

General Disclaimer

One or more of the Following Statements may affect this Document

- This document has been reproduced from the best copy furnished by the organizational source. It is being released in the interest of making available as much information as possible.
- This document may contain data, which exceeds the sheet parameters. It was furnished in this condition by the organizational source and is the best copy available.
- This document may contain tone-on-tone or color graphs, charts and/or pictures, which have been reproduced in black and white.
- This document is paginated as submitted by the original source.
- Portions of this document are not fully legible due to the historical nature of some of the material. However, it is the best reproduction available from the original submission.

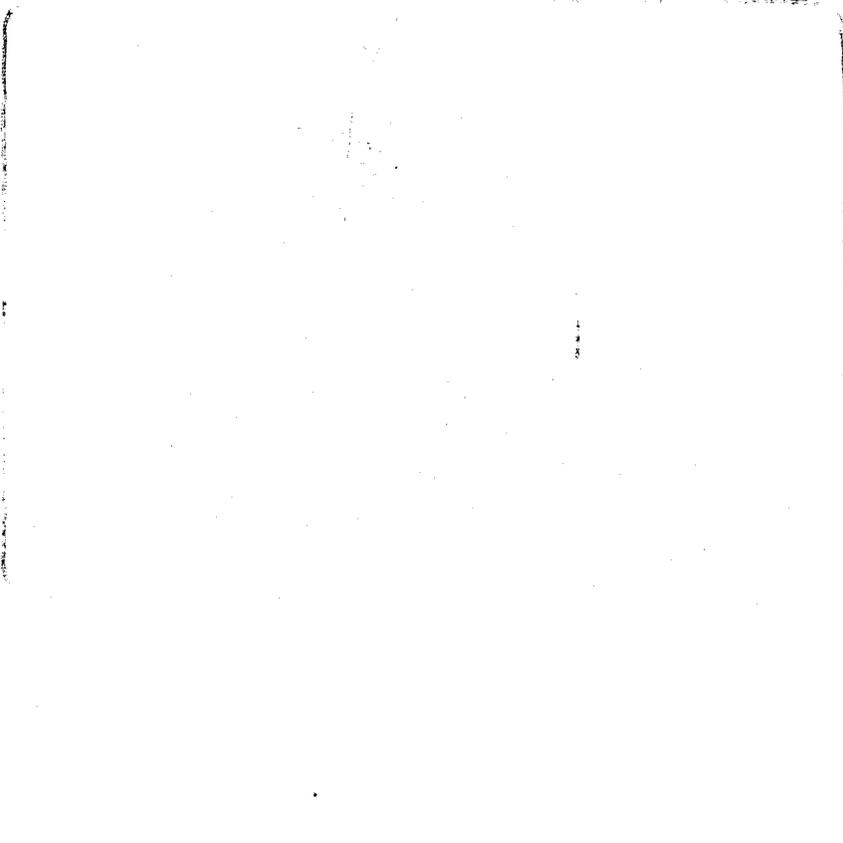
E83-10072

CR-169583



SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

"Made available under NASA sponsorship
in the interest of early and wide dis-
semination of Earth Resources Survey
Program information and without charge
for any use made thereof."



RECEIVED BY
NASA STI FACILITY
DATE: 9/21/82
DCAF NO. 002949

PROCESSED BY
 NASA STI FACILITY
 ESA - SDS AIAA

(E83-10072) METHOD OF INTERPRETATION OF
REMOTELY SENSED DATA AND APPLICATIONS TO
LAND USE (Instituto de Pesquisas Espaciais,
Sao Jose) 65 p HC A04/MF A01 CSCI 08B

N83-14581

Unclas
G3/43 00072



INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

1. Publicação nº <i>INPE-2261-MD/016</i>	2. Versão	3. Data <i>Nov., 1981</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSR</i>	Programa <i>ANAMB</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS SENSORIAMENTO REMOTO USO DA TERRA</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:631.47</i>			
8. Título <i>INPE-2261-MD/016</i> <i>METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E APLICAÇÕES NO USO DA TERRA</i>		10. Páginas: <i>66</i>	
		11. Última página: <i>61</i>	
		12. Revisada por <i>Hermann Kux</i> <i>Hermann Kux</i>	
9. Autoria <i>Armando Pacheco dos Santos Celina Foresti Evelyn Marcia Leão de Moraes Novo Madalena Niero Magda Adelaide Lombardo</i>		13. Autorizada por <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>	
Assinatura responsável <i>Magda Adelaide Lombardo</i>			
14. Resumo/Notas <i>Este trabalho, desenvolvido com objetivos didáticos, apresenta a metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações no levantamento do uso da terra. São discutidos os elementos de interpretação de imagem para os diferentes tipos de sensores: fotografias aéreas, imagens de radar e dados MSS/LANDSAT. Ênfase é dada à metodologia de interpretação visual e automática de dados MSS/LANDSAT no uso da terra.</i> ORIGINAL PAGE IS OF POOR QUALITY			
15. Observações			

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

ABSTRACT

This paper presents a methodology of remote sensing data interpretation as well as a meaningful examples of applications to land use survey, in a didactic way. The image interpretation elements are discussed for different types of sensor systems: aerial photographs, radar and MSS/LANDSAT. Visual and automatic LANDSAT image interpretation is emphasized.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Níveis de classificação	2
1.2 - Escolha de legenda para o levantamento do uso da terra ...	4
<u>CAPÍTULO 2 - ELEMENTOS DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS NO USO DA TERRA</u>	7
2.1 - Fotografias aéreas	7
2.1.1 - Exemplos de chave de interpretação de classes de uso da terra e padrões de identificação em fotografias aéreas..	15
2.2 - Radar	23
2.3 - Imagens orbitais (LANDSAT)	26
<u>CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS ORBITAIS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE CLASSES DE USO DA TERRA</u>	33
3.1 - Interpretação visual de imagens	33
3.2 - Interpretação automática dos dados	39
3.3 - Exemplos de aplicação de dados do LANDSAT no levantamento do uso da terra	41
<u>CAPÍTULO 4 - INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM ÁREAS URBANAS</u>	45
4.1 - Fotografias aéreas	45
4.2 - Imagens orbitais (LANDSAT)	47
4.3 - Exemplos de aplicação de fotografias aéreas em estudos urbanos	49
4.3.1 - Mapeamento do Uso do Solo Urbano	49
4.3.2 - Estimativa de população	50
4.4 - Exemplos de aplicação de imagens LANDSAT em estudos urbanos	52

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A expressão "uso da terra" pode ser compreendida como a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem. O levantamento do uso da terra é de grande importância, na medida em que os efeitos do uso desordenado causam deterioração no ambiente. Os processos de erosão intensos, as inundações, os assoreamentos desenfreados de reservatórios e cursos d'água são consequências do mau uso da terra.

Com o aperfeiçoamento de câmaras fotográficas aerotransportadas houve grande desenvolvimento da fotointerpretação no uso da terra. O levantamento detalhado da Grã-Bretanha, por exemplo, realizado entre as duas grandes guerras, indicou áreas cultivadas e áreas agrícolas submarginais. Outros estudos foram realizados para indicar áreas que podiam ser aproveitadas na expansão das indústrias, na instalação de residências e no planejamento rural e urbano, utilizando-se fotografias aéreas convencionais.

Em 1949, foi criada no Congresso de Lisboa, a Comissão de Levantamento do Uso da Terra no mundo, tendo como primeiro presidente o Prof. Samuel Van Valkenburg. De 1949 a 1952, estabeleceu-se a classificação para uso mundial e muitos estudos foram realizados, baseando-se em dados de sensoriamento remoto.

Em 1972, a "Conferência sobre o meio ambiente humano", realizada em Estocolmo sob o patrocínio da ONU, enfatizou a urgência de medidas de proteção ao meio ambiente, através da orientação do uso da terra. Informações atualizadas sobre o uso da terra e sua distribuição são essenciais para o manejo eficiente dos recursos agrícolas e florestais.

Entretanto, as medidas para o planejamento de uso da terra têm sido, até recentemente, baseadas em informações fragmentadas sobre os efeitos do uso da terra no ambiente. Isto ocorre porque não existem registros seguros sobre as condições de uso da terra, não se podendo avaliar, portanto, as alterações que são provocadas pela ação do homem.

O levantamento do uso da terra numa dada região tornou-se um aspecto de interesse fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço. Deste modo, há necessidade de atualização constante dos registros de uso da terra, para que suas tendências possam ser analisadas. Neste contexto, o Sensoriamento Remoto se constitui numa técnica de grande utilidade, pois permite, em curto espaço de tempo, a obtenção de grande quantidade de informações a respeito de registros de uso da terra.

1.1 - NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO

É de grande importância definir com precisão as classes de uso da terra, levantadas num dado mapeamento. Anderson et alii (1976) salientam que entre os maiores problemas de aplicação e interpretação dos dados de uso da terra está a falta de consistência nas definições das categorias mapeadas.

A altitude e a resolução do sistema sensor determinam o nível de informações sobre o uso da terra.

Anderson et alii (1976) propõem vários níveis de abordagem de uso da terra, de acordo com a altitude, e a escala. De modo geral, ocorrem as seguintes relações:

Níveis de classificação	Características típicas dos dados
I	Tipos de dados LANDSAT.
II	Dados de grande altura, a 12.400 m ou mais (escala menor que 1:80.000).
III	Dados de altitude média, tomados entre 3.100 m a 12.400 m (escala de 1:20.000 a 1:80.000).
IV	Dados de baixa altitude, tomados a menos de 3.100 m (escala maior que 1:20.000).

As informações dos níveis I e II são de interesse para o levantamento de uso da terra em âmbito nacional e estadual. Os dados obtidos através dos níveis III e IV são mais detalhados, abrangendo in formações em nível intra-estadual, regional, municipal ou distrital.

A combinação dos níveis de abordagem pode ser convenien te em alguns estudos. A informação do nível I, obtida através de ima gem de satélite do tipo LANDSAT, abrange grandes áreas e tem como base de interpretação as fotografias aéreas convencionais, de grande esca la, associadas ao trabalho de campo.

As categorias propostas para o nível II não podem ser in terpretadas com igual confiabilidade. A interpretação de áreas extrema mente complexas, com relevo acidentado, exige outras fontes de informa ção, como a fotografia aérea convencional.

No nível III, podem-se usar quantidades apreciáveis de informações suplementares. Deste modo, inventários detalhados de uso da terra podem ser confeccionados, com inclusão de medidas e localiza ção adequada dos tipos de uso da terra, com exceção de áreas urbanas muito complexas ou de misturas de tipos de uso extremamente heterogê neos em áreas não-uniformes.

1.2 - ESCOLHA DE LEGENDA PARA O LEVANTAMENTO DO USO DA TERRA

O sistema de classificação do uso da terra, apresentado por Anderson et alii (1976), inclui apenas os níveis I e II, que são mais generalizados:

NÍVEL I

1 - Área urbana construída

2 - Área agrícola

3 - Pastagem

4 - Área florestal

5 - Água

NÍVEL II

11 - Residencial.

12 - Comercial e serviços.

13 - Industrial.

14 - Transportes, comunicações, utilidades.

15 - Complexos industriais e comerciais.

16 - Área urbana ou construída.

17 - Área urbana diversa ou construída.

21 - Área de cultura e pastagem.

22 - Pomares, bosques, vinhedos, viveiros e áreas de horticultura ornamental.

23 - Atividades de criação confinada.

24 - Outros tipos de terra agrícola.

31 - Pastagem herbácea.

32 - Pastagem com arbusto e carrasco.

33 - Pastagem mista.

41 - Área de floresta decídua.

42 - Área de floresta sempre verde.

43 - Área de floresta mista.

51 - Cursos d'água e canais.

52 - Lagos.

53 - Reservatórios.

54 - Baías e estuários.

NÍVEL I

6 - Área úmida

7 - Área árida

8 - Tundra

9 - Neve ou gelo perene

NÍVEL II

61 - Área úmida florestada.

62 - Área úmida não-florestada.

71 - Planícies salgadas secas.

