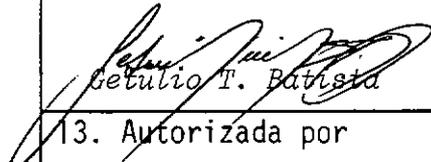
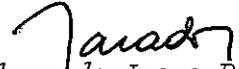


| | | | |
|---|--------------------------|---|--|
| 1. Publicação nº <i>INPE-3437-RPE/473</i> | 2. Versão | 3. Data <i>Março, 1985</i> | 5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita |
| 4. Origem <i>DSR</i> | Programa <i>USUEX</i> | | |
| 6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>MAPEADOR TEMÁTICO BACIA DO RIO PIRACICABA</i> <i>CADASTRAMENTO DE ÁREAS IRRIGADAS</i> | | | |
| 7. C.D.U.: <i>528.711.7:628(816.1)</i> | | | |
| 8. Título <i>RELATÓRIO PRELIMINAR DO PROJETO CADASTRAMENTO DE ÁREAS IRRIGADAS NO ESTADO DE SÃO PAULO, ATRAVÉS DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO</i> | | 10. Páginas: <i>64</i> | |
| | | 11. Última página: <i>D.1</i> | |
| | | 12. Revisada por | |
| 9. Autoria <i>Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo</i> <i>Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto</i> <i>Ulf Walter Palme</i> <i>Roberto Rosa</i> | | 13. Autorizada por  <i>Getulio T. Batista</i> | |
| Assinatura responsável  | |  <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor Geral | |
| 14. Resumo/Notas <i>Apresentam-se os resultados preliminares do convênio firmado entre o DAEE/SP e o INPE/CNPq, o qual visa a operacionalização de uma metodologia de cadastramento de áreas irrigadas através de técnicas de sensoriamento remoto. A área de estudo compreende a Bacia do Rio Piracicaba (SP) devido à sua complexidade na utilização de recursos hídricos, (áreas-testes de Itatiba e Iracemápolis). Esta avaliação foi feita utilizando técnicas de processamento digital de imagens do sensor TM (Mapeador Temático/LANDSAT) em 6 bandas e em duas épocas (julho e setembro). O processamento digital consistiu em: a) ampliação das imagens para a escala de 1:100.000 e posterior extração de parâmetros estatísticos; b) aquisição de composições coloridas; c) teste de técnicas de realce de imagens; d) teste do desempenho de técnicas de classificação supervisionada e não-supervisionada utilizando dados coletados em trabalho de campo realizado no final de setembro e e) estudo do comportamento espectral de áreas irrigadas versus áreas não-irrigadas. Os resultados preliminares mostram que no município de Iracemápolis, caracterizado pela monocultura da cana-de-açúcar, as bandas mais promissoras foram a TM 4 e TM 7, enquanto no município de Itatiba, onde há predominância de pequenas áreas olerícolas, as mais promissoras foram a TM 4 e TM 5, bem como algumas composições coloridas. Discutem-se as etapas a serem cumpridas, de modo a concluir os objetivos propostos para o presente convênio, em face dos problemas surgidos no decorrer do trabalho.</i> | | | |
| 15. Observações <i>Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE/SP, dentro do Convênio CNPq/INPE-DAEE/SP - Reg. nº 840.1.058.0/84.</i> | | | |

ABSTRACT

Preliminary results concerning the Agreement between INPE/CNPq and DAEE/SP aiming at an operational methodology to survey irrigated areas by remote sensing techniques are presented. The study area encloses the Piracicaba river basin due to its water resources complexity. The municipalities of Itatiba and Iracemápolis were chosen as test sites. LANDSAT/TM bands, from July and September, were evaluated through the following approach in digital processing: a) image enlargement to the scale of 1:100,000 and subsequent extraction of statistical parameters; b) acquisition of colour composites; c) tests of image enhancement techniques; d) performance test of supervised and unsupervised classification techniques, using data from a field work carried out at the end of September; e) study on the spectral signature of irrigated versus nonirrigated areas. Preliminary results show that: TM bands 4 and 7 were most promising for the extensive sugar-cane plantations of Iracemápolis; TM bands 4 and 5, as well as some colour composites, were best for the small olericultural areas of Itatiba. Due to some problems that arose, the stages necessary to fulfil the objectives of this agreement are discussed.

SUMÁRIO

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| LISTA DE TABELAS | v |
| LISTA DE FIGURAS | viii |
| 1 - ANTECEDENTES | 1 |
| 2 - METODOLOGIA DE CADASTRAMENTO DE ÁREAS IRRIGADAS ATRAVÉS DE DADOS DO "THEMATIC MAPPER" DO LANDSAT-5 | 5 |
| 2.1 - Trabalhos anteriores | 5 |
| 2.2 - Procedimentos | 15 |
| 2.2.1 - Seleção de áreas testes | 15 |
| 2.2.2 - Seleção das Épocas de Aquisição de Imagens | 17 |
| 2.2.3 - Trabalho de campo | 19 |
| 2.2.4 - Processamento digital de imagens TM | 23 |
| 3 - RESULTADOS PRELIMINARES | 27 |
| 3.1 - Comportamento espectral de áreas irrigadas | 27 |
| 3.2 - Caracterização de áreas irrigadas em imagens processadas digitalmente | 33 |
| 4 - ATIVIDADES FUTURAS | 42 |
| 5 - CONCLUSÕES PRELIMINARES | 43 |
| 6 - QUESTÕES A SEREM INVESTIGADAS COM MAIS PROFUNDIDADE | 44 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 45 |
| APÊNDICE A - CADASTRO DE ÁREAS IRRIGADAS DO ESTADO DE SÃO PAULO | |
| APÊNDICE B - FICHA DE AVALIAÇÃO DE PRODUTOS TM PROCESSADOS DIGITALMENTE | |
| APÊNDICE C - CARACTERÍSTICAS DAS PROPRIEDADES COM CULTURAS IRRIGADAS A PARTIR DE DADOS DE CAMPO - ITATIBA | |
| APÊNDICE D - CARACTERÍSTICAS DAS PROPRIEDADES COM CULTURAS IRRIGADAS A PARTIR DE DADOS DE CAMPO - IRACEMÁPOLIS | |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 1 - Faixas espectrais do MSS/LANDSAT | 1 |
| 2 - Cronograma inicial do projeto DAEE/SP | 4 |
| 3 - Faixas espectrais do TM/LANDSAT-5 | 10 |
| 4 - Porcentual de área irrigada na bacia do rio Piracicaba, por município | 16 |
| 5 - Balanço hídrico da bacia do rio Piracicaba | 18 |
| 6 - Dados TM/LANDSAT selecionados para processamento digital | 23 |
| 7 - Parâmetros estatísticos das classes de cobertura do solo no município de Iracemápolis | 28 |

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 1 - Localização da área de estudo | 3 |
| 2 - Comportamento espectral do trigo no estágio de perfilhamento em função das condições de irrigação | 13 |
| 3 - Comportamento espectral do trigo no estágio de maturação em função das condições de irrigação | 14 |
| 4 - Comportamento espectral do trigo irrigado em relação a diferentes tipos de cobertura do solo | 14 |
| 5 - Número de passagens com cobertura de nuvem inferior a 20%, por mês, para o período de 1973 a 1981 | 20 |
| 6 - Disponibilidade de imagens por ano entre 1973 e 1981 | 21 |
| 7 - Anotações de campo - município de Itatiba | 22 |
| 8 - Curva espectral de áreas de cana irrigada e cana não-irrigada a partir de dados digitais do TM LANDSAT | 30 |
| 9 - Comportamento espectral de tipos de cobertura do solo a partir de dados digitais do TM LANDSAT | 31 |
| 10- Composição colorida TM 1, TM 2, TM 3 - Iracemápolis | 35 |
| 11- Composição colorida TM 2, TM 3, TM 4 - Iracemápolis | 35 |
| 12- Composição colorida TM 3/TM 4/TM 5 - Iracemápolis | 38 |
| 13- Composição colorida TM 4/TM 5/TM 7 - Iracemápolis | 38 |
| 14- Comportamento espectral de solos e culturas irrigadas | 40 |
| 15- Composição colorida - TM 3/TM 4/TM 5 - Itatiba | 41 |

1. ANTECEDENTES

Em 1983 técnicos do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) entraram em contato com técnicos do Departamento de Sensoriamento Remoto (DSR) do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) no sentido de estudar a viabilidade de utilização de dados coletados a bordo do satélite LANDSAT para monitoramento de áreas irrigadas.

Como resultado desses contatos Epiphanyo e Vitorello (1983) realizaram uma série de testes com imagens MSS - (Multispectral Scanner Subsystem) - LANDSAT na região de Guaíra (SP). As imagens MSS referem-se à região do espectro compreendida entre 0,5 μm e 1,1 μm , que está dividida em quatro faixas (Tabela 1) ou canais espectrais.

TABELA 1

FAIXAS ESPECTRAIS DO MSS/LANDSAT

| CANAL | FAIXA ESPECTRAL |
|-------|-------------------------|
| MSS 4 | 0,5 - 0,6 μm |
| MSS 5 | 0,6 - 0,7 μm |
| MSS 6 | 0,7 - 0,8 μm |
| MSS 7 | 0,8 - 1,1 μm |

Tais faixas espectrais, embora amplas, teriam potencial para detectar áreas irrigadas, uma vez que na faixa referente ao MSS 5 encontra-se um pico de absorção pela clorofila e nas faixas do MSS 6 e MSS 7 encontram-se regiões de alta reflexão pela vegetação.

Apesar das limitações do elemento de resolução espacial do subsistema MSS (79 metros X 57 metros), Epiphanyo e Vitorello (1983) puderam identificar principalmente áreas irrigadas que utilizavam sistema do tipo pivô-central e autopropelido.

Entretanto, a extensão dos resultados de Guaíra para outras regiões do Estado de São Paulo tornava-se problemática tendo em vista os seguintes aspectos:

- 1) Guaíra é uma região de pastagens sujeitas a estresse no período de deficiência hídrica do solo, o que favorece o contraste espectral entre áreas irrigadas (vegetação vigorosa) e não-irrigadas;
- 2) Guaíra encontra-se numa região de terreno com topografia suavemente ondulada que não impõe aos dados MSS variações devido ao relevo (sombreamento);
- 3) o sistema pivô-central oferece um elemento de identificação bastante óbvio, que é a forma circular das áreas irrigadas;
- 4) as parcelas irrigadas são relativamente grandes, portanto compatíveis com o elemento de resolução espacial do MSS;
- 5) a disponibilidade de imagens MSS referentes ao período de deficiência hídrica que favoreceriam a discriminação entre áreas irrigadas e não-irrigadas.

Face ao exposto, a operacionalização de uma metodologia de cadastramento de áreas irrigadas, através de técnicas de sensoriamento remoto, no Brasil requer uma ampla fase de pesquisa e experimentação.

Desta forma, em março de 1984 o CNPq/INPE submeteu ao DAEE um plano de pesquisa que visava a avaliação de dados orbitais para cadastramento de áreas irrigadas. Atendendo a sugestões de técnicos do DAEE/SP, este plano foi elaborado para a bacia do rio Piracicaba (Figura 1), uma vez que esta abrange feições fisiográficas representativas de grande parte do Estado de São Paulo e apresenta alto potencial de conflito no uso de seus recursos hídricos.

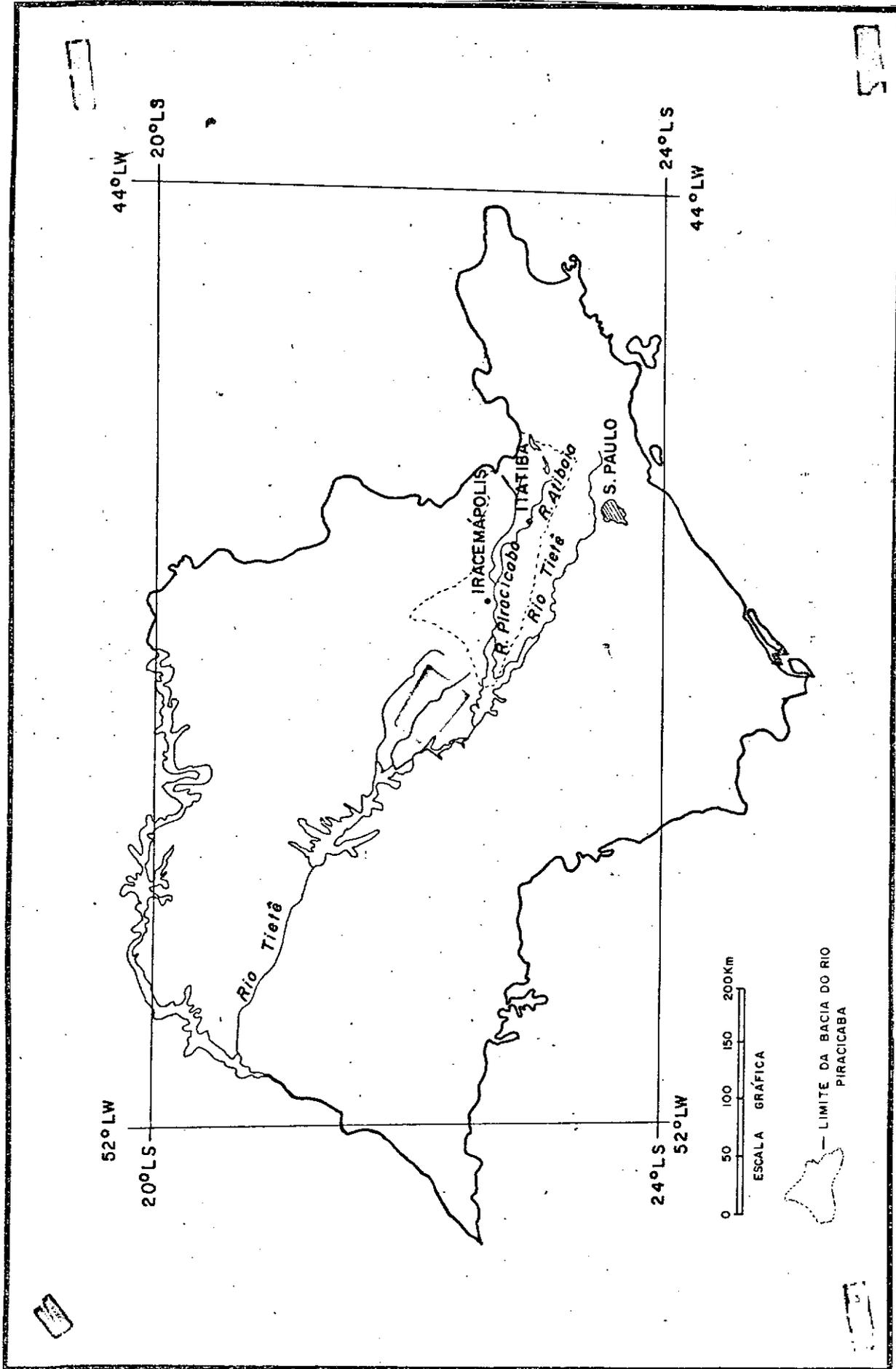


Fig. 1 - Localização da Área de Estudo.

