

# **CAPÍTULO 9**

## **SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À AGRICULTURA**

**Maurício Alves Moreira<sup>1</sup>**

**Bernardo F. T. Rudorff<sup>2</sup>**

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS-INPE**

---

<sup>1</sup> mauricio@ltid.inpe.br

<sup>2</sup> bernardo@ltid.inpe.br

## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>9-3</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9-5</b>
<b>2. PRINCIPAIS CULTURAS ESTUDADAS .....</b>	<b>9-12</b>
<b>2.1 CANA-DE-AÇÚCAR .....</b>	<b>9-12</b>
<b>2.2 CULTURA DO TRIGO .....</b>	<b>9-13</b>
<b>2.3 CULTURA DO ARROZ IRRIGADO .....</b>	<b>9-13</b>
<b>2.4 ESTIMATIVA DE ÁREAS PREPARADAS PARA PLANTIO ...</b>	<b>9-14</b>
<b>2.5 SISTEMA DE AMOSTRAGEM PARA ESTIMATIVA DE             ÁREAS AGRÍCOLAS .....</b>	<b>9-15</b>
<b>3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>9-18</b>

## LISTA DE FIGURAS

1. VARIÇÃO DA RADIAÇÃO REFLETIDA PELAS CULTURAS DE SOJA E DE MILHO NAS BANDAS TM3 E TM4 DO LANDSAT-5 ..... 9-6
2. RADIAÇÃO REFLETIDA PELA CULTURA DO CAFÉ DURANTE OS ANOS DE 1984 E 1985 ..... 9-7
3. REFLECTÂNCIA DE ÁREAS CAFEEIRAS NOS ANOS DE 1986 E 1987 NOS ANOS DE 1986 E 1987, APÓS OCORRÊNCIA DA GEADA EM 1985, NO MUNICÍPIO DE TRÊS PONTAS ..... 9-8
4. COMPOSIÇÃO COLORIDA DAS BANDAS TM3 (AZUL), TM4 (VERDE) E TM5 (VERMELHO) MOSTRANDO DIFERENTES OCUPAÇÕES DO SOLO ..... 9-9
5. ÁREAS IRRIGADA PELO SISTEMA DE PIVÔ CENTRAL ..... 9-10
6. IMAGEM NDVI DO ESTADO DE MATO GROSSO MOSTRANDO A EVOLUÇÃO DO DESFLORESTAMENTO OCORRIDA ENTRE OS ANOS DE 1989 A 1993 ..... 9-11
7. IMAGEM DO LANDSAT-TM MOSTRANDO ÁREAS DE ARROZ IRRIGADO NO MUNICÍPIO DE SANTA VITÓRIA DO PALMAR – RS .... 9-14
8. ESQUEMA DE CONSTRUÇÃO DO PAINEL DE AMOSTRA DO PROJETO SIAG ..... 9-15
9. IMAGEM EM COMPOSIÇÃO COLORIDA ADQUIRIDA PELO SENSOR TM A BORDO DO SATÉLITE LANDSAT DA REGIÃO DE ALFERES – MG, MOSTRANDO ÁREAS DE CAFÉ, CITRUS, PASTAGEM E REFLORESTAMENTO ..... 9-16

- 10. IMAGEM LANDSAT – TM DA REGIÃO DE BEBEDOURO – SP,  
MOSTRANDO ÁREAS DESTINADAS À CITRICULTURA ..... 9-17**
- 11. IMAGEM LANDSAT – TM BANDA 5 (INFRAVERMELHO PRÓXIMO)  
MOSTRANDO A EXPANSÃO DA FRONTEIRA ..... 9-17**

## 1. INTRODUÇÃO

Hoje em dia, o interesse em obter informações sobre produção de alimentos passou de “lobby” a uma necessidade uma vez que, o consumo de alimento é sempre crescente. Além disso, é necessário obter informações precisas e em tempo hábil, para que órgãos governamentais e de iniciativa privada possam tomar medidas de ações rápidas para importar ou exportar o excedente da produção de determinado produto agrícola.

A tecnologia de sensoriamento remoto apresenta um grande potencial para ser utilizada na agricultura. Através desta técnica, é possível obter informações sobre: estimativa de área plantada, produção agrícola, vigor vegetativo das culturas, além de fornecer subsídios para o manejo agrícola em nível de país, estado, município ou ainda em nível de microbacia hidrográfica ou fazenda.

Os satélites de recursos naturais, ou seja, aqueles satélites que foram construídos para observar e coletar dados da superfície terrestre, por exemplo, a área ocupada com floresta, carregam a bordo dispositivos que coletam estes dados. Esses dispositivos são os sensores. Este tipo de satélite carrega a bordo um conjunto de sensores (sistema sensor) que operam em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Devido a isso temos uma coleta da energia refletida em forma multiespectral<sup>3</sup>. Além disso, eles passam num mesmo ponto da superfície terrestre de tempo em tempo. Com esta repetitividade dos satélites, podemos obter dados de uma área agrícola várias vezes, durante seu ciclo de crescimento e desenvolvimento. Isso, permite criar um banco de dados com informações multitemporais<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Imagens multiespectrais são obtidas em varias faixas, regiões ou bandas do espectro eletromagnético, como por exemplo dentro da faixa do visível do espectro é possível registrar a energia refletida das bandas TM1, TM2 e TM3 do satélite Landsat. Quanto maior a resolução espectral de um sensor maior é o número de imagens obtidas numa dada região espectral.

<sup>4</sup> Um satélite de sensoriamento remoto passa sobre uma mesma área na superfície terrestre segundo um período definido. Por exemplo, o satélite Landsat leva 16 dias para fazer o recobrimento da Terra e, portanto, a cada 16 dias volta a passar sobre uma mesma área.