72 - Praias.

73 - Outras áreas de areia que não sejam praias.

74 - Rocha nua exposta.

75 - Minas a céu aberto, pedreiras e minas de cascalho.

76 - Áreas de transição.

77 - Área árida mista.

81 - Tundra de arbustos e macega.

82 - Tundra herbácea.

83 - Tundra de solo nu.

84 - Tundra úmida.

85 - Tundra mista.

91 - Campos de neve perene.

92 - Geleiras.

Os níveis mais generalizados têm como objetivo principal fornecer um sistema de classificação de uso da terra, para ser usado em planejamento e administração.

Muitos tipos de uso da terra, estabelecidos na legenda acima (ex. tundra, neve, etc.), só podem ser utilizados nos EUA ou em regiões com similaridade de tipos de uso da terra.

O sistema de classificação apresentado por Anderson et alii (1976) atende aos três principais objetivos do processo de classificação proposto por Grigg (Anderson et alii, 1976): 1) identifica as categorias simplesmente, utilizando-se a terminologia já aceita; 2) per

mite que a informação seja transmitida; e 3) permite que se façam generalizações indutivas. À medida em que são feitos novos progressos na tecnologia, torna-se necessário modificar o sistema de classificação, para utilização na análise automática de dados.

O sistema de classificação de Anderson et alii (1976) permite flexibilidade no desenvolvimento da categorização nos níveis de menor detalhe. É conveniente ilustrar as propriedades aditivas do sistema, fornecendo-se um exemplo do desenvolvimento de uma categorização mais detalhada. A categoria de nível II, "Área de cultura e pastagem", pode ser subdividida no nível III:

NÍVEL II

21 - Área de cultura e pastagem

NÍVEL III

211 - Área de cultura.

212 - Pastagem.

CAPÍTULO 2

ELEMENTOS DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS NO USO DA TERRA

2.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS

Para o fotointérprete, as características mais importantes na interpretação de uso da terra, através de imagens fotográficas são: tonalidade, textura, padrão, forma, dimensão, sombra, cor, sítio topográfico e relações de aspecto.

1) Tonalidade/Cor

Em áreas tropicais, o emprego do tom fotográfico na fotointerpretação deve ser visto com restrições, especialmente em se tratando de vegetação natural ou cultivada. Neste caso, devem ser levadas em consideração as condições climáticas tropicais e os sistemas agrícolas, que se caracterizam pelos aspectos de grande interferência no tom fotográfico.

O aspecto da cobertura vegetal varia bastante de acordo com a época do ano, e o padrão térmico-pluvial é bastante oscilante em certas áreas tropicais. Os sistemas de cultivo resultam em configurações mal definidas para os terrenos cultivados, e o aspecto das culturas causa grandes modificações no tom fotográfico. Assim, um mesmo tipo de cultura pode aparecer nas fotografias aéreas, em diferentes tonalidades.

A tonalidade e a cor são indicadores úteis para a composição das espécies vegetais da estrutura do "stand" e das condições do solo, em fotografias de grande escala. Desde que a tonalidade e a cor variam com a hora do dia, a estação do ano e as condições atmosféricas, elas não podem ser usadas como indicadores de espécies dignas de confiança, a menos que o fotointérprete tenha feito correlações solo/fotografia.

A tonalidade, em fotografias em branco e preto, e a cor, em fotografias coloridas, indicam as condições do solo, o tipo de cultura, o estágio de crescimento e o vigor de culturas. Tonalidades e cores variam de acordo com as condições da fotografia, e não podem ser usadas como meios absolutos de identificação da imagem, a menos que as fotografias tenham sido correlacionadas no campo com as culturas, os solos ou outras características agrícolas. Quando são feitas correlações adequadas, os contrastes de tonalidade e cor podem capacitar o intérprete a distinguir os diferentes tipos de culturas ou culturas individuais.

Toda a vegetação de porte baixo como pastagens, campos e áreas gramadas, e culturas como o milho no início de seu desenvolvimento, aparecem com tonalidade clara, quando não se encontram em áreas extremamente úmidas (por exemplo, campos alagados). O milho, quando totalmente desenvolvido, aparece nas fotografias aéreas com tonalidade escura. Cobertura vegetal densa com áreas reflorestadas formadas e floresta natural (mata de galeria), aparecem com tonalidade escura, enquanto áreas recém-reflorestadas e áreas com vegetação natural em início de regeneração aparecem com tonalidade clara. O aparecimento de diversos tons de cinza, em áreas de floresta natural, indica tratar-se de uma floresta mista. No caso de áreas reflorestadas, pode indicar a presença de espécies diferentes dentro do mesmo gênero (por exemplo, Pinus).

Utilizando-se a tonalidade da vegetação como característica diagnóstica, vários estudos comprovaram que as informações são mais significativas para fotografias em pequena escala, quando se considera a tonalidade da vegetação como um todo, e não árvores individuais.

O uso de filmes no infravermelho é de grande utilidade na caracterização de espécies, na variedade entre espécies, nas condições de umidade do solo, no tipo de solo, nas condições de fitossanidade de culturas, etc.

A folhagem registra-se em tons claros no filme infravermelho em preto e branco, porque a radiação no infravermelho reflete-se através da parede celular das folhas e não através da clorofila, como no caso da luz visível (luz verde).

Muitas variações tonais podem ser detectadas (entre árvores e tipos de vegetação) com filme infravermelho. Por via de regra, coníferas e folhosas de madeira mole são registradas em tons escuros e os outros tipos de folhosas em tons claros. As sombras registram-se em preto verdadeiro, por isso variações no padrão de sombra entre espécies e tipos de florestas são enfatizados, simplificando o problema de identificação da árvore. A desvantagem é que todos os detalhes nas sombras se perdem.

O uso de filme infravermelho colorido mostra-se melhor na identificação de tipos e tamanhos de vegetação, sendo ainda os melhores na identificação de espécie em povoamentos heterogêneos.

Na agricultura, amplos estudos têm sido realizados com o uso de filme infravermelho colorido. Vasconcelos et alii (1976) detectaram a doença "fumagina" em culturas de citrus. Plantas afetadas pela fumagina apresentavam-se, nas fotos, com uma coloração "café-castanho", em contraste com as sadias, de tonalidade vermelha.

2) Textura

As formações vegetais e os cultivos têm, na textura, um importante fator para a sua interpretação em fotografias aéreas.

Tratando-se de uma área coberta de árvores, em fotografias de grande escala, as folhas das árvores contribuem para a textura dos ramos que são individualmente perceptíveis; em fotografias de escala intermediária, os ramos contribuem para a textura da árvore; e em fotografias de pequena escala, as árvores contribuem para a textura da floresta.

A textura é um importante indicador da composição da floresta em fotografias de pequena escala, e das características de árvores individuais em fotografias de grande escala. Em fotografias de escala intermediária, a combinação da textura e padrão (arranjo espacial de objetos discretos) pode ajudar o fotointérprete a determinar a composição das espécies, bem como a estrutura do "stand". Um "stand" de 2 anos de crescimento poderá ter textura fina, se possuir um plantio fechado; e textura grosseira, se existir plantio aberto.

As formas características das copas das espécies contribuem para a textura do "stand" e são úteis na identificação de espécies e classificação do "stand".

A textura das culturas varia de fina a mosqueada/grosseira, de acordo com as características de crescimento, com as práticas de plantio, e com a escala da fotografia. Culturas de pequenos grãos, de feno, e outras culturas de plantio mecanizado têm textura fina a média em todos os estágios de crescimento. Durante os estágios iniciais das culturas em linha, o padrão de plantio geralmente obscurece os efeitos da textura; quando o crescimento avança, o padrão em linha dá textura média ou grosseira.

Os campos agrícolas têm textura *linear* ("lined") se a aração e o plantio são feitos em fileiras paralelas; textura *quadrícula* ("plaid") se as fileiras são plantadas em ângulo reto à aradura; textura *aveludada* ("corduroy") após o crescimento das culturas; e textura *em faixas* ("striped") para culturas intercaladas. Similarmente, a textura *em fileira* ("swath") é visível após a colheita, enquanto uma determinada cultura pode apresentar textura *mosqueada*, em função do conteúdo de umidade do solo.

3) Forma e Dimensão

A forma e dimensão podem ser usadas para identificar culturas individuais em fotografias de grande escala. A forma é particu

lamente importante na interpretação de estruturas, de implementos e de culturas em colheita.

A dimensão também é indício útil para a identificação de certos objetos agrícolas em pequena escala. Se o fotointérprete está trabalhando com fotografias de escalas diferentes, ele fará medidas frequentes dos objetos a serem identificados, para não cometer erros devidos à mudança na forma.

A forma da vegetação natural se apresenta em áreas de contornos irregulares e de aspecto variável, segundo seu tipo e idade. As culturas apresentam formas retangulares ou em faixas, de aspecto variável segundo a sua idade.

4) Sombra

As sombras às vezes revelam o perfil dos objetos de interesse os quais, na sombra, são geralmente obscurecidos. A sombra no "stand" é dada pela copa das árvores e altera a textura do "stand". As copas das árvores coníferas apresentam menos sombra que as folhosas. Muitos detalhes do "stand" são perdidos devido à sombra, se eles estão localizados em lugares sombreados das vertentes e dentro de depressões. Plantas altas, como o milho e o sorgo, podem ser identificadas através das sombras ao longo das bordas dos campos de cultivo, entre locais cortados e não-cortados dos campos de cultivo.

5) Sítio topográfico

Frequentemente, o sítio topográfico governa a localização da cultura, a forma do campo e o padrão das fileiras. Quando o sítio topográfico é facilmente interpretado, ele se constitui num indício valioso para a identificação do tipo de cultura. Inversamente, quando não se pode interpretar diretamente o sítio topográfico, ele pode ser inferido por meio da identificação da cultura, através do uso de outras características da imagem fotográfica.

6) Padrão/Relação de Aspectos

Os padrões de vegetação referem-se ao complexo vegetal desenvolvido numa área. Incluem-se aqui a vegetação natural e as terras com culturas. Em termos cultivados, podem se distinguir os solos profundos e bem drenados pela presença de pomares; e os solos hidromórficos, pela presença de hortaliças. Os padrões podem ser: ordenados (cafezal, pomar, reflorestamento com eucalipto); ao acaso (vegetação natural); maciços (floresta); descontínuos, etc.

O padrão ou arranjo espacial das fazendas, dos campos, das culturas dentro de um campo, ou de outros objetos agrícolas é, usualmente, a característica qualitativa mais importante na interpretação de áreas agrícolas. Enquanto o padrão pode variar de uma área agrícola para outra, pode ser de grande valor quando aplicado localmente por um fotointérprete experiente.

A relação de aspectos consiste na correlação de fenômenos físicos e naturais. Um tipo de vegetação pode ser um bom índice do tipo de solo e rocha subjacente. Assim, uma formação hidrófila representa solo hidromórfico e rocha subjacente impermeável. Um alinhamento de vegetação mais exuberante destacando-se numa área de cobertura vegetal menos densa é sinal de solo mais úmido. Isto pode significar presença de drenagem ou falha geológica.

Nas áreas cultivadas, a fotointerpretação é facilitada devido às formas das características que nelas prevalecem. Culturas, pomares, pastos, etc. são geralmente limitados por rios. Essas áreas são também caracterizadas por estradas, trilhas de gado, represas para irrigação e drenagem, e pelo conjunto de construções típicas de áreas rurais.

A fotografia aérea constitui o único instrumento capaz de representar formas e o arranjo espacial das plantas, individualmente ou em associações. O método de reconhecimento baseia-se, em parte,

no estudo da tonalidade, da textura, do padrão, da sombra, da forma e do tamanho. Por outro lado, o conhecimento das relações da vegetação com o meio é fundamental para a obtenção de dados.

Muitas das mudanças nas áreas agrícolas são atribuídas ao plantio, ao crescimento da cultura e à colheita. No plantio são incluídas todas as atividades que alteram a superfície do solo: aração, gradeamento, plantio e cultivo. Cada uma dessas atividades afeta a tonalidade e a textura das fotografias e os padrões que elas formam.

