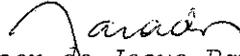
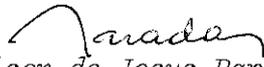


<b>1. Classificação</b> <i>INPE-COM. 4/RPE</i> <i>C.D.U.: 631.265:528.711.7</i>	<b>2. Período</b>	<b>4. Distribuição</b>  interna <input type="checkbox"/>  externa <input checked="" type="checkbox"/>
<b>3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor)</b>  <i>PREVISÃO DE SAFRAS</i> <i>INFLUÊNCIA CLIMÁTICA</i> <i>SENSORIAMENTO REMOTO</i>		<b>7. Revisado por</b>  <i>Nelson de Jesus Parada</i>
<b>5. Relatório nº</b> <i>INPE-2163-RPE/381</i>	<b>6. Data</b> <i>Julho, 1981</i>	<b>9. Autorizado por</b>   <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>
<b>8. Título e Sub-Título</b>  <i>SISTEMA DE PREVISÃO DE SAFRAS AGRÍCOLAS UTILIZANDO</i> <i>SATÉLITES DE OBSERVAÇÃO DA TERRA</i>		<b>11. Nº de cópias</b> 17
<b>10. Setor</b> <i>DIR/DSR/DSE/DME/DAT</i> <b>Código</b>		<b>14. Nº de páginas</b> 43
<b>12. Autoria</b> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Rene Antonio Novaes</i> <i>Derli M. Silva</i> <i>Luiz Gylvan Meira Filho</i> <i>Múcio R. Dias</i> <i>Oscar P. Dias Junior</i> <i>Fausto C. de Almeida</i>		<b>15. Preço</b>
<b>13. Assinatura Responsável</b>		
<b>16. Sumário/Notas</b>  <p style="text-align: center;"><i>Neste trabalho é apresentada a descrição preliminar de um sistema de previsão de safras agrícolas que utiliza satélites de observação da terra, como meio principal de coleta de informações.</i></p>		
<b>17. Observações</b>		

## ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
ABSTRACT .....	<i>iv</i>
<u>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</u> .....	1
<u>CAPÍTULO II - OBJETIVOS</u> .....	3
<u>CAPÍTULO III - CARACTERÍSTICAS GERAIS</u> .....	5
<u>CAPÍTULO IV - SISTEMA DE PREVISÃO</u> .....	9
<u>CAPÍTULO V - SUBSISTEMA DE ESTIMATIVA DE ÁREA</u> .....	15
<u>CAPÍTULO VI - SUBSISTEMA DE ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE</u> .....	27
<u>CAPÍTULO VII - SUBSISTEMA DE INTEGRAÇÃO E CONTROLE</u> .....	35
<u>CAPÍTULO VIII - CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS</u> .....	37

ABSTRACT

*In this work is presented a preliminary description of a crop forecasting system which uses ground and satellites observation, as the main source of data collection.*

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

Neste documento é apresentada a descrição preliminar de um sistema de previsão de safras agrícolas que utiliza satélites de observação da terra, como meio principal de coleta de informações.

A implantação do sistema objetiva o fornecimento de previsões de produções de cana de açúcar, soja e trigo nos estados de São Paulo e Paraná, conforme descrito no Capítulo II.

No Capítulo III são feitas algumas considerações comparativas entre o sistema proposto e os sistemas convencionais existentes. Dentre estas, ressalta-se a possível ampliação do sistema para incluir outras culturas e regiões.

No Capítulo IV, o sistema é caracterizado como composto de três subsistemas, a saber: subsistema de estimação de área, subsistema de estimação de produtividade e subsistema de integração e controle. A descrição de cada um deles é objeto dos Capítulos, V, VI e VII respectivamente.

No Capítulo VIII são descritos os meios de aquisição e análise dos dados de entrada do sistema. Nesta descrição foram incluídos não só os meios atualmente existentes no INPE, mas também aqueles que serão adquiridos visando um dimensionamento adequado ao sistema proposto. São feitas também considerações adicionais acerca da implantação do sistema, as quais incluem, dentre outros, o macrocronograma e descrição das possíveis instituições participantes.

## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS

A previsão de safras agrícolas num país como o Brasil, onde as prioridades nacionais envolvem decididamente as áreas da Agricultura e da Energia, torna-se da maior importância, tanto em relação aos aspectos econômicos, como aqueles de interesse estratégico e de segurança envolvidos.

Entretanto, a grande extensão territorial brasileira, ainda hoje desconhecida quanto aos seus recursos naturais e apresentando regiões com clima e características diferentes e ocorrência de fenômenos meteorológicos adversos como secas, geadas e enchentes, torna a previsão nacional de safras agrícolas com uma antecipação e um índice de acerto desejáveis, senão impossível, difícil de ser realizada.

Por outro lado, a necessidade de integração e de obtenção de informações periódicas confiáveis e a baixo custo do vasto território brasileiro, com imensas áreas inóspitas e de difícil acesso, fez com que o Instituto colocasse, como uma de suas metas prioritárias, a recepção, no país, dos dados obtidos pelos denominados satélites de aplicação, notadamente aqueles relativos à observação da Terra (satélites de sensoramento remoto e meteorológicos) e o desenvolvimento de metodologias de aplicação desses dados no levantamento e acompanhamento da variação de recursos minerais, agronômicos, florestais, hídricos e oceanográficos, no monitoramento do meio ambiente e uso da terra, em aplicações cartográficas e mapeamento temático, em estudos de poluição, planejamento urbano e regional, na previsão de tempo e clima, de flagelos e de safras agrícolas, e o gerenciamento de recursos atmosféricos.

As características de repetitividade, obtenção imediata, custos moderados e cobertura completa do território brasileiro tem tornado os satélites de aplicação em instrumento de grande valia para as aplicações acima apresentadas, contribuindo, portanto, de maneira

importante para o desenvolvimento econômico e social do país, além de contribuir fortemente para a sua segurança.

O objetivo primordial do sistema, cujo anteprojeto é descrito de forma preliminar neste documento, é o de realizar, com um índice de acerto mínimo de 80%, a previsão de safras agrícolas consideradas de expressão econômica ou de interesse estratégico para o país, utilizando, como informação básica para a obtenção dos parâmetros significativos, aquela extraída dos dados obtidos por satélites de observação da Terra.

Embora este objetivo seja amplo, pretende-se, numa primeira fase, torná-lo mais restrito, concentrando os esforços para uma dada região brasileira e para determinadas culturas. Levando-se em conta, dentre outros fatores de importância para a escolha, o estágio atual de desenvolvimento das atividades do Instituto nessa área, as culturas de maior expressão econômica e estratégica atual e a sua localização, e o custo e exequibilidade do sistema, concluiu-se que este último deverá estar inicialmente voltado para a estimativa de produção de cana-de-açúcar, soja e trigo para os Estados de São Paulo e Paraná. Uma vez implantado experimentalmente - o que deverá ocorrer a partir de 1982 - o sistema deverá, para as culturas escolhidas, ser ampliado e aperfeiçoado, tanto pela introdução de outras regiões produtivas, como pela tentativa de melhoria do índice de acerto proposto. Deverá, também, ser adaptado para outras culturas e regiões produtivas correspondentes.

