

**INTEGRAÇÃO DE DADOS DE DIFERENTES SISTEMAS SENSORES
ATRAVÉS DA TÉCNICA DE TRANSFORMAÇÃO IHS, VISANDO O ESTUDO DA
ESTRUTURA INTRA-URBANA**

Maria de Lourdes Neves de Oliveira Kurkdjian
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515
12.221 - São José dos Campos - SP

RESUMO

Os estudos da estruturação do espaço intra-urbano através de dados de sensoriamento remoto orbital têm deparado com alguns problemas relativos às resoluções espacial e espectral destes produtos. Neste trabalho descrevem-se alguns resultados obtidos da integração de dados de diferentes sistemas sensores com o propósito de melhorar a sua qualidade, tendo em vista sua interpretação visual. Foram gerados produtos híbridos pela integração da composição TM 4,3,2 com dados SPOT-PAN; da composição SPOT-XS com dados SPOT-PAN; e da composição SPOT-XS com aerofoto pancromática. Para estas integrações foi utilizada a técnica de transformação IHS. Os resultados demonstraram sua plena utilidade para o propósito em questão.

ABSTRACT

To study the intraurban structure using remote sensing data, both high spectral and spatial resolutions are needed. In this work the colour space transformations (IHS transformations) were used to integrate TM 4,3,2 data with SPOT-PAN data; SPOT-XS data with SPOT-PAN data; SPOT-XS data with an aerial photography. The purpose was to prepare hybrid images with the spatial resolution of one of the components and the spectral resolution of the other. The products resulted from these intergrations showed the utility of the IHS tranformations to integrate different sensor's products, and the quality of these new products for the purpose of intraurban land use analysis.

1. INTRODUÇÃO

Estudos acerca da estruturação do espaço intra-urbano têm sido uma das aplicações do sensoriamento remoto para o conhecimento e a ação sobre as cidades.

Tais estudos exigem produtos com altas resoluções espaciais e espectrais.

Com relação aos dados orbitais, as resoluções espaciais dos sistemas sensores em operação não têm sido completamente satisfatórias para estes estudos. O espaço urbano tem composição extremamente complexa, formada por edifícios de andares, construções horizontais, parques, estacionamentos, sistema viário, que constituem alvos de sensoriamento remoto com diversas dimensões e espaçamentos, construídos com diferentes materiais. Da combinação de detalhes resulta uma alta frequência espacial de mudanças que exige, para a sua análise, que os produtos de sensoriamento remoto tenham resoluções espaciais e espectrais finas. Isto é mais crítico, como aponta Jensen (1983), em países do terceiro mundo, comparativamente aos Estados Unidos.

Ainda conforme Jensen (1983), "numerosos materiais feitos pelo homem têm grosseiramente as mesmas propriedades de reflectância espectral". Do mesmo modo, o ser humano combina de diversas formas certos materiais como o concreto, o asfalto, pedras, gramíneas e materiais de cobertura de construções no processo de ocupação do solo com os diferentes usos.

Além disso, as reflectâncias dos materiais que revestem o solo na região coberta por um "pixel" são integrados produzindo um valor único de reflectância para este "pixel", que nem sempre relaciona-se com o uso dominante na área.

Isso exige que além do comportamento espectral, outros elementos da fotointerpretação sejam observados durante a análise urbana através de dados de sensoriamento remoto.

A resolução espacial fina nos produtos de sensoriamento remoto, além de reduzir a proporção de "pixels" mistos, fornece informações de contexto relevantes à fotointerpretação.

Os sensores remotos orbitais TM/LANDSAT e HRV/SPOT têm se mostrado mais adequados que o sensor MSS/LANDSAT

para a realização de estudos intra-urbanos devido, sobretudo, às melhorias nas resoluções espectrais e/ou espaciais de seus produtos.

Por outro lado, as técnicas de processamento de imagens têm evoluído no sentido do tratamento de dados de sistemas sensores de resoluções distintas.

Alguns esforços têm sido realizados com o propósito de obter um produto híbrido, resultante da integração de produtos com diferentes resoluções espaciais e espectrais, de modo a usufruir, simultaneamente, das vantagens que cada um dos produtos componentes apresenta isoladamente.

