

| | | | |
|---|--------------------------------------|--|--|
| 1. Publicação nº <i>INPE-3950-RPE/513</i> | 2. Versão | 3. Data <i>Julho, 1986</i> | 5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita |
| 4. Origem <i>DSR</i> | Programa <i>ANALISE AMBIENTAL</i> | | |
| 6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>Sensoriamento Remoto LANDSAT Culturas irrigadas</i> | | | |
| 7. C.D.U.: <i>528.711.7:631.67(816.1)</i> | | | |
| 8. Título <i>RELATÓRIO DE ATIVIDADES DO PROJETO CADASTRAMENTO DE ÁREAS IRRIGADAS NO ESTADO DE SÃO PAULO ATRAVÉS DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO - FASE II</i> | | 10. Páginas: <i>60</i> | |
| | | 11. Última página: <i>52</i> | |
| | | 12. Revisada por <i>José Carlos N. Epiphânio</i> | |
| 9. Autoria <i>Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo Mário Valério Filho Sherry Chou Chen Roberto Rosa</i> | | 13. Autorizada por <i>Marco Antonio Raupp Diretor Geral</i> | |
| Assinatura responsável <i>Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto</i> | | | |
| 14. Resumo/Notas <i>O objetivo desse relatório é apresentar a metodologia do projeto Cadastramento de Áreas Irrigadas no Estado de São Paulo e seus principais resultados. O projeto foi desenvolvido através de um convênio entre o INPE/MCT e DAEE/SP. Para a realização da pesquisa selecionou-se a área teste de Itatiba/Bragança Paulista (SP). Foram utilizados dados sequenciais do sensor TM/LANDSAT com o objetivo de avaliar a área total irrigada. Foram coletados dados de campo que permitiram a comparação de dois métodos de estimativa de área irrigada: um modelo de expansão direta usando apenas informação de campo coletadas em segmentos amostrais e um modelo a partir de um estimador de regressão que combina informação de campo e dados de sensoriamento remoto. Foi comparado também o desempenho das composições TM2 (azul) TM3 (verde) e TM4 (vermelho); TM5 (azul), TM3 (verde) e TM4 (vermelho) no que se refere à detecção de parcelas irrigadas. Os resultados demonstraram que ocorre uma redução de 94,02% na variância da estimativa de área irrigada quando se utiliza o modelo de estimativa de regressão. A comparação do incremento data-a-data da área irrigada no período de maio a outubro indicou que as 3 primeiras passagens foram suficientes para levantar cerca de 90% da área irrigada total. O desempenho das composições não foi significativamente diferente no tocante à sua habilidade em detectar culturas irrigadas. A combinação das informações data-a-data permitiu estimar a área total irrigada no ciclo de culturas de inverno.</i> | | | |
| 15. Observações <i>Este trabalho contou com a colaboração de Victor Manuel Rodrigues Mendes do DAEE-SP. Projeto desenvolvido através do convênio INPE/DAEE - SP.</i> | | | |

ABSTRACT

The objective of this report is to present the methodology used in the project Irrigated Crop Survey in São Paulo State and its main results. The project developed through a joint agreement between INPE/MCT and DAEE/S.P. Itatiba/Bragança Paulista (SP) test site was selected to perform the research. Sequential TM/LANDSAT data were applied with the objective of evaluating the total irrigated area. Field data were collected which allowed the comparison between two methods for irrigated area estimation: direct expansion model using only field data collected in sample segments, regression model combining ground information extracted from remote sensing products. The performance of TM composites TM 2 (BLUE); TM 3 (GREEN) and TM4 (RED); TM 5 (BLUE); TM 3 (GREEN) and TM 4 (RED) were compared so to identify the best product to detect irrigated crops. The results demonstrated that a reduction of 94,02% in the estimative variance was obtained by using the regression model. The comparison of the increase of date-to-date irrigated area from may to october showed that the 3 first overpasses were sufficient to map around 90% of the total irrigated area. The performance of the TM composites were not meaningly different in relation to its potential to detect irrigated crops. The combination of the date-to-date information allowed to estimate the total irrigated area during the winter cicle.

SUMÁRIO

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| LISTA DE FIGURAS | v |
| LISTA DE TABELAS | vii |
| 1. <u>INTRODUÇÃO</u> | 1 |
| 2. <u>MATERIAL E MÉTODOS</u> | 4 |
| 2.1 - Material | 4 |
| 2.2 - Metodologia | 6 |
| 2.2.1 - Processamento de imagens | 9 |
| 2.2.2 - Análise visual de imagens multitemporais TM/LANDSAT | 15 |
| 2.2.3 - Abordagem estatística para estimativa de áreas irrigadas. | 16 |
| 3. <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> | 22 |
| 3.1 - Análise multitemporal dos dados TM/LANDSAT | 22 |
| 3.2 - Abordagem estatística para a estimativa de áreas irrigadas. | 40 |
| 4. <u>CONCLUSÕES</u> | 48 |
| 5. <u>CONSIDERAÇÕES FINAIS</u> | 49 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 51 |
| APÊNDICE A - MAPA DE ÁREAS IRRIGADAS | |

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 1. Área de Estudo | 2 |
| 2. Comportamento espectral da vegetação | 5 |
| 3. Diagrama de blocos do Sistema Image Manipulation | 10 |
| 4. Fluxo dos dados TM/LANDSAT para a produção de composições coloridas na escala 1:50.000 | 14 |
| 5. Método de análise multitemporal de imagens TM/LANDSAT para estimar áreas irrigadas | 17 |
| 6. Fluxograma da metodologia para estimar áreas irrigadas por expansão direta e por análise de regressão | 21 |
| 7. Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 15/05/85, composição TM2, 3 e 4 | 24 |
| 8. Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 31/05/85, composição TM2, 3 e 4 | 25 |
| 9. Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 16/06/85, composição TM2, 3 e 4 | 26 |
| 10. Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 03/08/85, composição TM2, 3 e 4 | 27 |
| 11. Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 06/10/85, composição TM2, 3 e 4 | 28 |
| 12. Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 15/05/85, composição TM5, 3 e 4 | 29 |
| 13. Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 31/05/85, composição TM5, 3 e 4 | 30 |
| 14. Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 16/06/85, composição TM5, 3 e 4 | 31 |
| 15. Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 03/08/85, composição TM5, 3 e 4 | 32 |
| 16. Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 06/10/85, composição TM5, 3 e 4 | 33 |
| 17. Chave de identificação das áreas irrigadas para as composições TM2,3 e 4 e TM5, 3 e 4 | 34 |
| 18. Exemplo de prática agrícola do tipo plantio direto | 35 |
| 19. Variação da área irrigada por passagem LANDSAT | 38 |
| 20. Porcentagem de área irrigada por passagem LANDSAT | 39 |
| 21. Abordagens para o desenvolvimento de trabalho na estimativa de áreas irrigadas | 47 |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 1. Parâmetros de transformação linear de contraste aplicados aos dados TM/LANDSAT (Área teste de Itatiba-Bragança Paulista) ... | 13 |
| 2. Comparação de estimativas de área irrigada obtida por cinco intérpretes através de dados LANDSAT | 41 |
| 3. Teste de homogeneidade de regressão linear obtido usando composições TM/LANDSAT 5-3-4 e 2-3-4 | 42 |
| 4. Área irrigada nos vinte segmentos amostrados | 44 |
| 5. Comparação de áreas irrigadas obtidas através de informação de campo (expansão direta), do TM/LANDSAT, e da associação de informação de campo com o TM/LANDSAT (método de regressão) | 45 |
| 6. Coeficientes de correlação entre áreas irrigadas obtidas no campo e dados do TM usando cinco repetições independentes (n = 20) | 46 |

1. INTRODUÇÃO

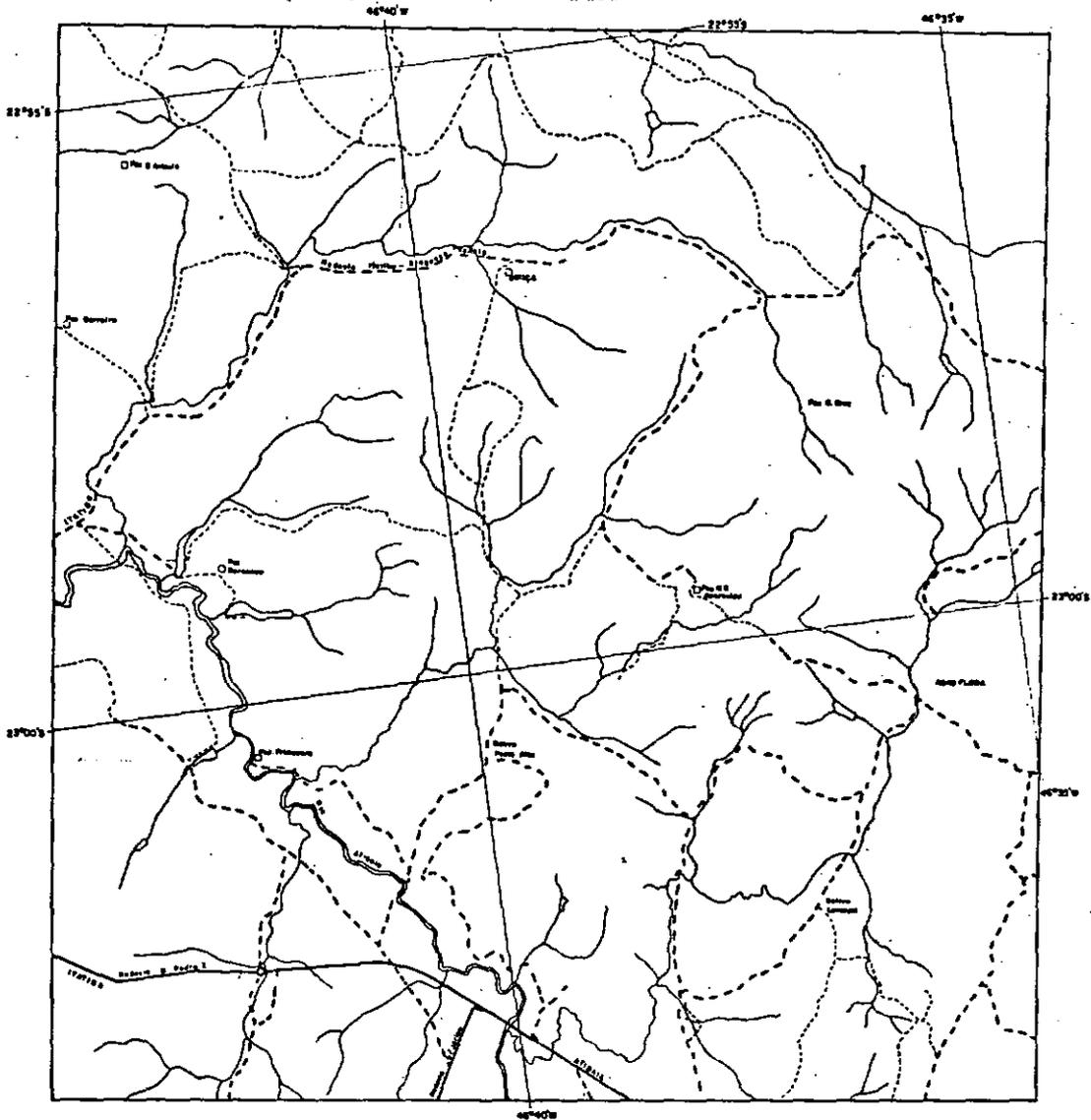
O presente relatório tem por objetivo apresentar os resultados alcançados na segunda fase do projeto de pesquisa desenvolvida pelo convênio entre o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE-SP), cujo plano de trabalho foi aprovado pela Diretoria de Programas e Projetos Setoriais do DAEE-SP e pelo MCT/INPE.

Os trabalhos anteriores realizados (Novo et alii, 1985 e Pinto et alii, 1985) demonstraram a potencialidade e limitações encontradas na caracterização de áreas irrigadas na primeira fase do projeto, desenvolvida nas regiões de Itatiba e Iracemápolis (SP).

A razão do desenvolvimento da presente pesquisa na região de Itatiba-Bragança Paulista (Figura 1), deve-se à necessidade de dar continuidade à tentativa de definir opções metodológicas mais adequadas para a identificação de áreas irrigadas através de dados TM/LANDSAT em região de contexto ambiental complexo. Esta tentativa é importante em face da existência de áreas que apresentam expressivos graus de dificuldades em termos de diversificação de tipos de culturas e de práticas agrônômicas, tipos de estrutura fundiária, condições topográficas de relevo montanhoso e não-obediência ao calendário agrícola.

