

APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO JÁ OPERACIONAIS
E PERSPECTIVAS FUTURAS

Renê Antonio Novaes

Instituto de Pesquisas Espaciais
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
São José dos Campos - SP - Brasil

Resumo

A crescente necessidade de melhores e mais oportunas in-
formações na administração dos Recursos Naturais e no monitoramento e
estudo do ambiente tem exigido um grande esforço de muitas nações no
mundo. A chamada Era Espacial trouxe uma significativa contribuição a es-
ta problemática - O Sensoriamento Remoto. Neste trabalho procurou-se mos-
trar o Programa de Sensoriamento Remoto do INPE, seus objetivos e meto-
dologias, tentando formar um quadro da importância desta tecnologia e
mostrando o vasto campo de suas aplicações em Geologia, Geografia, Ocea-
nografia, Agronomia e Florestas. Metodologias já operacionalizadas pe-
los diversos grupos de pesquisas do INPE são evidenciadas e alguns exem-
plos são discutidos. Finalmente, são abordados os programas de pesqui-
sas em andamento e suas perspectivas futuras.

1. INTRODUÇÃO

Apesar de se ter notícias do uso de Sensoriamento Remoto desde as duas guerras mundiais, sabe-se perfeitamente que a sua aplicação para fins pacíficos é bastante recente.

Os principais avanços na obtenção sistemática de dados dos recursos da terra, dentro da filosofia do Sensoriamento Remoto, deve-se estritamente ao uso da câmara fotográfica a bordo de aeronaves. E, ainda hoje, não existe uma alternativa que torne prescindível a fotografia aérea apesar de suas sérias limitações. As deficiências dos filmes fotográficos convencionais para medir parâmetros como temperatura, magnetismo, umidade de solo, conteúdo de clorofila, etc., foram substituídos por outros sensores tais como radar, magnetômetros, cintilômetros, filmes infravermelho e varredores ("scanner") multiespectrais, também utilizados em aviões. Mas o avião em si, como plataforma, guarda algumas limitações como, por exemplo, a extensão da área coberta, o custo associado aos levantamentos de grandes áreas e, principalmente, a repetitividade dos levantamentos.

Muitas destas limitações foram sanadas com a utilização de sensores, filmes fotográficos e outros, em plataformas espaciais em nível orbital. A utilidade das fotografias, tomadas pelos astronautas dos vôos da Gemini e Apollo, foi evidenciada ainda mais no experimento do SKYLAB, mostrando a grande potencialidade de seu uso, possibilitando, assim, o aparecimento de satélites voltados, estritamente, ao levantamento de Recursos Terrestres. Deste modo, a partir de 1972, com o lançamento do LANDSAT-1, começou uma nova era para o Sensoriamento Remoto.

Pela primeira vez, estabeleceu-se um sistema de obtenção sistemática de dados dos recursos da terra, de forma repetitiva, ampliando definitivamente a tecnologia dos Sensores Remotos. E, o Brasil, com uma extensão territorial de mais de 8,5 milhões de Km² e mais de 7 mil Km de costa, será, sem dúvida alguma, um dos maiores beneficiários desta técnica.

Hoje, os resultados mostrados pelo Projeto RADAMBRASIL e pelo Programa de Sensoriamento Remoto do INPE constituem-se numa prova insofismável de que se está atento a esta valiosíssima oportunidade.

Para que estes resultados fossem possíveis, o INPE vem desenvolvendo esforços desde 1967, principalmente na criação de uma infraestrutura básica, tanto de material como de recursos humanos. Para isso, mantém um programa de Pós-graduação de Sensoriamento Remoto aplicado à Geologia, Geografia, Oceanografia, Agronomia e Floresta, sendo que até este ano de 1978 já se conseguiu a formação de 30 mestres em ciência, além da realização de cursos técnicos e treinamentos para mais de 3 centenas de pessoas de órgãos públicos e privados, universidades, etc.

2. OBJETIVOS E METODOLOGIA DO PROGRAMA DE SENSORIAMENTO REMOTO

A metodologia básica do Programa e de todos os projetos de pesquisa está baseada em 3 fases:

- 1) a 1^a consiste na obtenção de uma visão sinótica da área em estudo, utilizando-se as imagens obtidas pelo sistema de varredura multiespectral do satélite LANDSAT. Esta fase, denominada interpretação preliminar das imagens, procura exaurir toda a potencialidade da mesma no fornecimento de informações e as inferências que ela possibilita ao analista, ajudado ainda por uma completa pesquisa bibliográfica;
- 2) já na 2^a fase, busca-se a utilização de fotografias aéreas, já disponíveis e/ou proporcionadas por levantamentos aerofotográficos e outros sensores, através da plataforma de pesquisa - um avião Bandeirante. Esta fase se caracteriza como um primeiro "check" da interpretação preliminar, servindo como uma "verdade" para as imagens orbitais;
- 3) finalmente, na 3^a fase lança-se mão do trabalho de campo, numa área bem restrita, de onde são obtidas as informações de campo

e que servem para a avaliação final da fase interpretativa.

