

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA
INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA FLORESTAL

DE – SÉRIE TÉCNICA Nº 1

IMPORTÂNCIA DAS TÉCNICAS DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA A CIÊNCIA FLORESTAL

Brasília, 1981

Ministro da Agricultura

Ângelo Amaury Stabile

Presidente do IBDF

Mauro Silva Reis

Diretor do DE

Joésio Deoclécio Pierin Siqueira

CORPO EDITORIAL

Mauro Silva Reis - Ph. D.

Carlos Max R. Carneiro - Ph.D.

Antonio Paulo M. Galvão - Ph. D.

Manoel Sobral Filho - Ph. D.

Júlio de Castro Paixão - M.S.

Cleuber Delano J.Lisboa - M.S.

Joésio Deoclécio Pierin Siqueira - M.S.

Ministério da Agricultura
Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
Departamento de Economia Florestal

IMPORTÂNCIA DAS TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO
REMOTO PARA A CIÊNCIA FLORESTAL

Carlos Marx Ribeiro Carneiro
Professor de Sensoriamento Remoto da UFSM - RS
Coordenador do Programa de Monitoramento da
Cobertura Florestal do Brasil - IBDF
Diretor Nacional do Projeto PNUD/FAO/BRA-78

Brasília, 1981

RESUMO

O presente trabalho descreve a importância do sensoriamento remoto para a ciência florestal enfatizando as possibilidades de aplicação, especialmente no Brasil.

A importância para o campo florestal dos conceitos de multiestádio, multiespectralidade e multitemporalidade é discutida .

O papel do mapa nas operações florestais é também revisto.

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. NÍVEIS DE UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES SENSORES EM LEVANTAMENTOS FLORESTAIS.....	2
3. APLICAÇÃO NO CAMPO FLORESTAL.....	4
3.1. Manejo Florestal	6
3.2. Proteção Florestal	10
3.3. Recreação Florestal	12
3.4. Manejo das Bacias Hidrográficas	12
3.5. Inventário Florestal	14
3.5.1. Confeção de tabelas aéreas de v <u>o</u> l <u>u</u> me	15
3.5.2. Inventário em múltiplos estágios...	17
3.6. Monitoramento Florestal	18
4. CONCLUSÕES	20
5. ABSTRACT	20
6. LITERATURA CITADA	21

IMPORTÂNCIA DAS TÉCNICAS DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA A CIÊNCIA FLORESTAL

1. INTRODUÇÃO

A história do mapeamento florestal teve início em meados do século XVI, muito embora os primeiros bons mapas começassem a ser compilados só entre o final do século XIX e início do século XX.

Esses mapas eram confeccionados com base em observações de campo, tinham como base planimétrica cartas topográficas exploratórias ou de reconhecimento e, por conseguinte, apresentavam com posições florísticas incompletas e com sérios problemas de deslo camento espacial.

Só a partir da primeira grande guerra, com a utilização de fotografias aéreas para fins florestais nos Estados Unidos, Canadã e Alemanha, é que começaram a ser produzidos mapas mais corre tos, face à reconstrução em laboratório, das três dimensões do terreno, através de técnicas fotogramétricas.

A partir desse período até o presente, cada vez mais o pa pel das fotografias aéreas em operações florestais tem sido mais reconhecido.

Já no início da década de 1940, com o advento da fotografia infravermelha colorida, a história do mapeamento florestal ganhou maior dinâmica tendo em vista a possibilidade de se poder melhor estudar diferentes condições dos povoamentos florestais como estado fitossanitário, classes de idade, classes de vigor, melhor diferenciação entre espécies, etc.

Na década de 1950, com o aparecimento das imagens de radar, outra frente se abriu na área florestal, especialmente para estudos fitogeográficos regionais em áreas tropicais.

Os anos 70 foram basicamente consagrados ao aperfeiçoamento de sistemas imageadores multiespectrais - MSS tanto instalados em aeronaves quanto espaçonaves. Com o lançamento do primeiro satélite da série Landsat em 1972, começaram a ser postos em prática três conceitos que hoje são da mais alta importância que são: "sistema multiestágio" , "sistema multiespectral" e "multitemporal". O ponto chave desses conceitos é basicamente a obtenção de dados de forma rápida, detalhada e econômica, aproveitando ao máximo cada nível de levantamento, de maneira repetitiva e multiespectral.

Outro grande sub-produto dos dados Landsat foi levar o florestal a preocupar-se com o problema de interpretação automatizada de dados, abrindo novo campo no tradicional esquema de atividade do setor florestal.

Hoje com a crescente escassez em recursos florestais que se começa a sentir em todo o mundo, cada vez mais se torna essencial o perfeito conhecimento dos recursos existentes para melhor planejamento de sua utilização; a forma mais rápida de representação da distribuição espacial desses recursos é o mapa.

Na atualidade, face a rapidez com que as transformações se processam na paisagem florestal, já se observa a necessidade de "mapas dinâmicos" isto é, mapas que mostrem periodicamente a realidade da área. Por essa razão, novo conceito foi introduzido no campo do mapeamento florestal que é o de "monitoramento", ou seja, mapeamento periódico da mesma área com a finalidade de se estudar a dinâmica da população florestal da área.

O presente trabalho objetiva analisar, sucintamente, as contribuições que as técnicas do sensoriamento remoto (sejam as

mais tradicionais, como as fotografias aéreas, ou as mais recentes como os sistemas de microondas, MSS ou outros) podem oferecer ao desenvolvimento do setor florestal, procurando fornecer possíveis subsídios a técnicos que trabalham com recursos florestais no país.

