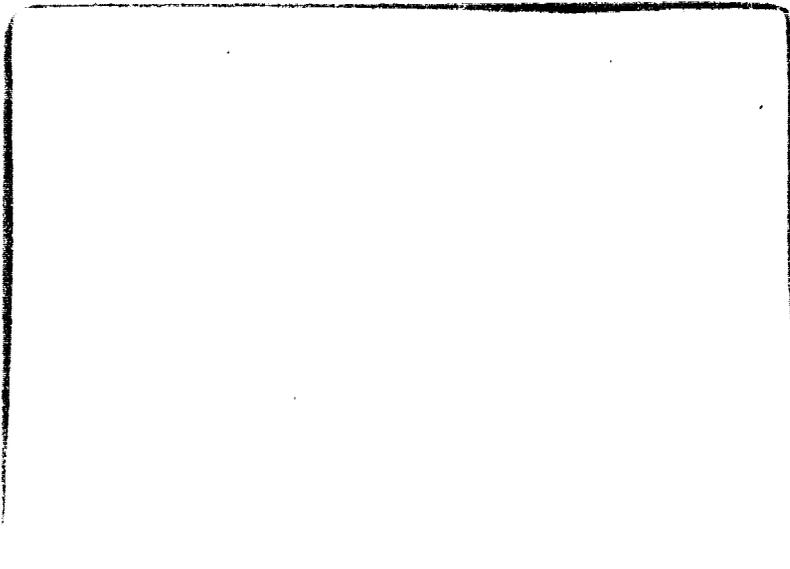
Unclas
00018



SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPUBLICA
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

NASA-CR-168575

E85-10018



E85

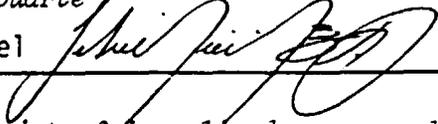
RECEIVED BY
NASA STI FACILITY
DATE: *10-25-84*
DCAF NO.

0	0	2	9	4	9
---	---	---	---	---	---

PROCESSED BY
 NASA STI FACILITY
 ESA - SDS AIAA



INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

1. Publicação nº INPE-3239-RPE/462	2. Versão	3. Data Agosto, 1984	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem DSR/DDM	Programa SAFRAS		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) SENSORIAMENTO REMOTO SATÉLITE LANDSAT FISCALIZAÇÃO DE CRÉDITO AGRÍCOLA			
7. C.D.U.: 528.711.7:336.77:63			
8. Título DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UM SISTEMA DE FISCALIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE CRÉDITO AGRÍCOLA AO NÍVEL DE MUNICÍPIO E DE PROPRIEDADES AGRÍCOLAS UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO.		INPE-3239-RPE/462	
		10. Páginas: 103	
		11. Última página: B.2	
		12. Revisada por  Ulf Walter Palme	
9. Autoria Getúlio Teixeira Batista Ângela Maria de Lima Antonio Tebaldi Tardin Bernardo Friedrich Theodor Rudorff Francisco José Mendonça Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto Sherry Chou Chen Valdete Duarte		13. Autorizada por  Nelson de Jesus Parada Diretor Geral	
Assinatura responsável 			
14. Resumo/Notas Este projeto foi realizado com os objetivos de desenvolver e testar o sistema de fiscalização das operações de crédito agrícola, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. A área piloto abrangeu os municípios de Araçatuba e Guararapes, localizados no Estado de São Paulo. Utilizaram-se fotografias aéreas, imagens LANDSAT e cartas topográficas. As fotografias aéreas foram muito úteis para a delimitação das propriedades com financiamento do Banco do Brasil S.A. A percentagem de cana interpretada corretamente em imagens do LANDSAT, nas 85 propriedades analisadas, foi de 63,12%. A ocorrência de condições atípicas como excesso de precipitação, cana bisada, florescida e tombada, verificadas no período de obtenção de imagens, foram alguns dos fatores que contribuíram para o baixo desempenho da interpretação. Desenvolveu-se, então, uma abordagem alternativa utilizando várias passagens do LANDSAT com suporte dos dados auxiliares que aumentou a percentagem de acerto para 91,77%. As abordagens utilizadas (modelo agrometeorológico, índice vegetativo e monitoramento da área de cana cortada) para estimativa de rendimento, apresentaram resultados bastante encorajadores quando comparados com dados obtidos no campo. É difícil a detecção precisa de áreas menores que 25ha, exceto em condições favoráveis de contexto. Os erros causados pela variação de escala de imagens podem ser considerados desprezíveis para pequenas áreas geográficas.			
15. Observações PESQUISA FINANCIADA PELO BANCO DO BRASIL S/A ATRAVÉS DO SEU FUNDO DE INCENTIVO À PESQUISA TÉCNICO-CIENTÍFICA (FIPÉC).			

ABSTRACT

This project was carried out with the objectives of developing and testing remote sensing techniques for supporting the rural credit supervision system. The test area comprised the counties of Araçatuba and Guararapes, located in the State of São Paulo. Aerial photographs, LANDSAT images and topographic charts were used. Aerial photographs were extremely useful for the outlining of properties boundaries with financing of sugarcane plantations by the Banco do Brasil S.A. The percentage of correctly interpreted sugarcane on LANDSAT images, considering the 85 analysed properties, was of 63.12%. The occurrence of atypical conditions such as excessive raining, sugarcane in bloom, and wind damaged sugarcane and sugarcane not harvested due to planning failures verified during the period the images were obtained, were some of the contributing factors associated with a low interpretation performance. An alternative approach was developed using several LANDSAT overpasses and auxiliary field data, which resulted in 91.77 percent correct. The yield estimation approaches (agrometeorological model, vegetation index and monitoring of harvested sugarcane area) showed encouraging results when compared with field data. The accurate detection of areas smaller than 25 ha is difficult, except when having favorable conditions. The errors due to scale variations of the images can be neglected for small geographic areas.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>vii</i>
LISTA DE TABELAS	<i>ix</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
<u>CAPÍTULO 2 - MATERIAIS E MÉTODOS</u>	5
2.1 - Materiais	5
2.1.1 - Descrição geral da área piloto	5
2.1.2 - Produtos de sensoriamento remoto e material cartográfico	6
2.1.2.1 - Fotografias aéreas	6
2.1.2.2 - Imagens do satélite LANDSAT	6
2.1.2.3 - Documentação cartográfica	9
2.1.3 - Equipamentos principais utilizados	10
2.1.3.1 - Zoom Transfer Scope (ZTS)	10
2.1.3.2 - Ampliador fotográfico Durst	10
2.1.3.3 - Analisador de imagens multiespectrais (I-100)	10
2.2 - Metodologia para estimativa de área	11
2.2.1 - Obtenção dos limites das propriedades agrícolas	11
2.2.1.1 - Confecção de cartas temáticas	12
2.2.2 - Obtenção e análise das fotografias aéreas	13
2.2.2.1 - Recobrimento aerofotográfico	13
2.2.2.2 - Estabelecimento da legenda	14
2.2.2.3 - Estabelecimento de padrões	15
2.2.2.4 - Fotointerpretação	16
2.2.2.5 - Revisão da fotointerpretação e verificação de campo ...	16
2.2.3 - Obtenção e análise das imagens do LANDSAT	17
2.2.3.1 - Aquisição das imagens do LANDSAT	17
2.2.3.2 - Estabelecimento de uma chave de interpretação	17
2.2.3.3 - Interpretação visual da cana-de-açúcar (LANDSAT)	18
2.2.3.4 - Avaliação de área	19
2.2.3.5 - Metodologia para verificar a exatidão do mapeamento da cana-de-açúcar	19

	<u>Pág.</u>
2.2.4 - Análise dos dados do LANDSAT em fitas CCTs	21
2.2.4.1 - Procedimento para classificação automática	21
2.2.4.2 - Estratégia para classificação automática da área piloto	24
2.3 - Metodologia para estimativa de produtividade	25
2.3.1 - Modelo agrometeorológico	25
2.3.2 - Obtenção de índices vegetativos para estimar rendimento da cana-de-açúcar	27
2.3.3 - Produtividade baseada na área de cana cortada	30
<u>CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	33
3.1 - Dados obtidos através de fotografias aéreas	33
3.1.1 - Distribuição espacial das propriedades agrícolas	33
3.1.2 - Precisão cartográfica obtida no traçado dos limites das propriedades agrícolas	39
3.2 - Dados obtidos através de interpretação de imagens do LANDSAT	42
3.2.1 - Estimativa da área de cana-de-açúcar cultivada por propriedade agrícola	42
3.2.2 - Abordagem alternativa para identificação de cana ao nível de propriedade agrícola, através de imagens do LANDSAT ..	61
3.2.3 - Tamanho mínimo de área da cultura da cana-de-açúcar de detectável em imagens do LANDSAT	69
3.2.4 - Avaliação do uso da terra da área piloto	69
3.3 - Classificação automática	71
3.3.1 - Resultado da classificação automática	71
3.4 - Modelos de produtividade	74
3.4.1 - Produtividade através do modelo agrometeorológico	74
3.4.2 - Produtividade através de índices vegetativos	77
3.4.3 - Produtividade baseada na área de cana cortada	78
<u>CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES</u>	83
4.1 - Ao nível municipal	83
4.2 - Ao nível de propriedade	84
<u>CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	85

	<u>Pág.</u>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
APÊNDICE A - MAPAS DA DISTRIBUIÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR E ERROS ASSO CIADOS A SUA IDENTIFICAÇÃO	A.1
APÊNDICE B - MAPA DE USO DA TERRA DA ÁREA PILOTO	E.1

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Área piloto que inclui os municípios de Araçatuba e Guararapes, situados na região noroeste do Estado de São Paulo ...	3
2.1 - Esquema da cobertura aerofotográfica da área de estudo	7
2.2 - Fluxograma do procedimento	23
3.1 - Regressão entre os valores de área de cana obtidos com dados do LANDSAT e de aeronave	50
3.2 - Caracterização de áreas com problemas de cobertura de nuvens e perda de informações em imagens do LANDSAT	51
3.3 - Regressão entre os valores da área de cana, obtidos com dados do LANDSAT e dados de aeronave, referentes às 36 propriedades agrícolas que não foram afetadas pela falta de dados do LANDSAT	53
3.4 - Áreas de cana cortada até 26 de julho de 1983 nos municípios de Araçatuba e Guararapes, obtidas da interpretação de imagens do LANDSAT	79
3.5 - Áreas de cana cortada até 27 de agosto de 1983 nos municípios de Araçatuba e Guararapes, obtidas da interpretação de imagens do LANDSAT	80
3.6 - Áreas de cana cortada até 28 de setembro de 1983 nos municípios de Araçatuba e Guararapes, obtidas da interpretação de imagens do LANDSAT	81

ERRORES E OMISSÕES SÃO DE RESPONSABILIDADE DO AUTOR

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Dados do MSS do LANDSAT utilizados no projeto	8
2.2 - Dados referentes à cobertura aerofotográfica da área piloto compreendida pelos municípios de Araçatuba e Guararapes ...	14
2.3 - Calendário de plantio da cana-de-açúcar nos municípios de Araçatuba e Guararapes	20
3.1 - Resultados obtidos referentes ao número de propriedades agrícolas, que cultivam a cana-de-açúcar, financiadas pelo Banco do Brasil S.A., dentro da área piloto	33
3.2 - Áreas das propriedades agrícolas produtoras de cana, obtidas através de informação verbal no campo e através de contagem de pontos sobre os mapas temáticos 1:250.000	34
3.3 - Somatória da área total, por destilarias, das propriedades agrícolas produtoras de cana-de-açúcar	38
3.4 - Tabela demonstrativa do erro devido à representação gráfica ao utilizar, para o desenho, pena de 0,1mm de diâmetro	40
3.5 - Tabela demonstrativa do erro devido à representação gráfica ao utilizar, para o desenho, pena de 0,5mm de diâmetro	40
3.6 - Tabela demonstrativa do erro devido à representação gráfica ao utilizar, para o desenho, pena de 0,5mm de diâmetro na escala de 1:50.000, reduzida para 1:250.000	41
3.7 - Resultados comparativos de áreas ocupadas com cana-de-açúcar, por propriedade agrícola, obtidos a partir de dados de aeronave e dados do LANDSAT	42
3.8 - Resultados comparativos de áreas ocupadas com cana-de-açúcar, por propriedade agrícola, obtidos por destilaria a partir de dados de aeronave e do LANDSAT	48
3.9 - Resultado da interpretação da cana-de-açúcar a partir de imagens do LANDSAT e erros cometidos	54
3.10 - Valores de cana interpretada corretamente e erros de inclusão e omissão por destilaria	59
3.11 - Estimativa de área de cana, percentagem de cana interpretada corretamente e percentagem de erros de omissão e inclusão por destilaria	64
3.12 - Proporção da área ocupada com cana-de-açúcar, ao nível de propriedade, obtida através de imagens do LANDSAT e com trabalho simulado de campo, percentagem de cana interpretada corretamente e determinação dos erros de omissão e inclusão cometidos	65

	<u>Pág.</u>
3.13 - Uso da terra da área piloto através de imagens do LANDSAT	71
3.14 - Resultados do 'PROCEDIMENTO-INPE	72
3.15 - Valores médios de rendimento máximo (RM) e de rendimento real (RR), referentes à cana de ano e meio e à cana soca .	74
3.16 - Rendimentos médios em ton/ha de cana de ano e meio e de cana soca, em cada uma das cinco destilarias da área piloto, obtidos através das informações das destilarias	75
3.17 - Rendimentos de cana de ano e meio e de cana soca obtidos através do modelo agrometeorológico e das informações coletadas junto às destilarias da área piloto	76
3.18 - Coeficientes de correlação (r) entre os valores de rendimento da cana-de-açúcar, dados espectrais e índices vegetativos	77
3.19 - Rendimento médio de cana das destilarias de Araçatuba e Guararapes	82

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A agricultura tem sido considerada como um dos setores prioritários do Governo que participa significativamente da economia do País. Considerando a extensão territorial do Brasil, aliada à necessidade de aumento de produção devido ao crescimento populacional, verifica-se uma acentuada tendência de expansão da fronteira agrícola. Assim sendo, torna-se necessária a adoção de técnicas racionais e eficientes para o controle e monitoramento dos processos de produção agrícola.

O Banco do Brasil S.A., através da operação de crédito agrícola, tem incentivado e possibilitado aos agricultores aumentar a área plantada e a produtividade, gerando, conseqüentemente, uma maior quantidade de produtos. Para garantir a efetividade do crédito agrícola, torna-se de fundamental importância o estabelecimento de um sistema eficiente de fiscalização dos recursos aplicados para o fomento da Agricultura. A fiscalização, baseada em métodos convencionais, é limitada devido ao dinamismo da atividade agrícola e à rapidez de expansão das áreas cultivadas, distribuindo-se em grandes regiões do País. Além disso, métodos convencionais são, em geral, bastante deficientes na estimativa de áreas no campo. Um sistema baseado em sensoriamento remoto apresenta características que poderão ser de grande utilidade no processo de fiscalização.

O sensoriamento remoto é uma técnica que consiste na obtenção de dados da superfície da Terra, por meio de instrumentos colocados, principalmente, a bordo de aeronave e de satélite. O lançamento de satélites de observação da Terra e o crescente desenvolvimento das técnicas de análise têm permitido coletar dados da superfície terrestre, possíveis de ser tratados de modo rápido, eficiente e econômico, gerando informações altamente estratégicas e favorecendo o controle dos recursos terrestres. Pelas suas

características de recobrir periodicamente grandes regiões, o sensorimento remoto ao nível orbital permite que se estabeleça uma diversidade de programas de monitoramento dos recursos da Terra de forma dinâmica e rápida.

Este projeto visou desenvolver e testar um sistema de monitoramento de cultura ao nível de município e de propriedades agrícolas, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, com ênfase na utilização de dados coletados por satélites de observação da Terra.

Como área piloto, foram escolhidos os municípios de Araçatuba e Guararapes, na região noroeste do Estado de São Paulo (Figura 1.1), ocupando uma área de 3.583km², região de grande tradição de exploração pecuária, mas que atualmente apresenta acentuada e rápida expansão agrícola, principalmente da cultura da cana-de-açúcar.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

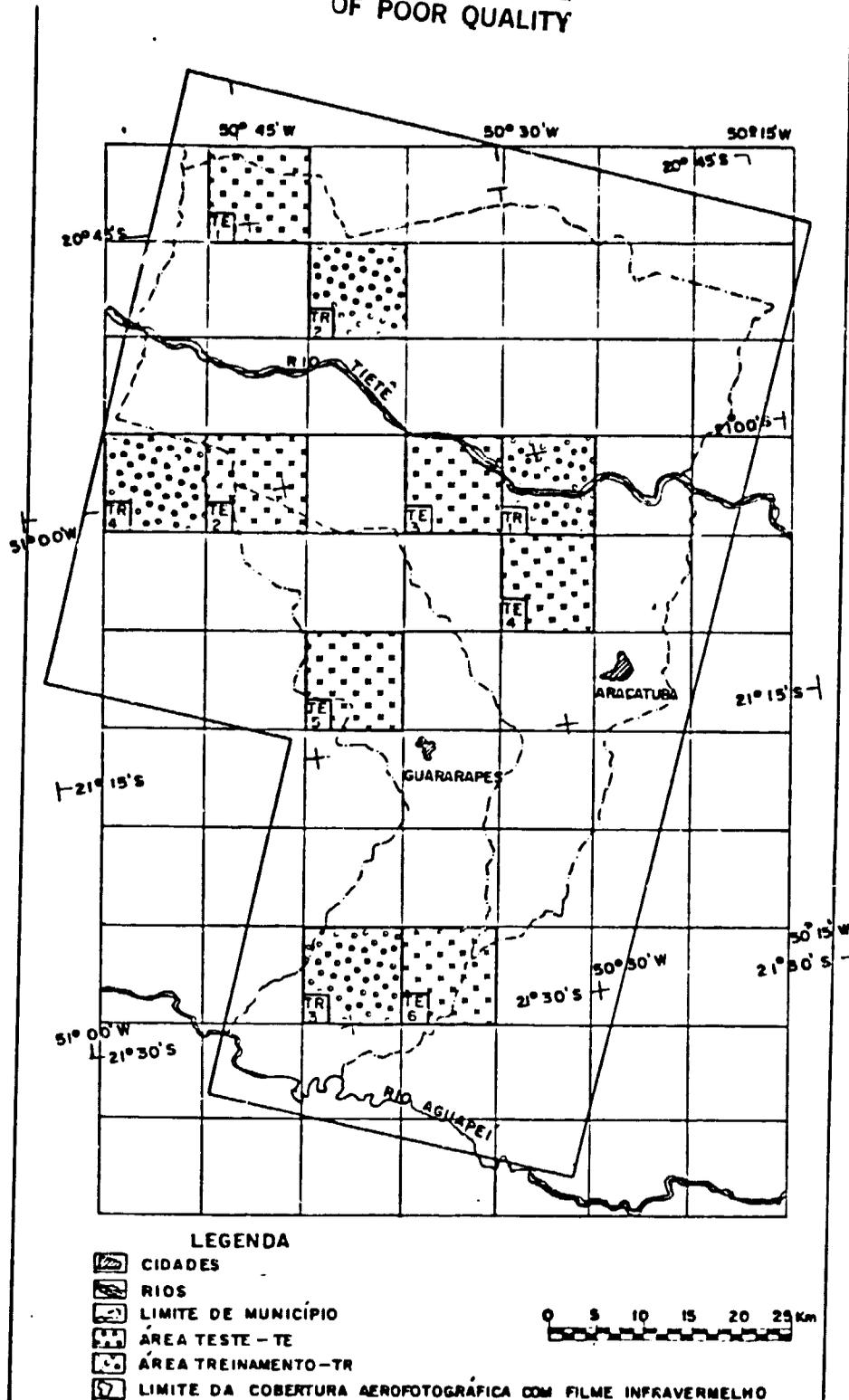


Fig. 1.1 - Área piloto que inclui os municípios de Araçatuba e Guararapes, situados na região noroeste do Estado de São Paulo.

