

PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO AUTOMÁTICA DE ZONAS
HOMOGÊNEAS URBANAS COM DADOS DE SENSORES À BAIXA ALTITUDE

Maria Suelena Santiago Barros
Christian J. Guichou

Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq
Caixa Postal 515 - 12200 - São José dos Campos - SP

RESUMO

A análise de espaços físicos homogêneos (de mesma textura) no tecido urbano, aos quais correspondem agrupamentos humanos coerentes sócio-culturalmente, é uma metodologia em uso no INPE para setorização com vistas ao planejamento urbano. A fotointerpretação visual é utilizada através de produtos de sensores remotos à baixa altitude. A presente pesquisa objetiva a automação deste processo. Para a análise de textura urbana em computador é executada inicialmente uma classificação espectral, seguindo-se um pós-tratamento, que é a ênfase dada neste trabalho. Nesta fase são definidos atributos de textura, obtidos a partir da distribuição estatística de "pixels" correspondentes a temas previamente classificados. A seguir, são estudadas as vizinhanças de todos os pontos da imagem. O agrupamento de "pixels" que possuem valores aproximados dos atributos de textura é realizado pelo método da "Segmentação". Tal sequência de procedimentos possibilitará a delimitação das zonas de ocupação homogênea. São discutidos alguns resultados obtidos, considerando São José dos Campos, SP, como área teste.

ABSTRACT

The analysis of homogeneous areas (of similar texture) in a urban mesh, which are in correspondence with socially and culturally coherent human groups, is a methodology used at INPE for sectorization with urban planning purposes. For this, a visual photointerpretation of low altitude remote sensors products are used. This paper aims at the automation of this process. For urban texture analysis, the computer first performs a spectral classification, followed by post-processing, which is the subject of this work. First, textures features are defined, obtained from the statistical distribution of pixels which corresponds to formerly classified themes. Then, the neighborhood of all the points of the image are analysed. The pixels presenting similar values of texture features are clustered using a segmentation method. Such a processing sequence will permit the identification of homogeneously occupied zones. Some results are discussed,

considering São José dos Campos, SP, as test area.

1. OBJETIVO DO TRABALHO

Pretende-se com o presente trabalho apresentar uma sequência de procedimentos para a interpretação automática de fotos aéreas à baixa altitude, com a finalidade de obter uma setorização urbana aplicável a quaisquer áreas urbanas.

A metodologia para setorização residencial urbana apresentada por Manso et alii (1979) mostra os critérios para compatibilização entre as características físicas do espaço considerado e as características sócio-culturais da população residente.

Para a elaboração da metodologia citada foram usadas fotografias obtidas com sensores à baixa altitude, em escala aproximada de 1:10.000. O fotointérprete utiliza este material para análises visuais, tanto de fotos isoladas quanto de pares estereoscópicos.

A automação proposta neste trabalho de setorização urbana procura minimizar vieses provenientes de diversos fatores, tais como: formação profissional do fotointérprete (ou distintas formações de grupos de fotointerpretes) e conhecimento prévio, ou não, da área urbana a ser analisada. Justifica-se esta asserção porque os critérios que o processo automático leva em consideração não são subjetivos, possuindo regras fixas de decisão que podem ser aplicadas a um contexto geral.

Na aplicação que é apresentada neste trabalho são feitas simplificações de regras possíveis, embora a metodologia possa ser ampliada e o processo de análise automática melhorado.

1.1 - ZONAS HOMOGÊNEAS

A metodologia não-automática para a setorização urbana consiste na identificação dos espaços físicos homogêneos aos quais corresponderão agrupamentos humanos coerentes sócio-culturalmente. Parte-se da hipótese de que o tecido urbano reflete as características sócio-econômicas e culturais das populações residentes que são por ele assimiladas (Manso et alii, 1979).

Os espaços físicos homogêneos contínuos de mesma textura são denominados Zonas Homogêneas.

Para a identificação das variáveis relevantes à determinação de homogeneidade de textura urbana foram consideradas significativas as seguintes variáveis:

- área construída por imóvel;
- densidade fundiária;
- características de ocupação do lote;
- idade do imóvel;
- tecnologia construtiva da edificação;
- fase de ocupação urbana;
- características de relevo;
- traçado e tratamento do sistema viário;
- barreiras físicas naturais;
- barreiras físicas artificiais.