Este plano inicial de pesquisa, enviado ao DAEE/SP em março de 1984 e aprovado em outubro de 1984, baseava-se na utilização de dados MSS/LANDSAT e previa o teste eventual de dados do novo sistema a bordo do quinto satélite da série LANDSAT, o Thematic Mapper (TM), uma vez que o Brasil só estaria apto a receber tais dados a partir de junho de 1984.

Desta maneira os objetivos iniciais do projeto eram: a) adequar a metodologia de Epiphany e Vitorello (1983) às condições da bacia hidrográfica do rio Piracicaba (SP); b) determinar época(s) mais favorável(is) à detecção de áreas irrigadas; c) determinar o tamanho mínimo de parcela irrigada detectável através de dados MSS; d) avaliar o efeito da topografia como fator limitante à detecção de áreas irrigadas; e) identificar a geometria de iluminação mais favorável à detecção de áreas irrigadas face às restrições impostas pelo calendário agrícola.

O cronograma proposto para a execução desses objetivos encontra-se na Tabela 2.

TABELA 2

CRONOGRAMA INICIAL DO PROJETO DAEE/SP

| Nº | A T I V I D A D E | 1 9 8 4 | | | | | |
|----|---|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
| 1 | SELEÇÃO DE ÁREAS TESTES | — | | | | | |
| 2 | SELEÇÃO DE ÉPOCAS | — | | | | | |
| 3 | SELEÇÃO E AQUISIÇÃO DE IMAGENS | — | | — | | | |
| 4 | IDENTIFICAÇÃO PRELIMINAR DE ÁREAS IRRIGADAS | — | — | | | | |
| 5 | TRABALHO DE CAMPO | | — | — | | | |
| 6 | ANÁLISE DE DADOS RADIOMÉTRICOS | | | — | — | | |
| 7 | ANÁLISE DE DADOS DIGITAIS | | | | — | — | — |
| 8 | CÁLCULO DE ÁREAS IRRIGADAS | | | | | — | — |
| 9 | RELATÓRIO FINAL | | | | | — | — |

Tendo em vista que o plano sô veio a ser aprovado em 17/10/84, a sua execução sofreu algumas alterações, passando a vigorar um plano alternativo proposto de comum acordo com o DAEE/SP e que comportu as seguintes modificações: a) a metodologia a ser desenvolvida passaria a ser baseada em dados do Thematic Mapper (TM) com elemento de resolução espacial de 30 m X 30 m, sete faixas espectrais, o que envolvia um esforço adicional de pesquisa, uma vez que o DSR não tinha experiência anterior com tal sistema sensor; b) a fase de radiometria de campo seria suprimida do trabalho, visto que sua execução fora da época adequada comprometeria seus resultados.

Desta maneira, do cronograma original (Tabela 2) foram executadas as atividades 1 e 2, antes da assinatura do Convênio, uma vez que não envolviam a mobilização imediata de recursos financeiros. Neste cronograma estava previsto um trabalho de campo inicial em julho/agosto (período de maior deficiência hídrica), quando seriam cadastradas amostras de áreas irrigadas a serem utilizadas na fase de treinamento do sistema de análise digital de imagens multiespectrais. Nesta fase também seriam tomadas medidas radiométricas de campo nas áreas amostrais para avaliar a separabilidade espectral das diferentes culturas irrigadas. Com o atraso na assinatura do convênio, o trabalho de campo sô pôde ser realizado em final de setembro, quando já não se justificava a tomada de dados radiométricos, uma vez que neste período as primeiras chuvas de vereão já teriam ocorrido, alterando as condições de vigor das plantas não-irrigadas.

2. METODOLOGIA DE CADASTRAMENTO DE ÁREAS IRRIGADAS ATRAVÉS DE DADOS DO "THEMATIC MAPPER" DO LANDSAT-5

2.1 - TRABALHOS ANTERIORES

Existem numerosos trabalhos que relatam a utilização de dados de sensoriamento remoto para estimativa de áreas irrigadas. Draeger (1977) realizou um estudo visando três objetivos básicos: a) demonstrar uma metodologia de utilização de imagens MSS/LANDSAT para avaliação de áreas irrigadas; b) avaliar o custo da metodologia e c) avaliar sua pre

cisão. A área de estudo selecionada foi a bacia do rio Klamath nos Estados de Oregon e da Califórnia (EUA).

Draeger (1977) utilizou basicamente técnicas de interpretação visual. Trabalhou com imagens na escala 1:250.000, em forma de composições infravermelhas em falsa-cor. As imagens MSS foram adquiridas para dois períodos: a) início da estação de crescimento da cultura e b) período de crescimento máximo da cultura. O autor, desta maneira, enfatiza a importância de conhecer as práticas agrícolas da área em estudo e as condições de crescimento das culturas irrigadas.

A metodologia proposta por Draeger (1977) prevê a estratificação das áreas irrigadas em regiões com características semelhantes quando: a) ao tipo de cultura; b) ao tamanho das parcelas; c) às condições de drenagem; d) ao tipo de solo; e) ao relevo. Esta estratificação visa isolar áreas com fatores que afetam diferencialmente a separabilidade de áreas irrigadas. O autor relata que estratos com parcelas irrigadas pequenas tendem a oferecer maiores erros amostrais. Áreas com condições específicas de drenagem dos solos podem dificultar a separação entre áreas irrigadas e não-irrigadas.

Draeger (1977) estimou também que o custo de mapeamento de áreas irrigadas por métodos convencionais é cerca de 14 vezes superior àquele determinado por métodos de sensoriamento remoto. O erro amostral, entretanto, é bastante variável em função das características dos estratos em que se trabalha e do conhecimento prévio que o intérprete tenha da área em estudo. Em média, um intérprete que conhece a região em estudo teve um erro na estimativa de área irrigada de ± 7800 ha, numa área total amostrada de cerca de 250.000 ha.

Bauer et alii (1984) trabalhando no Estado da Califórnia (EUA) relatam uma experiência semelhante à de Draeger, em que imagens MSS/LANDSAT são utilizadas num esquema de inventário de áreas irrigadas. Os tipos de dados disponíveis incluíam: a) composições coloridas em falsa-cor do MSS/LANDSAT, na escala de 1:150.000, em três períodos; b) da

dos de campo suplementados por fotografias aéreas de 35 mm; c) fotografias coloridas infravermelhas na escala de 1:130.000. A área foi estratificada por bacia hidrográfica e as unidades amostrais foram alocadas em função da rede de estradas e da topografia.

Para estratificar a região e alocar as áreas amostrais foram utilizadas imagens MSS na escala de 1:1.000.000. O critério de interpretação visual de dados incluiu os seguintes pressupostos básicos aplicáveis às regiões semi-áridas: a) uma cultura em crescimento no verão é caracterizada, nas composições em falsa-cor, pela cor vermelha (como são as condições hídricas para crescimento em áreas irrigadas, tais culturas são classificadas como "áreas irrigadas"); b) além da cor vermelha, outros critérios como padrão, textura e forma dos campos são também utilizados.

Bauer et alii (1984) também salientam o efeito das características dos estratos no erro das estimativas de área irrigada. O erro relativo (para um nível de confiança de 95%) variou de 1,7%, na bacia hidrográfica do Deserto do Colorado, a 13,91% na bacia hidrográfica de South Lanonthan.

Kolm e Lee Case III (1984) relatam uma série de testes realizados com imagens MSS/LANDSAT com o objetivo de identificar e avaliar a área ocupada por culturas irrigadas. O trabalho foi realizado no Estado de South Dakota (EUA), caracterizado por relevo em geral plano e por vegetação gramínea (pradarias). As principais culturas irrigadas da área são a alfafa, o milho e a soja. Na mesma época também se cultiva o trigo que não é irrigado.

Tendo em vista as características da área estudada por Kolm e Lee Case III (1984) podem-se definir as áreas irrigadas a partir dos padrões de cultivo e da reflectância. As culturas apresentam padrões quadrados ou circulares, sendo que estes últimos foram associados a culturas irrigadas com sistemas de pivô-central. Os autores, à semelhança de Draeger (1977) e Bauer et alii (1984), também salientaram a im

portância de conhecer o calendário agrícola da área para o sucesso da de tecção de áreas irrigadas em imagens MSS/LANDSAT.

Kolm e Lee Case III (1984) testaram quatro técnicas para identificar culturas irrigadas: a) interpretação visual de composições em falsa cor; b) fatiamento (density slice) de níveis de cinza em canais individuais do MSS; c) interpretação visual e classificação de imagens "ratio" realçadas logaritmicamente (logarithmic stretch); d) de interpretação visual de classificações supervisionadas e não-supervisionadas.

Os autores consideraram a técnica ineficiente, quando a precisão de classificação foi inferior a 80%. Assim sendo, a técnica de interpretação visual de composições em falsa-cor foi abandonada por não apresentar um bom desempenho.

A análise de canais individuais por fatiamento de níveis de cinza permitiu identificar o canal MSS 7 como o de maior potencial in dividua para identificar áreas irrigadas.

As imagens "ratio" realçadas logaritmicamente foram obti das dividindo os níveis de cinza, "pixel" a "pixel", do canal 7 pelos níveis de cinza, "pixel" a "pixel", do canal 5. A imagem resultante foi posteriormente realçada através de uma ampliação logarítmica do de contraste. Os produtos da interpretação visual da imagem resultante foram de bastante satisfatórios, permitindo identificar alfafa irrigada com uma de precisão de mapeamento de 95%. Esta imagem, entretanto, não produziu de bons resultados, ao ser utilizada para classificação digital, quando a de precisão caiu para 43%. O milho e a soja tiveram precisões de mapeamento de inferiores às da alfafa.

As imagens MSS/LANDSAT foram também submetidas à de classificação não-supervisionada através de um algoritmo de agrupamento (clustering). Kolm e Lee Case III (1984) identificaram 57 classes de espectralmente diferentes, que foram agrupadas utilizando o critério de de divergência ponderada. Com auxílio de dados "de campo" chegou-se a uma de melhor de

finição de classes das quais se geraram as estatísticas necessárias para implementar um algoritmo de classificação supervisionada, baseado no critério de máxima verossimilhança. A classificação supervisionada resultou em 20 classes espectrais, que foram relacionadas a 7 classes de uso do solo.

Os autores deste trabalho concluíram que o grau de precisão das técnicas aumenta com a sofisticação envolvida no tratamento dos dados. Salientaram também que a precisão de mapeamento das áreas irrigadas varia com o tipo de cultura analisada.

Embora haja trabalhos realizados com MSS/LANDSAT com o objetivo de detecção de áreas irrigadas, poucas referências da utilização de dados do Thematic Mapper/LANDSAT (TM) foram encontradas, principalmente porque este sistema está em operação apenas desde meados de 1982.

O sensor "Thematic Mapper" foi colocado a bordo do LANDSAT 4 que apresentou problemas de transmissão logo após seu lançamento. Desta forma, foi enviado ao espaço o satélite LANDSAT 5 com um sensor TM, do qual o INPE recebe dados desde abril de 1984.

O sistema "Thematic Mapper" apresenta algumas características que o tornam mais promissor que o MSS/LANDSAT. Em primeiro lugar sua resolução espacial é mais fina (30 m x 30 m nas bandas do visível e do infravermelho próximo e médio). Este sensor também opera com maior número de canais ou bandas espectrais (7), as quais foram selecionadas de forma mais cuidadosa em termos da separabilidade espectral de objetos da superfície (Townshend et alii, 1983). As faixas espectrais do TM encontram-se descritas na Tabela 3.

TABELA 3

FAIXAS ESPECTRAIS DO TM/LANDSAT-5

| CANAIS | FAIXA ESPECTRAL (μm) | OUTRAS CARACTERÍSTICAS RELEVANTES |
|--------|--------------------------------------|---|
| 1 | 0,45 - 0,52 | NÍVEIS DE CINZA = 256 FAIXA DE VARREDURA = 185 km ELEMENTO DE RESOLUÇÃO ESPACIAL = 30 m (1, 2, 3, 4, 5 e 7) 120 m (6) ALTITUDE DO SATÉLITE = 705 km FREQUÊNCIA DE COBERTURA = 16 DIAS |
| 2 | 0,52 - 0,60 | |
| 3 | 0,63 - 0,69 | |
| 4 | 0,76 - 0,90 | |
| 5 | 1,55 - 1,75 | |
| 7 | 2,08 - 2,35 | |
| 6 | 10,4 - 12,5 | |

Alguns trabalhos realizados com simulações de canais do TM permitem fazer algumas inferências sobre seu desempenho na detecção de áreas irrigadas.

Holben et alii (1983) estudaram o efeito do estresse hídrico na resposta espectral da soja nas bandas correspondentes aos canais 3, 4 e 5 do "Thematic Mapper". Os dados de reflectância foram obtidos através de radiômetros de campo. Os autores mediram a reflectância total e a reflectância difusa para diferentes ângulos de visada. Os resultados indicaram que a faixa relativa ao TM 4 (0,76 - 0,90 μm) foi a que melhor identificou a situação de estresse hídrico quando esta esteve associada à mudança no ângulo das folhas (murchamento) e, em alguns casos, à exposição do solo. Os resultados deste estudo sugerem que os dados coletados no canal 4 do TM são sensíveis ao estresse hídrico das folhas de soja. Há uma diminuição dos valores médios de reflectância com o aumen

to do estresse, o que pode ser explicado pela diminuição do espalhamento pelo dossel em decorrência da mudança de sua estrutura devido a modificação na geometria das folhas.