A razão principal desta abordagem metodológica é a minimização dos custos de cada Projeto, pois, os custos de cada fase são são significativamente crescentes, à medida que se passa da 1^a para a 2^a fase e, desta, para a 3^a, a mais dispendiosa das três.

Deste modo, procura-se obter o máximo de informação das imagens do LANDSAT, para minimizar o uso de dados levantados por avião ou colhidos através de trabalho de campo, de tal modo que sejam compatíveis com a escala de trabalho que se está desenvolvendo.

Dentro desta filosofia, todos os esforços do Programa de Sensoriamento Remoto do INPE procuram atingir os seguintes objetivos:

- 1) estabelecer metodologias básicas para o uso efetivo de Sensoriamento Remoto no levantamento, monitoramento e controle dos recursos naturais e no estudo do ambiente;

Todos os programas do Departamento, ou seja, os Grupos de Agronomia e Floresta, de Geografia, de Geologia e de Oceanografia, definem seus Projetos de Pesquisas, dentro de áreas piloto, para desenvolverem metodologias nas suas específicas áreas de atuação. Uma vez que se tenha conseguido bons resultados, esta metodologia é testada em áreas de maior expressão e complexidade para uma avaliação, principalmente, quanto à sua eficácia, custo e tempo, em relação a uma abordagem convencional.

- 2) transferir estas metodologias para as empresas e/ou instituições públicas e privadas;

Uma vez que se tenha testado suficientemente a metodologia, esta é transferida aos usuários. Uma das maneiras mais efetivas pa-ra esta transferência consiste na execução de um projeto, em conjunto com a entidade interessada, em que os próprios técnicos do Departamento, que desenvolveram a metodologia, vão treinar os técnicos que participa

parão do mesmo trabalho.

- 3) formar pessoal técnico, e de alto nível, na área de Sensores Remotos e Aplicações.

Este objetivo está intimamente relacionado com o processo de transferência de tecnologia, porquanto é através da preparação ou capacitação de mão de obra especializada que realmente se pode vislumbrar uma transferência de técnicas, de maneira eficiente.

Além do treinamento de pessoal em trabalho, como é o caso da execução conjunta de projetos específicos, ministra-se cursos de média e curta duração e oferece-se estágios ao pessoal das entidades interessadas, além de formação de Mestre em Ciência na Área de Sensoriamento Remoto.

3. METODOLOGIAS JÁ OPERACIONALIZADAS PELOS GRUPOS DE PESQUISAS DO INPE

Por ocasião do lançamento do LANDSAT-1 pela NASA, os Estados Unidos distribuíram dados para os chamados Pesquisadores Principais em 52 países, que, em conjunto com os pesquisadores americanos, deveriam testar a potencialidade das imagens fornecidas por aquele satélite. Hoje, existe uma numerosa literatura técnica e científica a respeito de processamento, análise e interpretação destas imagens, aplicadas a uma grande variedade de disciplinas, e com exemplos em quase todos os lugares do mundo. Os resultados de muitas destas experiências, muitas vezes com avaliações comprovadamente positivas, nem sempre estão sendo usados de uma maneira intensiva, quer pelo desconhecimento dos técnicos das agências de serviço, ou mesmo pela resistência destes mesmos técnicos com vistas à aplicação de uma nova tecnologia, que eles imaginam distante de suas capacidades. Por outro lado, deve-se também ressaltar que, muitas destas experiências, apesar de apresentarem resultados promissores, necessitam ser aplicadas e testadas, em áreas de maiores extensões e complexidades, o que nem sempre as instituições de pesquisas podem realizar.

3.1 - METODOLOGIAS OPERACIONAIS DENTRO DO PROGRAMA DE RECURSOS MINERAIS

1) Mapeamento Geológico Regional: para o desenvolvimento desta metodologia foram utilizadas, basicamente, imagens do "scanner" multiespectral do LANDSAT, e dados de outros sensores, tais como mosaicos de radar, fotografias aéreas e de aerolevamentos geofísicos, quando disponíveis. Após a interpretação preliminar e uma exaustiva pesquisa bibliográfica, é realizado um trabalho de campo, para, só após, ser executada a fase de interpretação final. Para a aplicação e aperfeiçoamento deste método, foram selecionadas inúmeras áreas testes de extensão e complexidade geológica de vários níveis.

Destes esforços obteve-se os seguintes resultados: o Mapeamento Geológico ao Milionésimo da Folha de Goiás, Belo Horizonte, Brasília, Rio São Francisco e de todo o Estado do Piauí. O Mapeamento Geológico do Estado do Rio de Janeiro foi feito numa escala de 1:500.000.