Torna-se importante salientar que o sistema aqui apresentado não pretende substituir os sistemas de previsão existentes, mas sim complementá-los e aperfeiçoá-los, utilizando as características acima apresentadas dos satélites de observação da Terra.

Adicionalmente, convém mencionar que sistemas semelhantes estão sendo desenvolvidos por outros países, visando a previsão de safras a nível mundial. Portanto, torna-se de importância estratégica e econômica a sua implantação no país.

## CAPÍTULO III

### CARACTERÍSTICAS GERAIS

Numa breve discussão das características do sistema de previsão de safras agrícolas apresentado neste documento, é interessante ressaltar, como ponto básico, a utilização de imagens do satélite de sensoriamento remoto LANDSAT no processo de estimação de áreas cultivadas. Este processo, como será descrito no Capítulo V, baseia-se na análise de imagens multiespectrais pelo uso de sistemas computacionais de classificação automática, permitindo-se, assim, a identificação de culturas a nível de casa elemento da imagem ("pixel"). Usualmente, os algoritmos de classificação incluem, como entradas, além das informações espectrais constituintes da imagem, informações de campo (verdade terrestre) relativas à cultura em exame existente em alguns elementos definidos na própria imagem.

A partir destas informações de entrada dos algoritmos de teste, verifica-se a presença ou não daquela cultura nos outros elementos da imagem, por um processo de inferência estatística.

Por outro lado, os parâmetros meteorológicos que entram na determinação da produtividade de uma determinada cultura e numa dada região serão obtidos utilizando-se não somente os dados obtidos pelas estações convencionais existentes, mas principalmente as imagens obtidas pelos satélites meteorológicos e os dados transmitidos por plataformas automáticas de coleta de dados ambientais por satélites.

Neste contexto, pode-se dizer, então, que o sistema de previsão de safras aqui proposto se caracteriza, basicamente, pelo uso de satélites como meios de coleta automática de informações.

Neste ponto, parece oportuno se fazer algumas considerações de natureza comparativa entre o sistema aqui proposto e os sistemas convencionais de previsão. Assim, tem-se:

- O sistema oferece a possibilidade de uma redução no volume de dados de campo em relação ao requerido pelos sistemas convencionais.
- O sistema oferece a possibilidade de que qualquer região pode ser analisada, podendo-se assim, se chegar a estimativas globais de produção, em oposição às estimativas que refletem somente a parte comercializável da produção.
- Dado que qualquer ponto do território nacional é coberto por imagens de satélites de sensoriamento remoto a cada 18 dias, e diariamente por imagens de satélites meteorológicos o sistema apresenta uma capacidade de monitoramento dificilmente igualada em sistemas convencionais.
- A experiência já adquirida pelo INPE na análise de imagens multiespectrais, indica que o sistema aqui proposto poderia fornecer suas previsões com índices de acerto superiores a 80%.
- Dado que os satélites têm a capacidade de coleta de informações sobre estas regiões, o sistema oferece a real potencialidade de expansão das áreas em estudo neste projeto (Estados de São Paulo e Paraná). Há evidência de que se pode até mesmo pensar em termos de previsão de safras a nível internacional. Este ponto ficou amplamente demonstrado pelo sistema LACIE (Large Area Crop Inventory Experiment) desenvolvido, nos Estados Unidos, pela NASA, NOAA e Departamento de Agricultura.

A viabilidade técnica do sistema aqui proposto decorre não só da experiência do INPE na aquisição e análise dos dados de entrada para o sistema, conforme descrito nos Capítulos subsequentes deste documento, mas também do esforço que o Instituto vem fazendo na forma

mação de equipes voltadas para atuarem em todos os segmentos do sistema. Cumpre ressaltar, ainda, que a experiência dos Estados Unidos, no desenvolvimento do sistema LACIE, na década de 70 e mais recentemente com o sistema AGRISTAR, constitui prova inegável da eficácia dos satélites como meios de coleta automática de dados em sistema de previsão de safras agrícolas. Como se sabe, o LACIE tinha como objetivo a previsão de safras do trigo, a nível mundial. A experiência do LACIE foi de tal modo encorajadora, que, para a década de 80, para seu sucessor AGRISTAR, foram estabelecidas metas ainda mais ambiciosas, quais sejam, a previsão de várias grãos a nível mundial. A relevância destes sistemas em termos de suas aplicações econômicas são óbvias, e não serão discutidas aqui.

## CAPÍTULO IV

### SISTEMA DE PREVISÃO

#### 4.1 - INTRODUÇÃO

Os dados históricos referentes à produção agrícola permitem identificar, para a grande maioria das culturas, uma tendência definida de variação, ao longo do tempo, do volume total de produção num dado período. Via de regra, tal tendência pode ser explicada, fundamentalmente, por um aumento contínuo das áreas cultivadas, em virtude do crescimento do mercado consumidor e por um aumento da produtividade, pela incorporação gradativa de desenvolvimentos tecnológicos às práticas usuais de cultivo e colheita.

A grosso modo, essa tendência histórica poderia ser utilizada para se fazer projeções futuras do volume de produção não fosse a existência de outros fatores que, em qualquer período e de uma forma temporária, podem alterar substancialmente o volume de produção, sem contudo, devido a sua natureza transitória, afetar a tendência observada - os fatores climáticos são um bom exemplo disso. Os resultados, então, seriam previsões totalmente desprovidas de precisão requerida para esse tipo de informação.

Acrescentando-se a isso a possibilidade de determinados fatores virem a alterar a própria tendência secular - como é o caso, por exemplo, da absorção imediata de uma inovação tecnológica, como o desenvolvimento de um novo tipo de semente - aquele modelo simples perderia, então, a sua validade.

Parece claro, portanto, que qualquer investigação acerca do modelo mais adequado de previsão da produção agrícola deve incluir também, e fundamentalmente, a influência de tais fatores, de efeitos transitórios ou permanentes, na produção final. Assim, um modelo para previsão

de safras fornecerá resultados mais precisos na medida em que melhor con seguir explicar tal influência.

A grande quantidade de fatores que influenciam no processo, entretanto, torna o problema bastante complexo. Não obstante, os fatores mais importantes podem ser identificados e, uma vez determinada a sua influência na produção final, minimizam as variações aleatórias não ex plicadas entre as produções prevista e real.

Os elementos principais de uma tal abordagem são discutidos no item que se segue.