Os dados de radiometria no visível e infravermelho próximo são também úteis na detecção de estresse hídrico, através das modificações que este ocasiona na concentração de clorofila e/ou na estrutura das folhas. Tucker (1980) demonstrou que há uma redução na radiância do vermelho, quando se reduz o estresse hídrico pelo aumento na concentração de clorofila. Como o canal TM 3 coincide com uma banda de absorção pela clorofila, ele pode ser eficientemente utilizado para detecção de áreas sob diferentes níveis de estresse hídrico.

Townshend et alii (1983) e Townshend (1984) observaram que o grau de intercorrelação entre os canais TM é elevado, o que causa grande redundância de informação entre as três faixas do visível. A análise dos autovalores e autovetores para diferentes cenas demonstrou que os dados do TM têm somente três dimensões básicas. Entretanto, as faixas espectrais que contribuem para estes componentes variam de cena para cena. Assim, se o interesse é identificar a variabilidade interna das diferentes categorias de objetos, não se pode prescindir de todas as faixas do TM.

Hixson et alii (1978) realizaram uma série de experimentos visando avaliar o comportamento espectral do trigo sob diferentes condições de irrigação. Este estudo inclui também a comparação da cultura do trigo irrigado com outras culturas irrigadas ou não. Estes estudos foram realizados no meio-oeste americano (Kansas, North Dakota e South Dakota) e consistiram na aquisição de dados radiométricos no campo e a bordo de um helicóptero.

A Figura 2 representa a diferença na reflectância espectral do trigo devido à prática de irrigação no estágio de perfilhamento. A análise das curvas indica que a faixa de maior diferença entre campos irrigados e não-irrigados é aquela correspondente ao TM 4 (0,76 - 0,90 μm). Esta faixa está justamente orientada para avaliação de biomassa, ao contrário da faixa do TM 5 (1,55 - 1,75 μm) orientada para a detecção de variações de teor de umidade da vegetação (Blanchard and Weinstein, 1980). A melhor discriminação entre áreas irrigadas e não-irrigadas na faixa do TM 4 poderia estar associada ao fato de que o estresse de umidade impõe variações na estrutura do dossel à medida que modifica a geometria da folha como foi demonstrado por Holben et alii (1983) para a cultura de soja.

À medida que se desenvolve o ciclo vegetativo da cultura ocorrem diferenças substanciais nas faixas de maior competência para discriminação entre áreas irrigadas e não-irrigadas. A Figura 3, que representa a diferença de reflectância espectral do trigo irrigado e não-irrigado no estágio de maturação, demonstra que as faixas do espectro mais adequadas à detecção de áreas irrigadas seriam aquelas referentes aos canais TM 5 (1,55 - 1,75 μm) e TM 7 (2,08 - 2,35 μm).

Variações no estágio de crescimento da cultura podem provocar erros na identificação de áreas de culturas irrigadas. Para isto deve-se conhecer o calendário agrícola da área de estudo e ter um certo controle do nível em que tal calendário é cumprido.

O tipo de ocupação do solo da área em estudo também interfere na maior ou menor detectabilidade das áreas irrigadas. A Figura 4 representa a resposta espectral do trigo em relação a outros tipos de cultura durante o período de maturação. Observa-se que o trigo irrigado pode ser confundido, neste estágio, com outras culturas não-irrigadas. Nestas condições não existe uma faixa ótima, sendo necessário maior cuidado nos procedimentos de análise dos dados multiespectrais.

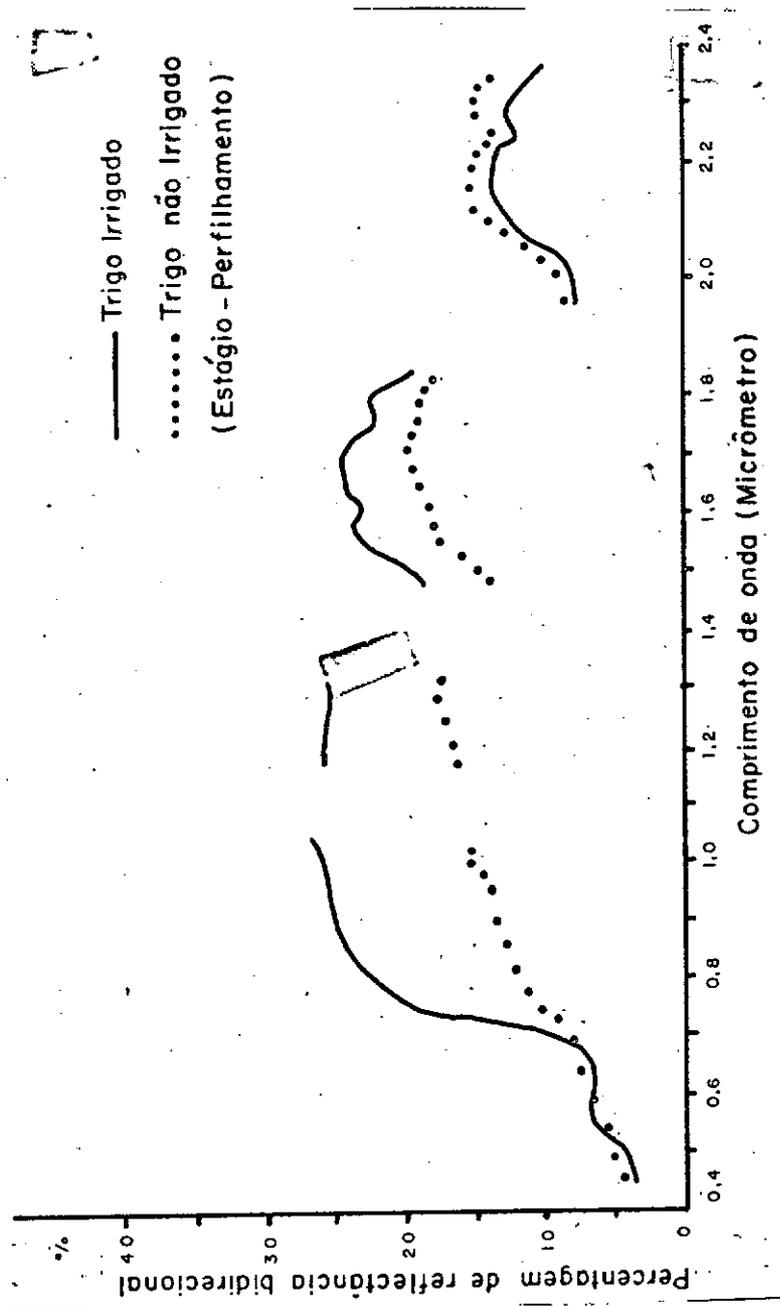


Fig. 2 - Comportamento espectral do trigo no estágio de perfilhamento em função das condições de irrigação.

FONTE: Hixson et alii, 1978

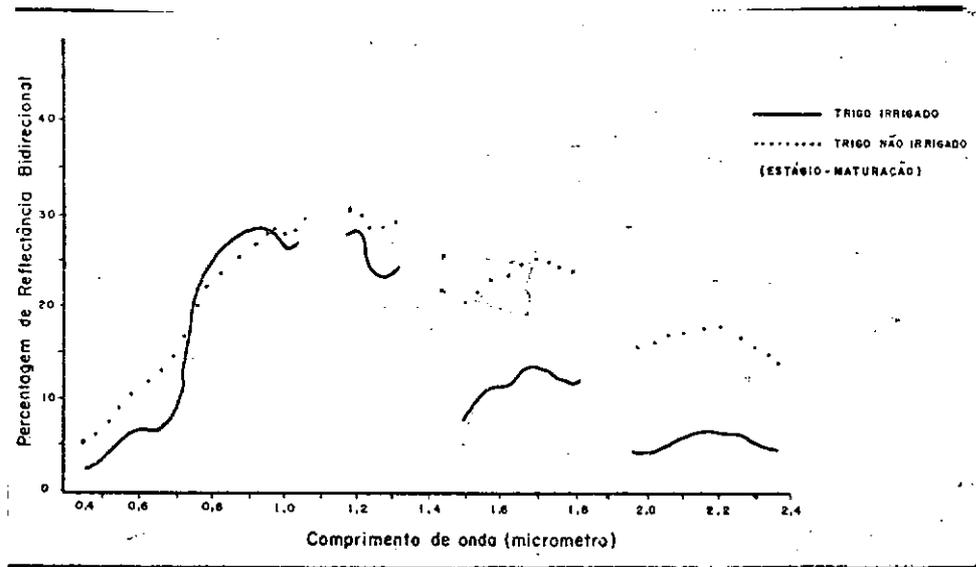


Fig. 3 - Comportamento espectral do trigo no estágio de maturação em função das condições de irrigação.

FONTE: Hixson et alii, 1978

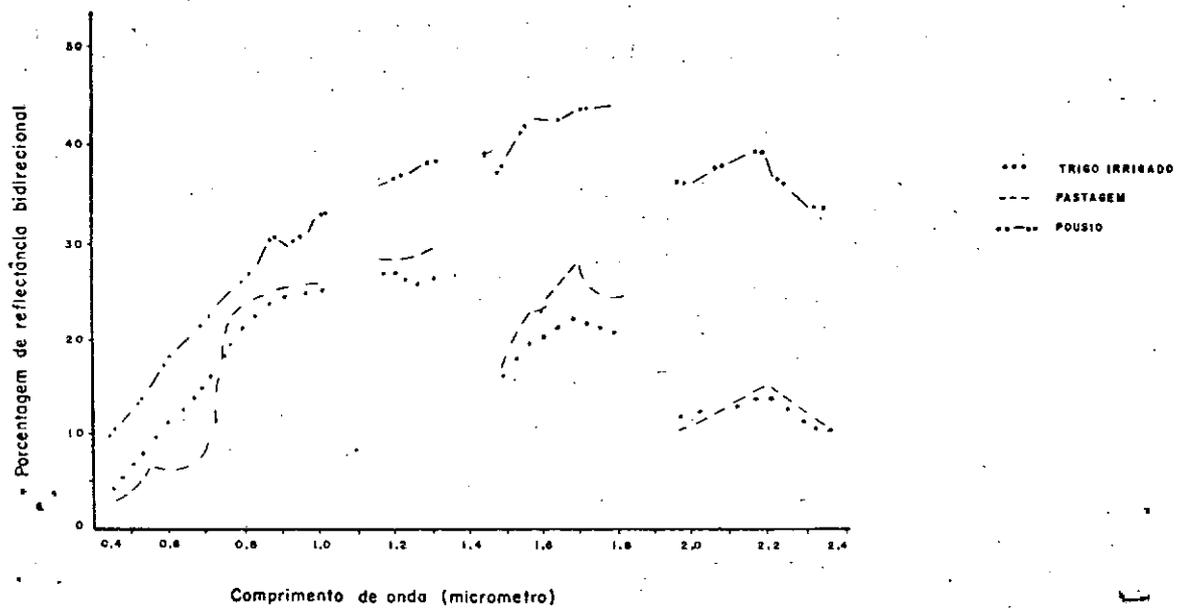


Fig. 4 - Comportamento espectral do trigo irrigado em relação a diferentes tipos de cobertura do solo.

FONTE: Hixson et alii, 1978

A complexidade da tarefa de discriminar áreas irrigadas e não-irrigadas pode aumentar se são colocadas as interferências provocadas por diferentes tipos de solo, relevo e práticas culturais.

2.2 - PROCEDIMENTOS

2.2.1 - SELEÇÃO DE ÁREAS TESTES

Para a realização deste estudo foi selecionada, por parte do DAEE/SP, a bacia do rio Piracicaba, tendo em vista sua alta concentração demográfica e industrial que tem trazido conflitos à utilização de seus recursos hídricos.

Como o objetivo do convênio era desenvolver uma metodologia de cadastramento de áreas irrigadas no Estado de São Paulo, a primeira etapa do trabalho consistiu em definir critérios de estratificação da bacia para a seleção de áreas testes.

Os critérios selecionados foram: a) concentração de áreas irrigadas por município que daria uma idéia do tamanho das parcelas irrigadas; b) área total irrigada no município, uma vez que municípios de pequena extensão territorial podem ter maior concentração de área irrigada, sem no entanto ter uma área total irrigada expressiva; c) tipo da cultura agrícola; d) tipo de relevo.

Para determinar a concentração de áreas irrigadas foram utilizados dados do Censo Agropecuário de 1980 (IBGE). A Tabela 4 apresenta a porcentagem de área irrigada dos municípios na bacia do rio Piracicaba. A análise dos dados da Tabela 4 evidencia que, em geral, as parcelas irrigadas representavam uma pequena fração da área total dos municípios, o que indica, em geral, uma baixa concentração.