A aração produz, usualmente, fortes contrastes na tonalidade. Solos revolvidos tornam-se mais escuros que os incultos. Os padrões criados pela aração dependem das diferenças tonais; eles podem consistir em faixas alternadas de largura variável dentro do campo ou em campos internos, os quais são contrastantes na tonalidade.

Mudanças nas características das imagens, devido ao crescimento da cultura, são frequentemente difíceis de interpretar. O período de crescimento e de maturação das plantas são diferentes para cada cultura. Para ser útil ao fotointérprete, a fotografia deve mostrar os cultivos em que ele está interessado, num estágio reconhecido de crescimento.

Variações na imagem, devido à colheita, são menos perturbadoras e são, frequentemente, usadas para identificar culturas ou tipos de culturas.

As práticas de pousio e de rotação de culturas, a introdução de medidas de conservação, a utilização de terras para a agricultura, e a mecanização da agricultura causam mudanças nos padrões da paisagem. Estes eventos podem acontecer individualmente ou em combinação com outros.

A rotação de culturas, prática em muitas áreas de agricultura diversificada, causa notáveis mudanças na imagem fotográfrica. Numa rotação de 4 anos (p. ex. 1 ano com milho, 1 ano com aveia, e 2 anos com feno), a aparência do campo pode mudar 3 vezes.

Mais que qualquer outro fator, a introdução de medidas para a conservação do solo e água é responsável por mudanças nos padrões do solo. Em fotografias de grande ou média escala, o terraceamento e o cultivo em faixa criam padrões distintos.

A conversão do uso da terra é reconhecida pelas mudanças no tamanho e na forma das áreas cultivadas, na presença de novos alvos e no desaparecimento de alvos que estavam presentes. Em áreas de solos pobres, fazendas são frequentemente abandonadas e deixadas para serem revertidas em florestas ou outra cobertura vegetal. A conversão de terras em agricultura é indicada pelo desmatamento, pela construção de drenagem ou pela facilidade de irrigação.

A mecanização da agricultura afeta a imagem fotográfica, principalmente por ser possível ao fazendeiro manusear maior quantidade de terras. Com o aumento da unidade de cultivo, o número de características tradicionais da paisagem rural (tais como: cercas; bordas de campos, cobertas por arbustos e caminhos de entradas para os campos de cultivo) diminui. A mecanização também cria novos padrões de cultivo e colheita.

Mudanças sazonais na tonalidade, na textura e em outras características da imagem podem ser exploradas pelo fotointérprete que deseja identificar as culturas de uma dada área. Interpretação detalhada dessas mudanças requer um conhecimento do tipo de agricultura, das características do crescimento das culturas e das práticas de cultivo locais.

Durante e após a colheita, objetos agrícolas e padrões de colheita são indícios mais úteis para a identificação das culturas do que as próprias características tonais e texturais. Implementos agrícolas de colheita, padrões de corte e as formas de colheita - empilhamento, enfardamento, etc. - distinguem muitas culturas e tipos de culturas. Deve-se atentar, entretanto, para áreas onde se usam implementos ou técnicas diferentes para o mesmo propósito. Diferentes métodos de colheita produzem uma variedade de padrões nas fotografias de campos colhidos.

2.1.1 - EXEMPLOS DE CHAVE DE INTERPRETAÇÃO DE CLASSES DE USO DA TERRA E PADRÕES DE IDENTIFICAÇÃO EM FOTOGRAFIAS AÉREAS

Para qualquer tipo de filme ou escala adotada, é importante a definição de uma chave de interpretação para a caracterização dos vários tipos de uso da terra. Esta chave é definida pela interação dos vários elementos que levam à interpretação de um dado fato presente na imagem fotográfica em análise, constituindo-se da descrição da imagem em termos de: tonalidade, tamanho, forma, arranjo espacial, textura, ou outro elemento que a caracterize. É recomendável que as chaves sejam preparadas para cada uso particular, em áreas representativas.

Apresentam-se, a seguir, chaves de interpretação de uso da terra, desenvolvidas por Koffler et alii (1979) - levantamento da cana-de-açúcar através da utilização de fotografias aéreas; e por Novo (1979) - levantamento do uso da terra, através da utilização de fotografias aéreas convencionais e imagens LANDSAT.

A chave de interpretação desenvolvida por Koffler et alii (1979) foi definida a partir de fotografias aéreas em branco e preto, na escala de 1:35.000:

1 - *Cana-de-açúcar* - é distribuída em áreas de cultivos relativamente grandes, muito recortadas por carreadores; consta no mínimo de 3 estágios de desenvolvimento.

a) *Cana adulta*: estágio avançado de desenvolvimento, sendo cortada na safra em andamento, na época da tomada da fotografia.

- *Textura*: aveludada grosseira - cana de 1 ano e meio, aveludada fina - cana de 1 ano e cana-soca.

- *Porte*: baixo, visível ao estereoscópio.

- *Tonalidade*: cinza-claro - cana de 1 ano e meio e cana-soca; cinza-médio - cana de 1 ano.

- *Aspectos associados*: telhado homogêneo, com ondulações que acompanham o terreno.

b) *Cana cortada*: áreas colhidas durante a safra em andamento, na época da tomada das fotografias aéreas.

- *Textura*: fina e descontínua (aspecto penteado).

- *Porte*: ausente ou rasteiro, não perceptível ao estereoscópio.

- *Tonalidade*: cinza-claro ou esbranquiçado (devido à ausência de vegetação).

- *Aspectos associados*: presença de alinhamentos em paralelo das leiras de palhada que acompanham o sentido do corte. Geralmente, as leiras são dispostas a cada 5 linhas de plantio, ou seja, um espaçamento de cerca de 7 metros, proporcionando um aspecto penteado ao padrão fotográfico.

c) *Cana nova*: cana de 1 ano e meio, em início de desenvolvimento, que não seria cortada na safra em andamento, na época da tomada das fotografias aéreas.

- *Textura*: fina e contínua.

- *Porte*: rasteiro, não perceptível ao estereoscópio.

- *Tonalidade*: variável conforme a época do plantio e o tipo de solo. De um modo geral, é cinza-médio na área de solos argilosos, podendo ser branco ou cinza-claro nas áreas de solos arenosos, por efeito de plantio mais tardio e da alta reflexão da luz solar pela superfície desses solos. A variedade plantada também pode influir na tonalidade fotográfica.

- *Aspectos associados*: ausência de leiras de palhada.

2 - *Cultura temporária* - baixa ocorrência de carreadores, baixa subdivisão em glebas, quando as áreas cultivadas são extensas; ausência de diferentes estágios de desenvolvimento simultâneos; curvas de nível mais frequentes e evidentes dentro das glebas.

a) *Cultura estabelecida* (de inverno)

- *Textura*: fina e contínua.
- *Porte*: rasteiro ou baixo.
- *Tonalidade*: cinza-claro ou médio.

b) *Restos culturais* (características diferenciais)

- *Tonalidade*: cinza-claro.
- *Aspectos associados*: restos enleirados, bandeiras (áreas de amontoamento da colheita).

c) *Terreno arado ou em processo de aração* (características diferenciais)

- *Tonalidade*: cinza-claro quando o terreno já foi arado, com faixas de tonalidades diferentes quando em processo de aração.

3 - *Culturas perenes* - frutíferas em geral, cafezal, etc.

- *Textura*: granular (fina e média).
- *Porte*: baixo e médio.
- *Tonalidade*: cinza-médio e escuro.
- *Aspectos associados*: possibilidade de individualização das plantas em função do plantio uniforme com largos espaçamentos; configuração geométrica das glebas.

4 - *Pastagem*

- *Textura*: fina, homogênea, ligeiramente aveludada.
- *Porte*: rasteiro, não perceptível ao estereoscópio.
- *Tonalidade*: cinza-claro e médio.
- *Aspectos associados*: aguadas, bebedouros, cercas, currais, trilhas, árvores para sombreamento.

5 - *Raflorestamento* - formações arbóreas homogêneas, instaladas pelo homem, para fins industriais ou para consumo dos estabelecimentos rurais.

- *Textura*: fina e média.
- *Porte*: médio a alto.
- *Tonalidade*: cinza-médio a escuro intenso.
- *Aspectos associados*: telhado uniforme; em geral, limites regulares e carregadores definidos.

6 - *Mata*

- *Textura*: média a grossa.
- *Porte*: alto.
- *Tonalidade*: cinza-médio a escuro.
- *Aspectos associados*: telhado desuniforme, geralmente limites irregulares e ausência de carregadores.

7 - *Capoeira*

- *Textura*: fina e/ou média.
- *Porte*: médio.
- *Tonalidade*: cinza-médio.
- *Aspectos associados*: telhado uniforme ou desuniforme.

8 - *Cerrado*

- *Textura*: fina.
- *Porte*: baixo.
- *Tonalidade*: cinza-claro a médio.
- *Aspectos associados*: telhado uniforme.

9 - *Campo cerrado*

- *Textura*: fina e contínua.
- *Porte*: rasteiro e baixo.
- *Tonalidade*: cinza-claro.

A chave de interpretação definida por Novo (1979) foi baseada na interpretação de fotografias aéreas em branco e preto, na escala de 1:25.000, para a região do Vale do Paraíba Paulista:

- 1 - *Área urbana edificada* - área construída, caracterizada pela presença de ruas asfaltadas, casas, prédios de apartamentos, jardins e ruas arborizadas.
 - *Textura*: rugosa, sendo que nas áreas de maior densidade de edificações essa rugosidade é aumentada.
 - *Tonalidade*: alternância de tons claros, correspondentes ao arruamento e edificações, e tons escuros, correspondentes à arborização de ruas, sombreamento, jardins, etc.
 - *Aspectos associados*: a forma e o arranjo espacial das áreas urbanas são caracterizadas por quadras regulares, pelo sistema viário e pelas construções, etc.

- 2 - *Indústria* - as áreas ocupadas por indústria caracterizam-se pela presença de grandes edificações, pátios gramados de estacionamento e localização periférica à cidade.

- *Textura*: lisa.
 - *Tonalidade*: clara.
 - *Aspectos associados*: forma regular e distribuição espacial ao longo de vias de comunicação.
- 3 - *Área urbana desocupada e loteamentos* - são áreas envolvidas pela área urbana edificada, que não foram ocupadas pelas edificações por limitações de terreno, ou são áreas com arruamento definido, aguardando ocupação.
- *Textura*: lisa.
 - *Tonalidade*: cinza-escuro devido à presença de cobertura vegetal arbustiva.
 - *Aspectos associados*: forma irregular.
- 4 - *Solo exposto* - áreas que foram terraplanadas, ou onde os processos de erosão do solo retiraram a cobertura vegetal.
- *Textura*: lisa.
 - *Tonalidade*: branco a cinza-claro.
 - *Aspectos associados*: forma regular no caso de terraplanagens, e irregular, no caso de erosão.
- 5 - *Campos de arroz colhido*
- *Textura*: lisa nos campos recém-colhidos.
 - *Tonalidade*: varia de branco a cinza-claro.
 - *Aspectos associados*: a forma desses campos é regular, acompanhando, em geral, a disposição dos canais de irrigação.
- 6 - *Campos com culturas de inverno e/ou permanentes*
- *Textura*: em geral lisa.
 - *Tonalidade*: varia do cinza-médio ao cinza-escuro.

- *Aspectos associados*: essas culturas apresentam-se distribuídas em quadras de formato regular e ocorrem somente na área da várzea do rio.

7 - *Pomar* - geralmente inclui plantações de laranja. Localiza-se, em geral, próximo à sede de fazendas.

- *Textura*: apresenta-se com textura pontual, com densidade que varia em função da idade, espécie e/ou espaçamento entre as árvores.

- *Tonalidade*: cinza-escuro nos pontos correspondentes às copas e cinza-médio nos pontos entre as copas.

- *Aspectos associados*: forma regular e tamanho pequeno.

8 - *Pastagens* - essa categoria inclui as pastagens naturais, as pastagens melhoradas e os pastos cultivados.