A seleção da região de Itatiba-Bragança Paulista se deve ainda ao fato de ela vir apresentando incremento na prática de agricultura irrigada nos últimos cinco anos que, associado às intensas atividades antrópicas diversificadas, a torna uma área de conflito em termos dos usos múltiplos dos recursos hídricos, podendo ser considerada uma das regiões críticas na bacia do rio Piracicaba (SP) do ponto de vista de demanda de água.

ÁREA DE ESTUDO - ITATIBA / BRAGANÇA PAULISTA

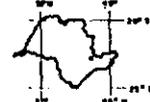


LEGENDA

- RODOVIA
- - - - - ESTRADA SECUNDÁRIA
- RIO, CÓRREGO
- LOCALIDADES

ESCALA 1:50.000

1000m 0 1000 2000 3000m



FONTE: Folha Bragança Paulista (IBGE)

Fig. 1 - Área de Estudo

No contexto das condições ambientais oferecidas pela área de Itatiba-Bragança Paulista, é apresentada e discutida uma abordagem multitemporal para a avaliação de áreas irrigadas através da utilização de dados fornecidos pelo sensor TM/LANDSAT, tendo em vista, principalmente, a grande flexibilidade de calendário agrícola na região de estudo, bem como as condições climáticas atípicas (período seco prolongado verificado de abril a outubro de 1985) que propiciaram a realização, em alguns casos, de dois ciclos de cultivo irrigado em uma mesma área neste período.

Tendo em vista as peculiaridades da região estudada, este relatório procura descrever as diferentes fases de execução do projeto de pesquisa, bem como apresentar os resultados qualitativos e quantitativos obtidos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - MATERIAL

Para a realização do presente trabalho foram utilizados os seguintes recursos materiais:

- a) Dados TM/LANDSAT-5
- b) Fotografias aéreas
- c) Equipamentos
- d) Cartas Topográficas
- e) Outros equipamentos

a) DADOS TM-LANDSAT 5

Utilizaram-se imagens analógicas TM/LANDSAT-5, ampliadas para a escala de 1:50.000, referentes à órbita e ponto 219/76-A (WRS), das passagens de 15/05/85, 31/05/85, 16/06/85, 03/08/85 e 06/10/85, nas bandas 2,3,4 e 5. As bandas TM utilizadas abrangem a faixa do visível e infravermelho refletido do espectro eletromagnético, nas quais podem-se observar variações de comportamento espectral conforme mostrado na Figura 2.

As imagens TM foram analisadas a partir de dois conjuntos de composições em falsa cor, por passagem, associando as bandas 2,3 e 4 e 5,3 e 4.

b) FOTOGRAFIAS AÉREAS

Como material fotográfico de apoio à coleta de dados durante as missões de campo, foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas, de arquivo, na escala aproximada de 1:25.000, do levantamento aerofotográfico do Estado de São Paulo realizado no período de 1972 a 1973.

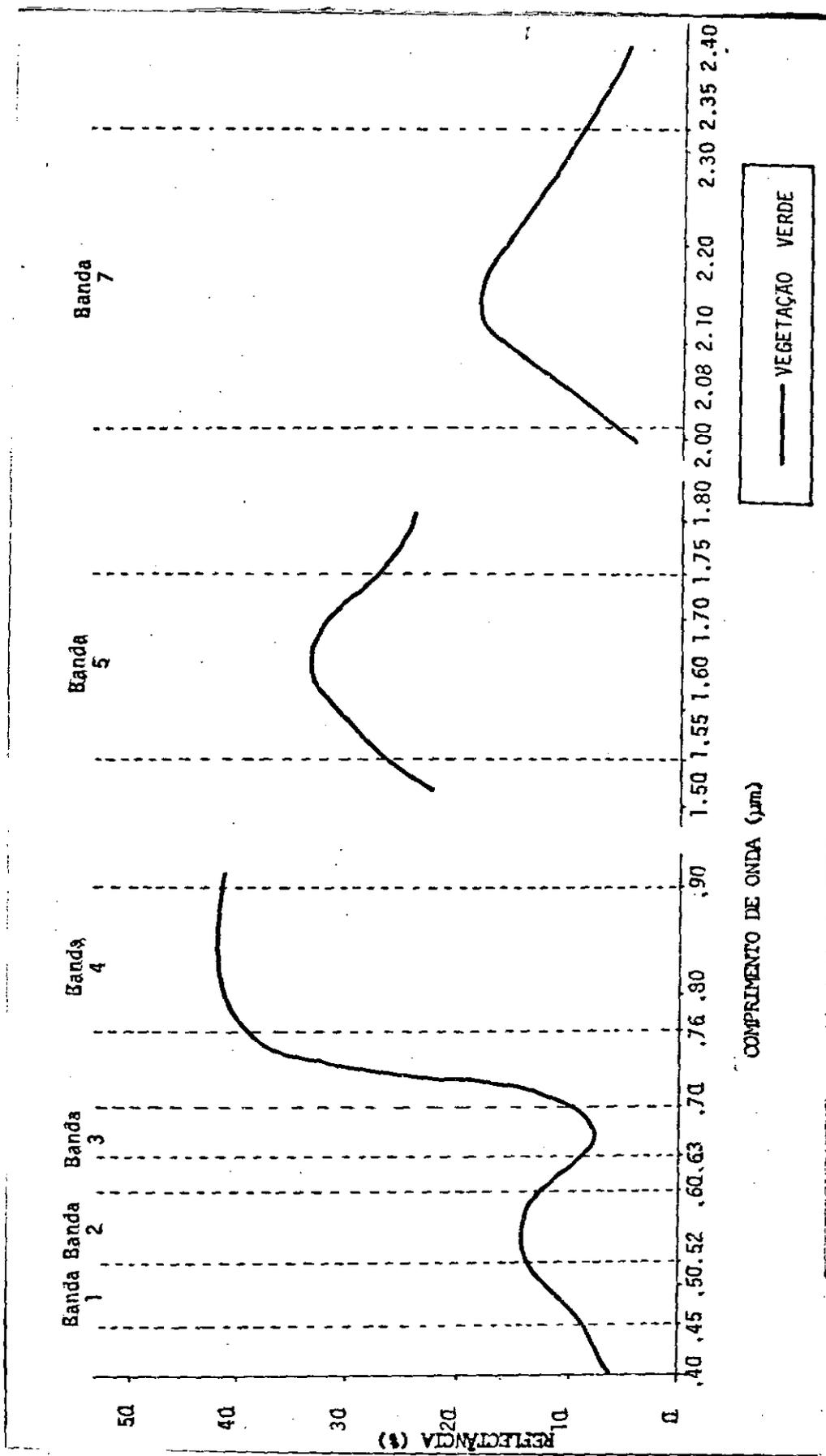


Fig. 2 - Comportamento espectral da vegetação.

Se o usuário não está interessado em modificar a imagem através de filtros espaciais, há ainda as possibilidades oferecidas pela subfunção "manipulação de histogramas". Esta subfunção permite a aquisição de histograma da subcena observada no vídeo. Após a aquisição das coordenadas de interesse, o sistema adquire informações do disco de modo a gerar um histograma por detector. Estes histogramas podem ser visualizados ou armazenados em disco. A partir da análise da média e variância dos histogramas é feita a equalização linear dos detectores, diminuindo as diferenças radiométricas entre eles. O sistema dispõe de duas opções de equalização: linear e não-linear.

A subfunção de "manipulação de lookuptables" permite identificar as tabelas de transformação de imagens disponíveis no sistema e escolher a que deve ser aplicada aos dados. Maiores informações sobre o sistema podem ser obtidas em INPE (1981).

b) Manipulações aplicadas às imagens TM/LANDSAT da área teste de Itatiba-Bragança Paulista.

Trabalhos anteriores (Novo et alii, 1985 e Pinto et alii, 1985) haviam demonstrado que os melhores canais TM para a discriminação de áreas irrigadas eram: TM2, TM3, TM4 e TM5. Desta maneira, as transformações foram aplicadas apenas a essas faixas espectrais.

Após a seleção da área de interesse dentro da cena, adquiriu-se o histograma de cada canal e aplicou-se uma função de transformação linear de contraste. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de transformação linear de contraste utilizados em cada uma das datas analisadas.

A partir da definição desses parâmetros de realce linear de contraste, as cenas armazenadas em disco foram transformadas entrando a seguir no fluxo normal de produção de imagens fotográficas. A Figura 4 apresenta de forma diagramática o fluxo seguido pelos dados TM/LANDSAT até se transformarem nas ampliações na escala de 1:50.000 utilizadas no presente trabalho. Desta forma, foram então geradas composições coloridas em falsa-cor referentes às passagens LANDSAT selecionadas.

TABELA 1

PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO LINEAR DE CONTRASTE APLICADOS AOS DADOS TM/LANDSAT
(ÁREA TESTE DE ITATIBA - BRAGANÇA PAULISTA)

| Data e canal TM | 15/05/85 | | | | | 31/05/85 | | | | | 18/06/85 | | | | | 03/08/85 | | | | | 06/10/85 | | | | |
|--------------------|----------|-----|-----|-----|--|----------|-----|-----|-----|--|----------|-----|-----|-----|--|----------|-----|-----|-----|--|----------|-----|-----|-----|--|
| | TM2 | TM3 | TM4 | TM5 | | TM2 | TM3 | TM4 | TM5 | | TM2 | TM3 | TM4 | TM5 | | TM2 | TM3 | TM4 | TM5 | | TM2 | TM3 | TM4 | TM5 | |
| Limite Inferior | 16 | 0 | - | -11 | | 20 | 16 | - | -20 | | 20 | 13 | - | -20 | | 37 | 30 | - | 5 | | 31 | - | - | 10 | |
| Limite superior | 148 | 128 | - | 147 | | 128 | 120 | - | 144 | | 120 | 120 | - | 214 | | 128 | 120 | - | 201 | | 148 | - | - | 254 | |
| Ganho | 1,9 | 2,0 | - | 1,6 | | 2,4 | 2,5 | - | 1,6 | | 2,5 | 2,4 | - | 1,1 | | 2,8 | 1,9 | - | 1,3 | | 2,2 | - | - | 1,0 | |
| "Offset" | -30 | 0 | - | 17 | | -47 | -39 | - | 31 | | -54 | -30 | - | 21 | | -103 | -45 | - | -6 | | -67 | - | - | -10 | |

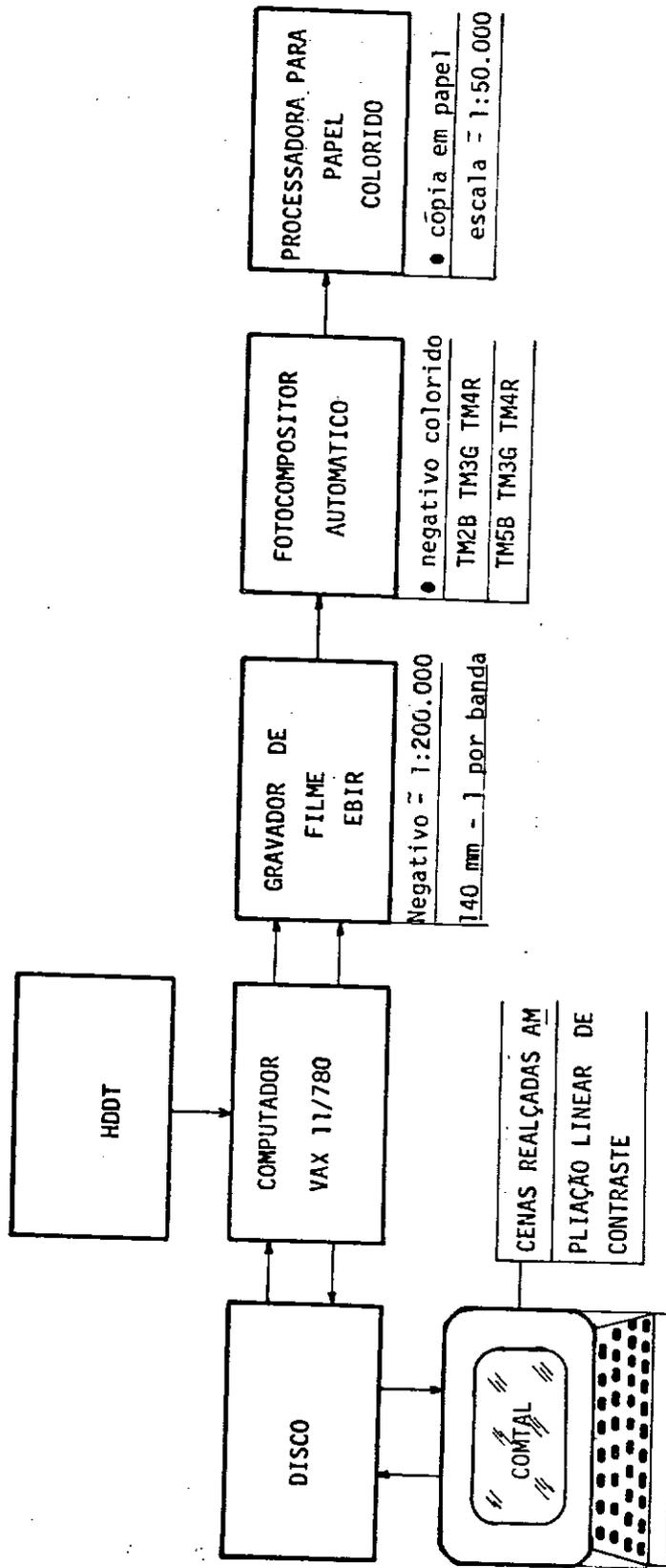


Fig. 4 - Fluxo dos dados TM/LANDSAT para a produção de composições coloridas na escala 1:50.000.