2. NÍVEIS DE UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES SENSORES EM LEVANTAMENTOS FLORESTAIS

No campo florestal, como em qualquer outro, o ideal é utilizar o sensor adequado de forma a extrair o máximo de dados no nível de precisão que esse opera. Dessa forma, deve o manejador conhecer as características, vantagens e limitações de cada sistema sensor, bem como o nível de informação necessário ao seu levantamento, a fim de extrair o máximo de cada sensor.

A figura 1 ilustra muito bem a relação existente entre o nível de utilização do sensor, nível de informação que esse fornece e nível do levantamento a ser efetuado. Analizando-a, verifica-se que quando se trabalha com povoamentos pequenos a nível de uma empresa, o trabalho irá depender basicamente de informações de campo (escalas entre 1:15.000 a 1:1.000), sendo nesse caso mais dispendiosa a utilização de produtos aerofotogramétricos. As escalas orbitais são aqui praticamente desconsideradas.

Contudo, a medida que se tem unidades pequenas de manejo (empresas pequenas) mas distribuídas em grande número em um município, o trabalho de campo é ainda necessário, embora seja diminuído em mais da metade, porém, o papel das aerofotos passa a ser maior para o melhor estudo da distribuição espacial dos diferentes povoamentos. As escalas médias, nesse caso, podem variar entre 1:15.000 e 1:40.000. O papel das imagens orbitais em uma escala média de 1:100.000 é apenas insípido e só servirá para ser ter uma melhor idéia da distribuição dos povoamentos no município, não fornecendo informações para o manejo das propriedades. A contribuição quanto as necessidades totais de informação para o município não chegará a 20% (vinte por cento).

Quando o levantamento é feito em áreas ainda maiores (estado) claro está que, por razões econômicas, o trabalho de campo terá que ser diminuído constituindo no máximo uns 20 por cento da área total. As aerofotos (em escalas menores) e as imagens or

bitais, passarão a ter maior participação em um sistema de múltiplo estágio.

Por outro lado, quando se trabalha com povoamento de unidade de manejo florestal extensivo, ou seja, com florestas que ocupam áreas consideráveis, como é o caso da maioria dos reflorestamentos do Brasil, o conceito de levantamento tende a mudar.

Dessa forma mesmo a nível de empresa, o trabalho de campo tende a ser diminuído face ao tamanho da área e homogeneidade de espécies. Nesse caso até as imagens orbitais em escalas não inferiores a 1:200.000, podem ser usadas para se delimitar os povoamentos todavia, para que o levantamento seja utilizado para fins de manejo, é necessário moderado trabalho de campo.

Para levantamentos municipais e estaduais podem ser usadas aerofotos em escalas variáveis entre 1:50.000 e 1:100.000 associadas ou não com imagens orbitais em um esquema de dois ou três estágios.

Nota-se, pela análise da figura 1, que a maioria das florestas brasileiras se enquadra no segundo caso e, as européias e norte americanas, no primeiro caso.

Como ficou esclarecido, tem-se que conhecer bem o problema para se selecionar a melhor solução.

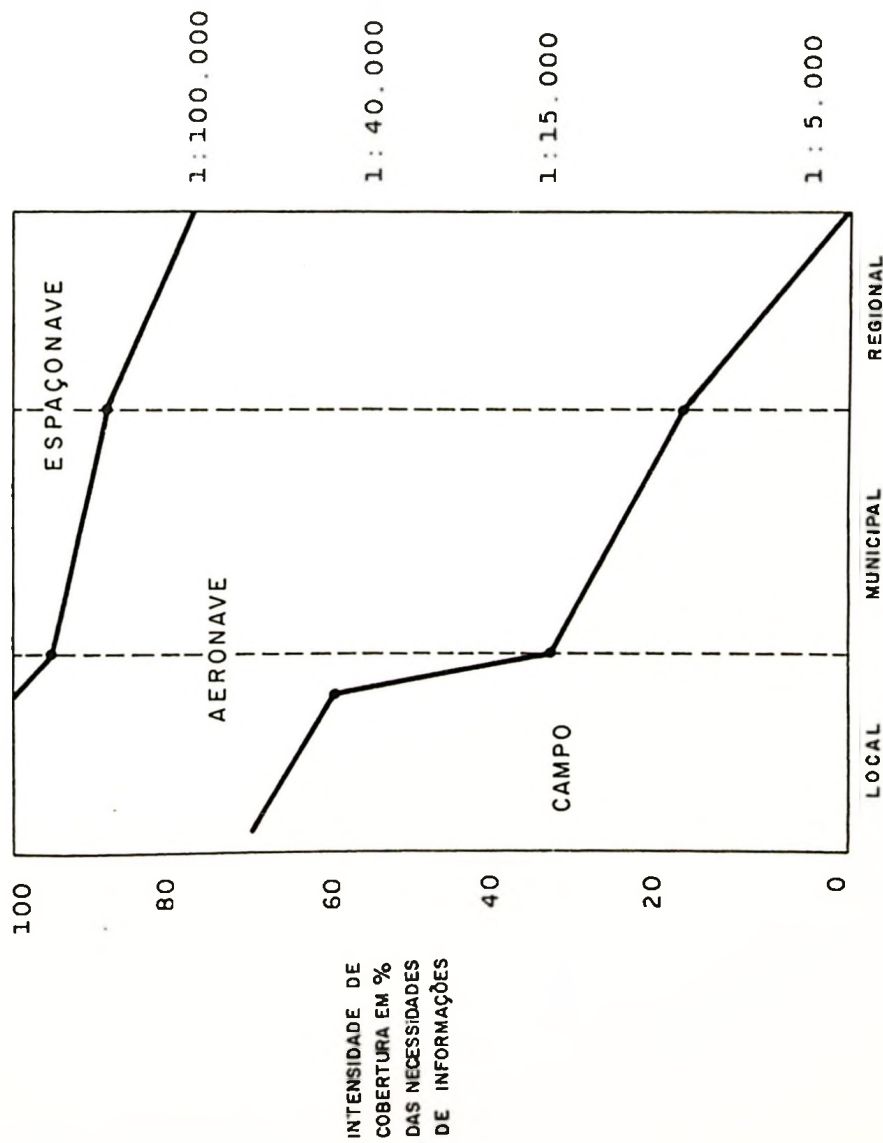
Independente disso, é importante que se acentue que os dados e informações de sensores remotos só serão de interesse para o manejador florestal se obedecerem a certos pré-requisitos:

