

# UTILIZAÇÃO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS NA ANÁLISE E MONITORAMENTO DA EXPANSÃO URBANA

I. M. Vieira  
A. L. B. Candeias  
A. C. dos Santos  
D. S. Hamburger

Pós-graduação em Sensoriamento Remoto  
Instituto de Pesquisas Espaciais  
Secretaria Especial da Ciência e Tecnologia  
Caixa Postal 515  
12201 São José dos Campos, SP  
BRASIL

## RESUMO

A análise de áreas urbanas através de estudos orbitais tem desafiado muitos pesquisadores deste campo de estudos. Este conhecimento é fundamental para a elaboração de qualquer política de planejamento urbano e regional, pois só com o conhecimento das mudanças ocorridas e tendências atuais é possível a tomada de decisões e a elaboração de propostas para a melhoria da qualidade de vida urbana. O objetivo deste trabalho é a aplicação de técnicas de processamento de imagens a fim de maximizar a visualização dos limites de áreas urbanas tendo em vista o estudo de expansão e classificação dessas áreas dentro do contexto urbano e regional. A área adotada para teste é a cidade de Manaus devido às grandes transformações de que tem sido alvo. Este processo dinâmico justifica-se através da crescente industrialização (ações antrópicas), numa área em que predominam feições naturais. O procedimento adotado envolve a geração de Componentes Principais, e técnicas de realce e limiarização.

## ABSTRACT

The urban areas analysis through orbital studies is a very important tool for the development of urban and regional planning policies. The understanding of urban areas is essential to the decision making in this field. The aim of this study is to use image processing techniques to improve the visualization of the limits of the urban areas to be used as a subsidy for the study of expansion and classification in urban and regional contexts. The chosen area is the city of Manaus because of the great changes that it has suffered during the last years. This dynamic process is a result of the industrialization in an area that used to be dominated by natural features. The adopted proceedings include the Principal Components analysis, enhancement techniques and limiarization.

## 1. INTRODUÇÃO

Em paralelo à extensão das áreas urbanas e da população residente nestas áreas, ocorre um aumento das necessidades de infraestrutura urbana, equipamentos sociais e serviços. Surge então a necessidade de se conhecer a intensidade desta expansão, sua dinâmica e tendências.

Este conhecimento é fundamental para a elaboração de qualquer política de planejamento urbano e regional. Pois, só com o conhecimento das mudanças ocorridas e tendências atuais é possível a tomada de decisões e a elaboração de

propostas para a melhoria da qualidade de vida urbana.

O monitoramento da expansão urbana necessita de instrumentos ágeis na obtenção de informações sobre esta realidade devido à grande velocidade em que ocorrem as mudanças nos limites das áreas urbanas.

Os satélites de observação da Terra são instrumentos que possibilitam a execução deste monitoramento.

O objetivo deste trabalho é a aplicação de técnicas de processamento de imagens a fim de maximizar a visualização dos limites de áreas urbanas tendo em vista o estudo de expansão e classificação dessas áreas dentro do contexto urbano e regional.

Uma imagem de satélite, no entanto, mostra efeitos dos fenômenos físicos inerentes ao imageamento, dentre eles, os efeitos do espalhamento atmosférico e do próprio sistema sensor (sistema eletrônico) e suas limitações de tecnologia. A resolução espacial é uma das restrições.

A questão da resolução espacial aliada ao problema de escala, que impossibilitam uma análise intra urbana bem detalhada, limitam uma discriminação perfeita entre área urbana e não urbana.

Portanto, fazem-se necessárias aplicações de técnicas de tratamento de imagens visando aprimorar a qualidade, de forma a torná-las interpretáveis ao nível do estudo desejado.

Com esse objetivo, imagens processadas digitalmente utilizando-se as diferentes funções implementadas no SITIM (Sistema Iterativo de Tratamento de Imagens - INPE), têm alcançado resultados que incentivam o aperfeiçoamento dessa ferramenta para estudos de áreas urbanas.