2.2.2 - ANÁLISE VISUAL DE IMAGENS MULTITEMPORAIS TM/LANDSAT

Esta análise foi realizada a partir da interpretação das imagens coloridas em falsa cor utilizando as bandas TM2, TM3 e TM4 e TM5, TM3 e TM4, associando respectivamente, na mesma ordenação das bandas TM, os filtros azul, verde e vermelho.

Para esta interpretação de áreas irrigadas foi utilizado o critério espectral-temporal, com apoio de dados de campo para alguns talhões de referência.

O critério espectral baseou-se especificamente no elemento cor teoricamente esperado para as áreas de cultivo irrigado, considerando as respostas espectrais relativas às bandas TM que serviram para compor as imagens em falsa cor utilizadas neste trabalho bem como no suporte de informações de campo dos talhões irrigados considerados como de referência.

Por sua vez o critério multitemporal foi utilizado na tentativa de minimizar a inclusão de alvos não-irrigados e acompanhar, o máximo possível a flexibilidade do calendário agrícola para culturas irrigadas.

Com este procedimento, os talhões foram acompanhados, na sua quase totalidade, em suas diferentes fases: solo exposto (preparado para cultivo), cultura no campo e solo exposto pós-colheita.

A análise das diferentes passagens TM/LANDSAT foi desenvolvida com o suporte de trabalho de verificação de campo, com especial atenção às condições dos talhões de referência.

Para cada passagem interpretada foram gerados mapas parciais que continham informações de talhões com solo exposto e com cultivos irrigados.

A partir da compilação das informações dos mapas parciais (mapas por passagem LANDSAT), foram gerados dois mapas de áreas irrigadas respectivamente para as composições em falsa cor TM2, 3 e 4 e TM5, 3 e 4. As informações contidas nestes mapas resultaram na elaboração de um mapa final de distribuição de áreas irrigadas para a região de estudo, na escala de 1:50.000, referente ao período das passagens LANDSAT analisadas.

A partir dos mapas parciais e final, foram obtidos valores de área dos cultivos irrigados. Estes dados foram submetidos à análise estatística de regressão juntamente com dados de campo, obtidos em unidades amostrais (descritas na seção 2.2.3), para correção da estimativa de área irrigada total.

As diferentes etapas desta abordagem multitemporal podem ser simplificada e observadas no fluxograma da Figura 5.

2.2.3 - ABORDAGEM ESTATÍSTICA PARA ESTIMATIVA DE ÁREAS IRRIGADAS

A importância que os dados TM/LANDSAT representam como fonte de informação de alvos da superfície já tem sido amplamente divulgada. Entretanto, apresentam algumas limitações dentre as quais pode-se citar a sua resolução espacial, especificamente quando se necessita obter informações de alvos de pequenas dimensões.

Outra desvantagem que se pode observar é que em determinadas situações, alvos diferentes podem ser erroneamente incluídos em uma mesma classe devido à similaridade de suas respostas espectrais.

Conseqüentemente isto pode conduzir um trabalho de inventário de recursos naturais a resultados tendenciosos, quando somente desenvolvido a partir de dados de sensoriamento remoto ao nível orbital. Para minimizar estes erros, a análise de dados de satélite deve ser acompanhada de dados de segmentos amostrais de campo ou mesmo de informações coletadas através de fotos aéreas em escalas de detalhe.

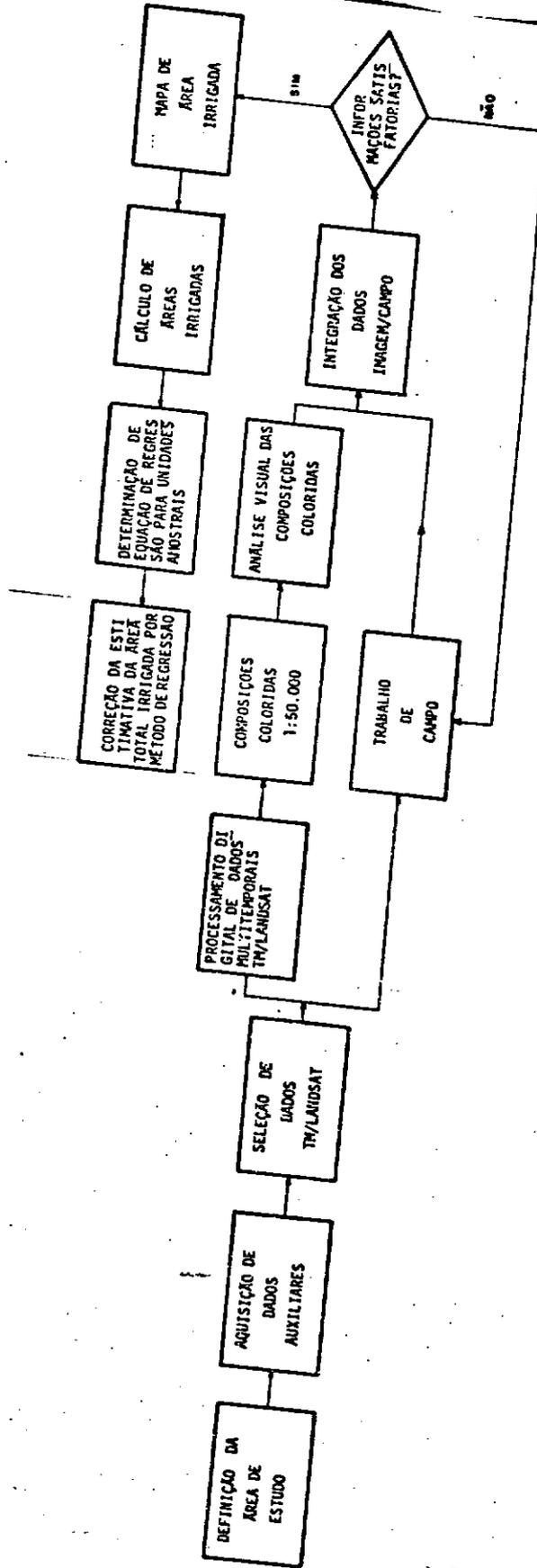


Fig. 5 - Método de análise multitemporal de imagens TM/LANDSAT para estimar áreas irrigadas.

Neste trabalho, inicialmente fez-se uma estimativa de áreas irrigadas para toda a área de estudo através de dados de sensoriamento remoto e, posteriormente, procedeu-se a outra estimativa, mais exata, com base em dados de campo coletados em segmentos amostrais. Esta abordagem permite corrigir a estimativa obtida a partir de informações de sensoriamento remoto para toda a área de estudo.

Este método combinado foi testado por diversos autores, como por exemplo Ray et alii, 1976; Sigman et alii, 1977; Wigton et alii, 1978; Thomas et alii, 1984 e Redondo et alii, 1984.

Este método foi também utilizado com sucesso para estimar área irrigada em regiões de clima árido e semi-árido devido ao alto contraste observado entre os talhões irrigados (com biomassa verde) e as áreas circunvizinhas que apresentam vegetação sob estresse hídrico (Heller and Johnson, 1979 e Wall et alii, 1984).

Para o desenvolvimento desta metodologia, inicialmente procedeu-se à determinação de área piloto, de 14km x 14km, inserida na área de estudo, a qual foi dividida em 196 segmentos de 1km x 1km. Para garantir que fossem coletadas informações de campo suficientes, englobando diversos tipos de cultura e práticas de irrigação, optou-se por uma amostra relativamente grande ($n = 40$), onde os segmentos foram selecionados aleatoriamente por sorteio.

Foram realizadas verificações de campo, próximas às datas de aquisição de imagens LANDSAT, e, para cada segmento, foram delimitadas as áreas irrigadas em fotos aéreas de arquivo, na escala de 1:25.000.

O valor de área para cada talhão irrigado, demarcado, foi obtido com o auxílio de uma grade milimetrada. Para minimizar as distorções geométricas inerentes às fotos aéreas, procurou-se utilizar sempre as porções centrais das fotos.

Os dados de área dos talhões irrigados, obtidos em cada segmento pelos trabalhos de campo e pela interpretação das imagens TM/

LANDSAT (composições coloridas TM2, 3 e 4 e TM5, 3 e 4) foram submetidos à análise de regressão.

Posteriormente realizou-se um teste para verificar a significância ($\alpha = 0,01$) da regressão linear. Após a confirmação da significância, a estimativa de área irrigada obtida pela interpretação de imagens, para toda a área de estudo, foi corrigida utilizando o modelo de regressão.

O ganho de eficiência, utilizando dados de sensoriamento remoto e informação de campo, foi calculado dividindo a variância obtida através do método de expansão direta (dados de campo para segmentos amostrados) pela variância obtida no método combinado (método de regressão).

A Figura 6 mostra o esquema do procedimento combinado e por expansão direta, o qual pode ser também utilizado por outros tipos de inventários agrícolas.

As fórmulas para estimar área irrigada e sua variância em cada método são apresentadas a seguir:

Expansão direta (ED):

$$\hat{Y}_{ED} = N \frac{\sum Y_i}{n} ,$$

$$V_{\hat{Y}_{ED}} = N^2 \frac{N-n}{N} \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n(n-1)} ;$$

Estimador de Regressão (para pequenas amostras):

$$\hat{Y}_R = N \left[\bar{Y} + \hat{b} (\bar{X}_T - \bar{X}_S) \right] ,$$

$$\hat{b} = \frac{\sum (X_i - \bar{X}_S) (Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X}_S)^2}$$

$$V_{\hat{Y}_R} = \frac{N^2}{n} \frac{N-n}{N} \sum (Y_i - \bar{Y})^2 \frac{1-r^2}{n-2} \left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(\bar{X}_T - \bar{X}_S)^2}{\sum (X_i - \bar{X}_S)^2} \right]$$

$$\text{Eficiência relativa} = \frac{V_{\hat{Y}_{ED}}}{V_{\hat{Y}_R}} ;$$

onde: N = número total de segmentos na população,

n = número de segmentos amostrados (tamanho da amostra),

\hat{Y} = área total irrigada estimada,

$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n}$ = média da área irrigada obtida com informação de campo para n segmentos amostrados,

$\bar{X}_S = \frac{\sum X_i}{n}$ = média da estimativa de área irrigada para n segmentos usando dados LANDSAT.

$\bar{X}_T = \frac{\sum X_i}{N}$ = média da estimativa de área irrigada para to dos os segmentos da população utilizando da dos LANDSAT.

Fig. 6 - Fluxograma da metodologia para estimar áreas irrigadas por expansão direta e por análise de regressão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme já salientado anteriormente, a área de estudo apresenta características ambientais que podem ser consideradas complexas, as quais dificultam a identificação de talhões agrícolas irrigados quando se analisam dados LANDSAT apoiando-se somente na resposta espectral dos alvos. Neste contexto optou-se pela adoção de procedimentos de acompanhamento multitemporal tanto para a análise dos dados TM/LANDSAT, como para a aquisição de dados de campo.

Neste trabalho os valores de área irrigada foram obtidos utilizando duas abordagens metodológicas, ou seja, análise multitemporal de dados TM/LANDSAT e método de expansão direta/método de regressão, cujos resultados serão apresentados e discutidos a seguir.

3.1 - ANÁLISE MULTITEMPORAL DOS DADOS TM/LANDSAT

Tendo em vista os procedimentos descritos na metodologia, foram gerados dois tipos de composições em falsa cor: a) combinação TM2 (filtro azul), TM3 (filtro verde) e TM4 (filtro vermelho) e b) TM5 (filtro azul), TM3 (filtro verde) e TM4 (filtro vermelho) exemplificadas nas figuras 7,8,9,10,11,12,13,14,15 e 16.