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - MATERIAIS

2.1.1 - DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA PILOTO

A área piloto compreende os municípios de Araçatuba e Guararapes. Está localizada entre as latitudes 20°45' e 21°30' sul e longitudes 50°15' e 51°00' oeste (Figura 1.1). Situada a noroeste do Estado de São Paulo, ocupa uma superfície de 358.300ha, abrangendo áreas agrícolas das destilarias Cruzalcool, Alcoazul, Aralco e Destivale, localizadas no município de Araçatuba e da destilaria Unialco, localizada no município de Guararapes.

Em termos de características naturais, a área escolhida, insere-se na Província Fisiográfica denominada Planalto Ocidental Paulista, que apresenta relevo com interflúvios amplos e suavizados, constituindo-se em divisores hidrográficos dos rios Tietê e Aguapeí. Em termos de solos, predominam os solos do grupo Latossolo Vermelho Escuro Fase arenosa e os solos Podzolizados de Lins e Marília (Brasil, 1960). Sobre as características de clima, predomina na área o tipo climático Awa de Köppen, subtropical, seco no inverno (junho-julho-agosto) e verão chuvoso (novembro-dezembro-janeiro), com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. A precipitação anual está entre 1000 e 1500mm e a temperatura média anual entre 20 e 22°C (Setzer, 1966).

Do ponto de vista agrícola, a pecuária é a exploração dominante na região, a qual ocupa vastas áreas de pastagens. A cultura da cana-de-açúcar não é expressiva na área de estudo, cuja implantação, para fins de exploração industrial, teve início no ano de 1980.

2.1.2 - PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E MATERIAL CARTOGRÁFICO

2.1.2.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS

Foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas verticais, resultantes das coberturas aerofotográficas realizadas, em 1972, pela FAB 1/69 GAV, para o Instituto Brasileiro do Café (IBC) e, em 1978, pela Terrafoto S.A. para a Companhia de Eletrificação de São Paulo (CESP). Estas fotografias foram utilizadas, em campo, para delimitação das propriedades agrícolas levantadas (Figura 2.1).

Para a interpretação da cana-de-açúcar foram analisadas transparências de fotografias aéreas infravermelhas coloridas verticais na escala 1:30.000, resultantes da cobertura aerofotográfica realizada especialmente para esse projeto, pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), no período de 13 a 23 de junho de 1983, cobrindo integralmente a área dos dois municípios (Figura 1.1).

2.1.2.2 - IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT

O satélite da série LANDSAT possui um imageador multiespectral (MSS-Multispectral Scanner Subsystem), o qual obtém simultaneamente imagens da superfície da Terra em quatro canais espectrais: canal 4: 0,5 a 0,6 μ m (verde-laranja); canal 5: 0,6 a 0,7 μ m (laranja-vermelho); canal 6: 0,7 a 0,8 μ m (vermelho-infravermelho próximo); canal 7: 0,8 μ m a 1,1 μ m (infravermelho próximo).

As informações obtidas por esses sensores são enviadas para a Terra, na forma de sinais eletromagnéticos, que são recebidos e gravados por estações de recepção. Posteriormente, são convertidos em imagens fotográficas e fitas digitais compatíveis com computador.

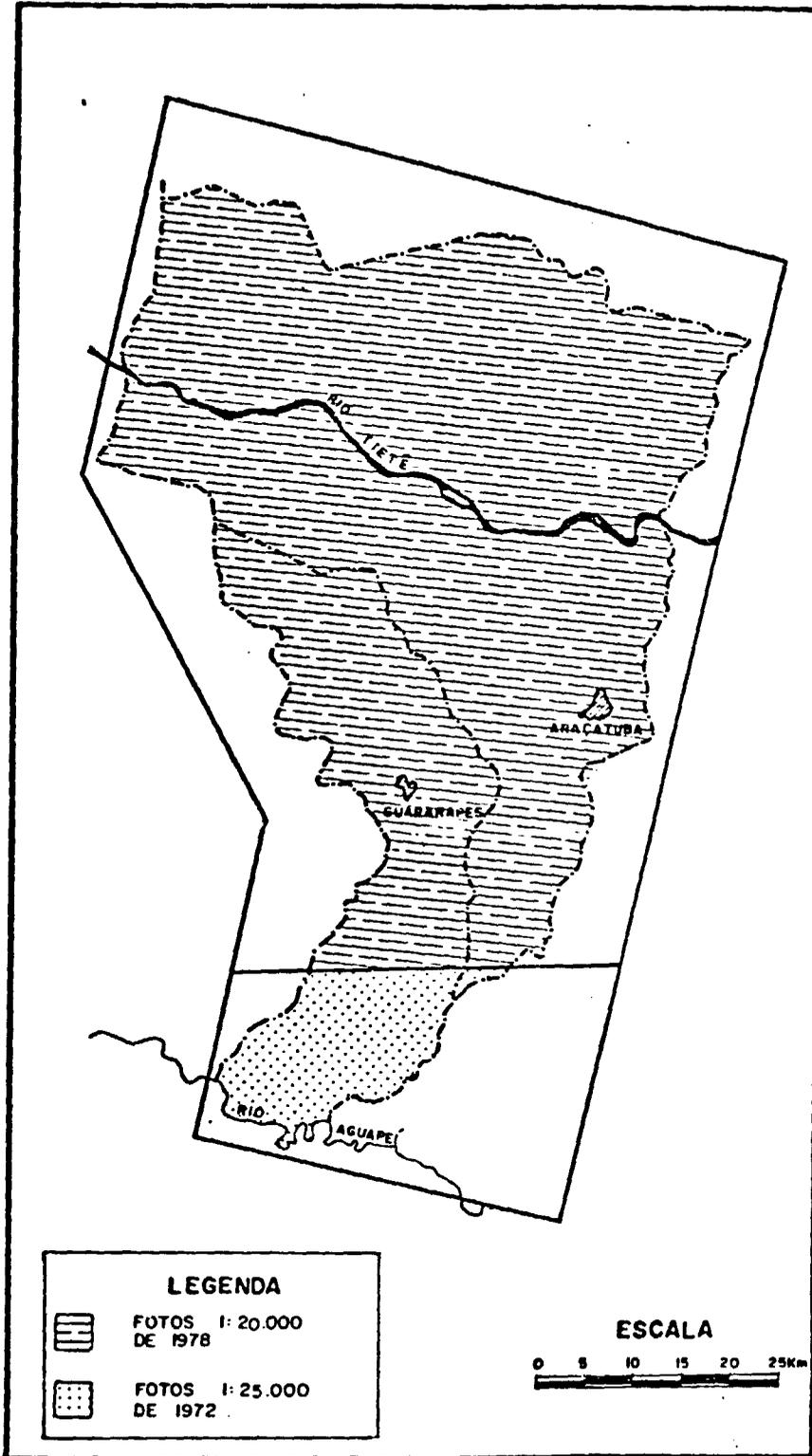


Fig. 2.1 - Esquema de cobertura aerofotográfica da área de estudo.

No presente projeto foram estudadas as imagens obtidas pelo imageador multiespectral (MSS), processadas nos laboratórios do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), identificadas pela órbita 222 do satélite LANDSAT nos pontos 74 e 75, analisadas sob duas formas de produto, conforme mostra a Tabela 2.1.

TABELA 2.1

DADOS MSS DO LANDSAT UTILIZADOS NO PROJETO

ANO PRODUTO	1980	1981	1982	1983
PAPEL (CANAIS 5 E 7) ESCALA 1:250.000).	16/01	14/03	14/01	16/02
	-	-	18/03	07/05
	-	-	23/04	10 e 26/07
	-	-	29/05	27/08
	-	-	22/07	28/09
C C T (CANAIS 4, 5, 6, 7)	-	-	09/09	16/02
	-	-	28/11	07/05
	-	-	-	10 e 26/07
	-	-	-	27/08
	-	-	-	28/09

2.1.2.3 - DOCUMENTAÇÃO CARTOGRÁFICA

Para a identificação de acidentes geográficos nas fotografias aéreas e imagens do LANDSAT, foram utilizadas como base as cartas topográficas nas escalas 1:50.000 e 1:250.000, conforme relação abaixo:

- Cartas Topográficas, escala 1:50.000:

Sud Mennucci	- 1967, IGG/SP
Auriflama	- 1967, IGG/SP
Bacuri	- 1967, IGG/SP
Aracanguã	- 1967, IGG/SP
Major Prado	- 1967, IGG/SP
Gastão Vidigal	- 1967, IGG/SP
Valparaíso	- 1967, IGG/SP
Ribeiro do Vale	- 1967, IGG/SP
Araçatuba	- 1967, IGG/SP
Bento de Abreu	- 1967, IGG/SP
Guararapes	- 1967, IGG/SP
Birigui	- 1967, IGG/SP
Salmourão	- 1974, FIBGE
Rinópolis	- 1974, FIBGE

- Cartas Topográficas, escala 1:250.000:

Votuporanga	- 1976, FIBGE
Araçatuba	- 1976, FIBGE

Obteve-se, também, para servir como fundo da interpretação visual da cana-de-açúcar a partir de imagem de satélite, uma base planimétrica extraída de uma imagem de satélite, que foi geometricamente corrigida, denominada Precision.

2.1.3 - EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS UTILIZADOS

2.1.3.1 - ZOOM TRANSFER SCOPE (ZTS)

Para a transferência dos limites das propriedades, contidas nas fotografias aéreas em 1:20.000 e 1:25.000 sobre as cartas topográficas em 1:50.000, foi utilizado o ZTS (Zoom Transfer Scope) que permite um ajuste de escala através da superposição de acidentes geográficos.

2.1.3.2 - AMPLIADOR FOTOGRÁFICO DURST

Para promover um ajuste gráfico dos mapas temáticos em 1:50.000 para a escala de trabalho de 1:250.000 foi utilizado o ampliador fotográfico Durst do laboratório fotográfico do INPE.

2.1.3.3 - ANALISADOR DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS (I-100)

O I-100 é um sistema interativo, conversacional, projetado para extrair automaticamente informações multiespectrais de imagens terrestres obtidas remotamente por satélites ou aviões. Baseia-se no princípio de que todos os objetos possuem características espectrais únicas que são também denominadas de assinaturas, isto é, cada objeto reflete ou emite energia eletromagnética de uma maneira peculiar nas diversas bandas do espectro.

O I-100 possui um "hardware" especial que opera sob o controle de um minicomputador PDP-11/45 que controla também os algoritmos (software) implementados, os quais permitem identificar áreas semelhantes na imagem sob estudo, comparando assinaturas previamente conhecidas com as características espectrais de cada ponto da imagem, associando cores falsas às áreas da imagem que possuem as mesmas características espectrais (temas). Estes temas são então visualizados em um monitor de televisão, individualmente ou simultaneamente com a imagem original.

2.2 - METODOLOGIA PARA ESTIMATIVA DE ÁREA

2.2.1 - OBTENÇÃO DOS LIMITES DAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS

Para a obtenção em campo dos limites das propriedades, realizou-se preliminarmente um teste para definir quais os documentos cartográficos ou fotográficos que poderiam ser utilizados. Os documentos à disposição foram os seguintes:

- a) cartas topográficas, escala 1:250.000;
- b) cartas topográficas, escala 1:50.000;
- c) imagens MSS do LANDSAT, escala 1:250.000;
- d) imagens RBV do LANDSAT, escala 1:100.000;
- e) fotografias aéreas pancromáticas, escala 1:20.000, voo de 1978;
- f) fotografias aéreas pancromáticas, escala 1:25.000, voo de 1972.

Definido o material que melhor se prestava ao objetivo de delimitação das propriedades (no caso o material dos itens "e" e "f"), procedeu-se, sistematicamente, ao levantamento das propriedades adotando os seguintes passos:

- 1) Com auxílio de um fotoíndice, verificava-se em qual linha de voo estava localizada a propriedade, cujo proprietário deveria ser entrevistado. A seguir, selecionavam-se as aerofotografias que cobriam a propriedade a ser delimitada;
- 2) Com as aerofotografias selecionadas, compunha-se um pequeno mosaico e mostrava-se ao entrevistado detalhes da região, registrados sobre as aerofotografias, a fim de que ele pudesse localizar a sua propriedade nas aerofotos;

- 3) A seguir, com a orientação do proprietário, traçava-se sobre as fotografias aéreas, com lápis do tipo cera, os limites da propriedade;
- 4) Traçados os limites da propriedade, marcava-se sobre a fotografia aérea, ou conjunto de fotografias aéreas, o número de código de identificação daquela propriedade demarcada; e,
- 5) Finalmente, sobre uma folha de papel, fazia-se a descrição da propriedade, com os seguintes dados:

- número de código da propriedade,
- nome do proprietário,
- área da propriedade,
- número das fotos aéreas nas quais a propriedade estava contida.

2.2.1.1 - CONFECÇÃO DE CARTAS TEMÁTICAS

O lançamento dos limites das propriedades agrícolas contidas nas fotografias aéreas referidas no item 2.2.1 (e,f), foi feito sobre bases cartográficas na escala de 1:50.000, utilizando uma câmara clara ZTS (Zoom Transfer Scope).

A interpretação das fotografias aéreas referidas na Seção 2.1.2.1, parágrafo 2, foi reduzida fotograficamente e ajustada sobre as bases cartográficas na escala de 1:50.000.

O desenho das cartas temáticas com os limites das propriedades agrícolas e a cultura da cana-de-açúcar, foi obtido por compilação direta das folhas topográficas na escala de 1:50.000, elaboradas pelo Instituto Geológico e Geográfico e Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IGG/SP e FIBGE).

Confeccionadas as cartas temáticas na escala de 1:50.000, procedeu-se a sua redução para a escala de 1:250.000 a fim de permitir a comprovação entre os dados interpretados pelo LANDSAT e os das fotografias aéreas (verdade terrestre).

Tais produtos podem ser vistos no atlas que segue anexo a este relatório.

2.2.2 - OBTENÇÃO E ANÁLISE DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

2.2.2.1 - RECOBRIMENTO AEROFOTOGRAFICO

A cobertura aerofotográfica foi executada com os seguintes objetivos:

- 1) auxiliar no estabelecimento de padrões fotográficos com o objetivo de estabelecer uma chave de interpretação baseada em áreas de treinamento representativas dos temas a serem identificados;
- 2) servir como verdade terrestre para medir a exatidão de identificação e avaliação de área de temas interpretados em imagens LANDSAT.

Para a realização desse vôo aerofotográfico foi utilizada a aeronave Bandeirante do INPE, no período de 13 a 23 de junho de 1983. A Tabela 2.2 mostra os dados técnicos da cobertura aerofotográfica da área de estudo.

TABELA 2.2

DADOS REFERENTES À COBERTURA AEROFOTOGRAFICA DA ÁREA PILOTO
COMPREENSIVA DOS MUNICÍPIOS DE ARAÇATUBA E GUARARAPES

CÂMARA	DISTÂNCIA FOCAL (mm)	FILME (KODAK)	FILTROS	RECOBRIMENTO		Nº DE FAIXAS	Nº DE FOTOS		ALTURA (PÉS)
				LONG.	LAT.		TOTAL	ÚTEIS	
WILD RC-10	152	Aero-chrome IR-2443	W500 + Av.1,4	60%	30%	21	466	389	15000

2.2.2.2. - ESTABELECIMENTO DA LEGENDA

Para os primeiros contatos com os padrões de imagem da área piloto, foram selecionadas quatro áreas de treinamento de 10km x 10km, dentro da área de estudo, distribuídas segundo critério de diferentes concentrações da cultura da cana, conforme pode ser visto na Figura 1.1. As fotografias aéreas correspondentes a estas áreas de treinamento foram interpretadas pelos elementos da equipe. Os resultados foram discutidos e a área piloto foi visitada para dar início à correlação entre os padrões das aerofotos e o terreno.

Como resultado desta fase, foi estabelecida a seguinte legenda:

- C - Cana adulta (Safrá 1983),
- CC - Cana cortada (Safrá 1983),
- CN - Cana Nova (Plantio 1983).

Nos mapas do atlas anexo, que contêm a distribuição espacial da cultura canavieira, na área piloto, a legenda acima foi assim simplificada:

- C + CC - Cana safra 1983,
CN - Cana plantio 1983.

2.2.2.3 - ESTABELECIMENTO DE PADRÕES

Foram estabelecidos os padrões e as normas para orientação durante os trabalhos de interpretação final, com base na experiência adquirida nas fases anteriores.

- a) *CANA ADULTA* - Em estágio avançado de desenvolvimento (a ser cortada na safra em andamento), na época da tomada da fotografia aérea. Dentro da classe da cana adulta incluem-se cana de ano e meio, cana de ano e cana soca, aqui definidas através de padrões de tonalidade e textura:
- *Tonalidade*: Magenta mais ou menos intensa, dependendo da maior ou menor percentagem de cobertura do solo pela planta. No caso da ocorrência de condições anormais, devido a fatores ambientais e agronômicos, a tonalidade se apresentava magenta, mosqueada de manchas brancas. A variedade plantada também influenciou na variação tonal.
 - *Textura*: Aveludada de fina a grosseira, dependendo da ocorrência de cana de ano, cana soca e cana de ano e meio.
- b) *CANA CORTADA* - Áreas colhidas durante a safra em andamento na época da cobertura aerofotográfica:
- *Tonalidade*: Verde com faixas brancas causadas pela presença de alinhamentos em paralelo das leiras de palhada que acompanham o sentido do corte.
 - *Textura*: Fina e descontínua (aspecto penteado).
- c) *CANA NOVA* - Cana de ano e meio em início de desenvolvimento, a qual não será cortada na safra em andamento.

- *Tonalidade*: Variável, conforme o estágio da cana e o tipo do solo. Em geral, um padrão de verde intenso para solos de coloração vermelho dominante, e um verde claro para solos de coloração clara.

- *Textura*: Fina e contínua.

2.2.2.4 - FOTOINTERPRETAÇÃO

A fotointerpretação foi desenvolvida através do uso de mesas de luz e lupas monoculares com aumento de 8 vezes, as quais propiciam a observação dos aspectos de tonalidade e textura, critérios altamente relevantes para a identificação da cultura da cana-de-açúcar em transparências coloridas de fotografias aéreas infravermelhas.