No caso de culturas agrícolas, a radiação refletida que é coletada pelos sistemas sensores traz informações que podem estar relacionadas, por exemplo, com o tipo de cultura plantada, com as condições fenológicas ou nutricionais da cultura e, conseqüentemente, com a produtividade, podendo, assim, estimar a produção da cultura agrícola. Nas Figuras 1 a 4 são apresentadas imagens do sensor TM a bordo do satélite Landsat, para enfatizar o aspecto multiespectral (Figura 1) e multitemporal (Figuras 2, 3 e 4) em regiões de intensa prática agrícola.

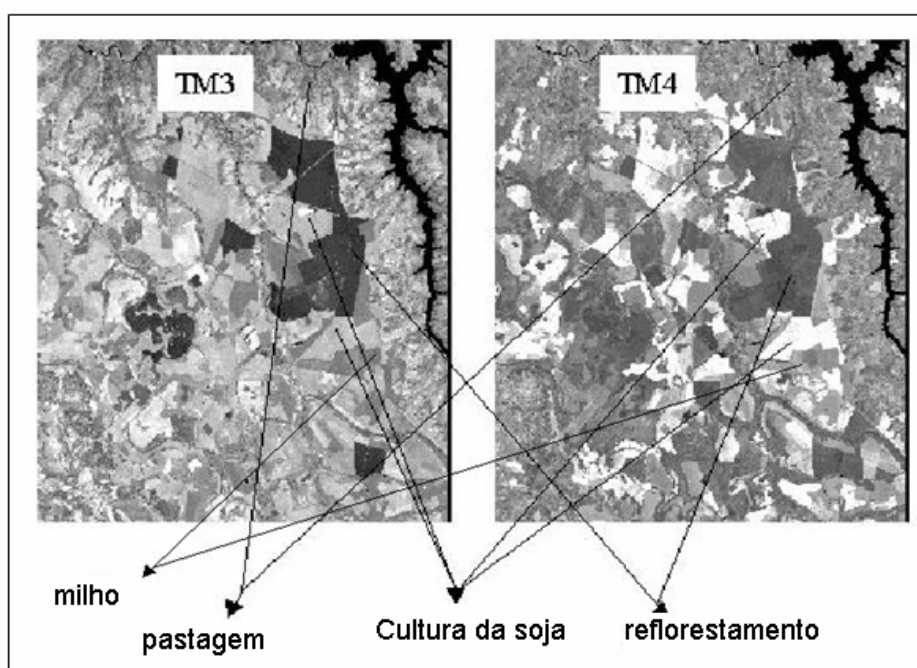


Fig. 1 – Variação da radiação refletida pelas culturas da soja e do milho nas bandas TM3 e TM4 do Landsat-5.

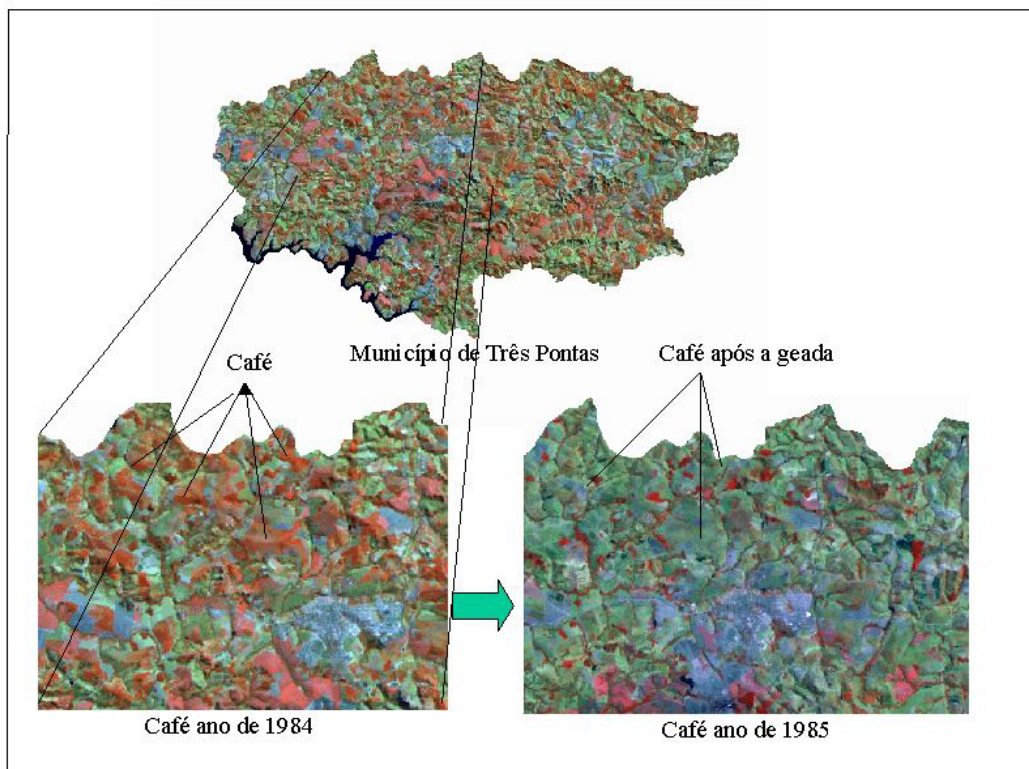


Fig. 2 – Radiação refletida pela cultura do café durante os anos de 1984 e 1985.

Na Figura 1 observa-se que as áreas de soja e milho apresentam tonalidade cinza escuro na imagem obtida na banda TM3, devido à absorção da energia solar pelas plantas, para realizar a fotossíntese. No entanto, na banda TM4 (infravermelho próximo) as mesmas áreas de soja e milho apresentam tonalidade cinza claro, denotando assim, alta reflectância da energia incidente, nesta região espectral. Nota-se que a soja apresenta-se em tonalidade bem mais clara do que o milho. Isto se deve principalmente à arquitetura diferenciada destas duas culturas, fazendo com que a soja reflita muita radiação solar na região do infravermelho próximo devido a suas folhas planiformes. As folhas mais eretas do milho permitem que uma maior quantidade de radiação penetre na cultura e conseqüentemente uma menor quantidade é refletida. Devido a esta característica é relativamente fácil discriminar estas duas culturas nas imagens de sensoriamento remoto.