- Se estiverem dentro de um limite mínimo de precisão;
- Se estiverem disponíveis tão logo sejam levantados;
- Se os custos de levantamento e interpretação forem relativamente baixos;
- Se existirem processos simples de avaliação e interpretação imediata dos dados.

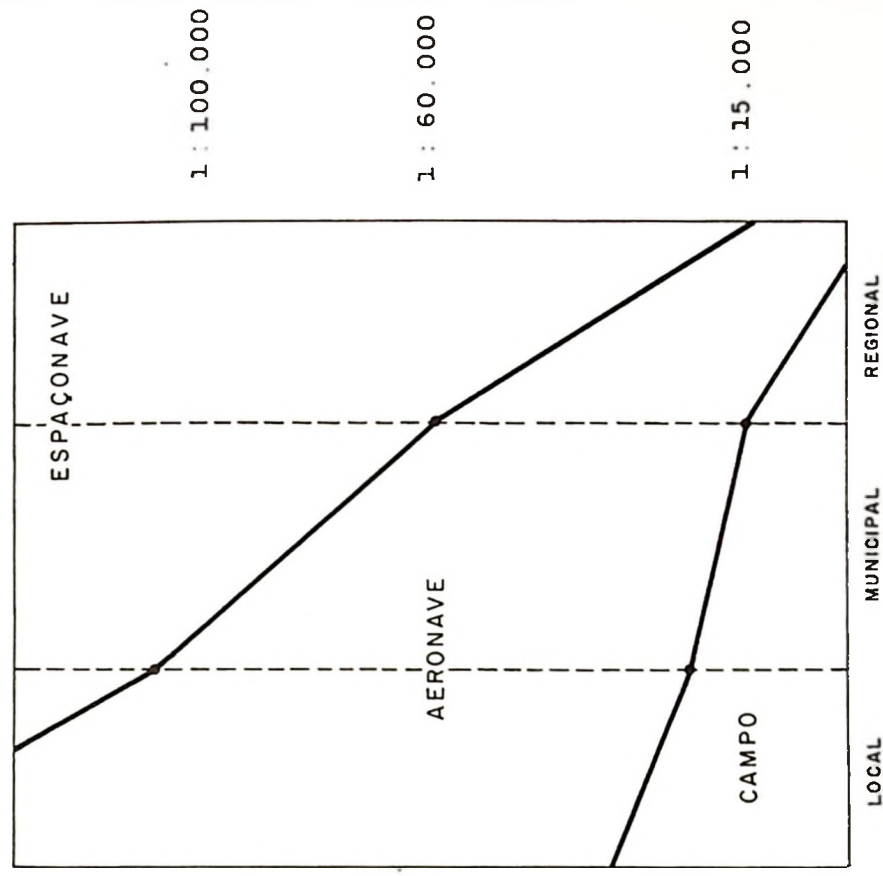
3. APLICAÇÃO NO CAMPO FLORESTAL

Uma síntese das potencialidades de aplicação das técnicas do sensoriamento remoto ao campo florestal é ilustrada na tabela 1. Posteriormente será feita detalhada explanação sobre cada

MANEJO FLORESTAL INTENSIVO
(florestas com pequenas áreas)



MANEJO FLORESTAL EXTENSIVO
(florestas com grandes áreas)



NÍVEL DE LEVANTAMENTO

Figura 1 . COBERTURA DAS NECESSIDADES REAIS DE INFORMAÇÃO DE ACORDO COM O NÍVEL DE INFORMAÇÃO EXIGIDO NO LEVANTAMENTO (Adaptada de HILDEBRANDT, 1978).

item, contudo, para que melhor se compreenda as amplitudes de aplicação de cada sensor, é importante relembrar o papel desempenhado pela escala no levantamento.

Escala pode ser definida como a relação existente entre uma distancia gráfica e a sua correspondente no terreno ou mesmo, como a relação entre a distância focal da camara aerofotogramétrica e a altura média de voo.

A tabela 2 vêm ilustrar de forma simples (embora relativa pois cada situação e necessidade poderão ditar limites diferentes) os vários níveis de levantamento normalmente utilizados em operações florestais.

3.1 Manejo florestal

No manejo florestal tem-se que considerar a área como uma propriedade específica, não significando o manejo em sentido geral mas a organização de uma floresta para a sua utilização múltipla.