A análise interpretativa das composições coloridas em falsa-cor foi realizada por duas equipes (de dois elementos cada), independentes, sendo cada equipe responsável por um tipo de composição TM. A partir da interpretação das composições, considerando principalmente a resposta espectral dos alvos, foi possível obter um esquema padrão de identificação de áreas irrigadas, conforme mostrada na Figura 17. Nesta análise foi dada atenção especial às áreas de solo exposto. Se os solos estiverem preparados para plantio ou recém-cultivados apresentam-se em cores cyan, tanto na composição TM2,3 e 4 como na TM5,3 e 4, caso tenham sido submetidos aos turnos de irrigação. Como os solos desta área possuem cores claras (predominância de Latossolo Vermelho-Amarelo), os talhões de solos expostos, quando secos, tenderiam a se mostrar com manchas esbranquiçadas, em consequência da alta reflectância espectral em todas as bandas

TM componentes das composições em falsa-cor. Entretanto, se os talhões forem submetidos à irrigação, a água retida no solo vai interferir principalmente na reflectância da banda 4, resultando na apresentação daqueles talhões em cor cyan-escuro. O que ocorre é uma redução da radiação na faixa do infravermelho próximo (banda 4), promovida pela absorção de energia pelo solo úmido.

Por outro lado, também, o confronto com observações de campo permitiu verificar que alguns talhões de solo exposto irrigados se apresentam, nas imagens, em tons cyan mais claros. Isto pode ser explicado pela presença de restos culturais naqueles talhões (por exemplo práticas de plantio direto, conforme a Figura 18), bem como pelas diferentes condições de umidade superficial do solo em face da defazagem entre o turno de irrigação e a passagem do satélite sobre a área.

As condições diversificadas de práticas culturais observadas na área de estudo, como por exemplo áreas de pouso recente com a manutenção de resíduos de cultivo, têm também promovido a presença de talhões com cor cyan-clara nas composições coloridas.

O acompanhamento dos talhões de solo exposto através das imagens sequenciais conduziu à definição de talhões como sendo irrigados aqueles que passaram a apresentar a cor magenta para as composições TM2, TM3 e TM4, e cor magenta-amarelada para as composições TM5, TM3 e TM4, no decorrer do ciclo vegetativo das culturas.

A cor magenta representa a participação das cores vermelho e azul, a qual no caso da composição das bandas 2,3 e 4 significa a contribuição de níveis de cinza-claro da banda 4 (filtro vermelho) e cinza-médio da banda 2 (filtro azul), enquanto para a composição das bandas 5, 3 e 4 expressa a contribuição do TM4 (filtro vermelho) e TM5 (filtro azul). Os níveis de cinza claro dos talhões irrigados, na banda 4, são decorrentes da maior resposta espectral proporcionada pelo vigor da biomassa verde em relação aos alvos circunvizinhos não-irrigados, muitas vezes já apresentando deficiência hídrica e menor vigor de biomassa.

c) EQUIPAMENTOS

Para o processamento digital de dados TM/LANDSAT foi utilizado o Sistema Image Manipulations, implementado no Laboratório de Processamento Eletrônico do DGI/INPE em Cachoeira Paulista (SP).

d) CARTAS TOPOGRÁFICAS

Foram utilizadas cartas topográficas na escala de 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo (IGGSP), correspondentes respectivamente às folhas de Valinhos e Bragança Paulista e de Jundiaí e Atibaia.

e) OUTROS EQUIPAMENTOS

Durante o desenvolvimento do trabalho também foram utilizados equipamentos de campo (bússola, clinômetros, etc), grades milimetradas para estimativa de área, bem como o sistema computacional Burroughs 6.800 para cálculos referentes à análise estatística.

2.2 - METODOLOGIA

Trabalhos disponíveis na literatura internacional para a caracterização de áreas irrigadas através de técnicas de sensoriamento remoto, com ênfase em imagens LANDSAT, têm sido desenvolvidos principalmente em regiões de clima semi-árido. Neste contexto ambiental, as áreas de culturas irrigadas podem ser identificadas nas imagens LANDSAT pela diferença de resposta espectral bem contrastada entre a biomassa verde das culturas sob irrigação e a cobertura vegetal circunvizinha que apresenta deficiência hídrica acentuada.

Estes resultados podem ser observados, por exemplo, nos trabalhos realizados por Draeger (1977), Bauer et alii (1984) e Moreton e Richards (1984).

Entretanto, em condições de clima tropical semi-úmido, onde podem ocorrer precipitações mesmo no período considerado seco, em anos tipicamente úmidos, ou de período seco pouco prolongado, como é o caso de anos considerados normais para a área de estudo (Itatiba-Bragança Paulista), as abordagens propostas para áreas extratropicais não se mostram adequadas conforme constatado por Novo et alii (1985) e Pinto et alii (1985).

Para estas condições, a discriminação puramente espectral entre áreas irrigadas e não-irrigadas é dificultada pela presença de biomassa verde de diferentes tipos de cobertura vegetal, mesmo ao longo de períodos considerados normais de deficiência hídrica.

Neste caso, alguns tipos de pastagens implantadas, bem como cultivos perenes (eucalipto, café, citrus, etc) e glebas em situação de pousio recente, presentes na área de estudo, são alguns exemplos de alvos que apresentam biomassa verde mesmo nos períodos de déficit hídrico, e dificultando a identificação de culturas submetidas à irrigação (Pinto et alii, 1985).

Por outro lado observou-se também que a utilização de abordagem multitemporal com a aquisição de dados LANDSAT em apenas duas épocas do calendário agrícola (Pinto et alii, 1985) não apresentou resultados satisfatórios para a região compreendida pelo município de Itatiba (Fase I do Projeto em convênio entre INPE/DAEE-SP), em consequência das características ambientais e de ocupação apresentadas por esta área e já comentadas anteriormente. Adiciona-se a estas características o sistema de irrigação semifixo, preferencialmente utilizado nesta área, melhor adaptado às condições de topografia montanhosa, mas

que não determina, no terreno, figuras geométricas características observáveis nas imagens, como aquelas resultantes dos sistemas pivô-central (círculos) e autopropelido (retângulos).

Deve-se acrescentar ainda que na área de estudo ocorre predominância de exploração agrícola de pequenas parcelas, principalmente cultivos de olerícolas, fato este que também proporciona grande interferência na discriminação das áreas irrigadas em face da resolução espacial do sistema TM/LANDSAT.

Com base nos trabalhos anteriores (Novo et alii, 1985 e Pinto et alii, 1985) optou-se por realizar uma análise espectral e multitemporal utilizando imagens TM que abrangem amplo período de acompanhamento de culturas irrigadas, desde maio até outubro, perfazendo um total de cinco passagens LANDSAT selecionadas (15/05/85; 31/05/85; 16/06/85; 03/08/85 e 06/10/85).

A seleção e a aquisição de imagens foram utilizadas com apoio de informações de condições meteorológicas na área (principalmente em termos de condições de nebulosidade) fornecidas pelas Casas da Agricultura (Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo) de Itatiba e Bragança Paulista.

Para possibilitar melhor suporte à análise das imagens, foram realizados trabalhos de campo em datas próximas às passagens LANDSAT adquiridas, e em alguns casos coincidentes, para a obtenção de informações referentes às condições das culturas irrigadas e/ou intenções de plantio. As parcelas irrigadas foram anotadas sobre as fotografias aéreas de arquivo e suas características descritas em fichas de campo.

Neste contexto, para cada passagem, foram analisados dois conjuntos de imagens analógicas na forma de composições coloridas em falsa cor, na escala de 1:50.000, referentes às bandas TM 2 (filtro azul), TM 3 (filtro verde) e TM 4 (filtro vermelho) e TM 5 (filtro azul), TM 3 (filtro verde) e TM 4 (filtro vermelho), respectivamente.

A compatibilização destas composições à escala de 1:50.000 foi feita com o apoio das cartas topográficas.

Para a obtenção das composições coloridas, foi utilizada a abordagem de procedimentos de processamento digital de imagens. No laboratório de Processamento Eletrônico realizaram-se os processamentos digitais sobre fitas magnéticas a partir dos quais foram geradas as imagens analógicas em composições coloridas no Laboratório de Processamento Fotográfico (INPE/Cachoeira Paulista).

2.2.1 - PROCESSAMENTO DE IMAGENS

a) Breve descrição do Sistema Image Manipulation.

As composições coloridas realçadas e utilizadas para a identificação de talhões irrigados foram produzidas a partir da utilização do Sistema Image Manipulation disponível no Laboratório de Processamento Eletrônico do INPE em Cachoeira Paulista.

A Figura 3 representa em forma de diagrama as funções desempenhadas pelo referido sistema de modo a permitir o realce de imagens anterior ao processamento fotográfico.

Para utilizar o sistema, as imagens já devem estar armazenadas em disco. A partir daí o operador poderá utilizar de modo interativo diferentes funções que permitem a aquisição de um produto com melhor qualidade visual.

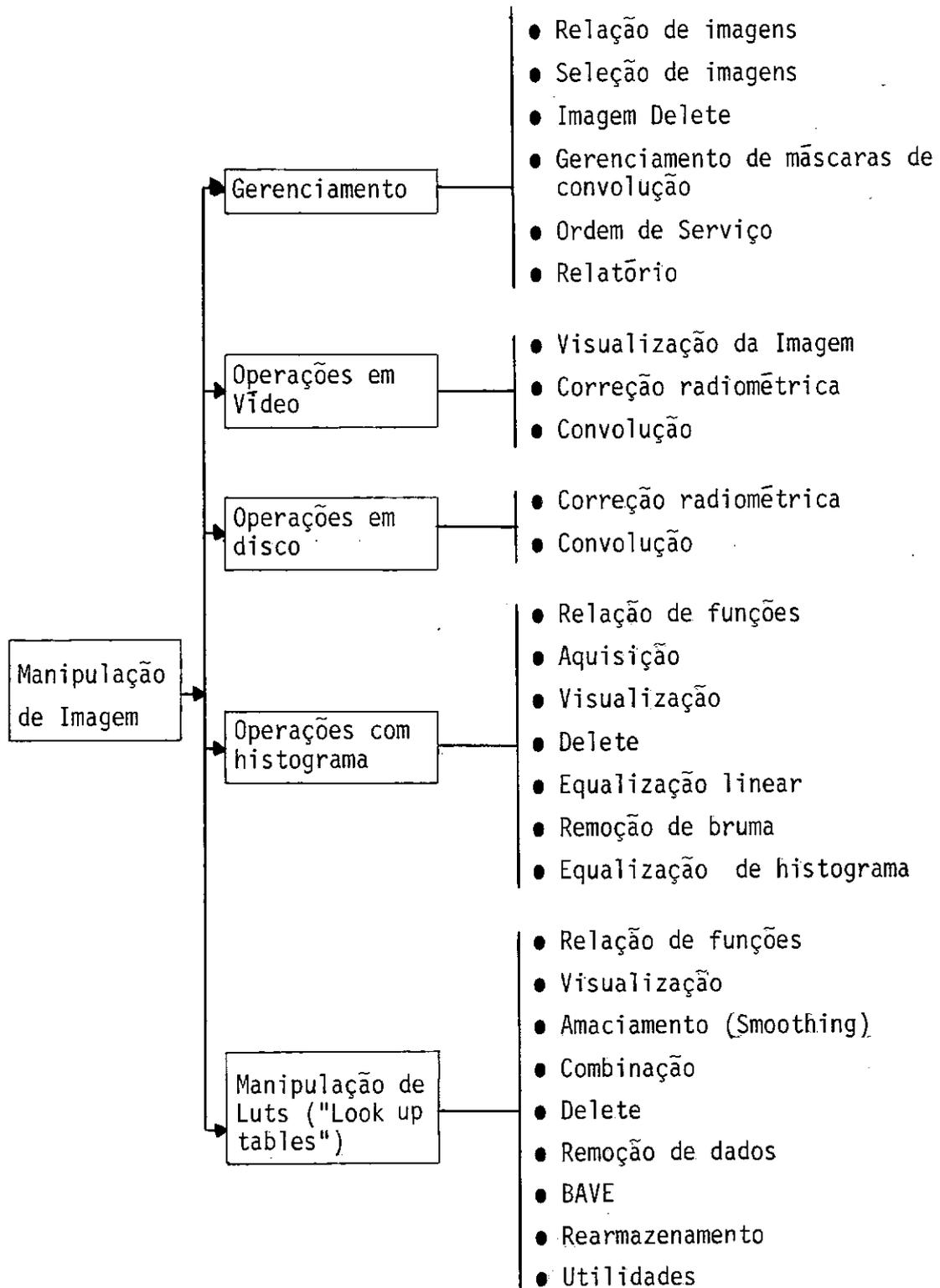


Fig. 3 - Diagrama de blocos do Sistema Image Manipulation
FONTE: INPE (1981)

A subfunção de "Gerenciamento" fornece ao operador uma listagem do conteúdo de cada "área do disco". A partir desta lista pode-se selecionar a imagem a ser trabalhada numa dada sessão. Essa imagem selecionada será então cadastrada sob um nome específico tal que todas as funções subseqüentes sejam a ela atribuídas. Através dessa função também tem-se acesso a uma listagem das máscaras (matrizes) disponíveis para transformação dos dados originais. A partir da função "gerenciamento de máscaras para convolução" pode-se selecionar o tipo de máscara desejada, criar novas máscaras e visualizar a máscara na tela do monitor de vídeo. Esta função também cria um arquivo com todas as informações sobre as manipulações sofridas pela imagem e armazena-as em disco.

