

## Utilização de imagens espectrais de média resolução espacial na análise da expansão urbana do município de Betim (RMBH) por meio de modelo de mistura.

Luiza Caldeira de Barros<sup>1</sup>  
Luciano Vieira Dutra<sup>1,2</sup>  
Diego Rodrigues Macedo<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto de Geociências  
Av. Antônio Carlos, 6627 – 31210- 901 – Belo Horizonte – Minas Gerais, Brasil.  
luizacaldeira@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos – Sp, Brasil  
dutra@inpe.br

<sup>3</sup>Universidade Federal de Minas Gerais – Projeto Manuelzão  
Av. Antônio Carlos, 6627 – 31210- 901 – Belo Horizonte – Minas Gerais, Brasil.  
diego@escandinavia.net

**Abstract.** This study propose the mixing model application as a methodology for urban expansion interpretation using medium spatial resolution images – in this case, *Landsat 5 TM* with 30m spatial resolution; as well the comparasion of this model with a visual classification for urban expansion regions. The comparasion results between the mixing model and the visual classification was linear, indicating that the mixing model is viable to the analisys of urban expansion.

**Palavras-chave:** mixing model, meduim spatial resolution, evolution of urban expansion, modelo de mistura, imagens de média resolução espacial, evolução da mancha urbana.

### 1.Introdução

Os fenômenos de expansão urbana ocorridos no Brasil são um importante campo de pesquisa, uma vez mais de 82% da população está localizada em áreas urbanas (Araújo, 2001). A Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) se insere neste contexto, a partir da década de 1970, com o crescimento econômico experimentado em todo o país.

Betim, integrante da RMBH, é um pólo industrial da região, tendo como base a indústria automobilística e de serviços vinculados a ela, se desenvolvendo ao longo da rodovia BR-381, que liga a capital mineira ao estado de São Paulo (Teixeira e Souza, 2003).

Ao analisar a expansão de Betim por um período de 20 anos (de 1984 a 2004), comprova-se a aptidão do município para a atividade industrial, sendo que as imagens de satélite utilizadas neste estudo, apresentam claramente o eixo de expansão da cidade, que cresceu ao longo da principal rodovia federal que corta o município (Teixeira e Souza, 2003).

O uso das imagens de satélite para a análise urbana cresceu a partir da evolução dos sensores e novos satélites, que trouxeram maior acuidade visual e também maior detalhamento dos objetos que compõem cada imagem. Mas a utilização de imagens com menor resolução espacial podem também ser de grande utilidade para este tipo de análise, apesar de serem largamente utilizadas em análises ambientais. Isso se deve a evolução dos métodos de análise das imagens em si, ocasionando um melhor aproveitamento dos dados que estas apresentam. Neste contexto, as

imagens *Landsat 5 TM* se destacam, por apresentarem boa série histórica e grande acervo de cenas.

O uso de imagens de média resolução espacial, especialmente para análises de áreas urbanas, pode apresentar erros de classificação, uma vez que elementos muito pequenos dentro do pixel não são claramente identificados. Quando se estuda uma área heterogênea, como regiões urbanizadas, estes elementos tornam-se de extrema importância para a análise, sendo que, hoje, existem vários estudos de técnicas que estimam proporções de classe para pixels individuais (Cross, et al, 1991), como o modelo de mistura, aqui utilizado.

Este modelo pode ser expresso por uma análise linear da resposta espectral de cada elemento dentro do pixel e, conhecendo suas respostas espectrais, podem-se inferir as proporções dos mesmos. (Shimabukuro, 1987; Shimabukuro & Smith, 1991; Holben & Shimabukuro, 1993).

Para se caracterizar uma área, a partir da assinatura espectral dos objetos é importante levar em consideração a reflectância dos objetos adjacentes ao alvo, que podem interferir na medida da reflectância do alvo.

Para isso torna-se necessário analisar em separado o comportamento espectral de alguns componentes puros da superfície terrestre. Este estudo atém-se apenas a características da cidade, vegetação e solo.

Desta maneira, este trabalho tem como objetivo analisar a expansão urbana do núcleo urbano de Betim através da metodologia de modelo de mistura, ou subpixel, em imagens *Landsat 5 TM* dos anos de 1984, 1994 e 2004, assim como testar a validade deste modelo para a análise urbana, comparando-o com uma interpretação visual desta mesma expansão.