Para explicar o comportamento espectral do café observado na Figura 2, é necessário esclarecer que no ano de 1985 ocorreu uma forte geada no Sul de Minas Gerais acarretando uma queima fisiológica muito grande nas áreas de café da região. Na imagem falsa cor de 1984 a cultura do café se apresenta em coloração magenta (intensa vegetação) e bem distinta dos demais alvos de ocupação do solo. Na imagem de 1985 as áreas de café se apresentam em coloração verde (folhas queimadas e muito solo exposto).

Na Figuras 3 pode-se observar que as áreas atingidas pela geada recuperaram o seu vigor vegetativo somente no ano de 1987, apresentando-se novamente em coloração magenta, tal como na imagem de 1984. Esta série temporal de imagens mostra como se pode identificar e avaliar o impacto de uma variável ambiental, como a geada, sobre a produção agrícola. Evidentemente, esta informação se complementa com uma série de outras variáveis que também exercem influência sobre a produção e não estão expressas na variação espectral da cultura.

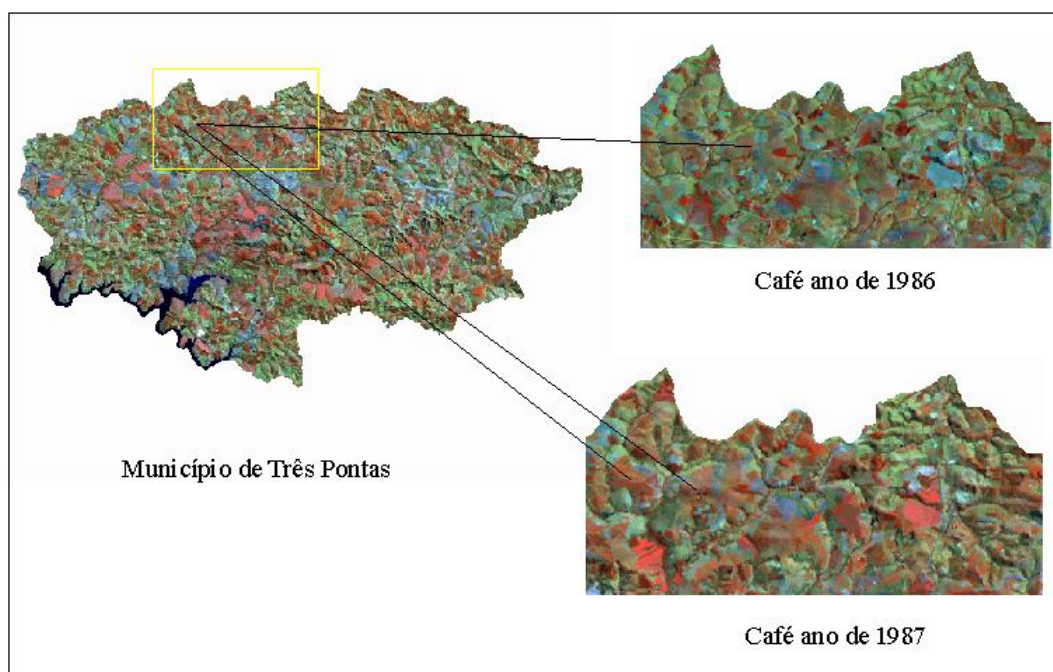


Fig. 3- Reflectância de áreas cafeeiras nos anos de 1986 e 1987, após ocorrência da geada em 1985, no município de Três Pontas.



Por outro lado, ao adicionar cores nas imagens, isto é, ao invés e trabalhar com imagens individuais, obtidas nas diferentes bandas, podemos associar, através de cores, as informações de três bandas e gerar uma composição colorida, como é o caso da Figura 4, que foi gerada adicionando as cores, azul na banda TM3; o verde na banda TM4 e o vermelho na banda TM5. Nota-se que neste caso as áreas de soja estão apresentadas em amarelo-esverdeado e o milho em verde, mostrando que existem diferenças espectrais nessas duas culturas.

