



AUTORES AUTHORS	PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS		AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY
	ÁREA URBANA DISTÂNCIA JM ESTATÍSTICA KAPPA		 Ralf Gielow Pres. Cons. Pós-Graduação

AUTOR RESPONSÁVEL RESPONSIBLE AUTHOR	DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION	REVISADA POR / REVISED BY
 Sandra M.F. da Costa	<input type="checkbox"/> INTERNA / INTERNAL <input checked="" type="checkbox"/> EXTERNA / EXTERNAL <input type="checkbox"/> RESTRITA / RESTRICTED	 Celina Foresti

CDU/UDC	DATA / DATE
528.711.7:711.4	ABRIL, 1990

TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO	ORIGEM ORIGIN				
	INPE-5071-TDL/410	PG/DPA				
AUTORES/AUTHORSHIP	AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGI- TITAL DE IMAGENS TM-LANDSAT APLICADAS À DELIMITAÇÃO DE ÁREAS URBANAS	PROJETO PROJECT				
		SER				
	Sandra Maria Fonseca da Costa	<table border="1"> <tr> <td>Nº DE PAG. NO OF PAGES</td> <td>ULTIMA PAG. LAST PAGE</td> </tr> <tr> <td>125</td> <td>110</td> </tr> </table>	Nº DE PAG. NO OF PAGES	ULTIMA PAG. LAST PAGE	125	110
Nº DE PAG. NO OF PAGES	ULTIMA PAG. LAST PAGE					
125	110					
		<table border="1"> <tr> <td>VERSÃO VERSION</td> <td>Nº DE MAPAS NO OF MAPS</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	VERSÃO VERSION	Nº DE MAPAS NO OF MAPS		
VERSÃO VERSION	Nº DE MAPAS NO OF MAPS					

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

O sensoriamento remoto orbital pode ser utilizado para subsidiar os estudos urbanos, dada a possibilidade de obter imagens de âmbito regional e informações em tempo quase real, o que permite a definição dos limites e o monitoramento urbano. Neste trabalho utilizaram-se os dados do sensor Thematic Mapper (TM), em CCT, da cidade de São José dos Campos, SP, para: 1) identificar a melhor banda do sensor TM, através da distância JM, na separabilidade entre a área urbana e a área não-urbana; 2) selecionar, através da estatística Kappa, entre as técnicas de processamento digital, ampliação linear de contraste, razão de canais, índice de vegetação e principais componentes, a que melhor define os limites urbanos. Foram analisados os períodos seco (06/08/86) e chuvoso (09/12/85). Os resultados obtidos demonstraram que a banda 1, no período seco, e a banda 3, no período chuvoso, tiveram o melhor desempenho na separação das classes urbana/não-urbana. A técnica principais componentes apresentou os maiores valores de concordância com a imagem padrão na definição do limite urbano.

OBSERVAÇÕES / REMARKS

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovado em 10 de outubro de 1989.



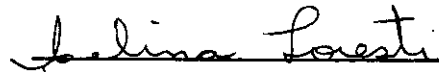
Aprovada pela Banca Examinadora  
em cumprimento a requisito exigido  
para a obtenção do Título de Mestre  
em Sensoriamento Remoto

Dr<sup>ª</sup> Evlyn M. Leão de Moraes Novo



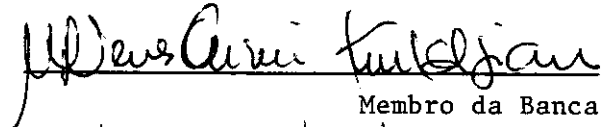
Presidente

Dr<sup>ª</sup> Celina Foresti



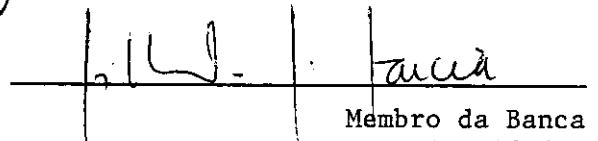
Orientadora

Dr<sup>ª</sup> Maria de Lourdes N.O. Kurkdjian



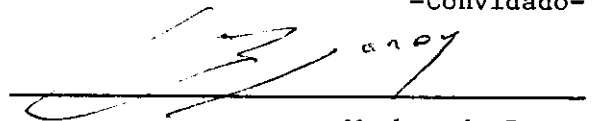
Membro da Banca

Dr. Gilberto Garcia



Membro da Banca  
-Convocado-

Dr. Gerald Jean Francis Banon



Membro da Banca

Candidata: Sandra Maria Fonseca da Costa

São José dos Campos, 10 de outubro de 1989



Dedico este trabalho  
aos meus pais



## AGRADECIMENTOS

À Dra. Celina Foresti, pela orientação, apoio e colaboração.

Aos funcionários do Laboratório de Tratamento Digital de Imagens, pela colaboração indispensável na coleta de dados.

À Dra. Evlyn Márcia L.M. Novo e Dalton de Morrison Valeriano, pelas sugestões apresentadas.

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais, CNPq e FAPESP, pelo auxílio financeiro e técnico, sem os quais tornar-se-ia impossível a realização deste trabalho.

À Rosana D. Garcia de Arantes Gonçalves, pela datilografia e Marília Prado de Carvalho, pela revisão de Português.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.





### ABSTRACT

The orbital remote sensing can be used to help urban studies, owing to the possibility of obtaining images of regional ambit and quasi-real time information, allowing the limits definition and urban monitoring. In this work we used Thematic Mapper Sensor (TM) data, in CCT, of São José dos Campos city, São Paulo State, to: 1) identify the best band of TM sensor, through JM distance, in the separability between the urban and non-urban areas; 2) select, through Kappa statistics, among the digital processing techniques, contrast-stretch, channel ratio, vegetation index and principal components, the one that best defines the urban limits. The dry season (06/08/80) and the wet season (09/12/85) were analysed. The results obtained proved that band 1, in the dry season, and band 3, in the wet season, had the best performance in the separability of urban/non-urban categories. The principal components technique presented the great values of agreement with the standard image in definition of the urban limit.



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xv
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....	1
<u>CAPÍTULO 2 - CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS</u> .....	3
2.1 - Comportamento espectral de alvos urbanos.....	3
2.2 - Separabilidade estatística de classes: o método "Seleção de Atributos".....	8
2.3 - Técnicas de processamento digital aplicadas à delimitação de áreas urbanas e à detecção de mudanças.....	11
2.3.1 - Técnicas de realce.....	11
2.3.1.1 - Ampliação linear de contraste.....	11
2.3.1.2 - Razão de canais.....	12
2.3.1.3 - Índice de vegetação razão.....	15
2.3.1.4 - Principais componentes.....	16
2.4 - Classificação automática: o algoritmo de Máxima Verossimilhança .....	18
2.4.1 - Critério de seleção de amostras para a realização da classificação supervisionada.....	19
2.5 - Estatística Kappa: uma medida de concordância entre classificação.....	20
2.6 - Técnicas de análise multitemporal.....	24
2.6.1 - Registro de imagens.....	25
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODO</u> .....	29
3.1 - Material.....	29
3.1.1 - Descrição da área teste.....	29
3.1.2 - Dados utilizados.....	32
3.1.2.1 - Dados do Landsat 5: "Thematic Mapper" .....	32
3.1.2.2 - Fotografias aéreas.....	34
3.1.2.3 - Dados demográficos, de industrialização e de urbanização.....	34
3.2 - Metodologia.....	35

3.2.1 - Seleção das passagens do TM-LANDSAT.....	35
3.2.2 - Classes utilizadas.....	37
3.2.3 - Seleção de atributos para a escolha do melhor canal individual.....	38
3.2.4 - Processamento digital: realce de imagens.....	38
3.2.4.1 - Ampliação linear de contraste.....	38
3.2.4.2 - Razão de canais.....	39
3.2.4.3 - Principais componentes.....	39
3.2.4.4 - Índice de vegetação.....	39
3.2.5 - Análise dos dados.....	39
3.2.6 - Análise multitemporal.....	40
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u>	43
4.1 - Seleção da melhor banda TM através da distância JM.....	43
4.2 - Avaliação dos processamentos digitais.....	61
4.3 - Classificação das Imagens/Produto através do MAXVER.....	77
4.4 - Exatidão da Classificação através da Estatística Kappa....	91
4.5 - Análise multitemporal.....	96
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....</u>	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
BIBLIOGRAFIA.....	

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Parâmetros que afetam a reflectância aparente do alvo.....	4
2.2 - Reflectância espectral de alguns alvos urbanos.....	6
2.3 - Comportamento espectral de alguns alvos urbanos.....	7
2.4 - Transformação do nível de cinza.....	12
2.5 - Diagrama em duas dimensões, como exemplo de rotação $\theta$ e translação para nova origem do método das componentes principais.....	17
2.6 - Ilustração do espaço de busca.....	26
3.1 - Localização da área teste: cidade de São José dos Campos..	30
3.2 - Evolução das populações urbana e rural do município de São José dos Campos.....	31
3.3 - Fluxograma da metodologia utilizada.....	36
4.1 - Imagens da cidade de São José dos Campos na banda 1: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85)....	45
4.2 - Imagens da cidade de São José dos Campos na banda 2: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85)....	46
4.3 - Imagens da cidade de São José dos Campos na banda 3: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85)....	47
4.4 - Imagens da cidade de São José dos Campos na banda 4: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/89)...	48
4.5 - Imagens da cidade de São José dos Campos na banda 5: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/89)....	49
4.6 - Imagens da cidade de São José dos Campos na banda 7: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85)....	50
4.7 - Nível de cinza médio das classes utilizadas nos períodos seco e chuvoso, por banda TM.....	51
4.8 - Histograma das imagens da cidade de São José dos Campos na banda 1: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).....	52
4.9 - Histogramas das imagens da cidade de São José dos Campos na banda 2: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/89).....	53
4.10 - Histogramas das imagens da cidade de São José dos Campos na banda 3: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).....	54
4.11 - Histogramas das imagens da cidade de São José dos Campos na banda 4: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).....	55

4.12 - Histogramas das imagens da cidade de São José dos Campos na banda 5: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).....	56
4.13 - Histogramas das imagens da cidade de São José dos Campos na banda 7: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).....	57
4.14 - Banda 1 do TM, com ampliação linear de contraste, referente à cidade de São José dos Campos: período seco (06/08/86).....	62
4.15 - Banda 3 do TM, com ampliação linear de contraste, - referente à cidade de São José dos Campos: período seco (06/08/86).....	63
4.16 - Banda 3 do TM, com ampliação linear de contraste, referente à cidade de São José dos Campos: período chuvoso (09/12/85).....	63
4.17 - Razão entre as bandas 5 e 7 do período seco (06/08/86)...	64
4.18 - Razão entre as bandas 5 e 7 do período chuvoso (09/12/85)	65
4.19 - Índice de vegetação referente ao período seco (06/08/86).	66
4.20 - Índice de vegetação referente ao período chuvoso (09/12/85).....	67
4.21 - Imagens principais componentes resultantes da transformação das 6 bandas TM referentes ao período seco (06/08/86).....	68
4.22 - Composição colorida das três primeiras componentes referentes ao período seco: 1ª PC vermelho; 2ª PC verde; 3ª PC azul.....	72
4.23 - Imagens principais componentes resultantes da transformação das 6 bandas TM referentes ao período chuvoso (09/12/85).....	73
4.24 - Composição colorida das três primeiras componentes referentes ao período chuvoso: 1ª PC vermelho; 2ª PC verde; 3ª PC azul.....	75
4.25 - Classificação MAXVER sobre a banda 1, referente ao período seco.....	78
4.26 - Classificação MAXVER sobre a banda 3, referente ao período seco.....	80
4.27 - Classificação MAXVER sobre a banda 3, referente ao período chuvoso.....	81
4.28 - Classificação MAXVER sobre a razão de canais, referente ao período seco.....	83
4.29 - Classificação MAXVER sobre a razão de canais, referente ao período chuvoso.....	84

4.30 - Classificação MAXVER sobre o índice de vegetação, referente ao período seco.....	86
4.31 - Classificação MAXVER sobre o índice de vegetação, referente ao período chuvoso.....	87
4.32 - Classificação MAXVER sobre o método principais componentes referente ao período seco.....	89
4.33 - Classificação MAXVER sobre o método principais componentes referente ao período chuvoso.....	90
4.34 - Imagem padrão.....	92
4.35 - Composição colorida multitemporal das passagens de 06/08/86 e 12/09/88, utilizando a primeira principal componente de cada passagem: cidade de São José dos Campos...	96





## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Matriz de similaridade .....	22
3.1 - Número de operários e estabelecimentos industriais da cidade de São José dos Campos no período de 1960 a 1980.....	32
3.2 - Bandas espectrais do sensor TM.....	33
3.3 - Produtos TM utilizados.....	34
3.4 - Precipitação média para dois meses antes das passagens....	37
4.1 - Matriz de correlação referente aos períodos seco e chuvoso	58
4.2 - Ordenação das melhores bandas TM através da distância JM..	60
4.3 - Alguns resultados estatísticos do processamento transformação por componentes principais das 6 bandas TM do período seco.....	70
4.4 - Alguns resultados estatísticos do processamento transformação por componentes principais das 6 bandas TM do período chuvoso.....	76
4.5 - Matriz de classificação da banda 1 - período seco.....	79
4.6 - Matriz de classificação da banda 3 - período seco.....	80
4.7 - Matriz de classificação da banda 3 - período chuvoso.....	82
4.8 - Matriz de classificação da razão de canais entre as bandas 5 e 7 - período seco.....	83
4.9 - Matriz de classificação da razão de canais entre as bandas 5 e 7 - período chuvoso.....	85
4.10 - Matriz de classificação do índice de vegetação - período seco .....	86
4.11 - Matriz de classificação do índice de vegetação - período chuvoso.....	88
4.12 - Matriz de classificação do método principais componentes - período seco.....	89
4.13 - Matriz de classificação do método principais componentes - período chuvoso.....	91
4.14 - Valores de Kappa para cada produto por período.....	93



## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

O monitoramento do crescimento das cidades torna-se necessário para que se possa evitar alguns problemas advindos de uma expansão urbana desordenada, tais como a ocupação de áreas impróprias ao assentamento urbano, falta de moradia para a população em crescimento, carência de infraestrutura básica etc.

Neste sentido, o sensoriamento remoto é aceito como um importante instrumento de auxílio às pesquisas urbanas, pois o monitoramento da expansão de cidades pode ser realizado em tempo quase real.

A constante transmissão de dados por sensores, localizados a bordo de satélites de recursos naturais (série LANDSAT e SPOT), sobre uma mesma área, possibilita captar as tendências de expansão urbana a um custo relativamente baixo, quando comparado com outros tipos de levantamento, como, por exemplo, levantamentos aerofotogramétricos.

Algumas técnicas de processamento digital de imagens orbitais, aplicadas às áreas urbanas, auxiliam no reconhecimento de padrões, permitindo a visualização mais precisa dos limites urbanos, o que facilita, assim, os estudos sobre a expansão urbana.

Neste contexto, este trabalho utilizou imagens digitais obtidas pelo sensor Thematic Mapper (TM), da cidade de São José dos Campos, SP, tendo como objetivo fundamental a análise dos dados TM-LANDSAT e avaliação de algumas diferentes técnicas de realce digital destes dados para estudo de delimitação de áreas urbanas.

Foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- identificar a melhor banda do sensor TM que, individualmente, separe a área urbana da área não-urbana, nos períodos seco e chuvoso;

- avaliar as diferentes técnicas de processamento digital, selecionando a que melhor define os limites urbanos, nos períodos seco e chuvoso.

A execução destes objetivos facilitará a escolha dos melhores produtos a serem utilizados em trabalhos relacionados a problemas urbanos, auxiliando os usuários dos produtos LANDSAT.

## CAPÍTULO 2

### CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Existem numerosos trabalhos que comprovam a utilização de dados orbitais em estudos urbanos. Alguns demonstram a preocupação dos autores em aprimorar as técnicas responsáveis por uma melhor visualização dos alvos urbanos, estudando o comportamento espectral desses alvos.

Várias técnicas de processamento digital são utilizadas tanto para facilitar a delimitação de áreas urbanas como para estudar a expansão urbana.

Neste capítulo serão discutidos o comportamento espectral de alvos urbanos e várias técnicas de processamento digital aplicadas aos estudos urbanos. Serão apresentados, também, alguns trabalhos relacionados com estes estudos.

#### 2.1 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS URBANOS

De acordo com o objeto de estudo deste trabalho (área urbana), tem-se necessidade de conhecer um pouco mais o comportamento espectral dos alvos urbanos, pois estes alvos formam o conjunto urbano.

Desta forma, sendo o sensoriamento remoto uma técnica que permite o registro das variações espectrais da reflectância dos alvos, tendo como resultado uma imagem passível de ser interpretada, a assinatura espectral de um alvo representa como e quanto este alvo reflete ou emite no espectro eletromagnético.

Segundo Jensen (1986), a assinatura espectral de um alvo não é constante. Ela depende da relação geométrica entre a energia incidente e o ângulo de visada do sensor, dos efeitos atmosféricos e das propriedades físicas do alvo (Fig. 2.1).

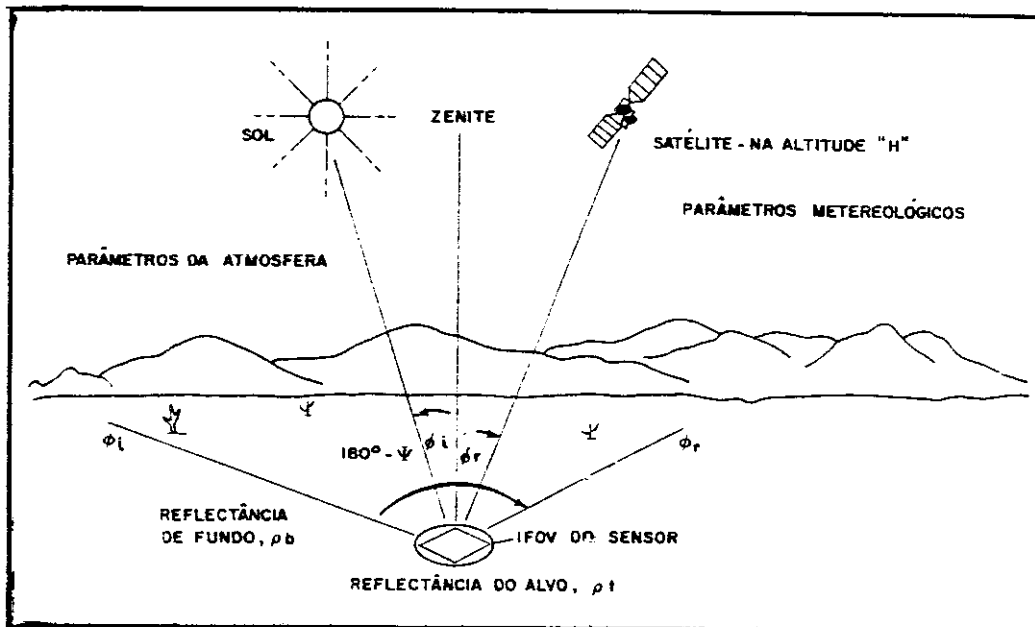


Fig. 2.1 - Parâmetros que afetam a reflectância aparente do alvo.  
 FONTE: Adaptada de Bowker et al. (1985).

Na Fig. 2.1 podem-se observar os elementos que alteram a reflectância aparente do alvo. A geometria de visada ( $\phi_i$  e  $\phi_r$ ), os parâmetros meteorológicos, os parâmetros ótico-atmosféricos, as características do alvo e a reflectância de fundo influenciam a determinação da reflectância do alvo estudado.

Com o aumento de  $\phi_i$ , menor será a radiância solar incidente na superfície e menor será o valor da reflectância detectada pe-

lo observador. podendo-se superestimar a reflectância real; o efeito é similar para  $\phi_r$ .

A presença de nuvens também altera o valor da reflectância captada pelo sensor, assim como um alto nível de umidade na atmosfera favorece o aumento das partículas em suspensão, interferindo na resposta do alvo.

Existe também a possibilidade de superfícies adjacentes ao alvo estudado contribuírem com sua reflectância para a reflectância do alvo de interesse, reflectância de fundo, o que altera, o valor captado pelo sensor.

A maioria desses problemas pode ser corrigida, mas não evitada, durante a medida da reflectância.

A reflectância de um alvo pode ser medida de três maneiras: em laboratório, em campo, ou através de um satélite. Estes estudos fornecem, geralmente, resultados diferentes para um mesmo alvo.

Como já foi visto, a área urbana é composta de alvos diferentes, tais como concreto, asfalto (ruas e avenidas), telhados de diversos materiais, solo exposto, grama, árvores, etc.

Jensen (1983) estruturou um gráfico de reflectância para algumas feições tipicamente urbanas, as quais foram medidas com um espectralradiômetro (Fig. 2.2). Este gráfico fornece a distribuição de reflectância do material em função do comprimento de onda.

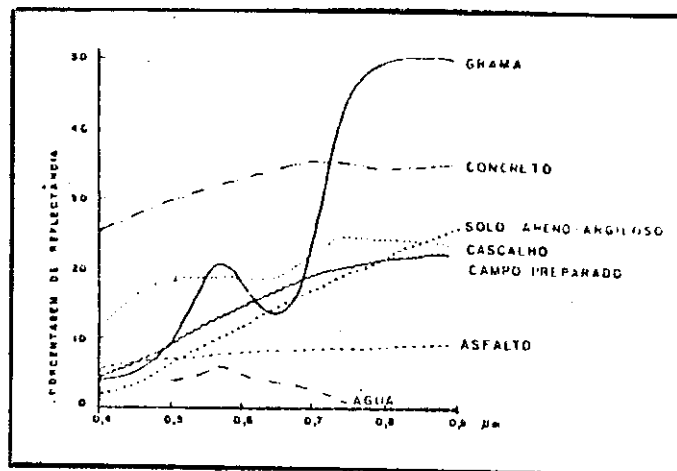


Fig. 2.2 - Reflectância espectral de alguns alvos urbanos.  
 FONTE: Adaptada de Jensen (1983).