## 2. Modelo de mistura

As imagens de baixa resolução espacial ocasionam classificações errôneas para áreas heterogêneas, uma vez que engloba vários elementos em um mesmo pixel (Holben & Shimabukuro, 1993). O modelo de mistura é uma metodologia que visa estabelecer quantitativamente a proporção dos elementos dentro de um mesmo pixel, a partir do conhecimento das assinaturas espectrais destes elementos, tanto em imagens multiespectrais e hiperespectrais.

Shimabukuro (1987) fundamenta o modelo no pressuposto de que a resposta espectral de um pixel é uma combinação linear da resposta espectral de cada componente dentro do pixel, e, portanto as proporções dos componentes conhecidos podem ser estimadas. Este modelo é expresso pela equação:

$$r_i = \sum_{j=1}^n (a_{ij} x_j) + e_i \quad (1)$$

Onde:

$r_i$  = reflectância espectral para cada banda espectral  $i$  de um pixel que contém um ou mais componentes;

$a_{ij}$  = reflectância espectral da componente  $j$  em cada banda espectral  $i$ ;

$x_j$  = valor da proporção da componente  $j$  dentro de um pixel;

$e_i$  = erro para cada banda espectral  $i$ ;

$j = 1, 2, \dots, n$  ( $n$  = número de componentes);

$i = 1, 2, \dots, m$  ( $m$  = número de bandas espectrais),

Com as seguintes restrições:

$$\sum x_j = 1 \text{ e } x_j \geq 0 \text{ para todos os componentes} \quad (2)$$

### 3. Caracterização da área de estudo

O Município de Betim localiza-se a 30 Km da capital mineira e é um dos principais pólos de concentração industrial do Estado de Minas Gerais, registrando altas taxas de crescimento econômico (**figura 1**). Sua população tem crescido em média 7,85% ao ano - índice muito superior ao encontrado na RMBH (2,09%) e em Minas Gerais (1,15%). Segundo Rigotti (2003), a taxa de crescimento populacional nos anos entre 1980 e 1991 é de 6,65% e de 1991 a 2000 foi de 6,71%, confirmando o crescimento acelerado do município.

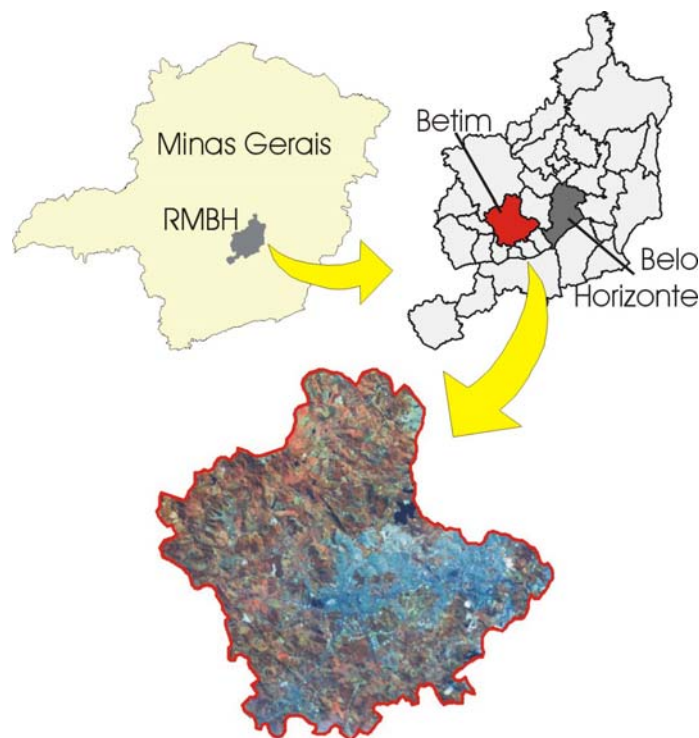


Figura 1. Localização do município de Betim.

Seu crescimento econômico e também sua vocação como pólo industrial começa com a implementação da Refinaria Gabriel Passos, em 1968, e responsável pelo desenvolvimento de muitas atividades complementares, como o comércio atacadista de combustíveis.