A subfunção de visualização permite a observação da cena a ser manipulada no vídeo do sistema COMTAL VISION ONE/20 IMAGE PROCESSING SYSTEM, no formato de 394 por 388 linhas. Pode-se selecionar a taxa de amostragem dos pontos da imagem tal que se possa observar a cena toda ou apenas uma parte da cena ampliada para a máxima resolução.

Inicialmente deve-se colocar a imagem de interesse com uma taxa de amostragem de 16 (resolução pobre) de modo a facilitar a identificação do módulo a ser trabalhado. Com o auxílio do cursor móvel localiza-se a área de estudo na tela e faz-se a leitura de suas coordenadas de centro.

Através da função correção radiométrica, os dados podem ser manipulados através de filtros espaciais que podem provocar um realce dos limites entre campos de cultivo (realce de bordas) ou ainda diminuir a variabilidade interna dos níveis de cinza da cena, homogeneizando internamente determinadas classes de objetos. As máscaras de interesse são selecionadas e, da mesma maneira, pode-se observar o resultado da aplicação dos filtros em cada quadrante da cena no vídeo do sistema COMTAL.

Quando as manipulações observadas no vídeo são aprovadas pelo usuário, procede-se então a operação das funções de disco através das quais as transformações são aplicadas a imagem contida no disco.



Fig. 7 - Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 15/05/85, composição TM2,3 e 4.

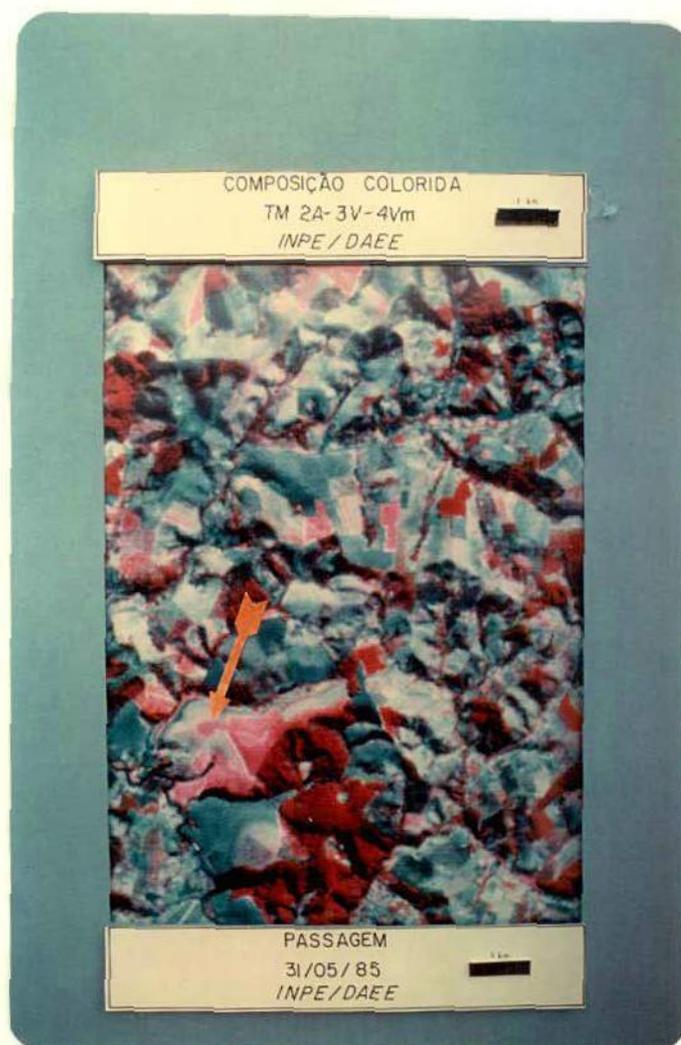


Fig. 8 - Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 31/05/85, composição TM2,3 e 4.

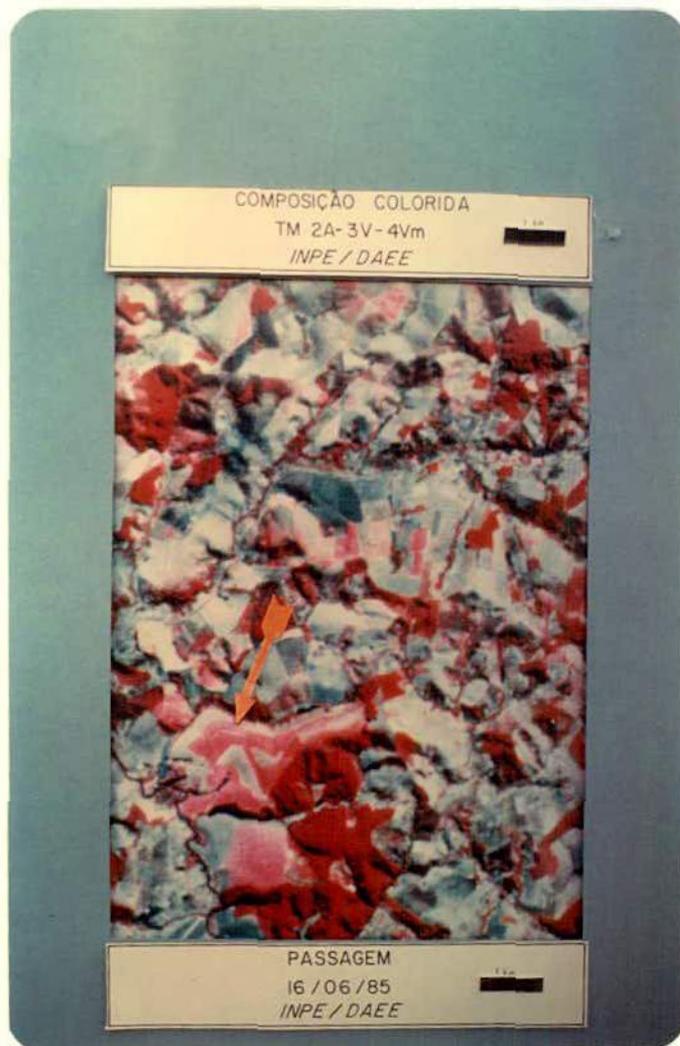


Fig. 9 - Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 16/06/85 , composição TM2,3 e 4



Fig. 10 - Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 03/08/85, composição TM2,3 e 4.



Fig. 11 - Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 06/10/85, composição TM2,3 e 4.



Fig. 12 - Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 15/05/85, composição TM5,3 e 4.



Fig. 13 - Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 31/05/85, composição TM5,3 e 4.

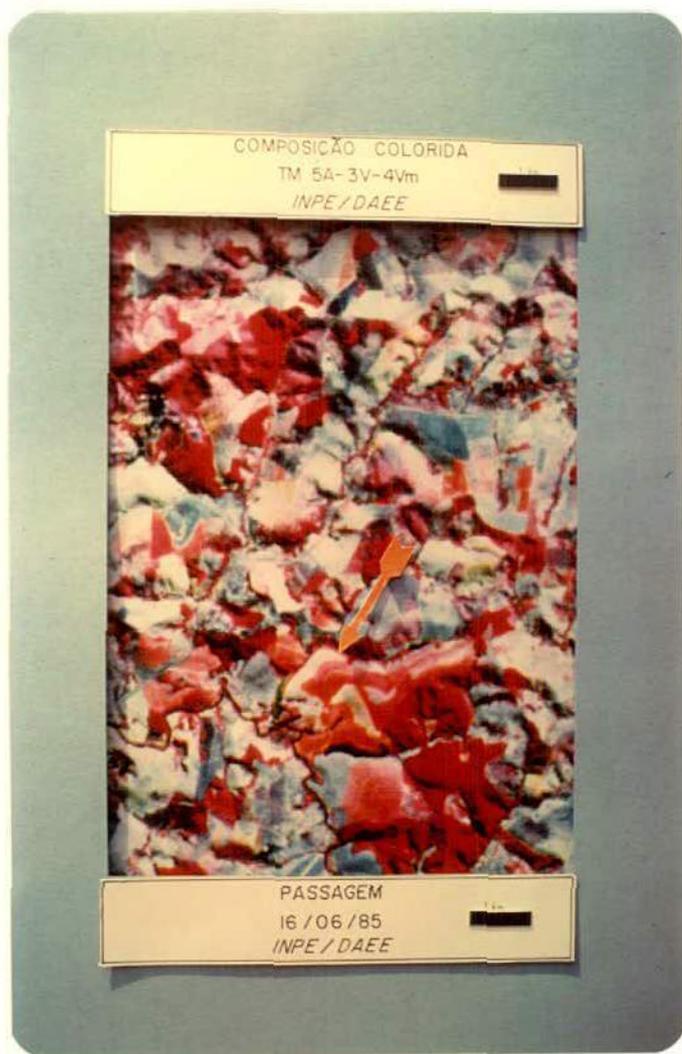


Fig. 14 - Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 16/06/85, composição TM5,3 e 4.



Fig. 15 - Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 03/08/85, composição TM5,3 e 4.

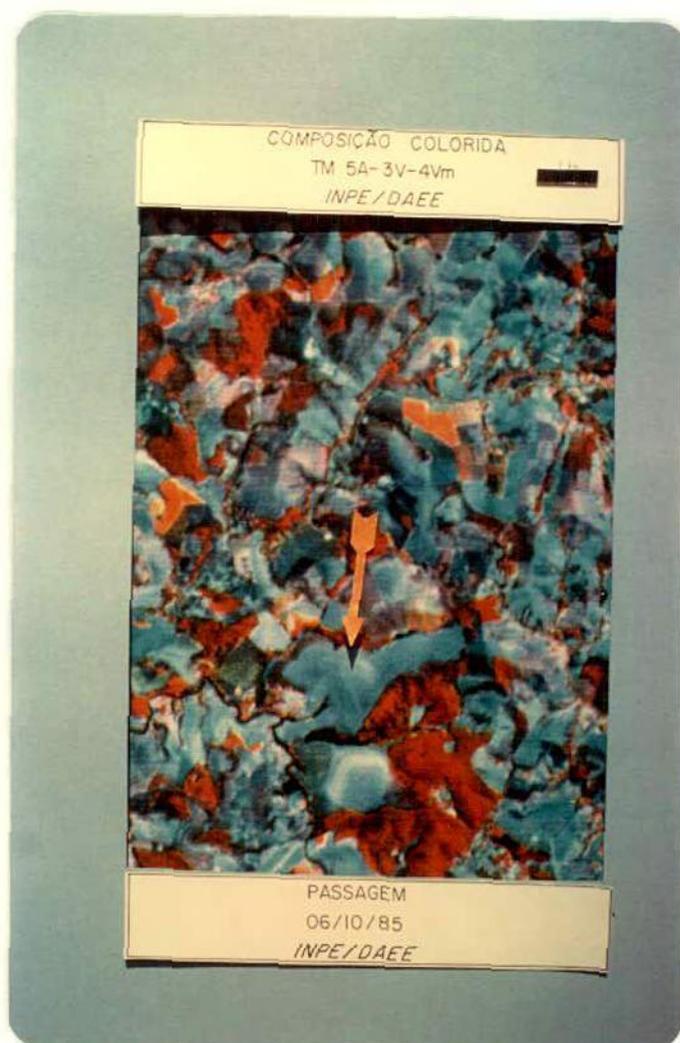


Fig. 16 - Acompanhamento de área irrigada na passagem do LANDSAT de 06/10/85, composição TM5,3 e 4.