No manejo florestal, várias questões são de fundamental importância para o manejador, dentre elas:

- Qual o tamanho real da área ocupada pelas diversas espécies dos povoamentos (e talhões) segundo classes de idade;
- Qual o tipo e grau de acessibilidade dos povoamentos, e possibilidade de exploração mecanizada;
- Qual a condição dos povoamentos quanto a homogeneidade por espécies, idade, grau de cobertura (densidade, aspectos fitossanitários (doenças e pragas), mortalidade, etc;

Tabela 1. Valor relativo para o campo de aplicação florestal dos sensores remotos mais utilizados

	Sensor					
	Aerofotos			MSS		RBV
	Eg	Em	Ep	A	E	E
1. Manejo Florestal						
. Mapas-base	X	X	X	-	-	EER
. Mapas de operações		X	X	-	EER	EER
. Mapas especiais						
. fitogeografia	X	X	X	-	EER	EER
. ecologia	X	X	X	-	EER	EER
. silvicultura	X	X	EER	-	-	-
. estradas e exploração	X	X	EER	-	-	-
2. Proteção Florestal	X	X	-	-	-	-
3. Recreação Florestal	X	X	-	-	EER	EER
4. Manejo de Bacias Hidrográficas	-	X	X	-	X	X
5. Inventário Florestal	X	X	EER	X	EER	EER
6. Monitoramento Florestal	X	X	X	-	X	X

Eg - Escala grande

Em - Escala média

Ep - Escala pequena

A - Plataforma de coleta de dados é o avião

E - Plataforma de coleta de dados é orbital (Espaçonave)

- - Pouco efetivo, isto é, pouco utilizado e/ou estudado

X - Efetivo

EER- Efetivo para estudos regionais.

Tabela 2. Classificação das escalas para fins florestais (Adaptada de ROCHA 1978)

Tipo	Escalas	Usos
Muito Grande	1:300 - 1:3000	Medições e estratificações muito detalhadas (a nível de copa).
Grande	1:3000 a 1:15000	Estratificações baseadas em caracteres quantitativos:
Média	1:15000 a 1:40000	Estratificações baseadas em caracteres qualitativos
Pequena	menores que 1:40.000 até 1:100.000	Estratificações gerais incluindo ou não aspectos qualitativos
Orbital	1:100.000 a 1:1000.00	Estudos regionais gerais e base para inventários de múltiplos estágios.

- Qual a distribuição média das classes de altura e diâmetro (e consequentemente, volume), dos povoamentos e qual o incremento médio anual (produtividade);
- Qual a qualidade do sítio onde crescem os povoamentos (básico para tabelas de produção).

Algumas dessas questões podem ser respondidas diretamente com o uso de fotografias aéreas, ou outro tipo de dado de sensores remotos, ou indiretamente, com a conjugação com trabalho de campo. Contudo é muito importante frisar que a fotografia aérea não substitue o trabalho de campo mas reduz a intensidade desse.

Todos esses meios tem como maior finalidade (direta ou indireta) a produção de mapas florestais.

Na organização de uma propriedade florestal, os mapas ocupam importante posição na execução dos trabalhos e cumprirão melhor suas finalidades se forem revistos periodicamente, a fim de mostrarem as mudanças ocorridas nos povoamentos.

Certos mapas são pré-requisitos para o trabalho, outros, somente serão compilados quando necessários. Basicamente pode-se dividir em dois grupos os mapas de manejo:

- a - Mapas Base
- b - Mapas de Operações

Os mapas base são cartas plani-altimétricas onde são mostradas as sub-divisões permanentes dos povoamentos, aspectos físicos, tipos florestais e classes de idade. É o mapa da empresa. São confeccionados em escalas de 1:5.000 a 1:25.000 dependendo do tamanho da empresa.

Os mapas de operações descrevem o desenvolvimento das operações normais que são conduzidas na floresta.

Tomando como base esses mapas, vários outros de caráter especial podem ser desenvolvidos, como mapa de proteção contra incêndios, mapas de estradas, mapas para uso recreacional, mapa de cortes, mapas de plantações, etc.

No mapa, como já discutido antes, pode-se descrever um povoamento segundo;

- Densidade do povoamento,
- Classes de idade do povoamento,
- Índice de sítio,
- Composição florística do povoamento.

3.2 Proteção Florestal

Sob o título de proteção florestal entende-se toda e qualquer atividade que tenha como finalidade medidas para evitar ou diminuir possíveis desastres nos povoamentos florestais, proteger a fauna e flora, bem como suprimir problemas existentes.

Os problemas florestais podem ter vários agentes causais tais como, insetos, causas patológicas, emissões de poluentes por indústrias, incêndios, inundações, tempestades, etc.

Ultimamente vários sensores tem sido testados nesse campo, especificamente em problemas causados por insetos, fungos e incêndios florestais.

No caso de ataques de insetos e pragas a base de tudo reside no fato de que as folhas sãs, possuem respostas espectrais diferentes daquelas atacadas por qualquer agente, face à modificação morfológica e fisiológica que ocorrem nessas. Isso permite a detecção do problema muito antes que esse possa ser percebido a olho desarmado quando se utiliza sensores que operem em faixas do espectro eletromagnético fora da faixa do visível, especialmente no infravermelho.

As possibilidades de interpretação para esse tipo de estudo são boas. Mortalidade de árvores é facilmente identificável em imagens de escalas médias. Utilizando imagens de escalas pequenas só é possível identificar mortalidade em grupos de árvores. Os diferentes estágios de vitalidade de árvores atacadas também podem ser determinados, especialmente em imagens infravermelhas coloridas. Nesse caso, a época de tomada e a escala das imagens são ~~dois dos~~ dois dos mais importantes fatores.

Com relação ao tipo de material utilizado para determinação e identificação de ataques de insetos e pragas em povoamentos florestais, o mais usado tem sido fotografias infravermelhas colo

ridas com escalas em torno de 1:10.000. Um valor especial tem sido dado ao uso de transparencias positivas desses filmes, que são normalmente analisadas através de interpretação visual sobre mesa da luz. Além disso, esse material tem sido também muito usado para estudo com densitômetros. Existe grande preocupação no sentido de quantificar e semi-automatizar esses processos de interpretação, tentando-se, ao máximo, tirar o caráter de subjetividade que muitas vezes é prejudicial nesse tipo de estudo.