O presente trabalho teve origem a partir de um estudo desenvolvido

no ano de 1989 com o objetivo de avaliar técnicas de processamento digital de imagens na delimitação da área urbana de São José dos Campos (VIEIRA, 1989).

No estudo de São José dos Campos, conforme as características locais, foram utilizadas as seguintes técnicas: a análise da Componente Principal, sendo selecionada a primeira Componente Principal; uma filtragem espacial com filtro passa-alta; e, com base nas análises do histograma da primeira Componente Principal filtrada foi estabelecido um limiar, representativo do limite entre áreas urbanas e não urbanas. O resultado obtido, no caso da cidade de São José dos Campos, foi considerado bastante satisfatório.

A princípio, esta mesma metodologia foi utilizada na cidade de Manaus, mas não foi obtida uma boa delimitação da área urbana.

Assim, para adequar à metodologia a este caso específico, foram feitas alterações, visando a obtenção de um melhor resultado, as quais são descritas posteriormente.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Podemos definir uma imagem digital (g) como sendo uma matriz de L linhas e C colunas, cujos índices linha (l) e coluna (c), localizam um elemento de imagem (pixel) M, identificado por um número digital (tom de cinza) k.

No caso de uma imagem multiespectral, cada elemento da imagem é representado por um conjunto de p níveis digitais, correspondentes a cada banda espectral. No caso, quando a imagem em questão é TM-LANDSAT, por exemplo, tem-se p=7 bandas. Caracterizando-se uma imagem digital como uma função discreta de valores inteiros, para  $i=1, 2, \dots, p$ , representa-se:

$$g_i: D = \{0, 1, 2, \dots, L-1\} \times \{0, 1, 2, \dots, C-1\} \\ \rightarrow K = \{0, 1, 2, \dots, 255\}$$

tal que,  $M = (l, c) \in D \rightarrow g_i(M) = k_i \in K$

Para a análise de imagens digitais, buscaram-se ferramentas estatísticas como a análise da frequência de ocorrência dos níveis digitais, através da determinação do histograma, cálculo da média e variância. A média representa a impressão geral do brilho da imagem. A variância reflete o grau de riqueza de detalhes presentes na imagem, numa razão direta com o contraste, e serve para avaliar o teor de informação. Para maiores detalhes, ver FI et al. (1980), MOIK (1980), DUTRA et al. (1981), SCHOWENGERDT (1983), MASCARENHAS e VELASCO (1984).

No tratamento da imagem digital, são envolvidas, neste trabalho, a manipulação do histograma e a determinação de componentes principais (transformação de Karhunen-Loève). A alteração do histograma é feita mapeando-se linearmente os níveis digitais da imagem atual em um novo conjunto de valores convenientemente determinado através de uma função afim chamada tabela (SCHOWENGERDT, 1983; MASCARENHAS e VELASCO 1984).

Construindo-se uma tabela em que o maior valor de número digital do pixel existente na imagem, seja mapeado para 255 e o menor mapeado para zero, tem-se uma tabela de realce (DUTRA et al., 1981; SCHOWENGERDT, 1983; MASCARENHAS e VELASCO, 1984). Em outra situação, escolhido um número digital, chamado limiar, mapeiam-se os valores acima ou abaixo deste, para zero. Neste caso obtém-se uma tabela de limiarização. Por outro lado, a transformação de Karhunen-Loève (DUDA e HART, 1973; SCHOWENGERDT, 1983; MASCARENHAS e VELASCO 1984) visa a determinação de imagens decorrelacionadas, chamadas componentes principais, através de uma transformação no espaço de atributos (rotação espectral) - atributo, corresponde ao valor do pixel em cada banda.