TABELA 4

PORCENTUAL DE ÁREA IRRIGADA NA BACIA DO RIO PIRACICABA, POR MUNICÍPIO.

| MUNICÍPIO | % DE ÁREA IRRIGADA DO MUNICÍPIO NA BACIA DO PIRACICABA | MUNICÍPIO | % DE ÁREA IRRIGADA DO MUNICÍPIO NA BACIA DO PIRACICABA | MUNICÍPIO | % DE ÁREA IRRIGADA DO MUNICÍPIO NA BACIA DO PIRACICABA |
|-----------------------|--|--------------------------|--|----------------------------|--|
| 1) ÁGUAS DE SÃO PEDRO | 0 | 2) AMERICANA | 0,60 | 3) AMPARO | 0,62 |
| 4) ANALÂNDIA | 0 | 5) ARTUR Nogueira | 2,00 | 6) ATIBAIA | 3,40 |
| 7) BOM JESUS | 0,82 | 8) BRAGANÇA | 1,25 | 9) CAMPINAS | 1,72 |
| 10) CHARQUEADA | 0 | 11) CORDEIRÓPOLIS | 6,91 | 12) CORUMBATAI | 0,25 |
| 13) COSMÓPOLIS | 2,06 | 14) IPEUNA | 0,25 | 15) IRACEMÁPOLIS | 6,06 |
| 16) ITATIBA | 5,24 | 17) JAGUARUNA | 1,93 | 18) JARINU | 3,33 |
| 19) JOANÓPOLIS | 0,36 | 20) LIMEIRA | 1,12 | 21) MONTE ALEGRE DO SUL | 0,76 |
| 22) MORUNGABA | 2,07 | 23) NAZARÉ PAULISTA | 0,38 | 24) NOVA ODESSA | 0,72 |
| 25) PAULÍNIA | 2,44 | 26) PEDRA BELA | 1,63 | 27) PEDREIRA | 0,06 |
| 28) PINHALZINHO | 1,23 | 29) PIRACATA | 1,30 | 30) PIRACICABA | 0,18 |
| 31) RIO CLARO | 0,37 | 32) RIO DAS PEDRAS | 1,10 | 33) SANTA BÁRBARA | 0,46 |
| 34) SANTA GERTRUDES | 0,03 | 35) SANTA MARIA DA SERRA | 0,27 | 36) SANTO ANTONIO DA POSSE | 1,63 |
| 37) SÃO PEDRO | 0,05 | 38) SUMARE | 3,34 | 39) VALINHOS | 2,40 |
| 40) VINHEDO | 2,6 | 41) ANHEMBI | 0 | 42) BROTAS | 0,04 |
| 43) CAPIVARI | 0,96 | 44) DOIS Córregos | 0,00 | 45) ITIRAPINA | 0,00 |
| 46) MOGI MIRIM | 1,21 | 47) MONTE MOR | 6,50 | 48) SERRA NEGRA | 0,71 |
| 49) SOCORRO | 0,30 | 50) TORRINHA | 0,31 | 51) BOTUCATU | 0,29 |

Dos municípios de mais alta concentração escolheu-se o de Iracemópolis tendo em vista que ele apresentava as seguintes características peculiares: a) relevo plano a suavemente ondulado; b) cultura da cana-de-açúcar dominante no município; c) predominância de latossolos; d) área irrigada total relativamente baixa (637 ha).

O município de Itatiba foi selecionado por apresentar características contrastantes em relação ao município de Iracemópolis ou seja: a) relevo montanhoso (alto curso do rio Piracicaba); b) policultura (batata, trigo, soja, vagem, etc); c) área de pastagens; d) agricultura localizada em áreas restritas como alvéolos e ombreiras, nas quais o relevo torna-se mais favorável; e) área total irrigada relativamente alta (1704 ha); f) maior diversificação de tipos de solos.

2.2.2 - SELEÇÃO DAS ÉPOCAS DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS

Para a seleção das épocas mais adequadas (de maior contraste entre áreas irrigadas e não-irrigadas) utilizou-se o balanço hídrico pelo Método de Thorntwhaite da Estação Hidrometeorológica de Campinas que, segundo os técnicos do DAEE/SP, é representativo de toda a bacia do rio Piracicaba (Tabela 5).

Segundo este balanço hídrico o mês de maior déficit hídrico seria o de agosto e o período mais favorável à discriminação entre áreas irrigadas e não-irrigadas, com base no vigor da vegetação, estaria compreendido entre julho e setembro.

A análise do calendário agrícola da região indicou que nesse período são cultivadas culturas agrícolas de inverno no município de Itatiba, cujo plantio se inicia entre abril e junho. Portanto, entre julho e setembro as culturas já se encontram num estágio de crescimento que permite, em princípio, diferenciar as irrigadas das não-irrigadas.

TABELA 5

BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO PIRACICABA

PREFIXO. D4-100-HM

ESTAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA: CAMPININHA

LATITUDE: 22°18'S

LONGITUDE: 47°11'W

ALTITUDE: 600 m

| MÊS | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | ANO |
|-----|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| P | 231,1 | 155,4 | 142,9 | 66,5 | 45,1 | 53,5 | 31,2 | 23,5 | 61,8 | 151,2 | 191,5 | 244,4 | 1398,1 |
| EP | 131,4 | 127,7 | 126,0 | 96,8 | 75,8 | 62,2 | 80,2 | 108,6 | 124,2 | 144,2 | 140,2 | 132,6 | 1350,3 |
| ER | 131,4 | 127,7 | 126,0 | 96,8 | 75,8 | 62,2 | 61,5 | 23,5 | 61,8 | 144,2 | 140,2 | 132,6 | 1183,7 |
| ARM | 100 | 100 | 100 | 69,7 | 39,0 | 30,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 7,0 | 58,3 | 100 | 604,3 |
| EXC | 99,7 | 27,7 | 16,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 70,1 | 214,4 |
| DEF | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 18,7 | 85,1 | 62,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 166,6 |

P = PRECIPITAÇÃO

EP = EVAPORAÇÃO

ER = EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL

ARM = ÁGUA ARMazenada NO SOLO

EXC = EXCEDENTE HÍDRICO

DEF = DEFICIÊNCIA HÍDRICA

MÉDIA MULTIANUAL, TOMANDO COMO BASE O PERÍODO DE 10 ANOS
(DE 1973 A 1982)

OS DADOS ESTIMADOS POR ESTA ESTAÇÃO PODEM SER REPRESENTATIVOS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRACICABA.

A METODOLOGIA UTILIZADA PARA A ELABORAÇÃO DESTE BALANÇO HÍDRICO BASEOU-SE NO SISTEMA THORNTHWAITE-1948.

Um problema a ser enfrentado, entretanto, é o da disponibilidade de imagens LANDSAT nos períodos de interesse, tendo em vista a possibilidade de cobertura de nuvens.

Para avaliar essa disponibilidade, levantou-se o número de imagens com cobertura de nuvens inferior a 20%, por mês, entre o período de 1973 e 1981. O resultado deste levantamento (Figura 5) demonstrou que os meses de julho a setembro são bastante favoráveis à aquisição de imagens de boa qualidade, havendo a possibilidade de obter-se pelo menos uma passagem por ano sem cobertura de nuvens no período (Figura 6).

2.2.3 - TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo não pôde ser realizado na época ideal tendo sido feito em final de setembro. Inicialmente havia sido proposto que o trabalho de campo fosse feito com o apoio em imagens de satélite já submetidas a uma interpretação preliminar. Por motivos anteriormente expostos, este trabalho só pôde ser realizado com auxílio de fotografias áreas verticais na escala aproximada de 1:25.000, datadas de 1972/73, em levantamento feito para o Instituto Brasileiro do Café (IBC). Utilizaram-se também cartas topográficas na escala de 1:50.000. O trabalho de campo visou, portanto, delimitar sobre as fotografias aéreas verticais, quais eram as áreas irrigadas, caracterizar o tipo de sistema de irrigação e também o calendário de irrigação. Estas informações foram levantadas através do uso de um questionário elaborado pelo DAEE/SP (Apêndice A).

As áreas amostradas no campo foram transferidas para "overlays" e serviram para estabelecer padrões de identificação de áreas irrigadas sobre as imagens TM/LANDSAT. (Figura 7).

Este trabalho de campo foi realizado por duas equipes com postas por técnicos do DAEE/SP e do INPE/CNPq que visitaram as propriedades agrícolas, observando aspectos tais como: localização da área irrigada; tipo de cultura adjacente à cultura irrigada; estágio de crescimento da cultura; cobertura do solo pela cultura, etc.

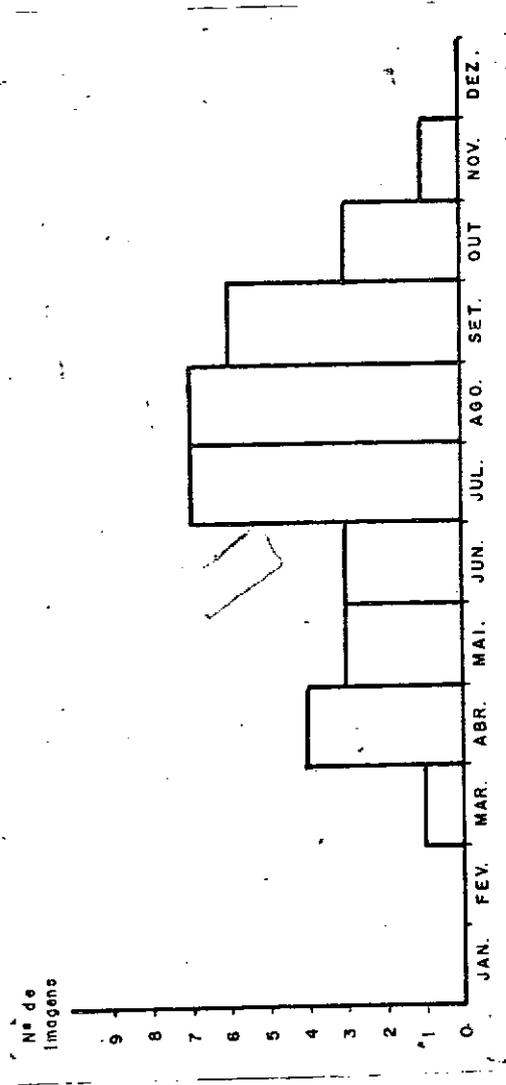


Fig. 5 - Número de passagens com cobertura de nuvem inferior a 20%, por mês, para o período de 1973 a 1981.

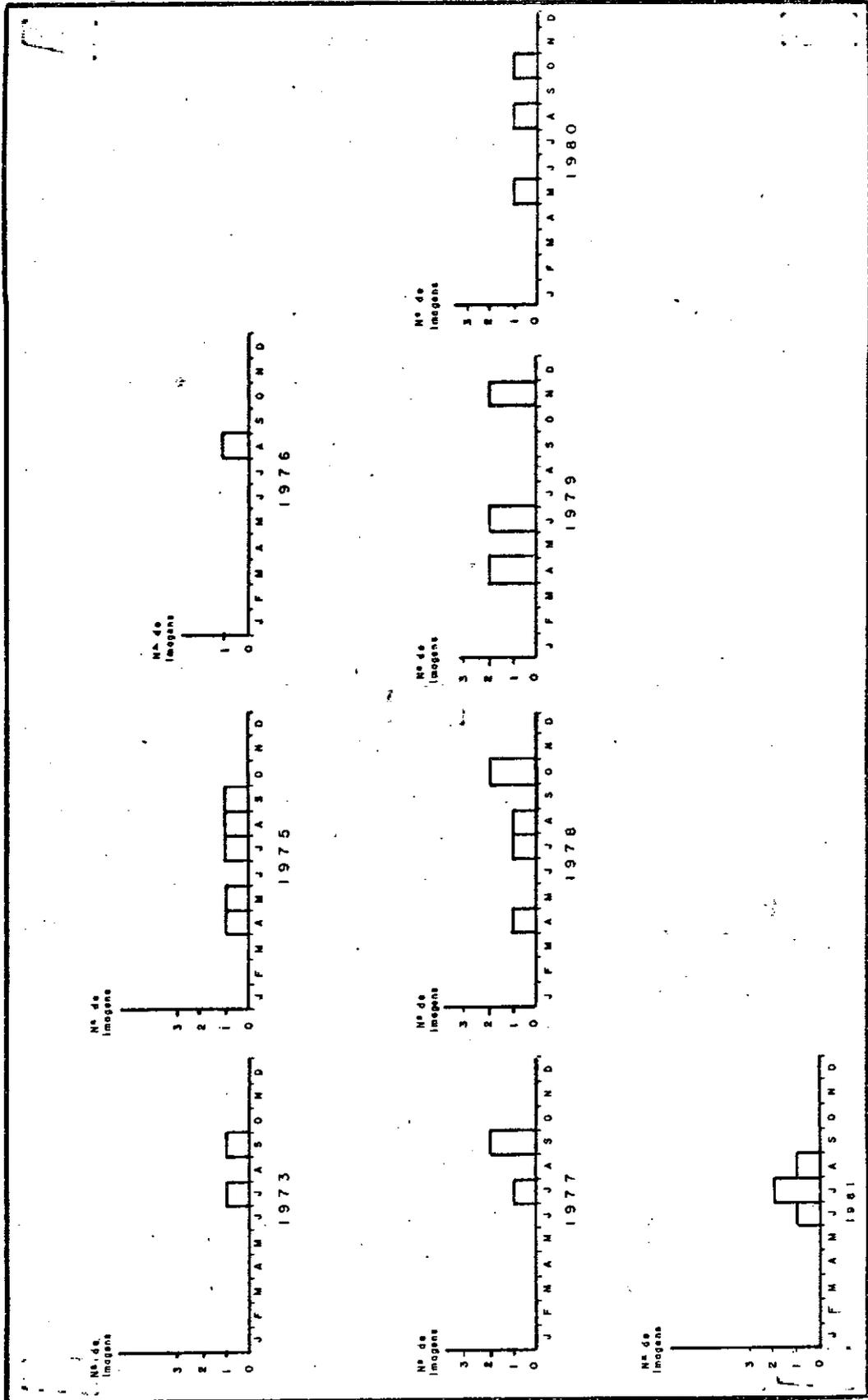


Fig. 6 - Disponibilidade de imagens por ano entre 1973 e 1981.