Alguns estudos foram efetuados nos Estados Unidos, tentando inventariar áreas atacadas por insetos através de imagens MSS do satélite Landsat. Os resultados devem ser encarados como experimentais e não foram promissores.

Com relação ao problema de incêndios florestais, o uso de sensores remotos se restringe, ainda, em termos operacionais, a poucos países dentre os quais se destacam os Estados Unidos. O Serviço Florestal desse país há muito utiliza câmaras equipadas com emulsões polaróides para identificação e delimitação de incêndios. Uma limitação desse sistema é a presença muitas vezes de baixa luminosidade e condições atmosféricas adversas. Por essa razão o USFS se empenhou em investigações sobre sistemas que operassem dia e noite e sob condições atmosféricas difíceis (fumaça, fogo, etc). Dessa forma, surgiu um instrumento que opera na faixa do infravermelho térmico, é portátil (pode ser adaptado na asa de uma pequena aeronave) e fornece resultados instantâneos - "fire spotter" -. Esse sistema é instalado em simples aeronaves ou helicópteros que voam a 500 - 600 metros de altura, possuem uma unidade que detecta incêndios e através de uma luz vermelha intermitente avisa ao operador, além de possuir uma unidade que registra perfeitamente o local do incêndio.

Essa unidade é capaz de detectar incêndios de até $0,09\text{m}^2$ em altitudes de até 600 metros sobre o terreno.

Áreas que já foram queimadas podem ser facilmente avaliadas, inclusive em imagens multiespectrais de satélites. (avaliação pós-fogo).

3.3 Recreação Florestal

Existe uma demanda crescente para o desenvolvimento de novas áreas de lazer, assim como o manejo mais intensivo das já existentes. Normalmente a seleção de novas áreas requer a avaliação de vários locais alternativos bem como a procura de outros locais que apresentem potencial para serem adquiridos ou transformados em áreas de lazer.

Nesse caso, as técnicas de sensoriamento remoto (especialmente as aerofotos) podem propiciar um inventário mais rápido, econômico e preciso, além de servirem como documento histórico da área.

Além do mais, problemas como o detecção de caminhos ilegais dentro de grandes áreas, mudanças no uso de terra, compactação do solo em algumas áreas (áreas de "camping" e "pic-nic), inventários de rios e lagos, planejamento de construção de estradas, delimitação de áreas de interesses especiais, inventários de fauna, bem como outros similares, podem se beneficiar do uso de técnicas de sensoriamento remoto para suas soluções, tanto a nível local quanto regional.

3.4 Manejo de bacias hidrográficas

As florestas exercem grande e positivo efeito sobre o regime hídrico de uma bacia hidrográfica.

Quando do processo da chuva, por exemplo, certa quantidade da água precipitada é evaporada pelas copas das árvores. A parte que chega ao solo, infiltra-se ou escoar. A parte infiltrada é retida, evaporada ou transpirada e, certa percentagem, escoar para os rios sob a forma de escoamento subterrâneo e sub-superficial.

Dessa forma, as florestas evitam inundações pela quantidade e sequência do rendimento de água, pelas perdas de interceptação, pelo aumento da porosidade dos solos, pelas perdas por transpiração e pelo controle exercido sobre os escoamentos superficiais e subterrâneos. Por isso devem ser efetuados estudos nas bacias hidrográficas para indicar as áreas destinadas às florestas, que poderão variar com as condições hidrológicas, topogrâfi

cas, grau de erosão e usos alternativos; enfim, determinar o cor
reto uso da terra.

Qualquer estudo sobre manejo de bacias hidrográficas segun
do da SILVA e CARNEIRO, 1976, deve levar em consideração a rela
ção existente no trinomio solo-água-planta, pois seu bom conheci
mento leva ao principal objetivo do manejo de uma bacia hidro
gráfica que é aumentar o escoamento subterrâneo e diminuir, ao
máximo, o escoamento superficial.

Para análise de bacias hidrográficas, são necessários gran
des números de dados, obtidos no decorrer de longo período de
tempo; Todavia, existe a possibilidade de aquisição de alguns da
dos, de forma rápida e precisa, através de técnicas de sensoria
mento remoto, e que podem contribuir para o planejamento dessas
bacias.

Tais dados relacionam-se à rede de drenagem, a morfologia e
a vegetação que, uma vez analisados em conjunto, possibilitam a
aquisição de informações úteis ao manejador.

Com relação à rede hidrográfica pode-se destacar a hierar
quia fluvial (classificação dos cursos de água), a análise li
mear, que pode ser feita por vários parâmetros como o comprimen
to médio dos canais e a extensão do percurso superficial. Pode -
se ainda destacar a análise areal das bacias hidrográficas, que
engloba vários índices como a forma da bacia, densidade hidrográ
fica, densidade de drenagem e o coeficiente de manutenção. To
dos esses parâmetros guardam estreita relação com o material de
formação do solo, com o grau de proteção das encostas e outros
fatores.

Com relação à morfologia, é muito importante a confecção
de um mapa de declives que será fundamental para o planejamento
de técnicas conservacionistas. Além disso, o grau de entalhamen
to e dissecção da superfície de escoamento é outro parâmetro mui
to importante. Esse pode ser representado pela textura de topo
grafia que é calculada pela fórmula $\text{Log } T_t = 0,219649 + \log D_d$,
onde T_t é a textura de topografia e, D_d é a densidade de drena
gem (relação entre o número de cursos de água e a área da bacia
hidrográfica). O parâmetro textura de topografia fornece informa
ções sobre o grau de erosão da bacia.