Bowker et al. (1985) mediram diversos alvos urbanos em laboratório e obtiveram o seguinte gráfico:



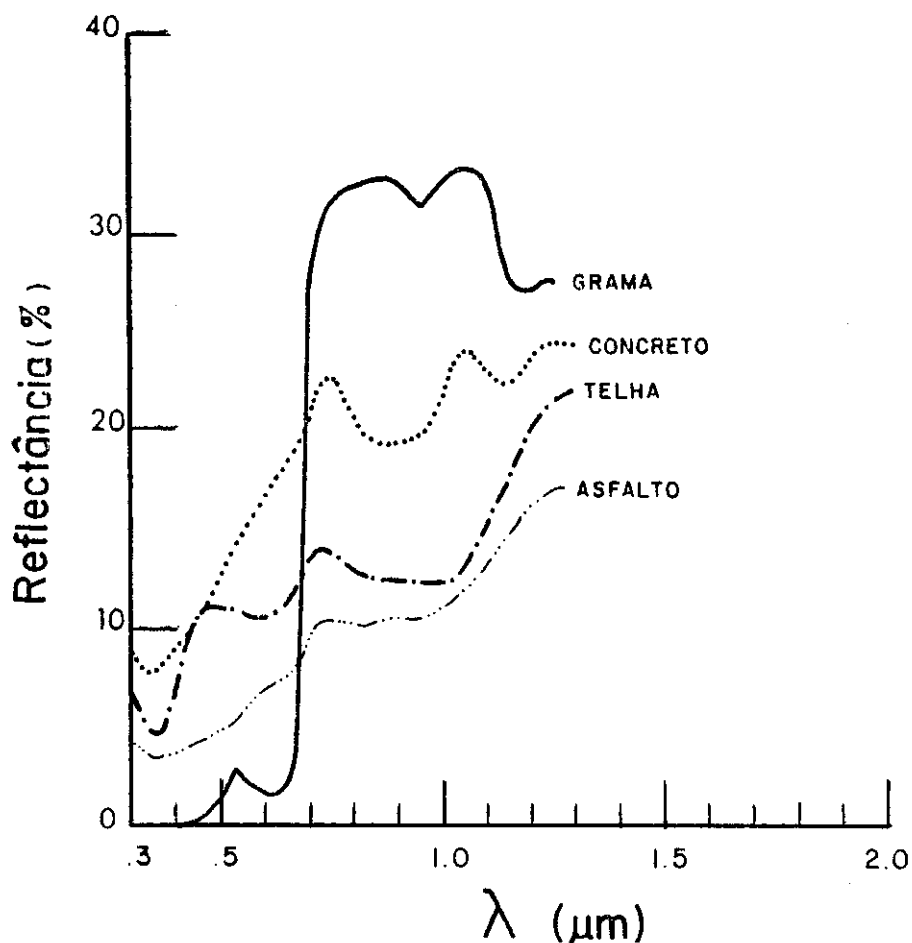


Fig. 2.3 - Comportamento espectral de alguns alvos urbanos.  
 FONTE: Adaptada de Bowker et al. (1985).

Como pode ser notado nos dois gráficos, tanto o asfalto e o concreto, quanto a grama e a telha, apresentam derivada positiva da região do vermelho ao infravermelho, ou seja, suas reflectâncias sofrem um aumento.

O asfalto, o concreto e a telha, alvos mais comuns em áreas urbanas, possuem um pico de reflectância na região do vermelho (0,61 a 0,69 μm) e uma área de absorção na região do infravermelho próximo (em torno de 0,9 μm), de acordo com a Figura 2.3.

Na Figura 2.2 o pico de reflectância do concreto pode ser constatado também na região do vermelho.

A identificação e delimitação de áreas urbanas devem ser realizadas em imagens bem contrastadas; as imagens do período chuvoso apresentam maior contraste entre os diferentes alvos, como foi demonstrado por Foresti (1978) e Murai (1974).

Para Forster (1981), uma das maiores dificuldades na análise dos dados MSS é a complexidade da paisagem urbana, a qual exhibe extrema heterogeneidade de superfícies, ocorrendo mudanças inter e intra-"pixel". Em geral, existe uma série de problemas relacionados com o MSS, sendo os principais: resolução espacial (80 metros), resolução espectral (4 bandas), a influência atmosférica e a variação temporal no ângulo solar.

Forster e Jones (1988) estudaram a relação entre a densidade residencial obtida através das imagens SPOT e das imagens TM. Utilizaram, para isso, imagens SPOT e TM adquiridas sobre a cidade de Sydney, Austrália, durante o período de 1985 a 1986. Concluíram que os resultados para a banda XS 2 do SPOT são mais significativos do que os resultados para as bandas do TM.

Segundo estes autores, a alta resolução espacial dos dados do SPOT e do LANDSAT-TM provê resultados mais satisfatórios do que os dados do MSS.

## 2.2 - SEPARABILIDADE ESTATÍSTICA DE CLASSES: O MÉTODO "SELEÇÃO DE ATRIBUTOS"

Em Dutra et al. (1984), a relação entre o número de atributos utilizados na classificação de um padrão e o tempo computacional deve ser inversamente proporcional, isto é, quando maior o número de atributos, menor deve ser o tempo computacional. Surge, então, o problema básico da seleção de atributos em classificação de padrões:

- Dado um conjunto de N canais, escolher o melhor subconjunto de K canais a serem utilizados para a classificação, nos quais se busca um compromisso ótimo entre precisão na classificação e o tempo/custo computacional.

O conceito de "distância" entre as densidades de probabilidade, que caracterizam as classes padrão, é uma medida estatística de aproximação que tem sido muito investigada e utilizada.

Mesmo não sendo ideais, diversas distâncias têm a propriedade de possuir limites superior e/ou inferior para a probabilidade de erros associados a elas. Como exemplos de distâncias estatísticas que possuem esta característica, podem-se citar a Divergência, a Divergência Transformada, a Distância de Bhattacharyya (Distância B) e sua relacionada Distância Jeffreys-Matusita (Distância JM).

A escolha dos melhores subconjuntos de bandas espectrais a partir da aplicação de um destes métodos varia de acordo com as informações, conhecidas em estudo, da área de aplicação, da preferência do analista e das limitações técnicas inerentes ao método.

Segundo Ii (1982), a distância JM é a técnica mais indicada, pois proporciona melhor precisão na escolha dos atributos. Ela procura maximizar a menor distância entre as classes e minimizar o tempo computacional.

Matematicamente, a distância JM é dada por:

$$d_{JM}^2 = 2(1-\rho) = d_{JM} = \sqrt{2(1-\rho)}, \quad (2.1)$$

onde  $\rho$  = coeficiente de Bhattacharyya, dado por:

$$\rho = \int_{-\infty}^{+\infty} \sqrt{p(x/w_1) p(x/w_2)} dx, \quad (2.2)$$

onde  $p(x/w_1)$  e  $p(x/w_2)$  são as densidades de probabilidade associadas ao modelo.

Em particular, para densidades gaussianas, a distância JM é dada por:

$$\rho = e^{-\alpha} \text{ e } d_{JM} = \sqrt{2(1-e^{-\alpha})}, \quad (2.3)$$

onde:

$$\alpha = \frac{1}{8} (\vec{M}_1 - \vec{M}_2)^t C (\vec{M}_1 - \vec{M}_2) + \frac{1}{2} \ln \left[ \frac{\det C}{\det S_1 \cdot \det S_2} \right],$$

visto que:

$\vec{M}_1$  = vetor médio da classe 1;

$\vec{M}_2$  = vetor médio da classe 2;

$S_1$  = matriz de covariância da classe 1;

$S_2$  = matriz de covariância da classe 2;

$C = (1/2)(S_1 + S_2)$ ;

$(.)^t$  = matriz transposta.

Desde que  $0 \leq e^{-\alpha} \leq 1$ , a distância JM (Equação 2.3) varia de 0 a  $\sqrt{2}$ , com a  $\sqrt{2}$  correspondendo ao maior valor de separação entre duas classes.

## 2.3 - TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL APLICADOS À DELIMITAÇÃO DE ÁREAS URBANAS E À DETECÇÃO DE MUDANÇAS

### 2.3.1 - TÉCNICAS DE REALCE

As técnicas de realce têm a finalidade de modificar, através de funções matemáticas, os níveis de cinza, ou valores digitais de uma imagem, de modo a melhorar o contraste dos alvos, visando facilitar sua visualização para o fotointérprete.

Existem várias técnicas de realce que são mais frequentemente utilizadas em estudos de áreas urbanas, como: ampliação linear de contraste, razão de canais, componentes principais e índice de vegetação.

#### 2.3.1.1 - AMPLIAÇÃO LINEAR DE CONTRASTE

A manipulação de contraste é uma transformação radiométrica que é utilizada para realçar a discriminação visual entre feições de uma mesma imagem que possuam baixo contraste.

Segundo Schowengerdt (1983), neste tipo de transformação cada nível de cinza de uma imagem de entrada é transformada, por uma curva de transformação em um novo nível de cinza de uma imagem de saída.

A transformação linear simples é chamada de ampliação linear de contraste.

Neste tipo de transformação, os níveis de cinza originais de uma cena, obtidos por um sistema sensor, encontram-se em uma parte

do intervalo máximo possível destes níveis de cinza. Então, esta técnica de manipulação de contraste, através de uma transformação matemática, amplia o intervalo original para toda a escala de cinza disponível (Fig. 2.4).

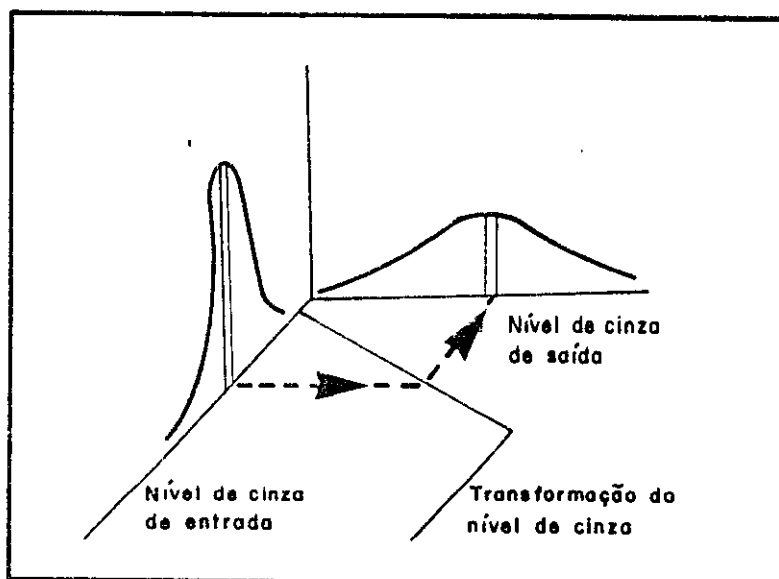


Fig. 2.4 - Transformação do nível de cinza.

FONTE: Showengerdt (1983).

#### 2.3.1.2 - RAZÃO DE CANAIS ("RATIO")

Segundo Showengerdt (1983), esta técnica de processamento de dados aplicada às imagens multiespectrais consiste na divisão do "pixel" de uma banda espectral pelo correspondente em outra banda. Este tipo de processamento permite:

- 1) atenuar a variação da radiância derivada dos efeitos topográficos;
- 2) reduzir a dimensionalidade de dados, resultante da redundância de informação nos vários canais;

- 3) realçar as diferenças de radiância entre alvos que possuam diferentes gradientes.

Esta técnica tem como desvantagem a perda das características espaciais da cena devido à atenuação da influência de iluminação ou sombreamento do relevo, tornando similares alvos que possuam gradientes espectrais semelhantes, com a conseqüente perda das informações originais.

O algoritmo utilizado nesta transformação é:

$$L_s = \max \left( 0, \min \left( 255, \text{int} \left( \left( \frac{L_1}{L_2} \right) a + b \right) \right) \right)$$

onde:

$L_s$  = valor do "pixel" da imagem resultante;

int = valor interno de;

$L_1$  = valor do "pixel" na banda 1;

$L_2$  = valor do mesmo "pixel" na banda 2 ( $L_2 > 0$ );

a = ganho;

b = "offset".

Tanto o ganho quanto o "offset" são utilizados para auxiliar na discretização do número real resultante da divisão dos "pixels".

O ganho e o "offset" vão variar de acordo com a imagem e com as bandas utilizadas, assumindo valores de modo que a maior variân-

cia possível não sature a imagem (ganho) e a média localize-se no centro do intervalo dos valores assumidos pelo sensor.

Howarth e Boasson (1983) observaram que as mudanças na cobertura do solo são de considerável importância para os planejamentos urbano e regional. Assim, utilizando dois tipos de realces digitais, razão de canais e índice de vegetação, aplicados às imagens MSS, concluíram que: 1) a razão de duas imagens, ambas da banda 5, de épocas diferentes (anos 1974 e 1978), da cidade de Hamilton (Ontário), demonstrou ser sensível para estudos de expansão urbana, apresentando bons contrastes tonais; 2) com o índice de vegetação, áreas com vegetação saudável, que exigem altos valores digitais na banda 7, visível, e baixos valores na banda 5, infravermelho próximo, poderão aparecer em tons claros e as superfícies com pequenas radiâncias aparecerão escuras, as quais poderão relacionar-se com as áreas urbanas.

Duggin et al. (1986) utilizaram imagens TM obtidas sobre a cidade de Washington, E.U.A., (novembro de 1982 e março de 1984). Após aplicar uma ampliação linear de contraste em cada imagem, selecionaram quatro áreas de treinamento (floresta, área residencial, área urbana densa e aeroporto). Realizaram sobre esta imagem uma transformação por componentes principais e, também, uma operação de razão de canais entre as bandas 6 e 4. Na banda 6 tem-se a radiância termal das áreas de treinamento, que geralmente aumenta com o decréscimo do conteúdo de vegetação; na banda 4, o valor do nível de cinza para áreas de vegetação é elevado. Porém, o problema de usar a banda 6 é que, geralmente, ela não permite uma boa ampliação da área de estudo devido à sua resolução espacial.

Para estes autores, tanto a técnica de transformação por componentes principais quanto a razão de canais apresentaram bons resultados, sendo aconselhado o uso de ambas, pois facilitam a separabilidade da área urbana ao seu redor.



### 2.3.1.3 - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO RAZÃO

Através do índice de vegetação, é possível a avaliação indireta da existência de cobertura vegetal onde esta é relativamente escassa como em áreas densamente construídas, sendo uma forma de estimar a proporção de área verde em relação à área de concreto. Para Foresti e Pereira (1986), este índice é um modelo numérico que tem como finalidade indicar a densidade de vegetação através de razões ou combinações, lineares ou não, respostas espectrais do alvo nas regiões do vermelho e infravermelho próximo.

Para Howarth e Boasson (1983), o índice de vegetação, apesar de ter sido desenvolvido para enfatizar diferenças na densidade de vegetação em uma cena, pode ser utilizado em estudos de delimitação e análises multitemporais urbanas.

O algoritmo transforma os dados de duas faixas do espectro eletromagnético, normalmente do vermelho e infravermelho próximo, modificando cada "pixel" das duas bandas de acordo com a seguinte equação:

$$IV = \max \left( 0, \min \left( 255, \text{int} \left( \left( \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} \right) \cdot K \right) \right) \right)$$

onde:

K = uma constante;

int = valor inteiro de.

O índice de vegetação varia de -1,0 a 1,0, sendo este valor transformado através da constante K em um nível de cinza que varia de 0 a 255.

Neste tipo de estudo os canais 3 e 4 são os mais indicados para trabalhar, pois:

- o canal 3 (0,63 a 0,69  $\mu\text{m}$ ) é sensível à absorção da clorofila e permite a separação de zonas com vegetação de zonas sem vegetação, enfatizando, também, os diferentes tipos de vegetação;
- o canal 4 (0,76 a 0,90  $\mu\text{m}$ ) não é influenciado pela banda de absorção do vapor atmosférico (0,92 a 0,98  $\mu\text{m}$ ) e fornece a resposta para a densidade de cobertura vegetal.

Desta forma, áreas que possuem altos valores digitais nas bandas 3 e 4 aparecerão em tons claros; e superfícies com baixa resposta na banda 4 e elevado nível de cinza na banda 3 aparecerão escuras, como, por exemplo, as áreas urbanas.

O índice de vegetação possui a mesma categoria lógica de processamento que a razão de canais, sendo o índice de vegetação nada mais do que uma razão específica para determinar a densidade de cobertura vegetal.

#### 2.3.1.4 - PRINCIPAIS COMPONENTES

De um modo geral, existe uma alta correlação entre diferentes imagens de uma mesma cena captada pelos sensores.

Segundo Santisteban e Muñoz (1978), o grau de correlação entre as imagens depende da natureza física do objeto, da largura das janelas espectrais e da quantidade e natureza do ruído presente nos dados.

Devido a estes fatores, existe uma redundância de informação entre as imagens multiespectrais do LANDSAT.

O método transformação por principais componentes baseia-se na transformação dos dados originais, em geral linear, através de uma rotação e translação do espaço de atributos espectrais definidos por eixos ortogonais (Fig. 2.5), que correspondem aos canais do sensor utilizado (Paradella et al., 1984).

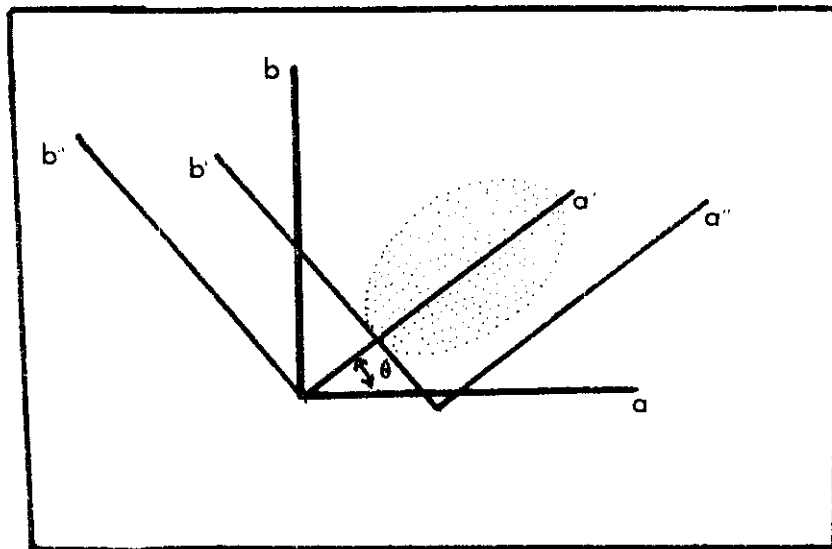


Fig. 2.5 - Diagrama em duas dimensões, como exemplo de rotação  $\theta$  e translação para nova origem do método das componentes principais.

FONTE: Paradella et al. (1984).

Os auto-vetores são calculados e fornecem a nova direção, ou seja, a posição dos eixos; e os auto-valores fornecem a grandeza, ou seja, a extensão das nuvens de pontos.

Esta técnica é importante, pois:

- a) cria um novo conjunto de canais (principais componentes) e o conteúdo de informação da imagem original é redistribuído den-

tro das novas imagens componentes obtidas, com a particularidade de conter informação não-correlacionada, ou seja, sem redundância;

- b) aumenta visualmente a separabilidade das classes, melhorando a imagem.

Esta técnica tende a concentrar a informação total, contida nos canais originais, nas três primeiras componentes, enquanto as componentes restantes contêm uma quantidade mínima de informação, que podem ser desprezadas (Santisteban e Muñoz, 1978).

Para maiores detalhes sobre a técnica de realce por transformação por componentes principais, ver Gillespie (1980) e Meneses (1986).

Após a obtenção das principais componentes, costuma-se aplicar uma ampliação linear de contraste em cada PC e associar cores a cada novo canal ( $PC_1$  associa-se ao vermelho,  $PC_2$  associa-se ao verde e  $PC_3$  associa-se o azul), o que possibilita maior distinção entre os alvos, além daquela obtida utilizando a composição colorida com qualquer canal.

Forster (1985), Crapper e Byrne (1979) e Beaudoin et al. (1986) utilizaram a técnica de principais componentes em estudos de áreas urbanas.

#### 2.4 - CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA: O ALGORITMO DE MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA

A classificação automática tem a finalidade de agregar alvos que possuam assinaturas espectrais similares, i.é., é um processo de separação dos pontos da imagem em grupos de objetos com características espectrais comuns, que depende do método utilizado e do objetivo final.

Jensen (1986) afirma que a escolha do classificador a ser utilizado depende da natureza dos dados de entrada. Se os dados possuírem um comportamento gaussiano, ou seja, uma distribuição normal para os dados, deve-se optar por um dos classificadores paramétricos, tais como os algoritmos Regra do Paralelepípedo, Mínima Distância ou Máxima Verossimilhança. Caso contrário, utilizam-se os classificadores não-paramétricos, como o algoritmo de agregamento ("clustering algorithm").

A regra de decisão por Máxima Verossimilhança, ou MAXVER, é um algoritmo do tipo estatístico-paramétrico, com hipótese gaussiana, que se destina à classificação ponto a ponto de imagens multiespectrais. É um modelo supervisionado, pois na sua fase inicial o analista fornece o número de classes e as áreas de treinamento de cada classe. As características estatísticas das classes são definidas na fase de treinamento.

Desta forma, no MAXVER, associa-se o "pixel" à classe a qual ele tenha maior probabilidade de pertencer, tendo em vista suas características e atributos. Devido a isto, tende a minimizar a probabilidade de erro, ou seja, a probabilidade de que um certo "pixel" esteja associado à classe que ele realmente não pertença.

#### 2.4.1 - CRITÉRIO DE SELEÇÃO DE AMOSTRAS PARA A REALIZAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Não há uma regra geral segura sobre qual deva ser a grandeza de  $n$ , que é o número de amostras, para que se possa utilizar a aproximação normal no cálculo dos parâmetros estatísticos.

Para que o valor médio tenda a normalidade, " $n$ " deve ser maior que 30, segundo Mirshawka (1984).

Em sensoriamento remoto, para a realização da classificação supervisionada, é importante ter um número de "pixels" suficien-

temente grande para que os parâmetros estatísticos sejam bem estimados.

Segundo Swain e Davis (1978), devem-se selecionar amostras de treinamento adequadas para que a matriz de covariância seja bem estimada para cada classe. Para estes autores, se N bandas espectrais são utilizadas em uma classificação supervisionada, o número de "pixels" de treinamento necessários por classe é 10N ou, para melhor precisão, 100N, para que sejam realizadas estimativas acuradas dos parâmetros destas classes.

## 2.5 - ESTATÍSTICA KAPPA: UMA MEDIDA DE CONCORDÂNCIA ENTRE CLASSIFICAÇÕES

Para avaliar a exatidão de uma classificação, têm sido utilizadas técnicas de análise multivariada discretas.

A classificação dos dados é discreta porque ou os dados pertencem a uma dada categoria de uso do solo ou não. Por exemplo, um "pixel" pode ser classificado como pinus ou água, e não metade pinus e metade água (Congalton et al., 1983).

Esta exatidão de classificação é representada, de uma maneira geral, em uma matriz de similaridade, que é utilizada para avaliar o desempenho de uma classificação (Congalton e Mead, 1983).

Uma matriz de similaridade é um conjunto de números colocados em linhas e colunas; as colunas, geralmente, correspondem aos dados de referência (verdade terrestre - V.T.) e as linhas, aos resultados da identificação ou da classificação R.I..

Diversos pesquisadores na área de sensoriamento remoto têm investigado vários coeficientes que representam a exatidão de uma classificação temática como um todo ou a exatidão de classes individuais:

A estatística KAPPA ( $\hat{K}$ ) pode ser adotada pela comunidade do sensoriamento remoto como uma medida de exatidão de classificação temática e categorias individuais, pois faz uma boa avaliação do grau de concordância entre classes de uma matriz de similaridade, segundo Rosenfield e Fitzpatrick-Lins (1986).