Cada Componente Principal está associada a um autovetor e um autovalor da matriz de covariância entre as bandas da imagem multiespectral. A primeira Componente Principal está ligada ao maior autovalor, reunindo maior teor de informação que qualquer uma das bandas originais isoladamente.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS :

#### 3.1 Materiais utilizados:

Utilizou-se:

- 1- Imagem digital TM-LANDSAT de 14/09/1987, órbita/ponto 231-62 quadrante D nas bandas 3,4,5 com correção geométrica abrangendo a cidade de Manaus;
- 2- SITIM - Sistema Iterativo de Tratamento de Imagens;
- 3- Rembrant - sistema acoplado ao SITIM utilizado na obtenção de fotografias da UVI - unidade visualizadora de imagem;
- 4- Impressora - para geração de histogramas.

#### Metodologia aplicada:

- 1- Geração das Componentes Principais a partir das bandas 3,4, e 5;
- 2- Seleção da primeira Componente Principal;
- 3- Aquisição de histogramas da primeira Componente Principal e de amostras das três classes identificadas para análise: rio, vegetação e cidade;
- 4- Geração de três tabelas de limiarização e realce da área urbana a partir da análise dos histogramas adquiridos;
- 5- Comparação entre as imagens resultantes da aplicação das tabelas com diferentes limiares;
- 6- Escolha da melhor imagem.

É importante descrever aqui, como mencionado anteriormente, a pré-existência de um procedimento metodológico, desenvolvido para discriminação de áreas urbanas e que foi aplicado inicialmente na cidade de São José dos Campos. Porém, em função das diferenças existentes entre essa área urbana e a do presente trabalho, a metodologia aqui utilizada sofreu uma pequena alteração.

Como a área urbana de Manaus configura-se por um tipo de ocupação mais esparsa e menos densa, além da considerável presença de vegetação nesse meio, uma etapa do trabalho aplicada inicialmente à São José dos Campos foi excluída deste estudo.

Essa etapa refere-se a uma filtragem espacial passa-alta aplicada à primeira Componente

Principal afim de realçar as altas frequências inerentes à resposta espectral de alvos urbanos. Porém, pela própria configuração da área urbana de Manaus, mencionada acima, percebeu-se que esse tipo de filtragem não gerou bons resultados à imagem da primeira Componente Principal tendo sido excluída do procedimento metodológico do trabalho.

As bandas utilizadas no tratamento da imagem (3, 4 e 5), foram escolhidas em função do tipo de ambiente a ser realçado, que é o ambiente urbano. Considerando que a de estudo - Manaus - é composta em grande proporção de densa vegetação, rio e área urbana justifica-se a utilização das bandas acima citadas por terem estas capacidade de discriminação das áreas em questão.

Na banda 3, as classes em questão são mais facilmente visualizadas. Apresenta também, um contraste melhor quando comparada com as bandas 1 e 2, por não conter interferência da bruma atmosférica.

Utiliza-se a banda 4, infravermelho próximo, pois esta em função das características espectrais da vegetação, sendo capaz de discriminar melhor esta classe. Apesar de não ter informação de área urbana, a sua utilização na Componente Principal fornece informações úteis referentes à classe vegetação.

A banda 5 apresenta maior nível de detalhes entre as classes devido a grande variabilidade de informações nela contidas, sendo portanto útil na discriminação dos alvos em questão.

Na utilização de rotação espectral, teríamos um melhor resultado caso utilizássemos as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do TM (COSTA, 1989). Porém não havia disponibilidade das outras bandas.

Assim, a metodologia é justificada da seguinte maneira:

1. Afim de reduzir a dimensionalidade dos dados e condensar numa única banda a maior quantidade de informações existentes

nas bandas selecionadas, foram então geradas, a partir da função Rotação Espectral as componentes principais.

2. Como é a primeira Componente Principal a que contém a maior quantidade de informação, tomamos essa como a base para o desenvolvimento deste trabalho.

3. O passo seguinte adotado foi a aquisição de histogramas da primeira Componente Principal e das classes: rio, vegetação e cidade para visualização e conhecimento da distribuição dos níveis digitais de cada classe, tornando-se desta maneira, possível uma melhor discriminação da área urbana e não urbana. Para uma análise mais consistente foram adotadas várias amostras de cada classe específica.