Todos esses parametros, que devem ser analisados de forma integrada, são facilmente obtidos de aerofotos verticais ou mesmo quando o estudo é regional, de imagens multiespectrais e multitemporais de satélites.

3.5 Inventário Florestal

O inventário florestal é, provavelmente, um dos campos onde as técnicas do sensoriamento remoto podem encontrar maior aplicação no setor florestal. Seja para fins de produção de mapas dos povoamentos, estratificando-os por classe de idade ou densidade, para lançamento de amostras a serem levantadas no campo, ou mesmo para fins de confecção de tabelas aéreas de volume.

A experiência já comprovou que a combinação "trabalho de campo/fotografia aérea", especialmente em trabalhos a nível regional, é mais precisa e economica que a utilização única do trabalho de campo. A tabela 3 mostra de forma clara o mencionado.

Tabela 3 - Comparação entre diferentes métodos de levantamento em inventário florestal considerando populações estratificadas (CARNEIRO, 1980)

Precisão da estimativa			
	Unidade de área	área total do estrato	área do povoamento
1. Só trabalho de campo	alta	média	baixa
2. Só fotografias aéreas	baixa	média	alta
3. Aerofotos e campo (1º ano)	alta	alta	alta
4. Aerofotos e campo (10º ano)	muito alta	muito alta	muito alta

Analizando essa tabela, verifica-se que o trabalho de campo é a base do levantamento feito a nível de parcela amostral. Aí a precisão é alta. Contudo, quando se extrapola os resultados para o estrato ou povoamento, os erros começam a ser maiores.

O inverso ocorre quando sô se usa fotografias aéreas. A combinaçã dos dois mostra a maior precisão alcançada, que se torna maior à medida que as experiências acumulam-se para a área, reduzindo de forma considerável o "custo real" do levantamento.

Para a produção de mapas dos povoamentos, diferentes métodos e sensores podem ser usados, dependendo do nível de precisão do mapa a ser compilado. Para níveis regionais, pode-se utilizar imagens de radar, imagens de satélites e fotografias aéreas de pequena escala (1:80.000 a 1:130.000). Sempre, naturalmente, com auxílio de trabalho de campo.

Um processo que tem se mostrado útil para esse tipo de mapa, é a utilização de imagens multiespectrais e multitemporais MSS e RBV dos satélites da série Landsat, em escalas variáveis de 1:100.000 a 1:250.000. Essas imagens são utilizadas para a interpretação básica. Posteriormente, com auxílio de pequenas aeronaves, podem ser feitos sobrevoos a baixa velocidade e altitude para melhorar a interpretação e, finalmente, é feito trabalho de campo em locais pré-determinados. Esses tipo de metodologia provou ser útil, precisa, economica e produz bons mapas regionais e a nível de empresa.

Quando se deseja mapas mais detalhados da empresa, mostrando talhões, sub-talhões, espécies, idade, densidade de cada talhão, rede de estrada, caminhos e outras informações, recomenda-se a utilização de aerofotos em escalas grandes e médias, dependendo do tamanho da área dos povoamentos.

As fotografias mais usadas e baratas são as pancromáticas, em escalas que variam de 1:25.000 a 1:60.000. Contudo, as que melhores informações fornecem para o inventário florestal são as infravermelhas coloridas, de preferencia sob a forma de transparencias positivas para serem trabalhadas, estereoscopicamente, sobre mesa de luz, em escalas variáveis entre 1:10.000 e 1:15.000.

3.5.1 Confeção de tabelas aéreas de volume

Existem, basicamente, três métodos para estimativa de volume diretamente de fotografias aéreas; estimativa do volume de árvores individuais, estimativa de volume do povoamento, estimati

va ocular através de comparação com fotografias de povoamentos cujos volumes são conhecidos.

Através desses métodos, as parcelas (amostras) são inicialmente locadas nas fotografias aéreas.

No primeiro método, mede-se estereoscopicamente na fotografia, através de barra ou cunha de paralaxe, a altura média da árvore e, depois, com uso de um padrão, o diametro médio da copa. Posteriormente, com os dois valores medidos, estima-se os volumes entrando-se em uma tabela de volume já pré - estabelecida.

A determinação de volume em amostras é idêntica aos métodos de inventário de campo. Nesse caso determina-se a altura média, o diametro médio das copas e a densidade de cobertura das copas nas parcelas amostrais, entra-se nas tabelas padrões e se determina os volumes brutos.

Finalmente, a aparência fotográfica de um povoamento pode servir para estimativa do seu volume desde que se compare amostras (estereogramas) com outras idênticas de volume conhecido. Nesse caso, o estudo é feito estereoscopicamente e as amostras que servirão como padrão, terão que ser medidas no campo.

Naturalmente cada método tem suas vantagens e desvantagens.

As tabelas aéreas de volume para árvores individuais são normalmente confeccionadas de equações de previsão de volumes, as quais se baseiam em medições de altura média total e diametro da copa. Por exemplo, $\hat{Y} = a + b (cd^2 h)$ ou $\hat{Y} = a + b (cah)$ (AVERY, 1977), onde $\hat{Y}$ é o volume estimado para as árvores, cd é o diametro da copa das árvores, ca é a área da copa das árvores e, h é a altura total da árvore. Entretanto, tendo em vista que se necessita de mais tempo para se determinar altura do que copas, hoje em dia algumas tabelas de simples entrada já são confeccionadas com base em diametro da copa e área da copa.

No caso das tabelas de povoamentos, essas são originadas através da análise de regressão múltipla. Nesse caso são efetuadas medições nas fotografias das variáveis independentes mencionadas anteriormente, e daí, pode-se construir uma tabela de previsão de volume.