Nessa linha encontram-se os esforços de Chavez (1986) e de Dutra et alii (1988), que se assemelham de algum modo às experiências retratadas neste trabalho, além do trabalho de Brum (no prelo).

Chavez (1986) extraiu informação espectral do TM/LANDSAT e combinou-a com informação espacial de fotografia aérea na escala original 1:80.000, digitalizada com resolução aproximada de 4m. Isto, realizando a adição da banda pancromática a cada uma das bandas do TM, "pixel" a "pixel".

Dutra et alii (1988) obtiveram uma imagem multiespectral colorida com resolução de 10m a partir da integração da banda pancromática do SPOT com as bandas TM 4, 3 e 2. Para este propósito empregaram a técnica de transformação IHS.

Brum (no prelo) utiliza um algoritmo obtido a partir de curvas de responsividade espectral dos detetores do sensor HRV-SPOT e de dados de coerência espacial da cena para realizar a integração dos canais multiespectrais e pancromáticos do sensor em questão. Este algoritmo foi implementado computacionalmente com a utilização de um sistema de equações lineares solucionado com a utilização de uma matriz pseudo-inversa.

O presente trabalho descreve os resultados obtidos com a integração dos dados TM 4, 3 e 2 com dados SPOT pancromáticos e de dados SPOT multiespectrais com dados SPOT pancromáticos. Em ambos os exemplos a área teste foi a região de Água Branca em São Paulo-SP. Descreve também os resultados da integração de dados multiespectrais SPOT com aerofoto pancromática na escala original, 1:25.000, digitalizada com resolução aproximada de 3,5m da

área urbana central de São José dos Campos-SP.

Nos três casos foi utilizada como técnica de integração de dados a técnica de transformação IHS, e o propósito foi avaliar a qualidade dos produtos finais obtidos, tendo em vista o estudo da estrutura interna da cidade através da interpretação visual.

2. O MÉTODO DE INTEGRAÇÃO DOS DADOS

O procedimento geral empregado para a obtenção do produto híbrido envolveu:

a) o registro geométrico dos dados dos dois produtos a serem integrados;

b) a fusão dos dados registrados em um produto único.

2.1. O REGISTRO GEOMÉTRICO

O registro geométrico das imagens dos dois diferentes sistemas sensores é realizado em sistema de tratamento de imagens digitais, utilizando software apropriado. A partir da coleta de pontos de controle nas imagens de referência e na imagem a ajustar, o algoritmo realiza transformações geométricas de modo que os elementos de imagens (pixels) correspondentes de ambos os produtos tornem-se coincidentes. Para isto, utiliza um polinômio de interpolação de ordem n que gera, com base nos deslocamentos dos "pixels" de controle, as novas coordenadas para os demais pontos da imagem a ajustar.

Nesse processo, as bandas da imagem de pior resolução espacial são reamostradas e reconstruídas em cima da grade da imagem de melhor resolução.

A escala de apresentação dos dados é definida de modo a manter inalterada a resolução espacial do produto de melhor resolução.

2.2. A FUSÃO DOS DADOS REGISTRADOS

A integração dos dados de diferentes sensores é realizada utilizando a técnica de transformações no espaço de cores (transformações IHS), descritas em Dutra et alii (1986).

Inicialmente, após equalizadas as bandas da imagem multiespectral, foi efetuada a transformação da imagem do espaço RGB (vermelho, verde e azul)

para o espaço IHS (intensidade, matiz e saturação). Neste espaço, as componentes I, H e S, nesta ordem, são analisadas pelo sistema visual humano que as percebem com resolução espacial decrescente. Este fato possibilita que a integração de dados de diferentes sensores seja feita com sucesso.

Em seguida, a componente I (Intensidade) é substituída pelo produto de melhor resolução espacial.

As componentes H e S são mantidas, e a um único valor de H e S corresponde um conjunto de valores de I. A componente saturação é possível adicionar um valor para tornar as cores mais vivas no produto final.

Finalmente, é realizada a transformação IHS inversa, obtendo-se como imagem resultante uma composição colorida com a resolução espacial do produto de resolução mais fina e com a resolução espectral do produto do outro sistema sensor.

3. PRODUTOS HÍBRIDOS RESULTANTES

3.1. IMAGEM TM MULTIESPECTRAL E IMAGEM SPOT PANCROMÁTICA

Foi extraída informação espectral da imagem TM 4,3 e 2 que foi combinada com a informação espacial da imagem SPOT no seu modo pancromático, produzindo-se uma imagem multiespectral com resolução de 10m.