4. Partindo do conhecimento dos histogramas, foi possível identificar os melhores limiares para geração das tabelas mencionadas.

#### 4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

##### 4.1. Histogramas:

4.1.1. RIO: como podemos observar os níveis de cinza se concentram na sua totalidade na faixa de 48 a 53 para essa amostra apresentando portanto homogeneidade e sendo de fácil discriminação na imagem (Figura 1).

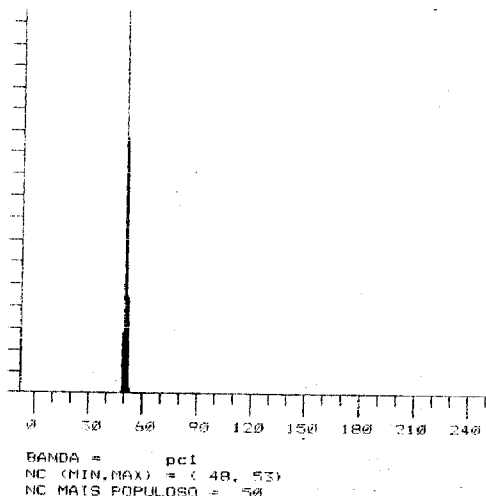


FIGURA 1: histograma da amostra da classe rio.

4.1.2. VEGETAÇÃO: sendo a vegetação uma classe que apresenta-se de forma mais variada na região em questão, tornou-se necessária a aquisição de um número maior de amostras para representar com maior consistência, a média entre as amostras do nível de cinza mais populoso. A média obtida para o nível de cinza mais populoso foi 117.

A identificação do nível de cinza mais populoso foi utilizada para determinar os limiares de maior separabilidade entre a área urbana e não urbana (Figuras 2, 3, 4).