#### 4.2 - ELEMENTOS DO SISTEMA

A produção de uma cultura agrícola pode ser pensada como o produto de duas variáveis, previamente determinadas mediante métodos es pecíficos. Tais variáveis são: a produtividade (ex.: ton/ha) e a área cultivada (ex.: ha). Assim,

$$P = Y.A$$

onde: P = produção total de uma região, referente a uma dada cultura, em ton;  
Y = produtividade média da região, em ton/ha; e  
A = área cultivada, em ha.

A determinação das variáveis A e Y exige a utilização de mé todos específicos que serão tratados nos Capítulos V e VI, respectivamente. A integração dos dois subsistemas será feita, em seguida, no Capítulo VII.

Adicionalmente aos métodos clássicos de coleta de dados, pe las instituições responsáveis pelo levantamento estatístico de dados agrí colas, este trabalho se propõe a utilizar, para a medição da área culti vada (A), informações obtidas da interpretação das imagens fornecidas pelo satélite LANDSAT, nas suas passagens sobre a região de interesse.

O modelo proposto descreverá a influência dos vários fatores na produtividade, de forma a se obter uma previsão da mesma, com um certo grau de confiança, uma vez que se conheçam os valores de cada um destes fatores.

O modelo assim construído descreverá um subsistema no qual atuam fatores meteorológicos, fitossanitários, pedológicos, topográficos, hidrológicos, agrônômicos, tecnológicos.

Informações obtidas por intermédio de satélites meteorológicos e plataformas de coleta de dados serão utilizadas na alimentação do modelo de produtividade, sempre que necessário.

A análise de sistemas, a simulação em computador, as técnicas estatísticas de regressão e a otimização são as técnicas mais relevantes a serem utilizadas para a construção e solução do modelo de previsão de produtividade proposto.

A metodologia básica consistirá em estratificar cada região tradicionalmente dedicada a uma cultura, com a finalidade de definir sub-regiões (estratos) homogêneos com respeito àquelas características que têm influência na produção total. Essa estratificação deverá ser feita separadamente para cada uma das culturas consideradas.

Espera-se que o critério descrito possa levar a um aumento da precisão das estimativas, refletindo numa maior confiabilidade dos resultados a serem obtidos.

Esses resultados consistirão de estimativas de área cultivada, produtividade e, conseqüentemente, produção total, para cada uma das culturas e em cada um dos estados considerados. A periodicidade com que os resultados serão fornecidos, durante o ciclo vegetativo de cada cultura, depende da disponibilidade e de interesses específicos dos usuários do sistema.

Esquemáticamente, o sistema deverá operar como está mos-  
trado na Figura 1.

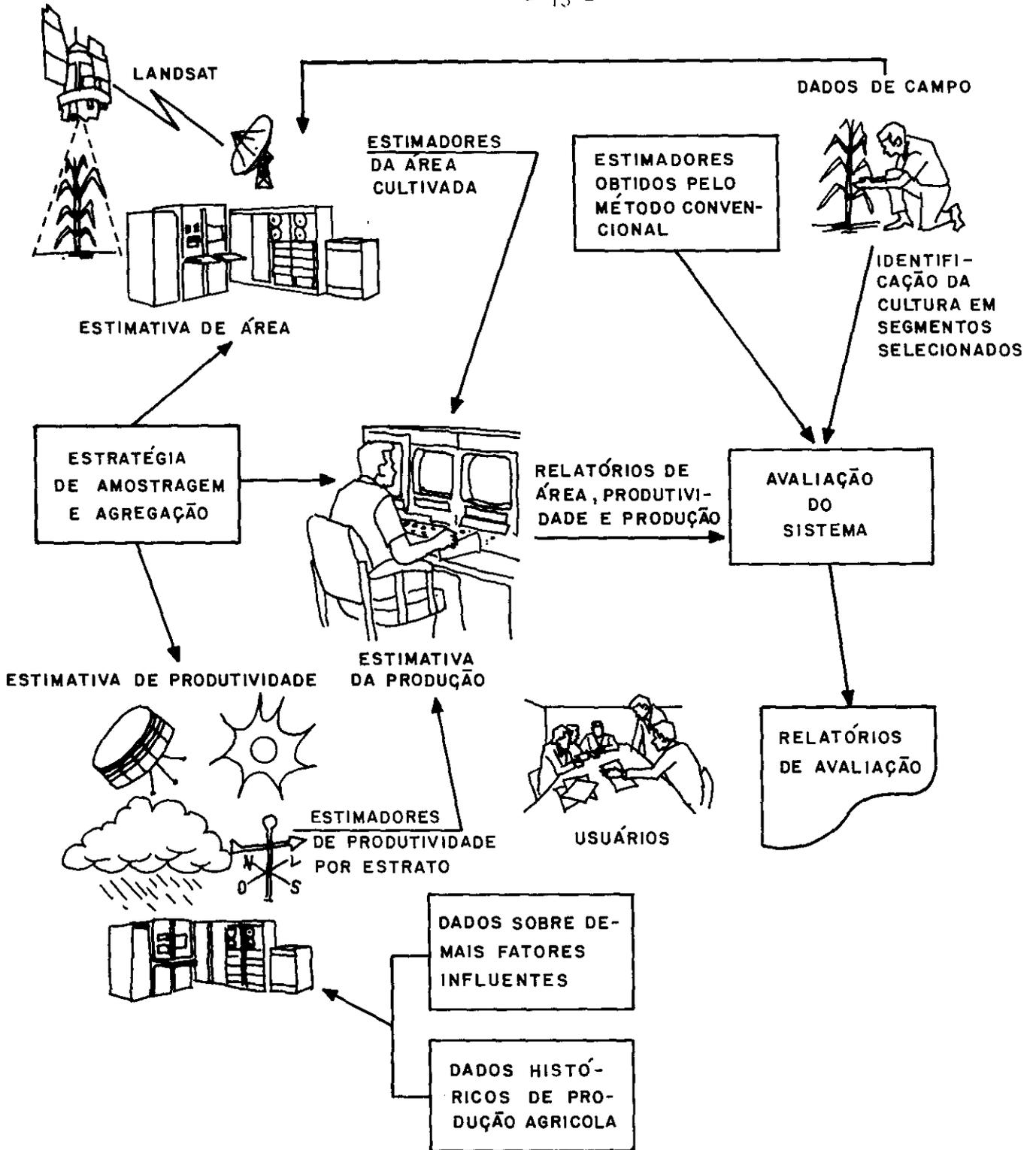


FIGURA 1 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA OPERAÇÃO DO SISTEMA

(ADAPTADO DE PROCEEDINGS OF PLENARY SESSION:  
THE LACIE SYMPOSIUM. HOUSTON,  
L.B. JOHNSON SPACE CENTER, OCT. 1978)

## CAPÍTULO V

### SUBSISTEMAS DE ESTIMATIVA DE ÁREA

#### 5.1 - DA ABORDAGEM TÉCNICA

O princípio básico do subsistema está centrado no levantamento de dados, de forma sistemática, por sistemas sensores apropriados para a detecção de informações agrícolas, colocados a bordo de satélites e/ou aeronaves. Os dados obtidos por este processo apresentam-se, tanto na forma de imagens, à semelhança de fotografias, como também em fitas magnéticas compatíveis com computadores. É através de observações diretas feitas sobre as imagens e de análises dos dados gravados em fitas magnéticas que serão obtidas as informações básicas para o subsistema, que permitirá a identificação de cada cultura e a avaliação da estimativa de sua área. Contudo, o subsistema não prescindirá dos esforços, técnicas e dados que são utilizados nos sistemas hoje existentes nas instituições responsáveis pelo assunto. Pelo contrário, o que se busca é um aperfeiçoamento do sistema de informações agrícolas atualmente disponível no país.