3.5.2 Inventário em múltiplos estágios

Atualmente com a grande diversidade de sistemas sensores, especialmente com a utilização de imagens de satélite em levantamentos dos recursos naturais, e também com o uso cada vez acentuado de aerofotos em escalas muito pequenas, tem-se dado muita ênfase ao desenvolvimento de modelos que, de forma econômica e precisa, possam aproveitar o potencial máximo de cada nível de coleta de dados, sendo capaz de levantar extensas áreas. Dessa forma, surgiram os sistemas de levantamentos em múltiplos estágios, cada estágio representando um nível de coleta de dados.

Na realidade, esse método é uma generalização do tradicional método de amostragem com reposição de igual probabilidade de seleção, o que possibilita, em qualquer estágio, dependendo das características da população a ser amostrada, probabilidades constantes ou variáveis de seleção de qualquer amostra (LANGLEY, 1971).

Considerando-se apenas um estágio do levantamento, a amostragem cai no já conhecido processo de amostragem proporcional à área (p.p.s).

Na prática, utiliza-se, por exemplo, uma imagem de satélite da área a ser trabalhada; interpreta-se a imagem e sobre ela delinea-se uma rede de quadrículas cada uma representando uma amostra. Posteriormente, determina-se por um processo de amostragem (pode ser o pps) um número determinado de amostras que será refotografado (pode-se utilizar um sistema simples, usando câmaras Hasselblad ou Polaróides) em escala maior. Sobre essas fotografias é feita nova interpretação e estabelecido um esquema para amostragem de campo; para isso pode-se estabelecer nova rede de quadrículas sobre as fotografias anteriores que serão parcelas de campo ou mesmo, utilizar outro esquema baseado na interpretação dessas fotografias com base na estratificação já feita. Depois de se medir o volume no campo, extrapola-se, por processo estatístico que não será descrito aqui, para a área da amostra maior ou estrato, e assim sucessivamente para todas as amostras, de forma a se obter volume e outras estatísticas para toda a área.

3.6 Monitoramento florestal

Pode-se definir monitoramento como o mapeamento e avaliação periódica de uma mesma área, em intervalos de tempo regulares, com a finalidade de se estudar e controlar a dinâmica das mudanças.

As operações de monitoramento são hoje muito importantes como fonte de dados para atualização de medidas políticas e técnicas sobre a utilização dos recursos naturais de cada nação.

Basicamente o processo de monitoramento pode ser dividido em três fases:

O presente, que é o período atual e que representa a realidade da área. Esse período pode variar em média de 1 a 3 anos e é o mais importante pois, para ser analisado, exige informações de outro período passado, que não tem limites de tempo, para que se possa analisar a razão histórica das modificações presentes.

Uma vez mapeadas as modificações presentes e obtidas as informações passadas sobre as causas que promoveram essas modificações, pode-se estabelecer um esquema futuro para avaliação, controle e fiscalização das mudanças.

Todo o processo é sinteticamente ilustrado na figura 2. Analizando-a, verifica-se que o método tem como finalidade básica a produção de mapas florestais, detalhados ou não, para avaliação de mudanças. Esses mapas podem também se constituir em base para uma série de outras operações, como lançamento de amostras permanentes e/ou rotativas para um inventário florestal contínuo, análise de problemas fundiários, fiscalização de aplicação de recursos destinados a projetos de reflorestamentos, fiscalização de desmates etc.

O maior exemplo de operação de monitoramento florestal que se conhece é o Programa de Monitoramento da Cobertura Florestal do Brasil do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal-IBDF que mapeia anualmente todos os desmatamentos, reflorestamentos e Parques Nacionais do Brasil, usando como base de interpretação imagens MSS e RBV dos satélites Landsat, juntamente com sobrevoados a baixa altitude e trabalho de campo (CARNEIRO, 1980a, 1980b).