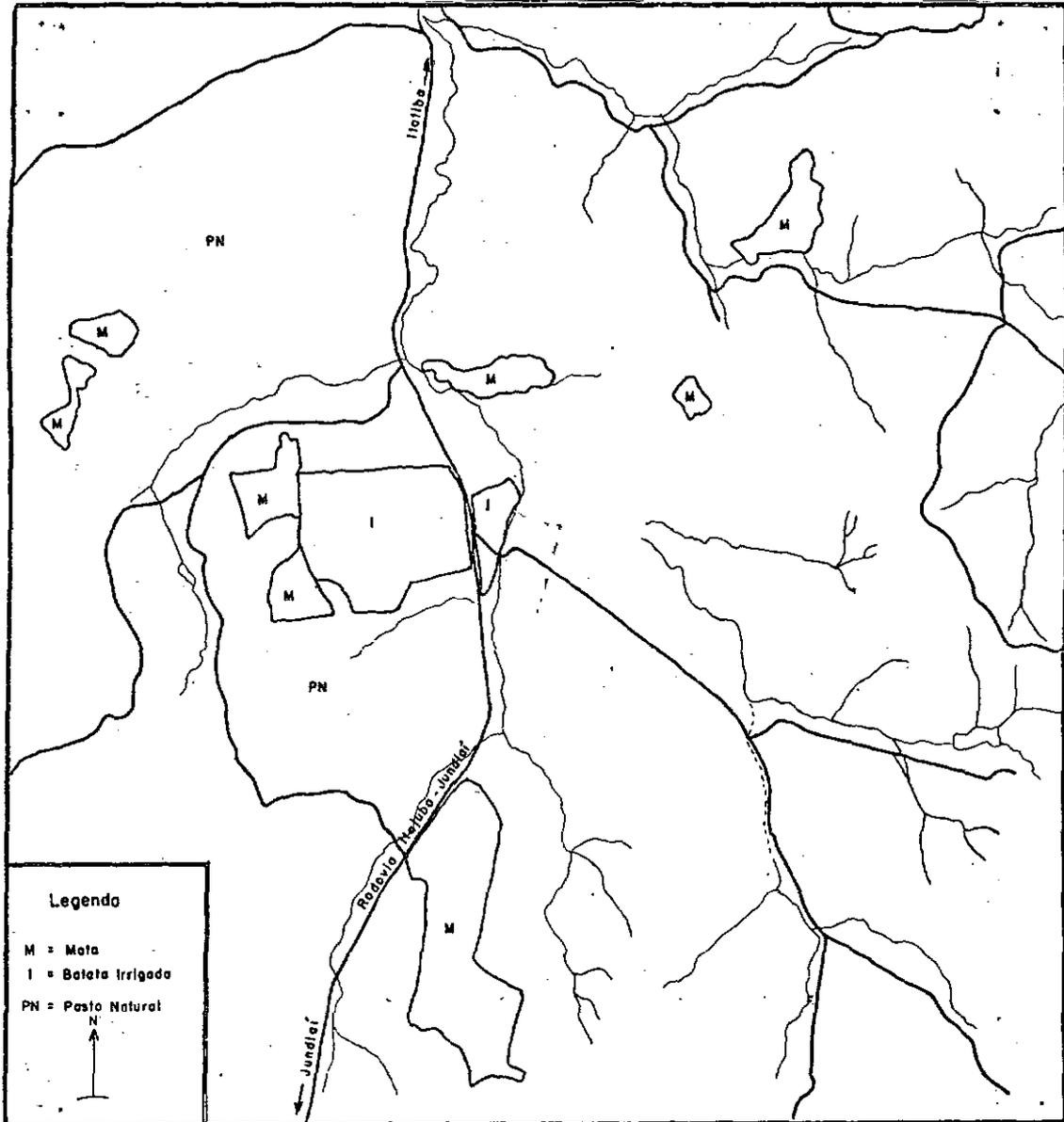


Fig. 7 - Anotações de campo - município de Itatiba,

2.2.4 - PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS TM

Para o processamento digital foram solicitadas fitas com patíveis com computador (CCTs) referentes às duas áreas-testes (Tabela 6) em duas datas (julho - início do período de deficiência hídrica; setembro - período em que o estresse hídrico das culturas não-irrigadas tenderia ao máximo).

TABELA 6

DADOS TM/LANDSAT SELECIONADOS PARA PROCESSAMENTO DIGITAL

| ÁREA TESTE | ÓRBITA/ PONTO | PASSAGEM |
|--------------|------------------|-------------------------------|
| IRACEMÁPOLIS | 220/76 | 06/07/1984 * (SETEMBRO) |
| ITATIBA | 219/76 | 15/07/1984 + 01/09/1984 |

* Imagem não disponível até o início do processamento digital.

+ Imagem solicitada à Cachoeira Paulista.

Tendo em vista os dados disponíveis, o processamento digital limitou-se à passagem referente a 06/07/1984 para o município de Iracemópolis e a passagem de 01/09/84 para o município de Itatiba.

O Processamento Digital de Dados foi realizado conforme as etapas descritas a seguir:

- a) Ampliação de dados TM para a escala de 1:100.000 e aquisição de parâmetros estatísticos.

Apresentaram-se as imagens TM de cada canal na tela do sistema de análise digital IMAGE-100, onde se localizou a área teste de in

teresse com o auxílio de cartas topográficas e procedeu-se à ampliação para a escala aproximada de 1:100.000.

Cada um dos canais foi fotografado para análise posterior. Foram também obtidos os histogramas de cada canal TM, bem como os parâmetros estatísticos descritivos de sua distribuição de níveis de cinza. Para melhorar a qualidade visual das imagens foram realizados realces lineares de contraste.

Com o auxílio de anotações de campo foram localizadas na tela do Sistema IMAGE-100 as áreas amostrais de culturas irrigadas para verificar se ofereciam um padrão de resposta peculiar em cada uma das bandas do Thematic Mapper.

b) Aquisição de Composições Coloridas

Para a realização das composições coloridas decidiu-se pela não-utilização do canal termal, que mais tarde seria analisado separadamente. Antes da realização das composições, foram feitos realces lineares de contraste para cada canal individual.

Desta maneira, foram realizadas diferentes composições com os canais referentes à porção do visível e infravermelho próximo. Estas composições foram também fotografadas para posterior análise. Nestas procurou-se identificar padrões de cores indicativas da ocorrência de culturas irrigadas.

c) Teste de técnicas de realce de imagens

Dentre os procedimentos testados incluem-se: a) divisão de canais TM; b) redução de dimensionalidade através da técnica de extração das componentes principais; c) composição colorida a partir da geração de canais especiais com todos os canais TM da faixa do visível e do infravermelho.

Atendendo a sugestões encontradas na literatura, foram testadas as seguintes divisões dos canais: a) TM 4/TM 3; TM 5/TM 3. Foram também feitas composições coloridas com 1.^a, 2.^a. e 3.^a. componentes principais obtidas. A composição colorida, gerada a partir de seis canais TM, foi produzida conforme o seguinte procedimento: a) cálculo da imagem-média a partir da soma e divisão dos níveis de cinza dos canais 1, 2, 3 do TM; c) o canal TM 4 que apresenta maior conteúdo de informação isola vegetação; d) atribuição da cor azul à imagem média dos canais 1, 2, e 3 do TM, da cor verde ao TM 4, e da cor vermelha à imagem-média dos canais 5 e 7 do TM.

Para cada procedimento foram adquiridas fotografias da tela do Sistema IMAGE-100 para ser posteriormente analisadas.

- d) Teste do desempenho de técnicas de classificação supervisionada e não supervisionada.

Foram realizados testes de classificação de áreas irrigadas utilizando-se o algoritmo de Máxima Verossimilhança (Sistema MAXVER), mas os resultados não foram satisfatórios. Tentou-se também utilizar o algoritmo das K-Médias para classificação não-supervisionada com resultados também insatisfatórios. Este insucesso parece estar associado à grande heterogeneidade interna das classes em decorrência da melhor resolução geométrica e radiométrica do sensor TM.

2.2.5 - AVALIAÇÃO PRELIMINAR DOS DADOS TM

- a) Análise do comportamento espectral de áreas irrigadas e não-irrigadas

Para esta análise foram coletados parâmetros estatísticos representativos das classes a serem discriminadas. Esta aquisição foi realizada com o auxílio do Sistema Image-100, através da utilização do Programa Cella Simples que fornece os seguintes parâmetros: limites espectrais da classe em cada canal; amplitude espectral da classe em cada canal; frequência máxima de "pixels" por canal; média dos níveis de cinza por canal e variância.

Esses dados permitiram construir curvas espectrais de campos irrigados e não-irrigados de modo a avaliar as faixas espectrais mais favoráveis à sua discriminação.

b) Análise preliminar do desempenho das bandas TM, composições coloridas e imagens realçadas na discriminação de áreas irrigadas

Essa análise preliminar consistiu na inspeção visual dos diferentes produtos resultantes do processamento digital. Esta inspeção foi realizada com o auxílio de um projetor de slides, através do qual se pôde visualizar os diferentes canais TM ampliados para a escala aproximada de 1:50.000.

Com o auxílio das informações de campo localizaram-se as áreas de irrigação. Após localizadas, estas foram utilizadas para gerar uma chave de identificação a ser estendida para toda a área do município.

Para os produtos que apresentaram bom desempenho na determinação de um padrão de interpretação foram solicitadas cópias em papel ampliadas para a escala aproximada de 1:100.000, as quais serão verificadas durante a segunda fase do trabalho de campo.

Obtiveram-se também esboços preliminares de áreas irrigadas, para as quais se calculou a área irrigada por parcela identificada em cada um dos produtos TM selecionados.

Os dados resultantes foram confrontados com as informações coletadas através de questionários de campo.

3. RESULTADOS PRELIMINARES

3.1 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ÁREAS IRRIGADAS

Como mencionado anteriormente, foram coletados parâmetros estatísticos das diferentes classes de ocupação do solo que compunham a cena analisada, de modo a avaliar a separabilidade espectral das áreas irrigadas. A Tabela 7 apresenta o comportamento espectral dos diferentes alvos que compõem o município de Iracemópolis. Os dados da tabela foram coletados com o auxílio do programa Single-Cell e representavam os níveis de cinza de áreas de treinamento correspondentes a alvos conhecidos durante o trabalho de campo. Nesta tabela encontra-se os limites máximos e mínimos dos valores que assumem os diferentes canais TM em cada classe analisada. O programa fornece também a média e a variância dos valores de nível de cinza da classe em cada canal. Na Tabela 7 encontram-se os dados referentes a duas classes, apenas a título de exemplificação.

Devido à dificuldade de analisar os dados em tabelas, foram construídos gráficos para cada um dos municípios em estudo, o que facilitou a visualização do comportamento espectral das classes de interesse.

A Figura 8 representa o comportamento espectral da classe *cana irrigada* em relação ao comportamento espectral da classe *cana não-irrigada* no município de Iracemópolis.

TABELA 7
PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS CLASSES DE COBERTURA DO
SOLO DO MUNICÍPIO DE IRACEMÁPOLIS

| CLASSE | NÚMERO DE PIXELS DA AMOSTRA | LIMITES ESPECTRAIS | | | | | | | MEDIAS ESPECTRAIS | | | | | | | VARIÂNCIA | | | | | | |
|-------------------|-----------------------------------|--------------------|----|----|----|----|----|----|-------------------|----|----|----|----|------|------|-----------|-------|-------|------|--|--|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CANHA IRRIGADA | 100 | 59 | 27 | 26 | 54 | 40 | 9 | 62 | 30 | 30 | 60 | 46 | 12 | 3,79 | 2,11 | 5,36 | 14,02 | 10,75 | 2,95 | | | |
| | | 67 | 33 | 35 | 69 | 53 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| CANHA CORTADA | 100 | 57 | 25 | 30 | 24 | 38 | 18 | 61 | 28 | 37 | 29 | 47 | 22 | 4,05 | 2,07 | 7,35 | 5,61 | 21,54 | 3,69 | | | |
| | | 68 | 32 | 44 | 35 | 58 | 27 | | | | | | | | | | | | | | | |

A análise da Figura 8 permite verificar que, em termos dos registros de níveis de cinza, há pouca variação entre a resposta da cana cortada e da cana irrigada nos canais do TM, exceto no canal TM 4. Tanto a *cana não-irrigada* quanto a *cana irrigada* apresentam curvas que seguem paralelas em todos os canais, exceto no TM 4, onde se verifica uma tendência oposta. Enquanto a *cana irrigada* apresenta valores de níveis de cinza elevados (que indicam a alta reflectância), a *cana não-irrigada* sofre um decréscimo nos níveis de cinza (o que indica maior absorção da radiação eletromagnética nesta faixa). Nos canais TM 5 e TM 7 as respostas aos dois alvos voltam a ser semelhantes.

É interessante observar que embora se tenha trabalhado com uma resolução radiométrica de 256 níveis de cinza, os valores de nível de cinza mais elevados na área teste foram em torno de 70. Townshend et alii (1983) já haviam observado que na cena de Arkansas Missouri, por eles analisadas, as bandas TM apresentam "ranges" estreitos de variação de níveis de cinza, não ocupando todos os 256 níveis disponíveis. Segundo estes autores, isto foi mais acentuado nos canais 1, 2 e 3, e no canal 2 do TM 95% dos "pixels" encontravam-se distribuídos num "range" de 25 níveis de cinza apenas.

Pela análise do gráfico da Figura 8 fica evidenciado que na passagem estudada (julho/1984) para o município de Iracemópolis não há um contraste acentuado entre a área de *cana irrigada* e a de *cana não-irrigada*, sendo o TM 4 o canal mais promissor para essa discriminação.

O gráfico da Figura 9 representa o comportamento espectral de classes de cobertura do solo do município de Itatiba. Pela análise desta figura observa-se que os canais TM 1 e TM 2 apresentam respostas bastante próximas das áreas irrigadas e de outros tipos de cobertura do solo. O canal TM 3 permite discriminar áreas de pastagens, mas não permite a discriminação entre mata e área irrigada.