- *Textura*: lisa, tornando-se mais rugosa em áreas com presença de herbáceas.

- *Aspectos associados*: apresentam formato irregular e ocupam grandes extensões em áreas de topografia acidentada.

9 - *Arbustos*

- *Textura*: menos rugosa que a de regiões recobertas por mata.

- *Tonalidade*: cinza-médio.

- *Aspectos associados*: formato irregular e ocorrência em áreas mais úmidas.

10 - *Eucalipto*

- *Textura*: lisa.

- *Tonalidade*: cinza-escuro.

11 - *Mata* - as áreas classificadas como mata caracterizam-se pela formação dominada por elementos arbóreos, composta de três estratos de vegetação.

- *Textura*: rugosa desuniforme.

- *Tonalidade*: cinza-escuro.

- *Aspectos associados*: a mata localiza-se junto a cursos de água ou nas encostas mais íngremes.

Outro exemplo de chave de interpretação é dado por Marchetti e Garcia (1978), usando a tonalidade de filmes em branco e preto, coloridos e em infravermelho colorido para a caracterização da cobertura vegetal.

- 1) *Cerrado baixo* - forma irregular; presença de sombras; porte médio; textura média; tonalidades escura (preto e branco), verde-escura (colorido) e vermelha (infravermelho colorido).
- 2) *Campo limpo* - forma irregular; ausência de sombras; textura fina; tonalidades intermediária (preto e branco), verde-amarelado (colorido) e róseo (infravermelho colorido).
- 3) *Campo sujo* - forma irregular, presença de sombras (arbustos); textura fina; tonalidades intermediária (preto e branco), verde-amarelado (colorido) e róseo (infravermelho colorido).
- 4) *Culturas anuais* - formas regulares; ausência de sombras; textura aveludada, muitas vezes marchetada; tonalidades clara e intermediária (preto e branco), verde e verde-amarelo (colorido) e vermelha a róseo (infravermelho colorido).
- 5) *Cafezal* - formas regulares; talhões pequenos; espaçamento característico; ausência de sombras; porte baixo; textura imperceptível das árvores; tonalidades intermediária (preto e branco), verde-escuro (colorido) e vermelha (infravermelho colorido).

2.2 - RADAR

Os métodos usados nos estudos de interpretação da vegetação, com imagens de radar, incluem a análise da tonalidade e textura. Especialistas que trabalham com mapeamento de vegetação reconhecem que as variações da textura são mais importantes que as da tonalidade, para a caracterização da vegetação nas imagens de radar.

A textura da imagem é, geralmente, "fina" para áreas não florestais; a análise das imagens pode mostrar o mesmo valor da escala de cinza para vários tipos de vegetação, embora existam diferenças sutis de tonalidade e textura entre pastagens naturais e campos/cerrados.

Segundo Smith (1978), os campos de cultivo apresentam configurações de linhas retas e mudanças na altura da cultura em relação à vegetação ao redor (caso da Região Amazônica). Áreas mais escuras representariam campos recém-cultivados.

De acordo com Morain e Simonett (1966), a análise da vegetação com imagens de radar de visada lateral é possível dentro de amplos limites, dependendo da área geográfica que está sendo investigada. O mapeamento da vegetação é possível através das comparações texturais e tonais, combinadas com o conhecimento geográfico básico da área de estudo.

Segundo os autores, através dessa comparação é possível: preparar mapas regionais de vegetação ou de reconhecimento, com base na fisionomia ou no tipo de vegetação; delimitar zonas de vegetação de acordo com a topografia; identificar padrões de incêndios de floresta; e identificar espécies vegetais através de inferências em áreas caracterizadas por "stands" homogêneos.

De acordo com Morain e Simonett (1966), a metodologia de separação de comunidades vegetais baseia-se:

- a) nas diferenças nos valores da escala de cinza entre comunida
des;
- b) na discriminação de diferenças texturais;
- c) na análise do arranjo espacial, baseada no conhecimento da dis
tribuição geral das comunidades das plantas;
- d) na avaliação do contexto dos objetos associados (interna ou ex
terna à comunidade); e
- e) nas diferenças nos estágios do ciclo de crescimento das comuni
dades.

O sombreamento nas imagens de radar pode aumentar as ca
racterísticas do relevo nas imagens e isto pode ser uma vantagem na in
terpretação da vegetação. Quando se interpretam imagens de radar as som
bras devem estar sempre voltadas para o observador, pois o fotointér
prete pode inverter o relevo (F.A.O., 1975).

Em fotointerpretação de imagens de radar, os princípios
gerais aplicados à interpretação de fotografias aéreas ainda são manti
dos, mas o fotointérprete deve sempre se lembrar da formação das ima
gens de radar, quando comparadas às fotografias aéreas.

Variações tonais na imagem de radar são causadas pelas
características reflectivas e não pelas características de brilho e
cor, como nas fotografias aéreas. A mesma área em duas varreduras dife
rentes, na imagem de radar, pode apresentar diferentes tonalidades, de
vido a diferenças nas reflexões direcionais captadas pelo sensor, em
função de variações no ângulo de depressão. Apesar disso, forma, pa
drão, tonalidade e textura, constituem base da interpretação, como na
fotografia aérea.

Em mapeamentos florestais, a tonalidade e a textura são
os dois critérios mais importantes na fotografia aérea e imagem de ra
dar, porém, as relações da vegetação com a imagem de radar podem ser

muito mais complexas. Sabe-se que a vertente e sua relação com o ângulo do feixe do radar podem ser os principais fatores que governam a tonalidade; e a vegetação é o principal fator que governa a textura (Figura 2.1).

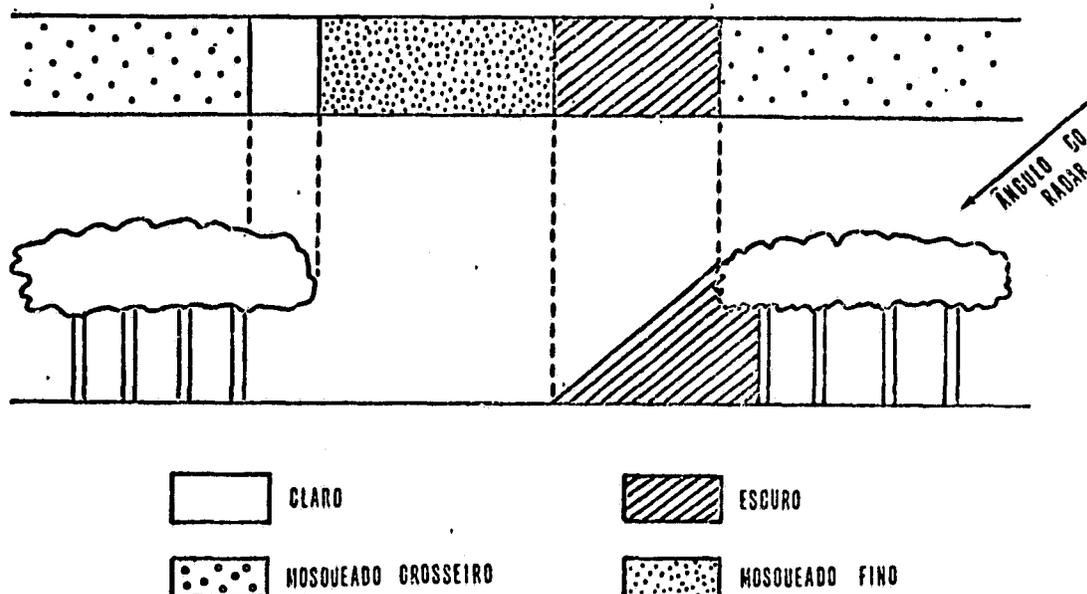


Fig. 2.1 - Tonalidade e textura nas imagens de radar.

Segundo Smith (1978), o sistema de interpretação para as imagens de radar de pequena escala é baseado, principalmente, na diferenciação entre *terras secas* ("dryland") e *terras úmidas* ("wetland"), com delimitação das *terras secas* de acordo com as características fisiográficas, tais como drenagem e topografia.

Para desenvolver uma classificação de vegetação satisfatória, a partir de informações de radar, é necessária uma classificação mista que faça uso das inter-relações entre características biológicas (composição das espécies, associação entre comunidades, etc.) e geológicas (padrões de dissecação, superfícies geomorfológicas, etc.). O manual de Sensoriamento Remoto da American Society of Photogrammetry (1975) apresenta o seguinte exemplo de classificação de vegetação através de imagens de radar:

- O grupo floresta, por exemplo, é dividido em floresta sempre-verde, floresta semidecídua e floresta secundária. A floresta sempre-verde, por sua vez, é dividida em 2 subgrupos: densa e aberta. O subgrupo de floresta sempre-verde densa é posteriormente subdividido em outros subgrupos, baseados na topografia (planícies, tabuleiros, colinas, submontanha e planícies de terras altas). As planícies se dividem em 6 partes que incluem atributos geomorfológicos (aluvial e terraços aluviais) e vegetativos (floresta mista, floresta de folhas largas, cobertura uniforme e floresta emergente). Este exemplo é relativo apenas a 1 subgrupo (floresta sempre-verde). Para se ter uma classificação completa de vegetação, deveriam ser feitas todas as combinações possíveis entre grupos, subgrupos e demais subdivisões, incluindo ainda os aspectos topográficos.

2.3 - IMAGENS ORBITAIS (LANDSAT)

De maneira geral, os elementos de reconhecimento mais significativos para a interpretação de imagens orbitais são os das fotografias aéreas convencionais: tonalidade, textura, padrão, formas de relevo, etc.

Esses elementos, originariamente definidos para as fotografias aéreas, são aplicados às imagens orbitais com algumas considerações. Tais considerações se fazem necessárias em virtude das características dos sensores utilizados na obtenção de imagens orbitais.

A interpretação visual das imagens LANDSAT é o processo de aquisição de informações sobre um dado alvo da superfície, através da análise de sua resposta espectral em 1, 2, 3 ou 4 canais do MSS/LANDSAT. Esse processo de extração de informações consiste basicamente na inspeção e na identificação de diferentes padrões tonais e texturais em cada canal e na sua comparação em diferentes canais e épocas.

Quando se usam fotografias orbitais, não se obtêm nenhuma indicação direta do tipo de cultura ou de suas condições devidas ao tamanho, à forma ou ao padrão dos campos agrícolas. Sombra e textura tornam-se menos importantes devido ao aumento da altitude e decréscimo da resolução.

A tonalidade das imagens multiespectrais, que varia com o comprimento de onda, depende da reflectância espectral do alvo (Hoffer et alii, 1966).

Para a interpretação visual das imagens LANDSAT, 3 aspectos devem ser considerados:

a) Aspecto Espectral

É um dos principais aspectos das imagens LANDSAT; seu caráter espectral permite a coleta de informação em 4 faixas distintas do espectro eletromagnético. Desta forma, as características espectrais do alvo podem ser registradas de modo diferente em 4 faixas do espectro, o que possibilita a identificação de diferentes alvos através da comparação entre canais.

Duas áreas com reflorestamento de *Eucalyptus spp.*, com idades diferentes e plantios homogêneos, poderão apresentar a mesma tonalidade escura no canal 5 do MSS/LANDSAT. Os mesmos alvos no canal 7, apresentarão tonalidades diferentes, sendo que o plantio mais novo apresentará tonalidade mais clara neste canal, devido à maior reflectância.

Na área de agricultura tem-se o exemplo da separação entre as áreas plantadas com cana-de-açúcar e as pastagens. Ao se utilizar uma imagem LANDSAT no período seco (onde a pastagem está em declínio e a cana-de-açúcar mantém o vigor normal), os dois alvos podem apresentar a mesma resposta (mesmo tom de cinza) no canal 5 do MSS/LANDSAT. Mas verificando-se o canal 7, a área de cana-de-açúcar pode ser separada de pastagem, pois apresenta uma tonalidade mais clara, devido à alta reflectância da cana-de-açúcar nessa faixa do espectro eletromagnético.