Com o planejamento da RMBH, ficam reforçadas as potencialidades de localização industrial e de desenvolvimento urbano em Betim. Ocorre a ocupação de grandes espaços do município pela indústria, com a criação do Distrito Industrial Paulo Camilo, na segunda metade da década de 70, com a implantação da Fiat Automóveis S/A, em 1976, e suas indústrias-satélites, resultando na formação do segundo pólo industrial automobilístico do país.

A partir da década de 90 há uma retomada no crescimento de Betim, que passa a atrair novas indústrias em decorrência da saturação de áreas industriais em outras regiões e da adequação do parque industrial aos padrões de concorrência impostos pelo mercado externo, tal como programas de qualidade total e processos de terceirização.

#### 4. Metodologia

Em uma fase de pré-processamento, foi realizado o georreferenciamento das imagens *Landsat 5 TM* no. 218/74 dos anos de 1984 (09/08/1984), 1994 (09/11/1994) e 2004 (12/05/2004), no software *ENVI 4.1*, cedidas pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFMG.

Para correto georreferenciamento das imagens nestas três datas, foi utilizado para coleta de pontos controle uma imagem *Landsat 5 TM*, georreferenciada para um estudo da bacia do Rio das Velhas de 2002. Foram escolhidos apenas 5 pontos de controle para cada georreferenciamento, pois as imagens encontravam-se no formato *geotiff*, sendo necessário apenas de deslocamentos em X=E e Y=N e um fator de escala mínimo, uma vez que estas possuem uma precisão interna consistente, baseado na imagem de 2002, através do método de georreferenciamento de imagem para imagem.

Anteriormente à coleta de pixels do modelo de mistura, foi aplicada uma equalização de bandas em cada imagem para reduzir ruídos existentes e melhorar a visualização dos pixels entre elas. Para isto utilizou-se a ferramenta aritmética  $C = \text{ganho} * A + \text{offset}$  do *Spring*, com média de 127 e desvio padrão de 40, sendo estes os melhores parâmetros para realçar imagens *Landsat*. Este pode ser expresso pela equação:

$$I_s = (I_e - \text{média}(I_e)) * A + \text{média}(I_{ref}) \quad (3)$$

$$I_s = I_e * \text{ganho} + \text{offset} \quad (4)$$

Onde:

$$A = (\text{Vref}/\text{Ve})^{(1/2)}$$

$I_s$  = imagem de saída

$$\text{Offset} = \text{Média}(I_{ref}) - (\text{Vref}/\text{Ve})^{(1/2)} * \text{média}(I_e)$$