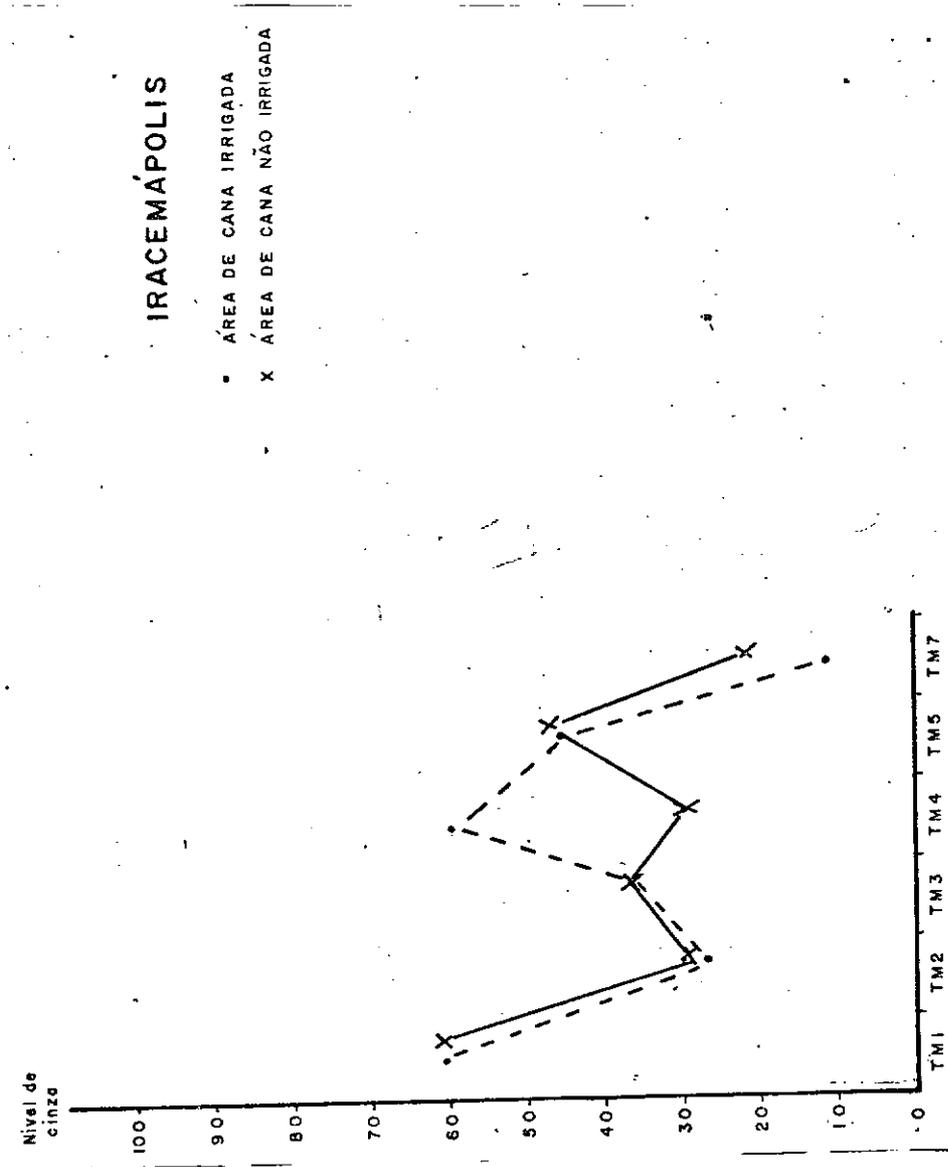


Fig. 8 - Curva espectral de áreas de cana irrigada e cana não-irrigada a partir de dados digitais do TM LANDSAT.

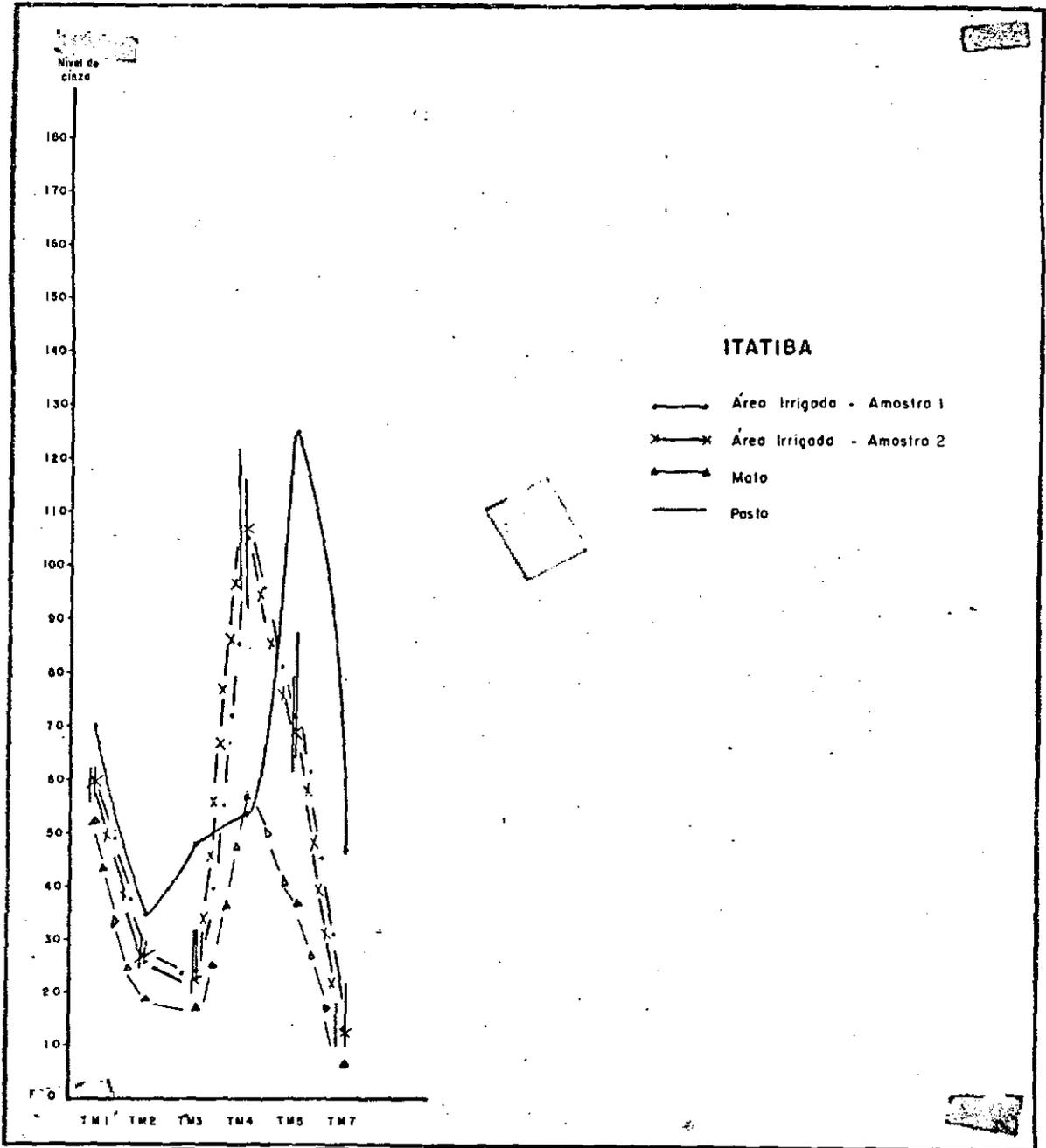


Fig. 9 - Comportamento espectral de tipos de cobertura do solo a partir de dados digitais do TM/LANDSAT.

As áreas irrigadas apresentam melhor separabilidade das demais classes de cobertura no canal TM 4. O canal TM 5 também apresenta potencial para discriminação de áreas irrigadas. É interessante observar que os níveis de cinza das áreas de *matas* são mais escuros que aqueles das parcelas irrigadas. Como o TM 5 inclui uma banda de absorção d'água pelas folhas, poder-se-ia supor que esta absorção é mais intensa nas regiões de mata devido à maior biomassa. Entretanto, a estrutura do dossel, mais irregular e favorável ao sombreamento, poderia explicar esse reduzido valor de nível de cinza (reflectância) no TM 5.

Ao comparar os gráficos das figuras 8 e 9 observa-se que os valores de níveis de cinza no município de Itatiba ocupam um "range" maior que os de Iracemápolis. Enquanto em Iracemápolis os valores de níveis de cinza variam entre 10 e 70, em Itatiba os níveis de cinza oscilam de 7 a 130.

A menor amplitude de variação nos valores de nível de cinza (radiância) em Iracemápolis pode estar relacionada à presença dos Latossolo Roxos (LR) e Latossolo Vermelho escuro (LE). Segundo Formaggio (1983), que trabalhou com solos semelhantes na região de Leme (SP), os LR e LE apresentam em geral valores de reflectância menores que os Podzólicos Vermelho amarelo (PV) e Latossolo Vermelho amarelo (LV) nos comprimentos de onda entre 0,4 e 1,1 μm . Formaggio (1983) reconheceu nas curvas espectrais dos solos LR e LE características que lhe permitiram classificá-los no grupo de solos ricos em ferro. Enquanto os solos LV e PV apresentam uma média de níveis de cinza entre 32 e 47 (em todos os canais do MSS) os LR e LE têm esta média entre 23 e 34, o que indica não só uma menor amplitude de variação como também um menor "range" de alcance na escala de níveis de cinza disponível nas imagens MSS.

Pelas observações de Formaggio (1983) pode-se supor que a presença desses solos com cores escuras e alto teor de ferro seriam responsáveis pelos níveis de radiância mais baixos encontrados na área teste de Iracemápolis, em comparação com a área teste de Itatiba. Entretanto, é prematuro tal tipo de afirmação, uma vez que estão sendo compara

radas imagens de datas diferentes, das quais não se obtiveram informações sobre as condições atmosféricas e de pluviosidade que antecederam a passagem do satélite.

A priori, entretanto, pode-se considerar que a presença de tais solos na região de Iracemápolis representam um fator que tende a dificultar a discriminação entre áreas irrigadas e não-irrigadas, principalmente nos estágios iniciais da cultura, quando a resposta espectral dominante é a do solo. Nos estágios mais avançados da cultura, em que as variações no vigor podem indicar a presença de irrigação, a discriminação talvez seja mais efetiva. Até o momento do desenvolvimento do trabalho esta questão não se encontra resolvida.

Assim, no município de Iracemápolis os canais que aparentemente teriam maior potencial para discriminar áreas irrigadas das não-irrigadas seriam o TM 4 e o TM 7.

No município de Itatiba, pelos resultados apresentados até o momento, parece mais fácil a identificação de áreas irrigadas, pois são facilmente discriminadas das áreas de pastagens e de mata. No TM 5 as respostas destes três tipos de cobertura também são bastante distintas. No TM 7 a discriminação entre áreas irrigadas e mata já parece bastante discutível.

3.2 - CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS IRRIGADAS EM IMAGENS PROCESSADAS DIGITALMENTE

Os produtos resultantes de processamento digital foram inspecionados e uma ficha de avaliação foi preenchida. (Apêndice B). Selecionaram-se assim os produtos com maior potencial de discriminação de áreas irrigadas.

A análise das composições coloridas obtidas através do sistema Image-100 demonstrou que no município de Iracemápolis as áreas irrigadas não apresentaram um padrão típico que pudesse ser extrapolado para toda a área teste na passagem referente a julho (início do período de deficiência hídrica).

Mesmo utilizando os canais TM que teoricamente deveriam apresentar melhor desempenho: TM 3 (absorção pela clorofila), TM 4 (Biomassa), TM 5 (absorção pela água foliar) e TM 7 (absorção pela água), não se pode definir um padrão típico de área irrigada.

A Figura 10 representa uma composição colorida obtida da tela do Sistema Image-100. O município de Iracemópolis foi delineado manualmente com o auxílio do cursor. A área amostral identificada no campo para representar áreas irrigadas encontra-se identificada pelo número 1. A composição dos canais TM 1, TM 2 e TM 3 apresenta nitidamente o efeito atmosférico traduzido pela presença de bruma perceptível ao redor da represa e pela maior intensidade do azul na cena. A área de cana irrigada (1) nessa composição não pode ser discriminada da área de cana não irrigada (2). Pequenas variações de tonalidade dentro da área de cana poderiam estar associadas mais a fatores tais como idade, exposição, etc., e não à irrigação, pois ocorrem aleatoriamente em áreas irrigadas ou não.

A Figura 11 representa uma composição que utiliza as bandas TM 2, TM 3 e TM 4. Nesta composição também não se identifica um padrão típico de área irrigada. As áreas irrigadas teoricamente deveriam apresentar tonalidades que tendem para o magenta (azul+vermelho), pois deveriam ter, em relação à cana não-irrigada, maior resposta na faixa do TM 2 (reflectância no verde pela vegetação sadia), menor resposta no TM 3 (absorção pela clorofila de plantas sem estresse hídrico) e resposta alta no TM4 (vegetação vigorosa e densa). Este padrão, entretanto, não é encontrado na área identificada em campo como irrigada. Isto pode ser atribuído ao fato de o mês de julho ser o primeiro do período de deficiência hídrica, havendo um lapso de reação entre a escassez de água no solo e o seu reflexo no vigor da vegetação. Deste modo nessa data não se verificaram diferenças significativas no vigor das plantas irrigadas e não-irrigadas a ponto de determinar uma alteração em seu comportamento espectral nestas faixas.

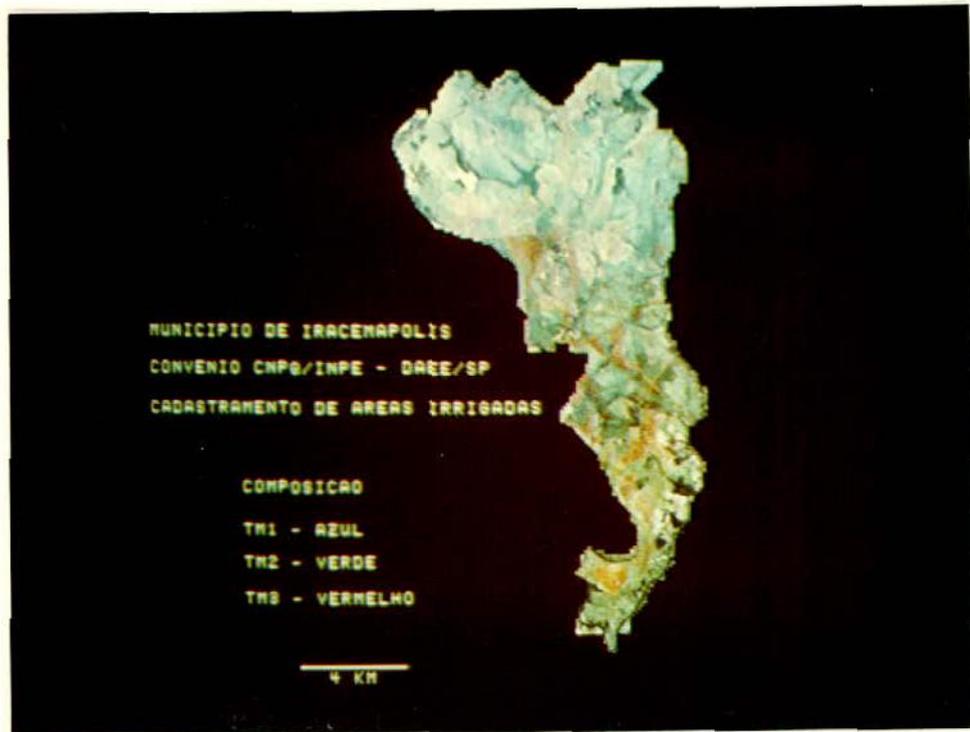


Fig. 10 - Composição colorida TM 1, TM 2, TM 3 - Iracemópolis.