A variedade de uma cultura pode afetar a resposta espectral, particularmente devido a variações na maturidade das diferentes variedades; algumas variedades de milho e trigo apresentam ciclos mais curtos que outras. Isto pode ser identificado na faixa do infravermelho, pois as variedades de ciclo longo apresentam uma resposta maior (mais clara) nessa faixa do espectro que a outra variedade porque possuem folhas verdes e saudáveis que refletem maior quantidade de energia que as folhas maduras da outra variedade.

b) Aspecto Temporal

Devido à característica repetitiva de imageamento feito pelo LANDSAT, podem-se analisar as variações temporais apresentadas pelos padrões de tonalidade e de textura do alvo. Como grande parte dos alvos naturais é de natureza dinâmica, ou seja, apresenta variações no tempo, o aspecto temporal das imagens torna-se um fator de grande importância para a interpretação visual. A análise de cobertura vegetal é um exemplo típico da importância da informação temporal para a identificação de alvos diferentes. Um exemplo deste fato ocorre na discriminação entre o cerradão e o cerrado na região de Dourados (MT). Ao se analisar uma imagem da época seca, em períodos de grande estiagem, é muito difícil a separação entre os tipos de vegetação na imagem do canal 5 do MSS/LANDSAT, pois por ser o cerradão, nessa região, constituído de espécies caducifólias, apresenta a mesma tonalidade que o cerrado. Analisando-se a imagem do canal 5, na época chuvosa (posterior à da seca), pode-se fazer a discriminação entre o cerradão e o cerrado, pois as espécies do cerradão recuperam as folhas, apresentando uma resposta espectral (tonalidade mais escura) diferente da do cerrado.

Outro exemplo da importância do aspecto temporal é fornecido pela atividade agrícola. De maneira geral, cada tipo de cultura tem sua época de plantio e de colheita específica. Além disso, diferentes culturas apresentam diferentes taxas de crescimento durante seu ciclo vegetativo. Assim sendo, imagens tomadas em épocas sucessivas permitem a identificação das diferentes culturas, a partir das variações que apresentam no tempo.

A data de plantio é particularmente importante após a estação do crescimento (época esta em que diferenças na maturidade tornam-se mais evidentes) e antes da estação de crescimento, quando variações na altura da cultura (relacionada à data do plantio) influem na quantidade relativa de solo/vegetação que está sendo sensoriada.

Torna-se aparente que tanto o tipo de solo como as condições vegetativas têm um papel extremamente importante e variável, quando se trabalha com padrões de resposta multiespectral. Se uma característica padrão de resposta multiespectral é determinada para cada tipo de cultura ou espécie de interesse, muitas das variações de solo e vegetação devem ser eliminadas. No caso de campos agrícolas, um importante método para eliminar variações não-desejadas na resposta espectral é obter imagens de um determinado tipo de cultura, somente durante os períodos da estação de crescimento da cultura.

c) Aspecto Espacial

Relaciona-se com a forma e distribuição dos alvos que compõem a cena imageada. Esse aspecto é de grande importância no processo de aquisição de informações por meio de imagens LANDSAT, através de interpretação visual. Cada alvo geralmente apresenta forma e distribuição características, as quais facilitam sua identificação na imagem. Um exemplo seria o de áreas de reflorestamento e campos agrícolas, que normalmente apresentam formas geométricas definidas.

Para a interpretação visual das imagens LANDSAT, algumas considerações devem ser feitas para a escolha dos produtos.

A escolha do canal ou canais a serem utilizados na análise visual é um passo muito importante para o levantamento de recursos naturais e depende do objetivo do trabalho. O conhecimento prévio das características do alvo em cada canal auxilia a escolha dos canais adequados ao objetivo do intérprete.

Em levantamentos de cobertura vegetal, geralmente são usa dos apenas 2 canais. Embora os quatro canais forneçam informações, di versos estudos realizados demonstraram que os canais 5 e 7 são os me lhores para a identificação dos diferentes tipos de cobertura vegetal. Tanto no canal 4 como no 5, quanto mais densa a vegetação, maior a sua taxa de absorção de energia eletromagnética. Entretanto, o canal 5 apre senta um contraste melhor que o 4, permitindo que pequenas variações na cobertura vegetal sejam identificadas visualmente. No canal 7, a ve getação apresenta alta reflectância, o que auxilia a identificação de tipos de cobertura vegetal.

Para estudos de levantamento do uso da terra, em geral, também são usados os canais 5 e 7. As feições culturais como cidades, indústrias, áreas de cultivo, etc. são mais facilmente identificadas no canal 5, enquanto as áreas de solo preparado para cultivo, bem como represas e açudes, no canal 7. Entretanto, para levantamentos de uso da terra, o uso das composições coloridas permite a aquisição de maior quantidade de informações.

De modo geral, o uso de tais composições ajuda a identi ficação de qualquer alvo, seja vegetação ou uso da terra. Para a vege tação, composições coloridas no infravermelho falsa-cor são bastante úteis, pois realçam os diferentes tipos de vegetação, que aparecem des de o vermelho escuro (vegetação densa), até tonalidades próximas ao ama relo (áreas de vegetação rala). É possível obter um número muito maior de informações por meio de uma imagem colorida que por meio de uma em preto e branco; isto se deve ao fato do olho humano ser mais sensível a cores que a tons de cinza.

Alguns alvos têm seu comportamento espectral modificado em função da variação sazonal. No caso particular de uma área com vege tação constituída de espécies decíduas e perenes, sabe-se que durante a estação chuvosa há uma tendência da cobertura vegetal se tornar mais homogênea, pois as espécies decíduas recuperam a folhagem, o mesmo acon tecendo com as espécies que sofrem estresse, devido à falta d'água, re

cuperando a sua vitalidade. Desta forma, o período seco é geralmente a época em que a vegetação natural apresenta maiores diferenças no comportamento espectral, sendo, portanto, o mais útil para levantamentos da cobertura vegetal, quando não é possível a obtenção de dados sequenciais.

Para o caso do levantamento de áreas agrícolas, o uso de dados sequenciais é indispensável. Entretanto, as imagens devem ser obtidas em épocas críticas do ciclo vegetativo da cultura.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS ORBITAIS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE CLASSES DE USO DA TERRA

Os dados coletados pelo sensor MSS do satélite LANDSAT podem ser utilizados para mapeamento de classes de uso da terra. Para tanto, é necessário ter conhecimento sobre as características espectrais dos alvos, sobre a ocupação do espaço a ser analisado, assim como o seu comportamento temporal.

Para o mapeamento de classes de uso da terra, deve-se delimitar a área de estudo assim como levantar bibliografia sobre os seus aspectos geográficos. O conhecimento prévio da área a ser interpretada facilitará a identificação dos tipos de uso da terra.

A interpretação dos dados orbitais pode ser feita tanto visual como automaticamente.

3.1.- INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS

No tratamento visual de imagens LANDSAT é importante associar os diferentes tipos de uso da terra com os padrões tonais e texturais nos vários canais, em diferentes épocas do ano.

A ocupação da terra é um fenômeno complexo e dinâmico que influi diretamente nos padrões espectrais.

A escolha de áreas testes pode auxiliar na identificação dos diferentes padrões espectrais dos tipos de uso da terra que ocorrem na área de estudo. A área teste deve ser caracterizada pela presença de diversos tipos de uso da terra da área de estudo.

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

Estas áreas testes podem ser aerofotografadas em escalas apropriadas, que variam de 1:20.000 a 1:50.000. A definição da escala a ser utilizada depende da complexidade da área de estudo e da disponibilidade de recursos. As fotografias aéreas coloridas, no infravermelho, são as que mais auxiliam nas informações de alterações dos tipos de uso da terra.

Concomitantemente, deve-se fazer um trabalho intensivo de campo a fim de corrigir a fotointerpretação preliminar. O trabalho de campo deve visar, também, os aspectos de calendário agrícola e a identificação das variações temporais e espaciais da ocupação do solo.

Após a interpretação das fotografias aéreas, são elaborados mapas temáticos da área teste. Estes mapas servem como base para o levantamento da chave de interpretação.

a) Definição de classes de uso da terra

As classes de uso da terra são definidas de acordo com as características dos sensores utilizados.

Em 1971 foi formado um comitê para estudar o uso da terra e sua classificação sob direção da NASA e do programa EROS do Departamento do Interior, dos EUA. Foi estabelecida a seguinte legenda para uso de sensoriamento remoto a nível orbital:

- áreas urbanas e edificadas;
- vias de transporte e comunicação;
- agricultura;
- áreas extrativas;
- pastagens naturais;
- floresta;
- água.

Através da análise de fotografias aéreas da área teste, pode-se modificar e/ou ampliar as classes de uso da terra. O mapa temático da área teste permite, também, testar a precisão da classificação. Um método de comparação dos dados a nível de aeronave com os dados orbitais foi preconizado por Hard e Brooner (1976).

b) Seleção das imagens e dos canais

Para a seleção das imagens, deve-se levar em consideração o grau de cobertura de nuvens e a época mais conveniente, devido à mudança espectral dos alvos. O período seco é mais adequado para estudar as variações de uso da terra. A cobertura vegetal, principalmente, apresenta-se com as maiores variações espectrais, na época em que muitas espécies sofrem "stress" devido à falta d'água.

No levantamento do uso da terra, a sequência dos dados que mostra as variações do ciclo vegetativo auxilia a identificação das culturas.

O uso de composições coloridas possibilita maior quantidade de informações dos tipos de uso da terra. Entretanto, em geral, são usados os canais 5(0,6 a 0,7 μm) e 7(0,8 a 1,1 μm), na escala 1:250.000, para a caracterização do uso da terra.

c) Interpretação preliminar das imagens na área teste

Através da superposição de um papel transparente "ultraphan" na imagem LANDSAT, no canal 5, identificam-se e delimitam-se as variações de tons de cinza. Estas informações são completadas com variações espectrais dos alvos no canal 7.

Em seguida, faz-se uma análise comparativa entre comportamento espectral dos alvos e os tipos de uso da terra interpretados através de fotografias aéreas. Através de amostras aleatórias e tratamento estatístico dos dados pode-se observar se existem certas caracte

rísticas espectrais que podem ser associadas a determinadas classes de uso da terra.

Entretanto, apenas a utilização da tonalidade como critério de classificação dos dados não é suficiente para a interpretação das imagens. Isto pode ser explicado pelo fato de que as classes analisadas variam sua resposta espectral em função de diferenças de solo, posição no quadro topográfico, estação do ano e posição relativa das classes no espaço.

Para um mapeamento de classes de uso da terra, através de imagens LANDSAT, torna-se necessária a utilização de outros critérios de classificação como: tamanho, forma, localização e textura, complementado com intenso trabalho de campo.

Através destes parâmetros, pode-se propor uma chave de interpretação para mapeamento do uso da terra no Vale do Paraíba (S.P.), utilizando-se imagens LANDSAT, na escala 1:250.000, nos canais 5 e 7:

● Área urbanas edificadas

Canal 5 - Tonalidade: cinza-claro, mosqueado (arruamento).

Textura: média.

Limite: irregular.

Característica espacial: convergência de estradas.

Canal 7 - Mal caracterizadas.

● Campos de cultivo e pastagens artificiais

Canal 5 - Tonalidade: cinza-escuro, áreas com culturas; cinza-claro, áreas preparadas para cultivo.

Textura: lisa.

Canal 7 - Tonalidade: cinza-escuro, área submetida à queimada ou com solo exposto; cinza-claro, áreas cultivadas.
Textura: lisa.

● Campos de arroz

Canal 5 - Limite: regular.
Forma: geométrica.
Característica espacial: linhas paralelas de cultivo.
Dimensão: unidades em torno de 2 ha.

Canal 7 - Limite: regular.
Forma: geométrica.
Característica espacial: linhas paralelas de cultivo.

● Áreas desocupadas e pastagens naturais melhoradas

Canal 5 - Tonalidade: cinza-médio.
Limite: irregular.
Textura: média.