Os trabalhos da fotointerpretação propriamente ditos foram antecidos pela marcação de pontos homólogos nos pares de fotografias aéreas contíguas, com o objetivo de minimizar as distorções que ocorrem em suas bordas e otimizar o trabalho de fotointerpretação, evitando que a mesma área fosse interpretada mais de uma vez.

2.2.2.5 - REVISÃO DA FOTOINTERPRETAÇÃO E VERIFICAÇÃO DE CAMPO

Todos os pontos com padrões duvidosos, resultantes da fotointerpretação realizada individualmente, eram submetidos à apreciação, para decisão, dos demais membros da equipe.

Concluídos os trabalhos de fotointerpretação, foram identificados sobre algumas fotografias pontos com padrões indefinidos e pontos com padrões bem definidos a serem visitados no campo, a fim de dirimir dúvidas e confirmar decisões tomadas.

2.2.3 - OBTENÇÃO E ANÁLISE DAS IMAGENS DO LANDSAT

2.2.3.1 - AQUISIÇÃO DAS IMAGENS DO LANDSAT

A aquisição das imagens do LANDSAT foi feita levando em consideração dois critérios:

- 1) qualidade das imagens, em termos de cobertura de nuvens; e
- 2) período de aquisição das imagens, em função do calendário agrícola da cana-de-açúcar adotado pelos agricultores da região.

2.2.3.2 - ESTABELECIMENTO DE UMA CHAVE DE INTERPRETAÇÃO

O plantio da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, segundo Koffler et alii (1979), é concentrado em duas épocas. O plantio feito em outubro, que permite a colheita de cana com aproximadamente 12 meses (a partir de setembro do ano seguinte), sendo conhecida como *cana de ano*, e o plantio nos meses de janeiro e fevereiro, que permite a colheita de cana com 18 meses (a partir de maio do ano seguinte), conhecida como *cana de ano e meio*.

Com base neste esquema de plantio e corte da cana-de-açúcar, foi utilizada uma chave de interpretação desenvolvida e testada por Mendonça et alii (1981) para interpretar a cana-de-açúcar da área deste Projeto. O princípio básico desta chave é a utilização combinada das características espectrais e temporais das imagens do LANDSAT para identificar a cana em seus diferentes estágios de desenvolvimento.

Deve-se ressaltar, entretanto, que esta chave de interpretação foi desenvolvida para situações em que a cana apresenta um desenvolvimento normal, sem a ocorrência de problemas que venham alterar a sua resposta espectral característica.

Durante o ano de 1983 ocorreram na região de estudo problemas agrônômicos e meteorológicos tais como: cana tombada, cana praguejada e com inflorescência, cana bisada, além de ocorrerem índices de precipitação acima do normal para aquele período de análise. Esta situação provocou mudanças no comportamento espectral da cana-de-açúcar, o que impediu a utilização da chave de interpretação acima citada.

Para contornar este problema foi desenvolvida outra chave que levou em consideração a caracterização das áreas preparadas para o plantio da cana e datas de plantio específicas para a área de estudo. Esta alternativa implicou um maior número de imagens.

2.2.3.3 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DA CANA-DE-AÇÚCAR (LANDSAT)

Os trabalhos de identificação da cana-de-açúcar, a partir de imagens do LANDSAT, são referentes a 85 propriedades agrícolas, correspondentes às propriedades fornecedoras de cana para as cinco destilarias da área de estudo (Tabela 3.7), e cujas áreas de plantio de cana são financiadas pelo Banco do Brasil.

A identificação e delimitação das áreas de solo preparado foram possíveis devido ao grande contraste existente entre o solo exposto e os alvos adjacentes. Além disto as áreas de solo preparado apresentam formas geométricas bem definidas.

Para esta região, as áreas de solo preparado se apresentavam, no canal 5, com níveis de cinza claro. As datas de passagens das imagens utilizadas foram as seguintes:

Ano de 1980: 16/jan.;

Ano de 1981: 14/mar.;

Ano de 1982: 14/jan., 18/mar., 23/abr., 29/maio e 22/jul.;

Ano de 1983: 16/fev., 07/maio e 10/jul.

Para decidir quais, dentro das áreas de solo preparado, eram aquelas provavelmente destinadas ao plantio da cana-de-açúcar, foram utilizadas imagens do LANDSAT, no canal 7, referentes às seguintes passagens:

Ano de 1982: 29/maio e 22/jul.;

Ano de 1983: 07/maio e 10/jul.

A escolha destas datas foi baseada em informações obtidas em campo sobre o calendário de plantio da cultura naquela região, desde o ano de sua implantação até o ano de 1983, mostrado na Tabela 2.3.

2.2.3.4 - AVALIAÇÃO DE ÁREA

O método utilizado para avaliação de área de cana foi o de contagem de pontos de uma malha transparente sobreposta aos mapas temáticos.

Para o caso de mapas temáticos, na escala de 1:250.000, obtidos de imagens do LANDSAT, foi usada grade de 1mm x 1mm; enquanto para os mapas de 1:50.000, gerados a partir de fotografias aéreas, utilizou-se grade de 0,5cm x 0,5cm. Cada ponto corresponde a 6,25 ha em ambas as grades.

2.2.3.5 - METODOLOGIA PARA VERIFICAR A EXATIDÃO DO MAPEAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Para verificar a exatidão do mapeamento da cana-de-açúcar, utilizando imagens do LANDSAT, adotou-se primeiramente os seguintes critérios pré-estabelecidos:

- 1) que o risco do consumidor em aceitar um mapa com uma exatidão inferior a 85% seja de 5%.

TABELA 2.3

CALENDÁRIO DE PLANTIO DE CANA-DE-AÇÚCAR NOS MUNICÍPIOS DE ARAÇATUBA E GUARARAPES

ANO	MÊS ÁREA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL Ha/ANO	% TOTAL/ANO
		1980	Ha	-	-	232	80	618	166	-	241	-	-	-	93
	%	-	-	16,22	5,59	43,21	11,60	-	16,85	-	-	-	6,50		
1981	Ha	-	-	659	1711	1170	434	58	176	-	26	239	130	4673	33,11
	%	-	-	14,32	37,17	25,42	9,43	1,26	3,82	-	0,56	5,88	2,82		
1982	Ha	96	-	804	2000	1570	537	186	357	361	-	267	130	6308	45,36
	%	1,52	-	12,74	31,70	24,89	8,51	2,95	5,66	5,72	-	4,23	2,06		
1983	Ha	-	-	266	445	573	123	-	35	20	-	44	59	1565	11,25
	%	-	-	17,00	28,40	36,31	7,86	-	2,23	1,28	-	2,81	3,77		
TOTAL	Ha/MÊS	96		1961	4336	3931	1260	244	799	381	26	550	412	13906	100
	% TOTAL/MÊS	0,69	-	14,10	31,18	28,27	9,06	1,75	5,74	2,74	0,19	3,95	2,96		

$$\text{risco do consumidor } (0,05) = \sum_{Y=0}^X \frac{N!}{Y! (N-Y)!} 0.85^{N-Y} (1 - 0.85)^Y; \quad (2.1)$$

2) que o risco do produtor em rejeitar um mapa com uma exatidão superior a 95% seja também de 5%:

$$\text{risco do produtor } (0,05) = \sum_{Y=X+1}^N \frac{N!}{Y! (N-Y)!} 0.95^{N-Y} (1 - 0.95)^Y; \quad (2.2)$$

onde:

N = número de pontos amostrados,

Y = número de pontos erroneamente classificados,

X = número máximo de pontos erroneamente classificados para satisfazer às Equações 2.1 e 2.2.

De acordo com estes critérios, foi dimensionada uma amostra mínima de 93 pontos a serem checados. A aceitação do mapa, dentro dos critérios estabelecidos, estaria condicionada ao fato de não mais do que 8 pontos, dentro dos 93 selecionados, serem incorretos.

2.2.4 - ANÁLISE DOS DADOS DO LANDSAT EM FITAS CCTs

2.2.4.1 - PROCEDIMENTO PARA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA

Com o objetivo de desenvolver um sistema integrado de previsão de safras, foi elaborado no INPE um procedimento interativo que envolve analista e computador na determinação da proporção de culturas agrícolas em segmentos de imagens de satélite (Câmara et alii, 1982).

A metodologia proposta para a estimativa de área através do uso deste procedimento é a de amostragem estratificada e envolve os seguintes passos:

- 1) zoneamento da região de estudo de acordo com as características edáficas, climáticas e agrícolas;
- 2) estratificação das zonas homogêneas de acordo com a densidade da cultura em estudo;
- 3) seleção aleatória de unidades amostrais, denominadas segmentos, em cada estrato homogêneo;
- 4) determinação da proporção da cultura em cada segmento;
- 5) estimativa da área da cultura por estrato através da proporção estimada nos segmentos;
- 6) as estimativas dos estratos são agregadas e obtém-se a estimativa para as zonas homogêneas que, por sua vez, são agregadas para obter a estimativa da cultura na região de estudo.

O procedimento utilizado no presente trabalho envolve a participação do analista (agrônomo fotointérprete) e do computador, que trabalham de forma interativa, com quatro fases distintas:

- a) treinamento e rotulação;
- b) classificação;
- c) estimativa de proporção;
- d) avaliação e aprovação,

conforme mostra a Figura 2.2, detalhadas a seguir.

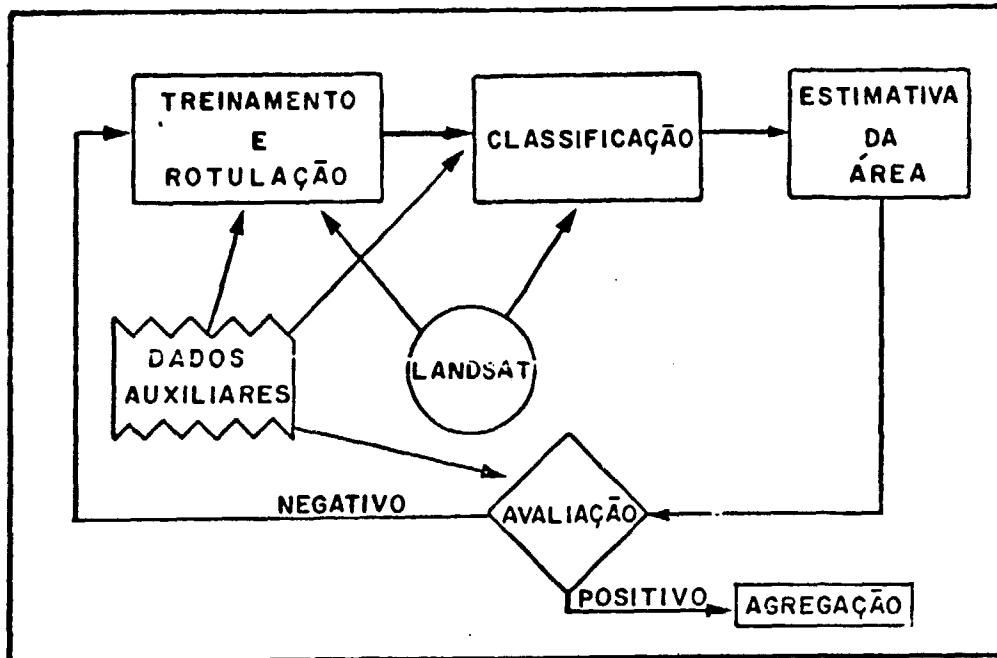


Fig. 2.2 - Fluxograma de procedimento.

a) Treinamento e rotulação

Nesta fase o analista rotula manualmente pontos pré-alocados aleatoriamente sobre a imagem com dois objetivos: fornecer os parâmetros necessários para a classificação; dar subsídios para testar a estimativa da proporção e corrigir erros de tendência do classificador na estimativa dessa proporção.

b) Classificação

A classificação separa cada ponto do segmento em duas classes: cultura e não cultura, de acordo com a regra de máxima verossimilhança.

c) Estimativa de proporção

O resultado da classificação é usado para a estimativa da proporção da cultura no segmento. Nesta fase também é feita uma

correção das eventuais tendências ocorridas na classificação que utiliza os subsídios fornecidos na fase de treinamento e rotulação.

u) Avaliação e aprovação

O resultado da estimativa da proporção é submetido ao analista para aprovação e, a seu critério, os passos do procedimento poderão ser refeitos, ou o segmento estará pronto para fornecer a proporção da cultura plantada.

As principais características do procedimento são:

- minimização do uso de informações de campo;
- capacidade de verificar os resultados da classificação automática com a rotulação feita pelo analista.

2.2.4.2 - ESTRATÉGIA PARA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DA ÁREA PILOTO

Na área piloto foram alocados seis segmentos, denominados segmentos testes, nas proximidades das destilarias da região (Figura 1.1).

Inicialmente foram selecionadas quatro passagens do satélite LANDSAT, cujos dados contidos em fitas CCTs (fitas compatíveis com o computador) foram digitalmente sobrepostos e transferidos para uma única fita de computador.

Para cada um dos segmentos foram processadas as fases de treinamento e rotulação, classificação, estimativa da proporção, avaliação e aprovação.

As passagens utilizadas para estimativa da proporção da cultura nos segmentos foram 16 de fevereiro de 1983, 07 de maio de 1983, 10 de junho de 1983 e 27 de agosto de 1983, denominadas passagens 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Somente para os segmentos 2 e 4 estavam disponíveis as quatro passagens. Para o segmento 1 não se dispunha da passagem 3 e os segmentos 3 e 5 estavam com cobertura de nuvens na 2ª passagem. O segmento 6 não foi utilizado para classificação pois não apresentava nenhuma área de cana.

O procedimento visa obter a estimativa da área plantada com culturas agrícolas em grandes áreas (Estado, país, continente) e, portanto ele não é muito adequado para o nível municipal. Para obter uma estimativa da área plantada com a cultura da cana-de-açúcar na região de estudo, seria necessário que a escolha dos segmentos fosse aleatória, o que na verdade não ocorreu neste estudo cujo principal objetivo foi determinar o desempenho do procedimento para estimativa da proporção da cultura nos segmentos teste.

2.3 - METODOLOGIA PARA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE

2.3.1 - MODELO AGROMETEOROLÓGICO

O modelo agrometeorológico visa determinar a influência da água disponível para a cultura sobre o seu rendimento.

O desenvolvimento do modelo baseou-se principalmente no relatório número 33 da FAO - Yield Response to Water, no qual está descrita uma metodologia para calcular o rendimento máximo e o rendimento real da cultura em função da disponibilidade de água.

A quantificação do efeito do estresse hídrico sobre o rendimento da cultura é obtido relacionando o decréscimo do rendimento relativo $(1 - RR/RM)$ e o déficit de evapotranspiração relativa $(1 - ETR/ETM)$, através do fator de resposta ao rendimento (Kr) , por meio da seguinte equação:

$$(1 - RR/RM) = Kr (1 - ETR/ETM), \quad (2.3)$$

onde:

RR = Rendimento Real,

RM = Rendimento Máximo,

ETR = Evapotranspiração Real,

ETM = Evapotranspiração Máxima,

Kr = Fator de resposta ao rendimento.

Quando a quantidade de água disponível for suficiente e suprir adequadamente a demanda de água pela cultura, então $ETR = ETM$ e, conseqüentemente, o rendimento máximo não será penalizado. No entanto, quando a demanda de água pela cultura for maior do que a água disponível, então $ETR < ETM$ e, conseqüentemente, $RR < RM$. O fator Kr foi obtido empiricamente e se encontra tabelado em Doorembos e Kassam (1979). Para a cultura da cana-de-açúcar o fator Kr é igual a 1,2 o que implica num déficit de rendimento relativo proporcionalmente, maior do que o déficit de evapotranspiração relativa.

O rendimento máximo (RM) para a cultura da cana-de-açúcar na região de Araçatuba e Guararapes foi calculado baseado no método desenvolvido por Kassam (Doorembos e Kassam, 1979). Os fatores climáticos que determinam o valor de RM são temperatura e radiação, além do número de meses do ciclo da cultura. É considerado que condições adversas tais como água, nutrientes, pragas, doenças, ervas daninhas e outros não sejam limitantes para o crescimento da cultura.

No cálculo da evapotranspiração máxima (ETM) utiliza-se o conceito da evapotranspiração de referência (ET₀), a qual é relacionada com a ETM através do coeficiente da cultura (K_c) que

ajusta os valores de ETO para ETM de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura. Para o cálculo de ETO emprega-se a equação de Penman.

A evapotranspiração real (ETR) é obtida a partir de um índice de água disponível no solo que utiliza dados de precipitação, capacidade de retenção de água do solo e a quantidade de água remanescente no solo calculada por meio do balanço hídrico de Thornthwaite-Mather (1955). Quando este índice é maior ou igual a 1 então $ETR = ETM$, caso contrário utiliza-se uma tabela para obter os valores de ETR com as informações acima mencionadas.

Finalmente, pode-se obter o valor de rendimento real (RR) resolvendo a equação:

$$RR = RM \left[1 - K_r \left(1 - \frac{ETR}{ETM} \right) \right] \quad (2.4)$$

Todos os cálculos do modelo são feitos com médias mensais dos dados meteorológicos.

2.3.2 - OBTENÇÃO DE ÍNDICES VEGETATIVOS PARA ESTIMAR RENDIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Para a estimativa da produtividade através de índices vegetativos obtidos a partir de imagens LANDSAT, utilizando o IMAGE-100, requer-se que seja investigada a correlação destes índices com a produtividade da cultura, medida no campo, em diversas áreas.

Primeiramente, a partir de fotografias aéreas coloridas falsa-cor, na escala de 1:30.000 e obtidas pelo INPE em junho de 1983, foram selecionados 42 talhões de cana-de-açúcar e, a seguir, plotados

sobre as cartas topográficas na escala de 1:250.000. Munidos destes documentos cartográficos, foram coletados em campo sobre os talhões selecionados dados referentes à sua área e produção, variedades, datas de plantio e colheita da cana, discriminando para esta última informação se a cana era de 1º, 2º ou 3º corte.

Em segundo lugar, a partir de dados do LANDSAT, em fitas CCTs (fitas compatíveis com o computador), referentes às datas de passagem de 09/set./82, 28/nov./82, 16/fev./83, 07/maio/83, 10/jul./83, 26/jul./83, 27/ago./83 e 28/set./83, foram obtidas nos quatro canais do MSS do LANDSAT informações espectrais de cada um dos 42 talhões de cana selecionados, através do Analisador de Imagens Multiespectrais (IMAGE-100). O programa utilizado no sistema IMAGE-100 para obtenção das informações espectrais foi o *SINGLE-CELL*.

Devido a problemas de cobertura de nuvens que ocorreram nos dados referentes às passagens do LANDSAT de 28/nov./82 e 07/maio/83, foi impossível obter informações espectrais de alguns talhões de cana. Os dados referentes à passagem de 28/set./83 foram abandonados em virtude dos talhões de cana apresentarem ao sensor MSS uma forte influência do solo em relação à massa vegetal, já que este período corresponde, praticamente, ao fim da safra da cana-de-açúcar. Além destes problemas, não foi possível a obtenção de informação de campo sobre o rendimento de todos os 42 talhões de cana selecionados.