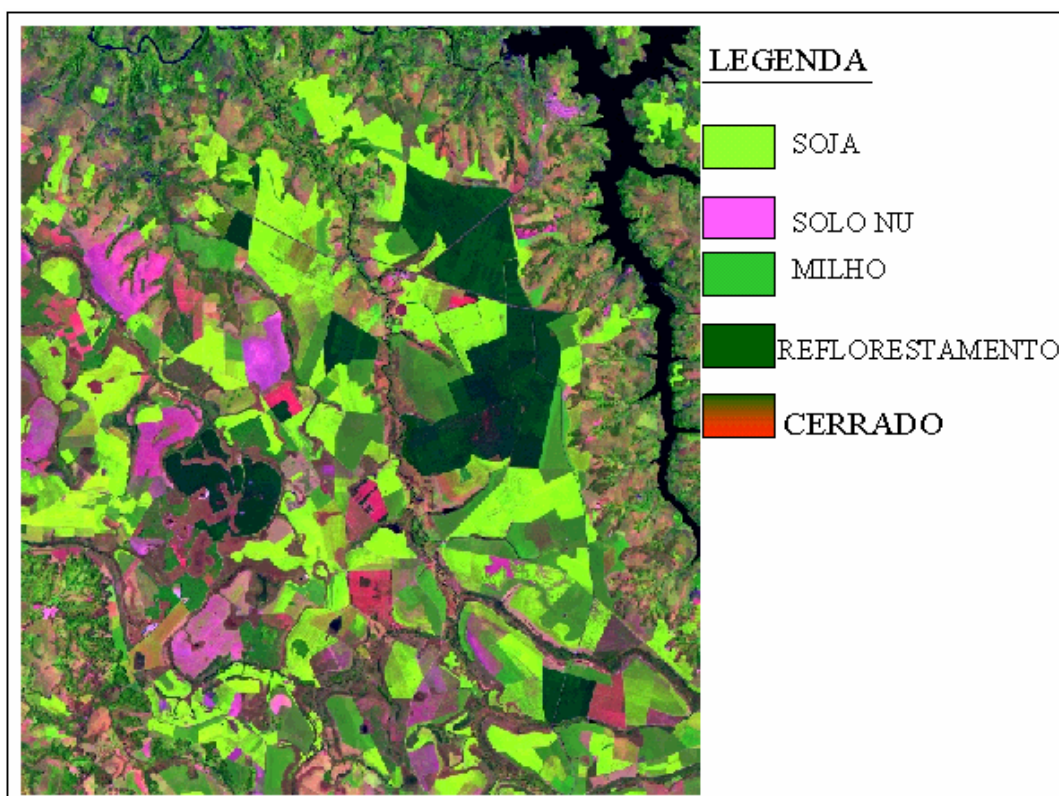


Fig. 4- Composição colorida das bandas TM3(azul), TM4(verde) e TM5(vermelho) mostrando diferentes ocupações do solo.

É bom ressaltar que além das características multiespectrais e multitemporais das imagens do satélite, o especialista em sensoriamento remoto utiliza também elementos da fotointerpretação tais como: forma, sombreamento e textura. Por exemplo, para distinguir áreas irrigadas por sistema de pivô central de outros métodos de irrigação o analista baseia-se na forma, como é mostrado na Figura 5.

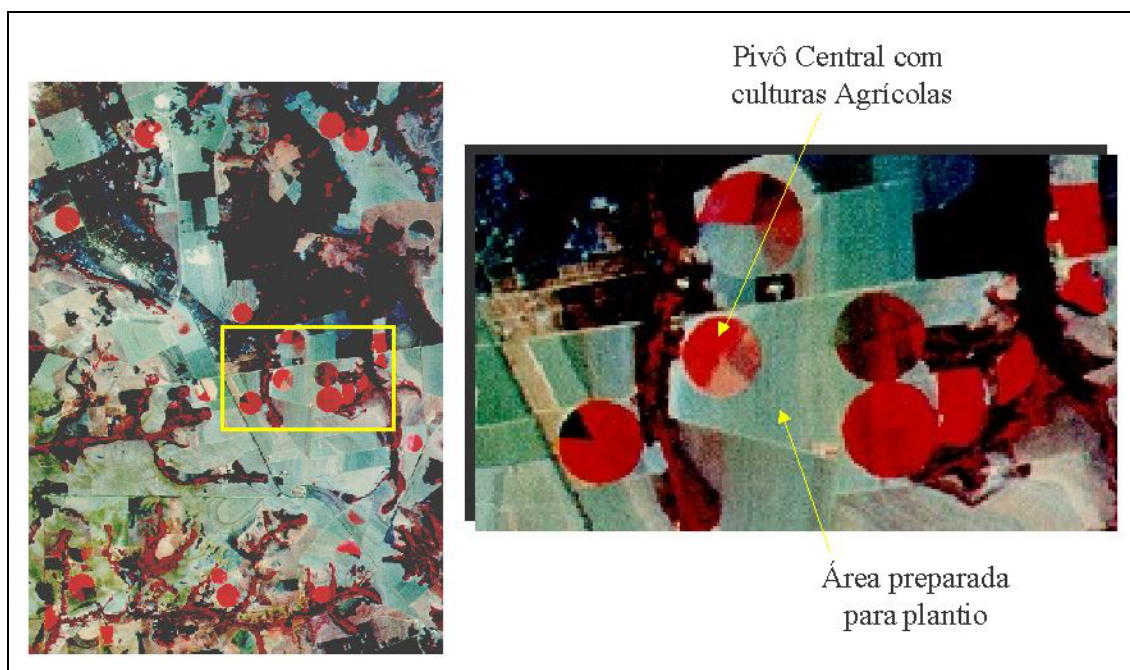


Fig. 5- Áreas irrigadas pelo sistema de pivô central.

Diante do que foi apresentado até aqui parece ser bastante simples a utilização de imagens para estimar a produção das safras agrícolas. Isto seria uma realidade se dispuséssemos de um número suficiente de imagens que permitissem identificar a cultura e diagnosticar o seu potencial produtivo. Isto permitiria inclusive realizar previsões de estimativas de safras, de forma objetiva e confiável. Entretanto, o grande impedimento para se obter imagens de satélite, durante o período da safra, é a presença de nuvens. Elas impedem que a energia refletida e/ou emitida pelos alvos da superfície terrestre chegue até o sensor a bordo do satélite. A freqüente cobertura de nuvens impede a obtenção de imagens livres de nuvens e impõe sérias limitações ao uso operacional das técnicas de sensoriamento remoto para estimativa de safras. Para contornar este problema existem alternativas relacionadas tanto com os sistemas sensores quanto com o sistema de coleta das informações.

Quanto aos sistemas sensores, uma alternativa seria colocar em órbita uma constelação de satélites com características similares que permitiriam obter imagens com freqüência diária. A título de exemplo, para o Landsat

necessitaríamos de 15 satélites para obter imagens diariamente. Outra alternativa é a utilização de imagens de um satélite com alta resolução temporal (diária). A grande limitação destes tipos de imagens, como por exemplo, às imagens AVHRR, é a baixa resolução espacial (1,1 x 1,1 km). Com este tipo de imagem não é possível estimar a área plantada. Contudo, estas imagens podem ser utilizadas para um sistema de vigilância sobre efeitos episódicos ou mesmo na avaliação da expansão de áreas agrícolas, conforme é apresentado na Figura 6.