- 2) Pesquisa Mineral em áreas específicas: sob esta denominação, reuniu-se uma série de experiências utilizando-se dados obtidos por sensores remotos, especialmente imagens do LANDSAT, e das técnicas da classificação automática.
 - a) Uso de imagens do LANDSAT no estudo do condicionamento geológico dos depósitos de metais básicos no grupo Bambuí, Zinco, Chumbo e Cobre.
 - b) Mapeamento Automático de áreas favoráveis à ocorrência de argilas no planalto de Poços de Caldas e nas cabeceiras do Rio Claro.
 - c) Estudo do condicionamento das mineralizações radioativas no maciço alcalino de Poços de Caldas.
 - d) Interpretação automática de imagens LANDSAT para a prospec

ção de depósitos minerais na Amazônia: depósitos ferríferos da Serra dos Carajás e granitos associados aos depósitos de estanho da Bacia do Rio Xingu.

e) Uso das imagens LANDSAT no reconhecimento de estruturas circulares nos Estados de Goiás e Mato Grosso.

f) Uso de dados fotográficos na identificação de zonas mineralizadas em zinco no grupo Bambuí.

3.2 - METODOLOGIAS OPERACIONAIS DENTRO DO PROGRAMA DE USO DA TERRA

- 1) Uso de imagens do LANDSAT na caracterização de uso de solos urbanos: um caso aplicado à área urbana de São José dos Campos.
- 2) Mapeamento do uso da terra com base em imagens LANDSAT.
- 3) Mapeamento rodoviário do Estado de Mato Grosso através de imagens do LANDSAT, salientando a drenagem, cidades e vilas.
- 4) Utilização de imagens do LANDSAT para a inferência demográfica de áreas urbanas.

3.3 - METODOLOGIAS OPERACIONAIS DENTRO DO PROGRAMA DE RECURSOS DO MAR

- 1) Estudo do comportamento dinâmico das águas da Lagoa dos Patos, através da observação sinótica e repetitiva da dispersão das partículas sedimentares, através das imagens do LANDSAT e SKYLAB.
- 2) Mapeamento térmico da superfície do mar, através do processamento digital das imagens VHRR dos satélites da série NOAA. Foi implantado um sistema para a obtenção de cartas térmicas da superfície do mar, de regiões costeiras, com dimensões da ordem de 40.000 Km².

- 3) Utilização de dados oceanográficos, dos satélites da série NIMBUS e LANDSAT, no estudo do comportamento da frente entre as Correntes do Brasil e das Malvinas.

3.4 - METODOLOGIAS OPERACIONAIS DENTRO DO PROGRAMA DE RECURSOS AGRONÔMICOS E FLORESTAIS

- 1) Mapeamento de solos, baseado nas imagens multiespectrais do LANDSAT, a nível de grandes grupos, compatível com uma escala de 1:500.000.
- 2) Monitoramento e avaliação de povoamentos florestais artificiais ("Eucalyptus" e "Pinus"), através do tratamento visual e automático dos dados obtidos pelo "scanner" multiespectral do LANDSAT.
- 3) Uso de imagens do LANDSAT no levantamento e controle de áreas sujeitas a desmatamento.
- 4) Avaliação da qualidade de pastagens nos projetos agropecuários implantados na Amazônia Legal.

4. AS EXPERIÊNCIAS COM O LANDSAT 1, 2 E 3

Apresentar-se-á, aqui, uma síntese das mais importantes experiências que foram e estão sendo realizadas com os dados do LANDSAT, sem contudo pretender-se ser exaustivo.

a) Levantamento de solos

As variações das características do solo podem ser identificadas em imagens do LANDSAT e realçadas no computador. A delimitação destes padrões, confirmadas por observações no campo, podem produzir mapas de associações de solos, que produzem uma boa indicação das prováveis características do solo. Estudos cooperativos, entre pedólogos do

Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e das Universidades de Indiana e Missouri, mostraram que o processamento digital de dados do LANDSAT forneceu informações suficientes para o mapeamento de solos numa escala de 1:15.840 e 1:20.000, e, em alguns casos, permitiu a identificação de séries e tipos específicos de solos. Mas, em todos os casos, tais informações podem reduzir grandemente o número de observações e o tempo necessário para os trabalhos de campo. A afirmação final é de que os dados e imagens do LANDSAT podem ser efetivamente usados para o fornecimento de uma base para a preparação de mapas de solos semidetalhados em escalas, variando de 1:250.000 até 1:500.000.

b) Estudo de Pastagens

Os dados e imagens do LANDSAT podem fornecer informações substanciais para uma melhor administração das áreas de pastagens, quer concorrendo para seu inventário, ou indicando-se as condições das pastagens favoráveis a incêndio, para produzirem a engorda dos animais, etc. Aqui no INPE, realiza-se algumas experiências em algumas pastagens artificiais da Amazônia, em áreas que sofreram desmatamentos e que demonstraram, definitivamente, que a rebrota da vegetação remanescente transformou enormes áreas de pastagens em áreas totalmente improdutivas.

Ainda, num outro experimento, analisando-se os dados do LANDSAT referentes às estações seca e úmida, foi possível verificar a degradação das pastagens.