Os 24 talhões restantes eram compostos de cana planta e cana soca e que na maior parte haviam sido plantados em abril de 1980 e abril de 1981, respectivamente.

Para a análise da correlação simples entre o rendimento (ton/ha) e os dados espectrais da cana em cada um dos canais do LANDSAT, foram utilizadas somente as passagens de 16/fev./83, 07/maio/83, 10/jul./83, 26/jul./83 e 27/ago./83. A partir destes dados foram obtidos também os seguintes índices vegetativos:

D_{5-7} : diferença de contagem digital entre o canal 5 e o canal 7,

R_{7-5} : razão de contagem digital do canal 7 sobre o canal 5,

IVT_6 : Índice vegetativo transformado, calculado através da seguinte equação:

$$IVT_6 = \sqrt{\frac{C6 - C5}{C6 + C5} + 0,5} \quad (2.5)$$

onde:

$C5$ e $C6$ correspondem a respostas nos canais 5 e 6 do MSS do LANDSAT, respectivamente,

IVT_7 : Índice vegetativo transformado, obtido através desta equação:

$$IVT_7 = \sqrt{\frac{C7 - C5}{C7 + C5} + 0,5} \quad (2.6)$$

Para testar a significância dos coeficientes acima foi utilizado um $\alpha = 0,05$.

2.3.3 - PRODUTIVIDADE BASEADA NA ÁREA DE CANA CORTADA

A principal razão que levou à realização desta atividade está fundamentada no fato de que é possível ter o controle diário do total de cana cortada que alimenta uma unidade industrial de açúcar ou de álcool. No caso específico dos municípios de Araçatuba e Guararapes esta condição é mais favorecida, pois são existem 5 destilarias em operação.

Para a realização desta atividade foram utilizadas imagens LANDSAT do canal 5, na escala de 1:250.000, referentes às seguintes passagens: 10 e 26/jul./83, 27/ago./83 e 28/set./83. Utilizaram-se também aerofotografias coloridas falsa-cor, na escala de 1:30.000, obtidas em junho de 1983, que cobrem toda a área dos dois municípios (Figura 1.1).

A obtenção dos dados de produção de cana foi feita através de trabalho de campo junto às destilarias Alcoazul, Aralco, Cruzalcoo, Destivale e Unialco.

Como método utilizado para a execução desta atividade foi feita, inicialmente, a plotagem de todas as áreas de cana sobre a passagem de 10/jul./83, utilizando fotografias aéreas infravermelhas coloridas obtidas pelo INPE. Avaliou-se, também, a área de cana cortada sobre estas fotografias.

Em seguida, sobre cada imagem do LANDSAT disponível, fez-se a avaliação de área do tema cana cortada através de interpretação visual do canal 5 correspondente à região do vermelho do espectro eletromagnético.

Para a quantificação do tema cana cortada utilizou-se grade milimetrada.

Os dados de tonelagem de cana moída foram obtidos junto às destilarias nas mesmas datas das passagens do LANDSAT e no período correspondente ao aerolevante.

A razão entre a tonelagem de cana moída e a área de cana cortada, até uma determinada data, forneceria o rendimento médio da cultura obtido para as cinco destilarias desses municípios.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS

3.1.1 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS

Nos mapas do atlas anexo pode-se observar a distribuição espacial das propriedades agrícolas levantadas dentro da área piloto.

A Tabela 3.1 mostra o número de propriedades agrícolas que cultivam a cultura da cana-de-açúcar, financiadas pelo Banco do Brasil S.A. nos dois municípios levantados.

TABELA 3.1

RESULTADOS OBTIDOS REFERENTES AO NÚMERO DE PROPRIEDADES AGRÍCOLAS, QUE CULTIVAM A CANA-DE-AÇÚCAR, FINANCIADAS PELO BANCO DO BRASIL S.A., DENTRO DA ÁREA PILOTO

MUNICÍPIO	DESTILARIA	Nº DE PROPRIEDADES	PERCENTAGEM
ARAÇATUBA	ALCOAZUL	22	26
	ARALCO	22	26
	CRUZALCOOL	11	12
	DESTIVALE	15	18
GUARARAPES	UNIALCO	15	18
T O T A L		85	100

LOADING PAGE BLANK NOT FILMED

A área de cada uma das 85 propriedades agrícolas levantadas e ocupadas com cana-de-açúcar foi obtida de duas maneiras: por informação verbal de cada entrevistado e através de contagem de pontos de grade, sobre o mapa temático, que contém os limites das áreas, na escala de 1:250.000.

A Tabela 3.2 compara os resultados dos valores de área e mostra as diferenças absoluta e relativa entre os dois processos de obtenção de área para cada uma das 85 propriedades.

TABELA 3.2

ÁREAS DAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS PRODUTORAS DE CANA, OBTIDAS ATRAVÉS DE INFORMAÇÃO VERBAL NO CAMPO E ATRAVÉS DE CONTAGEM DE PONTOS SOBRE OS MAPAS TEMÁTICOS 1:250.000

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE AGRÍCOLA	ÁREA DAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS (Ha)		DIFERENÇAS	
		INFORMAÇÃO VERBAL (A)	CONTAGEM DE PONTOS (B)	B - A	$\frac{B - A}{B} \times 100$
A L C O A Z U L	46	1.189,65	1.206,25	16,60	1,40
	51	1.035,76	1.100,00	64,24	6,20
	33	979,52	1.181,25	201,73	20,60
	52	1.337,05	1.293,75	- 43,30	- 3,20
	34	2.262,70	2.256,25	- 6,45	- 0,28
	26	3.509,00	3.606,25	97,25	2,77
	43	188,08	381,25	193,17	102,70
	50	629,20	656,25	27,05	4,30
	36	713,32	662,50	- 50,82	- 7,12
	37	628,38	631,25	2,87	0,45
	31	526,45	537,50	11,05	2,10
	41	188,11	187,50	- 0,61	- 0,32

(continua)

Tabela 3.2 - Continuação

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE AGRÍCOLA	ÁREA DAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS (Ha)		DIFERENÇAS	
		INFORMAÇÃO VERBAL (A)	CONTAGEM DE PONTOS (B)	B - A	$\frac{B - A}{B} \times 100$
A L C O A Z U L	40	—	275,00	—	ARRENDAMENTO
	45-A	1.189,00	1.231,25	42,25	3,55
	42	188,00	206,25	18,25	9,70
	47	1.036,00	1.262,50	226,50	17,94
	285	2.541,00	2.675,00	134,00	5,01
	66	—	787,50	—	—
	38	722,97	675,00	- 47,97	- 6,60
	35	711,27	725,00	13,73	1,93
	39	—	112,50	—	ARRENDAMENTO
	30	—	318,75	—	ARRENDAMENTO
A R A L C O	18	287,98	281,25	- 6,73	- 2,39
	99	704,22	662,25	- 41,97	- 6,33
	22	1.559,63	1.650,00	90,37	5,47
	7	1.381,82	1.337,50	- 44,32	- 3,31
	1	96,80	100,00	3,20	3,20
	5	609,84	568,75	- 41,09	- 7,22
	3	1.045,44	1.068,75	23,31	2,18
	2	125,84	131,25	5,41	4,12
	20	121,00	187,50	66,5	35,47
	4	774,40	750,00	- 24,40	- 3,25
	6	338,80	281,25	- 57,55	- 20,46
	8	208,12	231,25	23,13	10,00
68	—	475,00	—	ARRENDAMENTO	

(continua)

Tabela 3.2 - Continuação

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE AGRÍCOLA	ÁREA DAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS (Ha)		DIFERENÇAS	
		INFORMAÇÃO VERBAL (A)	CONTAGEM DE PONTOS (B)	B - A	$\frac{B - A}{B} \times 100$
A R A L C O	9	1.887,60	1.918,75	31,15	1,62
	73	486,42	462,50	- 23,92	- 5,17
	77	246,84	225,00	- 21,84	- 9,70
	97	171,82	156,25	- 15,57	- 9,96
	65	242,00	262,50	20,50	7,80
	69	847,00	800,00	- 47,00	- 5,86
	27	1.210,00	1.156,25	- 53,75	- 4,64
	98	4.822,09	4.850,00	27,91	0,57
	19	262,10	231,25	- 30,85	- 13,34
C R U Z A L C O O L	10	3.872,00	3.756,25	-115,75	- 3,08
	13	363,00	387,50	24,50	6,32
	14	363,00	193,75	-169,25	- 87,35
	16	3.146,00	3.662,50	516,50	14,10
	17	1.573,00	1.800,00	227,00	12,60
	67	534,82	906,25	371,43	40,98
	103	1.210,00	1.150,00	- 60,00	- 5,21
	105	162,74	137,50	- 25,24	- 18,35
	106	266,20	275,00	8,80	3,20
	107	266,20	312,50	46,30	14,31
	80	2.037,64	2.018,75	- 18,89	- 0,93
D E S T I V A L E	55-A	657,03	700,00	42,97	6,13
	23	389,35	375,00	- 14,35	- 3,82
	24	193,60	281,25	87,65	31,16
	25	726,00	718,75	- 7,25	- 1,00

(continua)

Tabela 3.2 - Conclusão

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE AGRÍCOLA	ÁREA DAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS (Ha)		DIFERENÇAS	
		INFORMAÇÃO VERBAL (A)	CONTAGEM DE PONTOS (B)	B - A	$\frac{B - A}{B} \times 100$
D E S T I V A L E	54	859,10	906,25	47,15	5,20
	55	2.219,62	2.518,75	299,13	11,87
	56	380,30	625,00	244,70	39,15
	57	2.076,95	2.056,25	- 20,70	- 1,00
	59	290,16	600,00	309,84	51,64
	60	256,58	900,00	643,42	71,49
	61	292,75	531,25	238,80	44,95
	62	751,31	818,75	67,44	8,23
	63	42,95	43,75	0,80	1,82
	64	145,20	187,50	42,30	22,56
	109	683,13	675,00	- 8,13	- 1,20
U N I A L C O	316	583,20	637,50	54,30	8,51
	317	3.400,10	3.537,50	137,40	3,88
	305	314,60	218,75	- 95,85	- 43,81
	323	3.339,60	3.412,50	72,90	2,13
	320	191,18	212,50	21,23	10,03
	318	2.144,12	2.225,00	80,88	3,63
	319	121,00	150,00	29,00	19,33
	310	726,00	781,25	55,25	7,07
	306	290,40	306,25	15,85	5,17
	308	544,50	525,00	- 19,50	- 3,71
	321	3.339,60	3.387,50	47,90	1,41
	314	2.178,00	1.987,50	-190,50	- 9,58
	324	481,58	475,00	- 6,58	- 1,38
	315	2.599,08	2.681,25	82,15	3,06
	325	2.257,86	2.350,00	92,14	4,92

Analisando a Tabela 3.2 pode-se observar que de 5 propriedades agrícolas (as de código 40, 66, 39, 30 e 68) não se conseguiu informação verbal sobre a área. Deste modo, considerando somente 80 propriedades agrícolas, 16% dessas propriedades levantadas apresentaram uma discrepância de valor de área de mais de 20%, entre os dois processos de obtenção.

É possível que uma das maiores causas dessa percentagem de ocorrência de discrepância entre os valores de área obtidos pelos dois processos, mostrados na Tabela 3.2, tenha sua origem no erro de informação verbal, a qual foi obtida sem comprovação por documentos cartográficos ou jurídicos.

Na Tabela 3.3 é mostrado que houve uma discrepância de 4,51% entre o resultado obtido pela informação verbal e pela contagem de pontos para as 85 propriedades agrícolas. Esta tabela mostra ainda as discrepâncias verificadas para cada destilaria.

TABELA 3.3

SOMATÓRIO DA ÁREA TOTAL, POR DESTILARIA, DAS PROPRIEDADES
AGRÍCOLAS PRODUTORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

DESTILAR	ÁREA TOTAL DAS PROPR.AGRÍCOLAS (Ha)		DIFERENÇA	
	INFORMAÇÃO VERBAL (A)	CONTAGEM DE PONTOS (B)	B - A	$\frac{B-A}{B} \times 100$
ALCOAZUL	19.575,46	20.475,00	899,54	4,39
ARALCO	17.429,76	17.312,25	-117,51	0,68
CRUZALCOOL	13.794,60	14.600,00	805,40	5,52
DESTIVALE	9.964,03	11.937,50	1.973,47	16,53
UNIALCO	22.510,82	22.887,50	376,68	1,65
TOTAL	83.274,67	87.212,25	3.937,58	4,51

3.1.2 - PRECISÃO CARTOGRÁFICA OBTIDA NO TRAÇADO DOS LIMITES DAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS

Os mapas do atlas anexo, na escala de 1:50.000, e que contêm os limites das propriedades agrícolas, foram feitos por compilação não sendo realizados serviços de campo, tais como de topografia, de geodésia ou de reambulação, para a determinação de pontos de controle.

Utilizando o ZTS (Zoom Transfer Scope) procedeu-se à transferência dos limites das propriedades demarcadas nas fotografias aéreas de 1:20.000 e 1:25.000 para as cartas topográficas na escala de 1:50.000. Por ocorrerem grandes diferenças entre a data das fotografias aéreas e a da elaboração das cartas, nem sempre foi possível um ajuste perfeito; recorrendo, nestes casos, ao ajuste de pelo menos dois acidentes que pudessem definir uma orientação para poder encaixar a figura desejada sobre a carta em 1:50.000.

Tendo sido lançados os limites das propriedades agrícolas sobre as cartas topográficas, impressas em "offset", na escala de 1:50.000, procedeu-se ao preparo do desenho cartográfico sobre poliéster de base estável.

A representação gráfica dos limites das propriedades agrícolas foi uma fonte de erro, responsável por uma parcela considerável de imprecisão, a qual é tão mais acentuada quanto menor a área da propriedade agrícola. Na Tabela 3.4 é mostrado, o erro que se comete, em função do tamanho da área, ao se utilizar para o desenho gráfico uma pena de 0,1mm de diâmetro.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

TABELA 3.4

TABELA DEMONSTRATIVA DO ERRO DEVIDO À REPRESENTAÇÃO GRÁFICA AO SE
UTILIZAR PARA O DESENHO, PENA DE 0,1mm DE DIÂMETRO

Dimensões da área em mm	(1mm x 1mm)	(2mm x 2mm)	(5mm x 5mm)	(10mm x 10mm)	(20mm x 20mm)
Área correspondente em 1:250.000	6,25 ha	25 ha	156,25 ha	625 ha	2500 ha
Área correspondente em 1: 50.000	0,25 ha	1 ha	6,25 ha	25 ha	100 ha
ERRO EM %	± 10%	± 5%	± 2%	< 2%	< 2%

Como para o desenho em 1:50.000 neste trabalho foi usada caneta de 0,5mm de diâmetro, tem-se a seguinte Tabela 3.5 comparativa:

TABELA 3.5

TABELA DEMONSTRATIVA DO ERRO DEVIDO À REPRESENTAÇÃO GRÁFICA AO SE
UTILIZAR PARA O DESENHO, PENA DE 0,5mm DE DIÂMETRO

Dimensões da área em mm	(1mm x 1mm)	(2mm x 2mm)	(5mm x 5mm)	(10mm x 10mm)	(20mm x 20mm)
Área correspondente em 1:250.000	6,25 ha	25 ha	156,25 ha	625 ha	2500 ha
Área correspondente em 1: 50.000	0,25 ha	1 ha	6,25 ha	25 ha	100 ha
ERRO EM %	± 78%	± 30%	± 10%	± 5%	< 5%

Como o material foi todo trabalhado em 1:50.000 e depois reduzido para a escala de 1:250.000, têm-se finalmente os seguintes valores da Tabela 3.6

TABELA 3.6

TABELA DEMONSTRATIVA DO ERRO DEVIDO À REPRESENTAÇÃO GRÁFICA AO
UTILIZAR, PARA O DESENHO, PENA DE 0,5mm DE DIÂMETRO NA ESCALA
DE 1.50.000, REDUZIDA PARA 1:250.000

Dimensões da área em mm na escala de 1:50.000	(1mm x 1mm)	(2mm x 2mm)	(5mm x 5mm)	(10mm x 10mm)	(20mm x 20mm)
Dimensões da área em mm na escala de 1:250.000	(0,2mm x 0,2mm)	(0,4mm x 0,4mm)	(1mm x 1mm)	(2mm x 2mm)	(4mm x 4mm)
ERRO EM %	indeterminado	indeterminado	± 10%	± 5%	± 2%

Os dados da Tabela 3.6 demonstram que o tamanho mínimo de uma propriedade, teoricamente viável a ser mapeada, na escala de 1:250.000, não poderá ser inferior a 1mm², equivalente a 6,25 ha, incorrendo-se em um erro de 10% causado pela sua representação gráfica.

As imagens LANDSAT utilizadas neste trabalho apresentaram variações de escala muito reduzidas, sendo o menor desvio médio encontrado igual a 0,33% e o maior igual a 0,85%, em relação à carta topográfica do IBGE.

3.2 - DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DO LANDSAT

3.2.1 - ESTIMATIVA DA ÁREA DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA POR PROPRIEDADE AGRÍCOLA

No atlas anexo é mostrada a distribuição espacial da cultura canavieira obtida através da interpretação visual das imagens LANDSAT. A este mapa é superposta uma transparência com o resultado da interpretação das fotografias aéreas, com a finalidade de comparação dos dois resultados.

A comparação quantitativa destes resultados referentes à cana safra/83 e ao plantio/83 é mostrada na Tabela 3.7.