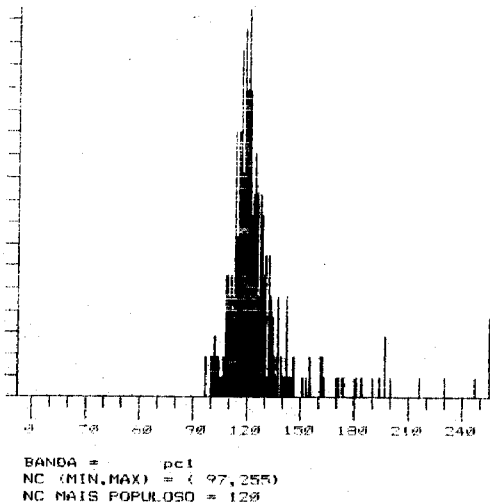


Figura 2

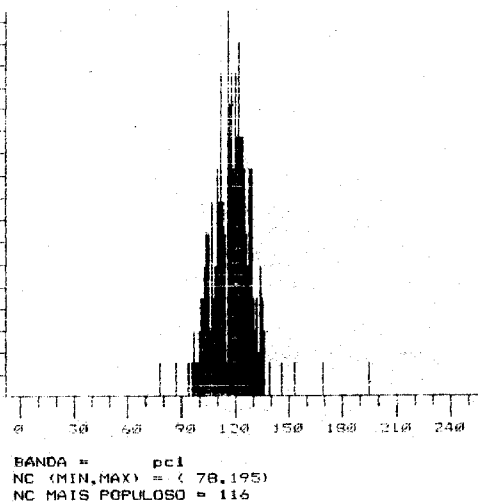


Figura 3

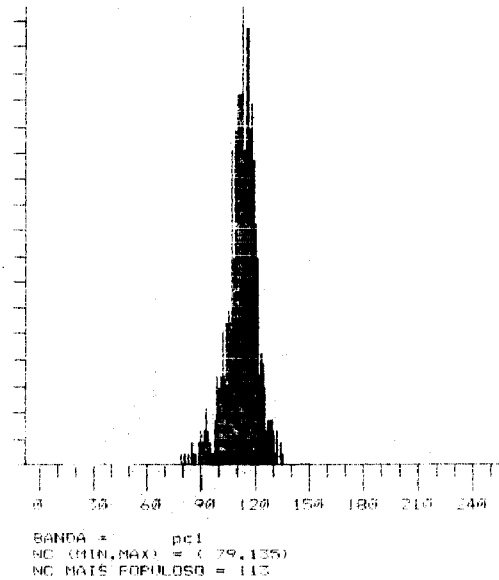


Figura 4  
Figuras 2, 3 e 4: Histogramas da classe vegetação

4.1.3. CIDADE: Os histogramas da cidade serviram para determinar com maior clareza o limiar que seria adotado para separação das classes anteriores (rio e vegetação), realçando também a área urbana. A média entre os níveis de cinza mais populosos das diferentes amostras foi 161 (Figura 5, 6 e 7).

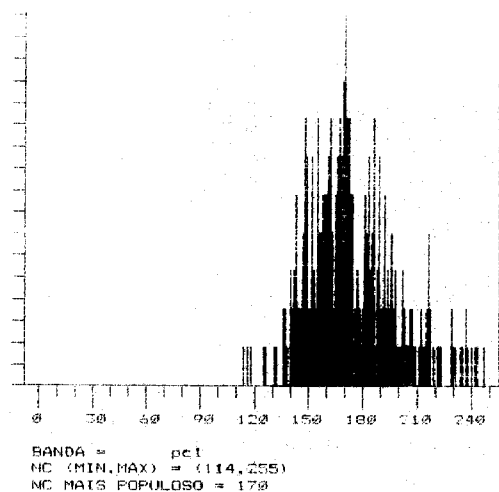


Figura 5  
Figura 5: histograma da amostra da classe cidade na primeira Componente Principal

Conforme a análise dos histogramas feita anteriormente pudemos deduzir que os níveis de cinza da classe "cidade" encontram-se em sua grande maioria acima de 120.

da análise deste histograma (Figura 8).

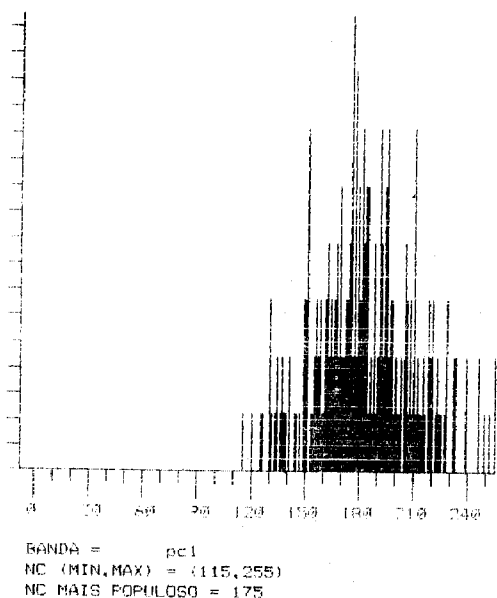


Figura 6

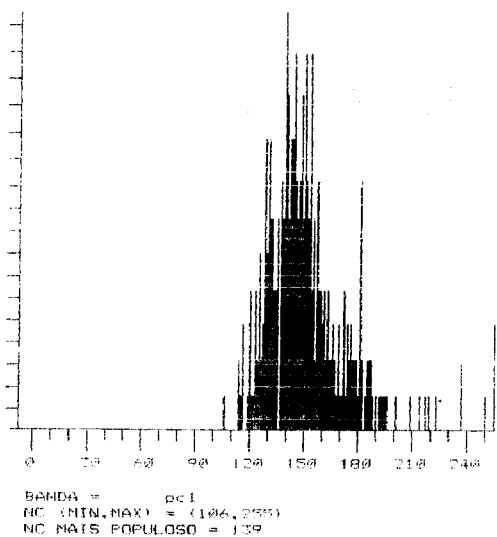


Figura 7

Figuras 6, e 7: histogramas de amostras da classe cidade na primeira Componente Principal

Assim, os níveis digitais com valores superiores a 60 referem-se às classes vegetação e área urbana. Como neste caso, a área urbana de Manaus caracteriza-se pela alta influência da vegetação e área urbana não são facilmente discriminadas através da análise deste histograma (Figura 8).