Canal 7 - Tonalidade: cinza-médio.
Limite: irregular.
Textura: média..

● Reflorestamento

Canal 5 - Tonalidade: cinza-escuro.
Textura: lisa a média.
Limite: regular.
Forma: geralmente geométrica.

Canal 7 - Tonalidade: cinza-claro a médio.
Textura: rugosa.
Limite: não-definido.

● Mata

Canal 5 - Tonalidade: cinza-escuro.

Textura: rugosa.

Limite: irregular.

Canal 7 - Tonalidade: cinza-claro com o alvo na direção de ilu
minação, cinza-médio com o alvo sob efeito de sombra.

Textura: rugosa.

Limite: irregular.

● Estradas

Canal 5 - Tonalidade: cinza-claro.

Forma: linear.

Canal 7 - Maldefinido.

● Represas

Canal 5 - Tonalidade: cinza-escuro.

Textura: lisa.

Limite: maldefinido.

Forma: irregular.

Canal 7 - Tonalidade: cinza-escuro.

Textura: lisa.

Limite: nítido.

Forma: irregular.

● Rios

Canal 5 - Tonalidade: cinza-médio.

Forma: curvilínea.

Canal 7 - Tonalidade: escura.

Forma: curvilínea.

3.2 - INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA DOS DADOS

Os dados LANDSAT podem ser gravados em fitas compatíveis com o computador (CCT), o que permite uma análise automática, através da utilização do Analizador Interativo de Imagens Multiespectrais (I-100).

É de fundamental importância, na interpretação automática, a interação homem-máquina. É o pesquisador que, através da seleção de áreas de treinamento, fornece informações ao sistema de classificação automática.

A realização da classificação automática dos dados orbitais pode ser feita de acordo com as seguintes fases:

- a) leituras do arquivo de fitas compatíveis com o computador e identificação das coordenadas correspondentes à área de estudo;
- b) delimitação da área teste na tela do sistema I-100;
- c) ampliação da área de estudo na tela do I-100, utilizando-se o programa ESCALA; e
- d) seleção das áreas de treinamento que é feita com o auxílio do mapa de uso da terra, obtido através da interpretação de fotografias aéreas convencionais e reconhecimento de campo. As amostras de cada classe são selecionadas de modo a serem representativas das classes de uso da terra da área de estudo. Deve-se selecionar o maior número possível de amostras para obter uma classificação satisfatória.

● Classificação automática do uso da terra

Após a seleção das áreas de treinamento, passa-se à escolha de classificação a ser utilizada. Pode-se utilizar, no caso de uso da terra, a classificação "máxima verossimilhança", implementada no sistema I-100 por Velasco et alii (1978).

● Cálculo da precisão de classificação

A avaliação da precisão da classificação pode ser feita a partir da utilização dos seguintes métodos:

- 1) intersecção do resultado da classificação da área de estudo com a área teste de cada classe analisada, utilizando-se o programa "Cálculo de área". Deste modo, pode-se avaliar o número de "pixels" corretamente classificados em cada classe. Através da intersecção do resultado da classificação de determinada classe com as áreas testes das demais classes, obtêm-se o número de "pixels" incorretamente classificados. Este método encontra-se descrito em Niero e Lombardo (1979). O erro de omissão é calculado a partir do número de "pixels" que não foram classificados dentro da área teste analisada. O erro de omissão é obtido pela razão:

$$\frac{\text{nº de "pixels" não classificados como pertencentes à área teste da classe analisada}}{\text{nº de "pixels" pertencentes à área teste da classe analisada}} \times 100$$

O erro de inclusão, "pixels" erroneamente classificados como pertencentes à classe analisada, é expresso pela razão:

$$\frac{\text{nº de "pixels" pertencentes às demais classes, classificados erroneamente como elemento da classe analisada}}{(\text{nº total de "pixels"}) - (\text{nº de "pixels" da classe analisada})} \times 100$$

2) Análise comparativa entre o total de áreas em cada classe de uso da terra, através da classificação automática, com o total de cada classe, obtido através de fotografias aéreas. Deste modo, tendo-se como base a classificação correta, feita através de interpretação de fotografias aéreas, pode-se inferir o erro da classificação automática.

3.3 - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE DADOS DO LANDSAT NO LEVANTAMENTO DO USO DA TERRA

Os problemas relativos ao estudo de uso da terra referem-se no modo de identificação de uso da terra através de diferentes tipos de sensores remotos; nos tipos de classificação e categorias; e na confecção de mapas uso da terra.

Nunnally e Witmer (1968) mostraram que os problemas de interpretação de dados de Uso da Terra, quando associados a outras informações, podem auxiliar a incompatibilidade de terminologias inconsistentes e desenvolver benefícios e comparar os sistemas de classificação.

Nunnally (1969) fez pesquisas no oeste da Carolina do Norte e observou que padrões podem ser delimitados através de imagens de radar a serem correlacionados com conhecimentos e observações das variações de fenômenos físicos e econômicos. Mostrou que através de imagens de radar, pode-se distinguir regiões diferentes. Entretanto, a pequena escala das imagens de radar não possibilita a interpretação de variação regional de detalhe. Há necessidade de complementar as informações com fotografias aéreas de grande escala e outras imagens da área.

Estes et alii (Novo, 1979), no levantamento do uso da terra no vale do rio São Joaquim, Estado da Califórnia, basearam-se em níveis de classificação condicionados ao tipo de sensor utilizado. Em um primeiro nível de classificação, puderam determinar a categoria ampla "uso agrícola", que em algumas áreas foi subdividida em campos de cultura e pastagens. Estas categorias poderão chegar a um maior nível de detalhe.

No mapeamento do uso da terra, é importante definir a precisão das classes levantadas em um dado mapeamento. Anderson et alii (1976) destacam que o maior problema de aplicação e interpretação dos dados de uso da terra é a falta de consistência nas definições das categorias mapeadas.

Ellefsen (Linz Jr., 1976) concluiu que mapas de uso da terra podem ser obtidos de imagens de satélite com precisão que varia de 82,7%, nos usos industriais e comerciais, e de 97,1% em áreas de irrigação.

Willians et alii (1973) concluíram que a análise visual de imagens LANDSAT permite a identificação de áreas de cultivo de trigo. Através de trabalho de campo, amostras de trigo foram coletadas em áreas com condições ambientais diferentes. As condições das culturas, cor do solo, tipo de solo e topografia também foram consideradas.

Johnson e Coleman (1973) utilizaram dados sequenciais do LANDSAT para o inventário de algumas culturas. Utilizando composições em falsa cor, no infravermelho, dos canais 4, 5 e 7 do MSS, identificaram 4 cores distintas que foram associadas às condições da cultura. Os autores concluíram que é possível associar a condição do campo de cultivo à resposta da imagem.

Segredo e Salinas (1973) desenvolveram uma metodologia de identificação de campos de arroz e de citrus na Espanha Oriental, através da imagem LANDSAT. Os autores transferiam informações de fotografias aéreas e de campo para cartas topográficas. Comparações entre as

cartas e as imagens foram feitas, nos 4 canais. Para esses autores, os canais 5 e 7 forneceram maior quantidade de informações para levantamento do uso da terra.

Estes et alii (Novo, 1979), através do uso de imagens de diversas épocas, analisaram as diferenças de assinaturas espectrais de determinados tipos de uso da terra em épocas diferentes. Concluíram que os canais 5 e 7 fornecem melhores informações para esse levantamento. Os autores citam que a identificação das categorias de uso da terra, através de imagens LANDSAT, depende da resolução e da qualidade de imagem, da variação da estação do ano e da localização das categorias de uso da terra.

Para Linz Jr. (1976) a precisão de um mapa derivado de dados de sensoriamento remoto é, principalmente, afetada por três variáveis: o sistema de classificação de uso da terra, a habilidade do fotointérprete e o sistema de aquisição de informação. O autor obteve um mapa de uso da terra a partir de fotografias aéreas e trabalho de campo. Através de uma grade, com sorteio de pontos, comparou a classificação entre este mapa e outro obtido por fotografias do SI 190B do SKYLAB. O autor considerou que a razão entre os pontos coincidentes nos dois mapas e o número total de pontos amostrados pode dar base à precisão de classificação.

Um exemplo de utilização de técnicas de sensoriamento remoto para levantamento de uso da terra, foi realizado no Departamento de Sensoriamento Remoto do INPE. Novo (1979) fez uma análise comparativa entre fotografias aéreas convencionais e imagens LANDSAT. A metodologia utilizada obedeceu os seguintes itens: identificação de níveis homogêneos de cinza, nos canais 5 e 7; hierarquização dos níveis de cinza em cada canal, com atribuição de valores àqueles níveis, variando de zero (para os níveis de tonalidade escura), até 5 (para os níveis de tonalidade mais clara); justaposição das interpretações obtidas através dos canais 5 e 7. A intersecção das respostas dos canais 5 e 7 fo

ram comparadas com as classes de uso da terra, obtidas através da análise de fotografias aéreas. Desta comparação foram identificadas as classes de uso da terra.

Niero e Lombardo (1979) utilizaram técnicas de classificação automática para a análise do Uso da Terra. A metodologia desenvolvida obedeceu às seguintes etapas: seleção de áreas de treinamento para a classificação das áreas de estudo no sistema I-100; classificação da área de estudo e determinação dos erros de classificação.

Lombardo et alii (1980) fizeram um levantamento de classes de uso da terra, utilizando-se das técnicas de interpretação visual e automática dos dados de sensoriamento remoto. A área escolhida para o desenvolvimento deste trabalho compreendeu o setor paulista do Vale do Paraíba. Na interpretação visual de imagens, foram utilizadas imagens LANDSAT na escala 1:250.000, onde obtiveram-se diferentes classes homogêneas quanto aos níveis de cinza nos canais 5 e 7. Em seguida, foi feita uma comparação entre o comportamento espectral dos alvos e as classes de uso da terra, obtidas através da análise de fotografias aéreas. A classificação automática foi feita, utilizando-se a opção de classificação "máxima verossimilhança", implementada no sistema I-100. Fez-se o cálculo de precisão da classificação.

CAPÍTULO 4

INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM ÁREAS URBANAS

4.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS

Estruturalmente, as cidades são bastante heterogêneas, com diferentes áreas funcionais desempenhando determinados papéis no espaço urbano. A localização destes diferentes tipos de uso do solo, dentro da cidade, é feita de acordo com determinados padrões, que podem refletir a história do crescimento, a influência de decisões governamentais, etc.

Os estudos urbanos, através da utilização de técnica de sensoriamento remoto, incluem principalmente sistemas sensores fotográficos, em particular fotografias aéreas em branco e preto, em colorido normal e no infravermelho falsa-cor.

Para o estudo de uso do solo urbano, fotografias aéreas convencionais em branco e preto, em grande escala, têm sido muito utilizadas. Segundo Bowden (1975), as fotografias aéreas coloridas no infravermelho são superiores às aquelas em branco e preto, para estudos urbanos detalhados. Entretanto, devido ao seu alto custo, são menos utilizadas do que as pancromáticas.

No processo de confecção do mapa de uso do solo há necessidade, primeiramente, de distinguir a utilização urbana das demais áreas circunvizinhas. Em seguida, passa-se ao reconhecimento e à análise dos parâmetros de fotointerpretação, tais como: padrões de textura fotográfica, tonalidade (níveis de cinza), arranjo espacial e tamanho dos fenômenos, para a obtenção de chaves de interpretação necessárias à confecção do mapa. Os dois últimos elementos, entretanto, são mais importantes quando se usam fotografias aéreas em grandes escalas.

A interpretação das fotografias aéreas deve ser feita com o auxílio da visão estereoscópica, combinada com trabalho de campo nas áreas que apresentarem dúvidas.

No processo de fotointerpretação, a cada categoria de uso do solo estão associadas características importantes para sua identificação. A classe residencial multifamiliar se destaca pela presença de edifícios de apartamentos, localizados geralmente fora do centro comercial; é melhor identificada através da utilização da visão estereoscópica.