TABELA 3.7

RESULTADOS COMPARATIVOS DE ÁREAS OCUPADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR, POR PROPRIEDADE AGRÍCOLA, OBTIDOS A PARTIR DE DADOS DE AERONAVE E DADOS DO LANDSAT

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	ÁREA DE CANA (Ha)		DIFERENÇA (ha)	
		AERONAVE (A)	LANDSAT (B)	A - B	$\frac{A - B}{A} \times 100$
ALCOAZUL	46	362,50	481,25	- 118,75	- 32,76
	51	412,50	112,50	300,00	72,73
	33	18,75	143,75	- 125,00	- 666,67
	52	400,00	275,00	125,00	31,25
	34	837,50	350,00	487,50	58,21
	26	1.287,50	737,50	550,00	42,72

(continua)

Tabela 3.7 - Continuação

ORIGINAL BASIS OF POOR QUALITY

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	ÁREA DE CANA (Ha)		DIFERENÇA (ha)	
		AERONAVE (A)	LANDSAT (B)	A - B	$\frac{A - B}{A} \times 100$
A L C O A Z U L	43	275,00	156,25	118,75	43,18
	50	431,25	331,25	100,00	23,19
	36	37,50	25,00	12,50	33,33
	37	425,00	268,75	156,25	36,76
	31	193,50	43,75	149,75	77,39
	41	168,75	81,25	87,50	51,85
	40	56,25	0,00	56,25	100,00
	45-A	637,50	556,25	81,25	12,75
	42	131,25	137,50	- 6,25	- 4,76
	47	100,00	106,25	- 6,25	- 6,25
	285	250,00	300,00	- 50,00	- 20,00
	66	506,25	356,25	150,00	29,63
	38	318,75	156,25	162,50	50,98
	35	68,75	68,75	0,00	0,00
	39	43,75	31,25	12,50	28,57
30	118,75	87,50	31,25	26,32	

(continua)

Tabela 3.7 - Continuação

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	ÁREA DE CANA (Ha)		DIFERENÇA (ha)	
		AERONAVE (A)	LANDSAT (B)	A - B	$\frac{A - B}{A} \times 100$
A R A L C O	18	156,25	0,00	156,25	100,00
	99	300,00	237,00	62,50	20,83
	22	200,00	262,50	- 62,50	- 31,25
	7	406,25	618,75	- 212,50	- 52,31
	1	118,75	68,75	50,00	42,11
	5	306,25	112,50	193,75	63,27
	3	462,50	262,00	200,50	43,35
	2	125,00	112,50	12,50	10,00
	20	18,75	0,00	18,75	100,00
	4	412,50	431,25	- 18,75	- 4,55
	6	256,25	37,50	218,75	85,37
	8	37,50	43,75	- 6,25	- 16,67
	68	68,75	87,50	- 18,75	- 27,27
	9	381,25	106,25	275,00	72,13
	73	43,75	31,25	12,50	28,57
77	43,75	0,00	43,75	100,00	

(continua)

Tabela 3.7 - Continuação

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	ÁREA DE CANA (Ha)		DIFERENÇA (ha)	
		AERONAVE (A)	LANDSAT (B)	A - B	$\frac{A - B}{A} \times 100$
A R A L C O	97	162,50	125,00	37,50	23,08
	65	68,75	75,00	- 6,25	- 9,09
	69	131,25	112,50	18,75	14,29
	27	650,00	431,25	218,75	33,65
	98	187,50	143,75	43,75	23,33
	19	87,50	87,50	0,00	0,00
C R U Z A L C O O L	10	1.168,75	631,25	537,50	45,99
	13	143,75	93,75	50,00	34,78
	14	125,00	62,50	62,50	50,00
	16	787,50	625,00	162,50	20,63
	17	443,75	312,50	131,25	29,58
	67	200,00	218,25	- 18,25	- 9,13
	103	12,50	0,00	12,50	100,00
	105	75,00	87,50	- 12,50	- 16,67
	106	14,25	25,00	- 10,75	- 75,44
	107	43,75	43,75	0,00	0,00
80	562,50	581,25	- 18,75	- 3,33	

(continua)

Tabela 3.7 - Continuação

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPR. EDADE	ÁREA DE CANA (Ha)		DIFERENÇA (ha)	
		AERONAVE (A)	LANDSAT (B)	A - B	$\frac{A - B}{A} \times 100$
D E S T I V A L E	55-A	106,25	112,50	- 6,25	- 5,88
	23	287,50	112,50	175,00	60,87
	24	250,00	281,25	- 31,25	- 12,50
	25	475,00	193,75	281,25	59,21
	54	162,50	50,00	112,50	69,23
	55	1.237,50	1.156,25	81,25	6,57
	56	206,25	300,00	- 93,75	- 45,45
	57	837,50	850,00	- 12,50	- 1,49
	59	343,75	343,75	0,00	0,00
	60	218,75	206,25	12,50	5,71
	61	268,75	206,25	+ 62,50	23,26
	62	187,50	156,25	31,25	16,67
	63	37,50	0,00	37,50	100,00
	64	37,50	0,00	37,50	100,00
	109	312,50	193,75	118,75	38,00

(continua)

Tabela 3.7 - Conclusão

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	ÁREA DE CANA (Ha)		DIFERENÇA (ha)	
		AERONAVE (A)	LANDSAT (B)	A - B	$\frac{A - B}{A} \times 100$
U N I A L C O	316	262,50	331,25	- 68,75	- 25,19
	317	843,25	981,25	- 138,00	- 16,37
	305	62,50	0,00	62,50	100,00
	323	362,50	181,25	181,25	50,00
	320	131,25	50,00	81,25	61,90
	318	656,25	818,50	- 162,25	- 24,72
	319	181,25	43,75	137,50	75,86
	310	62,50	50,00	12,50	20,00
	306	81,25	0,00	81,25	100,00
	308	106,25	0,00	106,25	100,00
	321	225,00	125,00	100,00	44,44
	314	112,50	175,00	- 62,50	- 55,56
	324	100,00	31,25	68,75	68,75
	315	918,75	756,25	162,50	17,69
	325	281,25	0,00	281,25	100,00

Com a finalidade de apresentar a Tabela 3.7 de forma resumida, foi elaborada a Tabela 3.8 na qual os resultados comparativos de áreas ocupadas com cana-de-açúcar por propriedade agrícola, obtidos a partir de dados de aeronave e dados do LANDSAT, são apresentados por destilaria.

TABELA 3.8

RESULTADOS COMPARATIVOS DE ÁREAS OCUPADAS COM CANA-DE-AÇÚCAR POR PROPRIEDADE AGRÍCOLA, OBTIDOS POR DESTILARIA A PARTIR DE DADOS DE AERONAVE E DO LANDSAT

DESTILARIA	NÚMERO DE PROPRIEDADES	ÁREA DE CANA (Ha)		DIFERENÇA (Ha)	
		AERONAVE (A)	LANDSAT (B)	A - B	$\frac{A-B}{A} \times 100$
ALCOAZUL	22	7.081,00	4.806,25	2.274,75	32,12
ARALCO	22	4.625,00	3.387,00	1.238,00	26,77
CRUZALCOOL	11	3.576,75	2.680,00	896,00	25,05
DESTIVALE	15	4.968,75	4.162,50	806,25	16,23
UNIALCO	15	4.387,00	3.543,50	843,50	19,23
TOTAL	85	24.638,50	18.580,00	6.058,50	24,59

Na análise da relação entre os dados de área obtidos por imagens LANDSAT e por aeronave observa-se que, de um modo geral, as imagens tendem a subestimar os valores de área. Este fato pode ser verificado através do gráfico da Figura 3.1.

A razão entre a estimativa de área de cana-de-açúcar obtida com imagens LANDSAT e aquela obtida com dados de aeronave foi de 75%.

Com base nos dados da Tabela 3.7 foi obtida uma equação de regressão que expressa a correlação linear entre os valores de área de cana, por aeronave e por LANDSAT:

$$\hat{Y} = 1,01X + 68,42.$$

O gráfico da Figura 3.1 mostra a relação dos dados analisados e a respectiva reta de regressão.

O coeficiente de correlação ($r = 0,88$) foi significativo ao nível de 1% de probabilidade.

A interpretação das imagens LANDSAT, utilizando várias passagens do satélite, ficou prejudicada devido à cobertura de nuvens e à ausência de informação causada por problemas no sensor MSS do LANDSAT-3, conforme mostra o mapa da Figura 3.2.

Em decorrência de tais fatos fez-se uma seleção das propriedades que não foram afetadas pela falta de dados e gerou-se uma nova análise de regressão, utilizando apenas os resultados de 36 propriedades agrícolas, cuja equação é:

$$Y = 0,90X + 95,00.$$

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

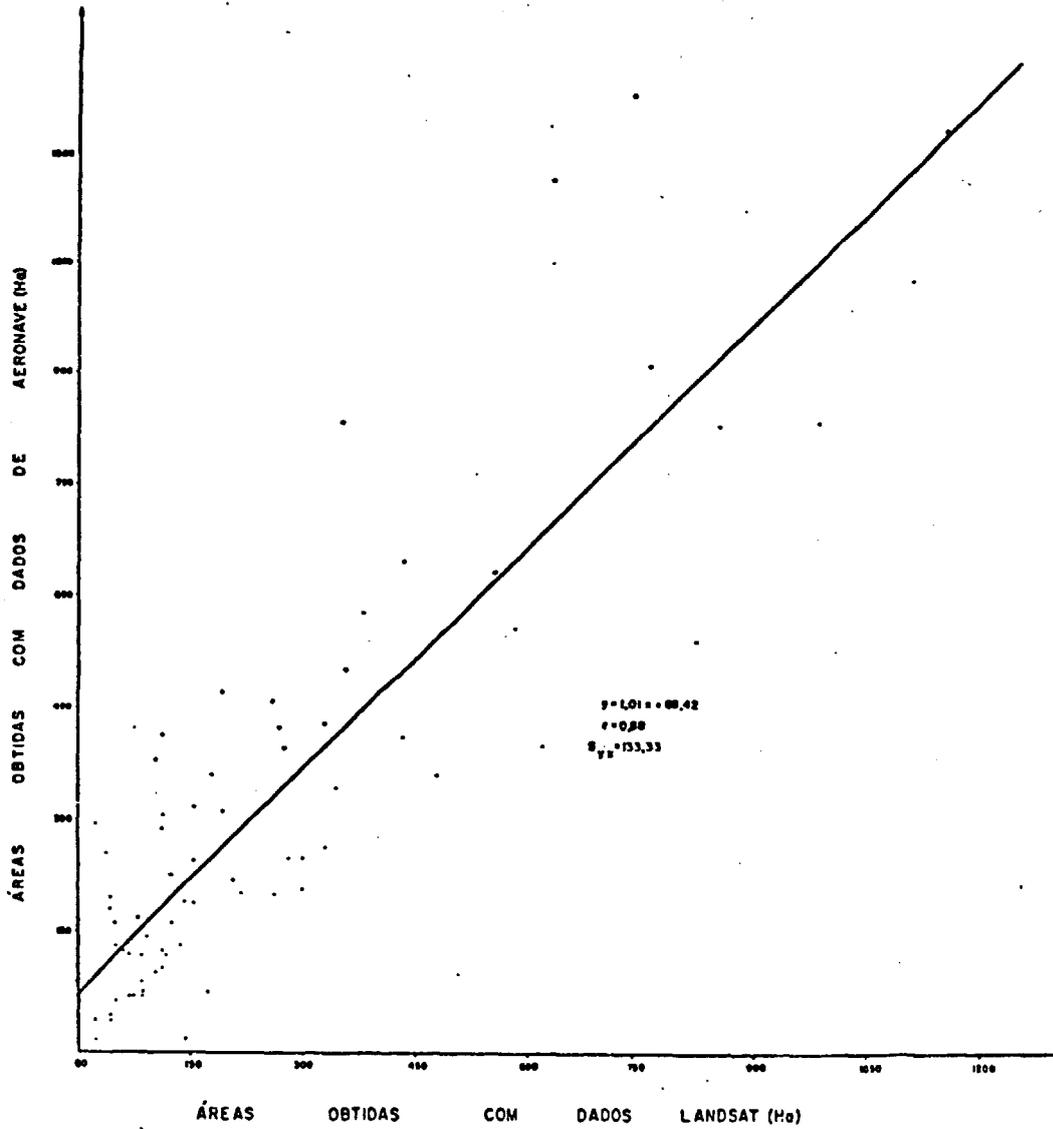


Fig. 3.1 - Regressão entre os valores de área de cana obtidos com dados do LANDSAT e de aeronave.

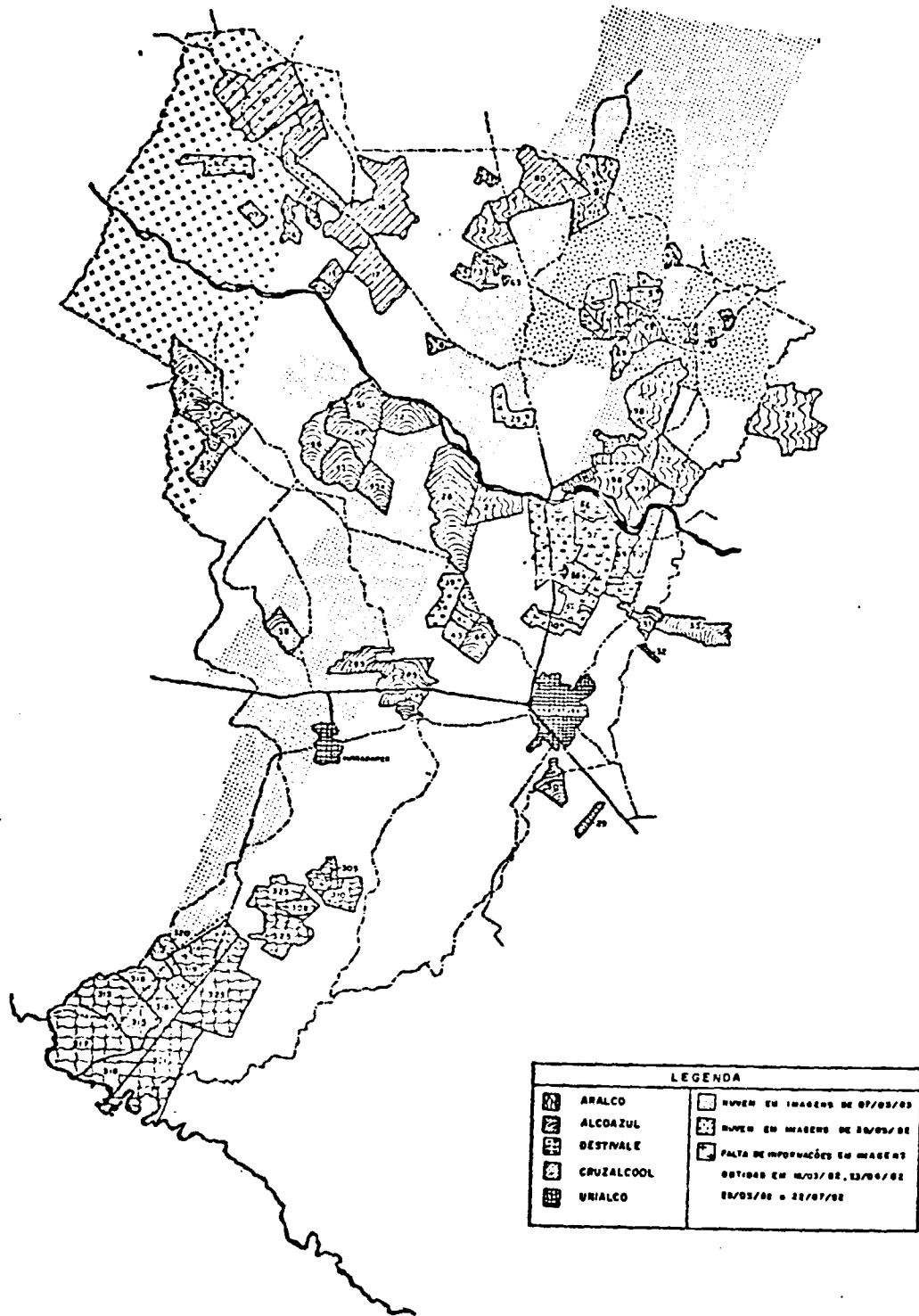


Fig. 3.2 - Caracterização de áreas com problemas de cobertura de nuvens e perda de informação em imagens do LANDSAT.

A Figura 3.3 mostra a relação dos dados selecionados pelo critério acima mencionado e a reta de regressão. O teste t mostrou que o coeficiente de correlação (0,91) foi significativo ao nível de 1% de probabilidade.

A diferença entre os resultados obtidos da interpretação dos dados de aeronave (A) e dos dados do LANDSAT (B), apresentados na Tabela 3.7, tem valor positivo quando a área de cana interpretada nas imagens LANDSAT foi menor do que aquela obtida pelos dados de aeronave.

As diferenças positivas entre A e B indicam que as áreas de cana obtidas da interpretação das imagens LANDSAT foram subestimadas.

A fim de avaliar os erros de omissão e os erros de inclusão sobrepos-se a interpretação de cana das imagens do LANDSAT a interpretação de cana das fotografias aéreas, obtendo-se um mapa mostrado no Apêndice A que contém a distribuição das áreas de cana-de-açúcar interpretadas corretamente e os erros de omissão e inclusão.

A partir desse mapa foi possível calcular, as áreas interpretadas corretamente, as áreas de cana não interpretadas e as áreas interpretadas incorretamente como cana nas imagens do LANDSAT. Na Tabela 3.9 são mostrados, por propriedade, os valores das percentagens de cana interpretadas corretamente e as percentagens dos erros de inclusão e omissão, conforme as seguintes fórmulas:

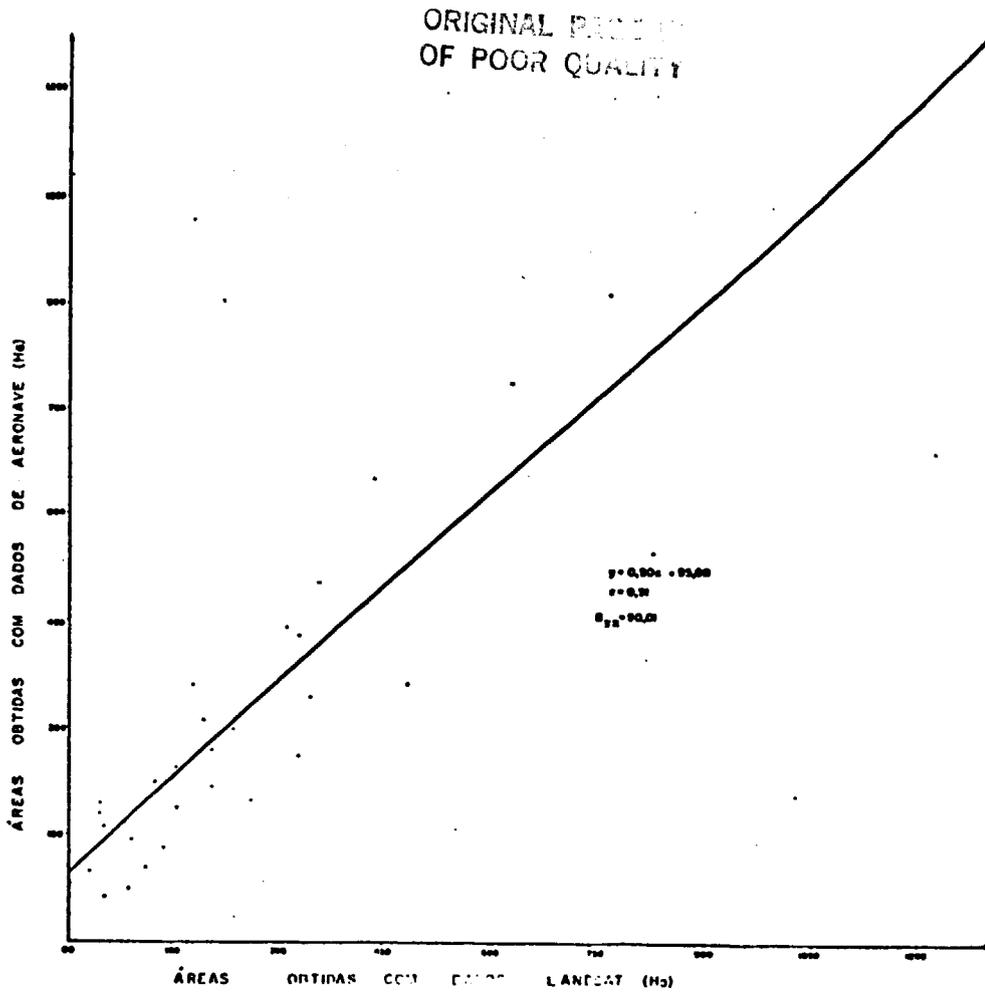


Fig. 3.3 - Regressão entre os valores da área de cana, obtidos com dados do LANDSAT e dados de aeronave, referentes as 36 propriedades agrícolas que não foram afetadas pela falta de dados do LANDSAT.

$$Pa = \frac{ACC}{ACR} \times 100; \quad EI = \frac{ACI}{ACR} \times 100; \quad EO = 100 - Pa,$$

onde:

Pa - Cana Interpretada Corretamente (%),

EI - Erro de Inclusão (%),

EO - Erro de Omissão (%),

ACC - Área de Cana Interpretada Corretamente (ha),

ACR - Área Real de Cana (ha),

ACI - Área de Cana Interpretada Incorretamente (ha).