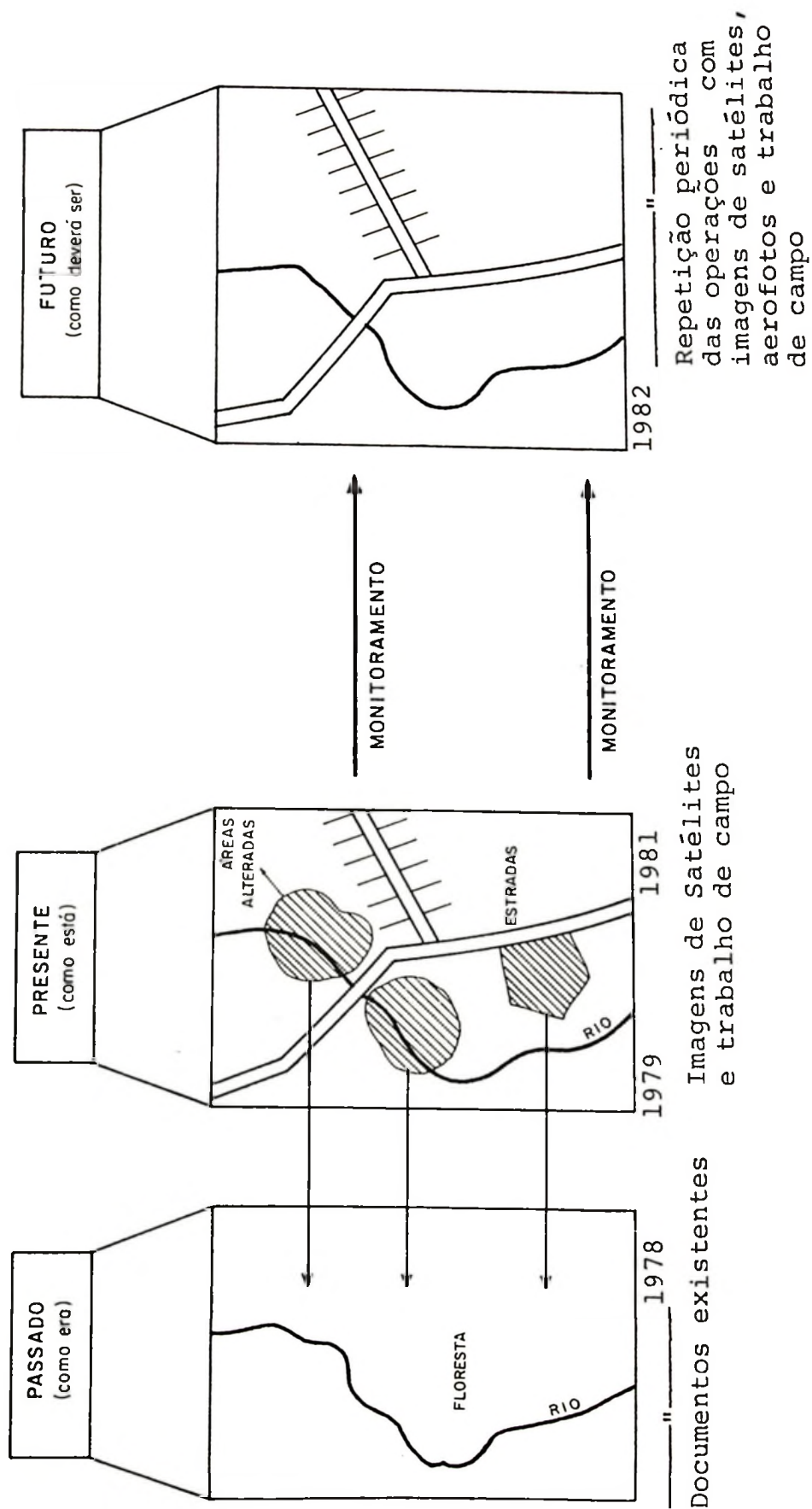


Figura 2. Esquema de monitoramento e avaliação dos recursos florestais

4. CONCLUSÕES

As técnicas de sensoriamento remoto apresentam grande aplicabilidade e importância para o setor florestal, contudo, só recentemente é que técnicos florestais começaram a utilizá-las operacionalmente.

Face ao background técnico altamente indispensável a todos aqueles que desejam utilizar as técnicas do sensoriamento remoto de forma científica e prática, se torna indispensável maior frequência de técnicos florestais a cursos rápidos de aperfeiçoamento e especialização.

O potencial de aplicação é muito grande e os métodos, muitas vezes, são de baixo custo, alta precisão e operacionalidade. É necessário, unicamente, experiência técnica na área da especialização principal e conhecimento básico das técnicas de sensoriamento remoto para que seja estabelecida uma ponte de utilização.

O Brasil é dos países onde o sensoriamento remoto encontra maior aplicação face as suas dimensões continentais e baixo custo por área mapeada apresentado pela maioria dos sensores remotos.

O Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF, conciente das aplicabilidades do sensoriamento remoto para solução de problemas florestais como desmatamento, reflorestamento e uso atual da terra nos parques nacionais, já iniciou a cerca de dois anos, em cooperação com o Instituto de Pesquisas Espaciais, a formação de especialistas nessas áreas, que trabalham no seu Programa de Monitoramento da Cobertura Florestal do Brasil, hoje um exemplo técnico e operacional de aplicação das modernas técnicas do sensoriamento remoto para a ciência Florestal.

5. ABSTRACT

This paper summarizes the applications of remote sensing techniques to forestry with emphasis on Brazil

The concepts of multistage forest inventory and analysis of multispectral and multitemporal data are revised.

The importance of maps to forestry operations is also discussed.

6. LITERATURA CITADA

- AVERY, T.E. Interpretation of Aerial Photographs. 3.^a Edição, Burgess Publishing Co., Minneapolis, 1977, 392p.
- CARNEIRO, C.M.R; REIS M.S. e NETTO, E.M. O Programa de Monitoramento da Cobertura Florestal do Brasil. Departamento Pesquisa, 1980a, 31p. (Série Técnica Nº 4)
- CARNEIRO, C.M.R. The Brazilian Forest Cover Monitoring Programme. In. International Archives of Photogrammetry-Hamburg, XXIII, Part B 7, pp. 132-141. 1980b.
- CARNEIRO, C.M.R. Curso Básico de Sensoriamento Remoto, Brasília-DF, 1980c, 198p. (PNUD/FAO/BRA/78 - Série Técnica nº 6).
- HILDEBRANDT, G. Die Bedeutung der Fernerkundung für die Forstwirtschaft. Apresentado na 35.^a Semana Fotogramétrica de Stuttgart em Setembro de 1978, 21p.
- LANGLEY, P.G. The Benefits of Multi-Stage Variable Probability Sampling Using Space and aircraft Imagery. In Application of Remote Sensors in Forestry. Freiburg. p 119-126-1971.
- ROCHA, J.S.M. Uso das Fotografias Aéreas nos Inventários Florestais In. SILVA, J.A. Inventário Florestal - Teoria e técnicas de Amostragem. pp. 148-153, UFSM, 1978.
- SILVA, A.B. e CARNEIRO, C.M.R. Determinação de Parâmetros através de Aerofotos Verticais para Estudo de Bacias Hidrográficas. III Congresso Florestal Estadual Nova Prata - RS 18-23 de Setembro de 1976, pp. 146-151.