Os passos executados para a setorização visual resumem-se em três. Primeiramente, numa visão macroscópica, busca-se um apanhado geral da área. A seguir, realiza-se uma separação das áreas residenciais das outras de ocupação não-residencial, tais como indústrias, áreas não-ocupadas, etc. Finalmente, aprofunda-se a análise sobre os detalhes das áreas residenciais, considerando os parâmetros já mencionados.

2. CRITÉRIOS GERAIS DE FOTOINTERPRETAÇÃO

Numa análise de imagens de satélite ou de fotos aéreas, a identificação mais evidente de objetos é realizada a partir dos critérios de cor, resultantes geralmente de uma interação entre o sensor e os raios eletromagnéticos emitidos pelo sol e refletidos pelo objeto. Mais especificamente, pode-se analisar a reflectância, no caso da emissão no visível e no infravermelho próximo; a retrodifusão, quando em imagens de radar; e a temperatura nas emissões do infravermelho térmico.

Para a identificação de cores usam-se regras binárias simples. Por exemplo, nas fotos em infravermelho, pode-se associar à cor vermelho-claro a categoria de vegetação rala, ao vermelho forte a vegetação de grande porte, etc.

Processos mais elaborados podem ser considerados quando a cor não é totalmente discriminatória, e quando se consideram vários critérios geométricos de forma e de tamanho. Assim se diferenciam rios (compridos e retilíneos) e lagos (forma arredondada), embora todos estes objetos tenham sido interpretados inicialmente como superfícies de água.

Problemas mais complexos são encontrados quando se leva em conta as relações entre objetos. Estes podem apresentar uma aparência organizada, definindo uma estrutura rígida ou geométrica, tal como um reticulado de ruas ou de plantações. Por outro lado, os objetos podem não apresentar uma organização nem definir uma textura regular, como por exemplo, em áreas com vegetação natural ou em zonas urbanas com crescimento espontâneo.

Os indicadores de relação entre os objetos são de grande importância na análise de zonas urbanas, principalmente quando se consideram dados de sensores de alta resolução (Thematic Mapper, imagens simuladas do satélite Spot, fotos aéreas, etc.).

2.1 - METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO AUTOMÁTICO DE IMAGENS BASEADA NO RACIO CÍNIO DO FOTOINTÉRPRETE

Os diferentes critérios de cor, forma e aparência têm sido objeto de pesquisas mais amplas para abordagens utilizadas em fotointerpretação analítica (Guy, 1970). Os métodos de classificação atualmente em uso, na sua maioria, são baseados na natureza multiespectral dos dados; porém, não oferecem resultados significativos na diferenciação de formas e texturas. Para fins elucidativos, é interessante apresentar uma classificação de algoritmos de processamento de imagens em níveis crescentes de complexidade. Assim, têm-se:

- a) algoritmos multiespectrais que consideram inicialmente informações pontuais;
- b) algoritmos de análise de formas, onde a geometria dos objetos a diferenciar é observada, considerando os componentes conexos que pertencem à mesma classe espectral;
- c) algoritmos de análise de textura que utilizam relações entre objetos (pontos para os modelos mais simples) para a formulação do modelos.

Desse modo, pode-se ter uma hierarquização das famílias de algoritmos com relação à complexidade dos critérios básicos usados na fotointerpretação. A seguir, tem-se uma correspondência esquemática, em ordem crescente de complexidade, dos critérios de interpretação e suas respectivas famílias de algoritmos.

CRITÉRIOS	FAMÍLIAS DE ALGORITMOS
cor	análise multiespectral
forma	análise de forma
textura	análise de textura

A partir desse esquema, a chave de adaptação do processamento automático à finalidade do usuário aparece como uma correspondência entre os algoritmos e os critérios requeridos. Nessa interface é necessário que haja uma tradução do raciocínio do fotointerprete para uma linguagem matemática adequada, o que nem sempre se faz com a mesma sequência de decisões ou com as mesmas variáveis consideradas por ocasião da fotointerpretação visual.

3. O MODELO PROPOSTO

Na abordagem automática considerada neste trabalho, inicialmente é digitalizada uma foto aérea de uma área urbana, no Analisador de Imagens Multiespectrais (I-100) do INPE. Esta imagem é então representada sob a forma de uma matriz de 512 por 512 pontos, cada ponto possuindo uma intensidade luminosa de resposta entre 0 e 255 níveis de cinza. A seguir, a ima

gem é classificada através de algoritmos já existentes no I-100, apresentando conjuntos de classes cujos pontos possuem características semelhantes de tonalidades de cinza. Tal classificação permite uma simplificação da escala de níveis de cinza, transformando-a em uma outra com um reduzido número de níveis de cinza (geralmente fica reduzida a um máximo de 10 intervalos).