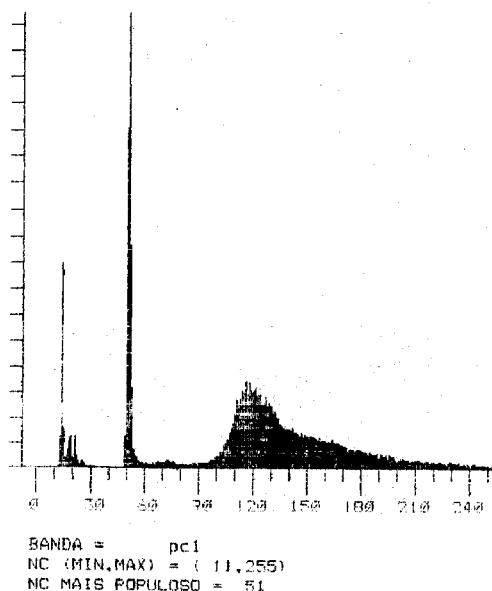


Figura 8: Histogramas da primeira Componente Principal

Então, não sendo fácil a identificação de um limiar ótimo para separabilidade da classe urbana/não urbana através deste histograma, três limiares foram estudados com base nos histogramas gerados a partir de amostras das classes específicas (rio, vegetação e área urbana).

Conhecendo-se a distribuição dos níveis digitais para cada classe específica, especialmente para a vegetação e área urbana, pode-se adotar empiricamente, para posterior comparação, três limiares, os quais situaram-se num intervalo existente entre os níveis de cinza mais populosos da classe vegetação e da classe área urbana.

Os limiares adotados, foram utilizados na geração de tabelas, tendo por objetivo associar à classe não urbana, níveis digitais iguais a 0 (zero), e em contra partida aumentar o contraste da classe área urbana. Os limiares adotados foram, então, 120, 130 e 140.

As funções correspondentes às tabelas podem ser melhor visualizadas através do esquema abaixo (ver Figura 9):

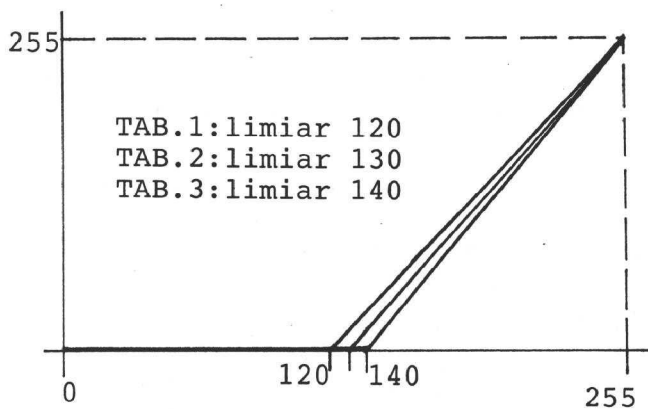


Figura 9. Esquema das tabelas aplicadas

Visualiza-se facilmente que os níveis de cinza menores que 120, 130 e 140 respectivamente nas tabelas 1, 2 e 3 são atribuídos a 0 (zero), enquanto que os níveis de cinza com valores maiores que estes sofrem um aumento de contraste até atingir o nível de cinza máximo que é 255.

Através disso tenta-se maximizar a visualização da área urbana, embora haja uma probabilidade de erro associada a duas fontes: probabilidade de termos atribuído nível de cinza 0 (zero) a elementos de área urbana, ou ainda ter realçado elementos pertencentes à área não urbana.