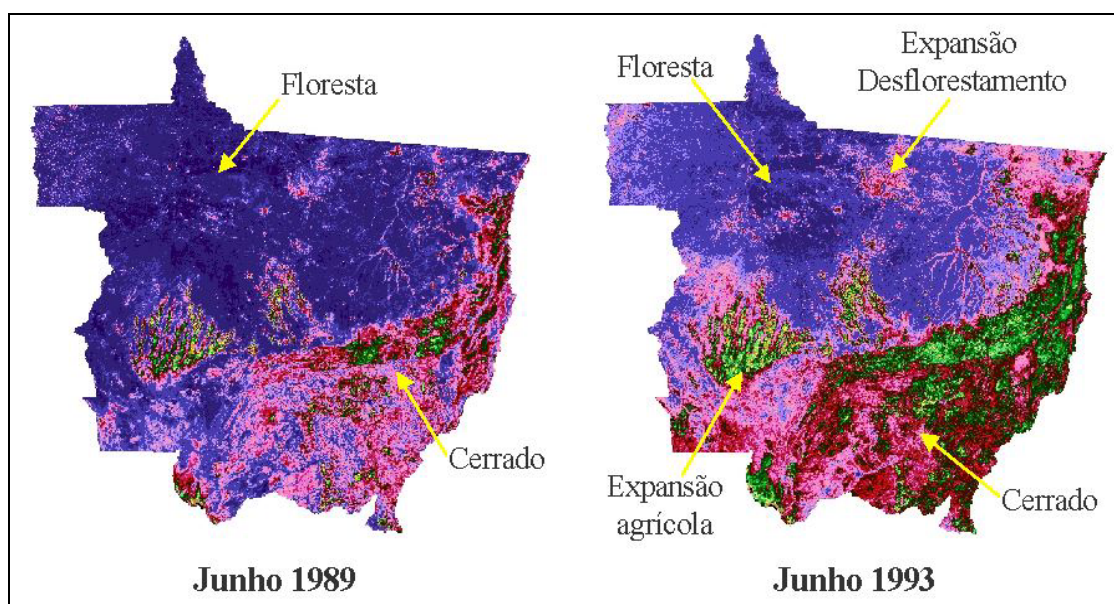


Fig. 6 - Imagem NDVI (Índice de Vegetação com Diferença Normalizada /  $NDVI = \frac{R_{iv} - R_v}{R_{iv} + R_v}$ , onde  $R_{iv}$  = reflectância na região do infravermelho próximo e  $R_v$  = reflectância na região do vermelho do espectro eletromagnético) do Estado do Mato Grosso mostrando a evolução do desflorestamento ocorrida entre os anos de 1989 a 1993. Fonte: Adaptado de Shimabukuro et al.(1999, p. )

No caso da figura acima foram utilizadas várias imagens do mês de junho parcialmente cobertas com nuvens. Estas imagens foram compostas ou mosaicadas para se obter uma imagem livre de nuvens sobre todo o estado do Mato Grosso. Finalmente, uma outra alternativa seria estabelecer um sistema de amostragem para estimar a área das principais culturas, utilizando como

referência, imagens de satélites ou fotografias aéreas de arquivo recentes. Este procedimento será descrito mais adiante.

Por limitações tecnológicas é difícil obter imagens com alta resolução temporal e espacial. Em geral, quanto maior for a resolução espacial de uma imagem maior será o tempo que o satélite leva para retornar a uma mesma área em função da estreita órbita de imageamento.

Há mais de 25 anos o INPE vem realizando pesquisas relacionadas com a identificação e o mapeamento de áreas agrícolas, destacando-se as seguintes pesquisas: a) seleção das culturas agrícolas passíveis de serem mapeadas através de imagens de satélites; b) definição da área mínima, no terreno, possível de ser identificada nas imagens de satélites; c) comportamento espectral de culturas agrícolas; d) estabelecimento dos períodos adequados para aquisição de imagens visando a identificação de culturas agrícolas; e) métodos de estimativa da precisão e exatidão dos mapas temáticos; e f) utilização de algoritmos de classificação para mapear áreas agrícolas.

## **2. PRINCIPAIS CULTURAS ESTUDADAS**

### **2.1 CANA-DE-AÇÚCAR**

O primeiro grande projeto de mapeamento de área de cana-de-açúcar no estado de São Paulo ocorreu no ano safra 1979/80 (Mendonça et al., 1981). Este projeto foi realizado através de interpretação visual de imagens Landsat-MSS (Multispectral Scanner System) na escala 1:250.000, nas bandas MSS5 (vermelho) e MSS7 (infravermelho próximo). Foram utilizadas 44 imagens de 185x185 km obtendo-se uma estimativa de área plantada de 801.950 ha, para todo Brasil. Posteriormente, foram realizados estudos que visaram estimar a produtividade agrícola da cana-de-açúcar através de imagens do Landsat e de um modelo agrometeorológico desta (Rudorff e Batista, 1990).

## 2.2 CULTURA DO TRIGO

Diversos estudos para estimar a área plantada com a cultura do trigo foram realizados, principalmente, no estado do Rio Grande do Sul. O trigo é cultivado durante a entre safra e neste período existe uma maior probabilidade de se obter imagens livres de cobertura de nuvens favorecendo o uso de imagens de sensoriamento remoto na estimativa de área plantada. Moreira (1983) desenvolveu uma metodologia de estimativa de área de trigo, com base em sistema de amostragem, que reduziu em mais de 80% o tempo gasto na interpretação visual. Estudos pioneiros foram realizados também com a cultura do trigo na região de Assis, SP, para fins de fiscalização do crédito agrícola, em nível de propriedade rural, utilizando imagens do satélite Landsat-TM.

## 2.3 CULTURA DO ARROZ IRRIGADO

Os estudos com a cultura do arroz irrigado tiveram seus inícios no ano de 1980, quando então foi assinado um convênio entre o INPE e o Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA). Na época foram selecionados quatro municípios como área teste: Santa Vitória do Palmar, Itaqui, Dom Pedrito e Cachoeira do Sul. O estudo foi realizado com imagens, na escala 1:250.000, do sensor MSS nas bandas 5 e 7. Através deste estudo foi constatado que a presença da lâmina de água é um fator preponderante para separar áreas irrigadas por inundação de outros tipos de irrigação. Por exemplo, as áreas ocupadas com arroz irrigado apresentam tons de cinza muito escuros na imagem da região do infravermelho próximo (banda TM4) contrastando com outras culturas não irrigadas, conforme é mostrado na Figura 7.