Apesar de não se poder ainda identificar os diversos tipos de vegetação que formam as pastagens, um sistema de inventário e monitoramento das pastagens, através do uso de dados orbitais obtidos por satélites, poderia ser implantado gerando informações importantes sobre a qualidade de pastagens em escala regional ou nacional.

c) Estudo de Florestas

O Estudo e o Levantamento de Florestas nos Estados Unidos

são realizados inteiramente por um complexo sistema de fotografias aéreas em diferentes altitudes. Por causa da necessidade de informações bem de talhadas dos tipos e da grande mistura de espécies de árvores, as imagens e dados do LANDSAT mostraram ser inadequadas para os propósitos de inventários. No entanto, a maioria das pesquisas e experiências, com dados do LANDSAT, tem mostrado que pode ajudar a reduzir grandemente os custos nos processos de inventário florestal. E, é exatamente esta filosofia que tem norteado as pesquisas aqui no INPE. A identificação de áreas, em vários projetos no Estado de São Paulo, permitiram um grau de informação bastante útil para a fiscalização dos mesmos. No momento, esta metodologia está sendo aplicada numa área bem mais extensa, ainda dentro do Estado de São Paulo, abrangendo 12 municípios de grandes concentrações de projetos de Reflorestamento.

d) Recursos Hídricos

- 1 - águas superficiais: os dados do LANDSAT mostram-se particularmente confiáveis na localização de águas superficiais. A banda 7 do "scanner" multiespectral do LANDSAT mostra, claramente, o contraste entre água e outras superfícies do terreno, de tal modo que corpos d'água, maiores que 10 acres, podem ser identificados com 99% de precisão. Muitos estudos têm demonstrado o uso efetivo dos dados do LANDSAT para delinear áreas de inundação, em bacias hidrográficas, cujos traços da inundação não desapareçam em menos de 18 dias,
- 2 - águas subsuperficiais: informações geológicas relacionadas a águas subterrâneas podem ser derivadas dos dados obtidos pelos sensores multiespectrais. Os dados do LANDSAT podem oferecer informações sobre a litologia de superfície, padrões de fraturas e indicadores de padrões de vegetação, e geomórficos de aquíferos de pouca profundidade. Tais informações, quando adequadamente interpretadas, podem servir como uma base de exploração ou estratégia para a prospecção de águas subterrâneas;

e) Levantamento Geológico e Exploração Mineral

Um dos mais valiosos atributos dos dados obtidos por satélites advém, simplesmente, da grande distância na qual a Terra é observada e, conseqüentemente, a grande área coberta por uma única imagem ou fotografia. Algumas cenas do LANDSAT podem cobrir toda uma cadeia de montanhas e algumas centenas de imagens podem cobrir totalmente um continente. Elementos estruturais irregulares, ou mesmo descontínuos, confinados numa área menor, podem ser revelados como lineamentos de extensões regionais ou mesmo semicontinentais. Os geólogos podem mostrar tais feições, com muito menos trabalho, evitando montar e manusear extensos mosaicos de fotografias aéreas, as quais, quase sempre, diferem em escala, tempo de exposição, ângulo do sol ou qualidade da foto.

Uma das mais destacadas aplicações das imagens LANDSAT diz respeito ao mapeamento geológico ou ao aperfeiçoamento dos já existentes. Muitos são os países em desenvolvimento que estão utilizando os dados do LANDSAT para o mapeamento Geológico Regional.

Um plano para fazer o mapeamento geológico do Egito, numa escala de 1:1.000.000, iria levar 10 anos a um custo de 2.4 milhões de dólares, usando fotografias aéreas preto e branco. Em substituição, foram usadas imagens do LANDSAT as quais ofereceram três vezes mais detalhes geológicos, além de possibilitar uma grande economia de tempo e menor custo. Em 3 anos mapearam 50% do país e calcularam mais dois anos para cumprir o restante da tarefa.

f) Cartografia

O "scanner" multiespectral do LANDSAT mostrou capacidades para o mapeamento cartográfico, que excederam a expectativa original. Nos Estados Unidos, um dos países de maiores disponibilidades cartográficas, foram utilizadas estas imagens para cartografia de pequena escala, e inclusive para corrigir e atualizar certas feições em mapas na escala 1:250.000. No Brasil, estas imagens estão sendo utilizadas pelo IBGE

para a atualização das cartas do Brasil ao milionésimo e para as car
tas aeronáuticas.