Dallemand (1987) afirma que a estatística KAPPA inclui ao mesmo tempo a porcentagem de identificação correta e o erro de inclusão.

Segundo Fleiss (1981), a estatística KAPPA ( $\hat{K}$ ) é uma medida de concordância com propriedades desejáveis. Diz-se que existe uma concordância completa entre duas classificações se  $\hat{K} = 1$ . Se a concordância observada é maior ou igual à concordância devido ao acaso,  $\hat{K} > 0$ ; e se a concordância observada é menor ou igual à concordância devida ao acaso,  $\hat{K} < 0$ .

A fórmula da estatística KAPPA para uma matriz é baseada na ordenação dos dados, como na Tabela 2.1.

A proporção total da concordância observada é:

$$P_0 = P_{11} + P_{22} + \dots + P_{kk} \quad (2.4)$$

e a proporção total da concordância esperada é:

$$P_e = P_1 \cdot p_1 + P_2 \cdot p_2 + \dots + P_k \cdot p_k \quad (2.5)$$

O valor de KAPPA é, então:

$$\hat{K} = \left( \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \right) \quad (2.6)$$

[Fleiss, 1981]

TABELA 2.1

MATRIZ DE SIMILARIDADE

CLASSIFICADOR A	CLASSIFICADOR B				
	1	2	...	K	TOTAL
1	$p_{11}$	$p_{12}$	...	$p_{1k}$	$p_{1.}$
2	$p_{21}$	$p_{22}$	...	$p_{2k}$	$p_{2.}$
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
K	$p_{k1}$	$p_{k2}$	...	$p_{kk}$	$p_{k.}$
TOTAL	$p_{.1}$	$p_{.2}$	...	$p_{.k}$	1

Segundo Fleiss (1981), para testar a hipótese de que as classificações são independentes ( $\hat{K} = 0$ ), a variância estimada para KAPPA é dada por:

$$\text{var}(\hat{K}) = \frac{(p_e + p_e^2 - \sum p_{1.} p_{.1} (p_{1.} p_{.1}))}{(1 - p_e)^2 n} \quad (2.7)$$

onde  $n$  = número de amostras submetidas aos dois classificadores.

A hipótese de que a concordância entre as classificações é grande pode ser verificada realizando um teste de significância, onde:



$$Z = \hat{K} / (\text{S.e.}(\hat{K})) , \quad (2.8)$$

$$\text{onde } \text{S.e.}(\hat{K}) = \sqrt{\text{var}(K)} . \quad (2.9)$$

Para a tabela de distribuição normal, rejeita-se a hipótese se  $Z$  for suficientemente grande para um nível de significância de 0,05.

Para Landis e Koch (1977), os valores de Kappa podem ser ordenados segundo a classificação abaixo:

$\hat{K} > 0$  = excelente grau de concordância;

$0,40 < \hat{K} < 0,75$  = grau de concordância regular;

$\hat{K} < 0,40$  = baixo grau de concordância.

Através do programa MATERR, desenvolvido por Medeiros, Ponzoni e Moreira (in Medeiros, 1987), é possível realizar a comparação entre as classificações diretamente no I-100, bem como o cálculo da estatística KAPPA.

O programa MATERR faz a comparação entre duas classificações em dois canais do I-100, podendo-se admitir que uma destas classificações seja a verdade terrestre. É necessário para isso que o número de classes seja igual nas duas classificações.

Automaticamente, este programa fornece uma matriz de similaridade, o somatório da diagonal, o somatório total, a precisão total, a porcentagem de erros de inclusão e de omissão, a análise de concordância entre as duas classificações comparadas através da estatística KAPPA para a matriz de similaridade como um todo e para cada classe, separadamente.

## 2.6 - TÉCNICAS DE ANÁLISE MULTITEMPORAL

As técnicas de realce já mencionadas anteriormente (RAZÃO DE CANAIS, ÍNDICE DE VEGETAÇÃO e COMPONENTES PRINCIPAIS) são também utilizadas em estudos de análise multitemporal urbana.

A razão multitemporal de canais, "ratio", compara os valores de níveis de cinza de um mesmo "pixel" em duas datas diferentes através da razão da mesma banda obtida em passagens distintas.

A diferença multitemporal entre os índices de vegetação é utilizada para detectar densidade de vegetação entre duas passagens diferentes subtraindo os valores dos índices de vegetação de cada passagem, o que resulta em uma imagem diferença de índices de vegetação.

A técnica transformação por principais componentes em análise multitemporal utiliza os seis canais de uma passagem, combina-se com os seis canais de outra passagem e geram doze componentes. Na 2ªPC serão visualizadas as mudanças ocorridas entre duas datas.

A técnica de análise multitemporal conhecida como Imagem Diferença realça as mudanças temporais através da subtração dos valores dos "pixels" da imagem de uma data pelos "pixels" da imagem de uma outra data, ambas do mesmo canal. Neste caso, áreas de maiores mudanças aparecerão em tons de cinza médio ou preto.

A Regressão de Imagens é uma variação da técnica de imagem diferença. Ela utiliza uma transformação dos mínimos quadrados (i.é., regressão de imagens) entre duas datas para reduzir os efeitos advindos das diferenças nas condições atmosféricas ou ângulo solar. Porém, apesar de reduzir os efeitos atmosféricos e do ângulo solar, freqüentemente pode resultar em degradação das informações da alteração do não-urbano para o urbano, além de requerer um maior custo computacional.

A Comparação Pós-Classificação identifica mudanças pela comparação de dois mapas de classificação produzidos independentemente. Um algoritmo simples compara os dois mapas utilizando as classes especificadas pelo analista, gerando um mapa final que indica as áreas alteradas.

Para maiores detalhes sobre estas técnicas, consultar Weismiller et al. (1977); Moik (1980); Tool et al. (1980); Colwell (1983); Jensen (1983); Jensen (1986).

#### 2.6.1 - REGISTRO DE IMAGENS

O registro de duas imagens pode ser entendido como a técnica que facilita a superposição de imagens distintas, de modo que as características geométricas comuns às duas imagens estejam na mesma localização geográfica/imagem.

Segundo Schowngerdt (1983), esta técnica é utilizada na comparação de imagens de datas distintas, imagens de sensores diferentes e na combinação de imagens multiespectrais em composição colorida, sendo aplicada ao monitoramento temporal.

Existe a possibilidade de haver distorções geométricas entre imagens a serem registradas, provocadas por diversos fatores relacionados com a geometria do sensor, com as características de operação do sensor e com a geometria da cena. Neste caso, antes de ser feito o registro, estas distorções devem ser corrigidas (Erthal, 1985).

Na ausência destas distorções, o problema de registro se resume na simples translação entre as imagens. Feito isto, deve-se de imediato selecionar os pontos de controle que possuam a sua localização geodésica/imagem precisamente conhecida, sendo invariante no tempo. São exemplos típicos de pontos de controle: aeroportos, cruzamento de estradas, pontes, etc.

Segundo Erthal (1985), a identificação desses pontos de controle pode ser feita de duas formas: a) manual e b) automática. No método manual, dadas duas imagens, escolhe-se um ponto de controle com o cursor e o sistema fornece as suas coordenadas, facilitando a operação de registro. No método automático, escolhe-se uma pequena área que contém um ponto de controle ("janela"), registrando-a segundo um algoritmo translacional, sendo o seu objetivo procurar na subimagem B a área mais similar a A (Fig. 2.6).

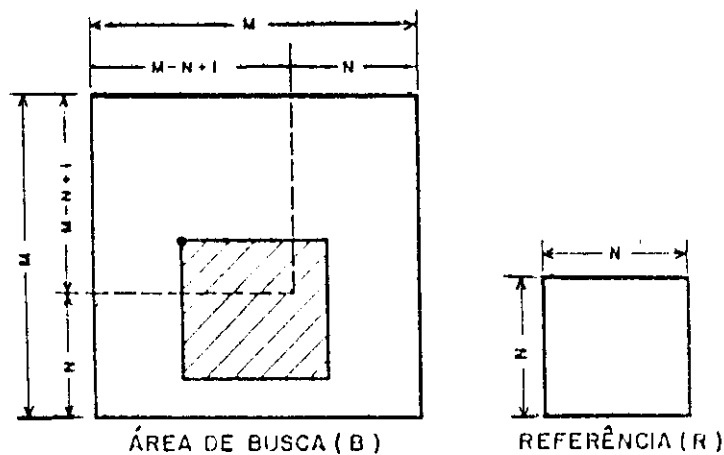


Fig. 2.6 - Ilustração do espaço de busca.

FONTE: Erthal (1985).

Na Figura 2.6, R e B são imagens, onde R é a imagem de referência de dimensões  $N \times N$  e B é a área de busca de dimensões  $M \times M$  ( $M > N$ ). O valor de M deve ser escolhido de maneira a garantir que haja em B uma subimagem correspondente a R. Os "pixels" em ambas as imagens podem assumir diversos níveis de cinza.

Erthal (1985) ainda afirma que o registro translacional consiste em determinar, entre todas as possíveis subimagens existentes ( $B(M+1).(M+1)$ ), qual a mais similar à imagem de referência. Isto é feito segundo alguns métodos de similaridade, tais como o coeficiente de correlação, a função de correlação, a função de correlação normalizada e a soma dos erros quadráticos.

Esta técnica, ao facilitar a superposição de imagens diferentes, também facilita a obtenção de composições coloridas multitemporais, nas quais as áreas que apresentarem mudanças aparecerão coloridas e as áreas inalteradas, em tons de cinza.

Vários trabalhos utilizaram a técnica de registro para auxiliar na obtenção de composições coloridas multitemporais.

Oliveira et al. (1984) utilizaram a técnica de registro para auxiliar na obtenção de uma composição colorida multitemporal para avaliar a expansão urbana da cidade de Brasília em três datas distintas (1973, 1978 e 1983). Concluíram que esta técnica mostrou ser um instrumento útil para se obter composições coloridas multitemporais, permitindo analisar as tendências de crescimento da cidade estudada.

Niero et al. (1988) utilizaram esta técnica para obter uma composição colorida multitemporal e avaliarem o crescimento da cidade de São José dos Campos, com imagens MSS, em duas datas distintas (1978 e 1984). As áreas urbanizadas nas duas datas apresentaram-se em branco e as que se urbanizaram neste período foram associadas à cor vermelha. Isto significa que houve substituição da vegetação por área construída.

Para Foresti (1986), as técnicas de registro automático de imagens possibilitam avaliação das alterações ocorridas na estrutura urbana no decorrer de um período de tempo, entre datas limites.



## CAPÍTULO 3

### MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 - MATERIAL

##### 3.1.1 - DESCRIÇÃO DA ÁREA TESTE

Objetivando apenas ter uma cidade teste para desenvolver o estudo, levaram-se em consideração, para definição desta área, alguns fatores de grande importância. Assim optou-se pela cidade de São José dos Campos por apresentar grande dinâmica espacial, variabilidade de alvos urbanos, disponibilidade de material para estudo, facilidade de acesso e conhecimento da área.

A cidade de São José dos Campos localiza-se no Estado de São Paulo, a 23°10' de latitude sul e 45°50' de longitude oeste de Greenwich (Fig. 3.1). Situa-se na região fisiográfica do Médio Vale do Paraíba, de relevo plano, com altitude média de 570 metros.

Principalmente nos últimos 20 anos, São José dos Campos apresentou um grande crescimento urbano e populacional, o que muito influenciou na sua escolha como área de estudo (Fig. 3.2).

Como mostra a Figura 3.2, é notável o crescimento da população urbana em relação à população rural no período em questão, sendo este crescimento considerado até mesmo exponencial.

Niero (1988) superpôs dados, obtidos a partir da interpretação visual de imagens TM-LANDSAT, à carta topográfica de São José dos Campos, o que permitiu a determinação da expansão urbana desta cidade no período de 1966 a 1985. O autor concluiu que o crescimento da cidade não foi uniforme em torno do núcleo mais antigo, mas sim por setores, sendo maior esta expansão nas posições sul e leste da cidade.

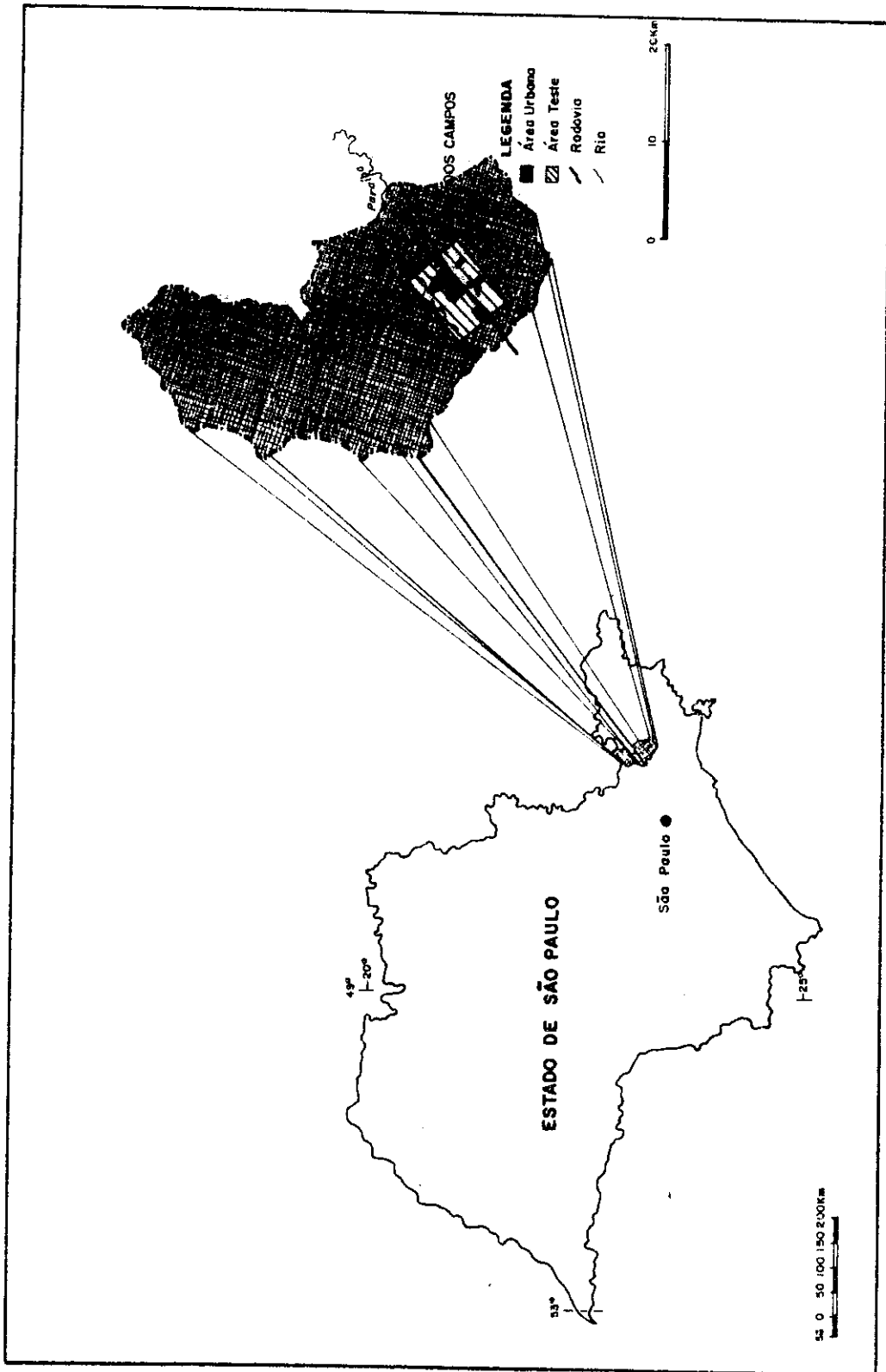


Fig. 3.1 - Localização da área teste: cidade de São José dos Campos.



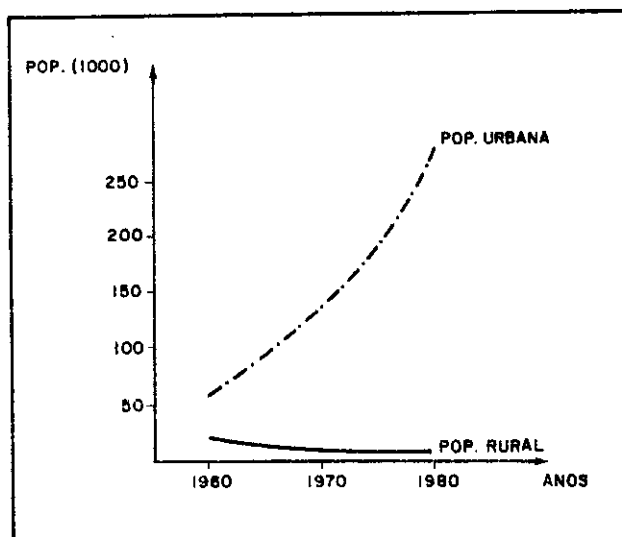


Fig. 3.2 - Evolução das populações urbana e rural do município de São José dos Campos.

FONTE: Censos Demográficos de 1960, 1970 e 1980.

Em 1960, juntamente com a cidade de Taubaté, São José dos Campos era considerada uma grande cidade, que possuía uma variedade de funções. Porém, a fixação de grandes empresas na região aumentou a oferta de empregos e, conseqüentemente, o seu contingente populacional, tornando-a uma cidade tipicamente industrial, como pode ser observado na Tabela 3.1.

Na Tabela 3.1 pode-se verificar que de 1960 a 1980 houve um aumento de 487,50% no número de estabelecimentos industriais e de 975,29% no número de operários. Estes dados denotam o elevado processo de industrialização do município de São José dos Campos num período de 20 anos.

TABELA 3.1NÚMERO DE OPERÁRIOS E ESTABELECIMENTOS INDUSTRIAIS DA CIDADE DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS NO PERÍODO DE 1960 A 1980

ANO	OPERÁRIOS	INDÚSTRIAS (nº de est.)
1960	4254	72
1970	14444	168
1980	41489	351

Com o extraordinário aumento de mão-de-obra que se seguiu à fase de industrialização, inúmeros bairros de baixa renda surgiram na periferia do espaço urbano, assim como conjuntos residenciais de classe média/alta. Este crescimento industrial foi um dos grandes causadores do extraordinário crescimento urbano que se observou na cidade.

3.1.2 - DADOS UTILIZADOS3.1.2.1 - DADOS DO LANDSAT 5: "THEMATIC MAPPER"

O LANDSAT 5, lançado em 1984, leva a bordo o sensor TM ("Thematic Mapper"), que é um radiômetro imageador, com capacidade de obter imagens de melhor resolução espacial, possuindo maior separabilidade espectral, melhor fidelidade geométrica e maior acurácia radiométrica em comparação com o MSS ("Multispectral Scanner Subsystem").

O TM possui 7 bandas espectrais e resolução de 30 metros nas bandas do visível e do infravermelho médio e próximo, e 120 metros no infravermelho termal, como mostra a Tabela 3.2.

TABELA 3.2

BANDAS ESPECTRAIS DO SENSOR TM

BANDA	INTERVALO ESPECTRAL ( $\mu\text{m}$ )	APLICAÇÕES POTENCIAIS
1	0,45 - 0,52	Estudos batimétricos em regiões litorâneas de água limpa, até profundidade de 20 a 40 m; mapeamentos de superfície de água e análise de materiais em suspensão. É denominada de banda azul. Diferenciação solo/vegetação. Sensibilidade à concentração de carotenos e clorofila. Alguma possibilidade de identificação de $\text{Fe}^{+3}$ e $\text{Mn}^{+3}$ .
2	0,52 - 0,60	Mapeamento de vegetação sadia pela reflectância verde cujo pico se situa em 0,55 $\mu\text{m}$ .
3	0,63 - 0,69	Banda de absorção da clorofina; significativa na diferenciação de espécies vegetais.
4	0,76 - 0,90	Estudos de volume da biomassa e delimitação de corpos d'água.
5	1,55 - 1,75	Estresses de vegetação por desequilíbrio de água na cobertura foliar. Expectativa na identificação de mineralizações superficiais, sobretudo com os dados da divisão da banda 5 pela banda 1.
6	10,4 - 12,5	Propriedades térmicas de solo, rocha, vegetação e água. Estudos de contraste térmico entre litologias de rochas silicáticas.
7	2,08 - 2,35	Esta é considerada estritamente uma banda geológica, selecionada para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal. Neste intervalo estão presentes algumas importantes bandas de absorção de rochas carbonáticas.

FONTE: NASA (1984).

Os produtos do sensor TM utilizados neste estudo estão relacionados na Tabela 3.3.

TABELA 3.3

PRODUTOS TM UTILIZADOS

PRODUTO	PASSAGEM
CCT	09/12/85
	06/08/86
	12/09/88

3.1.2.2 - FOTOGRAFIAS AÉREAS

Foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas na escala de 1:25.000, obtidas em 1985 por missão de aerolevanteamento executada pelo Instituto de Pesquisas Espaciais, por solicitação da Prefeitura Municipal de São José dos Campos.

Estas fotografias foram utilizadas como verdade terrestre para a montagem da imagem padrão necessária para a obtenção dos resultados finais.

Quando surgiram dúvidas na interpretação das imagens as quais não foram sanadas apenas através das fotografias aéreas, foram realizados trabalhos de campo para checar as informações.

3.1.2.3 - DADOS DEMOGRÁFICOS DE INDUSTRIALIZAÇÃO E URBANIZAÇÃO

Foram obtidos nos censos Demográfico e Industrial do IBGE, em 1960, 1970 e 1980, os dados demográficos, de industrialização e de urbanização usados neste estudo.

### 3.2 - METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessária a realização de algumas etapas, como mostra a Figura 3.3.

#### 3.2.1 - SELEÇÃO DAS PASSAGENS DO TM-LANDSAT

Para a seleção das melhores passagens de satélite, levaram-se em consideração: a época do ano, optando por uma imagem do período seco e outra do período chuvoso para uma melhor avaliação dos resultados; a disponibilidade de imagens corrigidas, em fitas CCTs, dada a obtenção de melhores resultados com este tipo de produto.

Devido ao problema de cobertura de nuvens sobre a cidade de São José dos Campos nos períodos chuvoso e de seca, existiu dificuldade de obter imagens para a realização do trabalho. Assim, optou-se, dada a disponibilidade de dados, pelo uso das passagens de 06/08/86 e 09/12/85.

A precipitação nos dois meses que antecedem as passagens foi levantada para que fosse confirmada a hipótese de que as imagens eram dos períodos desejados (Tabela 3.4).

A Tabela 3.4 demonstra que no período seco (06/08/86) a precipitação, nos 2 meses antecedentes à passagem, foi mínima, sendo o período caracterizado como seco.

Para a passagem de 09/12/85, os meses de outubro e novembro obtiveram média de precipitação baixa, se comparada com as médias normais destes meses (102 mm e 131,4 mm, respectivamente). Porém, o mês de dezembro, com chuvas nos dias 2, 3 e 4, superou a média normal para este mês, em um período de três dias, que é de 21 mm. Assim, esta passagem pôde ser considerada como pertencente ao período chuvoso.