TABELA 3.9

RESULTADO DA INTERPRETAÇÃO DE CANA A PARTIR DE IMAGENS DO
LANDSAT E ERROS COMETIDOS

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	CANHA INTERPRETADA CORRETAMENTE (%)	ERROS (%)	
			INCLUSÃO	OMISSÃO
ALCOAZUL	46	100,00	25,97	0,00
	51	33,87	0,00	66,13
	52	76,12	0,00	23,88
	34	56,48	4,70	43,52
	26	63,10	5,40	36,90

(continua)

Tabela 3.9 - Continuação

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	CANA INTERPRETADA CORRETAMENTE (%)	ERROS (%)	
			INCLUSÃO	OMISSÃO
A L C O A Z U L	43	57,89	21,43	42,11
	50	91,70	5,20	8,30
	36	33,30	66,60	66,40
	37	57,57	5,00	42,43
	31	36,40	0,00	63,60
	41	78,90	11,76	21,10
	40	0,00	0,00	100,00
	45-A	97,37	3,89	2,63
	42	93,75	25,0	6,25
	47	72,72	52,90	27,28
	285	72,72	46,70	27,28
	66	93,75	1,60	6,25
	38	58,13	0,00	41,87
	35	0,00	0,00	100,00
	39	100,00	0,00	0,00
30	100,00	21,40	0,00	
A R A L C O	18	0,00	0,00	100,00
	99	62,50	16,60	37,50
	22	100,00	36,60	0,00
	7	86,00	49,40	14,00
	1	76,90	0,00	23,10

(continua)

Tabela 3.9 - Continuação

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	CANA INTERPRETADA CORRETAMENTE (%)	ERROS (%)	
			INCLUSÃO	OMISSÃO
A R A L C O	5	48,14	0,00	51,86
	3	68,09	13,51	31,91
	2	100,00	0,00	0,00
	20	0,00	0,00	100,00
	4	79,55	7,89	20,45
	6	14,71	0,00	85,29
	8	100,00	50,00	0,00
	68	0,00	0,00	100,00
	9	23,25	33,30	76,75
	73	33,30	0,00	66,60
	77	0,00	0,00	100,00
	97	83,30	11,80	16,70
	65	100,00	37,50	0,00
	69	57,14	46,60	42,86
	27	55,17	2,00	44,83
98	0,00	76,33	100,00	
19	100,00	0,00	0,00	
CRUZALCOOL	10	37,68	38,82	62,32
	13	78,57	0,00	21,43
	14	80,00	0,00	20,00

(continua)

Tabela 3.9 - Continuação

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	CANA INTERPRETADA CORRETAMENTE (%)	ERROS (%)	
			INCLUSÃO	OMISSÃO
C R U Z A L C O O L	16	48,62	36,14	51,38
	17	49,15	21,62	50,85
	67	88,46	23,33	11,54
	105	66,60	33,40	33,40
	106	0,00	100,00	100,00
	107	100,00	0,00	0,00
	80	61,54	43,66	38,46
D E S T I V A L E	55-A	76,90	9,10	23,10
	23	37,80	17,60	62,20
	24	95,24	37,50	4,76
	25	48,39	6,25	51,61
	54	33,30	0,00	66,40
	55	82,47	15,33	17,53
	56	100,00	33,30	0,00
	57	83,30	28,57	16,70
	59	89,80	4,30	10,20
	60	61,10	31,25	38,90
	61	40,62	27,80	59,48
	62	42,90	57,10	57,10
	63	0,00	0,00	100,00
	64	0,00	0,00	100,00
109	48,90	20,70	51,10	

(continua)

Tabela 3.9 - Conclusão

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	CANA INTERPRETADA CORRETAMENTE (%)	ERROS (%)	
			INCLUSÃO	OMISSÃO
U N I A L C O	317	73,70	45,70	26,30
	305	0,00	0,00	100,00
	323	52,00	38,10	48,00
	320	50,00	0,00	50,00
	318	91,90	38,30	8,10
	319	56,50	7,10	43,50
	306	0,00	0,00	100,00
	308	0,00	0,00	100,00
	321	17,60	57,10	82,40
	314	78,60	38,90	21,40
	324	54,50	0,00	45,50
	315	63,20	36,30	36,80
	325	0,00	0,00	100,00

Com o objetivo de apresentar os dados da Tabela 3.9 de forma resumida, foi elaborada a Tabela 3.10 na qual os dados de percentagem de cana interpretada corretamente e as percentagens de erros de inclusão e omissão são apresentados por destilaria.

TABELA 3.10

VALORES DE CANA INTERPRETADA CORRETAMENTE E ERROS DE INCLUSÃO
E OMISSÃO POR DESTILARIA

DESTILARIA	NÚMERO DE PROPRIEDADE	CANAS INTERPRETADAS CORRETAMENTE (%)	ERROS (%)	
			INCLUSÃO	OMISSÃO
ALCOAZUL	21	70,47	9,91	29,53
ARALCO	22	57,33	21,62	42,67
CRUZALCOOL	10	52,06	26,03	47,94
DESTIVALE	15	68,22	19,58	31,78
UNIALCO	13	58,38	36,73	41,62
TOTAL	81	63,12	20,55	36,88

Analisando os resultados da Tabela 3.10 verifica-se que houve melhor desempenho de interpretação da cana-de-açúcar da destilaria Alcoazul (70,47%) e menor desempenho da destilaria Cruzalcoool (52,06%). A percentagem de cana interpretada corretamente na área abrangida pelas cinco destilarias foi de 63,12%.

No teste para determinar a exatidão do mapeamento, considerando as classes cana e não cana, constatou-se que dos 93 pontos sorteados para verificação, 26 foram interpretados incorretamente. Isto indica que o mapa produzido não atendeu os critérios prēestabelecidos conforme descritos na metodologia (seção 2.2.3.5). Mantido o mesmo risco de 5% do consumidor e produtor, pode-se afirmar que o mapa produzido teve uma exatidão mīnima de 63,50%.

Alguns fatos contribuíram para a ocorrência dessa baixa exatidão de mapeamento tais como: nas imagens LANDSAT, a cultura da cana-de-açúcar foi identificada através de uma chave de interpretação descrita na seção 2.2.3.2, que considera as características espectrais e temporais do alvo. Esta chave de interpretação procura identificar a cultura de cana dentro dos seus padrões normais de desenvolvimento e estabelece critérios rīgidos na interpretação. Assim sendo, a identificação da cultura ficou prejudicada quando esta não se apresentou com a tonalidade prevista na chave de interpretação. Esta condição atípica de tonalidade da cultura nas imagens pode ser atribuída a fatores diversos, tais como: tombamento da cana, incidência de ervas daninhas, cana bisada, cana com florescimento, mistura varietal, erosão, tratos culturais e manejo. A estes fatores são somados os efeitos da excessiva precipitação que ocorreu no primeiro semestre de 1983 que prejudicou a caracterização de algumas áreas canavieiras em termos da resposta espectral. Este fato também impediu que as áreas de cana pudessem ser melhor diferenciadas das áreas de pastagem, que constituem uma das principais fontes de erro na interpretação.

A escala de trabalho das imagens do LANDSAT constitui também uma fonte de divergência entre os dados gerados neste sistema e aqueles obtidos por fotos aéreas.

3.2.2 - ABORDAGEM ALTERNATIVA PARA IDENTIFICAÇÃO DE CANA, AO NÍVEL DE PROPRIEDADE AGRÍCOLA, ATRAVÉS DE IMAGENS DO LANDSAT

Em adição à metodologia que visa substituir, totalmente, o processo de fiscalização, uma metodologia alternativa foi desenvolvida com a finalidade de complementar a fiscalização convencional (visita do fiscal ao campo), fornecendo informações objetivas de avaliação de área e acompanhamento do desenvolvimento de culturas agrícolas, em propriedades que obtiveram financiamento.

Os requisitos necessários para o alcance deste objetivo foram os seguintes:

- 1) cadastro das propriedades agrícolas, numa base cartográfica na escala de 1:250.000;
- 2) informações referentes à área plantada com a cultura da cana-de-açúcar, destacando a área financiada e calendário de eventos, principalmente, data de plantio;
- 3) croquis do uso da terra na propriedade agrícola e estimativa, em percentagens, dos diversos usos da terra (pastagem, mata, culturas temporárias e permanentes, etc).

Em seguida, adotou-se uma abordagem metodológica que consiste em:

- 1) obter as informações, junto ao Banco do Brasil, de áreas e datas de plantio de cana nas propriedades agrícolas investigadas;
- 2) selecionar imagens do LANDSAT coincidentes com a época de plantio e delimitar áreas com padrões de solo preparado;

- 3) verificar passagens subsequentes do LANDSAT e tentar identificar áreas realmente plantadas com a cultura da cana sobre as áreas delimitadas no item 2;
- 4) delimitar, concomitantemente aos itens 2 e 3, todas as áreas que potencialmente podem ser interpretadas como cana, além de delimitar novas áreas preparadas para plantio.

As atividades referentes aos itens 2, 3 e 4 são interativas, ou seja: a identificação, em imagens do LANDSAT, de áreas plantadas com cana, como áreas delimitadas com alta probabilidade de ser cana foi feita em toda a sequência de imagens utilizadas.

Entretanto, a ausência de imagens de boa qualidade referentes a períodos considerados ideais para a identificação da cultura canavieira interferiu nos resultados da interpretação. Este fato, portanto, impossibilitou que algumas áreas inicialmente identificadas como solo preparado ou mesmo com algumas características de talhões de cana, não pudessem ser confirmadas como área de cultura canavieira. A confirmação destas áreas deve ser feita posteriormente através de trabalho de campo executado pelo fiscal. Deve-se ressaltar que na presente metodologia o trabalho de campo foi substituído pela utilização de fotografias aéreas.

As áreas da cultura canavieira que não foram delimitadas como possíveis áreas de cana e nem identificadas como cana, através das imagens, constituem o erro de omissão da interpretação. Por outro lado, as áreas identificadas como cana nas imagens, mas que na realidade não são cana, constituem o erro de inclusão. A avaliação destes dois tipos de erro deverá ser feita utilizando o mapa da área canavieira obtido através de fotos aéreas. As fotos aéreas deverão ser utilizadas para tentar explicar a causa desses erros.

A necessidade de utilizar esta metodologia surgiu pelas seguintes razões: os municípios de Araçatuba e Guararapes não têm, até o momento, tradição de cultivo de cana-de-açúcar, sendo uma região caracterizada pela exploração da pecuária. A implantação de destilarias de álcool se iniciou recentemente (1980). Através de exaustivos trabalhos de campo na área piloto foram observados muitos problemas com a cultura, tais como: cana bisada, tombada e invadida por ervas daninhas.

A seguir são apresentados os resultados obtidos utilizando esta metodologia.

A Tabela 3.11 resume os resultados da estimativa de área, percentagem de área de cana interpretada corretamente e percentagens dos erros de omissão e inclusão cometidos por destilaria ao adotar a abordagem descrita acima.

Observa-se pelos resultados da Tabela 3.11 que a interpretação de imagens do LANDSAT, com suporte em informações obtidas de campo se constitui numa abordagem altamente eficiente na avaliação da área da cultura da cana-de-açúcar, melhorando, substancialmente, a percentagem de cana interpretada corretamente.

Nota-se que houve melhor desempenho de interpretação da cana-de-açúcar na destilaria Destivale (97,95%) e o menor desempenho na destilaria Cruzalcool (88,95%). A percentagem de cana interpretada corretamente na área abrangida pelas cinco destilarias foi de 91,77%.

O erro de inclusão (6,60% - áreas interpretadas como cana, mas que, na realidade, são outros alvos) teve como causa principal a identificação de pastagens e de algumas culturas anuais, principalmente tomate e feijão, como cana-de-açúcar. Já o erro de omissão (8,23% - áreas de cana não interpretadas em imagens do LANDSAT), é explicado devido, principalmente, à ocorrência de talhões com cana bisada, tombada e com florescimento.

TABELA 3.11

ESTIMATIVA DE ÁREA DE CANA, PERCENTAGEM DE CANA INTERPRETADA
CORRETAMENTE E PERCENTAGENS DE ERROS DE OMISSÃO
E INCLUSÃO POR DESTILARIA

DESTILARIA	NÚMERO DE PROPRIEDADES	ÁREA DE CANA INTERPRETADA CORRETAMENTE ATRAVÉS DE IMAGENS DO LANDSAT COM SUPOORTE DE INFORMAÇÕES AUXILIARES (Ha).	ÁREA REAL DE CANA (Ha)	ÁREA DE CANA INTERPRETADA CORRETAMENTE (%)	ERROS (%)	
					OMISSÃO	INCLUSÃO
ALCOALZUL	20	5.762,50	6.406,25	89,95	10,05	2,44
ARALCO	22	3.931,25	4.300,00	91,41	8,58	6,25
CRUZALCOOL	10	3.118,75	3.506,25	88,95	11,05	4,81
DESTIVALE	13	3.875,00	3.956,25	97,95	2,05	6,00
UNIALCO	15	2.756,25	3.018,75	91,30	8,70	18,84
TOTAL	84	19.443,75	21.187,50	91,77	8,23	6,60

Na análise das fotografias aéreas observou-se, também, que os talhões de cana localizados nas proximidades de cursos d'água apresentaram tonalidades atípicas e, portanto, não interpretadas como cana-de-açúcar.

O fato de que as imagens LANDSAT nem sempre puderam ser adquiridas durante os períodos de melhor caracterização da cultura, em toda a área piloto, deve ter contribuído, também de forma significativa, para a composição do erro de omissão.

O mapa do Apêndice A mostra a área de cana interpretada corretamente e as áreas com erros de omissão e inclusão cometidos na interpretação das imagens do LANDSAT com o suporte de informações auxiliares de campo.

A Tabela 3.12 apresenta, por propriedade, a proporção da área ocupada com cana-de-açúcar, obtida utilizando a presente abordagem. Como pode ser observado nesta tabela, o uso de um grande número de informações quer ao nível orbital, quer ao nível de campo, não foi suficiente para caracterizar totalmente a cultura da cana, em algumas propriedades.

TABELA 3.12

PROPORÇÃO DA ÁREA OCUPADA COM CANA-DE-AÇÚCAR, AO NÍVEL DE PROPRIEDADE, OBTIDA ATRAVÉS DE IMAGENS DO LANDSAT E COM TRABALHO SIMULADO DE CAMPO, PORCENTAGEM DE CANA INTERPRETADA CORRETAMENTE E DETERMINAÇÃO DOS ERROS DE OMISSÃO E INCLUSÃO COMETIDOS

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	% DE ÁREA DE CANA OBTIDA ATRAVÉS DE FISCALIZAÇÃO COM IMAGENS DO LANDSAT	% DE ÁREA DE CANA CONFIRMADA POR TRABALHO SIMULADO DE CAMPO	ÁREA DE CANA INTERPRETADA CORRETAMENTE (%)	ERROS (%)	
					OMISSÃO	INCLUSÃO
A L C O A Z U L	46	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
	51	48,33	36,67	85,00	15,00	0,00
	52	70,97	20,97	91,94	8,06	0,00
	34	16,54	71,43	87,97	12,03	0,00
	26	30,29	56,25	86,54	13,46	2,40
	43	32,43	51,35	83,78	16,22	0,00
	36	0,00	66,67	66,66	33,33	0,00
	37	38,89	30,56	69,44	30,56	0,00
	31	79,41	8,82	88,24	11,76	41,18
	41	36,84	52,63	89,47	10,53	0,00
	40	50,00	50,00	100,00	0,00	0,00
	45-A	94,32	5,68	100,00	0,00	0,00
	42	70,59	29,41	100,00	0,00	0,00
	47	90,48	0,00	90,48	9,52	0,00
	285	79,41	20,59	100,00	0,00	17,65
66	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	

(continua)

Tabela 3.12 - Continuação

ORIGINAL QUALITY
OF POOR QUALITY

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	% DE ÁREA DE CANA OBTIDA ATRAVÉS DE FISCALIZAÇÃO COM IMAGENS DO LANDSAT	% DE ÁREA DE CANA CONFIRMADA POR TRABALHO SIMULADO DE CAMPO	ÁREA DE CANA INTERPRETADA CORRETAMENTE (%)	ERROS (%)	
					OMISSÃO	INCLUSÃO
ALCOAZUL	38	66,67	26,19	92,86	7,14	0,00
	35	43,75	25,00	68,75	31,25	0,00
	39	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
	30	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
A R A L C O	18	57,69	0,00	57,69	42,31	0,00
	99	70,00	25,00	95,00	5,00	0,00
	22	100,00	0,00	100,00	0,00	46,15
	7	66,67	17,46	84,13	15,87	3,17
	1	92,31	0,00	92,31	7,69	7,69
	5	84,78	0,00	84,78	15,22	0,00
	3	70,42	28,17	98,59	1,41	2,82
	2	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
	20	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
	4	91,18	0,00	91,18	8,82	0,00
	6	81,58	7,89	89,47	10,53	5,26
	8	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
	68	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00
	9	88,89	11,11	100,00	0,00	20,37
	73	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
77	100,00	0,00	100,00	0,00	42,86	

(continua)

Tabela 3.12 - Continuação

ORIGINAL P...
OF FOOD...