Pode-se dizer ainda que estas imagens têm uma especial im
portância para a atualização de cartas de áreas costeiras e estuários, e
na correta delimitação dos lagos interiores, principalmente as im
agens da banda do infravermelho.

g) Uso da Terra

Atualmente, os dados de satélite não podem substituir com
pletamente as fotografias aéreas para os propósitos de estudos do uso
da terra. Na realidade, eles sō devem ser usados como complemento. Para o
Planejamento Regional, em particular, as imagens do LANDSAT podem servir
como uma base de reconhecimento, além de possibilitar o mapeamento das
áreas que estão sofrendo rápidas modificações. Mas se se necessita de
maiores informações, as fotografias aéreas são imprescindíveis. Este pro
blema ainda é mais crucial em se tratando de áreas urbanas. Neste caso,
as imagens do Satélite LANDSAT apenas poderá fornecer a área urbaniza
da, e algumas feições particulares de algumas cidades, como bairros com
maior concentração de verdes, do que outras áreas com menos, etc.

h) Demografia

A aplicação demográfica dos dados do LANDSAT tem sido es
tudada dentro do contexto das pesquisas do Uso da Terra. A estratêgia
consiste em se identificar diversas categorias de classes das áreas ur
banas, e associar, a cada uma delas, uma densidade de população com da
dos estatísticos, obtidos por outros meios, após uma cuidadosa amostra
gem. E, assim, obter uma correlação entre as classes de áreas urbanas com
densidade de população. No entanto, em muitos países o problema do censo
demográfico não é somente medir os incrementos no crescimento das áreas
urbanas, mas determinar o número, a localização e a densidade de popula
ção de cada uma das cidades existentes.

A experiência aqui no INPE consistiu de um experimento em

35 cidades do Estado de São Paulo. Os resultados mostraram que existe uma forte correlação entre as áreas urbanas e sua densidade de população.

i) Proteção do Meio Ambiente

Inúmeros estudos foram conduzidos para determinar os possíveis valores dos dados do LANDSAT para o monitoramento do meio ambiente. Se se tomar como exemplo a detecção da poluição em corpos d'água, os atuais sistemas sensores, a bordo do LANDSAT, não tem a sensibilidade, a resolução espacial e nem a frequência de observações para satisfazer os requisitos básicos destes estudos. Necessariamente, os dados obtidos do espaço, para serem aplicados nestes estudos, terão que ser aperfeiçoados. No entanto, é inegável a capacidade do LANDSAT no reconhecimento das discontinuidades das cores que podem ser distinguidas em águas superficiais, provando seu enorme valor na identificação de certos tipos de poluição, ou degradação ambiental. Denuncia, de maneira insofismável, que os dejetos industriais e das áreas urbanas, em certos locais, contaminam, pela sua dispersão, extensas áreas como a que se constatou em toda a Baía de Guanabara, na Baía de Santos, etc.

j) Recursos do Mar e Oceanografia

Neste campo, os dados obtidos por satélites meteorológicos têm sido aplicados de maneira bem mais extensa que os dados do LANDSAT. Sensoriando a temperatura da superfície do mar, sinoticamente, sobre grandes áreas, os satélites meteorológicos têm propiciado uma nova dimensão de informações. A distribuição de massas de água, os padrões de circulação de águas em dimensões oceânicas, as estruturas de correntes costeiras e, as zonas de convergência e divergência de massas d'água, podem hoje ser estudadas com informações compatíveis com a dinâmica dos fenômenos oceanográficos. Sabendo-se, principalmente, que estas zonas, interfaces entre grandes massas d'água, desempenham um importante papel na concentração e desenvolvimento da vida marinha, o Programa de Sensoriamento Remoto vem desenvolvendo esforços no sentido da utilização de dados obtidos por sensores remotos e de dados oceanográficos.

cos, para o desenvolvimento de cartas de áreas mais propícias à pesca. Um primeiro modelo desta carta foi terminado em junho deste ano, utilizando-se de parâmetros de temperatura, salinidade, oxigênio, fosfato, vento e da distribuição da captura da sardinha de superfície para 6 meses do ano, num período de junho a dezembro. Utilizando-se dados médios mensais, em quadrados de 1/2 por 1/2 grau, e numa escala de 1:1.000.000, foram construídas as cartas de pesca propriamente ditas. Os dados de temperatura analisados foram obtidos pelo Radiômetro de Alta Resolução (VHRR) do Satélite NOAA-5.

k) Produção Agrícola

Uma das áreas mais importantes, e também um dos maiores desafios da aplicação do Sensoriamento Remoto, é a previsão de safras, e/ou inventário de culturas agrícolas. Para se chegar à Produção de uma determinada cultura precisa-se conhecer a área total desta cultura e sua produtividade média por unidade de área. Atualmente, o Sensoriamento Remoto pode desempenhar um significativo papel na obtenção destes dois importantes parâmetros. Mas, é na identificação ou na separação de cada uma das culturas e na avaliação de suas áreas, onde o Sensoriamento Remoto tem hoje a sua maior aplicação. É sabido que algumas culturas ou feições na superfície terrestre, quando observadas do espaço, possuem a mesma resposta, ou apresentam uma mesma tonalidade em termos de imagens. É preciso que se conheça bem as fases de desenvolvimento de cada cultura, como ela reage à influência dos fatores ambientais, e quais são suas respostas espectrais ou tonais, registradas nas informações obtidas pelos sensores. Além disso, é necessário que a resolução espacial e espectral sejam compatíveis com o tamanho e a forma de sua distribuição no solo, para que possamos identificá-la e, posteriormente, avaliar a extensão de sua área com uma precisão aceitável.