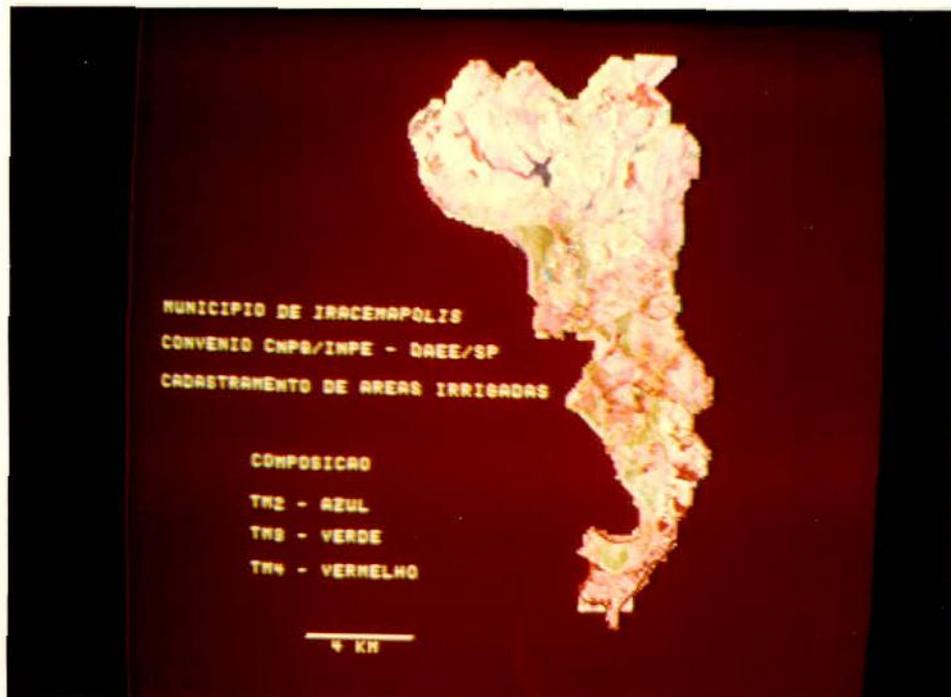


Fig. 11 - Composição Colorida TM 2, TM 3, TM 4 - Iracemópolis.

A Figura 12 representa a composição dos canais TM3, TM 4 e TM 5. Nesta composição, teoricamente as áreas de cana irrigada devem apresentar tonalidade verde intenso devido à alta absorção pela clorofila (TM 3) e à alta absorção pela água foliar (TM 5). Este padrão, entretanto, também é encontrado nas áreas de cana não-irrigada.

A composição que utilizou os canais TM 4, TM 5 e TM 7 (Figura 13) também não permitiu a discriminação de áreas irrigadas. Tais resultados parecem conduzir à conclusão preliminar de que a passagem de julho não é adequada à discriminação de áreas irrigadas nesta região. Um fator que talvez esteja contribuindo para esta não-identificação é a presença de uma cultura homogênea, com elevada biomassa, na qual sutis variações no vigor não chegam a produzir alterações no comportamento espectral.

Na região de Itatiba, em que se utilizou primeiramente uma passagem referente a setembro, ou seja, do fim do período de deficiência hídrica, pôde-se identificar com relativa facilidade as áreas irrigadas.

A análise das fichas de avaliação dos produtos processados digitalmente permitiu identificar os produtos de maior potencial de discriminação de áreas irrigadas no município de Itatiba: TM 4, composição TM 2B, TM 3G, TM 4R (TM 2 com filtro azul, TM 3 com filtro verde e TM 4 com filtro vermelho); composição TM 1B, TM 2G, TM 4B (TM 1 com filtro azul, TM 2 com filtro verde, TM 4 com filtro vermelho).

As áreas irrigadas no TM 4 foram discriminadas pela elevada reflectância foliar em confronto com a menor reflectância apresentada pelas pastagens e áreas de mata e/ou reflorestamento.

Nas composições dos canais TM 2B TM 3G TM 4R, as áreas irrigadas foram identificadas pelo vermelho-claro, uma vez que, devido ao maior vigor da vegetação, estas áreas apresentaram níveis de cinza mais escuros nos canais TM 2 e TM 3, e níveis de cinza muito claros no canal TM 4 que é associado à cor vermelha. Nesta composição as áreas de mata e eucalipto também apresentaram cor vermelha, mas com menor intensidade de resposta no TM 4, onde a tonalidade é mais escura.

A composição TM 1B, TM 2G e TM 4R apresenta resultados semelhantes à anterior, porém a discriminação entre áreas irrigadas e não-irrigadas é mais difícil. Este desempenho menos favorável pode ser atribuído à maior interferência atmosférica no TM 1, o que reduz o contraste da cena pela maior contribuição da radiação de trajetória. Além disto, nesta composição foi excluído o canal TM 3 que incluía uma banda de absorção de clorofila, um elemento importante na diferenciação de plantas sob estresse hídrico.

Os canais TM 5 e TM 7 não apresentaram bom desempenho na discriminação de áreas irrigadas. Áreas de solos expostos e áreas irrigadas tenderam a apresentar respostas semelhantes no TM 5. O TM 7 não permitiu a discriminação entre áreas irrigadas e áreas de mata ou reflorestamento.

Como os canais TM 5 (1,55 - 1,75) e TM 7 (2,08 - 2,35) incluem regiões de absorção de água, eles também são indicados para avaliar o conteúdo da umidade do solo. Desta maneira, solos preparados para cultivo em regiões de alvéolos, com elevada concentração de umidade, tenderão a apresentar respostas semelhantes às de áreas irrigadas.

Além disso, essas faixas espectrais tenderiam a ser mais sensíveis a variações incidentais nas condições ambientais de tomada da imagem. Por exemplo, chuvas concentradas em dias que antecedem a passagem do satélite tenderiam a modificar as condições de umidade superficial da vegetação e solo, dificultando a discriminação entre áreas irrigadas e áreas não-irrigadas. Este efeito seria mais sentido nos canais TM relativos às bandas de absorção da água.

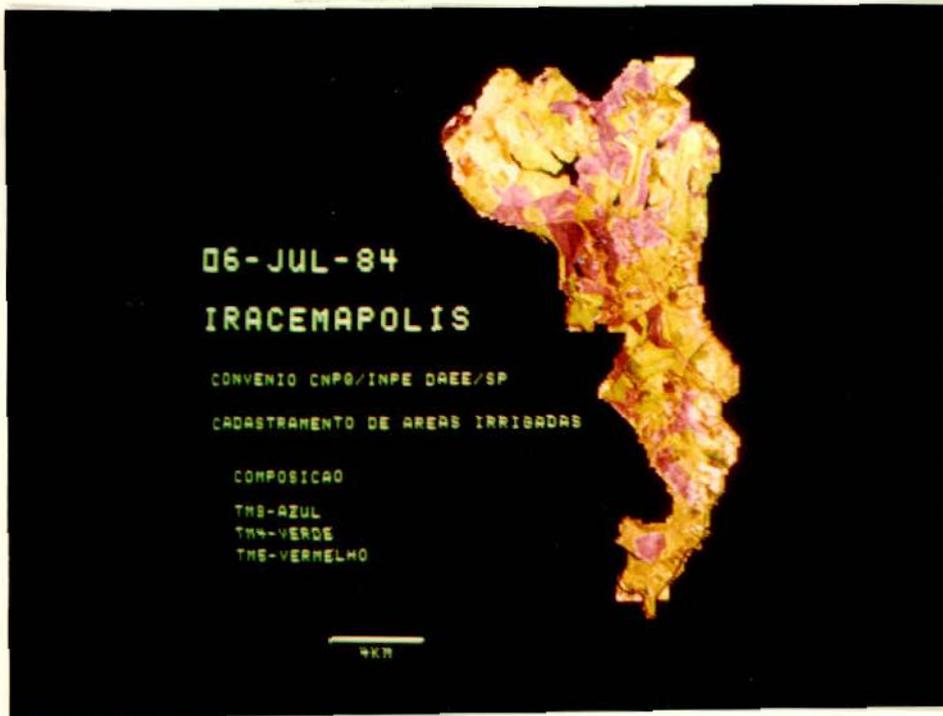


Fig. 12 - Composição colorida TM 3/TM 4/TM 5 - Iracemápolis.



Fig. 13 - Composição colorida TM 4/TM 5/TM 7 - Iracemápolis.

A Figura 14 representa a curva dos solos de diferentes tipos comparada com a curva de uma cultura irrigada (trigo). Observa-se que entre 1,55 e 1,75 μm (TM 5) a percentagem de reflectância dos solos varia entre 10% e 25% em função do tipo de solo. As culturas irrigadas nesta faixa apresentam uma percentagem de reflectância em torno de 25%. Desta forma nessa banda, a discriminação entre terra preparada e culturas imageadas estará na dependência dos tipos de solos da região e do estágio de crescimento da cultura.

A Figura 15 representa uma composição colorida que utiliza os canais TM 3 com filtro azul (absorção de clorofila), TM 4 com filtro verde (máxima reflectância da vegetação vigorosa) e TM 5 com filtro vermelho (absorção pela água foliar). A análise da Figura 14 permite associar nesta composição as áreas verde-claro às áreas irrigadas (devido à elevada resposta no TM 4). Entretanto, observa-se que há facilidade em confundir certas áreas irrigadas com áreas de mata ou reflorestamento. Como os solos preparados têm maior intensidade de resposta no TM 3 e no TM 5, aparecem em magenta. O escurecimento geral da área pode indicar a presença de solos úmidos, com elevada absorção no TM 5. É interessante observar que no dia anterior à passagem do satélite (31/08/84) foi registrada precipitação de 8 mm, antecedida de um episódio de chuvas intensas entre 20 e 23 de agosto, quando choveu cerca de 95 mm. Tais aspectos podem estar contribuindo para que o desempenho desta composição colorida não seja o teoricamente esperado.

Os demais produtos, tais como: principais componentes, composições com canais-média, razões entre canais, serão avaliados na próxima etapa do projeto e constarão do relatório final.

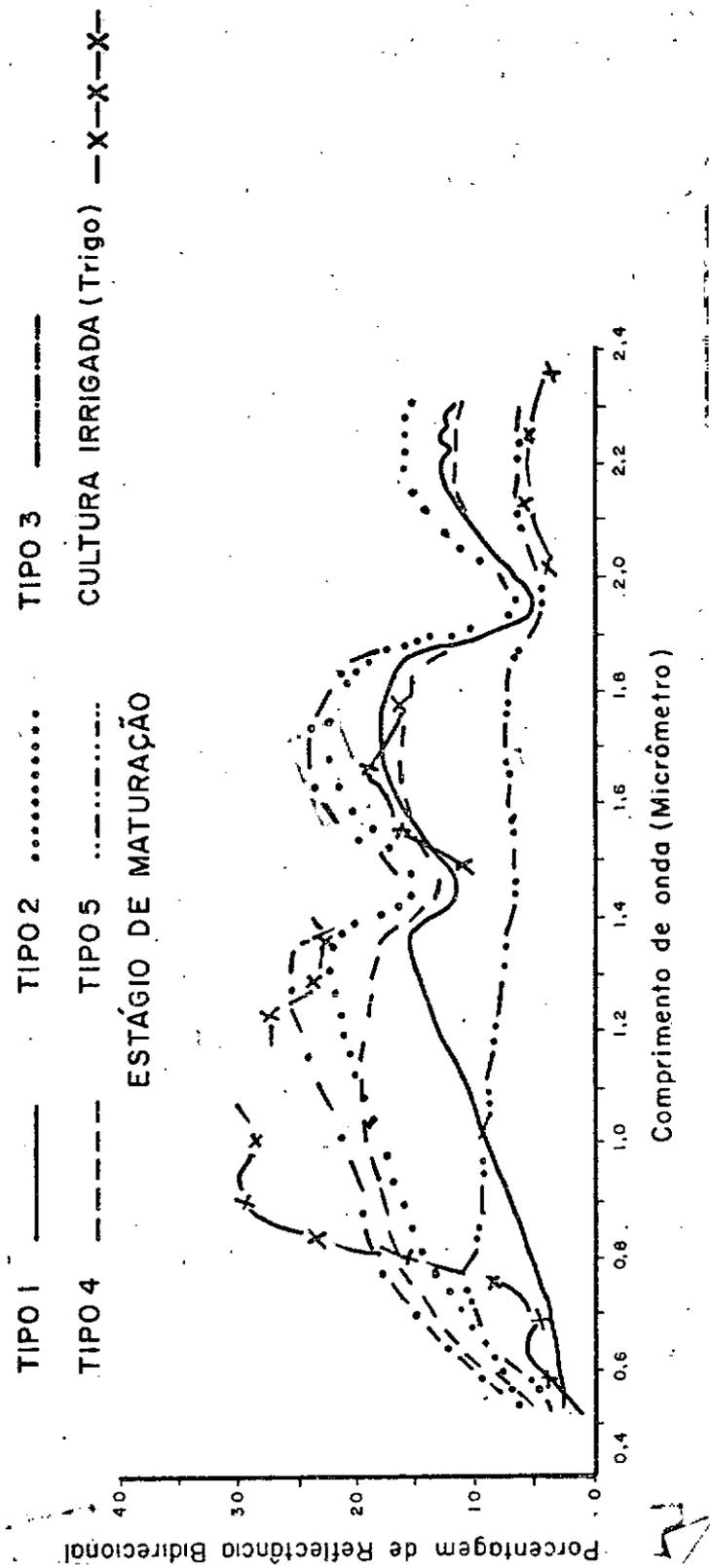


Fig. 14 - Comportamento Espectral de solos e culturas irrigadas.
FONTE: Stoner e Baumgardner (1980) e Hixson et alii (1978).



Fig. 15 - Composição colorida - TM 3/TM 4/TM 5 - Itatiba.