As informações obtidas por satélites serão exploradas em três enfoques distintos, que são os seguintes:

- Enfoque MULTIESPECTRAL: as imagens produzidas pelo satélite tem a propriedade de registrar a maneira peculiar com que uma dada cultura reflete energia, nos seus diversos estágios vegetativos para quatro faixas de espectro eletromagnético. Nas quatro imagens simultâneas assim produzidas, estão contidas informações diferenciadas do comportamento das culturas, permitindo não só sua identificação, como também a determinação das condições gerais em que cada uma delas se encontra.

- Enfoque TEMPORAL: sobre uma mesma região são obtidas imagens de forma sistemática, a cada 18 dias. Isto permite um monitoramento do desenvolvimento da cultura e da evolução das suas condições através do tempo. Explorando-se este atributo das imagens, poder-se-á proceder a reavaliações das decisões tomadas quanto à identificação de uma determinada cultura e das estimativas de sua área, ainda durante o processo de obtenção da estimativa final que se busca.
- Enfoque ESPACIAL: este enfoque diz respeito não só ao formato dos alvos agrícolas, como à ajuda para distinguí-los de outros. Tal enfoque torna-se particularmente importante quando se consideram regiões de grandes extensões territoriais.

É, ainda, oportuno salientar que a exploração destes atributos das imagens não é feita de maneira isolada, mas sim de forma integrada para a tomada de decisões.

Uma outra abordagem utilizada no subsistema diz respeito à estratégia de amostragem de segmentos de imagens e de estratificação da região em estudo.

A região em estudo será estratificada em zonas agrícolas homogêneas, de tal forma que os fatores ambientais e culturais não produzam efeitos drásticos no comportamento espectral das culturas. Esta estratificação obedecerá a critério de:

- densidade e a tradição de plantio da cultura
- tipos de solos
- topografia
- clima
- práticas culturais, etc.

As zonas agrícolas homogêneas (ou estratos), assim definidas, serão plotadas sobre as imagens do satélite e seus limites estabelecidos. Conhecidos estes limites nas imagens, definir-se-ão as Unidades

dades Amostrais, que correspondem a segmentos de imagens de igual área. A soma das áreas das Unidades Amostrais de um Estrato deverá ser igual à área deste Estrato. Estas Unidades Amostrais constituirão a base de dados que serão analisados e classificados no cálculo da estimativa de área das culturas.

Resultados obtidos no projeto de inventário de cana-de-açúcar, realizado em 1978, mostrou uma correlação significativa entre as estimativas das áreas de cana obtidas pela interpretação de fotografias aéreas e classificações automáticas de imagens de satélite. Esta alta correlação indicou que a estimativa de regressão constitui-se num método apropriado para se estimar áreas de culturas utilizando-se um sistema amostral.

Assim, do total das Unidades Amostrais de cada Estrato, será retirada uma amostra aleatória para representar a cultura em estudo. As Unidades Amostrais selecionadas passarão a ser denominadas de Unidades de Treinamento (UT).

Para cada Unidade de Treinamento serão calculadas estimativas de área de cada cultura utilizando-se duas abordagens. A primeira será baseada em classificação automática dos dados coletados pelo satélite, utilizando-se técnicas de reconhecimento de padrões em sistemas computacionais dedicados, de análise interativa de dados multiespectrais e multi-temporais, capazes ainda de serem supervisionados, em tempo real, pelos pesquisadores. Na segunda abordagem, o cálculo da estimativa será baseado em informações de campo e em análise e interpretação de fotografias aéreas no infravermelho. Os resultados assim obtidos serão utilizados para se estabelecer as equações de regressão através das quais calcular-se-á a estimativa final corrigida da área de cada cultura e o erro associado, para cada estrato da região em estudo.

## 5.2 - EXPERIÊNCIA DO CNPq/INPE

A experiência no uso do Sensoriamento Remoto em aplicações no campo de estimativa de áreas de culturas agrícolas tem sido acumulada nos últimos anos pelo Programa de Pesquisa de Recursos Agronômicos e Florestais do INPE.

Desde 1975, vem este programa realizando pesquisas em áreas pilotos, estudando a viabilidade de aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto no aperfeiçoamento de sistemas de previsão de safras agrícolas.

Grande parte do esforço tem-se concentrado no conhecimento da potencialidade do uso das imagens obtidas por satélites na identificação e avaliação de áreas plantadas por culturas de importância econômica para o país, dentro de certos padrões aceitáveis de erro.

Na parte Florestal, desenvolveram-se metodologias para a identificação e avaliação de áreas reflorestadas com Pinus e Eucalyptus. Estas metodologias estão hoje estabelecidas a níveis quase operacionais, produzindo estimativas de áreas com erro inferior a 8%, em áreas geográficas de grande extensão (Estados do Mato Grosso do Sul e São Paulo). Estas técnicas já foram transferidas ao IBDF, que as está implementando a nível nacional.

Na área agrícola, as principais culturas até hoje estudadas são: a cana-de-açúcar e o trigo. Dentre as áreas geográficas estudadas figuram os Estados de São Paulo e o Rio Grande do Sul.

Devido à grande importância da cultura de cana-de-açúcar, desde o lançamento do Programa Prô-Alcool pelo Governo Federal, resolveu-se concentrar os esforços nessa cultura. Inicialmente, procurou-se

estudar o comportamento espectral da cana ao longo do tempo e as principais culturas ou feições no terreno que podiam apresentar o mesmo comportamento desta cultura. No final de 1977 resolveu-se o problema, quando determinou-se o período de passagem do satélite que melhor definia a cana-de-açúcar com o menor erro de inclusão. Isto é, nas imagens obtidas neste período existia uma menor chance de se confundir a cana-de-açúcar com outras culturas ou alvos.

Deste modo, em 1978, foi realizado o primeiro inventário de cana-de-açúcar para todo o Estado de São Paulo, gerando, inclusive, um mapa com a distribuição espacial da cultura. A exatidão deste inventário foi de 88%.