O exemplo mais significativo da aplicação de Sensoriamento Remoto na previsão de safras é desenvolvido no Centro Espacial Lyndon Johnson da NASA, no Texas, em conjunto com o Departamento de Agricultura e com a NOAA (Administração Oceânica e Atmosférica Nacional): o Projeto

LACIE - Experimento para o Inventário de Grandes Áreas de Culturas. Este projeto visa a obtenção da estimativa da produção do trigo, um mês e meio a dois meses antes da colheita, identificando e medindo a cultura através das imagens do "scanner" multiespectral do LANDSAT. O inventário é feito numa base amostral e não numa análise exaustiva das imagens de toda a área de estudo. Foi desenvolvida uma estratégia de amostragem aleatória estratificada, empregando segmentos das imagens LANDSAT, alocadas aleatoriamente de acordo com o censo agrícola realizado em 1969 e em 1974. Este projeto, desde o seu início em fins de 1974, tem mostrado ótimos resultados, dentro de uma precisão de 90%. Precisão de mais de 90% tem sido conseguida para a estimativa da produção do trigo de inverno dos Estados Unidos e da Rússia.

Aqui no INPE, apesar da importância que se atribui a este campo, o programa é bem modesto. Tem-se realizado inúmeros experimentos em áreas agrícolas de São Paulo, visando principalmente o estudo do comportamento espectral de culturas economicamente mais importantes como : Soja, Milho, Algodão, Citros, Café e Cana-de-Açúcar.

No ano de 1978, o INPE se propôs a desenvolver uma metodologia para fazer o inventário de cana-de-açúcar e a sua distribuição espacial dentro de todo o Estado de São Paulo.

A escolha da cana-de-açúcar para este experimento é óbvia, diante da importância do Programa Pró-álcool. A cana por ser uma cultura semiperene também apresentava algumas vantagens. Uma delas é que a partir da colheita das culturas anuais, portanto a partir de maio, diminui substancialmente os alvos que se confundem com a cana, vistos através das imagens. E o problema mais crucial neste Projeto consiste em separar as áreas de cana das forrageiras, das pastagens naturais e das áreas aluviais, que em determinadas épocas do ano respondem espectralmente de forma igual as da cana-de-açúcar. Um outro sério problema que se nos apresenta é que, em qualquer época do ano, sempre se encontra desde a cana recém plantada até a cana pronta para ser colhida.

Quanto aos dados que se utilizará neste trabalho, eles

constam essencialmente: 1) das imagens fotogr^áficas e das fitas compa^tíveis com o computador do LANDSAT; 2) de fotografias obtidas pelo avião Bandeirante do INPE; 3) de dados de verdade terrestre de 10 áreas amo^strais, obtidos atrav^ês de trabalho de campo, e 4) de dados auxiliares fornecidos pelo Instituto de Economia Agr^ícola da Secretaria da Agricul^tura do Estado de São Paulo e da COPERSUCAR.

De acordo com um inventário de cana, realizado em 1977 pelo Instituto de Economia Agr^ícola de São Paulo, a área plantada com cana em todo o Estado era de aproximadamente 1 milhão de hectares. Mais de 70% desta está concentrada nas Divisões Regionais de Campinas, Bauru e Ribeirão Preto.

Quanto ao m^étodo que se utilizou para fazer o inventário e o mapeamento espacial da cana-de-açúcar, esquematicamente consiste no seguinte:

- 1 - Foram selecionadas 10 áreas de treinamento, obedecendo aos cri^térios de diferentes tipos de solo, de clima, de densidade da cultura e do trato cultural. Estas 10 áreas foram sobrevoadas utilizando-se filmes IR colorido; com estas fotografias foram montados os mosaicos e, atrav^ês de interpretação, todos os cam^pos de cana foram identificados e calculadas as suas áreas.
- 2 - Utilizando-se o I-100 e os dados do LANDSAT de abril de 78, ca^da uma destas áreas foi interpretada automaticamente, utilizando-se os padrões de cana obtidos das fotografias aéreas, depois de localizadas nas imagens do sat^élite. Assim, foi obtido o c^álculo das áreas dos campos de cana atrav^ês da classificaç^ão au^tomática. O mesmo procedimento está sendo realizado, agora, com as imagens obtidas em julho de 1978. A razão b^ásica para se utilizar os dados multitemporalmente é que na passagem de abril, pelas condiç^ões de umidade do solo, as pastagens e áreas aluviais apresentavam-se verdes e se registrou muita con^fusão com a cana, resultando num baixo n^ível de precis^ão de

identificação da cultura.