As áreas residenciais unifamiliares se caracterizam pela variação do tamanho e densidade das edificações e, muitas vezes, pela presença de um sistema de arruamento diferenciado de outras áreas, e ocorrência de ruas arborizadas.

A partir da utilização de fotografias aéreas no infravermelho podem-se realizar estudos detalhados sobre áreas residenciais unifamiliares. Estas áreas poderão ser subdivididas em diferentes níveis sócio-econômicos, tendo como variáveis importantes a qualidade das habitações, a presença de vegetação, o tamanho e a densidade das construções, o número de piscinas, o tamanho dos quintais e jardins, etc.

Com relação a áreas de uso institucional (igrejas, escolas, universidades, clubes, áreas verdes (parques)), são características importantes para sua identificação a presença de pátios de estacionamentos e o tamanho das construções. Estas áreas, geralmente, se caracterizam por possuírem amplos edifícios, vegetação, ajardinamento e áreas destinadas a estacionamento privativo.

As áreas comerciais associam-se à presença de edificações mais antigas, pois correspondem à parte mais velha da cidade. Nesta área verifica-se, também, um grande crescimento vertical e concentração de edificações. Utilizam-se, assim, como critério de identificação desta classe, a altura e a densidade das edificações. Dois tipos prin

cipais de áreas comerciais são usualmente encontrados: "shopping centers" suburbanos e faixas comerciais ao longo das vias principais. O primeiro tipo tem como característica importante a presença de amplos edifícios e pátios de estacionamento. No segundo caso, há maior dificuldade de identificação, quando se usam somente fotografias aéreas, havendo, portanto, necessidade de intenso trabalho de campo.

As áreas industriais apresentam uma associação de amplos edifícios (tipo galpões), tendo como características principais:

- a) presença de chaminés;
- b) grandes construções ao longo das vias que fazem ligações externas;
- c) extensão areal das edificações; e
- d) presença de grandes pátios de estacionamento.

Com relação às áreas desocupadas, estas geralmente se localizam na periferia do núcleo urbano, apresentando padrões irregulares (solo nu ou cobertura vegetal), caracterizando-se pela ausência de ocupação humana.

4.2 - IMAGENS ORBITAIS (LANDSAT)

O uso de imagens orbitais, como as do satélite LANDSAT, permite uma visão sinótica dos padrões regionais; sua cobertura repetitiva possibilita também uma análise dinâmica da urbanização.

Para a interpretação visual das imagens, recomenda-se que sejam considerados os elementos tonalidade, textura, arranjo espacial das formas e outras feições de contexto.

Vários estudos mostraram que o canal 5 do MSS/LANDSAT é o mais apropriado para a identificação de áreas urbanas. Nesta faixa espectral, as áreas urbanas apresentam-se com tonalidade mais clara,

quando comparadas com a de seus arredores; nas composições coloridas em falsa cor, apresentam-se com tonalidade azulada, sendo distinguíveis especialmente em regiões de vegetação densa.

A textura se apresenta mais diversificada nas áreas urbanas do que nos arredores com florestas, ou nas áreas de solo preparado para cultivo (Wellar, 1969), o que auxilia a sua identificação.

Além da tonalidade e da textura, as feições de contexto são também importantes para a identificação das áreas urbanas. A rede de transportes auxilia na caracterização das cidades, pois os centros urbanos, em sua maioria, estão localizados ao longo ou bem próximos das vias de transporte.

Segundo Foresti (1978) existem alguns problemas que dificultam a identificação e delimitação das áreas urbanas. São os seguintes:

- o fenômeno da conurbação, existente em áreas metropolitanas, impede a individualização das cidades que as constituem;
- o tamanho reduzido de uma cidade dificulta a sua identificação, devido à resolução do Sistema (≈ 80 m);
- cidades com bordas de forma muito irregular dificultam a delimitação;
- áreas urbanas, localizadas em regiões de relevo movimentado, apresentam problemas de delimitação devido ao sombreamento;
- quando a franja rural-urbana é ocupada pela agricultura, há também problemas de delimitação, pois as respostas espectrais dos usos podem ser semelhantes em determinados períodos do ano. Murray (1974) recomenda, para solucionar esse problema, que se utilizem imagens de períodos chuvosos. Quando a vegetação está mais compacta, no período chuvoso ou imediatamente após, há maior contraste entre as áreas construídas e seus arredores; e

- as cidades litorâneas, de um modo geral, apresentam o problema da reflectância da areia que, em alguns casos, se assemelha às das áreas urbanas.

No estudo de áreas urbanas, com imagens LANDSAT, é muito importante o aspecto temporal, devido à característica repetitiva de imageamento, que permite o monitoramento das áreas urbanas e a detecção das tendências de crescimento. Esses trabalhos têm sido feitos, de modo geral, através de interpretação automática, por causa da possibilidade de ampliação a escalas bem maiores (até 1:50.000) e da superposição de cenas.

4.3 - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS EM ESTUDOS URBANOS

Através do uso de sensores remotos, podem ser obtidos dados a partir da observação direta e indireta. As observações diretas, nas imagens fotográficas, permitem a obtenção de informações relativas ao tamanho das cidades, aos tipos de uso do solo urbano, aos estudos dos meios de transporte, ao cadastro municipal, etc. Os dados da observação indireta dizem respeito a unidades de moradia, à estimativa da população e à renda, a qual pode ser inferida pela qualidade das habitações.

4.3.1 - Mapeamento do Uso do Solo Urbano

Os sensores fotográficos têm sido os mais utilizados em estudos urbanos, e, em particular, fotografias em branco e preto, coloridas e coloridas em falsa-cor. A importância das fotografias aéreas, nestes estudos, foi observada por diversos autores.

Para Dueker e Horton (Niero, 1978) fotografias aéreas, no infravermelho, são extremamente úteis em estudos de áreas urbanas. O realce da vegetação, obtido nessas fotografias, facilita os processos de identificação e interpretação dos diferentes tipos de uso do solo.

Niero (1978) utilizou fotografias aéreas em branco e preto, na escala 1:8.000, para o mapeamento do uso do solo urbano de São José dos Campos - São Paulo. Neste mapeamento foram inicialmente separadas as áreas urbanas das não-urbanizadas. Uma vez reconhecidas as áreas urbanas, procedeu-se à análise dos padrões de textura, de tonalidade de cinza, de arranjo espacial e de dimensão dos fenômenos. Obteve-se uma chave de interpretação para determinar a estrutura espacial interna da referida cidade. A planta urbana de São José dos Campos, na escala de 1:20.000, serviu para identificar as diferentes unidades observadas nas imagens. Concomitantemente foi realizado o trabalho de campo, com a finalidade de verificar os dados obtidos. As classes de uso de solo urbano mapeadas foram as seguintes:

- 1) Área residencial multifamiliar.
- 2) Área residencial unifamiliar.
- 3) Área institucional.
- 4) Área agrícola.
- 5) Área desocupada.
- 6) Área industrial.
- 7) Área comercial.

4.3.2 - ESTIMATIVA DE POPULAÇÃO

Segundo Lindgren (Foresti, 1978) a técnica básica para estimar a população através de fotografias aéreas é o cálculo do número de unidades de habitação dentro de uma área específica, multiplicando-se esse número pelo tamanho médio da família dentro dessa área.

Green (1957) fazendo um estudo em Birmingham, Alabama, usou fotografias aéreas em branco e preto, na escala de 1:75.000, para estimar a população. Foi um dos primeiros pesquisadores a propor a con

tagem de unidades habitacionais como método para a inferência de população de áreas urbanas.

Teixeira et alii (Foresti, 1978), para estimar a população de microáreas da zona urbana, desenvolveu um método de estimativa que, tendo grau aceitável de precisão, poderia ser aplicado à maioria das cidades brasileiras. O método baseou-se na divisão da zona urbana em "setores escolares" (definidos pela Secretaria da Educação do Estado de São Paulo) como a menor unidade territorial do estudo de população, para efeito de planejamento da rede de escolas. As estimativas foram feitas a partir dos dados do Censo de 1970, para os anos em que existiam fotografias aéreas e/ou cadastro imobiliário.

Manso e Barros (1975) utilizaram fotografias aéreas em branco e preto, na escala de 1:7.000, para o estudo da qualidade urbana da cidade de São José dos Campos. Através da análise da textura fotográfica, foi feita a divisão de áreas habitacionais em zonas homogêneas. A cada zona homogênea foi atribuída uma densidade média populacional, obtida da análise das fotografias aéreas e pesquisas de campo para cálculo da população total da cidade.

Alguns autores têm usado a variável "área urbana", para estimativas populacionais.

Foresti (1978) calculou a área urbana construída de 35 cidades no Estado de São Paulo, a partir de fotografias aéreas em branco e preto, na escala de 1:25.000, como uma forma de avaliação dos mesmos dados também obtidos de imagens MSS do LANDSAT, com o objetivo de fazer estudos de estimativas populacionais. No traçado dos limites urbanos foram considerados, nos novos loteamentos, somente as áreas já construídas. Os dados obtidos foram correlacionados aos de população urbana e o coeficiente de correlação obtido foi 0,95.

Manso et alii (1978) descrevem uma metodologia para a criação de um Banco de Dados de Áreas Livres de uma área urbana, visando o planejamento de redes de equipamentos de uso coletivo. O levanta

mento e a análise das áreas livres foi realizado através da interpretação de fotografias aéreas em branco e preto, na escala aproximada de 1:10.000. Resultados da aplicação desta metodologia são apresentados para a área urbana de São José dos Campos, como parte do processo de planejamento das suas redes físicas de equipamentos de saúde e educação.

4.4 - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT EM ESTUDOS URBANOS

Os projetos urbanos a nível de detalhe são realizados, de maneira geral, com a utilização de fotografias aéreas. No entanto, Alexander et alii (1968) mostram que o aproveitamento integrado das técnicas de sensoriamento remoto tem sido feito não só através de um número maior de sensores, atuantes em diferentes faixas do espectro eletromagnético, mas também com a utilização de satélites, como o sistema LANDSAT, para obtenção da cobertura de uma mesma área a intervalos regulares de tempo.

Wellar (1969) delimitou, com considerável precisão, as áreas urbanas, utilizando imagens do satélite Gemini 1976, nas escalas de 1:90.000 e 1:100.000.

A possibilidade de obtenção dos dados LANDSAT em fitas compatíveis com o computador é umas das características mais importantes do sistema LANDSAT, para estudos urbanos. Estas fitas permitem que grande quantidade de dados, fornecidos pelo sistema, sejam analisados de modo mais rápido através de interpretação automática.

Tod et alii (Niero, 1978), em seus estudos na área de Milwaukee, observaram que grande quantidade de informações pode ser obtida, analisando-se a escala de cinza de um único canal espectral. Entretanto, a utilização de vários canais aumenta, significativamente, a precisão da classificação automática. A região do visível permite distinção entre as áreas altamente urbanizadas, subúrbios, estradas e áreas agrícolas; a região do infravermelho diferencia o centro, as par

tes mais velhas da área metropolitana e as áreas suburbanas e agrícolas. Os mesmos autores identificaram sete categorias de uso do solo com 90% de classificação correta.

Ellefsen et alii (1973 e 1974), Smith et alii (1974), Economy et alii (1974), Odenyo e Pettry (1977) e outros, utilizaram fitas compatíveis com o computador (CCTs) em estudos urbanos.

Nero (1978) utilizou o Analisador Interativo de Imagens Multiespectrais (IMAGE-100), para determinar a separabilidade estatística das classes de uso do solo urbano de São José dos Campos, através de combinações de até quatro canais espectrais. Neste trabalho, foram comparadas diferentes opções de classificação, disponíveis no Sistema I-100: unicélula, multicélula, aquisição interativa de assinaturas e classificador de amostras "distância B". As classes de uso do solo urbano, utilizadas na análise foram:

- área residencial simples;
- área residencial multifamiliar;
- área industrial;
- área institucional;
- área comercial;
- área desocupada;
- área agrícola.