Durante o ano de 1979, a pesquisa de identificação de áreas ocupadas com culturas foi voltada para o trigo no Estado do Rio Grande do Sul. Para tanto, elegeu-se três áreas de grande concentração de trigo, cada uma de 20 km x 40 km, e fez-se uma cobertura aerofotográfica, utilizando-se filme infravermelho colorido. A partir da interpretação destas fotografias, foram obtidos três mapas correspondentes a cada um dos segmentos, onde foram plotados, além da cultura do trigo, os temas CEVADA, CULTURAS DIVERSAS, POUSIO, SOLO PREPARADO, PASTAGEM, MATTA, REFLORESTAMENTO e OUTROS.

Em 1980 deu-se prosseguimento ao estudo de identificação de áreas ocupadas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, repetindo o inventário já realizado em 1978, utilizando-se imagens de satélite referentes aos dados da safra de 1979/80.

Os critérios básicos para identificação da cultura foram:

- a) a sua caracterização espectral nas imagens, nos canais 5 e 7, e
- b) a sua variação temporal, observada em diferentes passagens do mesmo satélite. Através dessa técnica foi possível mapear tanto a cana, cuja cobertura da área foliar era capaz de oferecer características espectrais bem definidas, quanto a cana adulta

que durante o período de análise havia sido colhida. A área obtida de cana-de-açúcar, em toda a região estudada, foi de 801.950 ha. Como medida de erro associado neste processo de inventário, duzentos e vinte (220) pontos foram selecionados aleatoriamente e visitados no campo, sendo que, desse total, duzentos (200) pontos haviam sido classificados corretamente.

### 5.3 - METODOLOGIA DO SUBSISTEMA DE ESTIMATIVA DE ÁREA DAS CULTURAS

#### 5.3.1 - DA SAÍDA DO SUBSISTEMA

Este subsistema terá, como saída, a estimativa da área de cada cultura proposta, para toda a região em estudo devendo atender aos seguintes requisitos:

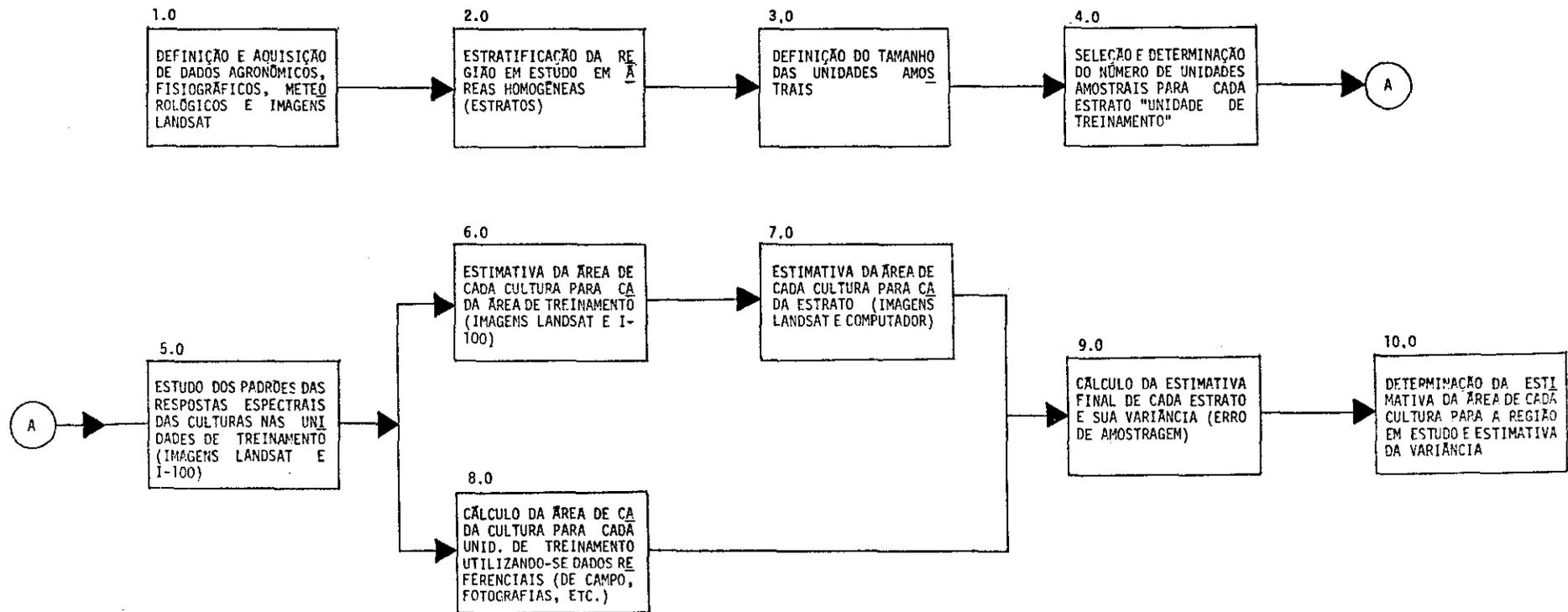
- a) Oportunidade no tempo: a estimativa final da área de cada cultura deverá ser obtida antes de suas colheitas.
- b) O erro máximo da estimativa não deverá ultrapassar 10% em 90% dos anos de estudo.

#### 5.3.2 - DA ENTRADA DO SUBSISTEMA

Para a entrada do subsistema se requer dados agronômicos, fisiográficos, meteorológicos, fotografias aéreas e imagens dos satélites de sensoriamento remoto LANDSAT. Os dados obtidos por estes satélites estarão disponíveis, no máximo, 18 dias após a passagem do satélite na região em estudo.

No diagrama abaixo mostram-se as principais etapas e/ou atividades do subsistema proposto.

## DIAGRAMA DE FLUXO DE TRABALHO DO SUBSISTEMA "ESTIMATIVA DE ÁREA"



#### 5.4 - DESCRIÇÃO DAS ETAPAS E/OU ATIVIDADES DO SUBSISTEMA

##### 1.0 - DEFINIÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS AGRONÔMICOS, FISIAGRÁFICOS, METEOROLÓGICOS E IMAGENS LANDSAT

Nesta primeira etapa serão definidos e especificados todos os tipos de dados necessários ao subsistema, sua confiabilidade e inclusive os métodos de aquisição, tratamento, armazenamento e recuperação dos mesmos. Um dos requisitos de maior importância diz respeito à periodicidade de aquisição e à disponibilidade dos dados para análise, nas diversas fases do projeto. Para tal, pretende-se gerar especificações detalhadas para cada tipo de dado. Dentre os dados mais importantes estão:

- calendário agrícola
- dados históricos de produção da cultura
- variedades
- práticas culturais
- condições da cultura
- mapa de solos
- mapas topográficos
- mapas de zoneamento agrícola
- precipitação
- imagens LANDSAT, etc.