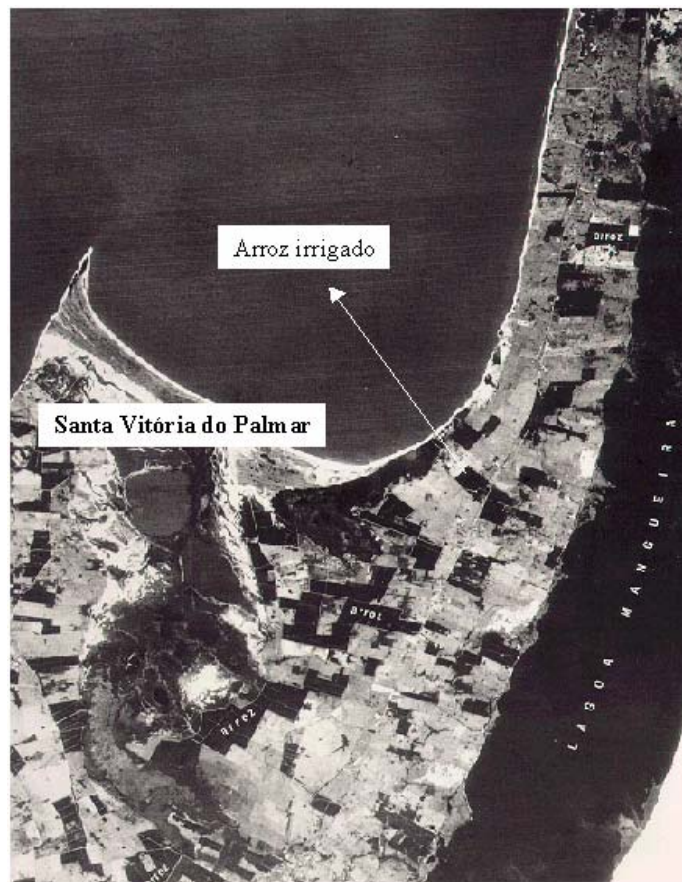


Fig. 7 – Imagem do Landsat-TM mostrando áreas de arroz irrigado no município de Santa Vitória do Palmar – RS.

#### 2.4 ESTIMATIVA DE ÁREAS PREPARADA PARA PLANTIO

A identificação e o mapeamento de áreas de solo exposto e preparado para plantio, visa contornar o problema da indisponibilidade de imagens livres de nuvens durante a estação chuvosa (janeiro a fevereiro). Com base na área potencialmente destinada para o plantio das lavouras pode-se, em conjunto com informações de intenção de plantio, estimar a área destinada para as diferentes culturas. Este estudo foi inicialmente realizado por Assunção e Duarte (1982) e foi recentemente retomado por Ippoliti-Ramilo (1999).

## 2.5 SISTEMA DE AMOSTRAGEM PARA ESTIMATIVA DE ÁREAS AGRÍCOLAS

O INPE e o IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística desenvolveram um projeto, denominado SIAG - Sistema de Informação Agropecuária que visa obter estatísticas agrícolas com base num painel amostral. Inicialmente o projeto foi implementado no estado do Paraná e, posteriormente, expandido para os estados de Santa Catarina, São Paulo e o Distrito Federal. No SIAG as imagens do Landsat-TM foram utilizadas na construção do painel de amostra, isto é, na estratificação da área de estudo, em função da intensidade de uso agrícola, e também para dividir os estratos em unidades menores, denominadas UPAs (Unidades Primárias de Amostragem) que contém segmentos amostrais a serem visitados no campo pelos entrevistadores (Moreira et al. 1989). A Figura 8, ilustra a seqüência de construção do painel de amostra.