- 3 - Uma vez que se consiga uma assinatura espectral da cultura, em níveis de confiabilidade aceitáveis, far-se-á a extensão dessa assinatura para toda a imagem e toda a área de cana será então classificada.
- 4 - Para a avaliação final dos resultados, pretende-se estender o nível de precisão, obtido nas 10 áreas de treinamento, as quais tiveram ótimo controle através do uso de fotografias aéreas infravermelho, numa escala de 1:20.000 aos dados obtidos com a classificação automática e visual, utilizando-se imagens e as CCTs do LANDSAT.

5. PERSPECTIVAS DA TECNOLOGIA DO SENSORIAMENTO REMOTO

Está-se realmente nos primórdios do estado de desenvolvimento da tecnologia do Sensoriamento dos Recursos da Terra, observados do espaço. Se os planos atuais da NASA e da Agência Espacial Européia forem executados, as atuais espaçonaves e sensores irão ser sobrepujados por sistemas mais avançados, com considerável aperfeiçoamento em suas capacidades. Espera-se que uma variedade de sistemas espaciais do futuro possa fornecer uma maior frequência de observações, com muito alta resolução, tanto espacial como espectral. Os três primeiros LANDSATs demonstraram a capacidade de seus sensores no levantamento de importantes dados para o inventário e monitoramento dos recursos da terra, e no estudo do ambiente. Mas, serviram, principalmente, para descobrir as limitações desta primeira geração de sensores e suas deficiências no fornecimento de numerosa necessidade de dados que, teoricamente, o sensoriamento por satélite deveria satisfazer.

Atualmente, a maior expectativa do Sensoriamento Remoto é dirigida ao LANDSAT D. Planejado para ser lançado em 1981, este satélite terá a bordo o Mapeador Temático, um avançado "scanner" multiespectral com sete canais, cuja resolução radiométrica e espacial será subs

tancialmente melhor que a disponível no MSS de hoje. Ele terá uma capacidade de gerar informações com até 256 níveis de cinza, em comparação com os 64 atuais, e um "pixel" do sistema poderá definir uma área no solo equivalente a 0.1 hectare e não mais 0.45 hectares, como nos três satélites anteriores.

O LANDSAT D será colocado numa órbita quase polar, numa altitude de 705 Km, será síncrono com o Sol e terá um ciclo de repetição da mesma imagem a cada 18 dias. Em virtude de sua maior resolução, e dos canais adicionais, produzirá considerável aumento no volume de dados, passando de 15 milhões de "bits" por segundo, hoje, para 110 milhões.

Um outro advento esperado ainda para o fim desta década é o lançamento do "Space Shuttle". Ele consiste num veículo espacial tripulado, que poderá ser reutilizado, e espera-se que seja lançado em 1980. Com uma capacidade quase tão grande como a de um Boeing 707, será capaz de carregar uma diversidade muito grande de equipamentos para diversos tipos de experimentos, além de servir como plataforma para colocar outras espaçonaves em órbita. Ainda, pretende-se usar o "Space Shuttle" para a manutenção e recuperação das futuras espaçonaves de recursos terrestres. Para o Sensoriamento Remoto servirá como plataforma para o uso de uma grande variedade de sistemas sensores, podendo carregar, em algumas de suas missões, câmaras fotográficas de alta resolução.

A persistência de cobertura de nuvens, durante muitos meses ao longo de uma ano, especialmente nas áreas dos trópicos úmidos, tem sido uma das principais limitações do valor potencial dos sensores remotos em nível orbital. Os LANDSATs têm demonstrado isso, e no Brasil, particularmente, tem-se sentido este problema. É uma decorrência dos sensores destes satélites operarem na porção visível e infravermelho refletido do espectro eletromagnético. Duas abordagens têm sido levantadas para tratar este problema: usar sensores de microondas e obter frequentes coberturas com a utilização de sensores multiespectrais a bordo de satélites de baixas latitudes ou geo-estacionários. Os sensores de microon

das possuem a capacidade de penetrar em vários tipos de nuvens, certos tipos de chuva e até mesmo em certas classes de vegetação, dependendo dos comprimentos de onda utilizados.

Está em estudo a utilização de um radar experimental com multifrequência e multipolarização numa missão do "Space Shuttle". A Agência Espacial Européia está considerando também a possibilidade do desenvolvimento de um programa de satélite de aplicações terrestres, utilizando-se sensores de microondas tanto ativo como passivo.

5.1 - FUTURAS APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO ATÉ 1985

Se o Programa LANDSAT D se tornar uma realidade, sem dúvida nenhuma as aplicações do Sensoriamento Remoto estarão centradas principalmente no uso do Mapeador Temático, a exemplo do que já vem acontecendo desde 1972 com o MSS dos três primeiros LANDSATs. Apesar de que valiosas contribuições advirão das câmaras de alta resolução do "Space Shuttle" e das imagens de radar, como já tivemos algumas experiências este ano pelo SEASAT 1, o monitoramento de recursos e previsão de safras, para atender tanto às necessidades de um país como para um sistema em bases mundiais, poderão ganhar, significativamente, com o avanço dos satélites meteorológicos e dos sensores de microondas.