#### 4.2. Resultados:

Os resultados obtidos com as diferentes tabelas foram avaliados tomando como referência as características da área conforme identificadas pela interpretação visual de dados.

De acordo com os limiares adotados para discriminação da área urbana: 120, 130 e 140 podemos inferir alguns comentários (ver Figuras 10, 11 e 12):

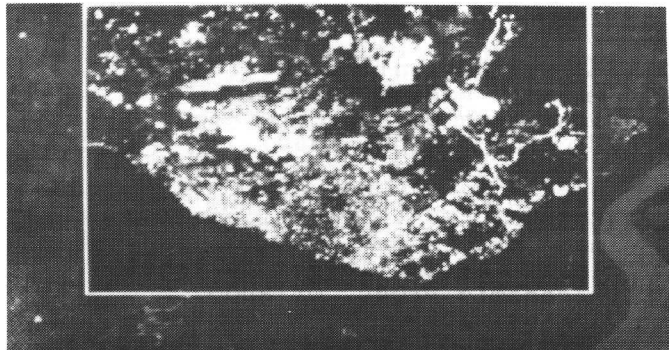


Figura 10: Foto da aplicação da tabela com limiar = 120

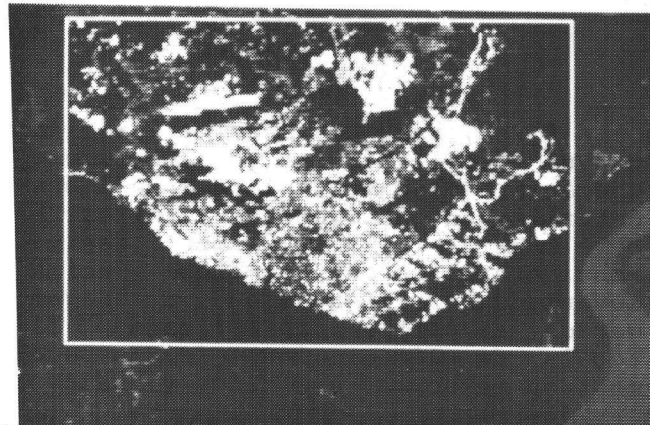


Figura 11: Foto da aplicação da tabela com limiar = 130

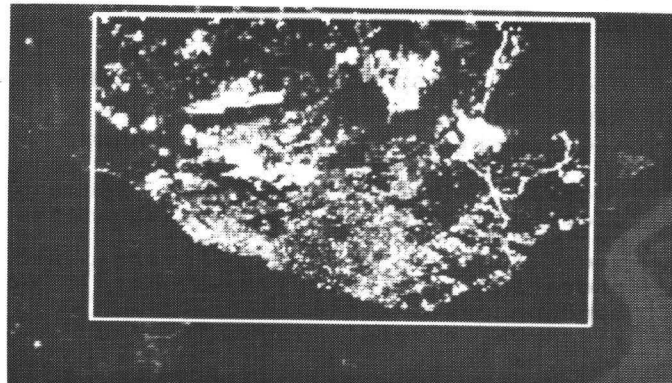


Figura 12: Foto da aplicação da tabela com limiar = 140

1. Nos limites adotados 120 e 130 não é possível visualmente detectar grandes diferenças entre os resultados obtidos. Ambos apresentam resultados satisfatórios pois a classe correspondente à esse intervalo de níveis digitais é a vegetação, que já tinha sido na sua maioria mapeada para 0 (zero), pois seu nível digital mais populoso é 117.

2. Quanto ao resultado obtido através do limiar 140, podemos visualmente verificar diferenças entre esse resultado e os resultados obtidos através dos limiares 120 e 130. Nota-se um maior escurecimento da imagem provocado pela ampliação do limiar, o qual mapeia para 0 (zero) todos os níveis digitais inferiores a 140.

Podemos tentar deduzir, com base na análise dos histogramas que os níveis digitais situados entre os limiares 130 e 140 correspondem à presença de vegetação dentro da classe área urbana, ou seja, à vegetação intra-urbana, e se, isso é verdade, então torna-se mais clara a discriminação entre a área urbana e a não urbana.