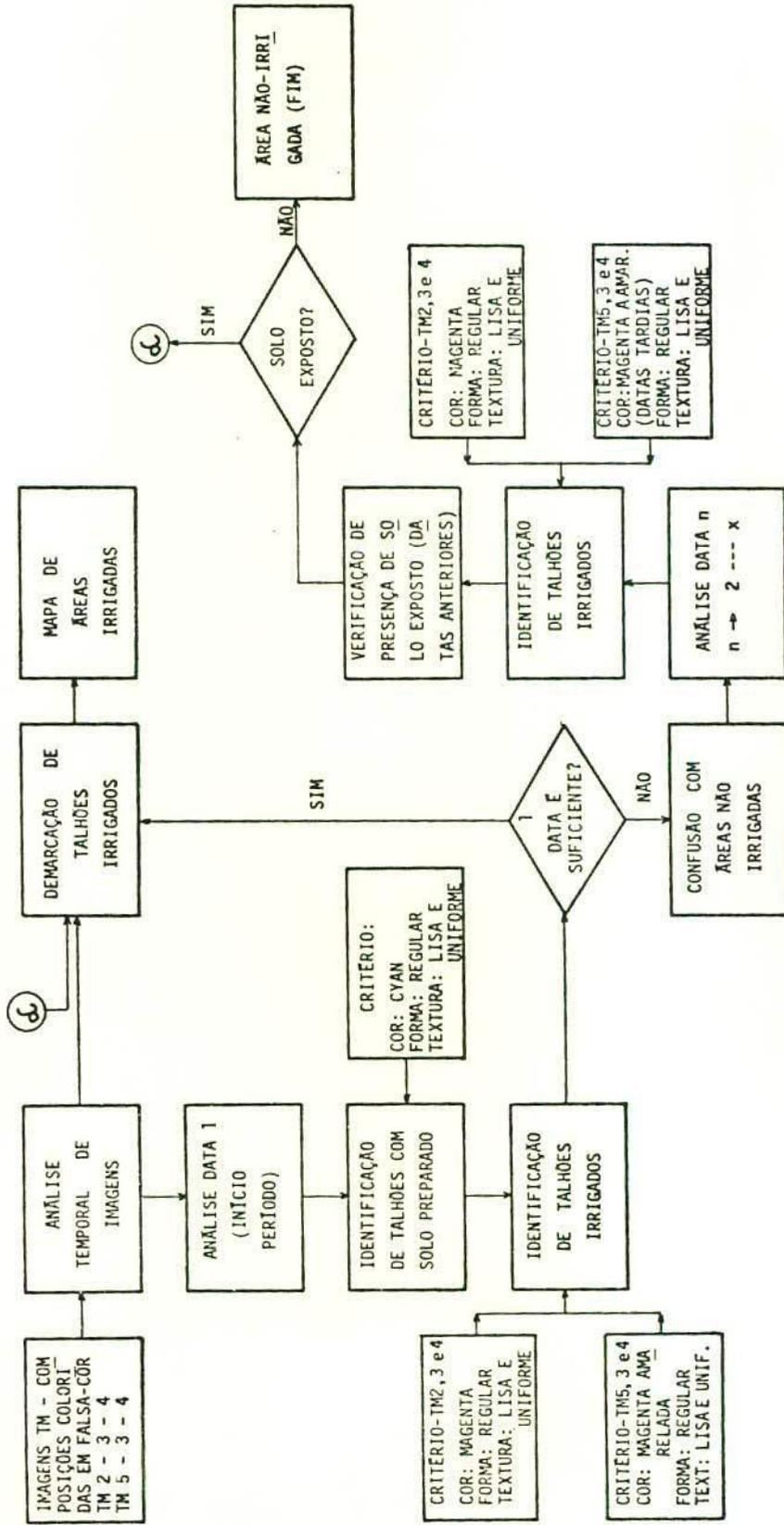


Fig. 17 - Chave de identificação das áreas irrigadas para as composições TM2,3 e 4 e TM5,3 e 4.



Fig. 18 - Exemplo de prática agrícola do tipo plantio direto.

No caso das composições TM5,3 e 4, a cor magenta - amarela da observada em diversos talhões irrigados é consequência da participação de níveis de cinza médios da banda 3 (filtro verde) e do decréscimo da participação da banda 5 (os níveis de cinza se apresentam mais escurecidos). A redução de reflectância daqueles alvos pode ser explicada pelo efeito da irrigação, uma vez que o TM5 (1,55 - 1,75 μ m) representa faixa espectral de absorção pela água das folhas, e pode ser utilizada para a detecção do estresse da vegetação por desequilíbrio de água na cobertura foliar.

Entretanto, pequenas variações tonais da cor magenta, do escuro para o claro, podem estar representando mudanças de vigor da biomassa, resultantes de diferenciação de condições dos talhões, como por exemplo diferença de estágio fenológico, tipo de cultura, distribuição irregular da irrigação, talhão que apresenta variação de cultivar vegetal, ou até mesmo diferenças de práticas culturais que podem estar influenciando no vigor da biomassa.

Na seqüência do acompanhamento dos talhões irrigados através das imagens disponíveis pôde-se chegar à fase de colheita com a apresentação de solo exposto. Esta finalização nem sempre foi verificada em consequência da não-correspondência do calendário agrícola, em termos do período de plantio e das datas das imagens LANDSAT selecionadas.

Por outro lado, o dinamismo das mudanças ocorridas nas áreas de cultivo irrigado, no período analisado, pode ser também observado através dos conjuntos de figuras que compõem as imagens em falsa-cor TM2,3 e 4 e TM5,3 e 4 (Figuras 7 a 11 e 12 a 16, respectivamente).

Exemplifica-se, nos conjuntos de figuras acima referenciados, um setor da Fazenda Baroneza (indicada pela seta), onde se observa, nas passagens de 15/05/85 e 31/05/85, a presença de solo exposto e parte de talhão já ocupado por cultivo irrigado (cor magenta). A progressão da área ocupada pela cultura (neste caso trigo irrigado) pode ser observada nas imagens de 16/06 e 03/08/85. Já na imagem de 06/10/85

No caso das composições TM5,3 e 4, a cor magenta - amarela da observada em diversos talhões irrigados é consequência da participação de níveis de cinza médios da banda 3 (filtro verde) e do decréscimo da participação da banda 5 (os níveis de cinza se apresentam mais escurecidos). A redução de reflectância daqueles alvos pode ser explicada pelo efeito da irrigação, uma vez que o TM5 (1,55 - 1,75 μm) representa faixa espectral de absorção pela água das folhas, e pode ser utilizada para a detecção do estresse da vegetação por desequilíbrio de água na cobertura foliar.

Entretanto, pequenas variações tonais da cor magenta, do escuro para o claro, podem estar representando mudanças de vigor da biomassa, resultantes de diferenciação de condições dos talhões, como por exemplo diferença de estágio fenológico, tipo de cultura, distribuição irregular da irrigação, talhão que apresenta variação de cultivar vegetal, ou até mesmo diferenças de práticas culturais que podem estar influenciando no vigor da biomassa.

Na seqüência do acompanhamento dos talhões irrigados através das imagens disponíveis pôde-se chegar à fase de colheita com a apresentação de solo exposto. Esta finalização nem sempre foi verificada em consequência da não-correspondência do calendário agrícola, em termos do período de plantio e das datas das imagens LANDSAT selecionadas.

Por outro lado, o dinamismo das mudanças ocorridas nas áreas de cultivo irrigado, no período analisado, pode ser também observado através dos conjuntos de figuras que compõem as imagens em falsa-cor TM2,3 e 4 e TM5,3 e 4 (Figuras 7 a 11 e 12 a 16, respectivamente).

Exemplifica-se, nos conjuntos de figuras acima referenciados, um setor da Fazenda Baroneza (indicada pela seta), onde se observa, nas passagens de 15/05/85 e 31/05/85, a presença de solo exposto e parte de talhão já ocupado por cultivo irrigado (cor magenta). A progressão da área ocupada pela cultura (neste caso trigo irrigado) pode ser observada nas imagens de 16/06 e 03/08/85. Já na imagem de 06/10/85

verifica-se que o talhão se apresenta como solo exposto pela remoção do cultivo.

Da análise interpretativa das imagens obtiveram-se mapas parciais que contêm informações temáticas referentes a talhões de solo exposto e de cultivos irrigados. Através da composição destes mapas parciais foi obtido um mapa final de áreas irrigadas para o período analisado (Apêndice.A).

A partir dos mapas parciais e do mapa final foram obtidos valores de área dos talhões irrigados. O cálculo da área dos talhões irrigados foi feito a partir da contagem de pontos em grade milimétrica com três repetições. Desta forma foi obtido o valor de 1.005,37 ha de área irrigada para a região de estudo, no período compreendido entre maio a início de outubro de 1985.

O gráfico da Figura 19 ilustra a variação de área estimada para os talhões irrigados identificados através da análise interpretativa das composições coloridas em falsa-cor. Observam-se através deste gráfico, os acréscimos de área irrigada para cada passagem LANDSAT analisada.

Os acréscimos de áreas irrigadas mais significantes foram aqueles verificados nas passagens LANDSAT de 31 de maio e 16 de junho. Isto pode ser também ilustrado pelo gráfico da Figura 20, através do qual se observa que a quantidade de informação obtida na passagem de 31 de maio representa mais que o dobro daquela contida na passagem de 15 de maio. Por sua vez, o acréscimo de informação proporcionado pela passagem de 16 de junho foi da ordem de 40% e desta para a passagem de 03 de agosto foi de 10%, o que significa que a maior quantidade de informação de áreas irrigadas pode ser obtida até a passagem de junho.

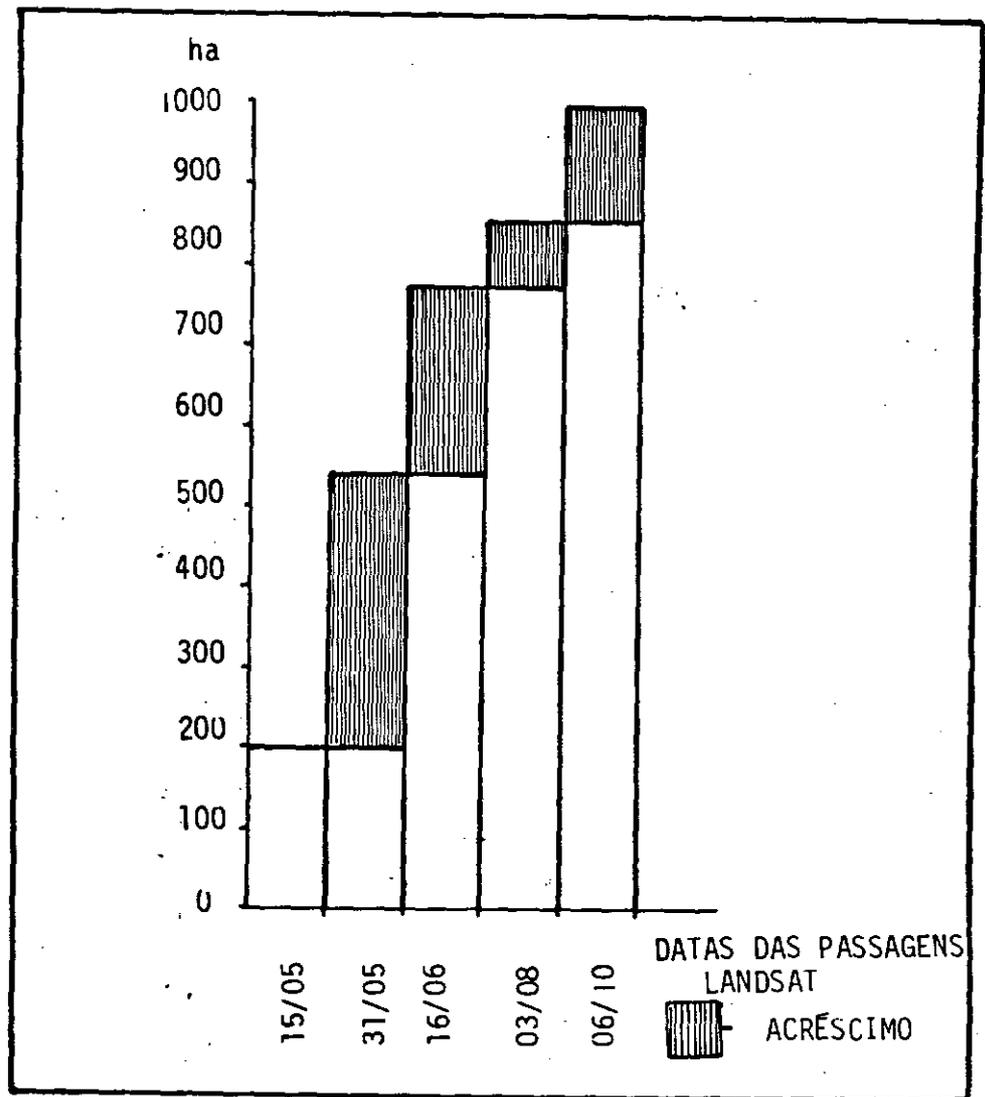


Fig. 19 - Variação da área irrigada por passagem LANDSAT.