##### 2.0 - ESTRATIFICAÇÃO DA REGIÃO EM ESTUDO EM ÁREAS HOMOGÊNEAS - ESTRATOS

Esta atividade prevê a definição de áreas agrícolas homogêneas, ou Estratos, levando em consideração uma série de critérios tais como:

- concentração da cultura
- tamanho dos talhões
- tipo de solo

- variedades
- tratos culturais
- fatores climáticos, etc.

### 3.0 - DEFINIÇÃO DO TAMANHO DAS UNIDADES AMOSTRAIS

Uma vez estabelecidos os Estratos, definir-se-ã o tamanho ótimo das unidades amostrais, de modo que: a) sejam representativas em termos de estrato; b) ofereçam maiores facilidades para o processamento de dados e para a coleta e controle de dados de campo, visando economia de tempo e custo. Estas Unidades Amostrais recobrirão todo o Estrato e servirão para definir as especificações da formatação dos dados obtidos pelo satélite.

### 4.0 - SELEÇÃO E DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS PARA CADA ESTRATO "UNIDADE DE TREINAMENTO (UT)

Nesta fase far-se-ã a seleção e a determinação do número ótimo de Unidades Amostrais, de modo que sejam representativas da cultura em cada Estrato. Alguns critérios deverão ser estabelecidos a fim de nortear a seleção da amostra. As Unidades Amostrais selecionadas passarão a ser denominadas Unidades de Treinamento de cada Estrato.

### 5.0 - ESTUDO DOS PADRÕES DE RESPOSTAS ESPECTRAIS DAS CULTURAS NAS UNIDADES DE TREINAMENTO (IMAGENS LANDSAT E I-100)

Esta atividade será caracterizada essencialmente por tratamento automático dos dados multiespectrais e multitemporais de imagens. Utilizando-se algoritmos, principalmente de caráter não-supervisionado, verificar-se-ã quais as subclasses de cada cultura estão presentes em cada Unidade de Treinamento, determinando-se os diferentes padrões básicos de respostas espectrais (PBRE) de cada cultura.

6.0 - ESTIMATIVA DA ÁREA DE CADA CULTURA PARA CADA ÁREA DE TREINAMENTO (IMAGENS LANDSAT E I-100)

De posse dos PBRE correspondentes a cada subclasse da cultura em estudo, far-se-á a sua classificação, para cada Unidade de Treinamento. Nesta etapa, ter-se-á, como produto, uma estimativa da área de cada cultura, para cada Unidade de Treinamento, em cada um dos Estratos, baseada unicamente em dados obtidos pelo satélite.

7.0 - ESTIMATIVA DA ÁREA DE CADA CULTURA PARA CADA ESTRATO (IMAGENS LANDSAT E COMPUTADOR)

Nesta atividade obter-se-á estimativa da área de cada cultura por Estrato, extendendo-se os PBRE obtidos na análise da UT, para todas as Unidades Amostrais do mesmo Estrato. Para este processamento utilizar-se-á um computador digital.

8.0 - CÁLCULO DA ÁREA DE CADA CULTURA PARA CADA UNID. DE TREINAMENTO UTILIZANDO-SE DADOS REFERENCIAIS (DE CAMPO, FOTOGRAFIAS, ETC.)

Paralelamente às atividades 5.6.0 e 5.7.0, será desenvolvida esta etapa, que deverá obter a estimativa de cada cultura, para cada UT, utilizando-se apenas dados referenciais e fotografias aéreas no infravermelho. Por dados referenciais, deve ser entendida toda a sorte de informações sobre a cultura, inclusive os dados levantados em trabalhos de campo. Este resultado será importante para o estabelecimento das equações de regressão.

9.0 - CÁLCULO DA ESTIMATIVA FINAL DE CADA ESTRATO E DA VARIÂNCIA (ERRO DE AMOSTRAGEM)

Utilizando-se os dados obtidos nas etapas 5.6.0 e 5.7.0 e 5.8.0, serão estabelecidas as equações de regressão para o cálculo da estimativa final da áreas das culturas de cada Estrato e o erro associado ao processo.

10.0 - DETERMINAÇÃO DA ESTIMATIVA DA ÁREA DE CADA CULTURA PARA A REGIÃO EM ESTUDO E ESTIMATIVA DA VARIÂNCIA

Nesta fase obter-se-ã a estimativa geral da área das culturas da região em estudo, e a sua variância. Este dado, saída final do subsistema, será um dos "inputs" para o subsistema de Integração e Controle.

## CAPÍTULO VI

### SUBSISTEMA DE ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE

#### 6.1 - INTRODUÇÃO

O objetivo deste sistema é prover estimativas com antecedência (previsões) da produtividade agrícola na região de interesse, a partir de dados históricos de produtividade e de dados atuais sobre as condições ambientais, especialmente as climáticas.

A produtividade agrícola, definida como a produção por unidade de área, é função das propriedades dos solos, práticas culturais, clima e fitossanidade, além de depender do genótipo usado.

O subsistema produtividade, como contemplado aqui, abordará estas dependências da seguinte forma:

- a dependência das práticas culturais e do genótipo será normalmente considerada por métodos estatísticos de regressão, tendo em vista seu efeito lento e monotônico sobre a produtividade; eventuais efeitos bruscos da introdução de novas práticas serão consideradas adicionalmente;
- a dependência das propriedades dos solos será levada em conta da mesma forma, contribuindo para a estratificação dos dados por regiões pedologicamente homogêneas;
- o aspecto de fitossanidade induz variações de produtividade em escala de tempo relativamente curta, de ano para ano; será considerado pelo uso de dados convencionais e, quando possível, por dados obtidos por satélites;
- a dependência da produtividade em relação às variações climáticas será o aspecto mais importante a ser considerado neste sub

sistema produtividade, por ser normalmente responsável pela maior porção das variações de produtividade de ano para ano;

O modelo adotado pelo subsistema produtividade será baseado em regressões dos dados históricos de produtividade sobre si mesmos (para as variações seculares) e sobre dados climatológicos (para as variações devidas a este fator), com correções empíricas para os efeitos devidos à fitossanidade.

## 6.2 - O MODELO AGROMETEOROLÓGICO

Dentro do enfoque de se correlacionar as variações de produtividade com as variações climáticas ocorridas na região de plantio, tem sido utilizadas variáveis independentes pontuais, como temperatura, precipitação, radiação, umidade do solo, e outras. Resultados encorajadores tem sido obtidos com outro tipo de variáveis, na forma de índices que refletem em geral o "stress" térmico ou hídrico. Em modelos em escala continental, alguns resultados animadores tem sido obtidos com modelos, cujos dados de entrada correspondem à descrição de campos em escala sinótica, como o campo de pressão.