Esse processo foi realizado duas vezes. Na primeira vez utilizou-se a interpolação bilinear como técnica de reamostragem da imagem TM, por ocasião do registro geométrico dos dados dos dois produtos a serem integrados.

Na segunda vez utilizou-se para esse fim a técnica de restauração descrita em Fonseca (1988).

Em ambos os casos, a imagem TM com "pixel" de 30m foi reamostrada para um "pixel" de 10m, a cada conjunto de 5 "pixels" da imagem SPOT-PAN, correspondendo um único valor de H.

Embora o segundo método tenha produzido uma ampliação da imagem TM visualmente melhor que aquela produzida pela interpolação bilinear, os produtos finais obtidos com a aplicação da técnica IHS praticamente foram igualmente bons para o propósito de realçar os alvos urbanos.

Explica estes resultados o fato de que ao se substituir a componente I (dominante na percepção visual humana) pela imagem SPOT-PAN, o produto híbrido fica com a resolução espacial da imagem SPOT, minimizando a importância de uma reamostragem mais elaborada das bandas da composição multiespectral original.

Os produtos híbridos realçam visualmente as imagens originais e possibilitaram uma análise mais detalhada da estrutura intra-urbana, destacando os padrões texturais, forma e dimensões dos alvos (elementos percebidos devido à resolução espacial da imagem SPOT), bem como as suas cores (informações da imagem TM).

Desse modo, foi possível separar áreas industriais, residenciais, terrenos vazios, praças, arborização ao longo do rio e do sistema viário.

Como a reamostragem altera também os valores de H e S, o produto obtido com a aplicação da técnica de restauração apresenta alguns detalhes mais bem definidos. É o caso das pontes sobre o rio, da vegetação ao longo de seu leito, bem como da vegetação nas praças e terrenos baldios.

3.2. SPOT MULTIESPECTRAL E SPOT PANCROMÁTICA

Neste caso, extraiu-se informação espectral da imagem SPOT 3,2,1, que foi integrada com a informação espacial da imagem SPOT pancromática.

A imagem multiespectral, com resolução de 20m foi reamostrada para um "pixel" de 10m. Deste modo, a cada conjunto de 4 "pixels" da imagem no modo pancromático corresponde um único valor de H e S.

O produto híbrido obtido permitiu uma definição geométrica mais clara dos alvos urbanos do que aquela possibilitada pelo produto resultante da integração dos dados LANDSAT com os dados SPOT.

Contribuiu para isso o fato de serem produtos de um mesmo satélite (o que implica uma melhor qualidade do registro dos dados), bem como o fato de as resoluções espaciais de ambos serem mais próximas.

Apesar da componente I, segundo Hydan et alii, ser melhor percebida pelo olho humano que as componentes H e S, nesta ordem, estas últimas influem, também, na percepção visual do conjunto. Por isso, o produto híbrido

obtido com as imagens SPOT nos modos multiespectral e pancromático realça visualmente mais os alvos que aquele obtido das imagens LANDSAT e SPOT.

3.3. IMAGEM SPOT MULTIESPECTRAL E AEROFOTO PANCROMÁTICA

Foi extraída informação espectral da imagem SPOT-XS que foi integrada à informação espacial da aerofoto pancromática digitalizada com resolução espacial de 3,5m. Detalhes deste trabalho podem ser encontrados em Oliveira-Kurkdjian e Ii (1989).

A imagem multiespectral foi reamostrada para um "pixel" de 3,5m. Desse modo, a cada conjunto de cerca de três dezenas de "pixels" da aerofoto correspondia um único valor de H e S.

O produto híbrido resultante é uma imagem colorida RGB com as características espectrais da imagem SPOT e a resolução espacial de 3,5m.

Ela oferece simultaneamente ao fotointérprete a definição geométrica dos alvos, permitida pela aerofoto, e a definição espectral da imagem SPOT multiespectral.

O sistema viário, as edificações de porte, as áreas que estão em processo de verticalização, as áreas residenciais das populações mais carentes encontram-se claramente definidas neste produto híbrido, como na aerofoto.