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	% DE ÁREA DE CANA OBTIDA ATRAVES DE FISCALIZAÇÃO COM IMAGENS DO LANDSAT	% DE ÁREA DE CANA CONFIRMADA POR TRABALHO SIMULADO DE CAMPO	ÁREA DE CANA INTERPRETADA CORRETAMENTE (%)	ERROS (%)	
					OMISSÃO	INCLUSÃO
ARALCO	97	40,00	40,00	80,00	20,00	0,00
	65	50,00	25,00	75,00	25,00	50,00
	69	64,71	23,53	88,24	11,76	0,00
	27	59,63	39,45	99,08	0,92	5,50
	98	92,86	0,00	92,86	7,14	0,00
	19	76,92	0,00	74,92	23,08	0,00
CRUZALCOOL	10	78,16	16,67	94,83	5,17	2,87
	13	100,00	0,00	100,00	0,00	27,78
	14	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
	16	70,23	9,92	80,15	19,85	12,98
	17	64,20	16,05	80,25	19,75	0,00
	67	62,07	20,69	82,76	17,24	0,00
	103	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
	105	85,71	0,00	85,71	14,29	0,00
	107	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
80	73,40	22,34	95,74	4,26	0,00	
DESTIVALE	55-A	61,11	38,89	100,00	0,00	0,00
	23	58,70	34,78	93,48	6,52	0,00
	24	45,16	51,61	96,77	3,23	0,00
	54	34,78	65,22	100,00	0,00	0,00

(continua)

Tabela 3.12 - Continuação

ORIGINAL QUALITY
OF POOR QUALITY

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	% DE ÁREA DE CANA OBTIDA ATRAVÉS DE FISCALIZAÇÃO COM IMAGENS DO LANDSAT	% DE ÁREA DE CANA CONFIRMADA POR TRABALHO SIMULADO DE CAMPO	ÁREA DE CANA INTERPRETADA CORRETAMENTE (%)	ERROS (%)	
					OMISSÃO	INCLUSÃO
D E S T I V A L E	55	43,34	54,99	98,33	1,67	2,78
	56	100,00	0,00	100,00	0,00	73,53
	57	69,92	30,08	100,00	0,00	4,88
	59	83,87	16,13	100,00	0,00	0,00
	60	70,00	30,00	100,00	0,00	0,00
	61	60,16	36,84	100,00	0,00	0,00
	62	73,08	26,92	100,00	0,00	30,75
	63	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
	64	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
U N I A L C O	316	20,00	80,00	100,00	0,00	0,00
	317	8,33	75,00	83,33	16,67	14,17
	305	40,00	60,00	100,00	0,00	0,00
	323	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00
	320	75,00	0,00	75,00	25,00	0,00
	318	53,85	42,86	96,70	3,30	34,07
	319	0,00	78,57	78,57	21,43	0,00
	310	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00
	306	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00
	308	0,00	66,67	66,66	33,33	0,00

(continua)

Tabela 3.12 - Conclusão

DESTILARIA	CÓDIGO DA PROPRIEDADE	% DE ÁREA DE CANA OBTIDA ATRAVÉS DE FISCALIZAÇÃO COM IMAGENS DO LANDSAT	% DE ÁREA DE CANA CONFIRMADA POR TRABALHO DE CAMPO	ÁREA DE CANA INTERPRETADA CORRETAMENTE (%)	ERROS (%)	
					OMISSÃO	INCLUSÃO
UNIALCO	321	0,00	75,68	75,68	24,32	13,51
	314	0,00	88,89	88,89	11,11	66,67
	324	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00
	315	58,68	41,32	100,00	0,00	14,88
	325	100,00	0,00	100,00	0,00	35,90

3.2.3 - TAMANHO MÍNIMO DE ÁREA DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR DETECTÁVEL EM IMAGENS DO LANDSAT

Quanto à área mínima da cultura da cana-de-açúcar possível de ser detectada em imagens do LANDSAT, observou-se que áreas menores que 25 ha tornam-se difíceis de ser mapeadas na escala de 1:250.000. De acordo com Bähr (1984), o erro relativo que se comete na avaliação de alvos em imagens do LANDSAT é de 10% para áreas de 10 ha, o que vai depender do contraste apresentado, ou seja, quanto maior o contraste, maior a chance de detecção precisa do alvo, dada a melhor definição do seu contorno.

3.2.4 - AVALIAÇÃO DO USO DA TERRA DA ÁREA PILOTO

Foi elaborado um mapa de uso da terra para a área dos municípios de Araçatuba e Guararapes.

Neste mapeamento foram utilizadas imagens do MSS/LANDSAT, referentes aos canais 5 e 7, da passagem de 28 de setembro de 1983, na escala de 1:250.000.

Para a interpretação das imagens fez-se uso de uma grade quadriculada (2,5mm x 2,5mm), representando, no terreno, área de aproximadamente 39,0 ha, sendo esta abordagem uma modificação da proposição de Genderen et alii (1978).

A interpretação foi realizada através da identificação de elementos da imagem, tais como: tonalidade, forma, homogeneidade, etc.

Em cada quadrícula analisada foi considerado o tipo de uso predominante, isto é, aquele que ocupasse área superior a 50% da referida quadrícula.

Na identificação das classes de uso da terra utilizou-se o procedimento proposto por Anderson et alii (1979), que se refere ao sistema de uso da terra, utilizando dados de sensoriamento remoto ao nível orbital.

Neste trabalho foram definidas as seguintes classes de uso da terra: pastagem, áreas agrícolas, vegetação arbórea e áreas urbanas.

Os resultados referentes às classes identificadas e mapeadas encontram-se na Tabela 3.12.

TABELA 3.13

USO DA TERRA DA ÁREA PILOTO OBTIDO ATRAVÉS DE IMAGENS DO LANDSAT

TEMAS VALORES	PASTAGEM	ÁREAS AGRÍCOLAS	VEGETAÇÃO ARBÓREA	ÁREAS URBANAS	TOTAL
ÁREA (km ²)	2.825,00	450,39	42,96	28,12	3.347,26
PERCENTAGEM	84,4	13,5	1,3	0,8	100,0

Os dados da Tabela 3.13, representam apenas os valores obtidos para as classes já mencionadas, não incluindo áreas ocupadas pelos corpos d'água, áreas de várzeas e pequenos núcleos urbanos.

Através desta tabela, pode-se observar a nítida predominância da classe pastagem que representa 84,4% da área de estudo, demonstrando ainda a sua vocação para pecuária extensiva.

O mapa do uso da terra obtido encontra-se no Apêndice B.

3.3 - CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA

3.3.1 - RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA

O algoritmo de classificação automática, denominado *Procedimento INPE*, forneceu como resultados os seguintes produtos:

- a) um mapa (printout) com a distribuição espacial da classificação automática da cana-de-açúcar, nos cinco segmentos testes;

- b) a proporção da cultura da cana nos segmentos testes, obtida a partir da classificação automática; e,
- c) a proporção da cultura nos segmentos testes, corrigida de eventuais tendências ocorridas durante o processo de classificação automática.

O mapa da classificação foi utilizado para a tomada de decisões sobre os resultados da classificação automática de cana de cada segmento, repetindo-se ou não todos os passos do *Procedimento INPE* se os resultados avaliados no referido mapa eram aceitos ou rejeitados. Utilizou-se, também, o mapa de classificação para determinar a percentagem de acerto, através da classificação automática de cana-de-açúcar.

Na Tabela 3.14 são mostrados os resultados em termos de percentagem de acerto e proporção da cultura, obtidos a partir do *Procedimento INPE*, além da proporção da cultura obtida pela verdade terrestre para fins comparativos.

TABELA 3.14

RESULTADOS DO PROCEDIMENTO-INPE

SEGMENTO TESTE	PERCENTAGEM DE ACERTO DO CLASSIFICADOR	PROPORÇÃO DA CULTURA OBTIDA PELO CLASSIFICADOR (%)	PROPORÇÃO DA CULTURA COR RÍGIDA (A) (%)	PROPORÇÃO DA CULTURA OBTIDA ATRAVÉS DE VERDADE TERRESTRE (B)	DIFERENÇA RELATIVA $(\frac{B - A}{B}) \times 100$
1	65,0	13,6	12,9	11,9	- 4
2	64,1	13,8	11,4	11,8	3
3	62,8	20,4	16,2	15,8	- 3
4	61,7	17,8	15,8	18,6	15
5	45,5	10,0	8,2	7,9	- 4
MÉDIA	59,8	15,1	12,9	13,2	2

Observando os dados da Tabela 3.14, nota-se que houve consistência entre os resultados da "proporção da cultura corrigida" com os da "proporção da cultura obtida através de verdade terrestre".

A baixa percentagem de acerto em todos os segmentos testes indica que o desempenho do classificador deve ser melhorado, o que provavelmente poderá ser feito através de outra sistemática, na fase de treinamento na qual são obtidos os parâmetros para o classificador.

Para fazer uma estimativa da área da cultura da cana-de-açúcar nos municípios de Araçatuba e Guararapes teria sido necessário que a escolha dos segmentos testes tivesse sido aleatória para poder-se então agregar as proporções obtidas nos segmentos testes e, assim, ter-se uma estimativa da área plantada com cana-de-açúcar nos municípios em estudo.

Tomando como base a média das proporções da cultura obtida nos segmentos testes pelo *Procedimento INPE*, ter-se-ia uma alta precisão na estimativa da área canavieira, na região de estudo, uma vez que a diferença relativa entre a média das proporções da cultura pelo *Procedimento INPE* e a média das proporções da cultura obtida através da verdade terrestre (fotografias aéreas) foi de apenas 2%.

Embora os resultados de estimativa de área, utilizando o método automático (*Procedimento INPE*), tenha produzido excelentes resultados neste experimento, deve ser considerado que é a primeira vez que tal procedimento foi testado para a cultura da cana-de-açúcar, nesta região, e, portanto, ele seria apenas uma primeira aproximação de uma metodologia, satisfatória para fins de previsão de safras.

3.4 - MODELOS DE PRODUTIVIDADE

3.4.1 - PRODUTIVIDADE ATRAVÉS DE MODELO AGROMETEOROLÓGICO

De toda a área canavieira das cinco destilarias existentes na área piloto, 46,5% era plantada com cana planta de ano e meio e 35,5% com cana soca. A área restante (18%) era ocupada com a 1ª e a 2ª rессoca e pertencia a duas destilarias apenas.

Foram obtidos pelo modelo agrometeorológico o rendimento máximo (RM) e o rendimento real (RR) para a cana planta de ano e meio e para a cana soca, mostrados na Tabela 3.15. Para a cana de ano e meio obteve-se a média de RM e RR para o plantio de novembro de 1981 a abril de 1982 com um período de crescimento variando de 16 a 20 meses. Para a cana soca considerou-se a média de RM e RR para cortes da cana entre maio de 1982 e outubro de 1982 com um período de crescimento de 10 a 14 meses.

TABELA 3.15

VALORES MÉDIOS DE RENDIMENTO MÁXIMO (RM) E DE RENDIMENTO REAL (RR)
REFERENTES À CANA DE ANO E MEIO E À CANA SOCA

	CANA DE ANO-E-MEIO	CANA SOCA
RENDIMENTO MÁXIMO	135 ton/ha	90 ton/ha
RENDIMENTO REAL	125 ton/ha	86,5 ton/ha

Na Tabela 3.16, encontram-se os rendimentos médios de cana de ano e meio e de cana soca, obtidos junto a cada uma das destilarias da área piloto.

TABELA 3.16

RENDIMENTOS MÉDIOS EM TON/HA DE CANA DE ANO E MEIO E DE CANA SOCA EM CADA UMA DAS CINCO DESTILARIAS DA ÁREA PILOTO, OBTIDOS ATRAVÉS DAS INFORMAÇÕES DAS DESTILARIAS

	ALCOAZUL	ARALCO	CRUZALCOOL	DESTIVALE	UNIALCO	MÉDIA GERAL	MÉDIA GERAL EXCETUANDO CRUZALCOOL
RENDIMENTO MÉDIO DE CANA DE ANO E MEIO TON/HA	100,0	130,0	87,0	133,0	112,0	112,4	118,7
RENDIMENTO MÉDIO DE CANA SOCA TON/HA	100,0	90,0	54,0	75,0	90,0	81,8	88,7

Os rendimentos de cana de ano e meio e de cana soca, obtidos através de modelo agrometeorológico e das informações coletadas nas destilarias, foram calculados utilizando a média ponderada dos rendimentos da cana de ano e meio e de cana soca, cujas ocorrências eram de 46,5% e 34,5%, respectivamente.

A Tabela 3.17, mostra o rendimento geral para a região de estudo, sem levar em consideração a cana de 1ª e 2ª ressoça.

TABELA 3.17

RENDIMENTOS DE CANA DE ANO E MEIO E DE CANA SOCA OBTIDOS ATRAVÉS
DO MODELO AGROMETEOROLÓGICO E DAS INFORMAÇÕES COLETADAS
JUNTO ÀS DESTILARIAS DA ÁREA PILOTO

	VALOR EM TON/ha
RENDIMENTO MÁXIMO ESTIMADO PELO MODELO	115,5
RENDIMENTO REAL ESTIMADO PELO MODELO	108,3
RENDIMENTO OBTIDO POR INFORMAÇÕES DAS CINCO DESTILARIAS	99,1
RENDIMENTO OBTIDO POR INFORMAÇÕES DAS DESTILARIAS, EXCETO CRUZALCOOL	105,7

O rendimento fornecido pelo modelo superestimou a produção em 9,2%, quando comparado com o rendimento obtido por informação das cinco destilarias. Excetuando o valor de rendimento obtido junto à destilaria Cruzalcool, a diferença entre o rendimento obtido pelo modelo e aquele obtido junto às quatro destilarias cai para 2,5%.

Para o cálculo da estimativa do rendimento real considerou-se que somente a deficiência hídrica afetaria o rendimento da cultura, não levando em consideração, portanto, a influência de outros fatores, tais como: tratamentos culturais, adubação, ocorrência de pragas e doenças, invasão de ervas daninhas e outros.

Nos trabalhos de campo observou-se que as técnicas operacionais da cultura de cana não estavam sendo seguidas com rigor e isto, naturalmente, afetou diretamente o rendimento da cultura.

Este fato foi mais evidente na destilaria Cruzalcool, razão pela qual o rendimento obtido por informação das destilarias é apresentado de duas maneiras:

- informação do rendimento médio das cinco destilarias e
- informação do rendimento médio das destilarias, excetuando a destilaria Cruzalcool.

A quantificação do efeito dos tratos culturais sobre o rendimento da cultura da cana-de-açúcar é difícil de ser determinada. No entanto, a comparação entre o rendimento real, estimado pelo modelo, e aquele obtido nas destilarias fornece um indicativo da eficiência da produção agrícola da cana-de-açúcar na região de Araçatuba e Guararapes.

3.4.2 - PRODUTIVIDADE ATRAVÉS DE ÍNDICES VEGETATIVOS

Na Tabela 3.18 são apresentados os coeficientes que mostram a correlação entre os valores de rendimento de cana, dados espectrais do LANDSAT e índices vegetativos.

TABELA 3.18

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (r) ENTRE OS VALORES DE RENDIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR, DADOS ESPECTRAIS E ÍNDICES VEGETATIVOS

PASSAGENS	CANAIS DO MSS				ÍNDICES VEGETATIVOS (IV)			
	C 4	C 5	C 6	C 7	D ₅₋₇	R ₇₋₅	IVT ₆	IVT ₇
16/Fevereiro/83	-0,30	-0,36	0,28	-0,42*	-0,46*	0,48*	0,41*	0,44*
07/Maio/83	-0,44*	-0,46*	-0,08	0,002	-0,32	0,51*	0,43*	0,51*
10/Julho/83	-0,29	-0,25	0,29	0,39	-0,35	0,33	0,30	0,34
26/Julho/83	-0,40	-0,36	0,12	0,18	-0,24	0,27	0,22	0,27
27/Agosto/83	-0,12	-0,33	0,38	0,43*	-0,41*	0,41*	0,43*	0,43*

Não obstante a grande ocorrência de variedades diferentes em um mesmo talhão, pode-se observar, na tabela 3.17, que 37,5% dos coeficientes obtidos apresentaram-se significativos estatisticamente ao nível de $\alpha = 0,05$. Ainda observando a Tabela 3.17, os índices vegetativos apresentaram, de modo geral, como melhores indicadores para estimar o rendimento de cana-de-açúcar do que os dados espectrais dos canais do MSS. Quase todos os índices vegetativos das passagens de 16 de fevereiro, 7 de maio e 27 de agosto apresentaram-se significativamente correlacionados ao nível de 5%. Isto permite, então, a utilização de índices vegetativos obtidos em fevereiro para estimar o rendimento de cana, já que esta data seria muito oportuna para estimar este rendimento pelo menos dois meses antes do início da safra.

Muito embora os testes de correlação entre os rendimentos de cana e os índices vegetativos tenham-se mostrados, em sua maioria, significativos estatisticamente, neste estudo, os coeficientes não foram suficientemente altos para permitir estimar, com precisão, o rendimento da cana em função dos índices vegetativos obtidos.

3.4.3 - PRODUTIVIDADE BASEADA NA ÁREA DE CANA CORTADA

Os mapas das Figuras 3.4, 3.5 e 3.6 mostram a evolução de áreas de cana cortada nos municípios de Araçatuba e Guararapes referentes aos meses de julho, agosto e setembro, obtidas da interpretação de imagens do LANDSAT.

Áreas de cana cortada apresentam-se em tonalidades claras em imagens do canal 5 do sensor MSS/LANDSAT, em contraste com a cana não-cortada que se mostra em tonalidades de cinza.

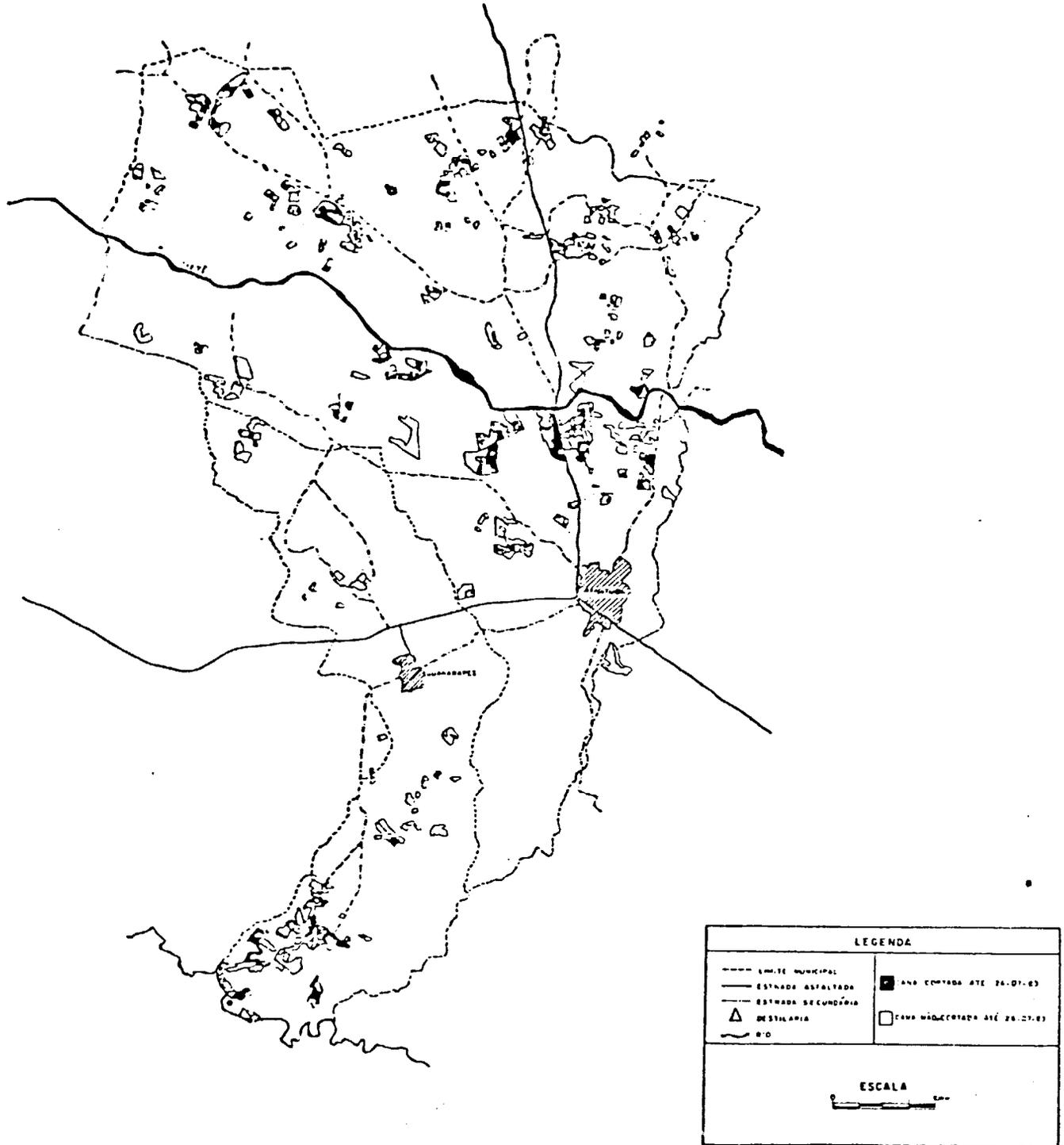


Fig. 3.4 - Áreas de cana cortada até 26 de julho de 1983 nos municípios de Araçatuba e Guararapes, obtidas da interpretação de imagens do LANDSAT.