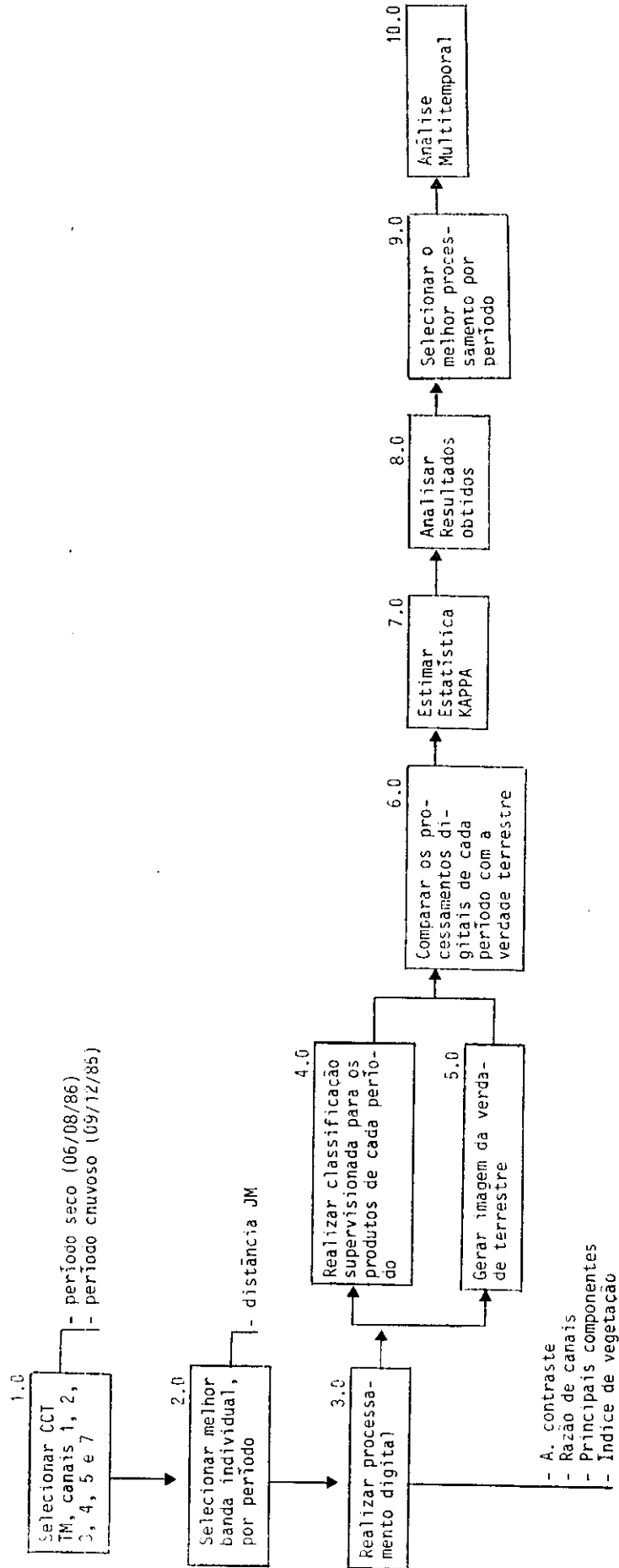


Fig. 3.3 - Fluxograma da metodologia utilizada.

TABELA 3.4PRECIPITAÇÃO MÉDIA PARA ATÉ DOIS MESES ANTES DAS PASSAGENS

PASSAGEM	MESES	PRECIPITAÇÃO MÉDIA
09/12/85	Outubro	35,4 mm
	Novembro	75,2 mm
	Dezembro	34 mm
	(até 04/12)	
06/08/86	Junho	4,8 mm
	Julho	25,6 mm
	Agosto	0 mm
	(até 06/08)	

Foram utilizadas as bandas 1,2, 3, 4, 5 e 7 dos dois períodos, num total de doze bandas; apenas na transformação por componentes principais realizada para cada período, todas as seis foram utilizadas simultaneamente.

### 3.2.2 - CLASSES UTILIZADAS

Para este trabalho foram consideradas apenas duas classes: área urbana e área não-urbana.

Foi considerada como urbana a área construída e os loteamentos. A classe não-urbana englobou culturas de arroz e hortaliças, vegetação arbustiva/herbácea e vegetação arbórea.

O CTA, como área institucional, não foi classificado como área urbana.

Por serem áreas complexas e não possuírem um comportamento tipicamente urbano a Refinaria da Petrobrás, o CTA, a EMBRAER e alguns

loteamentos recentes não foram incluídas na classe área urbana, como demonstra a Figura 4.34.

### 3.2.3 - SELEÇÃO DE ATRIBUTOS PARA A ESCOLHA DO MELHOR CANAL INDIVIDUAL

Utilizando-se da distância JM (Seção 2.2), será selecionada a banda que melhor separa o urbano do não-urbano, para os dois períodos estudados.

A banda selecionada em cada período será utilizada na fase seguinte, o processamento digital, onde se aplicará uma ampliação linear de contraste nesta banda.

### 3.2.4 - PROCESSAMENTO DIGITAL: REALCE DE IMAGENS

Das técnicas de realce digital de imagens conhecidas, utilizaram-se as discutidas na Seção 2.3.1.

Estas técnicas foram escolhidas porque foram as mais utilizadas em outros tipos de estudos urbanos que utilizaram imagens de satélite.

#### 3.2.4.1 - AMPLIAÇÃO LINEAR DE CONTRASTE

Este procedimento foi realizado apenas sobre um canal do sensor TM.

Este canal foi escolhido: 1) a partir da análise da bibliografia existente, onde é sugerida a utilização do canal 3 como o melhor para a visualização de áreas urbanas; 2) a partir dos resultados do método "Seleção de Atributos", utilizando a distância JM, (Seção 2.2), aplicada a cada um dos períodos (seco e chuvoso), dos quais foi selecionado o melhor canal para a separabilidade das duas classes.



#### 3.2.4.2 - RAZÃO DE CANAIS

Foram escolhidas para a razão de canais as bandas 5 e 7, pois, das 30 combinações realizadas com as 6 bandas disponíveis para cada período, esta foi a que melhor realçou as diferenças entre o urbano e o não-urbano.

#### 3.2.4.3 - PRINCIPAIS COMPONENTES

Utilizando o programa implementado no SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens), foi realizado o realce por componentes principais com as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do TM, disponíveis para cada período.

#### 3.2.4.4 - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

Para a realização deste processamento no I-100 são necessárias, para dar entrada no programa, uma banda no infravermelho e outra no visível.

Desta forma, utilizaram-se a banda 4 do infravermelho e a banda 3 do visível, pois estas são as melhores bandas para a realização do índice de vegetação (Seção 2.3.1.3).

#### 3.2.5 - ANÁLISE DOS DADOS

Para as imagens/produto obtidos para cada período, foi realizada uma classificação supervisionada que utiliza como regra a decisão por máxima verossimilhança (MAXVER), sendo estas imagens/produto classificadas em duas classes: área urbana e área não-urbana.

Para a realização da classificação supervisionada, deveriam ter sido utilizados neste trabalho aproximadamente 200 "pixels" de treinamento, coletados em 50 amostras de tamanho 2 x 2 "pixels" por

classe, onde o número de bandas para a realização da classificação supervisionada é dois, que resulta em uma classificação mais correta.

Porém, devido à limitação do sistema de não aceitar mais de 50 amostras no total, foram utilizados 3072 "pixels", coletados em 48 amostras de 8 x 8 "pixels", sendo 24 amostras para a área urbana e 24 para a área não-urbana.

Para determinar a eficiência das imagens/produto resultantes das técnicas de realce digital na delimitação de áreas urbanas, realizou-se uma comparação entre a classificação resultante do MAXVER e a classificação de referência (verdade terrestre).

A classificação de referência foi obtida através da determinação na imagem, através das fotografias aéreas, da área urbana e da área não-urbana. Esta determinação foi realizada contornando estas áreas com o cursor, na tela do I-100, aferindo-se a cada uma das classes utilizadas uma tonalidade; assim obteve-se uma imagem/classificação padrão. Esta imagem padrão foi comparada com as imagens/produto obtidas para cada período.

Desta forma, tendo uma imagem/classificação padrão, foi possível determinar a concordância entre as classificações, calculada através da estatística de KAPPA e do programa MATERR, descritos na Seção 2.5.

Realizando um teste de significância, utilizando a estatística Z, foi possível ordenar os valores de KAPPA para cada um dos processamentos e determinar qual das imagens/produto obtidas é a melhor para cada período analisado.

### 3.2.6 - ANÁLISE MULTITEMPORAL

Para exemplificar melhor os resultados, será realizada uma análise multitemporal entre duas imagens de anos diferentes, sendo do

mesmo período, imagens estas já resultantes do processamento digital selecionado.

Será utilizado o "Registro de Imagens" descrito na Seção 2.6.1 para facilitar a obtenção da composição colorida multitemporal.

O registro será realizado entre as passagens de 06/08/86 e 12/09/88, referentes ao período seco.

Optou-se pela utilização deste período devido a não disponibilidade de passagens recentes para o período chuvoso.

Embora a bibliografia sempre tenha mencionado a superioridade das imagens de períodos chuvosos para estudos urbanos, o problema maior é a disponibilidade das mesmas.



## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 - SELEÇÃO DA MELHOR BANDA TM ATRAVÉS DA DISTÂNCIA JM

Para a análise e compreensão dos resultados obtidos através da distância JM, é importante ter um conhecimento prévio do comportamento das doze imagens TM utilizadas, sendo seis para cada período, tanto qualitativa quanto quantitativamente.

Esta análise prévia é realizada através da análise visual e interpretação dos histogramas de cada imagem, os quais fornecem as bases para um número de medidas que são utilizadas em vários algoritmos ou classificação de imagens.

Para este tipo de análise, vale lembrar que foram utilizadas e consideradas apenas duas classes: área urbana e área não-urbana.

Pela análise visual das bandas do TM para a cidade de São José dos Campos nos períodos seco e chuvoso (Figs. 4.1 a 4.6), pode-se constatar que:

**Banda 1** - Apresenta pouco contraste entre as duas classes estudadas nos dois períodos. Como sofre forte influência atmosférica, nota-se um excesso de brilho na cena.

Este excesso de brilho concorre para a atenuação dos valores da radiância refletida pelos alvos, afetando assim os contrastes de cena, como foi observado por Meneses (1986). A banda 1 do período chuvoso apresenta mais contraste devido à umidade do solo e ao maior vigor da vegetação.

**Banda 2** - Apesar de se apresentar um pouco mais nítida do que a banda 1, esta imagem ainda mostra pouco contraste devido à influência da bruma atmosférica. Na imagem do período chuvoso a área ur-

banda se torna mais evidente do que no período seco devido ao acréscimo de umidade do solo e do vigor da vegetação.

**Banda 3** - As classes são melhor visualizadas nesta banda; portanto, são mais fáceis de ser individualizadas. Esta imagem apresenta um contraste um pouco melhor que as bandas anteriores em ambos os períodos. Os limites urbanos são mais fáceis de ser contornados do que nas bandas 1 e 2. Embora o nível de cinza, em alguns momentos, seja o mesmo das culturas ao redor, a área urbana é realçada devido à sua textura.

**Banda 4** - Devido a sua atuação na faixa do espectro compreendida entre 0,76 e 0,90  $\mu\text{m}$  (infravermelho próximo), esta banda consegue ressaltar, em níveis de cinza-claro, a vegetação com maior eficiência que as anteriores. Porém, não se diferenciam, com nitidez, os limites urbanos para os dois períodos.

**Banda 5** - Esta banda, que possui grande diversidade de níveis de cinza e consegue evidenciar um número maior de detalhes da cena do que as demais, pode ser melhor utilizada na diferenciação de mais de duas classes. Existe certa semelhança entre as tonalidades da área urbana e as de outros alvos pertencentes à classe não-urbana nos períodos seco e chuvoso.

**Banda 7** - Apresenta menor diversidade de níveis de cinza do que a banda 5. Porém, por possuir bom contraste tonal entre o urbano e o não-urbano, permite que estas duas classes sejam mais facilmente separadas, independente do período.



(a)



(b)

Fig. 4.1 - Imagens da cidade de São José dos Campos, na banda 1: a) períodos seco (06/08/86); b) chuvoso (09/12/85).



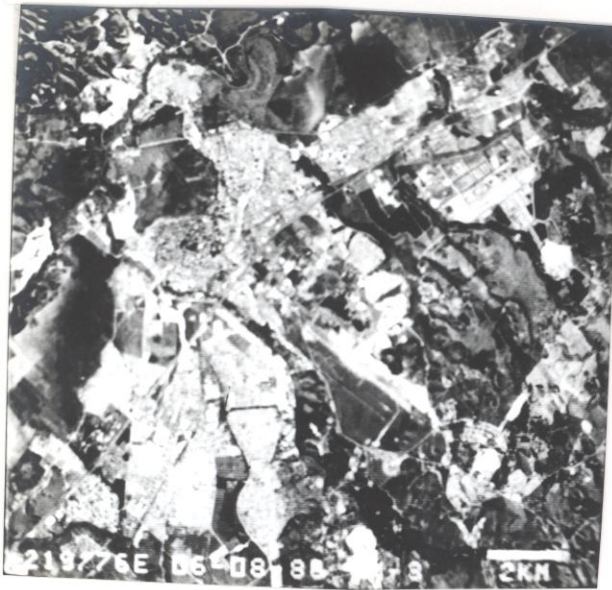
(a)



(b)

Fig. 4.2 - Imagens da cidade de São José dos Campos na banda 2: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).





(a)

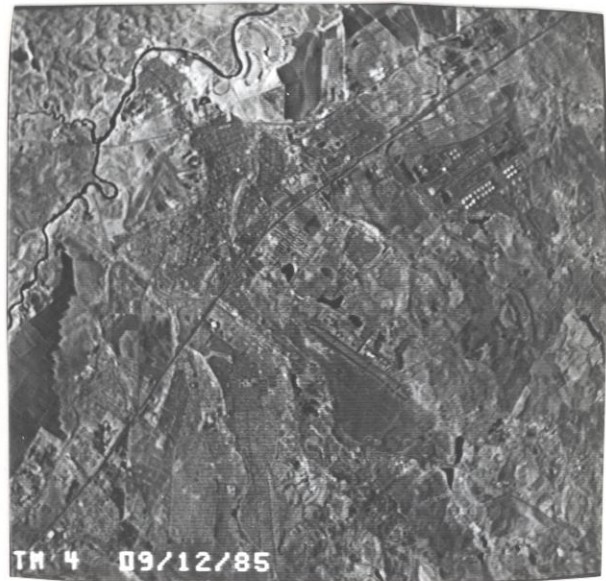


(b)

Fig. 4.3 - Imagens da cidade de São José dos Campos na banda 3: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).



(a)



(b)

Fig. 4.4 - Imagens da cidade de São José dos Campos na banda 4: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).

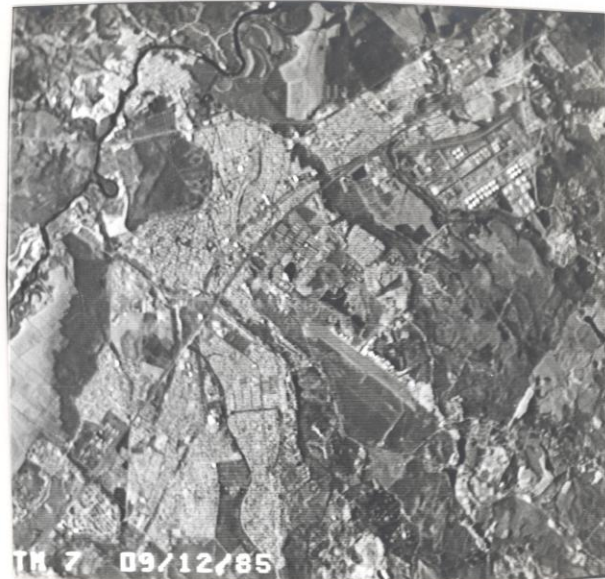
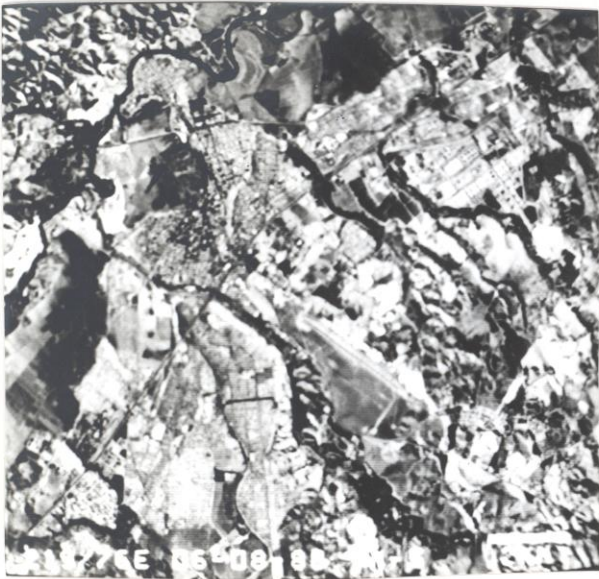


(a)



(b)

Fig. 4.5 - Imagens da cidade de São José dos Campos na banda 5: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).



(a)

(b)

Fig. 4.6 - Imagens da cidade de São José dos Campos na banda 7: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).

Desta forma, analisando visualmente as imagens dos dois períodos (seco e chuvoso), pode-se observar que as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do período chuvoso (Fig. 4.1b a 4.6b) possuem o mesmo comportamento que as imagens do período seco, ou seja, as características gerais se mantêm. Acentua-se, porém, o contraste entre as classes urbana e não-urbana, que se torna mais intenso. Isto pode ser verificado na Fig. 4.7.

A Fig. 4.7 mostra que as classes ÁREA URBANA e ÁREA NÃO-URBANA apresentam maior separabilidade dos níveis de cinza médio (NCm) nas bandas 3, 5 e 7, em ambos os períodos. Pode-se verificar, ainda, que no período chuvoso o contraste entre estas classes é mais acentuado que no período seco.

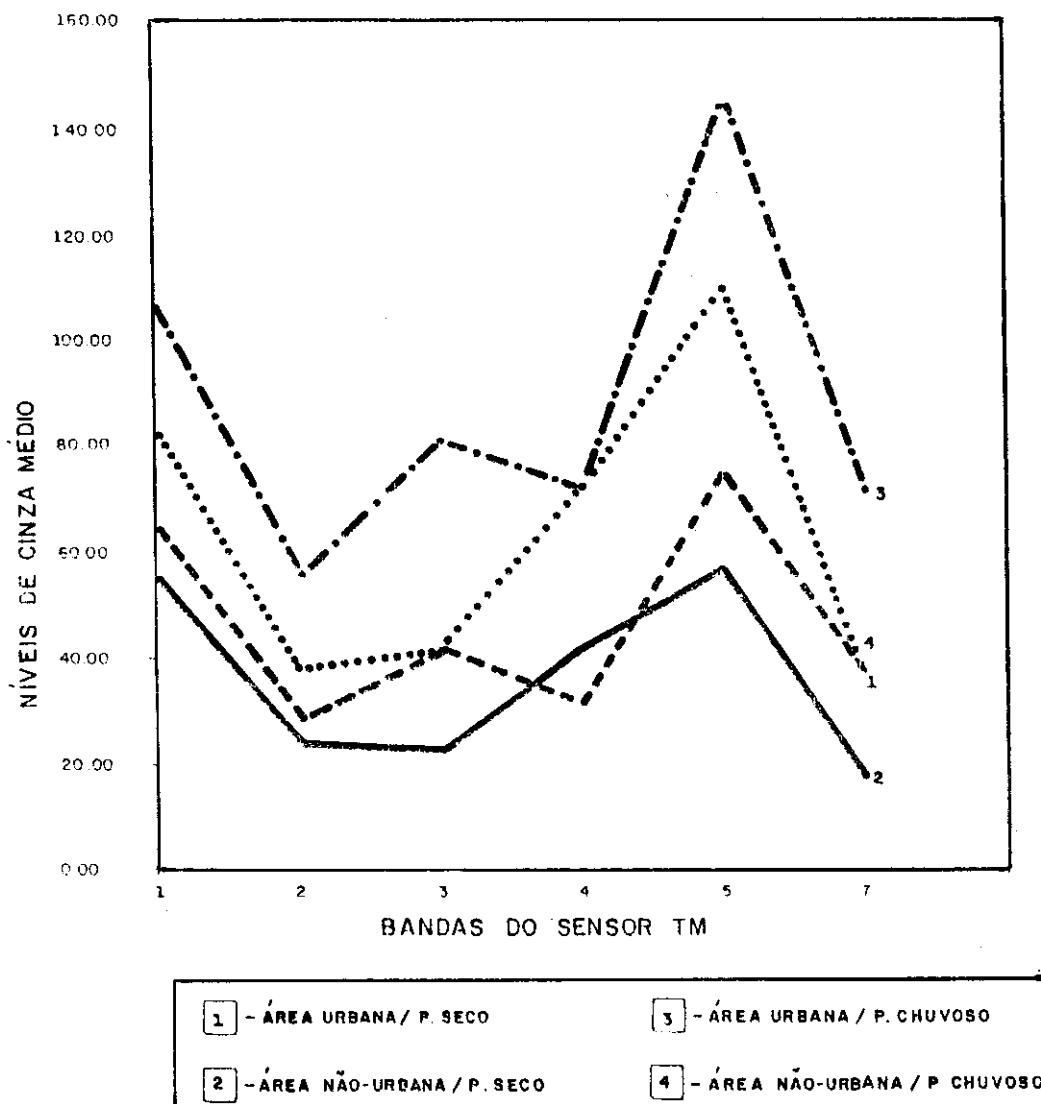


Fig. 4.7 - Nível de cinza médio das classes utilizadas por banda TM, para os períodos seco e chuvoso.

Na banda 1 as duas classes pouco se diferenciam, possuindo valores de NCM elevados devido à influência atmosférica, o que aumenta o valor de brilho na imagem.

Ainda na Fig. 4.7, a separabilidade do NCM entre as duas classes na banda 2 é pequena. Como pode ser verificado no seu histograma, o contraste nesta banda é reduzido e, como mostra a figura, possui um baixo potencial para diferenciá-las.

As bandas 5 e 7, como é visualizado na Fig. 4.7, apresentam um bom contraste entre as duas classes.

A comparação entre os histogramas de cada banda dos períodos seco e chuvoso é apresentada nas Figs. 4.8 a 4.13.