As áreas construídas (em cinza-aço) discriminam-se das áreas com cobertura vegetal (em vermelho), sendo separáveis áreas com vegetação densa daquelas com gramíneas. Isto devido à componente espectral da imagem SPOT-XS.

Mas, a vantagem principal desta composição híbrida é que ela permite separar alvos que não são separáveis nos outros dois produtos isoladamente. Assim, separa detalhes nas propriedades imobiliárias individuais, como terrenos vazios com cobertura vegetal (em vermelho), de espaços com cobertura de concreto ou asfalto (em cinza-aço), caso dos estacionamentos, pátios e telhados.

Uma restrição a este produto é o aparecimento de manchas coloridas no produto híbrido resultante, pelo fato de as resoluções espaciais dos dois produtos componentes serem tão diferentes entre si. Devido aos "pixels" mistos da imagem SPOT, ao nível de detalhe, observa-se certa

incoerência entre a informação espectral e espacial.

4. CONCLUSÕES

Todos os produtos híbridos gerados para este trabalho mostraram-se melhores para a interpretação visual com o propósito de estudos intra-urbanos do que os produtos componentes considerados isoladamente.

A técnica de IHS, em todos os casos, mostrou-se eficiente para a integração de dados de diferentes sistemas sensores porque permite preservar a resolução espacial do produto de resolução mais fina, acrescentando-lhe as qualidades espectrais do outro produto.

Os resultados conseguidos com este trabalho, pela diversidade de produtos integrados em produtos híbridos, permitiram generalizar as conclusões a cerca da eficiência da técnica IHS para o fim em questão.

Tais composições híbridas finais, obtidas através da técnica de IHS, além de possibilitarem a praticidade da extração de toda a informação de um único produto, realçam visualmente os alvos, aumentando a precisão da interpretação.

As imagens resultantes permitiram uma separação mais detalhada dos alvos urbanos que aquelas oferecidas pelos produtos básicos que as compuseram.

Os resultados deste trabalho reforçam as conclusões de Chavez (1986) no que concerne a se dispor, no futuro, de sistemas sensores que coletam dados multiespectrais com baixa resolução espacial, simultaneamente com banda monocromática de alta resolução espacial, reduzindo o volume de dados a ser coletado e armazenado, embora gerando dados com altas resoluções espacial e espectral.

BIBLIOGRAFIA

BRUN, E.R. Integração dos canais multiespectrais e pancromático do sensor HRV (SPOT) para a obtenção de composições coloridas com resolução espacial próxima a 10m. INPE - São José dos Campos (no prelo).

CHAVEZ Jr., P.S. Digital merging of Landsat TM and digitalized NHAP data for 1:24.000 scale image mapping Photogrammetric Engineering and

Remote Sensing. Vol. 52, n 10, Oct 1986 pp. 1637-1646.

DUTRA, L.V.; MENESES, P.R. Aplicação da transformação IHS para realce de cores em imagens Landsat. In: I SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Gramado, Brasil, agosto de 1986, vol. I, p. 675-681.

DUTRA, L.V.; FORESTI, C.; MENESES, P.R.; OLIVEIRA-KURKDJIAN, M.L.N. Utilização de transformação IHS para a integração de imagens de diferentes resoluções: estudo do solo urbano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS. 12-20 abr., 1988. Petrópolis, RJ.

FONSECA, L.M.G. Restauração e interpo lação de imagens do satélite Landsat por meio de técnicas de projeto de filtros FIR. ITA, São José dos Campos, abr., 1988.

HYDAN, R.; DALKE, G.M.; HENKEL, J.; BARE, J.E. Application of the EAS color transform to the processing of multisensor data and image enhancement. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ARID AND SEMI-ARID LANDS, 2th Thematic Conference, Cairo, Egypt. Proceedings Environmental Research Institute of Michigan, ANN Arbor, Michigan, 1982, p. 599-616.

JENSEN, J.R. Urban/Suburban land use analysis. In: ESTES J. E. Manual of Remote Sensing. American Society of Photogrammetry. 1983, Vol. II. pp.1571-1666.

OLIVEIRA-KURKDJIAN, M.L.N.; LI, S.S. Integração de imagens SPOT multi-espectral e aerofoto pancromática para estudo do uso do solo urbano. In: IV SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA. Bariloche, 19-24 Nov. 1989, p.414-421.