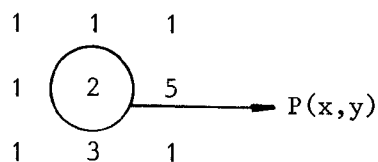
O modelo para representar o atributo de textura não leva em conta a forma geométrica dos elementos de análise. Simplifica-se o problema limitando os parâmetros de análise das diferentes classes às vizinhanças de cada ponto da imagem. Esta vizinhança é formada por um quadrado de $a \times a$ pontos e é escolhida de acordo com a distribuição espacial da textura da área em estudo.

O modelo estatístico proposto (Guichou, 1984) consiste em calcular em cada ponto $P(x,y)$ da imagem, considerando sua vizinhança a x a, o vetor de repartição local \tilde{V} , definindo como: $\tilde{V} = (N_1, N_2, \dots, N_m)$, onde:

N_i - número de pixels pertencentes à classe i na vizinhança a x a, pré-definida;

m - número total de classes obtidas na classificação espectral.

Seja, por exemplo, uma vizinhança 3×3 do ponto $P(x,y)$ pertencente à classe 2, num contexto de 5 classes que variam de 1 a 5.



Nesse caso, \tilde{V} é definido como:

$$\tilde{V} = (5, 2, 1, 0, 1),$$

pois o número de "pixels" pertencentes à classe 1 é igual a 5, à classe 2 é igual a 2, e assim por diante.

O vetor \tilde{V} será responsável pela classificação textural, que é baseada numa comparação entre a repartição das classes espectrais fornecidas por esse vetor e as repartições padrão $\tilde{V}_1, \tilde{V}_2, \dots, \tilde{V}_n$. Estes vetores-padrão são característicos de partes da imagem digitalizada e representam classes de textura para as quais se possui conhecimento prévio de sua composição.

Num exemplo de classificação urbana, uma área residencial de baixa renda poderia ter a ocupação do solo assim distribuída: 40% da classe 1 (telhados), 25% da classe 2 (solo nu), 15% da classe 3 (vegetação) e os restantes 20% (representando características imprecisas ou mistas) agrupadas na classe 4. Desta forma, o vetor-padrão seria:

$$\tilde{V}_1 = k(40, 25, 15, 20),$$

onde k é um fator multiplicativo que depende da dimensão da vizinhança es colhida.

A seguir é mostrado como se desenvolve o processo de classificação textural baseado em análises dos vetores \tilde{V} , $\tilde{V}_1, \dots, \tilde{V}_n$

3.1 - REGRA DE DECISÃO

O processo de classificação textural é elaborado a partir de alguns conceitos que formam uma regra de decisão.

Define-se α como o índice de semelhança entre a vizinhança do ponto $P(x,y)$, caracterizado pelo vetor \tilde{V} , e as vizinhanças das n amostras de re ferência, caracterizadas pelos vetores $\tilde{V}_1, \dots, \tilde{V}_j, \dots, \tilde{V}_n$.

Matematicamente tem-se:

$$\alpha = \cos(\tilde{V}, \tilde{V}_j).$$

Como a função cosseno pode ser expressa como a divisão do produto escalar $\tilde{V} \cdot \tilde{V}_j$ pelo produto das normas $\|\tilde{V}\| \times \|\tilde{V}_j\|$, tem-se:

$$\alpha = \frac{\tilde{V} \cdot \tilde{V}_j}{\|\tilde{V}\| \times \|\tilde{V}_j\|}.$$

Para decidir se um ponto $P(x,y)$ pertence a uma nova classe de textu ra j , deve-se verificar se o índice de semelhança α é superior a um valor limiar (α_{limiar}) escolhido pelo operador. Caso não se verifique esta condi ção, o ponto $P(x,y)$ permanece na sua classe inicial.