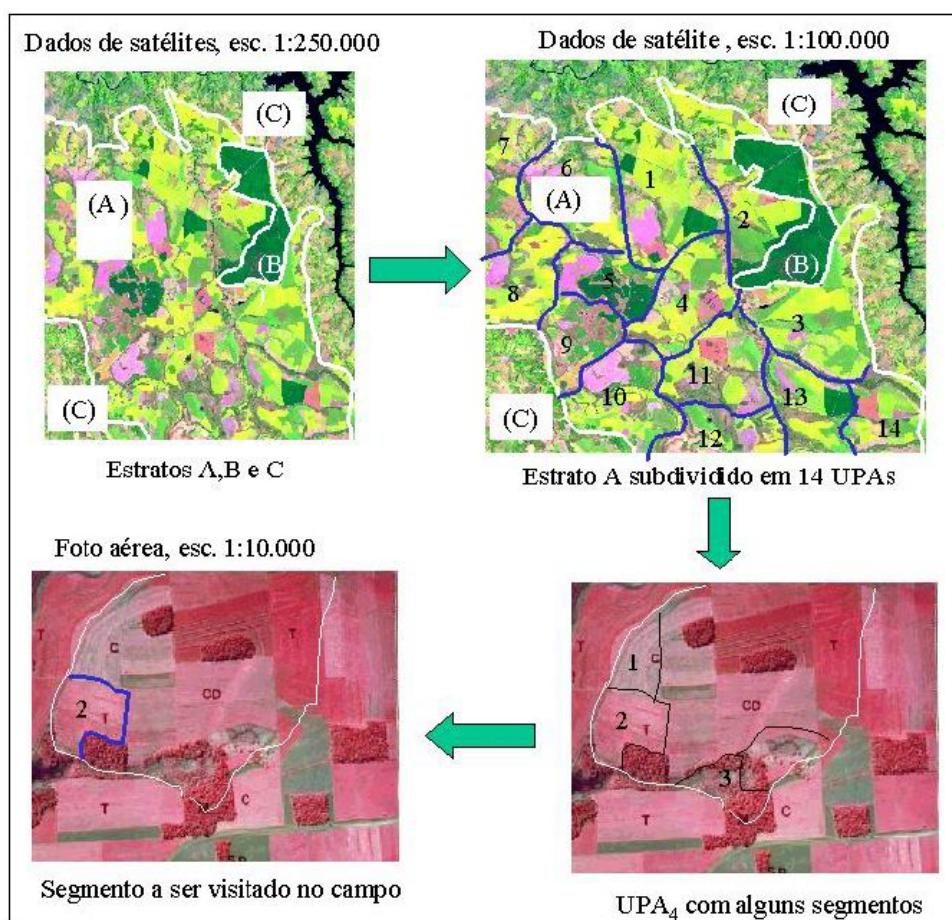


Fig. 8 – Esquema de construção do painel de amostra do Projeto SIAG.

As vantagens da abordagem metodológica do SIAG são:

- 1) permite estimar a área das culturas agrícolas dentro de uma confiabilidade pré-estabelecida;
- 2) permite estimar a área das culturas agrícolas mesmo não se dispondo de dados de satélites da safra corrente pois neste caso se utiliza o estimador de expansão direta;
- 3) reduz o tempo e custo no levantamento das informações a campo, por exemplo, no Paraná são levantadas informações em apenas 450 segmentos com tamanho que varia de 1 a 5 km<sup>2</sup>;
- 4) a metodologia do SIAG pode ser aplicada para áreas grandes (estado) ou pequenas (município), bastando para isso, adequar o painel de amostra.

As Figuras a seguir mostram exemplos de aplicações das imagens de sensoriamento remoto na agricultura.

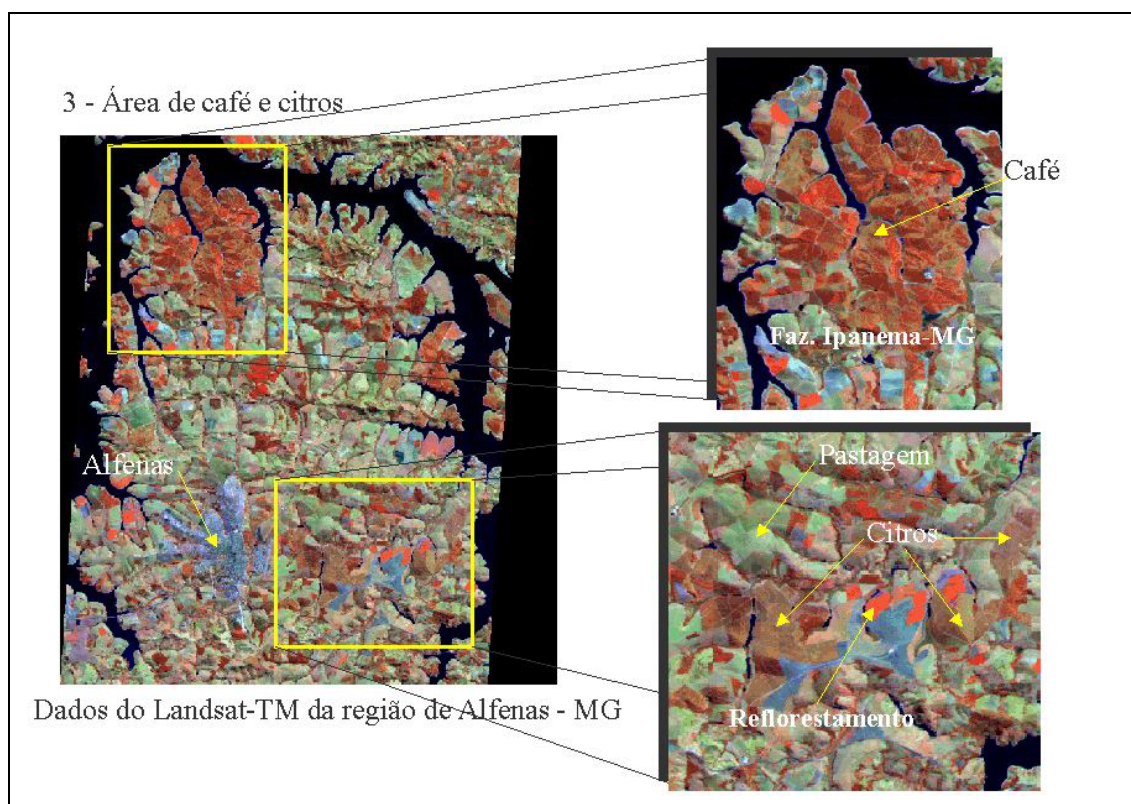


Fig. 9 – Imagem em composição colorida adquirida pelo sensor TM a bordo do



satélite Landsat da região de Alfenas - MG, mostrando áreas de café, citrus, pastagem e reflorestamento.