Deste modo, é possível se fazer uma projeção das futuras aplicações em :

- 1 - Estudo de pastagens: com a integração de vários dados sensoriais será possível a criação de modelos sobre o crescimento das pastagens, previsão de umidade de solos e o monitoramento de água e do balanço energético. Uma maior precisão na classificação de vegetação verde possibilitará uma melhor previsão das condições e suporte das pastagens.
- 2 - Estudo de florestas: com a resolução de 30 metros do mapeador temático aumentará a habilidade em identificar menores feições

culturais e, haverá maior precisão nos inventários de áreas florestais, naturais e artificiais, o que servirá para reduzir consideravelmente o uso de avião, nas amostragens dos levantamentos para avaliação de madeira, melhorando inclusive a eficiência das amostras.

- 3 - Recursos hídricos: parâmetros como a evapotranspiração, a umidade do solo, a estimativa de precipitação e o monitoramento da temperatura do solo são de uma importância capital para um sistema de previsão de safras. E, os satélites meteorológicos, os sensores ativos de microondas e o LANDSAT D desempenharão um importante papel para uma melhor avaliação destes parâmetros; o monitoramento e a avaliação das áreas de inundação poderão ser substancialmente melhorados com a ajuda de imagens de radar. O uso conjunto dos dados de diversos sensores possibilitará um melhor conhecimento espacial e temporal da localização de águas superficiais, as áreas mais prováveis para a exploração de águas subterrâneas e dos efeitos danosos do uso da terra na produção e na qualidade da água.
- 4 - Levantamento Geológico e Exploração Mineral: o aperfeiçoamento do mapeamento geológico, incluindo um melhor reconhecimento das estruturas geológicas, uma melhor definição das descontinuidades litológicas, detecção de menores corpos intrusivos, delimitação de menores sistemas de fraturas e inclusive a detecção de zonas de alteração que podem indicar áreas mineralizadas, tudo isto será possível como resultante do aumento da resolução espacial e espectral das diversas bandas do Mapeador Temático do LANDSAT D.
- 5 - Cartografia: a cartografia planimétrica receberá valiosa contribuição no uso das imagens de melhor resolução do Mapeador Temático e das fotografias de alta resolução que algumas missões do "Space Shuttle" irão proporcionar.

- 6 - Uso da Terra: espera-se um notável incremento na identificação e mapeamento de mais classes do Uso da Terra e, inclusive, na identificação de algumas áreas características no Uso do Solo Urbano, principalmente nas classes que possuem diferentes densidades de verdes. A poluição do solo e das águas superficiais, bem como os processos de erosão do solo poderão ser muito melhor identificados e monitorados, dentro da área dos problemas ambientais.

- 7 - Recursos do Mar e Oceanografia: os dados obtidos pelo LANDSAT D, pelos satélites meteorológicos e pelos sensores de microondas irão contribuir, significativamente, para os estudos da dinâmica dos oceanos e para o conhecimento das áreas mais propícias à pesca. Com o aumento da resolução das imagens do mapeador temático poder-se-á determinar menores feições da circulação dos ambientes e das correntes costeiras, os fenômenos de ressurgência e o estudo da poluição nas grandes baías.

- 8 - Produção Agrícola: a combinação dos diversos tipos de dados, coletados por diversos sistemas sensores dos satélites meteorológicos e de Recursos Terrestres, desempenhará um papel fundamental e decisivo em qualquer sistema de previsão de safras. Os modelos de amostragens estatísticas, para as estimativas das áreas das principais culturas agrícolas, deverão receber uma substancial ajuda e, as grandes limitações de hoje, quanto à separabilidade de multiculturas, incluindo aquelas desenvolvidas em pequenas áreas do terreno, serão significativamente minorizadas. Acreditamos que no Brasil, devido às grandes restrições impostas pela cobertura de nuvens, principalmente para as culturas de ciclos de desenvolvimento muito curtos, ainda teremos sérias limitações. A abordagem mais indicada seria o uso de estratégias de amostragens estatísticas, utilizando segmentos das imagens do LANDSAT como amostras, à semelhança da experiência americana no Projeto LACIE. Dentro do Programa de Sensoriamento Remoto, nos próximos anos, será dada uma ênfase ao inventário de certas

culturas perenes e semiperenes como a cana-de-açúcar, e culturas como trigo, para as quais o efeito da problemática de cobertura de nuvens é minimizada. Além disso, será dada ênfase às tentativas de estudo das características espectrais das demais culturas, suas variações nas diversas fases de desenvolvimento, com vistas à criação de metodologias para sua identificação ou estudo da separabilidade entre elas.

Acredita-se que nestes próximos 2 a 3 anos, portanto, antes do lançamento do LANDSAT D, caso os dados sensoriados atualmente estejam ainda disponíveis, poder-se-á fornecer informações, com 90% de precisão, a respeito dos inventários de cana-de-açúcar e trigo, das principais áreas de produção do Brasil, deixando estas metodologias em regime quase operacional.