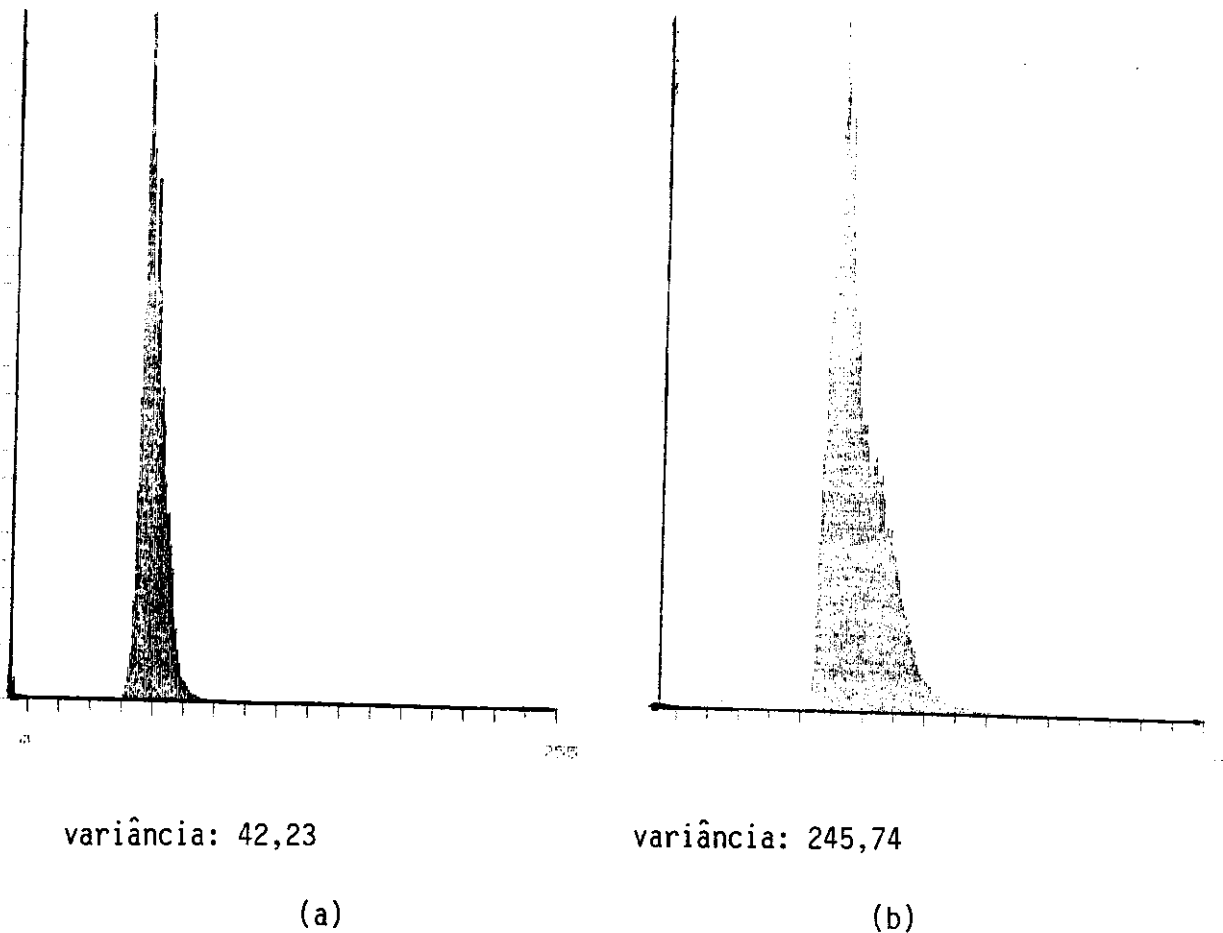


Fig. 4.8 - Histograma das imagens da cidade de São José dos Campos na banda 1: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).

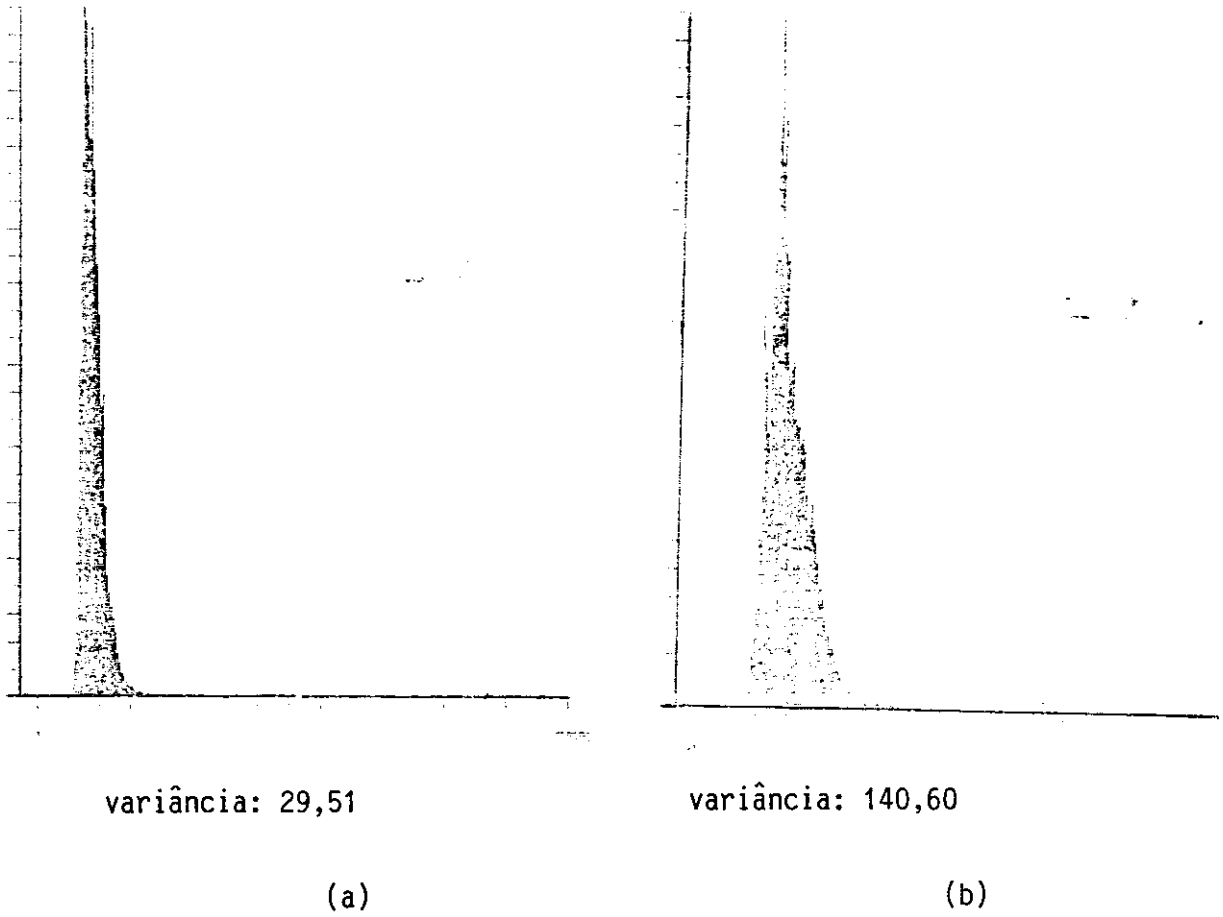


Fig. 4.9 - Histogramas das imagens da cidade de São José dos Campos na banda 2: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).

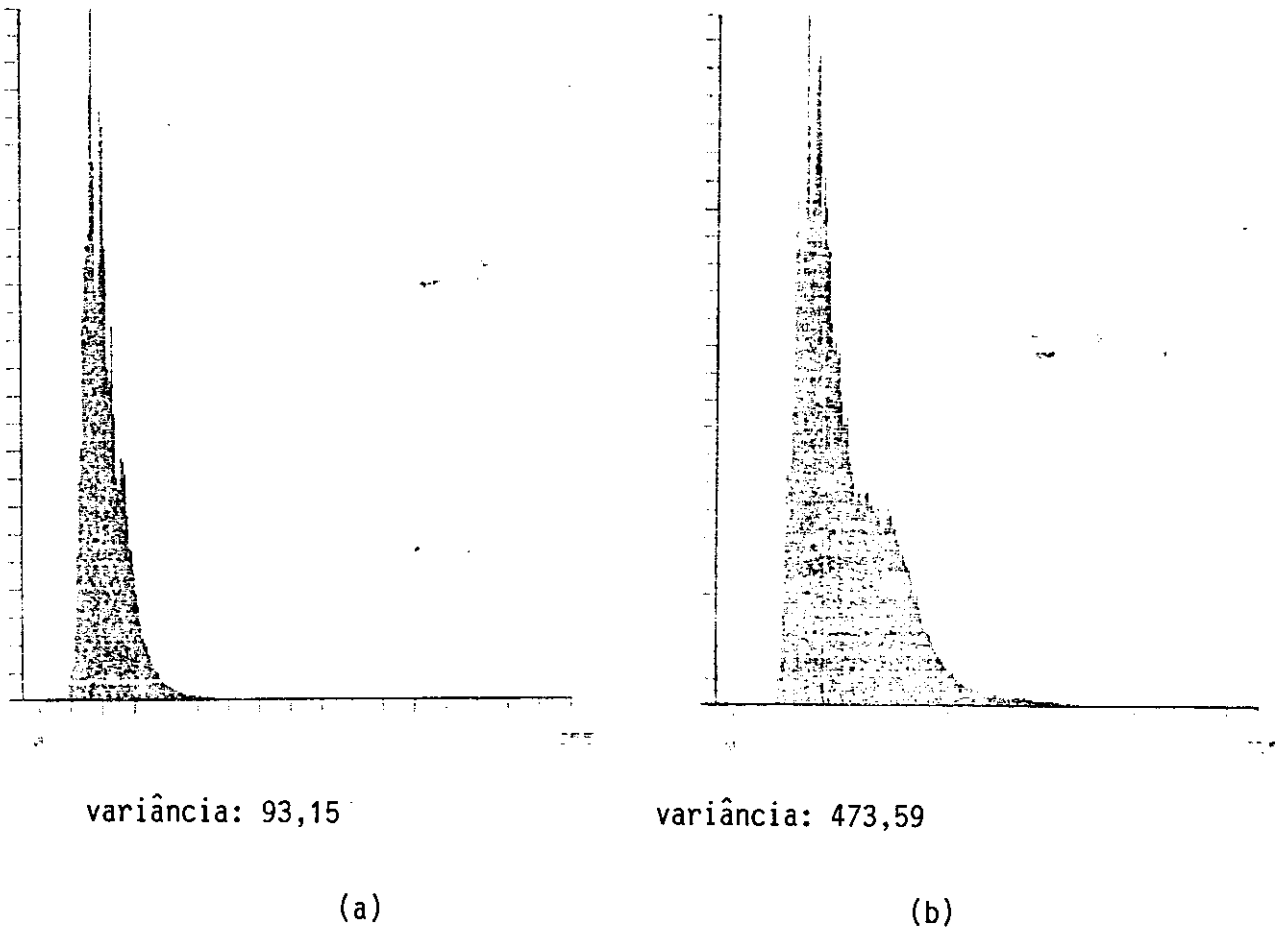
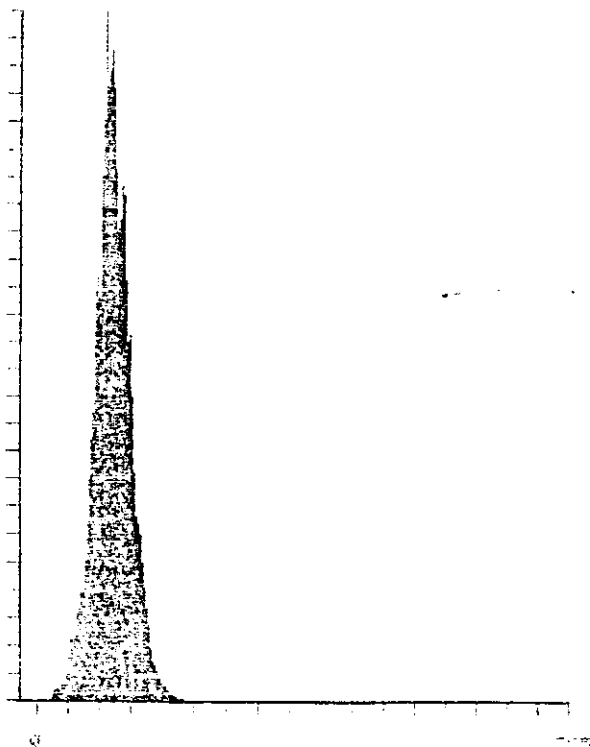


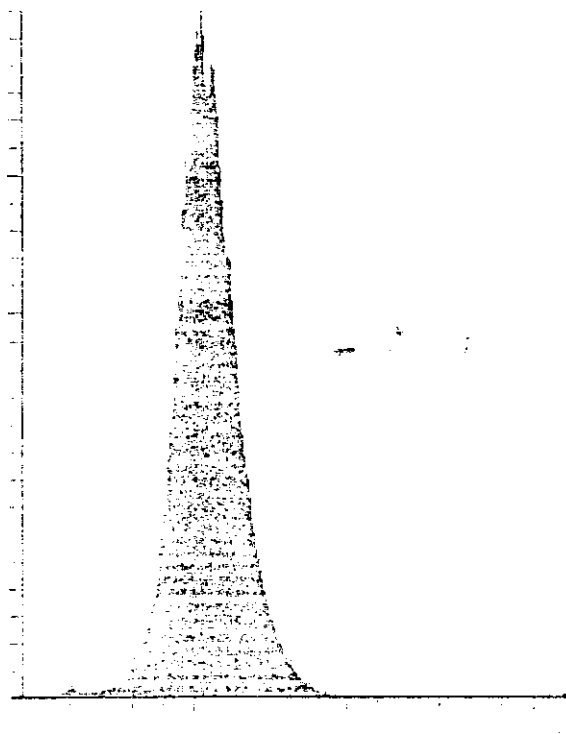
Fig. 4.10 - Histogramas das imagens da cidade de São José dos Campos na banda 3: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).





variância: 79,77

(a)



variância: 292,43

(b)

Fig. 4.11 - Histogramas das imagens da cidade de São José dos Campos na banda 4: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).

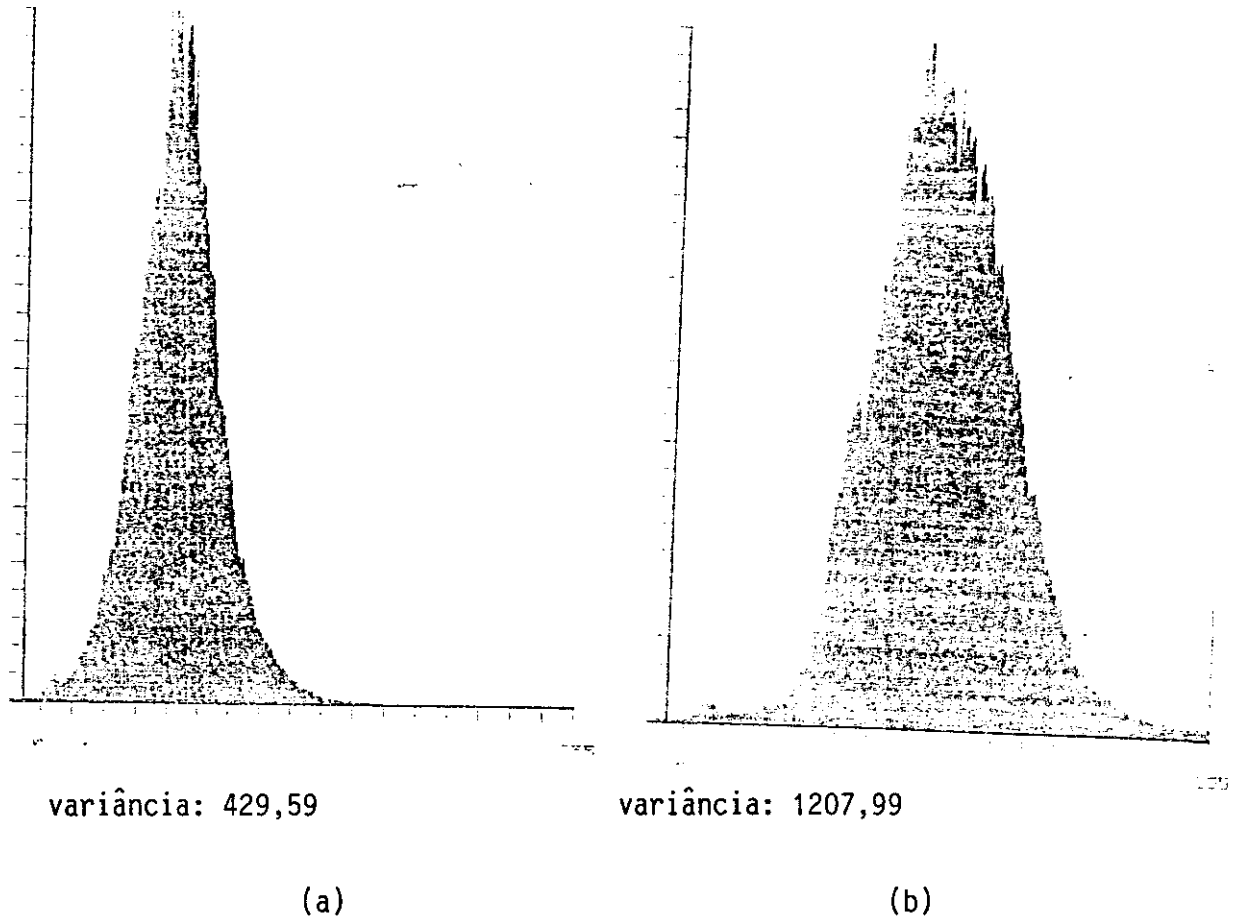


Fig. 4.12 - Histogramas das imagens da cidade de São José dos Campos na banda 5: a) período seco (06/08/86); b) período chuvoso (09/12/85).

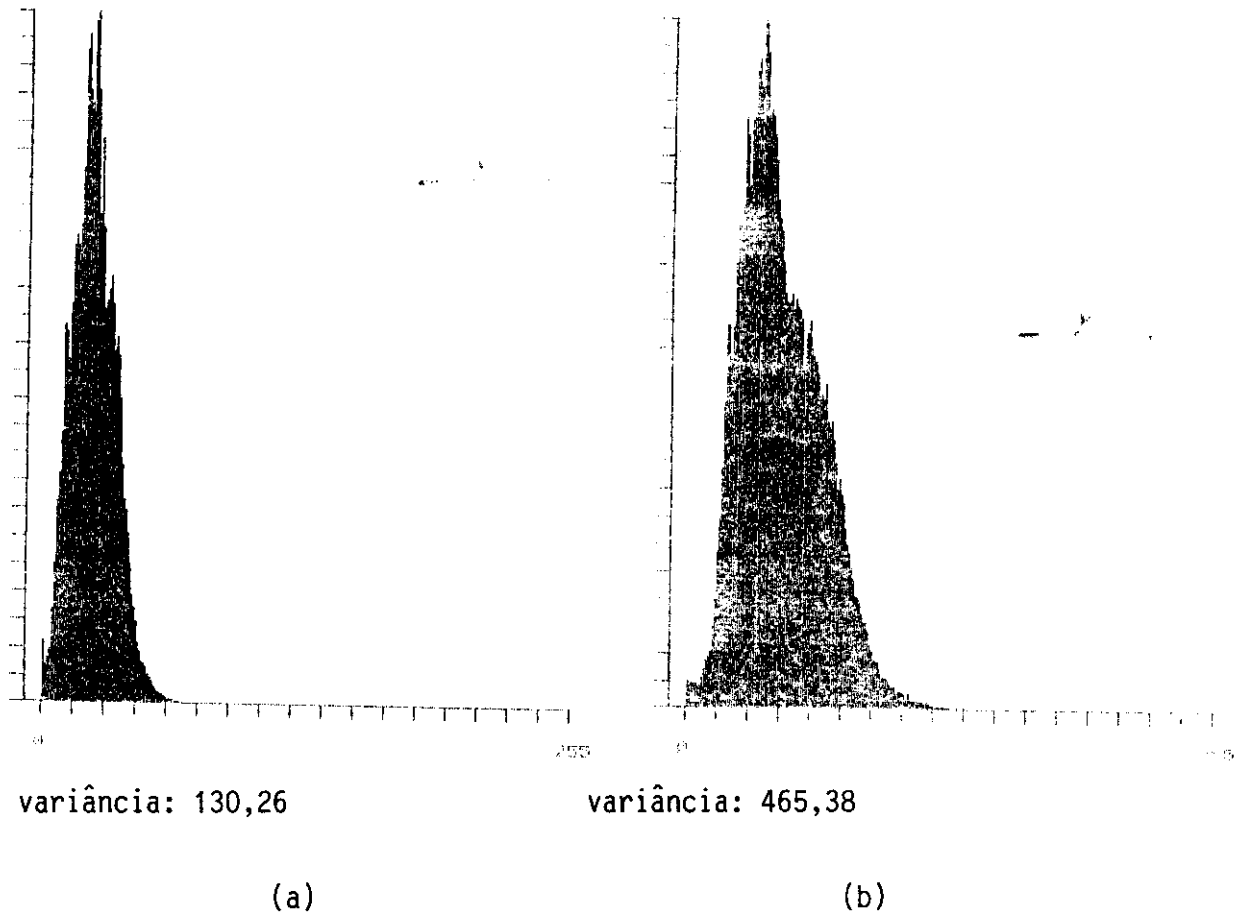


Fig. 4.13 - Histogramas das imagens da cidade de São José dos Campos na banda 7: a) período seco (06/08/86): b) período chuvoso (09/12/85).

A banda 5 dos dois períodos apresenta um histograma bem distribuído (Fig. 4.12). Isto pode ser verificado através do valor de suas variâncias. Estes valores denotam o grande conteúdo de informação de cena, pois quanto maior a variância, maior será a dispersão dos valores em torno da média.

A banda 7 possui a segunda maior variância no período seco, 130,28, apresentando um histograma com valores razoavelmente bem distribuídos. No período chuvoso é a banda 3 que ocupa esta colocação, com seus valores mais concentrados em torno da média do que a banda 5 (Figs. 4.13a e 4.10b).

A banda 1, nos dois períodos (Fig. 4.8), possui valores de níveis de cinza concentrados em torno da média, dados os valores de suas variâncias (42,23 e 245,55, respectivamente, para os períodos seco e chuvoso). Isto pode ser verificado na configuração de seu histograma, com base estreita, denotando o pouco contraste existente nesta banda. O elevado valor do nível de correlação desta banda com a banda 2 denota as semelhanças entre suas características visuais (Tabela 4.1).

TABELA 4.1

MATRIZ DE CORRELAÇÃO REFERENTE AOS PERÍODOS SECO E CHUVOSO

PERÍODO SECO						
	1	2	3	4	5	7
1	1,00					
2	0,76	1,00				
3	0,63	0,78	1,00			
4	0,12	0,24	0,30	1,00		
5	0,35	0,47	0,63	0,59	1,00	
7	0,40	0,51	0,57	0,21	0,67	1,00
PERÍODO CHUVOSO						
	1	2	3	4	5	7
1	1,00					
2	0,82	1,00				
3	0,69	0,83	1,00			
4	0,02	0,10	0,07	1,00		
5	0,46	0,55	0,68	0,30	1,00	
7	0,47	0,54	0,62	-0,02	0,72	1,00

Pode-se verificar, segundo a Tabela 4.1, que a maioria dos valores de correlação pouco se alteraram. Apenas o nível de correlação entre as bandas 4 e 5 sofreu um decréscimo do período seco para o período chuvoso. Isto ocorreu devido ao efeito da banda de absorção da água. No verão, com o aumento da umidade, quanto mais saudável a vegetação, maior a reflectância no infravermelho próximo (banda 4) e menor no infravermelho médio (banda 5), onde se visualiza a absorção de água pela folha.