ORIGINAL DATED
OF POSS. C. 1977

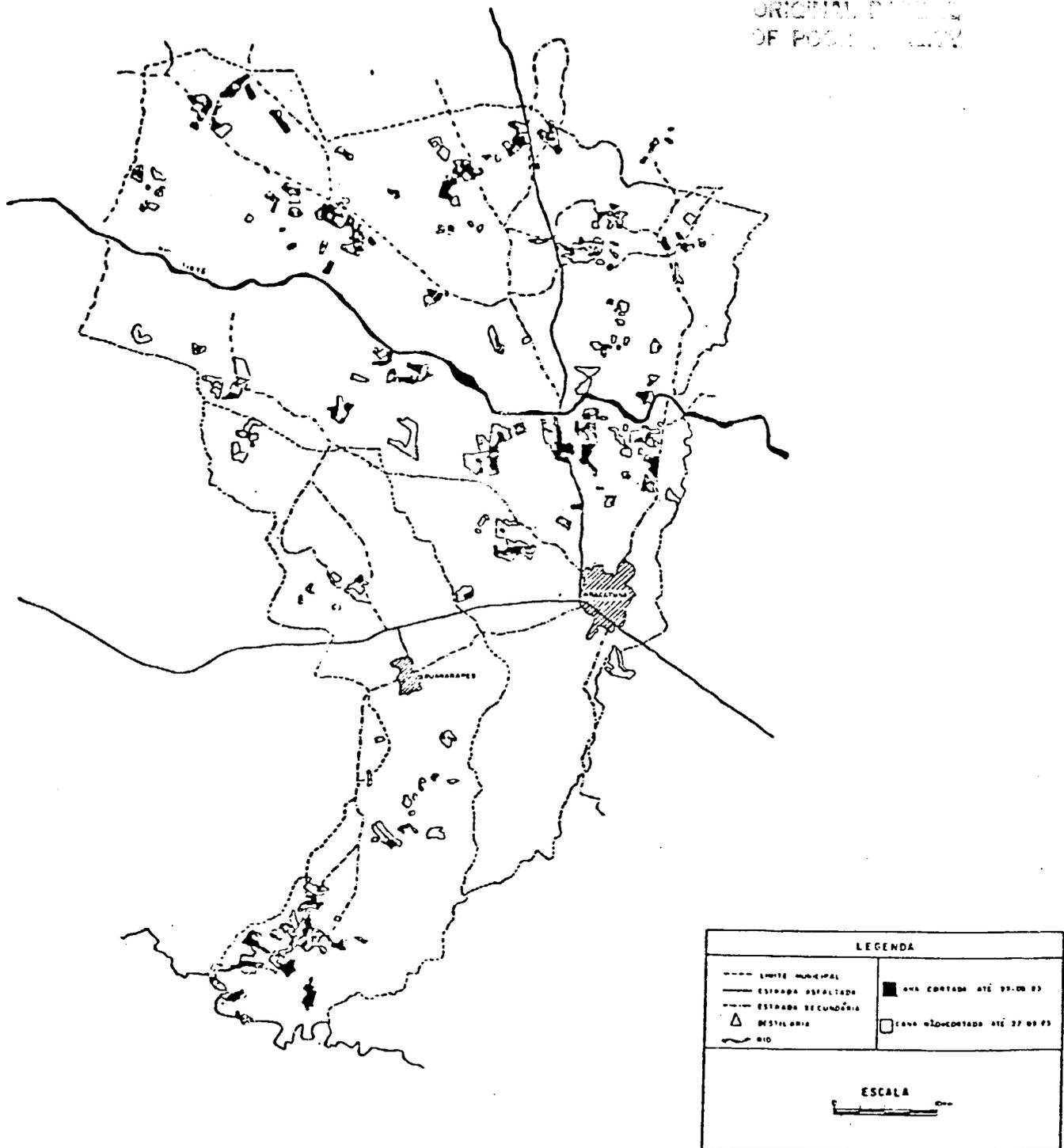


Fig. 3.5 - Áreas de cana cortada até 27 de agosto de 1983 nos municípios de Araçatuba e Guararapes, obtidas da interpretação de imagens do LANDSAT.

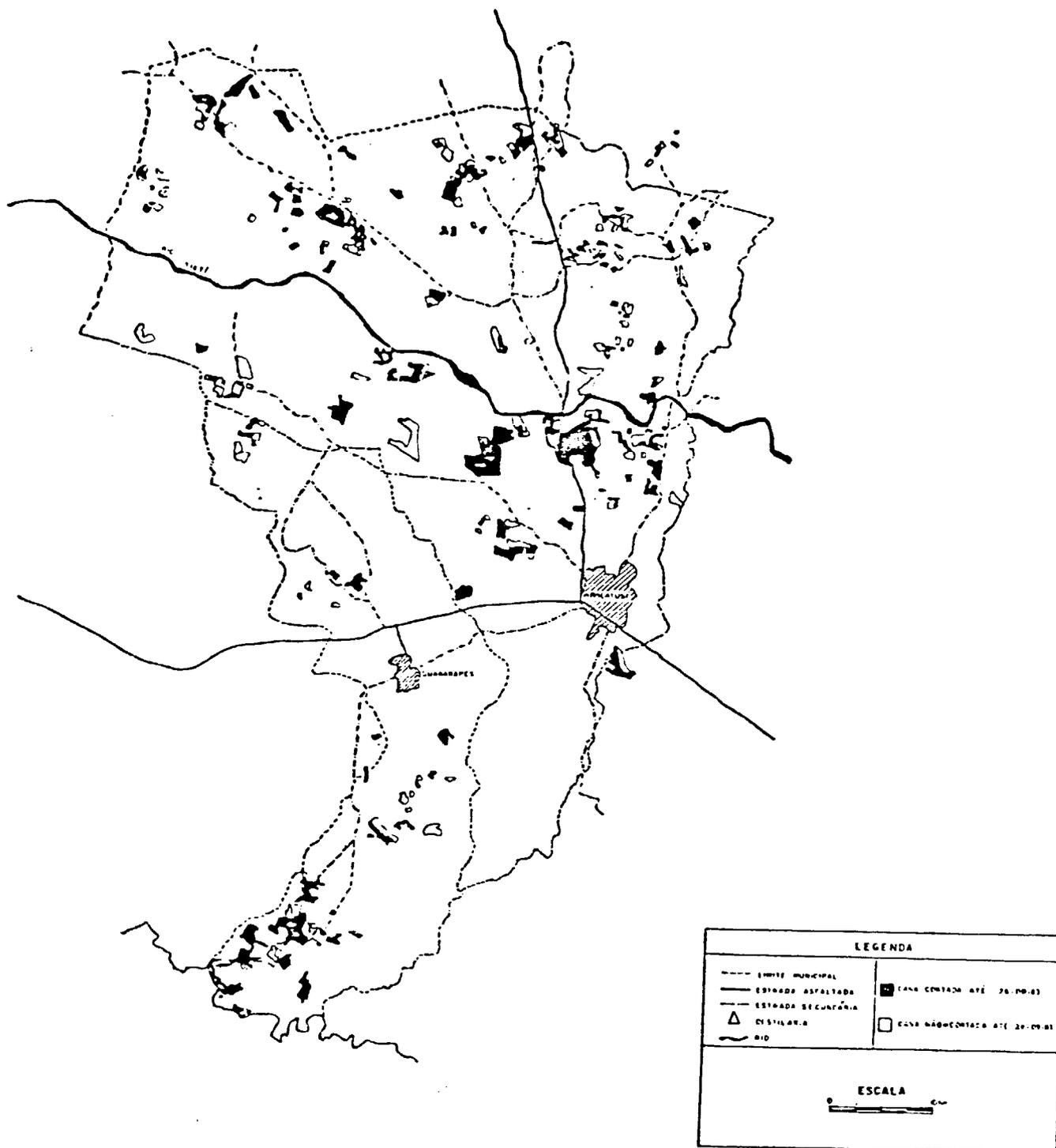


Fig. 3.6 - Áreas de cana cortada até 28 de setembro de 1983 nos municípios de Araçatuba e Guararapes, obtidas da interpretação de imagens do LANDSAT.

A Tabela 3.19 apresenta os resultados de área de cana cortada obtidos de satélite e de aeronave, tonelagem de cana moída pelas destilarias e o rendimento médio baseado na área de cana cortada das cinco destilarias em funcionamento nos dois municípios.

TABELA 3.19

RENDIMENTO MÉDIO DE CANA DAS DESTILARIAS DE ARAÇATUBA E GUARARAPES

DATAS	ÁREA DE CANA CORTADA (ha)	PRODUÇÃO	RENDIMENTO MÉDIO (T/ha)
22.06.83	2.167*	200.074	92,3
10.07.83	3.668	350.991	95,7
26.07.83	4.723	469.238	99,3
27.08.83	8.157	808.949	99,2
28.09.83	13.319	1.112.062	83,5

* obtida através de fotografias aéreas.

Os menores rendimentos alcançados até junho podem ser atribuídos ao uso de cana cortada para o plantio de outras áreas de cana. Pela análise do calendário agrícola desses municípios observou-se que 80% do plantio de cana em 1983 ocorre nos meses de abril, maio e junho.

Posteriormente, os rendimentos médios calculados no final de julho e agosto mantiveram-se quase constantes, voltando a declinar quando se trataram informações do final de setembro, apresentando uma diferença relativa de 15,8% em relação ao mês anterior. Possivelmente fatores agrônômicos tenham influenciado na queda de rendimento da cana-de-açúcar que foi cortada durante o mês de setembro.

CAPÍTULO 4

CONCLUSÕES

4.1 - AO NÍVEL MUNICIPAL

a) Traçado da rede hidrográfrica e rodoviária

- Com relação ao traçado da rede hidrográfrica verificou-se não haver dificuldade na sua identificação através de imagens de satélite.
- Quanto ao traçado da rede rodoviária as imagens MSS do LANDSAT apresentaram limitações na sua identificação, principalmente para as vias de acesso secundário.

b) Mapeamento e estimativa da área de classes de uso do solo

- As imagens LANDSAT apresentaram-se viáveis para o mapeamento e a estimativa da área de classes de uso atual do solo.

c) Desenvolvimento de modelos para estimativa de produtividade visando previsão de safras

- O modelo agrometeorológico forneceu um indicativo do desempenho do sistema de produção da cana-de-açúcar na região de estudo e resultou em dados de produtividade bastante próximos dos estimados pelas destilarias.
- Os dados MSS do LANDSAT, transformados em índices vegetativos, apresentaram boa correlação com os dados de campo de biomassa da cultura, e que indica potencial de utilização em futuros modelos de produtividade.
- O uso de imagens do LANDSAT para avaliação de área de cana cortada, aliado à informação de quantidade de cana recebida pela destilaria, permitiu a estimativa do rendimento da cultura de forma satisfatória.

4.2 - AO NÍVEL DE PROPRIEDADE

a) Viabilidade de localização e delimitação de propriedades agrícolas nas imagens do LANDSAT

- Entre os diversos produtos fotográficos e topográficos utilizados na delimitação de propriedades agrícolas, concluiu-se que o melhor produto para cadastramento foram as fotografias aéreas de arquivo (1978 e 1972).

- Através de transposição dos limites das propriedades agrícolas para as imagens do LANDSAT foi possível localizar e identificar as propriedades de forma satisfatória em imagens de satélite.

b) Estimativa da área da cana-de-açúcar

- A percentagem de cana interpretada corretamente através de imagens do LANDSAT foi de 63,12%. A utilização de uma abordagem alternativa que envolve tanto o uso de imagens do LANDSAT quanto o trabalho de campo elevou este índice para 91,77%.

c) Com relação ao tamanho mínimo de propriedade, não houve dificuldade com relação a sua identificação em imagens do LANDSAT na escala de 1:250.000 sendo que a menor propriedade com financiamento para implantação da cultura canavieira existente na região de estudo foi de 40ha, enquanto a área mínima de cana detectável foi da ordem de 25ha. Entretanto, dependendo do contexto, talhões menores podem ser perfeitamente caracterizados.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muita experiência foi adquirida durante o desenvolvimento deste projeto, principalmente devido à abordagem de vários problemas inerentes à fiscalização das operações do crédito agrícola do Banco do Brasil S.A.

O cadastramento de propriedades agrícolas, praticamente inexistente para o Estado de São Paulo, foi um dos primeiros pontos a ser estudado. Chegou-se à conclusão que o simples uso de fotografias aéreas convencionais de arquivo e trabalhos expeditos de campo podem fornecer os limites dos imóveis agrícolas com boa precisão. A transposição destes limites para imagens na escala de 1:250.000 também se mostrou adequada. Desta maneira, seria possível ter, com um custo relativamente baixo, o cadastro em forma cartográfica de propriedades agrícolas. Um treinamento rápido de fiscais ou auxiliares das agências do Banco do Brasil S.A. sobre o manuseio de fotografias aéreas convencionais seria suficiente para torná-los aptos a levantar os limites de imóveis rurais junto aos seus proprietários por ocasião do pedido do financiamento.

No tocante à estimativa de área da cultura canavieira utilizando imagens do LANDSAT, encontraram-se muitas dificuldades para sua identificação. Isto sugeriu a adoção de novas estratégias metodológicas, nunca testadas anteriormente, como o uso exaustivo de dados históricos do LANDSAT, desde o início de implantação da cultura na área piloto (1980) até 1983, auxiliado por várias informações de campo. Isto permitiu que se alcançassem resultados bastante significativos de avaliação de área do tema cana.

Com relação à produtividade, foram testadas três abordagens para a cultura da cana-de-açúcar. Os resultados,

considerados positivos, enfatizam a continuação das pesquisas no intuito de controlar melhor as variáveis estudadas, incluir outras e testar os procedimentos em diferentes regiões.

A tecnologia de sensoriamento remoto tem avançado rapidamente nos últimos anos e, seguramente, a comunidade de usuários de dados de satélites de recursos terrestres terá informações atualizadas com alta frequência de imageamento por muitos anos.

Neste projeto, utilizaram-se dados de sensor MSS/LANDSAT com uma resolução no terreno da ordem de 0,48ha.

O quinto satélite da série LANDSAT já está em órbita desde março de 1984, levando a bordo outro sensor - o Thematic Mapper (TM), com uma resolução de 0,09ha e operando em sete bandas espectrais (4 no MSS).

O satélite francês denominado SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre), com previsão de lançamento no primeiro semestre de 1985, terá dois modos de operação: um, multispectral de três canais, de resolução de 20m e o outro, pancromático (apenas um canal) de resolução de 10m.

Pode-se afirmar a priori que este aumento de resolução, tanto espacial quanto radiométrica, vai beneficiar, em muito, a agricultura no que diz respeito às previsões de safras agrícolas, tanto na identificação e avaliação de áreas de várias culturas quanto na obtenção de dados espectrais mais precisos que alimentarão os modelos de produtividade em desenvolvimento.

Este projeto, embora de pequena duração, gerou resultados que efetivamente encorajam a continuação de esforço de pesquisa com o objetivo de aprimorar os métodos desenvolvidos.

A disponibilidade de sistemas sensores de maior poder resolutivo (LANDSAT-5 TM), aliado a um processo de cadastramento de propriedades com a indicação de classes de uso da terra por ocasião do processo de financiamento, e a experiência adquirida neste projeto permitem antecipar que os resultados poderão ser sensivelmente melhorados.

A continuação desse trabalho deverá envolver a região piloto estudada (Araçatuba e Guararapes) por já possuir como base de apoio substancial para desenvolvimentos metodológicos. Paralelamente, um esforço de transição de uma fase experimental para uma operacional deveria ser colocado envolvendo municípios vizinhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J.R.; HARDY, E.E.; ROACH, J.T.; WITMER, R.E. *Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos*. Traduzido por Harold Strang do original U.S. Geological Survey Circular 671, 1976. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1979.
- BAHR, H.P. Abschätzung einiger geometrischer Fehlerkomponenter bei der multispektralen Klassifizierung. *Bildmessung und Luftbildwesen*, 52(1), 1984, 23-29.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Centro de Pesquisas Agronômicas. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo*. Rio de Janeiro, 1960. 643p. (Boletim 12).
- CÂMARA, G.; VELASCO, F.R.D.; OLIVEIRA, M.O.B. *Um procedimento automático para classificação de áreas agrícolas em imagens de satélite, para uso em previsão de safras*. São José dos Campos, INPE, jul., 1982 (INPE-2482-PE-166).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. *Yield response to water*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. (FAO Irrigation and Drainage Paper nº 33).
- GENDEREN, J.L. VAN; VASS, P.A.; LOCK, B.F. Guidelines for using LANDSAT data for rural land use surveys in developing countries. *ITC Journal*, (1): 30-47, 1978.
- KOFFLER, N.F.; CAVALLI, A.C.; CHIARINI, J.V.; NOGUEIRA, F.P. Inventário canavieiro com auxílio de fotografias aéreas - a grande região de Piracicaba no ano safra 1978/79. *Boletim Técnico Planalsucar*, 1 (2): 3-38, dez. 1979 (série A).
- MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.; TARDIN, A.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CHEN, S.C.; LUCHT, L.A.M.; MOREIRA, M.A.; LIMA, A.M. de; MAIA, F.C.S. *Levantamento da área canavieira do Estado de São Paulo, utilizando dados do LANDSAT - no safra 1979/80*, São José dos Campos, INPE, mar., 1981. 2 v. (INPE-2021-RPE/288).

SETZER, J. *Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Comissão Interestadual da Bacia Paranã - Uruguai, 1966. 61p.

THORNTHWAITTE, C.W. & MATHER, J.R. *The water balance*. Centerton, New Jersey, S.ed., 1955 (Publications in climatology, v.8,n.1).

APÊNDICE A

MAPAS DA DISTRIBUIÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR E ERROS ASSOCIADOS
À SUA IDENTIFICAÇÃO

APÊNDICE B

MAPA DE USO DA TERRA DA ÁREA PILOTO