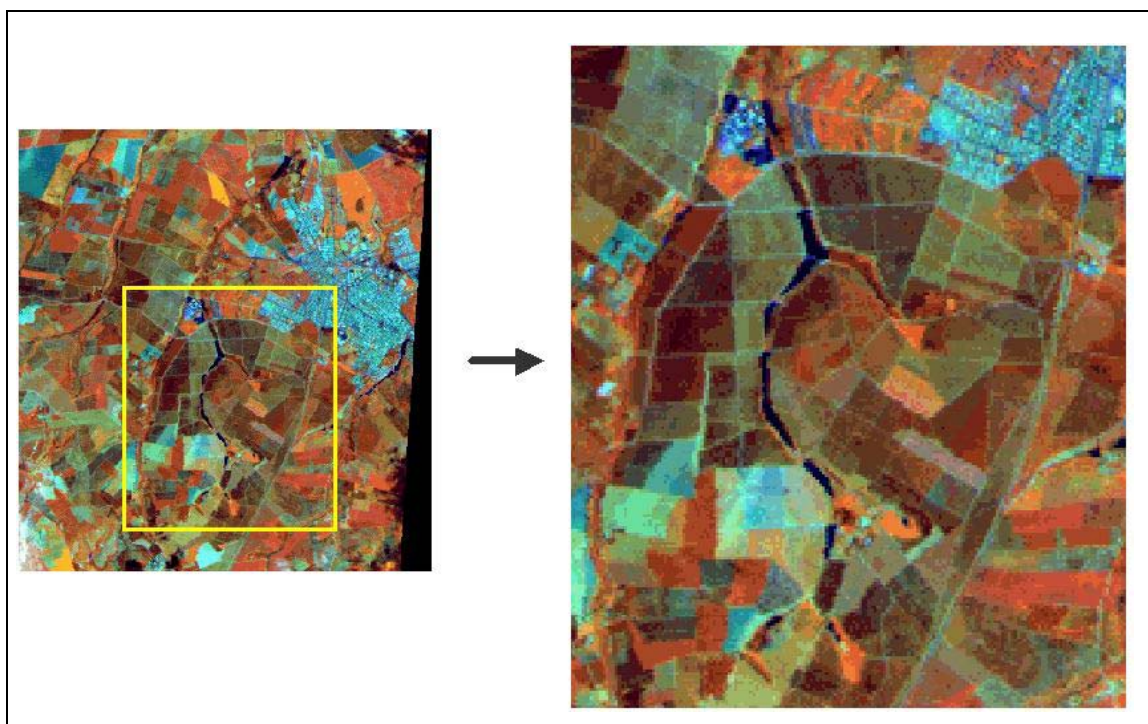


Fig. 10 – Imagem Landsat-TM da região de Bebedouro – SP, mostrando áreas destinadas à citricultura.

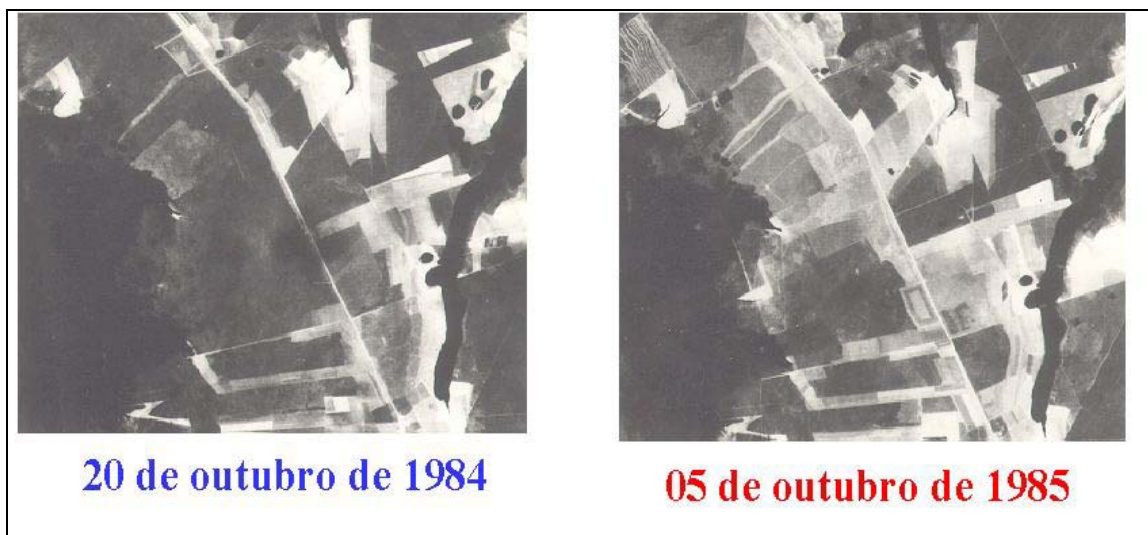


Fig. 11 – Imagem Landsat-TM banda 5 (infravermelho próximo) mostrando a expansão da fronteira agrícola na região norte do estado do Mato Grosso.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assunção, G.V.; Duarte, V. **Avaliação de áreas preparadas para plantio (SOLONU) utilizando-se dados do satélite Landsat.** São José dos Campos. 75 p. (INPE- 2637-TDL/113). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1982.
- Ipoliti-Ramilo, G.A. **Imagens TM/Landsat-5 da época de pré-plantio para a previsão da área de culturas de verão.** São José dos Campos. 183p. (INPE- 7116-TDI/688). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.
- Mendonça, F. J.; Lee, D.C.L.; Tardin, A.T.; Shimabukuro, Y.E.; Chen, S.C.; Lucht, L.A.M.; Moreira, M.A.; Lima, A.M.; Maia, F.C.S. **Levantamento da área canavieira do Estado de São Paulo utilizando dados do Landsat ano safra 1979/80.** São José dos Campos:INPE, mar. 1981. (INPE-2021-RPE/288).
- Moreira, M.A. **Sistema de amostragem para estimar a área da cultura do trigo (*Triticum aestivum*, L) através de dados do Landsat.** (Mestrado-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE). 1983 (INPE-3015-TDL/150).
- Moreira, M.A.; Villalobo, A.G.; Assunção, G.V. de, Duarte, V.; Silva, G.; Biffi, J.A.S. **Utilização de dados do Landsat-TM para estimar área de soja (*Glycine max*, (L) Merrill) através da expansão direta.** In: **IV Simpósio Latinoamericano de Percepcion Remota**, Bariloche, AG, 19-24 de nov. de 1989.
- Shimabukuro, Y. E.; Yi, J.L.R.; Duarte, V. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do Estado do Mato Grosso através de imagens NOAA-AVHRR.** São José dos Campos:INPE. 1999. (INPE-7234-RPQ/698).

Rudorff, B.F.T., G.T. Batista (1990), Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological-spectral models. **Remote Sensing of Environment**, **33**:183-192.