Porém, para uma escolha precisa de um dos limiares testados, uma checagem em campo para uma boa determinação da verdade terrestre deve ser feita. Mesmo assim, considerando-se a hipótese acima levantada verificou-se que, a imagem gerada a partir da aplicação da tabela de limiar 140, foi a que mostrou melhores resultados visuais.

A interpretação visual desses resultados pode ser feita da seguinte maneira:

-Áreas com tonalidades mais claras correspondem à área urbana, além da presença de um agrupamento localizado de nuvens nessa imagem;

-Áreas com tonalidades mais escuras correspondem às demais classes. Neste caso são basicamente as duas outras classes: rio e vegetação, além do sombreamento provocado pelas nuvens já mencionadas;

-Os níveis digitais que se colocam entre essas tonalidades podem ser classificados como uma área urbana menos densa e que possui certa quantidade de vegetação capaz de alterar a resposta espectral dessa classe. Assim, quanto mais esparsa for a ocupação do solo urbano, e quanto mais forte for a presença da vegetação nesta classe, tanto mais escura será sua tonalidade de cinza.

## 5. CONCLUSÃO

Concluimos que com a metodologia aplicada conseguimos maximizar a visualização da área urbana, embora exista uma probabilidade de erro associada a esse procedimento conforme descrito anteriormente.

Apesar desta metodologia ser melhor aplicada a cidades com áreas urbanas mais adensadas, as quais geram a partir da primeira Componente Principal um histograma com a distribuição dos níveis digitais das classes cidade e não cidade melhor discriminados, obtivemos resultados satisfatórios através de uma análise mais detalhada dos histogramas gerados para as amostras das áreas: rio, vegetação e cidade.

Este trabalho demonstrou a necessidade de se estabelecer um sistema de classificação de áreas urbanas que considere características intrínsecas de cada cidade e seu entorno para que sejam determinados

os procedimentos metodológicos a serem aplicados em cada situação.

No caso específico da cidade de Manaus com entorno caracterizado por densa mata natural e com área urbana não muito adensada, em sua totalidade possuindo grande quantidade de vegetação, a geração das componentes principais, a análise dos histogramas da primeira Componente Principal e a determinação de tabelas possibilitou uma boa separação entre área urbana e não urbana.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, S.M.F. Avaliação de técnicas de processamento digital de imagens TM-LANDSAT. Tese de mestrado em sensoriamento remoto, INPE, São José dos Campos, out., 1989.

DUDA, R.; HART, P. Pattern classification and scene analysis. New York, NY, John Wiley, 1973.

DUTRA, L.V.; SOUZA, R.C.; MITSUO, F.A.; MOREIRA, J.C. Imagens multiespectrais Análise automática. Publicação INPE-2212 - MD/009, Agosto 1981, 40 p.

II, F.M.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V.; SOUZA, R.C.M. Análise automática de imagens multiespectrais. Curso de Treinamento em Sensoriamento Remoto. Publicação INPE - COM.2/MD, agosto 1980, 50 p.

MASCARENHAS, N.D.A.; VELASCO, F.R.D. Processamento digital de imagens. Quarta Escola de Computação. Instituto de Matemática e Estatística, São Paulo, 12-20 Julho, 1984.

MOIK, J.G. Digital processing of remotely sensed images. Washington DC, US Government Printing Office, 1980.

SCHOWENGERDT, R.A. Techniques for image processing and classification in remote sensing, Academic Press, Orlando, Florida, 1983.



VIEIRA, I.M.; CANDEIAS, A.L.B.;  
SANTOS, A.C.; HAMBURGER, D.S.  
Utilização de processamento  
digital de imagens na  
delimitação de áreas urbanas.  
Trabalho apresentado à  
disciplina de Processamento  
digital de imagens durante o  
curso de mestrado em  
sensoriamento remoto no INPE.  
São José dos Campos, 1989.