O modelo contemplado aqui será estabelecido através do critério de maximização da porcentagem da variância explicada, da variável produtividade, em relação à escolha dentro do elenco de possibilidades, das variáveis independentes.

As variáveis consideradas serão a temperatura, a precipitação, a umidade do solo e a insolação, através de seus valores médios semanais (totais, no caso da precipitação). Sua influência será determinada em função do calendário agrícola, devido ao efeito diferente de cada variável ao longo das várias fases da vida de uma planta. O efeito de fenômenos meteorológicos adversos sobre a produtividade será considerado adicionalmente.

Serão utilizadas informações meteorológicas históricas para o ajuste de coeficientes do modelo, informações meteorológicas convencionais atuais para a elaboração de previsão, e serão introduzidas gradativamente as informações de satélites meteorológicos, na medida em que isto resulte em melhor desempenho dos modelos.

Os satélites meteorológicos atuais e os previstos para o futuro próximo constituem a melhor perspectiva de acesso aos dados climatológicos relevantes para a previsão de produtividade agrícola, pela sua abrangência e frequência de obtenção. A seguir, é descrito o estado atual e as perspectivas de obtenção, através de satélites, de cada uma das variáveis climáticas pertinentes.

### 6.3 - OS SATÉLITES METEOROLÓGICOS

Existem, atualmente, dois tipos de satélites meteorológicos em uso operacional, confiável, além de outros sistemas de caráter experimental:

- Os satélites geoestacionários, em órbita em torno do equador a 36.000 km de altura, parados em relação à Terra. Em particular o satélite GOES/Leste, dos EEUU, a 75 graus de longitude oeste de Greenwich, e o satélite METEOSAT, sobre o Meridiano de Greenwich, permitem cobertura do Brasil (total no primeiro caso e parcial no segundo); fornecem imagens a cada 30 minutos.
- Os satélites heliossíncronos, em órbita quase polar, com período da ordem de 100 minutos, acerca de 900 km de altura, passando perto do zênite de qualquer ponto duas vezes ao dia, separadas de 12 horas. Em particular, os satélites da família TIROS-NOAA, com dois satélites em órbitas perpendiculares, fornecem cobertura de uma faixa na direção Norte-Sul quatro vezes ao dia, com espaçamento de seis horas.

O INPE está atualmente equipado para receber todas as informações de todos os satélites meteorológicos disponíveis, dentro de um programa de trabalho que inclui a atualização dos sistemas de recepção para acompanhar a evolução dos satélites.

Além de outros dados sem interesse para esta aplicação, os satélites meteorológicos fornecem imagens da superfície da Terra, obtidas no espectro visível e infra-vermelho, com um total de dois canais, no caso dos satélites geoestacionários, e cinco, no caso dos satélites heliossíncronos. Diferentemente dos satélites LANDSAT de sensoria-mento remoto, os satélites meteorológicos produzem imagens que cobrem toda a superfície da Terra, como vista de sua órbita. A resolução das imagens dos satélites meteorológicos varia de 800 metros (canal visível de todos os satélites) até 8 km (canal infravermelho dos satélites geoestacionários). As informações do canal infravermelho, obtidas em comprimentos de onda de cerca de 12 microns, podem ser calibradas diretamente em termos da temperatura da superfície, uma característica muito importante, como será visto adiante.

#### 6.4 - ESTIMATIVA DE TEMPERATURA

Existe uma correspondência bem determinada, entre o nível do sinal do satélite em cada elemento de uma imagem no infravermelho e a temperatura da superfície. A simples consulta a uma tabela de calibração permite, assim, estimar a temperatura da superfície a cada meia hora, pelo uso das imagens dos satélites geoestacionários.

O método pode ser aplicado a qualquer hora do dia ou da noite, pois independe da luz solar, sendo limitado apenas pela eventual cobertura de nuvens. Em média, um ponto qualquer da superfície do Brasil está coberto por nuvens cerca de 50% do tempo.

A técnica de determinação da temperatura da superfície com o uso de satélites meteorológicos está hoje em utilização no INPE, tendo sido já completamente demonstrada.

Um aspecto interessante da determinação de temperatura da superfície, através das imagens infravermelho de satélites meteorológicos, é a sua aplicação para a ocorrência de geadas, permitindo, por exemplo, a determinação, dentro de poucas horas, de índices relacionados com a quebra de safras pelo efeito da geada. Embora de significado marginal no contexto do sistema descrito aqui, esta aplicação será significativa no caso da cultura de café.

#### 6.5 - ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO

Embora a precipitação seja um dos elementos meteorológicos mais intensamente observados, as determinações convencionais são inadequadas para alguns propósitos devido à sua variabilidade temporal e espacial grande em relação à densidade da rede de amostragem.

O acesso a dados de satélites meteorológicos permite a estimativa da precipitação através do uso de indicadores como a temperatura do topo de nuvens, sua taxa de crescimento, e outros; a relativa imprecisão absoluta do método é de modo geral sobejamente compensada pela abrangência sinóptica dos dados de satélite, bem como pela elevada frequência de observação.

Na realidade, para a previsão de produtividade agrícola, o parâmetro derivado umidade do solo é o principal fator climático a ser considerado. Embora, no momento, não possa ser determinada diretamente por satélites, a umidade do solo pode ser estimada com o auxílio de determinações frequentes de precipitação.

O INPE atualmente domina as técnicas existentes de estimativa de precipitação por satélites, estando envolvido no processo de calibração de modelos para a Região Sul do país.

## 6.6 - ESTIMATIVA DE INSOLAÇÃO

As imagens de satélites meteorológicos, especialmente as dos satélites geossíncronos, com sua frequência de repetição alta, prestam-se bastante bem à estimativa da radiação solar incidente na superfície da Terra, pela simples consideração da cobertura de nuvens como detectada pelo satélite. A combinação com as imagens obtidas no infravermelho, permitindo uma melhor identificação do tipo de nuvem, permitirá um refinamento maior ainda do método.

A pouca densidade da rede solarimétrica do Brasil e a grande extensão de seu território tornam o método especialmente atrativo. Sua aplicação na região considerada aqui permitirá a verificação da influência desta variável na produtividade, embora não se espere que, nas latitudes relativamente baixas do Brasil, sua influência seja comparável, por exemplo, à da umidade do solo.

O INPE está desenvolvendo atualmente os sistemas necessários à aplicação do método e à sua calibração.

## 6.7 - DADOS METEOROLÓGICOS CONVENCIONAIS

Apesar da importância atual e de seu potencial ainda maior a ser desenvolvido, as informações de satélites meteorológicos não prescindem dos dados convencionais para validação de alguns pontos e calibração dos métodos de interpretação.

É de importância crucial para o sistema de previsão que os dados meteorológicos estejam disponíveis oportunamente e em forma conveniente, o que hoje em dia significa que devem ser acessíveis a um computador em tempo real.