Desta forma, as imagens TM adquiridas para o período com preendido entre maio e junho permitiram mapear a quase totalidade da área irrigada no período de deficiência hídrica.

3.2 - ABORDAGEM ESTATÍSTICA PARA A ESTIMATIVA DE ÁREAS IRRIGADAS

Esta abordagem foi desenvolvida com base em informações de segmentos amostrais de campo (unidades amostrais - UAs).

Durante os trabalhos de campo as áreas irrigadas, na maioria dos segmentos, foram demarcadas corretamente sobre as fotos aéreas de arquivo, com exceção de três segmentos para os quais não foi possível a delimitação das parcelas irrigadas. Estes segmentos não foram incluídos nas análises posteriores.

A Tabela 2 mostra a área irrigada a partir de dados de campo e sua estimativa com base em dados LANDSAT para os segmentos amostrados. Deve-se salientar que os segmentos que não possuíam área irrigada, e que foram classificados corretamente, não foram incluídos na comparação de interpretabilidade ou na seleção da melhor combinação de canais para as composições em falsa-cor. A razão da não inclusão daqueles segmentos se deve ao fato de a inclusão dar uma avaliação não-realista sobre a capacidade de discriminação da área irrigada.

A identificação da área irrigada, entretanto, requer bom conhecimento de fotointerpretação; por isto a análise dos segmentos com área irrigada revela a maior ou menor capacidade dos fotointerpretes e melhor combinação das bandas TM.

Observa-se na Tabela 2 que o coeficiente de correlação entre os cinco intérpretes é $r = 0,96$, o que indica que qualquer que seja o fotointerprete escolhido para executar este projeto com o uso do método combinado, a precisão de estimativa será praticamente igual.

TABELA 2

COMPARAÇÃO DE ESTIMATIVAS DE ÁREA IRRIGADA OBTIDA
POR CINCO INTÉRPRETES ATRAVÉS DE DADOS LANDSAT

| Nº SEGMENTO | ÁREA IRRIGADA (ha) | | | | | |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | INFORMAÇÃO DE CAMPO | COMPOSIÇÃO TM-LANDSAT | | | | |
| | | 2-3-4 | | | 5-3-4 | |
| | | INTERP. A | INTERP. B | INTERP. C | INTERP. D | INTERP. E |
| 6 | 11,48 | 14,00 | 13,75 | 12,75 | 13,75 | 12,75 |
| 9 | 0 | 2,12 | 2,75 | 2,00 | 2,87 | 2,75 |
| 10 | 2,62 | 1,88 | 0,75 | 0,65 | 0,75 | 1,27 |
| 11 | 15,80 | 6,12 | 7,25 | 7,25 | 7,00 | 5,40 |
| 12 | 5,18 | 0 | 0,75 | 0,13 | 0,50 | 0,80 |
| 13 | 39,44 | 34,88 | 34,00 | 34,50 | 32,25 | 32,50 |
| 14 | 46,79 | 43,25 | 51,75 | 43,25 | 51,70 | 39,37 |
| 17 | 4,44 | 6,50 | 4,50 | 4,00 | 4,75 | 6,12 |
| 18 | 5,22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 20,12 | 27,00 | 24,25 | 28,25 | 21,25 | 23,75 |
| 25 | 31,75 | 33,00 | 38,50 | 33,25 | 34,25 | 33,37 |
| 32 | 4,87 | 4,38 | 3,25 | 3,87 | 3,25 | 4,87 |
| 34 | 0 | 0,19 | 0,25 | 0,50 | 0,25 | 0,25 |
| 36 | 2,96 | 4,00 | 4,50 | 4,25 | 4,75 | 3,62 |
| 37 | 1,62 | 5,00 | 6,00 | 5,50 | 5,75 | 4,37 |
| COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO | | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |

A avaliação do melhor produto para identificação de área irrigada foi realizada através da análise de regressão usando os dados de área irrigada por segmento, coletados no campo, e a estimativa de área irrigada obtida por produto LANDSAT, através de um fotointérprete selecionado aleatoriamente.

O teste de homogeneidade dessas duas regressões lineares demonstrou que não havia diferença estatisticamente significativa ($\alpha = 0,01$) tanto para a declividade quanto para a intersecção (Tabela 3). Além disto, a comparação visual dos dois mapas finais, por composição TM em falsa cor, mostrou a semelhança em exatidão do mapeamento.

Estes resultados levaram a observar que a composição em falsa-cor usada com a combinação das bandas TM2,3 e 4 é tão eficiente quanto a combinação TM5,3 e 4 para a identificação de áreas irrigadas.

TABELA 3

TESTE DE HOMOGENEIDADE DE REGRESSÃO LINEAR
OBTIDO USANDO COMPOSIÇÕES TM/LANDSAT 5-3-4 e 2-3-4

| PARÂMETROS | COMPOSIÇÃO TM-LANDSAT | |
|---------------------------|-----------------------|---------|
| | 2-3-4 | 5-3-4 |
| \bar{X} | 12,20 | 12,08 |
| Σx^2 | 3422,27 | 3130,66 |
| Σy^2 | 3189,86 | 3189,86 |
| Σxy | 3096,84 | 3045,79 |
| a (intersecção) | 1,10 | 1,06 |
| b(declividade) | 0,96 | 0,97 |
| Ho: $\beta_1 = \beta_2$ | t = 0,0983 | n s |
| Ho: $\alpha_1 = \alpha_2$ | t = 0,0333 | n s |

Considerando, entretanto, que a combinação das bandas TM 2,3 e 4 é mais conhecida pelos fotointérpretes do que a combinação TM5, 3 e 4, escolheu-se o primeiro tipo de composição TM para este estudo.

Entre três fotointérpretes que analisaram a combinação TM2, 3 e 4, o intérprete B foi escolhido aleatoriamente para avaliar o desempenho do método combinado.

O tamanho da amostra ($n = 20$) foi escolhido arbitrariamente porque a utilização de uma amostra menor (5% da população ou 10 segmentos) neste estudo determinaria uma equação linear que passaria pela origem, com um alto coeficiente de correlação devido a sete pares de dados de valor zero, o que poderia conduzir a conclusões errôneas. Aqule tamanho de amostra foi escolhido, também, porque os primeiros vinte segmentos incluíram todos os tipos de erro (erro de omissão nos segmentos 12 e 18 e erro de inclusão no segmento 9) e as variações de intensidade de área irrigada (0 a 46,79 ha).

Com relação ao erro de omissão, pode-se exemplificar o segmento 12. Através dos trabalhos de campo realizados em setembro (16 a 20) e novembro (5 a 9), foi observada naquele segmento a presença de um talhão de solo exposto (preparado) e sua evolução para o cultivo de vagem irrigada (com aproximadamente 30 dias de implantação na verificação de campo realizada em novembro). Entretanto, a imagem disponível para este período foi a de 06 de outubro, o que não possibilitou a identificação do referido talhão, como área irrigada, em face da cultura se encontrar em estágio inicial de desenvolvimento.

A área irrigada obtida pela informação de campo e a estimada, a partir de dados LANDSAT, dos primeiros 20 segmentos são apresentadas na Tabela 4. O coeficiente de correlação para este conjunto de dados é de 0,97, e a análise de regressão confirmou a significância desta equação linear.

Através da interpretação visual das imagens obteve-se o valor de área irrigada de 1.005,37 ha, cuja precisão não pode ser estimada (Tabela 5). Quando esta estimativa de área irrigada foi corrigida, utilizando informação de campo para os segmentos amostrados, obteve-se uma área de 1138,42 ha com um coeficiente de variação de 11,72%.

Quando apenas as informações de campo (método de expansão direta) dos 20 segmentos amostrados foram utilizadas para estimar a área irrigada, obteve-se um valor de 1.480,68 ha com coeficiente de variação de 37,91%.

TABELA 4

ÁREA IRRIGADA NOS VINTE SEGMENTOS AMOSTRADOS

| Nº SEGMENTO | ÁREA IRRIGADA (ha) | |
|------------------|-----------------------------|-------------------|
| | INFORMAÇÕES DE CAMPO (Y) | TM-LANDSAT (X) |
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 |
| 6 | 11,48 | 13,75 |
| 7 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 2,75 |
| 10 | 2,62 | 0,75 |
| 11 | 15,80 | 7,25 |
| 12 | 5,18 | 0,75 |
| 13 | 39,44 | 34,00 |
| 14 | 46,79 | 51,75 |
| 15 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 |
| 17 | 4,44 | 4,50 |
| 18 | 5,22 | 0 |
| 19 | 20,12 | 24,25 |
| 20 | 0 | 0 |
| Soma | 151,09 | 139,75 |
| SQ | 4611,72 | 4692,69 |
| Y = 0,99 + 0,94X | | r = 0,97 |
| Ho: $\beta = 0$ | | F = 315,04** |

TABELA 5

COMPARAÇÃO DE ÁREAS IRRIGADAS OBTIDAS ATRAVÉS DE INFORMAÇÃO DE CAMPO (EXPANSÃO DIRETA), DO TM-LANDSAT, E DA ASSOCIAÇÃO DE INFORMAÇÃO DE CAMPO COM O TM-LANDSAT (MÉTODO DE REGRESSÃO)

| ESTIMATIVA DE ÁREA IRRIGADA (ha) | | |
|----------------------------------|------------|---------------------|
| EXPANSÃO DIRETA | TM-LANDSAT | MÉTODO DE REGRESSÃO |
| \bar{Y} 1480,68 | 1005,37 | 1138,42 |
| $V_{\bar{Y}}$ 315029,75 | — | 18846,46 |
| $S_{\bar{Y}}$ 561,28 | — | 137,28 |
| CV% 37,91 | — | 11,72 |
| eficiência relativa | — | 16,72 |

Comparando o método combinado com o método de expansão direta, este último é cerca de 16 vezes menos eficiente do que o primeiro. Isto significa que o método de expansão direta necessita 16 vezes mais segmentos amostrais do que o método combinado. A redução de 94,02% resultou portanto uma estimativa de área irrigada mais precisa e exata.

Para testar a consistência do sistema de amostragem foram utilizadas cinco repetições independentes com tamanho $n = 20$. Posteriormente, estas cinco repetições foram submetidas à análise de correlação, o que resultou em coeficiente aproximados de 0,97 (Tabela 6).

A abordagem que utiliza o método de expansão direta para a estimativa de área irrigada refere-se à situação de não-disponibilidade de passagens LANDSAT, sendo portanto apoiada exclusivamente em dados de campo.

TABELA 6

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE ÁREAS IRRIGADAS OBTIDAS NO CAMPO E DADOS DO TM USANDO CINCO REPETIÇÕES INDEPENDENTES (n = 20).

| REPETIÇÕES | r |
|-----------------|--------|
| 1. ^a | 0,9744 |
| 2. ^a | 0,9922 |
| 3. ^a | 0,9813 |
| 4. ^a | 0,9729 |
| 5. ^a | 0,9807 |

Para o caso de dispor de somente uma passagem LANDSAT de boa qualidade, a estimativa de área irrigada pode ser obtida pelo método de regressão com apoio de dados de campo. Deve-se salientar que para esta situação a estimativa restringe-se à data de passagem do satélite.

O fluxograma da Figura 21 ilustra a seqüência para aquelas opções, incluindo a abordagem da análise multitemporal de dados LANDSAT para a estimativa de área irrigada.