Segundo a Tabela 4.1, a banda 7 do período seco apresenta 0,67 de correlação com a banda 5, o que demonstra que as suas informações de cena possuem redundância. Isto também ocorre no período chuvoso, sendo observado um pequeno aumento no nível de correlação entre estas bandas (0,72).

O nível de correlação entre as bandas 1, 2 e 3 dos períodos seco e chuvoso indica que, apesar de possuir certa diferenciação visual, as bandas do espectro visível são altamente correlacionadas, o que demonstra que existe redundância de informação entre elas.

A banda 4, nos dois períodos, não possui nível de correlação que possa ser considerado elevado com nenhuma outra banda. Isto a caracteriza como uma banda que possui especificidades que podem ser consideradas intrínsecas a ela.

A Tabela 4.2 são ordenados os resultados obtidos através da distância JM.

Na ordenação dos 6 melhores subconjuntos de bandas TM para os dois períodos, nota-se que as três primeiras bandas localizam-se na faixa do visível. Esta preferência provavelmente vem da classe área urbana, que exhibe valores de reflectância mais elevados nas bandas do visível, como foi observado em Jensen (1983) e Bowker et al. (1985).

TABELA 4.2

ORDENAÇÃO DAS MELHORES BANDAS TM ATRAVÉS DA DISTÂNCIA JM

PERÍODO SECO	
banda 1	JM = 1,3324
banda 2	JM = 1,0484
banda 3	JM = 1,0162
banda 7	JM = 0,8212
banda 4	JM = 0,4775
banda 5	JM = 0,3130
PERÍODO CHUVOSO	
banda 3	JM = 1,2000
banda 2	JM = 1,0778
banda 1	JM = 1,0416
banda 7	JM = 0,9111
banda 5	JM = 0,3265
banda 4	JM = 0,0039

O cálculo da distância JM para cada banda e sua ordenação mostra que, para o período seco, a banda 1 é a que possui maior valor, seguida das bandas 2 e 3.

A passagem utilizada de 06/08/86, sendo do período seco, contribui para a diminuição do contraste entre o urbano e o não-urbano, principalmente na faixa do vermelho, que é onde este contraste é mais evidente.

Assim sendo, a perda do vigor da vegetação em função da seca deixou, principalmente, as bandas da faixa do visível, praticamente, em situação de igualdade, o que causou diminuição de contraste entre as duas classes, o que favoreceu, a situação de superioridade da banda 1.

Na realização da ampliação linear de contraste em bandas individuais do período seco para posterior cálculo da estatística KAPPA, além da banda 1, também foi utilizada a banda 3 pelas suas características individuais e por ser indicada pela bibliografia existente.

No período chuvoso a banda 3 é a que possui maior valor, o que coincide com o resultado da análise das imagens e histogramas.

Como pôde ser observado no gráfico de nível de cinza médio de cada classe por banda TM, o aumento da umidade, decorrente de chuvas neste período, acentuou o contraste entre as duas classes utilizadas (área urbana e área não-urbana).

O aumento do contraste entre os dois períodos pode ser verificado também através dos valores das variâncias de cada banda, que aumentaram sensivelmente de um período para o outro.

Isto contribuiu para que os resultados concidissem com o que é indicado pela bibliografia, visto que o contraste entre a área construída e a vegetação torna-se mais acentuado na faixa do vermelho (0,61 a 0,70  $\mu\text{m}$ ). Desta forma, a banda 3 se sobressaiu em relação às outras.

Desta forma, a banda três será utilizada na realização da ampliação linear de contraste em bandas individuais do período chuvoso para posterior cálculo da estatística KAPPA.

#### 4.2 - AVALIAÇÃO DOS PROCESSAMENTOS DIGITAIS

Após a realização de cada um dos processamentos, foram obtidas as imagens/produto.

Para o realce por ampliação linear de contraste foram obtidas as imagens referentes aos períodos seco e chuvoso. Nas Figs. 4.5 e 4.6 podem-se visualizar as bandas 1 e 3 do período seco com ampliação linear de contraste.

Pela análise das Figs. 4.14 e 4.15, nota-se que a diferença visual entre as duas bandas não é tão marcante assim. O contraste entre as duas classes, área urbana e área não-urbana, é praticamente semelhante nas duas bandas. Na banda 3 a influência atmosférica neste período (seco) é menos intensa mas existe; porém, percebe-se que, apesar de a influência atmosférica ser mais visível na banda 1, a delimitação da área urbana é semelhante nas duas, ou seja, o grau de dificuldade é praticamente o mesmo.

Na Fig. 4.16 é mostrada a imagem da banda 3 referente ao período chuvoso. Nota-se, nesta imagem, que o contraste entre o urbano e o não-urbano é maior do que na mesma banda do período seco. Os limites urbanos ficam bem definidos, o que caracteriza a classe 1 com maior clareza neste período devido à umidade do solo provocada pela estação chuvosa. Isto acentua as diferentes interclasses.



Fig. 4.14 - Banda 1 do TM, com ampliação linear de contraste, referente à cidade de São José dos Campos: período seco (06/08/86).





Fig. 4.15 - Banda 3 do TM, com ampliação linear de contraste, referente à cidade de São José dos Campos: período seco (06/08/86).

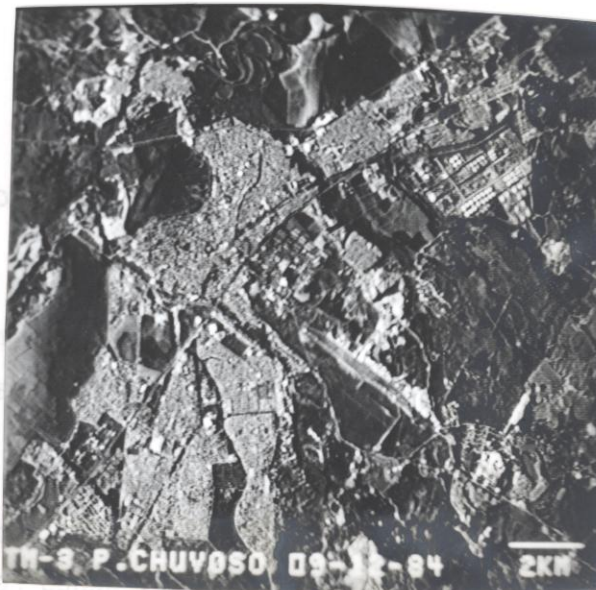
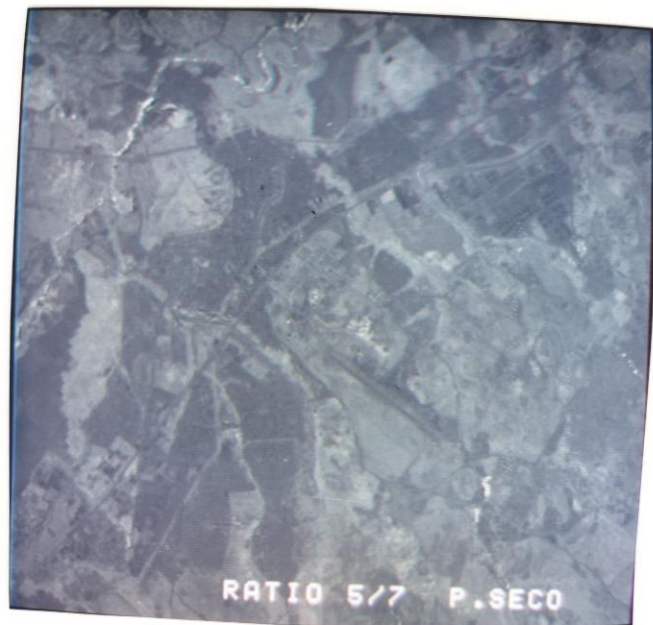


Fig. 4.16 - Banda 3 do TM, com ampliação linear de contraste, referente à cidade de São José dos Campos: período chuvoso (09/12/85).

A razão dos canais entre as bandas 5 e 7 do período seco pode ser visualizada na Fig. 4.17.



- 1 - área urbana;
- 2 - Petrobrás;
- 3 - culturas de arroz.

Fig. 4.17 - Razão entre as bandas 5 e 7 do período seco (06/08/86).

Nota-se, neste processamento, que a área urbana, em tons mais escuros, ficou razoavelmente bem definida. A refinaria da Petrobrás e algumas áreas de cultivo obtiveram a mesma tonalidade (cinza escuro) que a área urbana.

A imagem da razão de canais do período chuvoso (Fig. 4.18) apresenta-se mais nítida que a anterior, sendo ressaltada com mais clareza a área urbana. Porém, apesar de textural e visualmente os alvos que compõem a área urbana serem diferentes dos alvos pertencentes à classe não-urbana, ainda persiste a semelhança de tonalidades entre alguns alvos, já observados na razão de canais do período seco.



Fig. 4.18 - Razão entre as bandas 5 e 7 do período chuvoso (09/12/85).

Bem mais nítida e com maior contraste de cena que a razão de canais, a imagem referente ao índice de vegetação do período seco apresenta o mesmo problema mencionado anteriormente na razão de canais (Fig. 4.19). Alguns alvos contidos na classe 2, com cultura de arroz e a Petrobrás, ficaram com tonalidades semelhantes às da classe 1.

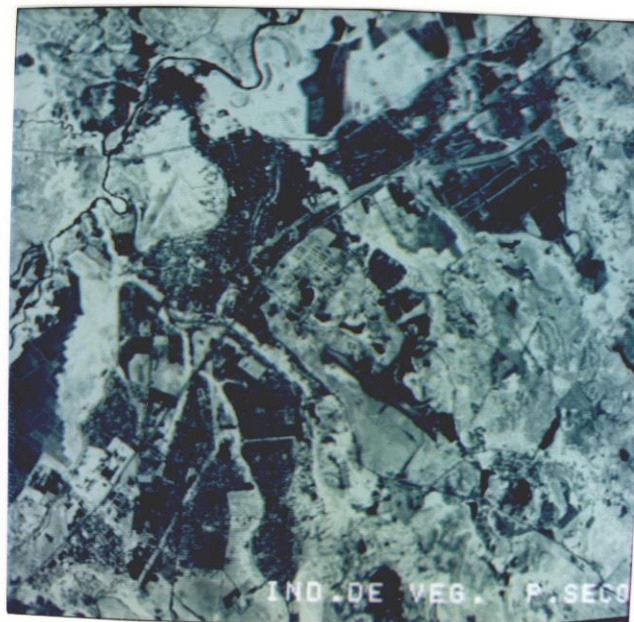


Fig. 4.19 - Índice de vegetação referente ao período seco (06/08/86).

Na Fig. 4.20 pode-se visualizar o índice de vegetação referente ao período chuvoso.

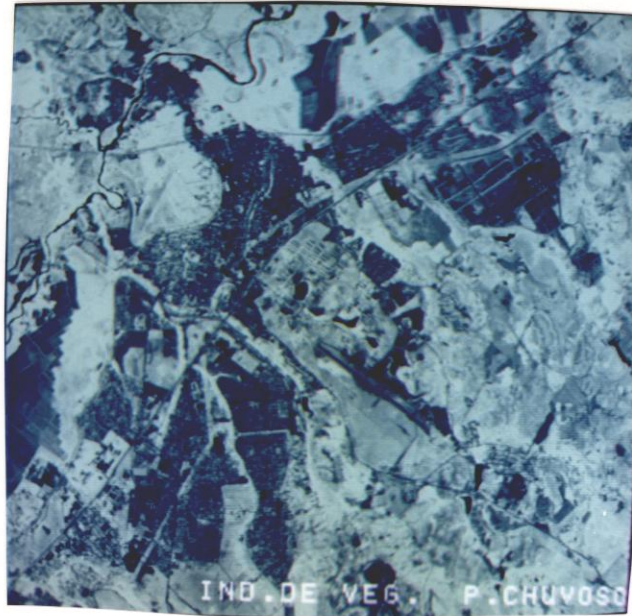


Fig. 4.20 - Índice de vegetação referente ao período chuvoso (09/12/85).

Nesta imagem o contraste entre as duas classes é um pouco melhor que a do outro índice; porém, a semelhança entre as tonalidades das duas classes permanece inalterada devido à própria essência do processamento em si que tem a tendência de homogeneizar níveis de cinza próximos, assim como a razão de canais.

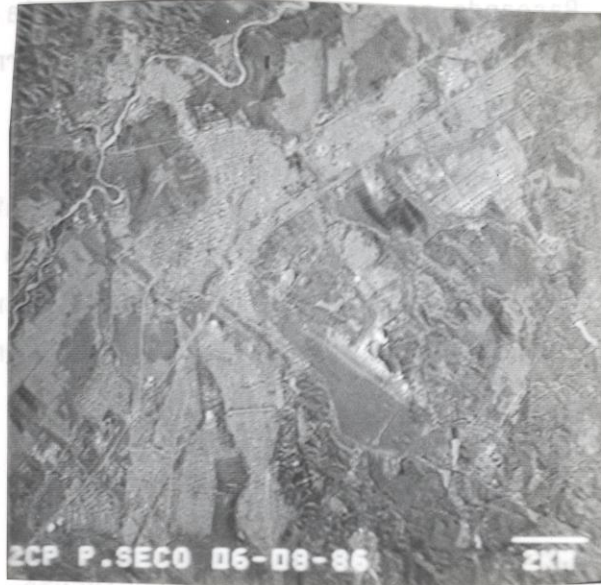
Nas Figs. 4.12 e 4.13 aparecem as três primeiras componentes e a composição colorida resultante da transformação por principais componentes aplicada ao período seco.



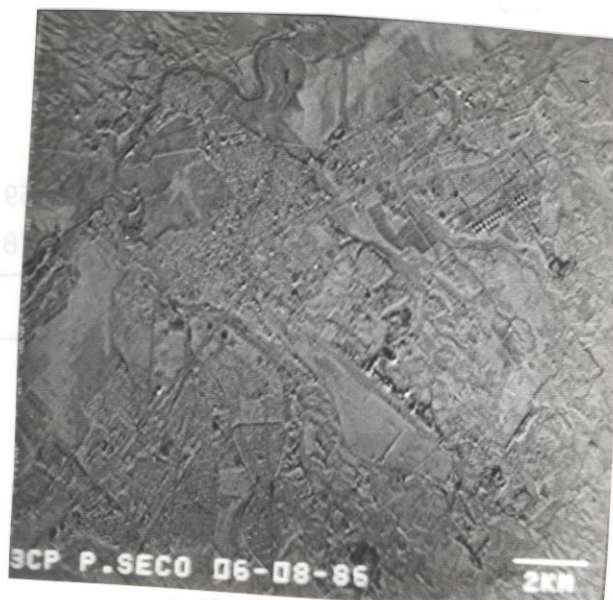
a) 1ª componente.

Fig. 4.21 - Imagens das principais componentes resultantes da transformação das 6 bandas TM referentes ao período seco (06/08/86).

(continua)



b) 2ª componente.



c) 3ª componente.

Fig. 4.21 - Conclusão.

Baseando-se na matriz de covariância, é possível descrever qual das bandas TM mais contribuiu para a formação de cada componente (Paradella et al., 1984).

Segundo a Tabela 4.3, para o conjunto das seis bandas utilizadas, a banda 5 é a que tem maior contribuição para a primeira componente, seguida bem distante, da banda 7. As outras bandas contribuíram bem pouco. Devido a isto, nota-se uma semelhança desta banda com a banda 5.

TABELA 4.3

ALGUNS RESULTADOS ESTATÍSTICOS DO PROCESSAMENTO TRANSFORMAÇÃO POR PRINCIPAIS COMPONENTES DAS 6 BANDAS TM DO PERÍODO SECO

<b>MATRIZ DE COVARIÂNCIA</b>					
49.23					
26.92	29.51				
39.74	41.15	93.15			
6.85	11.42	26.12	79.77		
47.53	53.56	128.32	110.61	429.59	
29.63	31.38	62.32	21.64	160.78	130.26
<b>AUTO-VALORES</b>					
	595.40	(73.10%)			
	97.27	(11.94%)			
	62.06	(7.62%)			
	34.58	(4.25%)			
	19.07	(2.34%)			
	6.12	(0.75%)			

(continua)



Tabela 4.3 - Conclusão.

MATRIZ DE ROTAÇÃO						
	1	2	3	4	5	7
PC <sub>1</sub>	0.121	0.131	0.291	0.215	0.843	0.357
PC <sub>2</sub>	0.374	0.295	0.440	-0.492	-0.392	0.479
PC <sub>3</sub>	-0.363	-0.298	-0.500	-0.392	0.116	0.602
PC <sub>4</sub>	0.032	0.076	-0.110	0.744	-0.390	0.525
PC <sub>5</sub>	0.749	0.144	-0.632	-0.040	0.120	-0.052
PC <sub>6</sub>	-0.390	0.884	-0.246	-0.057	0.038	-0.046

Na primeira componente os contrastes fazem ressaltar o relevo pela iluminação e sombreamento das vertentes. A rede de drenagem também é melhor definida. Como foi observado por Forster (1983), os aruamentos ficam bem caracterizados nesta componente, que possui cerca de 73.10% da variância total da cena.

A segunda componente contém cerca de 11,94% da variância total da cena. A banda 4 foi a que mais contribuiu com informação para a formação desta imagem.

Apesar de possuir pouca informação, esta componente assemelha-se à da banda 4, ressaltando o contraste entre a vegetação e a área urbana.

A terceira componente, com aproximadamente 7,62% da variância total da cena, possui maior contribuição da banda 7. A imagem possui pouca informação a ser analisada.

As outras componentes que foram geradas, devido ao baixíssimo conteúdo de informação, foram desprezadas para efeito de análise.

A composição colorida das componentes 1, 2 e 3 (Fig. 4.22) foi obtida através da combinação de cores que deu melhor realce: 1ª R, 2ª G e 3ª B, com saturação no verde.

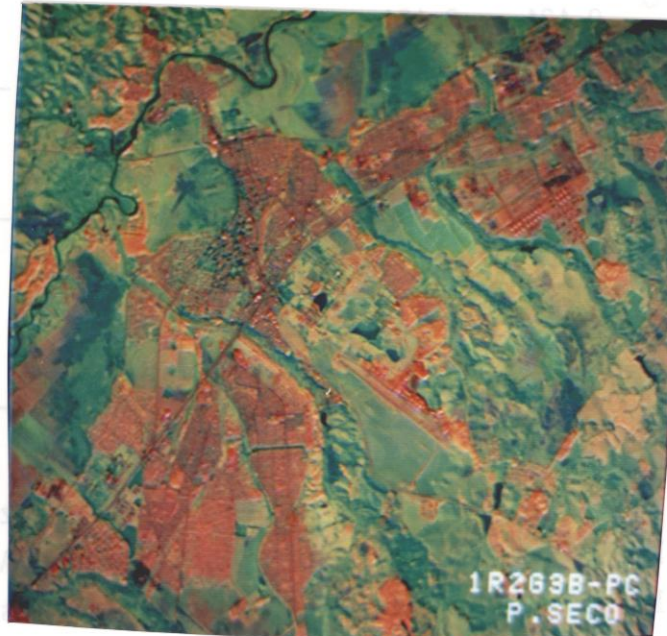
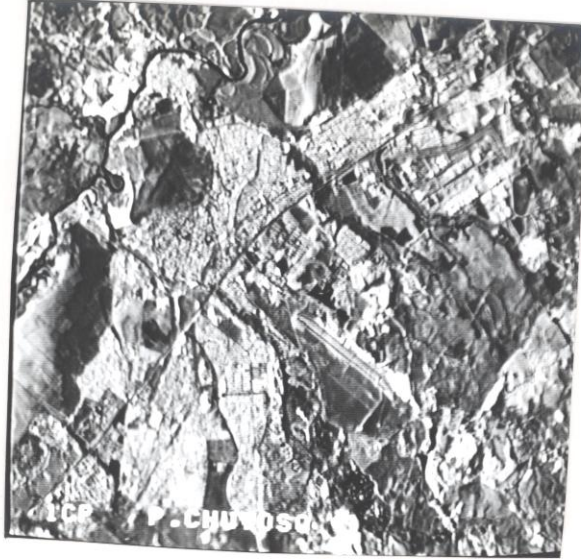


Fig. 4.22 - Composição colorida das três primeiras componentes referentes ao período seco: 1ª PC vermelha; 2ª PC verde; 3ª PC azul.

Nesta composição, a área urbana aparece bem mais definida do que nos outros processamentos. O arruamento da cidade fica bem visível; as atividades agrícolas, a vegetação arbórea e arbustiva/herbácea e o relevo tornam-se bem caracterizados.

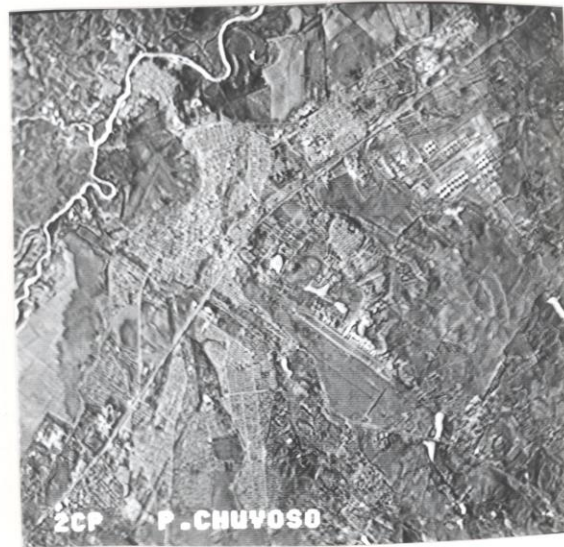
As três primeiras componentes e a composição colorida resultantes do método principais componentes referentes ao período chuvoso aparecem nas Figs. 4.23 e 4.24.



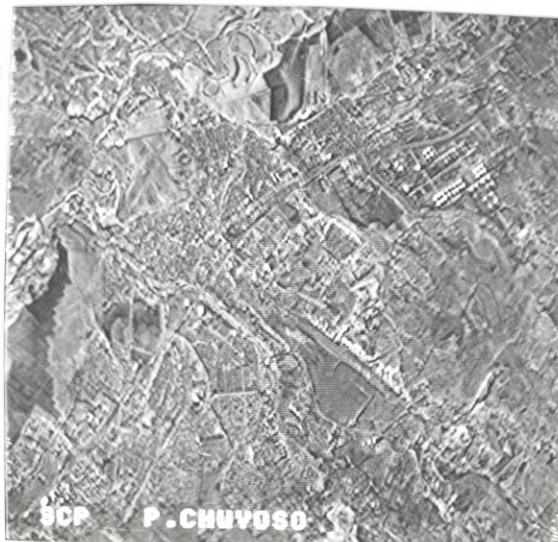
a) 1ª componente.