Exemplo elucidativo:

$$\begin{aligned} \text{Sejam } \tilde{V} &= (5, 2, 1, 0, 1) \text{ e} \\ \tilde{V}_j &= (3, 3, 2, 0, 1). \end{aligned}$$

Então:

$$\alpha = \frac{5 \times 3 + 2 \times 3 + 1 \times 2 + 0 \times 0 + 1 \times 1}{\sqrt{31} \times \sqrt{23}}$$

$$\alpha = 0,9.$$

Supondo que o índice de semelhança (α_{limiar}) escolhido pelo operador seja de 0,80, verifica-se que a classe do ponto central $P(x,y)$ vai se trans formar para a textura j , pois α calculado (=0,90) é maior que α_{limiar} .

Ao nível geral, observa-se que se $\tilde{V} = \tilde{V}_j$ então $\alpha=1$, o que significa completa semelhança entre a amostra de referência e o ponto em estudo, con siderada sua vizinhança.

4. APLICAÇÃO

A cidade de São José dos Campos (SP) foi escolhida como área teste para a setorização automática, por já ter sido objeto de vários estudos não-automáticos de setorização urbana. Foram utilizadas fotos infravermelhas falsa-cor, em transparências, para a digitalização necessária à entrada no Sistema I-100 do INPE.

O uso de transparências infravermelhas possibilitou que a digitalização fosse realizada em três canais espectrais, correspondendo aos filtros azul, verde e vermelho respectivamente. A escala escolhida para uso no I-100 é de maneira tal que cada "pixel" é representativo de uma superfície de terreno de 5x5 metros quadrados.

O processo de classificação textural inicia-se com o uso dos algoritmos do I-100 para a análise multiespectral, no caso o algoritmo de classificação de Máxima Verossimilhança, conduzindo às seguintes classes:

- sombra dos prédios;
- vegetação arbórea;
- vegetação rala;
- áreas asfaltadas;
- solo nu;
- telhados.

A seguir, é utilizado o programa de aplicação do modelo apresentado nas Seções 3 e 3.1. Este programa, denominado JANELA, foi implementado em linguagem RATFOR, linguagem estruturada compatível com FORTRAN para um PDP 11/45 conectado com o I-100. Neste programa, inicialmente é feita uma varredura de imagem, onde cada ponto está relacionado à vizinhança $a \times a$ (JANELA), definida pelo usuário.

A fase seguinte do programa executa, para cada ponto da imagem e sua vizinhança, uma sub-rotina para efetuar os cálculos da regra de decisão citada anteriormente. Assim se realiza a classificação textural, denominada SEGMENTAÇÃO, obtendo-se, como produto final, a delimitação de áreas do mesmo tipo de ocupação, ou seja, áreas de ocupação homogênea.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A análise automática de espaços físicos de mesma textura no tecido urbano é um dos grandes problemas ainda em estudo nas aplicações de Sensoriamento Remoto.

No estudo da imagem de São José dos Campos (SP), foram utilizadas janelas de 9×9 "pixels". Por motivos operacionais, a imagem digitalizada (com quatro classes de ocupação) e o resultado final da setorização automática não são apresentados neste trabalho. No entanto, os resultados de aplicação da metodologia aproxima-se daqueles de uma classificação visual, embora não sejam definitivos pela complexidade existente na malha urbana em termos de textura e de geometria.

Não se pode afirmar que o presente trabalho esteja concluído satisfatoriamente. Estão sendo envidados esforços no sentido de superar o obstáculo apresentado pela tradução do raciocínio do fotointérprete em algoritmos implementáveis em computador. Como a análise automática leva em conta tão somente a textura da imagem (Seção 2.1), as relações de geometria, claramente observáveis por análise visual, não são consideradas.

Espera-se que mais testes sejam feitos para avaliar o desempenho do programa JANELA, ampliando-o para que seja analisado um maior número de classes de textura. Ainda, um refinamento que se faz necessário refere-se à definição mais precisa das repartições-padrão das classes espectrais.

Sugere-se também que fotos em escala menores (1:25.000, por exemplo) sejam empregadas na aplicação da metodologia para reduzir o tempo de processamento e o espaço de memória da máquina, bem como para viabilizar a análise de maior número de fotos que englobem a zona urbana completa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GUY, M. Traitement des images et méthodes d'exploitation. Geoforum, 3:47-62, 1970.
- GUICHOU, C.J. Analyse d'images de télédétection. Thèse de 3^{ème} Cycle. Toulouse, Université Paul Sabatier, jan. 1984.
- MANSO, A.P.; OLIVEIRA, M.L.N.; BARROS, M.S.S. Determinação de Zonas Homogêneas através de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, abr. 1979. (INPE-1470-RPE/021).