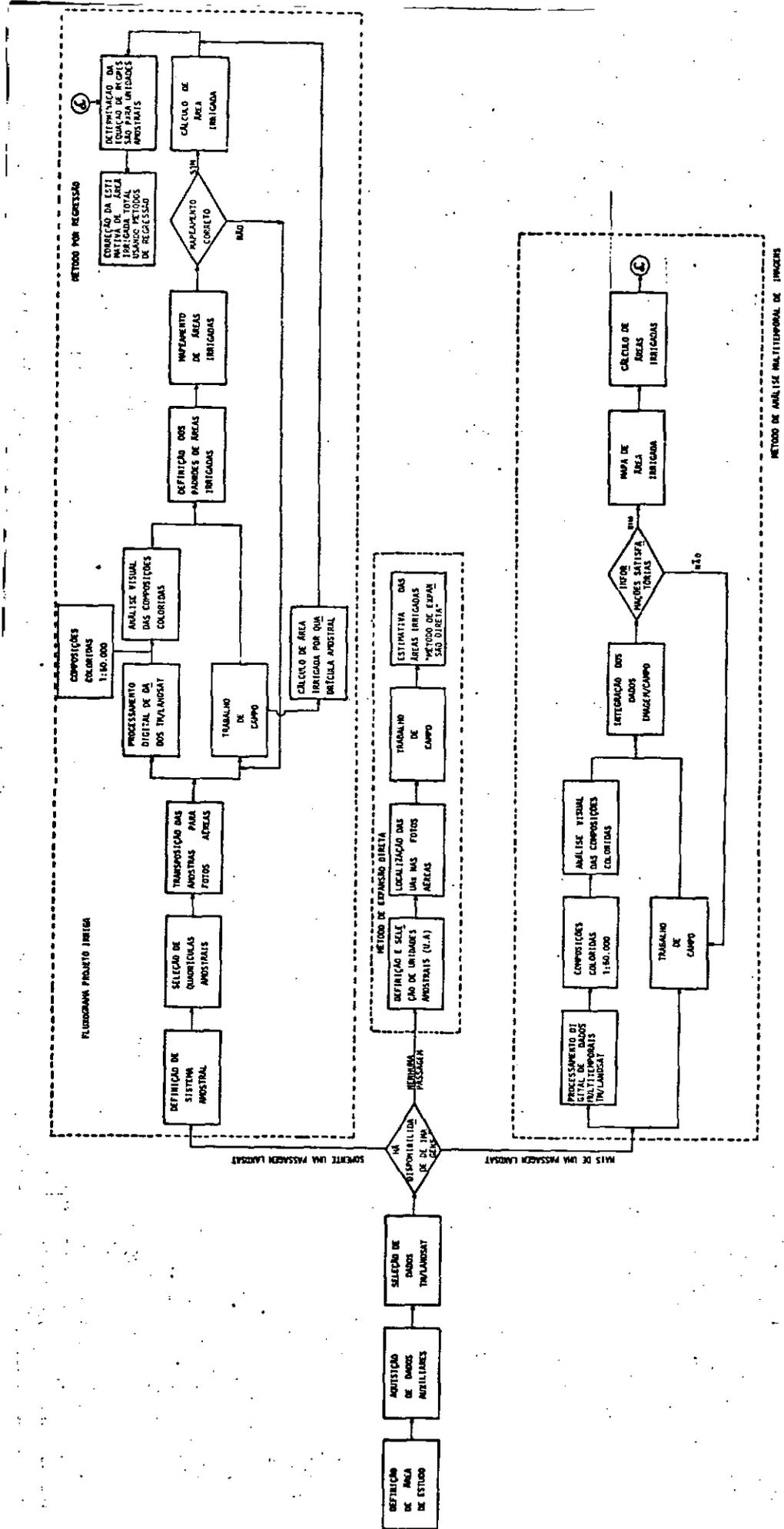


Fig. 21 - Abordagens para o desenvolvimento de trabalho na estimativa de áreas irrigadas.

4. CONCLUSÕES

A partir do material e método empregados, pode-se concluir que as imagens TM/LANDSAT se mostraram viáveis para a detecção e o acompanhamento de talhões de cultivo irrigado, mesmo para regiões que apresentam complexidade ambiental, como é o caso da região de Itatiba-Bragança Paulista (SP).

A análise multitemporal de composições TM em falsa cor, referentes às bandas TM2 (filtro azul), TM3 (filtro verde) e TM4 (filtro vermelho) e TM5 (filtro azul), TM3 (filtro verde) e TM4 (filtro vermelho), com realce de contraste (contrast stretch), mostrou-se eficiente para a detecção de talhões irrigados.

Por outro lado, em períodos em que houver dificuldade de obtenção de dados LANDSAT, em face de condições meteorológicas desfavoráveis nas datas de passagem do satélite, pode ser utilizado método de inventário baseado em amostragem estatística. Este sistema é flexível no sentido de poder ser aplicado independentemente da disponibilidade de imagens LANDSAT. Entretanto, a incorporação de informações TM melhora sensivelmente a precisão e a exatidão da estimativa de áreas irrigadas.

Observou-se que na utilização do método combinado não houve interferência dos diferentes fotointerpretes, quando se analisou a precisão da estimativa de área irrigada. Neste aspecto deve-se salientar que para o desenvolvimento deste trabalho contou-se com fotointerpretes capacitados para análise de imagens TM/LANDSAT.

A partir da análise das imagens TM/LANDSAT selecionadas, pôde-se observar que o período de maio a junho foi o que forneceu maior volume de dados referentes às áreas irrigadas na região de estudo, dada as suas características ambientais e do calendário agrícola.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao DAEE-SP interessa obter uma estimativa de áreas de cultivo irrigado em tempo que anteceda ao período crítico de demanda de água (que no caso da região de estudo são os meses de agosto e setembro - Novo et alii, 1985) para ter condições de adotar medidas que possam minimizar o efeito de usos conflitantes dos recursos hídricos naquele período.

Desta forma dados de área irrigada obtidos até o final do mês de julho através de dados TM/LANDSAT podem ser considerados relevantes para a adoção de medidas corretivas por parte do DAEE-SP.

Por outro lado, o monitoramento multitemporal de áreas irrigadas se revela importante também à medida que podem ser observadas as tendências de concentração de talhões irrigados em determinados setores de uma bacia hidrográfica. Isto pode fornecer dados substanciais para avaliar o comprometimento e a sobrecarga de determinados cursos d'água em termos de abastecimento.

Estes dados podem então fornecer subsídios ao planejamento do uso racional da água não só a curto como a médio prazos para um sistema hidrográfico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUER, E.H.; BAGGETT, J.D.; WALL, S.L.; THOMAS, R.W.; BROWN, C.E. Results of an irrigated lands assessment for water management in California. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 22(6): 536-539, 1984.
- DRAEGER, W.C. Monitoring land acreage using LANDSAT imagery: An application example. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 11, Ann Arbor, MI, 1977. *Proceedings*, Ann Arbor, MI, University of Michigan. V.1. p. 515-524.
- HELLER, R.C.; JOHNSON, K.A. Estimating irrigated land acreage from LANDSAT imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45(10):1379-1386, 1979.
- INPE. Image Manipulation Operator's Manual. São José dos Campos, INPE, dez. 1981. (não publicado).
- MORETON, G.E.; RICHARDS, J.A. Irrigated crop inventory by classification of satellite image data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 50(6): 729-734, 1984.
- NOVO, E.M.L.M.; PINTO, S.A.F.; PALME, U.W.; ROSA, R. Relatório preliminar do projeto cadastramento de áreas irrigadas no Estado de São Paulo através de dados de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, março, 1985. (INPE-3437-RPE/473).
- PINTO, S.A.F.; NOVO, E.M.L.M.; CHEN, S.C.; VALÉRIO FILHO, M.; ROSA, R.; MENDES, V.E.; FEITOSA, L.C. Relatório do projeto cadastramento de áreas irrigadas no Estado de São Paulo através de dados de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, maio, 1985. (INPE-3543-RTR/077).
- RAY, R.M. III, HUDDLESTON, H.F. "Illinois crop acreage estimation experiment". IN: Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue IN, 1976. Proceedings. West Lafayette, IN, Purdue University, LARS, 1976.

- REDONDO, F.V.; PRUGENT, C.L.; GARGANTINI, C.; ANTES, M. Crop identification and area estimation: an approach to evaluate Argentine main crop areas using LANDSAT data. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 18, Paris, France, 1984, p. 1541-1549
- SIGMAN, R.; GLEASON, C.P.; HANUSCHAK, G.A.; STARBUCK, R.R. "Stratified acreages estimates in the Illinois crop-acreage experiment". In: Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue, IN, 1977. Proceedings. West Lafayette, IN, Purdue University, LARS, 1977, p. 80-90.
- THOMAS, R.W.; BERK, L.H.; BROWN, C.E.; WALL, S.L. Development of a satellite-aided crop acreage estimation and mapping system for the State of California. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 18, Paris, France, 1984. Proceedings, Ann Arbor, MI, ERIM, 1984, p. 1283-1294.
- WALL, S.L.; THOMAS, R.W.; BROWN, C.E. LANDSAT - based inventory system for agriculture in California. Remote Sensing of Environment, 14:267-278, 1984.
- WIGTON, W.H.; BORMANN, P. A guide to area sampling frame construction utilizing satellite imagery. UN Outer Space Affairs Division, 1978.

APÊNDICE A

MAPA DE ÁREAS IRRIGADAS

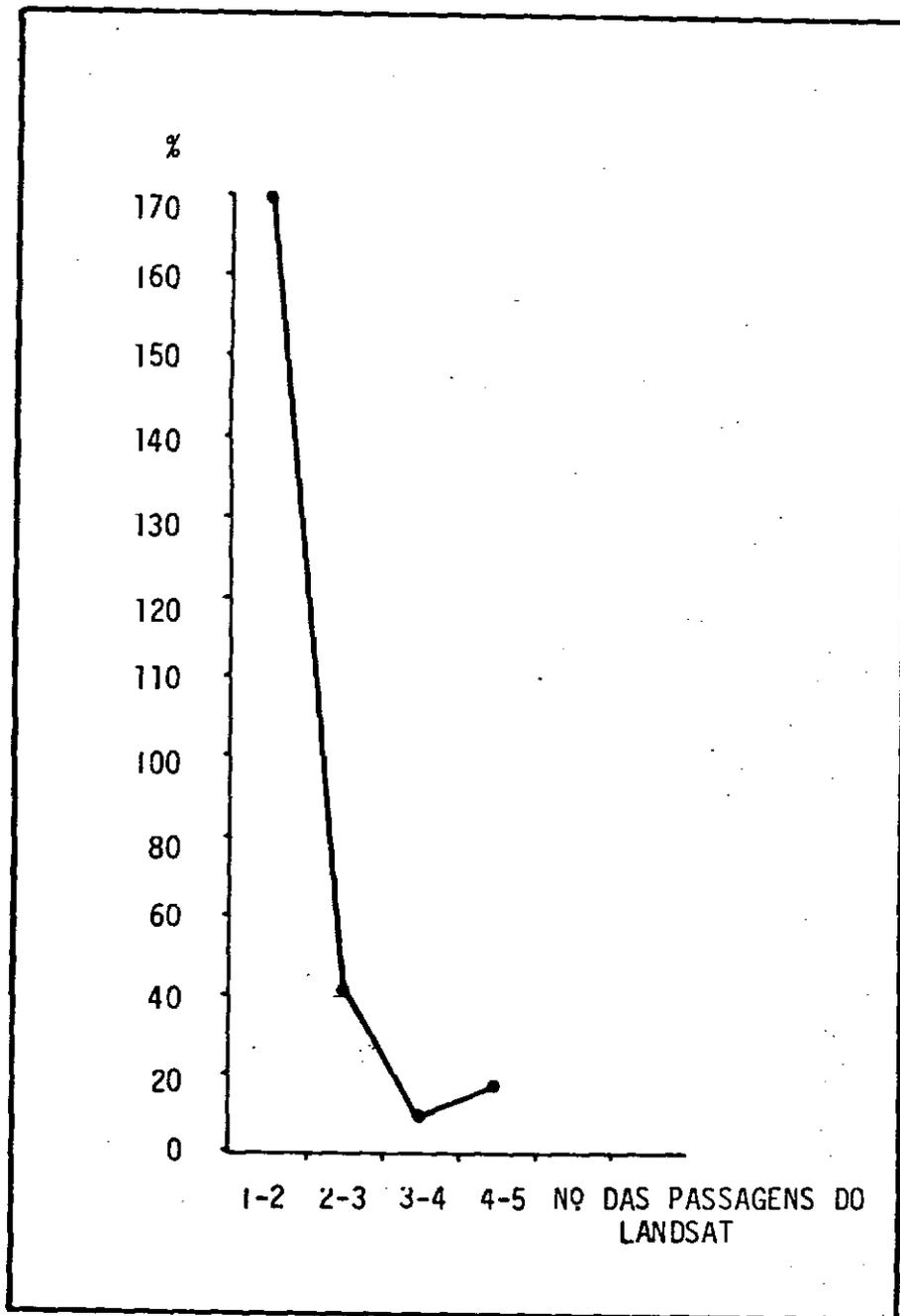


Fig. 20 - Porcentagem de área irrigada por passagem LANDSAT.