Os resultados mostraram que ocorre um aumento do valor da medida de separabilidade, quando se aumenta o número de canais utilizados. O aumento da separabilidade corresponde a uma melhor discriminação das classes e, conseqüentemente a um menor erro de classificação.

As classes que apresentaram maior separabilidade foram:

- multifamiliar/desocupada;
- multifamiliar/agrícola;
- comercial/agrícola;
- desocupada/residencial;
- agrícola/residencial.

Os pares de classes que apresentaram maior superposição quanto à separabilidade foram:

- institucional/residencial;
- multifamiliar/industrial;
- desocupada/agrícola;

Foresti (1978) usou dados do MSS/LANDSAT para desenvolver uma metodologia de utilização de imagens e fitas compatíveis com o computador (CCTs), para monitoramento do crescimento de áreas urbanas e estimativas populacionais em períodos intercensitários. O estudo de modelos de estimativas populacionais foi desenvolvido, utilizando-se 70 áreas testes, identificadas através de interpretação visual no canal 5/MSS, na escala de 1:500.000. A determinação quantitativa da área urbana foi feita através do método de contagem, utilizando-se malha milimetrada.

A seguir foi estabelecida a relação entre as áreas urbanas, medidas nas imagens, e os dados de população, estimados a partir do censo demográfico de 1970. Foi encontrada a relação de 0,97 entre área urbana e população para as 70 cidades estudadas, resultado este que demonstrou a viabilidade de utilização de imagens orbitais em estimativas de população para períodos intercensitários.

Foresti (1978) utilizou ainda o IMAGE-100 para o monitoramento do crescimento da área urbana de São José dos Campos. O estudo foi realizado através da superposição de duas imagens (08/09/72 e 26/06/76), e classificação automática da área urbana para as duas datas.

O grande crescimento da área urbana de São José dos Campos, no período estudado, (1972 a 1976), foi caracterizado, especialmente, pelo aumento e diversificação nos tipos de uso do solo urbano industrial e residencial unifamiliar. O cálculo da área urbana pelo método automático foi de 30 km², para 1972 e 41 km², para 1976, representando uma expansão em superfície de 37%, em aproximadamente 4 anos. A superposição da área total, classificada no I-100, nas duas datas analisadas, mostrou uma tendência de expansão urbana, especialmente segundo o eixo rodoviário Rio-São Paulo, a NE e SE de São José dos Campos.

Foresti et alii (1978) avaliaram a taxa de crescimento da área metropolitana de São Paulo, a partir de 1973, utilizando dados do Sistema LANDSAT, analisados através de interpretação visual e automática. A análise visual foi realizada em imagens no canal 5, na escala de 1:250.000, para os anos de 1973, 1975 e 1977. Na interpretação automática utilizou-se a opção de "Máxima Verossimilhança", disponível no I-100. A utilização de dados do Sistema LANDSAT é de grande importância para o estudo de áreas que estão apresentando intenso processo de urbanização, como é o caso da área metropolitana de São Paulo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, R.V.; BOWDEN, L.W.; MARBLE, D.F.; WOORE, E.G. Remote Sensing of urban environment. In: SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 5., Ann Arbor, MI, 1968. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, Willian Run Laboratories, 1968, p. 889-911.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. Washington, DC, George Banta, 1960.
- . *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, VA, 1975. v. 1/2.
- ANDERSON, J.R.; HARDY, E.E.; ROACH, J.T.; WITNER, R.E. *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data*. Washington, DC, U.S. Geological Survey, 1976. (Paper nº 964).
- BOWDEN, L.W. Urban environments: inventory and analysis. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Remote Sensing*, Falls Church, VA, 1975. v. 2, Cap. 23, p. 1815-1880.
- ECONOMY, R.; GOODNOUGH, D.; RYERSON, R.; TOWLES, R. Classification accuracy of the Image-100. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2., Guelph, Ontario, 1974. *Proceedings*. Ottawa, Campbell, 1974, p. 278-287.
- ELLEFSEN, R.; SWAIN, P.; WRAY, J. Land use mapping by machine processing of ERTS-1 multispectral data: a San Francisco Bay area example. In: CONFERENCE ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, West Lafayette, IN, 1973. *Proceedings*. New York, IEEE, 1973, p. 2A-7-2A-22.
- ELLEFSEN, R.; GAYDOS, L.; SWAIN, P.; WRAY, J. New techniques in mapping urban land use and monitoring change for selected U.S. metropolitan areas: an experiment employing computer-assisted analysis of ERTS-1 MSS data. In: SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING AND PHOTO INTERPRETATION, Banff, Alberta, 1974. *Proceedings*. Banff, Alberta, ISP, 1974, v. 1, p. 51-64. (ISP Commission, 7).
- ESTES, J.E.; SIMONETT, D. Fundamentals of image interpretation. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Remote Sensing*, Falls Church, VA, 1975, v. 2, Cap. 14, p. 869-881.

- FOOD AGRICULTURAL ORGANIZATION (FAO). *The uses of side looking airborne radar imagery for tropical forest surveys*. Roma, 1975. (paper nº FO:MISC/75/10).
- FISCHER, W.A. History of remote sensing. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of remote sensing*, Falls Church, VA, 1975, v. 1, Cap. 2, p. 27-50.
- FORESTI, C. *Estimativas populacionais e de crescimento de áreas urbanas no Estado de São Paulo, com utilização de imagens LANDSAT*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1978. (INPE-1298-TDL/095).
- FORESTI, C.; NIERO, M.; SANCHES, M.C. Avaliação do crescimento da área metropolitana de São Paulo através da análise visual e automática. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 1., São José dos Campos, 27-29 nov., 1978.
- GENERAL ELECTRIC (GE). *Image-100 interactive multispectral image analysis system; user manual*. Daytona, 1975.
- GREEN, N.E. Aerial photographic interpretation and the social structure of city. *Photogrammetric Engineering*, 23(3):89-96, Mar. 1957.
- HARD, M.R.; BROONER, W. Land use map accuracy criteria. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42(5):671-678, May 1976.
- HARDY, E.E.; ANDERSON, J.R. A land use classification system for use with remote sensor data. In: CONFERENCE ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, West Lafayette, IN, 1973. *Proceedings*. New York, IEEE, 1973, p. 2A-1 - 2A-6.
- HOFFER, R.G.; HOLMES, R.A. SHAY, J.R. Vegetative, soil, and photographic factors affecting tone in agricultural remote multispectral sensing. In: SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 4., Ann Arbor, MI, 1966. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, Willian Run Laboratories, 1966, p. 115-134.

- JOHNSON, C.W.; COLEMAN, V. Semi-automatic crop inventory from sequential ERTS-1 imagery. In: NASA. *Symposium on significant results obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1*, Proceedings of the Symposium held at New Carrollton, Maryland, Mar. 5-9, 1973. Washington, DC, 1973, v. 1A, p. 19-26
- KOFFLER, N.F.; CAVALLI, A.C.; CHIARINI, J.V.; NOGUEIRA, F.P. Inventário canavieiro com auxílio de fotografias aéreas. *Planalsucar*, 1(2):3-38, dez. 1979.
- LINZ Jr., H.F. Land use mapping from SKYLAB S.190B photography. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(3):301-302, Mar. 1976.
- LINTZ Jr., J.; SIMONETT, D.S. *Remote sensing of environment*. Reading, MA, Addison Wesley, 1976.
- LOMBARDO, M.A.; NOVO, E.M.L.M.; NIERO, M.; FORESTI, C. *Uso da terra no Vale do Paraíba através de dados de sensoriamento remoto - relatório final*. São José dos Campos, INPE, dez. 1980. (INPE-1972-RPE/278).
- MANSO, A.P.; BARROS, M.S.S. *Qualidade urbana: obtenção de dados de uma realidade e modelos para sua análise*. São José dos Campos, INPE, fev. 1975. v. 1. (INPE-LAFE-608).
- MANSO, A.P.; OLIVEIRA, M.L.N.; BARROS, M.S.S. Banco de Dados: levantamento e análise de áreas livres através de sensoriamento remoto. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 1., São José dos Campos, 27-29 nov., 1978.
- MARCHETTI, D.A.B.; GARCIA, G.J. *Princípios de fotogrametria e fotointerpretação*. São Paulo, Nobel, 1978.
- MORAIN, S.A.; SIMONETT, D.S. *Vegetation analysis with radar imagery*. Lawrence, KS, The University of Kansas, 1966. (CRES Report nº 61-9).
- MURAY, S. Estimation of population density in Tokio Districts from ERTS-1 data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 9., Ann Arbor, MI, 1974. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, Willian Run Laboratories, 1974, v. 1, p. 13-22.

- NIERO, M. *Utilização de dados orbitais do LANDSAT-1 na classificação de uso do solo urbano de São José dos Campos*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1978. (INPE-1295-TPT/093).
- NIERO, M.; LOMBARDO, M.A. *Uso de técnicas de interpretação automática na determinação de classes funcionais de uso da terra no Vale do Paraíba*. São José dos Campos, INPE, mar. 1979. (INPE-1426-TPI/001).
- NIEVWENHUIS, E.; TRUSTRUM, N.A. Microrelief and stone distribution patterns in land type and soil genesis. *ITC Journal*, (3):445-464, 1978.
- NOVO, E.M.L.M. *Projeto UTVAP - Análise comparativa entre fotografias aéreas convencionais e imagens do LANDSAT para fins de levantamento do uso da terra*. São José dos Campos, INPE, ago. 1979. (INPE-1542-NTE/152).
- NUNNALLY, N.R. Integrated landscape analysis with radar imagery. *Remote Sensing of Environment*, 1(1):1-6, 1969.
- NUNNALLY, N.R.; WITMER, R.E. *A strategy for developing classification of land use as interpreted from remote sensor imagery*. Boca Raton, FL, Florida, Atlantic University, 1968. (Tech. Rept. nº 1).
- ODENYO, V.A.O.; PETTRY, D.E. Land use machine processing of LANDSAT-1 data. *Photogrammetric Engineering*, 43(4):515-524, Apr. 1977.
- SAGREDO, F.L.; SALINAS, F.G. Identification of large masses of citrus fruit and rice fields in Eastern Spain. In: NASA. *Symposium on significant results obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1*, Proceedings of the Symposium held at New Carrollton, Maryland, Mar. 5-9, 1973. Washington, DC, 1973, v. 1A, p. 35-36.
- SMITH, J.; HORNING, R.; BERRY, J. Application of spatial features to satellite land-use analysis. In: SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING AND PHOTO INTERPRETATION, Banff, Alberta, 1974. *Proceedings*. Banff, Alberta, ISP, 1974, v. 1, p. 23-27. (ISP Commission, 7).

- SMIT, G.S. *Star for forest typing in a semi-deciduous tropical region; a case study of the Mahogany forest region, State of Goiás, Brazil.* Enschede, Netherlands, International Institute for Aerial Survey and Earth Science (ITC), 1978.
- VASCONCELOS, H.O.; CASTRO, J.A.B.; DRUMMOND, O.A.; BATISTA, G.T.; TARDIN, A.T. *Deteção de fumagina ("Capnodium citri", Webber) em citrus através de sensores remotos usando filme infravermelho colorido.* São José dos Campos, INPE, out. 1976. (INPE-955-NTE/070).
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. *Sistema MAXVER; Manual do usuário.* São José dos Campos, INPE, jul. 1978. (INPE-1315-NTI/110).
- WELLAR, B.S. The role of space photography in urban and transportation data series. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 6., Ann Arbor, MI, 1969. *Proceedings.* Ann Arbor, MI, Willian Run Laboratories, 1969, v. 2, p. 831-854.
- WESTIN, F.C.; LEMMER, G.D. LANDSAT spectral signatures: studies with soil associations and vegetation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44(3):315-325, Mar. 1978.
- WILLIAMS, D.L.; MORAIN, S.A.; BARKER, B.; COINER, J.C. Identification of winter wheat from ERTS-1 imagery. In: NASA. *Symposium on significant results obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1*, Proceedings of the Symposium held at New Carrollton, Maryland, Mar. 5-9, 1973. Washington, DC, 1973, v. 1A, p. 11-18.