Fig. 4.23 - Imagens das principais componentes resultantes da transformação das 6 bandas TM referentes ao período chuvoso (09/12/85).

(continua)



b) 2ª componente.



c) 3ª componente.

Fig. 4.23 - Conclusão.

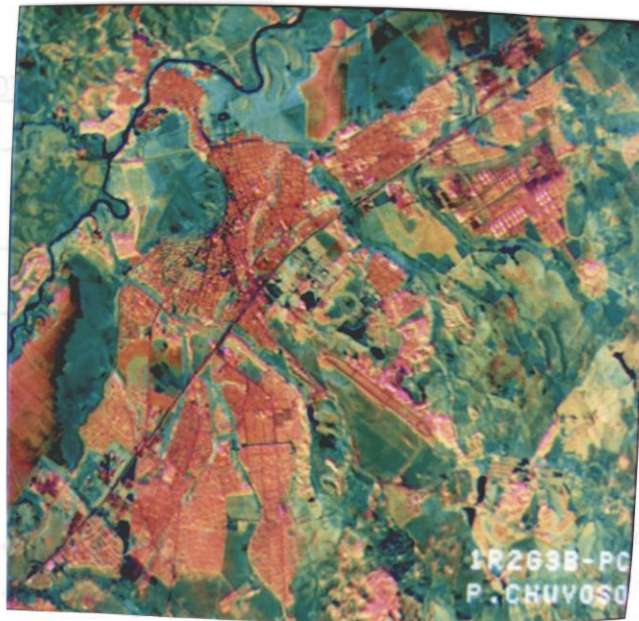


Fig. 4.24 - Composição colorida das três primeiras componentes referentes ao período chuvoso: 1ª PC vermelha; 2ª PC verde; 3ª PC azul.

Para o conjunto das seis bandas utilizadas para o período chuvoso, segundo a Tabela 4.4, a banda 5 é a que mais contribui para a primeira componente, seguida das bandas 7 e 3. Desta forma, esta componente também apresenta alguma semelhança com a banda 5. Aqui também são bem visualizados o relevo e a rede de drenagem.

TABELA 4.4

ALGUNS RESULTADOS ESTATÍSTICOS DO PROCESSAMENTO TRANSFORMAÇÃO POR PRINCIPAIS COMPONENTES DAS 6 BANDAS TM PARA O PERÍODO CHUVOSO

MATRIZ DE COVARIÂNCIA						
245.74						
152.49	140.60					
235.35	213.23	473.59				
4.85	19.58	25.30	292.43			
253.31	226.02	516.65	178.88	1207.99		
159.07	137.58	289.50	-7.31	542.61	465.38	
AUTO-VALORES						
MATRIZ DE ROTAÇÃO						
	1	2	3	4	5	7
PC <sub>1</sub>	0.226	0.195	0.413	0.090	0.755	0.402
PC <sub>2</sub>	0.376	0.249	0.394	-0.651	-0.422	0.200
PC <sub>3</sub>	0.394	0.302	0.386	0.554	-0.204	-0.506
PC <sub>4</sub>	0.158	0.091	-0.201	0.489	-0.405	0.723
PC <sub>5</sub>	0.705	0.070	-0.646	-0.134	0.211	-0.134
PC <sub>6</sub>	-0.360	0.892	-0.260	-0.65	0.046	-0.036

A primeira componente possui cerca de 68,49% da variância total da cena.

A segunda componente apresenta 13,63% da variância total da cena. A banda 4 foi a que mais contribuiu para formação desta componente. Como pode ser notado, existe uma ligeira semelhança desta componente com a banda 4.

Com cerca de 9,38% da variância total da cena, esta componente possui maior contribuição da banda 4. A quantidade de informação não é suficientemente boa para ser analisada.

As outras componentes que foram geradas, como no período seco, também foram desprezadas para efeito de análise devido ao baixo teor de informação.

Devido à época em que foi adquirida, a composição colorida das componentes 1, 2 e 3 (Fig. 4.24), que foi obtida pela combinação 1R 2G e 3B, também como saturação no verde, apresenta-se mais nítida que a anterior, obtida no período seco. Nesta imagem o contraste entre as duas classes é bem mais nítido, tendo ressaltado, inclusive, variações nas tonalidades da vegetação e do uso do solo agrícola. O arruamento, bem como o relevo, também está bem definidos.

#### 4.3 - CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS/PRODUTO ATRAVÉS DO MAXVER

Dado o objetivo principal deste trabalho, selecionar o melhor processamento para a delimitação de áreas urbanas, realizou-se em cada processamento uma classificação supervisionada (MAXVER), discutida na Seção 3.3.2, para posterior comparação com a imagem de referência (Fig. 4.24).

Nas classificações realizadas em cada imagem/produto, foram mantidos o número e as mesmas amostras para não influenciar os resultados.

As Figs. 4.25 a 4.33 mostram as imagens e os respectivos resultados obtidos através da classificação MAXVER para cada um dos produtos nos dois períodos analisados.

Na Fig. 4.25, pode-se observar que a classificação realizada na banda 1, referente ao período seco, não pode ser considerada satisfatória, como pode ser observado na Tabela 4.5.

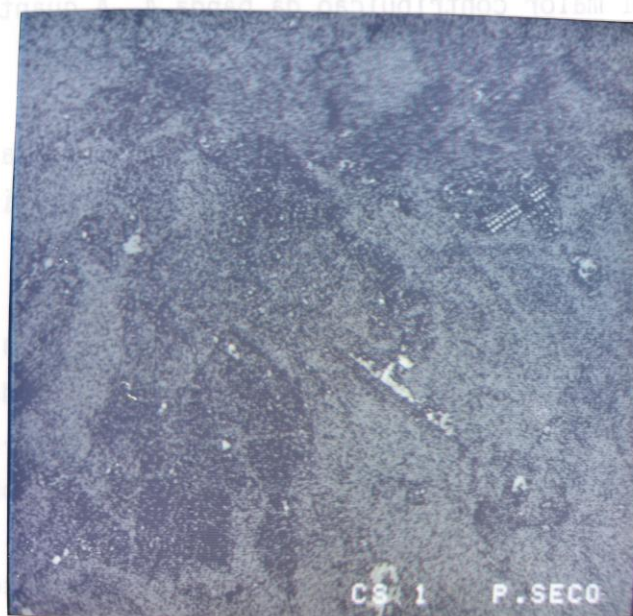


Fig. 4.25 - Classificação MAXVER sobre a banda 1 referente ao período seco.



TABELA 4.5

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DA BANDA 1 - PERÍODO SECO

	n	1	2
1. Urbana	0.4	72.1	27.5
2. Outros	0.0	42.7	57.3
Desempenho médio = 65,0%			
Abstenção média = 0,2%			
Confusão média = 34,8%			

Nesta tabela, n é a porcentagem dos "pixels" não-classificados, 1 é a porcentagem dos "pixels" classificados como urbanos e 2 é a porcentagem dos "pixels" classificados como não-urbanos.

Nota-se, tanto visual quanto numericamente, que esta classificação não definiu claramente a área urbana e a área não-urbana. Existe uma "confusão" de tonalidade, ou seja, algumas áreas que eram urbanas foram caracterizadas como não-urbanas e vice-versa. Devido às características gerais desta banda, esta classificação não foi considerada satisfatória.

A Fig. 4.26 caracteriza a classificação MAXVER realizada sobre a banda 3 do período seco. Na Tabela 4.6 podem-se visualizar os resultados numéricos desta classificação.



Fig. 4.26 - Classificação MAXVER sobre a banda 3 referente ao período seco.

TABELA 4.6

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DA BANDA 3 - PERÍODO SECO

	n	1	2
1. Urbana	0.2	88.4	11.4
2. Outros	2.2	41.5	56.3
Desempenho médio = 72,3%			
Abstenção média = 1,2%			
Confusão média = 26,5%			

Apesar de, tanto qualitativa quanto quantitativamente, esta matriz ter realçado melhor as duas classes do que a banda 1, ainda é perceptível a sua deficiência na caracterização destas duas classes.

Com um desempenho médio de 72,3%, a banda 3 supera a banda 1 (65%) apesar da pouca diferença numérica. Porém os problemas visuais apresentados podem ser definidos como os mesmos, ou seja, "confusão" na classificação das classes.

O resultado da classificação supervisionada MAXVER aplicada à banda 3 do período chuvoso pode ser visualizado na Fig. 4.27.

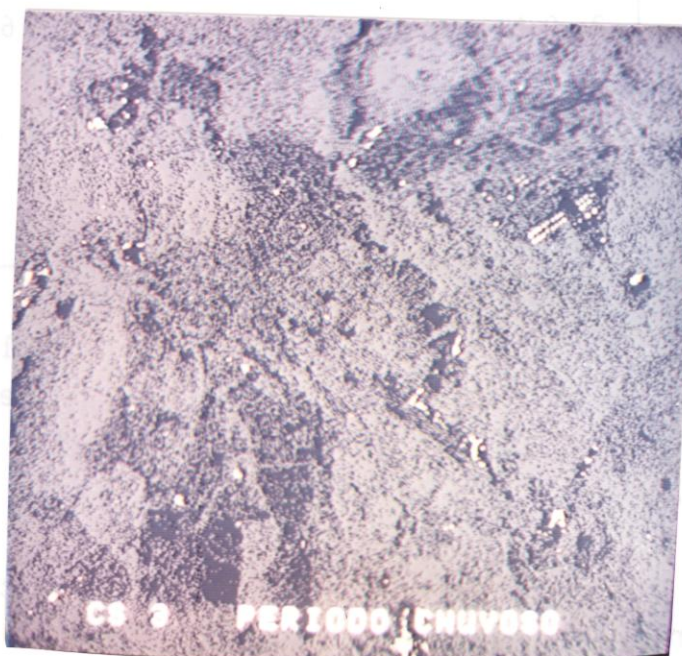


Fig. 4.27 - Classificação MAXVER sobre a banda 3 referente ao período chuvoso.

Como é mostrado, o desempenho da classificação para esta banda é visualmente semelhante nos períodos seco e chuvoso. Nesta classificação a área urbana está quase semelhante à mesma banda do outro período, apesar de apresentar erros de inclusão em ambas as classes. O seu desempenho médio de 70,3% foi menor apenas 2% que a anterior (72,3%), o que demonstra a semelhança entre as duas (Tabela 4.7).

TABELA 4.7

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DA BANDA 3 - PERÍODO CHUVOSO

	n	1	2
1. Urbana	0.0	71.8	28.2
2. Outros	0.0	31.3	68.7
Desempenho médio = 70,3%			
Abstenção média = 0,0%			
Confusão média = 29,7%			

A imagem resultado obtida através da classificação da imagem produzida pela razão entre a banda 5 e a 7, referente ao período seco, encontra-se na Fig. 4.28. Na Tabela 4.8 pode-se observar a sua matriz de classificação.

É interessante notar que esta classificação apresentou-se melhor que as anteriores. A área urbana, como é visualizado na Fig. 4.6, ficou bem caracterizada, apesar de algumas áreas terem sido erroneamente classificadas, o que pode ser constatado na Tabela 4.8.



Fig. 4.28 - Classificação MAXVER sobre a razão de canais referente ao período seco.

TABELA 4.8

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DA RAZÃO DE CANAIS ENTRE  
AS BANDAS 5 E 7 - PERÍODO SECO

	n	1	2
1. Urbana	0.0	95.1	4.9
2. Outros	0.6	9.1	90.3
Desempenho médio = 92,7%			
Abstenção média = 0,3%			
Confusão média = 7,0%			

O desempenho médio de 92,7% e a confusão média de 7,0% demonstram o quanto esta classificação pode ser considerada satisfatória.

O processamento realizado através da razão entre os canais 5 e 7 do período chuvoso apresentou visualmente um bom desempenho para a classificação MAXVER, como pode ser notado comparando a imagem original (Fig. 4.18) e a sua respectiva classificação na Fig. 4.29.

De acordo com a Tabela 4.9, algumas áreas urbanas foram classificadas erroneamente neste processamento (41,4%), o que representou uma queda no seu desempenho médio.



Fig. 4.29 - Classificação MAXVER sobre a razão de canais referente ao período chuvoso.

TABELA 4.9

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DA RAZÃO DE CANAIS ENTRE AS  
BANDAS 5 E 7 - PERÍODO CHUVOSO

	n	1	2
1. Urbana	0.0	58.9	41.4
2. Outros	0.0	3.2	96.8
Desempenho médio = 77,7%			
Abstenção média = 0,0%			
Confusão média = 22,3%			

Comparando as duas razões efetuadas para cada período, percebe-se a diferença de classificação. O período seco, pelas suas características, fez com que algumas áreas de solo preparado para cultivo fossem incluídas na classe urbana, assim como muitas áreas de vegetação que sofriam de déficit hídrico.

No período chuvoso isto não ocorre, pois, devido à umidade, estas áreas ficam com resposta espectral diferente da da classe urbana, o que facilita a separabilidade. Inclusive, neste período as áreas verdes intra-urbanas se sobressaíram, o que contribuiu para a diminuição do desempenho desta classificação.

A imagem referente à classificação do produto obtido pelo índice de vegetação realizado com as bandas 3 e 4 do período seco está relacionada na Fig. 4.30. Na Tabela 4.10 está relacionada a matriz de classificação.



Fig. 4.30 - Classificação MAXVER sobre o índice de vegetação referente ao período seco.

TABELA 4.10

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE  
DE VEGETAÇÃO - PERÍODO SECO

	n	1	2
1. Urbana	0.6	77.0	22.4
2. Outros	0.0	33.6	66.4
Desempenho médio = 76,6%			
Abstenção média = 0,6%			
Confusão média = 22,9%			



Nota-se que a classificação define melhor os contornos urbanos do que as bandas 1 e 3. Porém, é inferior aos resultados obtidos pela razão de canais.

Visualmente, esta classificação assemelha-se à da banda 3, com alguns pontos classificados erroneamente. O desempenho de 76,6% supera em muito pouco o da banda 3 (72,3%).

A classificação realizada sobre a imagem do índice de vegetação referente ao período chuvoso (Fig. 4.31) visualmente classificou mais pontos como urbanos do que no período seco. Houve neste período uma inclusão de algumas áreas agrícolas na classe urbana. Em contrapartida, no período seco houve uma inclusão de pontos da área urbana na classe não-urbana.



Fig. 4.31 - Classificação MAXVER sobre o índice de vegetação referente ao período chuvoso.

O seu processamento obteve um desempenho médio de 81,2%, o que pode ser considerado semelhante ao mesmo processamento do período seco (76,6%).

TABELA 4.11

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DO ÍNDICE  
DE VEGETAÇÃO - PERÍODO CHUVOSO

	n	1	2
1. Urbana	0.1	98.0	11.9
2. Outros	0.0	35.5	64.5
Desempenho médio = 81,2%			
Abstenção média = 0,1%			
Confusão média = 18,7%			

Na Fig. 4.32 é visualizada a imagem obtida pela classificação MAXVER do produto resultante da aplicação do método principais componentes referente ao período seco. A matriz de classificação encontra-se na Tabela 4.12.

De todas as imagens do período seco classificadas, esta é a que melhor define os limites urbanos, apesar de alguns pontos terem sido classificados erroneamente.

O desempenho médio de 96,1% e a porcentagem de pontos que foram classificados corretamente como pertencentes à área urbana e à área não-urbana superaram os demais processamentos.

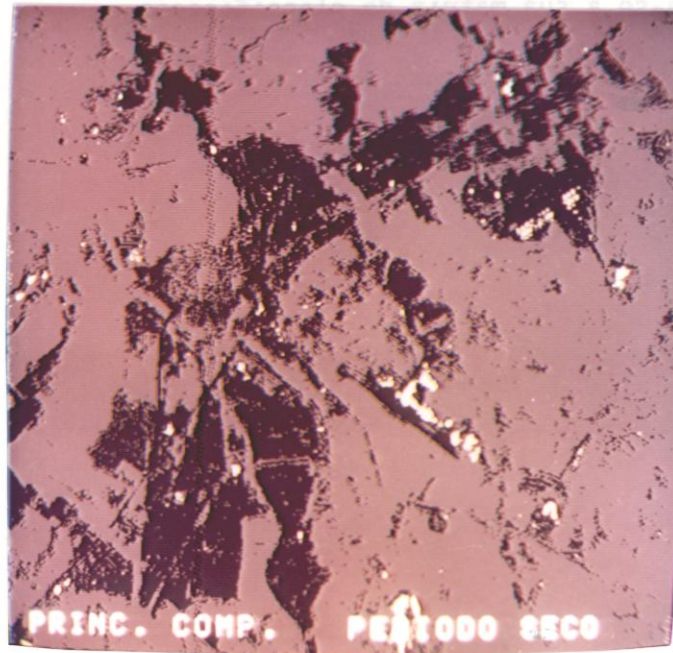


Fig. 4.32 - Classificação MAXVER sobre o método principais componentes referente ao período seco.

TABELA 4.12

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DO MÉTODO PRINCIPAIS  
COMPONENTES - PERÍODO SECO

	n	1	2
1. Urbana	2.0	93.1	4.9
2. Outros	0.4	0.5	99.1
Desempenho médio = 96,1%			
Abstenção média = 1,2%			
Confusão média = 2,7%			

Na Fig. 4.33 observa-se a classificação MAXVER da imagem resultante do método principais componentes do período chuvoso. Na Tabela 4.13 observa-se a sua matriz de classificação.

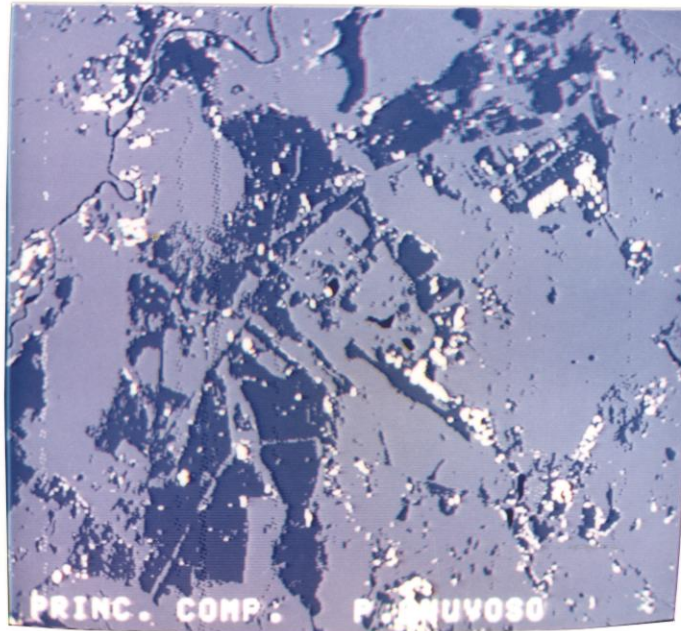


Fig. 4.33 - Classificação MAXVER sobre o método principais componentes referente ao período chuvoso.

Este processamento apresentou, visual e quantitativamente, um bom resultado, ressaltando os limites urbanos com mais facilidade que os demais processamentos realizados para o período seco.

Apesar de classificar erroneamente algumas áreas, a sua matriz demonstra que a classificação pode ser considerada um sucesso, tendo em vista a porcentagem dos pontos pertencentes às duas classes que foram bem classificados.

Em ambos os períodos este procedimento apresentou bom desempenho para a classificação MAXVER, equiparando-se, quantitativa e qualitativamente, tanto na época seca quanto na chuvosa.

TABELA 4.13

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DO MÉTODO PRINCIPAIS  
COMPONENTES - PERÍODO CHUVOSO

	n	1	2
1. Urbana	1.1	96.1	2.8
2. Outros	0.1	6.4	93.4
Desempenho médio = 94,8%			
Abstenção média = 0,6%			
Confusão média = 4,6%			

4.4 - EXATIDÃO DAS CLASSIFICAÇÕES ATRAVÉS DA ESTATÍSTICA KAPPA

Para o cálculo da estatística Kappa foi gerada uma imagem de referência (Seção 3.3.2), como mostra a Fig. 4.34.

Gerou-se apenas uma imagem de referência para as duas datas, pois não foram encontradas mudanças espaciais relevantes entre os dois períodos.

Para verificar a exatidão dos resultados das classificações com a imagem padrão através do programa MATERR, é necessário que as duas classes consideradas (área urbana e área não-urbana), tanto nas classificações quanto na imagem padrão, possuam o mesmo valor digital. Esta padronização é realizada através do programa Geração de Cores (GECOR), implementado no I-100.



Fig. 4.34 - Imagem padrão.

A Tabela 4.14 apresenta os resultados obtidos através do programa MATERR, no I-100.

Dado o teste de hipótese:

$$H_0 : K = 0 \text{ (não existe concordância),}$$

$$H_1 : K > 0 \text{ (existe concordância),}$$

levando em consideração o nível de significância  $\alpha = 0,05$ , os valores de  $Z$  para os correspondentes índices de Kappa, maiores que 1,96, tornam a hipótese  $H_0$  rejeitada.

TABELA 4.14

## VALORES DE KAPPA PARA CADA PRODUTO POR PERÍODO

PERÍODO	PRODUTO	R	Z	S <sup>2</sup>
Período seco	Principais componentes	0,2364	7,2486	0,0010636
	Índice de vegetação	0,0936	3,5182	0,000711
	Banda 3	0,0778	3,0628	0,0006452
	Razão de canais	0,1026	2,8519	0,0012943
	Banda 1	0,0466	2,4612	0,0003582
Período chuvoso	Principais componentes	0,4482	10,7281	0,0017454
	Razão de canais	0,3543	10,0233	0,0012495
	Banda 3	0,1929	7,3060	0,0006971
	Índice de vegetação	0,1109	4,0559	0,0007476

Como todos os valores de Kappa foram maiores que zero, a hipótese  $H_0$  foi rejeitada, ou seja, existe concordância entre as classificações obtidas para cada imagem/produto e para a imagem padrão. Porém, segundo Landis e Koch (1977), apenas o valor de Kappa do produto principais componentes, referente ao período chuvoso, obteve um grau de concordância regular. Os demais produtos obtiveram um baixo grau de concordância.

O índice de vegetação e a banda 3 do período seco, apesar de possuir valores para Kappa inferiores ao valor obtido pela razão de canais, alcançaram maiores valores para Z. Isto significa que  $S^2$  influenciou o resultado da ordenação dos valores, porém a classificação obtida pela razão de canais está mais próxima da imagem padrão que a banda 3 do índice de vegetação.

A banda 1 obteve o menor valor para Z e para  $\hat{K}$ , o que apenas comprova a análise feita no início deste capítulo acerca desta banda. A área urbana nesta banda não é bem definida, ou seja, devido à forte influência atmosférica esta classe, em muitos pontos, confunde-se com a outra categoria (área não-urbana).

O método principais componentes obteve o maior valor para  $\hat{K}$  em ambos os períodos, o que reforça as análises anteriores, segundo as quais este método proveu a melhor definição e classificação da área urbana. Visualmente, este foi o processamento que conseguiu melhor desempenho na definição dos limites urbanos.