O INPE dispõe de acesso a um terminal do sistema de telecomunicações meteorológicas, estabelecido em Brasília pelo Ministério da Agricultura, através de enlace com o Ministério da Aeronáutica. Es

te terminal está ligado ao sistema de computação do INPE, que dispõe de programas capazes de realizar a decodificação dos dados imediatamente após sua chegada. O cálculo de médias temporais e espaciais torna-se, assim, instantâneo, e a utilização dos dados convencionais para a calibração dos métodos com o uso de satélites fica possibilitada.

## CAPÍTULO VII

### SUBSISTEMA DE INTEGRAÇÃO E CONTROLE

Este subsistema é responsável, em linhas gerais, pelas estimativas finais de produção e respectivos limites de confiança, preparação e divulgação das previsões e avaliação, através de testes independentes, do desempenho do sistema.

Especificamente, a este subsistema é atribuída a responsabilidade pelo desenvolvimento das seguintes atividades:

- Agregação das estimativas de áreas cultivadas e produtividade na geração das estimativas de produção para os diversos estratos.
- Preparação e divulgação das previsões para cada cultura (saídas do sistema).
- Geração de índices de confiança associados a cada estimativa.
- Geração de novas previsões, após a ocorrência de fenômenos adversos, tais como geadas, refletindo os efeitos destes fenômenos.
- Estabelecimento de procedimentos de avaliação de desempenho do sistema. Esta avaliação objetiva fornecer uma realimentação aos subsistemas de estimação de área e de produtividade, implicando, possivelmente, numa redefinição dos critérios de estratificação, seleção de amostras em cada estrato, alocação de segmentos de imagens a serem analisados e indicação de áreas necessitando maior volume de dados de campo.

## CAPÍTULO VIII

### CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

A implementação de um sistema de previsão de safras agrícolas, como o descrito acima, depende da mobilização de um elenco de meios materiais e humanos de porte e complexidade elevados.

É importante ressaltar, neste sentido, que o INPE dispõe já de uma base de equipamentos, instalação, pessoal especializado e experiência acumulada, sobre a qual a adição necessária para a consecução dos objetivos resulta relativamente modesta, como será visto a seguir.

O INPE vem operando desde 1973 as estações de recepção e processamento de dados dos satélites de sensoriamento remoto de recursos naturais da série LANDSAT. Os sinais dos satélites são recebidos em Cuiabá, gravados em fitas magnéticas, e enviados a Cachoeira Paulista onde são convertidos, por processamento eletrônico e fotográfico, para a forma de imagens ou fitas magnéticas digitais, prontas para análise por especialistas das diversas áreas de aplicação.

Em 1980 foram processadas mais de 20.000 imagens distribuídas a mais de 1.000 instituições usuárias. Parte do total de imagens é utilizada por cerca de uma centena de pesquisadores do INPE, envolvidos no desenvolvimento de metodologias de aplicação há dez anos. Além disso, um grupo de engenheiros vem atuando na modernização e aperfeiçoamento das estações existentes, estando atualmente engajado na modificação necessária para permitir a recepção do próximo satélite da série, o LANDSAT-D.

Este novo satélite, quando entrar em operação em 1983, significará uma adição significativa em relação aos sistemas atuais, em termos de quantidade de informação transmitida. Dispõe de sensores

capazes de produzir imagens da superfície com resolução de 30 metros, bem como capazes de mapear a temperatura dos alvos com resolução de 120 metros.

A interpretação das imagens pode ser feita de forma automática com o auxílio de dois sistemas dedicados de processamento, capazes de classificar os elementos de uma imagem de acordo com chaves de interpretação fornecidas pelo operador, com rapidez e precisão.

O INPE vem desenvolvendo atividades em Meteorologia com Satélites desde 1968. Conta hoje com sistemas de recepção dos satélites geoestacionários (GOES e METEOSAT) e heliossíncronos (TIROS-NOAA), que correspondem a um investimento da ordem de um milhão de dólares. Mantém uma ativa programação de desenvolvimento de técnicas de extração de informações de dados de satélites no qual estará calcada a utilização crescente destes como uma fonte de informação.

As Plataformas de Coleta de Dados por satélite podem se tornar um elemento valioso de captação de verdade terrestre. Sua utilização pelo sistema de previsão de safras agrícolas estará apoiada em um programa de âmbito nacional, já em execução pelo INPE, e que inclui a fabricação no país das plataformas e a recepção dos dados diretamente dos satélites.

A implantação do sistema de previsão de safras acarretará novas solicitações sobre os equipamentos de processamento de dados de satélites que deverão ser expandidos inclusive para permitir uma dedicação em tempo integral, a esta finalidade. Por exemplo, a estimativa da umidade do solo a partir da precipitação exige que esta última seja determinada sistematicamente para todas as imagens de satélites disponíveis no passado recente.

Foram investidos, até hoje, cerca de 14 milhões de dólares nos sistemas de recepção e processamento de sinais de satélites de sensoriamento remoto e de meteorologia.

O INPE opera também um sistema de computação Burroughs B-6800 com um processador central, 2,4 MBytes de memória principal, 800 MBytes de disco, 8 unidades de fita de 1 600 bpi, suportando uma rede de teleprocessamento com 32 linhas. Está prevista, a médio prazo, uma expansão da configuração do sistema, que inclui a aquisição de um processador, 2,4 MBytes de memória e um agregado para 16 linhas.

Um sistema de previsão de safras como o aqui descrito requer a afetiva participação de várias entidades de forma a assegurar a sua exequibilidade. A interação entre estas entidades, bem como a determinação da responsabilidade de cada uma delas, requer uma ampla discussão entre as mesmas.

Espera-se que até o definitivo estabelecimento das atribuições de cada entidades, incluindo a assinatura dos respectivos convênios, os custos envolvidos no sistema aqui proposto ficarão sob a responsabilidade de cada uma das entidades envolvidas.

O sistema será implantado segundo o cronograma apresentado a seguir, em suas linhas gerais. Serão abordadas simultaneamente as três culturas, sendo esperadas, para novembro de 1982, as primeiras previsões para trigo; para janeiro de 1983, as de cana-de-açúcar e para abril de 1983, as de soja.

CRONOGRAMA GERAL DO SISTEMA

		81										82												83																
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
• DISCUSSÃO C/AS ENTIDADES PARTICIPANTES		=====																																						
• MONTAGEM E DETALHAMENTO DO SISTEMA					=====																																			
SISTEMA PARA CANA-DE-AÇÚCAR	IMPLEMENTAÇÃO										=====																													
	PREVISÃO																						=====																	
SISTEMA PARA TRIGO	IMPLEMENTAÇÃO										=====																													
	PREVISÃO																						=====																	
SISTEMA PARA SOJA	IMPLEMENTAÇÃO										=====																													
	PREVISÃO																																=====							