4. ATIVIDADES FUTURAS

Na próxima etapa a ser desenvolvida serão realizadas as seguintes atividades:

a) Trabalho de Campo

Este trabalho de campo terá como objetivo verificar os padrões de identificação estabelecidos para as áreas irrigadas na fase anterior.

b) Processamento Digital

Serão processadas digitalmente as imagens referentes ao mês de setembro para a área-teste de Iracemópolis e ao mês de julho para Itatiba. Os produtos a serem obtidos são os mesmos descritos neste relatório. Em função dos resultados do segundo trabalho de campo procurar-se-á verificar novas possibilidades de processamento para melhorar a identificação de áreas irrigadas.

c) Cálculo de áreas irrigadas

Uma vez identificadas as áreas irrigadas, proceder-se-á ao cálculo de área através de processamento digital.

d) Confecção dos Mapas Finais na Escala 1:50.000

Essa fase implicará em adaptar um sistema para projeção de produto fotográfico sobre uma base cartográfica na escala 1:50.000.

e) Elaboração de Relatório Final

Esse relatório conterá uma discussão metodológica sobre os problemas que envolvem a identificação de áreas irrigadas, bem como uma apreciação dos produtos e tipos de processamento adequados a este propósito.

5. CONCLUSÕES PRELIMINARES

Em regiões do Estado de São Paulo com características semelhantes às do Município de Itatiba, onde a agricultura irrigada é praticada em parcelas localizadas em meio a pastagens naturais (Apêndice C), há grande probabilidade de efetuar o seu cadastramento a partir da utilização de dados do TM/LANDSAT. Para isto, deve-se ter em mente que no cálculo de áreas irrigadas poderá haver erros devido aos seguintes fatores:

- a) O período de irrigação é bastante variável, assim como as épocas de plantio e colheita. No caso específico de Itatiba (Apêndice C) a época do início da irrigação variou de maio a setembro, e a época do término (colheita) variou de julho a outubro. Desta maneira, para mapear toda a área efetivamente irrigada seriam necessárias imagens que cobrem todo o período de deficiência hídrica.
- b) A caracterização das áreas irrigadas é também extremamente dependente das condições meteorológicas que antecedem a tomada das imagens. Deste modo, a ocorrência de períodos de maior concentração de pluviosidade no período seco (avanço de frente fria com intensificação de precipitações) pode determinar uma recuperação temporária de espécies com maior resistência (gramíneas), o que acarretaria uma perda de contraste entre áreas irrigadas e as não-irrigadas.
- c) O tamanho das parcelas irrigadas bastante variável (Apêndice C) pode fazer com que pequenas áreas não sejam detectadas em função do tipo de uso do solo em seus arredores.

Em regiões do Estado de São Paulo com características semelhantes às do município de Iracemápolis (Apêndice D), em que a área irrigada é extensa mas cercada por culturas do mesmo tipo, porém não-irrigada, sua detecção através de dados do TM parece bastante discutível até o estágio em que se encontra a presente pesquisa.

6. QUESTÕES A SEREM INVESTIGADAS COM MAIS PROFUNDIDADE

- Qual o efeito do tipo de solo subjacente à cultura sobre a discriminação entre áreas irrigadas e não-irrigadas?
- Qual o efeito das condições meteorológicas que antecederam a passagem do satélite sobre a detecção de áreas irrigadas? A partir de que volume de precipitação, sob que condições de solo, e quanto tempo antes, tais episódios de chuva afetam significativamente a separabilidade de culturas irrigadas das não-irrigadas?
- Quais os efeitos atmosféricos sobre a discriminação entre áreas irrigadas e não-irrigadas? (Dave, 1980).

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.
- BLANCHARD, L.E.; WEINSTEIN, O. Design Challenges of Thematic Mapper. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 18(2): 146-159, 1980.
- DAVE, J.V. Effect of Atmospheric Conditions on Remote Sensing of Vegetation Parameters. *Remote Sensing of Environment*, 10: 87-99, 1980.
- 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.
- EPIPHANIO, J.C.N.; VITORELLO, I. *Áreas irrigadas: Monitoramento por Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos, INPE, 1983. (INPE-2852-PRE/392).
- FORMAGGIO, A.R. Comportamento Espectral de Quatro Solos do Estado de São Paulo nos níveis Orbital, de Campo e de Laboratório. (INPE-2878-TDL/144). São José dos Campos, 1983.
- HIXSON, M. N.; BAUER, M.E.; BIEHL, L.L. *Crop Spectra from LACIE Field Measurements*. Purdue University, 1978 195p. (West Lafayette, IN, LARS Report 011578).
- HOLBEN, J.; SCHUTT, B.; MCMURTREY III, J. Leaf water stress detection utilizing Thematic Mapper bands 3, 4, 5 in soybean plants. *International Journal of Remote Sensing*, 4(2):289-298, 1983.
- KOLM, K.E.; LEE CASE III, H. The Identification of Irrigated Types and Estimation of Acreages from LANDSAT Imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 50(10):1479-1490, 1984.
- TOWNSHEND, J.R.G. Agricultural land-cover discrimination using thematic mapper spectral bands. *International Journal of Remote Sensing*, 5(4): 681-698, 1984.

_____; GRYLER, J.R.; HARDY, J.R.; JACKSON, M. J.; BAKER, J.R. Preliminary analysis of LANDSAT-4 Thematic Mapper products. *International Journal of Remote Sensing*, 4(4):817-828, 1983.

TUCKER, C.J. Remote Sensing of Leaf Water Content in the Near Infrared. *Remote Sensing of Environment*, 10:23-32, 1980.

STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. Physiochemical, site and bidirectional reflectance factor characteristics of uniformly moist soils. West Lafayette. LARS (Technical Report 111679), 94p. 1980. Purdue University.

APÊNDICE A

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE
DP - PR - IRRIGAÇÃO
CADASTRO DE ÁREAS IRRIGADAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

REGIÃO ADMINISTRATIVA DE : _____
Quest. Nº _____

1 - IDENTIFICAÇÃO

- a) Nome do Imóvel _____
b) Distrito _____ c) Município _____
d) Acesso _____
e) Nome do irrigante _____
f) Proprietário _____ g) Arrendatário _____
h) Outro _____
i) Endereço _____ j) tel _____

2 - CARACTERÍSTICAS DO IMÓVEL

- a) área total (ha) _____ b) área útil (ha) _____
Topografia: c) plana _____ d) ondulada _____
e) fortemente ondulada _____
f) área irrigada (ha) _____
Fontes de captação:
g) rio _____ h) córrego _____ i) canal _____
j) represa _____ k) poço _____
l) vazão retirada _____

3 - EQUIPAMENTO E ENERGIA

- energia elétrica : a) sim _____ n) não _____
motores: c) diesel _____ d) gasolina _____ e) eletr. _____
f) capacidade das bombas _____
g) tubulação: comprimento/diâmetro: _____

h) outros _____

4) IRRIGAÇÃO

| TIPOS | ÁREA | CULTURAS | OBS. |
|---|------|----------|------|
| <u>Aspersão</u> a) tradicional b) autopropelido c) pivot-central d) outro | | | |
| e) <u>Gotejo</u> | | | |
| <u>Gravidade</u> f) sulcos g) inundação h) outro | | | |

5) CONTROLE DE IRRIGAÇÃO

- a) pluviômetro _____ b) tensiômetro _____
 c) tanque de evaporação _____ d) não controla _____

6) GERAL

Assistência Técnica na irrigação:

- a) vendedor _____ b) outro: _____ c) não tem _____
 d) Faz levantamento do custo da irrigação: _____
 e) Possui planta da fazenda: _____
 f) Existe equipamento abandonado: _____
 g) Já teve experiência anterior com irrigação: _____
 h) Firma instaladora do conjunto: _____

7) OBSERVAÇÕES

CALENDÁRIO DE IRRIGAÇÃO

| ATIVIDADE | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Preparo do Solo | | | | | | | | | | | | |
| Plantio | | | | | | | | | | | | |
| Irrigação | | | | | | | | | | | | |
| Colheita | | | | | | | | | | | | |
| Outros | | | | | | | | | | | | |

Observações: turno de rega -

Vizinhança das áreas irrigadas:

Maior demanda de área irrigada:

Rotação de cultura: SIM ()

NÃO ()

De que modo? _____

Rotação de terra: SIM ()

NÃO ()

De que modo? _____

Tipo de solo: cor seca _____

cor úmida _____

Número das fotos:

APÊNDICE B

FICHA DE AVALIAÇÃO DE PRODUTOS TM PROCESSADOS DIGITALMENTE

| SLIDE | MUNICÍPIO | DATA | PRODUTO TM PROCESSADO DIGITALMENTE | OBSERVAÇÕES |
|-------|--------------|----------|------------------------------------|--|
| * 1 | IRACEMÁPOLIS | 06.07.84 | 3B 4G 7R | Não apresentou discriminação suficiente entre áreas irrigadas e não-irrigadas - CANA ADULTA IRRIGADA (VERDE CLARO). Observa-se que nas partes mais altas há uma tendência a um verde mais claro. As áreas de mata e várzeas aparecem em verde amarelado. |
| * 2 | IRACEMÁPOLIS | 06.07.84 | PRINCO (1) | Discrimina algumas parcelas irrigadas a cinza claro (?) |
| 3 | IRACEMÁPOLIS | 06.07.84 | PRINCO (2) | Não discrimina nada. |
| 4 | IRACEMÁPOLIS | 06.07.84 | PRINCO (3) | Não discrimina nada. |
| * 5 | IRACEMÁPOLIS | 06.07.84 | 3B 4G 5R | Há uma certa discriminação de solo exposto escurecido (irrigado?). A cana irrigada - verde claro. |
| * 6 | IRACEMÁPOLIS | 06.07.84 | 4B 5G 7R | As áreas de vegetação irrigada - azul médio a claro, vegetação natural matas e áreas de várzea - azul escuro. Áreas de solo exposto úmidas - amarelo e marrom escuro |
| * 7 | IRACEMÁPOLIS | 06.07.84 | 4R 5G 7B | Discrimina as áreas úmidas de solo exposto - azul escuro. Áreas de cana irrigada amarelo, mas não discrimina a área irrigada. |
| * 1a | IRACEMÁPOLIS | 06.07.84 | 3B 4G 7R | Não apresentou discriminação suficiente entre áreas irrigadas e não-irrigadas - CANA ADULTA IRRIGADA (VERDE CLARO). Observa-se que nas partes mais altas há uma tendência a um verde mais claro. As áreas de mata e várzeas aparecem em verde amarelado. |
| * 8 | IRACEMÁPOLIS | 06.07.84 | 3G 5B 7R | Azul médio cana irrigada (não discrimina). Azul escuro - mata natural, áreas de várzea. Verde escuro a muito escuro - solo exposto - úmido. |
| * 9 | IRACEMÁPOLIS | 06.07.84 | 4R 5G 7B | Não discrimina cana irrigada - (amarelo claro). Solo exposto úmido - azul muito escuro. |
| * 10 | ITATIBA | 01.09.84 | TM 4 | Áreas irrigadas azul - claro (branco) |
| * 11 | ITATIBA | 01.09.84 | 2B 3G 4R | Vermelho claro - áreas irrigadas. Vermelho escuro - áreas de mata e reflorestamento. |
| * 12 | ITATIBA | 01.09.84 | 1B 2G 4R | Semelhante ao 11, porém com um pouco menos discriminação |

APÊNDICE C

CARACTERÍSTICAS DAS PROPRIEDADES COM CULTURAS IRRIGADAS A

PARTIR DE DADOS DE CAMPO

| NÚMERO DA PROPRIEDADE | TAMANHO DA ÁREA IRRIGADA | CULTURA IRRIGADA | USO DO SOLO NAS ADJACÊNCIAS | COR DO SOLO | PERÍODO DE IRRIGAÇÃO |
|-----------------------|--------------------------|---|-------------------------------------|--|----------------------|
| 1 | 325 ha | TRIGO SOJA MILHO | PASTO | VERMELHO/ AMARELO | JULHO/ AGOSTO |
| 2 | 360 ha | BATATA | PASTO MATA TRIGO NÃO-IRRIGADO | VERMELHO CLARO | SETEMBRO/ OUTUBRO |
| 3 | 45 ha | BATATA FEIJÃO | MATA PASTO | VERMELHO CLARO | MAIO/JULHO |
| 4 | 6 ha | VAGEM FEIJÃO | PASTO | VERMELHO CLARO | JULHO/ SETEMBRO |
| 5 | 38 ha | BATATA | PASTO MATA | VERMELHO CLARO | MAIO/ SETEMBRO |
| 6 | 8,4 ha | CHICÓRIA ALFACE COUVE BRÓCOLI | EUCALIPTO MATA PASTO SUJO | SOLO HIDROMÓRFICO DE COR PRETA/ CINZA ESCURO | TODO O ANO |
| 7 | 28,6 ha | BATATA | PASTO MATA | VERMELHO CLARO | MAIO/JULHO |
| 8 | 33 ha | BATATA | PASTO MATA | VERMELHO CLARO | MAIO/ SETEMBRO |
| 9 | 12 ha | VAGEM | PINUS MATA PASTO | VERMELHO CLARO | JULHO/ AGOSTO |
| 10 | 33 ha | BATATA MILHO FEIJÃO | - | VERMELHO CLARO | JULHO/ AGOSTO |
| 11 | 79 ha | BATATA ALFACE/BETERRABA | - | CINZA | - |
| 12 | 75 ha | ARROZ, FEIJÃO, MILHO, SORGO, ALFAFA, AVEIA, ALFACE, VAGEM | - | LATOSOLO ROXO | - |

I T A T I B A

APÊNDICE D

CARACTERÍSTICAS DAS PROPRIEDADES COM CULTURAS IRRIGADAS A PARTIR DE DADOS DE CAMPO

| NÚMERO DA PROPRIEDADE | TAMANHO DA ÁREA IRRIGADA | CULTURA IRRIGADA | USO DO SOLO NAS ADJACÊNCIAS | COR DO SOLO | PERÍODO DE IRRIGAÇÃO |
|-----------------------|--------------------------|------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|
| 1 | 1000 ha | CANA | CANA | VERMELHO ESCURO | - |
| 2 | 5 ha | FEIJÃO TOMATE | - | - | - |

I R A C E M Ã P O L I S