No período chuvoso a ordenação dos melhores produtos coincidiu com os maiores valores de Kappa.

A razão de canais para este período obteve o segundo maior valor para Z (10,0233), o que confirma o bom desempenho visual e numérico da classificação.



O índice de vegetação referente ao período chuvoso obteve menores valores para  $\bar{Z}$  e  $\bar{K}$  do que a razão de canais e a banda 3, o que contradiz os resultados da classificação MAXVER. Isto pode ser explicado pela própria essência da estatística Kappa. Por si só, a imagem pode mostrar uma situação que, quando comparada com a verdade terrestre, torna-se irreal.

Desta forma, levando em consideração os resultados obtidos através da análise qualitativa e quantitativa da classificação MAXVER e os obtidos pela estatística Kappa, os valores indicaram que o método principais componentes para os dois períodos estudados é o que mais coincidiu com a verdade terrestre.

Estes resultados se devem principalmente às características deste tipo de redimensionamento de dados. Devido à concentração de informações nas três primeiras componentes (Seção 2.3.1.4) e à utilização conjunta destas 3 componentes na obtenção de composições coloridas, as informações podem ser melhor manipuladas e conseqüentemente, os resultados obtidos podem ser considerados satisfatórios.

Para estudos urbanos esta técnica geralmente apresenta bons resultados, o que não só facilita a delimitação da área urbana, como também realça alguns alvos urbanos importantes como vegetação intra-urbana e asfalto, ressaltando o arruamento das cidades.

Como demonstraram Duggin et al. (1986), a utilização da transformação por principais componentes é prover maior número de detalhes de feições urbanas, o que realça a separabilidade espectral entre os diversos alvos.

Deve ser ressaltado ainda que os resultados obtidos pelo período chuvoso foram melhores que os obtidos pelo período seco.

Isto se deve principalmente à maior nitidez dos limites urbanos no período chuvoso, o que aumenta o contraste entre a vegetação dos arredores e a área construída, como foi observado por Murai (1974) e Foresti (1978).

#### 4.5 - ANÁLISE MULTITEMPORAL

Para efeito ilustrativo, foi realizado uma composição colorida multitemporal, utilizando-se o registro entre as passagens de 06/08/86 e 12/09/88.

Este registro foi realizado utilizando-se a primeira componente de cada passagem, resultante da Transformação por Principais Componentes (Fig. 4.35).

Este processamento foi indicado pela estatística Kappa como o mais próximo da imagem de referência criada.

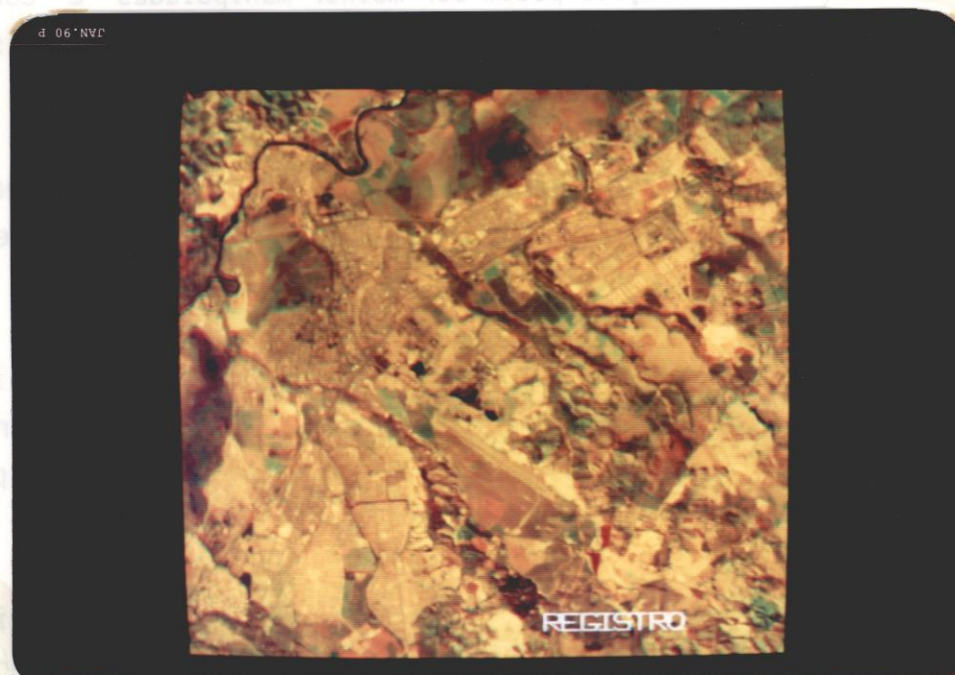


Fig. 4.35 - Composição colorida multitemporal das passagens de 06/08/86 e 12/09/88, utilizando a primeira principal componente de cada passagem: cidade de São José dos Campos.

Como foi ressaltado por Foresti (1978), a forma de expansão da cidade de São José dos Campos, não contínua, caracterizada por núcleos que mais tarde poderão se aglutinar diminui a reflectância da área urbana em expansão devido à descontinuidade das edificações.

Niero et al. (1988) também afirmaram que a verificação das alterações ocorridas na cidade de São José dos Campos é dificultada pela organização urbana desta cidade.

Mesmo com esta dificuldade, causadas pela organização espacial da cidade, é possível visualizar nesta composição colorida multitemporal alguns pontos na cor vermelha, que possivelmente são áreas de expansão e/ou alteração.

Os pontos na cor verde são áreas de regeneração de vegetação.

As duas passagens tem uma defasagem temporal de apenas 2 anos. Isto ocasiona a não visualização de mudanças muito significativas no ambiente urbano. Verifica-se, porém, no ponto 1 o surgimento de um loteamento, assim como no ponto 2.

As áreas com regeneração de vegetação podem ser visualizadas nos pontos 3 e 4.

Nota-se, ainda na Fig. 4.35, que existe um bom contraste entre os diversos componentes da cena, o que favoreceu a identificação de vários pontos.

Esta característica da Transformação por Principais Componentes, aliada à melhor visualização dos lineamentos (arruamentos), favoreceu a identificação do surgimento de uma nova rua, no ponto 5 da Fig. 4.35.



## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

A interpretação e análise dos resultados obtidos nesta pesquisa sobre avaliação das técnicas de processamento de dados digitais TM-LANDSAT aplicadas à delimitação de áreas urbanas possibilitaram as conclusões abaixo relacionadas:

- 1) A interpretação visual das bandas do sensor TM, revelou que no período seco, apesar de poucas diferenças, a banda 3 diferenciou a área urbana da área não-urbana com mais facilidade que as demais. Para o período chuvoso, com as diferenças de contraste, entre estas duas classes, mais realçadas, esta banda também proveu melhores resultados;
- 2) Através do método de seleção de atributos, utilizando-se a distância JM, foi selecionada a melhor banda que, individualmente, separa o urbano do não-urbano. No período seco foi selecionada a banda 1 e no período chuvoso foi selecionada a banda 3;
- 3) As imagens obtidas pelos realces RAZÃO DE CANAIS E ÍNDICE DE VEGETAÇÃO, independente do período sazonal, provêm resultados semelhantes, na separação das classes urbana e não-urbana;
- 4) A utilização de imagens no período chuvoso para delimitação de áreas urbanas facilita a separação entre o urbano e o não-urbano, fornecendo bons resultados. Isto ocorreu devido ao aumento da umidade, que tornou a vegetação mais vigorosa e diminuiu a reflectância do solo exposto, acentuando o contraste entre as duas classes estudadas. Desta forma, recomenda-se o seu uso para estudos desta natureza;
- 5) As imagens do período seco mostraram baixo potencial para estudos de delimitação urbana. As imagens deste período "mascaram" a reflectância dos alvos devido ao aumento de espalhamento

atmosférico provocado pela diminuição do índice pluviométrico e conseqüente aumento de poeiras em suspensão na atmosfera. Isto causa uma diminuição do contraste entre o urbano e o não-urbano.

- 6) A estatística Kappa, que comparou a classificação resultante do MAXVER de cada produto com a imagem padrão, revelou que, entre os processamentos utilizados, a TRANSFORMAÇÃO POR PRINCIPAIS COMPONENTES, tanto para o período seco como para o período chuvoso, foi a que mais se aproximou da imagem de referência.
- 7) A TRANSFORMAÇÃO POR PRINCIPAIS COMPONENTES, referente ao período chuvoso, baseando-se no valor obtido para KAPPA, foi o único considerado como tendo um grau de concordância, com a imagem padrão, regular.

A cidade de São José dos Campos, devido ao tipo de expansão urbana, não é um bom exemplo para estudos de delimitação e expansão urbana. Recomenda-se, desta forma, a aplicação da metodologia empregada neste estudo em uma outra área teste, de preferência uma cidade que possua expansão contínua, para avaliar se os resultados se mantêm ou se modificam.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEAUDOIN, A.; BROCHV, R.; MORIN, D. Detection des changement d'utilisation du sol a l'urbanisation, a l'aide de l'analyse en composantes principales de donnes multitudes LANDSAT. Canadian Journal of Remote Sensing, 12(1):29-38, July 1986.
- BOWKER, D.E.; DAVIS, R.E.; MYRICK, D.L.; STACY, K.; JONES, W.T. Spectral reflectance of natural targets for use in remote sensing studies. Washington, DC, NASA, 1985. (NASA RP 1139).
- COLWELL, R.W. Manual of remote sensing. Falls Church, VA., American Society of Photogrammetry, 1983. 2 v.
- CONGALTON, R.G.; MEAD, R.A. A quantitative method to test for consistency and conectess in photointerpretation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49(1):66-74, Jan. 1983.
- CONGALTON, R.G.; ODERWALD, R.G.; MEAD, R.A. Assessing LANDSAT classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49(12):1671-1678, Dec. 1983.
- CRAPPER, P.F.; BYRNE, G.F. An example of the detestion of changes between succesive LANDSAT images by numerical methods in urban areas. In: LANDSAT 79 - AUSTRALASIAN REMOTE SENSING CONFERENCE, 1., Proceedings. Sidney, Australian, May 22-25, Eric Walken, 1979, p. 163-175.
- DALLEMAND, J.F. Identificação de culturas de inverno por interpretação de dados SPOT e LANDSAT TM no noroeste do Paraná. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, INPE, 1987. (INPE-4334-TDL/296).

- DUGGIN, M.J.; ROWNTREE, R.; EMMONS, M.; HUBARD, N.; ODELL, A.W.; SAKHAVAT, H.; LINDSAY, J. The use of multivariate multichannel radiance data in urban feature analyses. Remote Sensing of Environment, 20 (1):95-105, Aug. 1985.
- DUTRA, L.V.; II, F.A.M.; MASCARENHAS, N.D.A. Avaliação da entropia gaussiana e da entropia de shannon como critérios de seleção de atributos. São José dos Campos, INPE, 1984. (INPE-3383-PRE/656).
- ERTHAL, G.J. Registro translacional de imagens: métodos correlativos e sequenciais. Dissertação de Mestrado em Processamento Digital. São José dos Campos, INPE, 1985. (INPE-3456-TDL/189).
- FLEISS, J.L. Statistical methods for rates and proportions. New York, John Wiley, 1981, p. 321.
- FORESTI, C. Avaliação e monitoramento ambiental da expansão urbana do setor oeste da área Metropolitana de São Paulo: através de dados e técnicas de sensoriamento remoto. Tese de Doutorado em Geografia Física, USP, Depto. de Geografia de FFLCH, 1986.
- \_\_\_\_\_. Estimativas populacionais e de crescimento de áreas urbanas no Estado de São Paulo, com utilização de imagens LANDSAT. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, INPE, 1978. (INPE-1298-TPT/095).
- FORESTI, C.; PEREIRA, M.D.B. Utilização de índices vegetativos obtidos com dados do sistema TM-LANDSAT no estudo de qualidade ambiental urbana; Cidade de São Paulo. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., Reunião Plenária SELPER, 6., Gramado, RS, 10-15 Agosto, 1986. Anais. São José dos Campos, SP, SELPER-INPE, 1986, p. 103.



- FORSTER, B.C. An examination of some problems and solutions in monitoring urban from satellite platforms. International Journal of Remote Sensing, 6(1):139-151, Jan. 1985.
- \_\_\_\_\_ LANDSAT applied to urban quality measures. In: LANDSAT-81 - AUSTRALASIAN REMOTE SENSING CONFERENCE, 2., Canberra, Australian, Aug. 31 - Sept. 4, 1981. Proceedings. Committee Landsat 81, Canberra, Australian, 1981, p. 121-126.
- \_\_\_\_\_ Principle and rotated components analysis of urban surface reflectance. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(4):475-477, Apr. 1985.
- FORSTER, B.C.; JONES, C. Urban density monitoring using high Resolution Spaceborn System. In: CONGRESS INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 16., Kyoto, Japan, July 1-10 1988. Comission VII, ISPRS, 1988, v. 27, part B9, p. VII 189, VII 195.
- GILLESPIE, A.R. Digital techniques of image enhancement. In: Siegal, B.S.; Gillespie, A.R. Remote Sensing in Geology. New York, NY, Wiley & Sons, 1980, Cap. 6, p. 137-226.
- HOWARD, P.J.; BOASSON, E. LANDSAT digital enhancements for change detection in urban environments. Remote Sensing of Environment, 13(2):149-160, May 1983.
- II, F.A.M. Seleção de atributos aplicada a imagens multiespectrais. São José dos Campos, INPE, 1982. (INPE-2303-TDL/072).
- JENSEN, J.R. Change detection. In: \_\_\_\_\_ Introduction to digital image processing: a remote sensing perspective. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1986. p. 234-253.

- JENSEN, J.R. Urban/suburban land use analysis. In: Manual of remote sensing, 2. ed. Falls Church, VA, American Society of Photogrammetry, 1983. v. 2, Cap. 30, p. 1571-1666.
- LANDIS, J.; KOCH, G.G. The measurements of observer agreement for categorical data. Biometrics, 33(3):159-174, Mar. 1977.
- MEDEIROS, J.S. Desenvolvimento metodológico para a detecção de alteração da cobertura vegetal através de dados do MSS LANDSAT. São José dos Campos, INPE, 1987. (INPE-4123-TDL/262).
- MENESES, P.R. Avaliação e seleção de bandas do sensor "Thematic Mapper" do LANDSAT 5 para a discriminação de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semidetalhe. Tese de Doutorado em Geologia Geral e de Aplicações, São Paulo, SP, USP, IGEO, 1986.
- MOIK, J.G. Digital processing of remotely sensed images. Washington, DC, NASA, 1980 (NASA SP-431).
- MURAI, S. Estimation of population density in Tokyo district from ERTS-1 data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 9., Ann Arbor, MI, 1974. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1974, v. 1, p. 13-22.
- NIERO, M. Avaliação de expansão urbana de São José dos Campos através de dados orbitais. Geografia, 13(26):156-160, out. 1988.
- NIERO, M.; KURKDJIAN, M. de L.N. de O.; FORESTI, C.; LIMA, U.M.B. de. Aplicações de composições multitemporais obtidas a partir de dados LANDSAT no estudo de crescimento urbano. São José dos Campos, INPE, 1988. (INPE-4480-PRE/1246).
- OLIVEIRA, M. de L.N.; FORESTI, C.; NIERO, M.; PEREIRA, E.M. de. The use of image registration technique in urban growth monitoring. São José dos Campos, INPE, 1984. (INPE-3089-PRE/496).

- PARADELLA, W.R.; VITORELLO, I.; MONTEIRO, M. de. Avaliação de técnicas de tratamento por computação de dados digitais MSS-LANDSAT na discriminação litológica na Serra do Ramalho - Estado da Bahia. São José dos Campos, INPE, 1984. (INPE-3250-PRE/529).
- ROSENFELD, G.H.; FITSPATRICK-LINS, K. Coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(2):223-227, 1986.
- SANTISTEBAN, A.; MOÑOZ, L. Principal components of a multispectral image: applications to a geological problem. IBM Journal Research Development, 22(5):444-454, Sept. 1978.
- SCHOWENGERDT, R.A. Techniques for images processing and classification in remote sensing. Florida, USA, Academic Press, 1983, 249 p.
- SWAIN, P.; DAVIS, D.M. Remote sensing: the quantitative approach. New York, McGraw-Hill, 1978.
- WEISMILLER, R.A.; KRISTOFF, S.J.; SCHOLZ, D.K.; ANUTA, P.E.; MOMIM, S.A. Change detection in coastal zones environments. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43(12): 1533-1539, Dec. 1977.



## BIBLIOGRAFIA

- ADENIYI, P. Land-use analysis using sequential aerial photography and computer techniques. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 46(11): 1447-1464, Nov. 1980.
- ALEXANDER, R.H.; BOWDEN, W.L.; MARBLE, D.F.; MOORE, E.C. Remote sensing of urban environments. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF REMOTE SENSING, 5., Ann Arbor, MI, Apr. 16-18, 1968. Proceedings. Ann Arbor, MI, Institute of Science and Technology, University of Michigan, 1968, p. 889- 912.
- ASWAPATI, W. Le traitement des donnes multiespectrales acquises par teledeteccion - Application a l'estude de la geographie urbaine. Transformation des formes d'occupation du sol dans les zones urbaines et suburbaines du Bassin de Chiang Mai, Thaïlande (1952-1982). Thèse du Doctorat en Geographie, Universidade de Toulouse, Paris, França, 1985.
- BAILEY, M.A. The structure of urban landscape as defined by data from LANDSAT. In: LANDSAT 79 - AUSTRALASIAN REMOTE SENSING CONFERENCE, 1., Sidney, Australian, May 22-25, 1979. Proceedings. Sidney, Australian, Committe Landsat 79, 1979, p. 203-236.
- BISHOP, Y.M.M.S.E.F.; HOLLAND, P.W. Discrete multivariate analysis theory and pratice. Cambridge, MA, MIT Press, 1975, 575 p.
- BROWN, D.E.; WINER, A.M. Estimating urban vegetation cover in Los Angeles. Photogrammetric Engieering and Remote Sensing, 52( 1):117-123, Jan. 1986.
- CARTER, P.; SMITH, T.F. Monitoring urban growth in the U.K. from LANDSAT satellite data. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, 14., Hamburgo, Alemanha, Jul. 13-25, 1980. Proceedings. Comission VII, ISPRS, 1980, v. 23, part B10, p. 476-485.

- CONGALTON, R.G.; MEAD, R.A. A review of three discrete multivariate analysis techniques used in assessing the accuracy of remotely sensed data from error matrices. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GI-24(1):169-174, Jan. 1986.
- DIETRICH, D.L.; LACHOWSKI, H.M.; CRISTENSON, J.W. Identification and delineation of urbanized areas using LANDSAT data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF REMOTE SENSING, 12., Manila, Philippines, Apr. 20-26, 1978. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1978, v. 1, p. 1083-1090.
- EYTON, J.R. LANDSAT multitemporal color composites. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49(2):231-235, Feb. 1983.
- FORSTER, B.C. Derivation of atmospheric correction procedures for LANDSAT MSS with particular reference to urban data. International Journal of Remote Sensing, 5(5):799-817, Sept.-Oct. 1984.
- \_\_\_\_\_ Overcoming monitoring problems with the new generation satellite sensors. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE LA COMMISSION VII DE LA SOCIETE INTERNATIONALE DE PHOTOGRAMMETRIE ET TELEDETECTION, Toulouse, France, 13-17, Sept. 1982. Proceedings. Toulouse, France, Groupment pour le développement de la télédétection Aérospatiale, 1982, v. 1, p. 889-896.
- \_\_\_\_\_ Some urban measurements from LANDSAT data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49(12):1693-1707, Dec. 1983.
- GUPTA, D.M.; MUNSHI, M.K. Urban change detection and land-use mapping of Delhi. International Journal of Remote Sensing, 6(3):529-275, Mar./Apr. 1985.
- HAACK, B.N. Analysis of Thematic Mapper Simulator data for urban environments. Remote Sensing of Environment, 13(3):265-275, Jul. 1983.

- HAACK, B.N. Multisensor data analysis of urban environments. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 50(10):1417-1437, Oct. 1984.
- JACKSON, M.J.; CARTER, P.; SMITH, T.F.; GARDNER, W.G. Urban land mapping from remotely sensed data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 46(8): 1041-1050, Aug. 1981.
- MIRSHAWKA, V. Probabilidade e estatística aplicadas à engenharia. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1984.
- NIERO, M. Utilização de dados orbitais LANDSAT na classificação de uso do solo urbano de São José dos Campos. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1978. (INPE-1295-TPT/093)
- NIERO, M.; FORESTI, C. Uso do solo urbano da área metropolitana de São Paulo através da análise automática de dados LANDSAT. São José dos Campos, INPE, 1983. (INPE-2788-RPE/437).
- OLIVEIRA, M. de L.N. Um método para a identificação de setores residenciais urbanos homogêneos através de dados de sensoriamento remoto com vistas ao planejamento urbano. Tese de Doutorado em Arquitetura, São Paulo, SP, USP, Faculdade de Arquitetura, 1987.
- QUATTROCHI, D.A. An initial analysis of LANDSAT 4 - Thematic Mapper data for discrimination of agriculture, forested wetland and urban land cover. In: LANDSAT 4 SCIENCE CHARACTERIZATION EARLY RESULTS, Applications, NASA, vol. IV, 1983.
- SANTOS, M. Manual de geografia urbana. São Paulo, Hucitec, 1981, 203 p.
- SILVA, A.; D'ALGE, J.C. Avaliação da qualidade geométrica das imagens TM-LANDSAT. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., 10-15 Ago. 1986. Anais. São José dos Campos, SP, SELPER-INPE, 1986, p. 73.

- STAENZ, K.; ITTEN, K.I. Reflective properties of asphalt and concrete surfaces. In: SIMPOSIUM INTERNATIONAL DE LA COMMISSION VII DE LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DE PHOTOGRAMMETRIE, Toulouse, France, 13-17, Sept. 1982, Actes. Toulouse, France, Groupement pour le développement de la Télédétection Aérospatiale, 1982, v. 1, p. 307-316.
- THIBAUT, C. Nouvelles approches de l'environnement permises par la deuxième génération de satellites mise au point de méthodes de discrimination en milieu rural et en milieu urbain. In: SEMINAIRE "TELEDETECTION ET RESSOURCES NATURELLES", Bamako (Mali), Nov. 1986.
- THIBAUT, C.; NASCIMENTO, I. Observer l'espace urbain par satellite. Paris, France, Institute D'Aménagement et D'Urbanisme de la Région D'ILE-DE-FRANCE (IAURIF), 1987.
- TOOL, D.L.; ROYAL, J.A.; DAVIS, J.B. Urban area update procedures using LANDSAT data. In: RAINBOW 80 - FALL TECHNICAL MEETING. Niagara Falls, NY, Oct. 7-10, 1980. Proceedings. Falls Church, NY, ACSM-ASP, 1980, p. RS1E1-RS1E17.
- WELCH, R. Spatial resolution requirements for urban studies. International Journal of Remote Sensing, 3(2): 139-146, 1982.