$$\text{Média}(I_{ref}) = 127$$

$$\sigma(I_{ref}) = 40$$

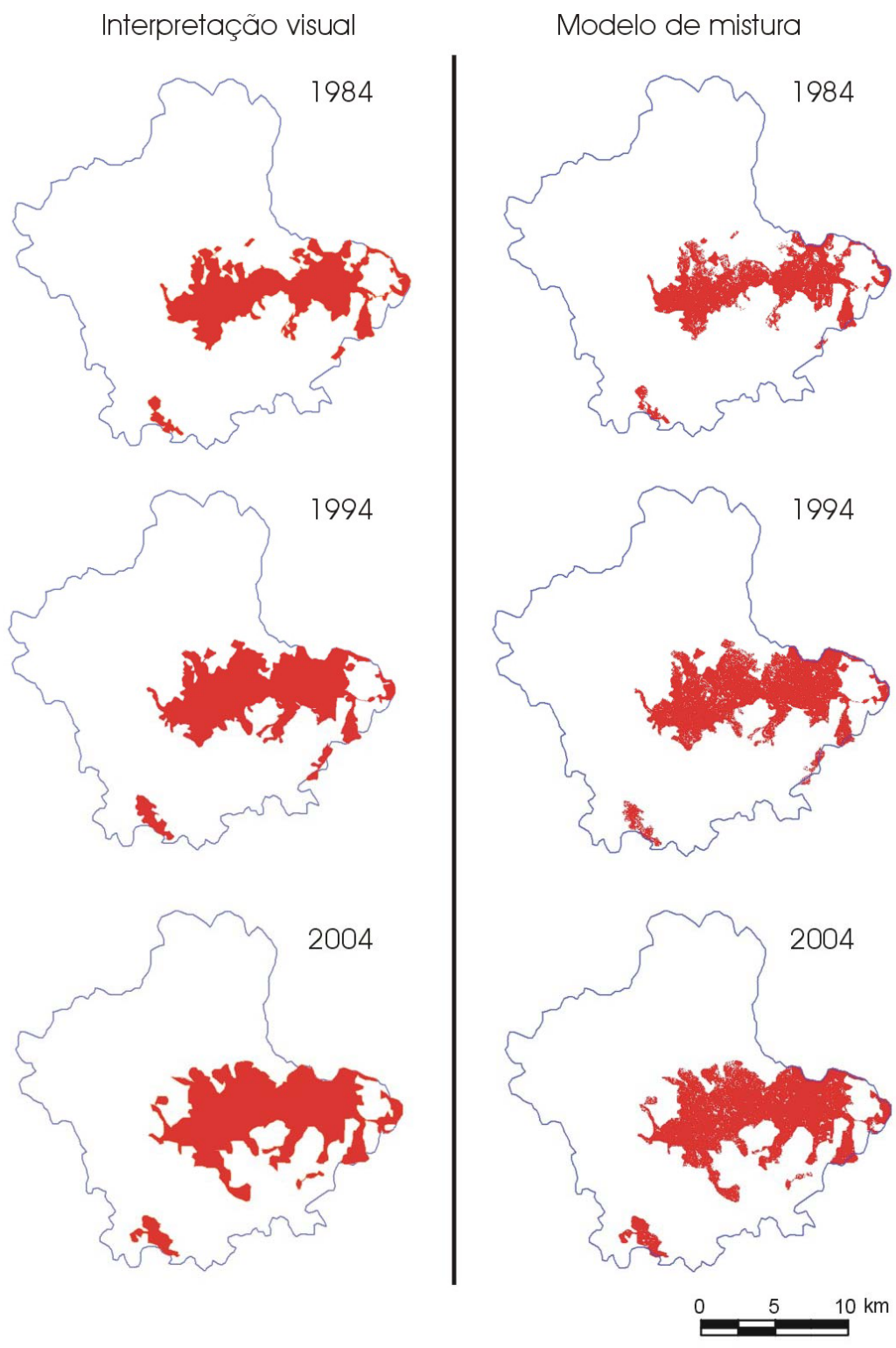
$$\sigma(I_{ref}) = (\text{Vref})^{(1/2)}$$

Para o modelo de mistura a escolha da assinatura espectral dos elementos considerados como componentes da mistura é crítica para a estimação correta das proporções. Portanto o modelo de mistura foi aplicado a partir do software *ENVI 4.1*, que produziu boa resposta para as classes: “cidade”, “solo exposto” e “vegetação”, através do método de mínimo quadrado ponderado, para o modelo e também por apresentar a opção de coleta de amostras por regiões.

No *Spring* foram criadas três regiões de mancha urbana, uma para cada imagem, a partir da vetorização visual, delimitando a região urbana do município, com composição 4R 5G 3B de cada ano (**figura 2-A**).

As regiões de mancha urbana prontas para cada ano foram transferidas posteriormente para o *ENVI*, para o restante da análise. Estas manchas foram transformadas em *ROIs*, máscaras para o corte da região da cidade na imagem de cada ano.

No *ENVI*, foi realizado um fatiamento da classe cidade do modelo de mistura de cada ano, procurando as respostas que melhor representam a área urbana e também melhor representam este modelo com a classe visual, isto é, as manchas urbanas produzidas no *Spring* (**figura 2-B**).



**A** **B**  
 Figura 2. Mancha urbana obtida através da classificação visual (A) e modelo de mistura (B).

O fatiamento separa os tons de cinza em classes para realçar objetos de interesse na imagem (Jensen, 1996). Neste caso, foi feito apenas um corte (uma classe), pois o que se queria visualizar eram as características da classe cidade do modelo de mistura.

Para a classe cidade do ano de 1984 foi utilizado para o fatiamento da classe -0.5 a 15, de 0 a 20 para o ano de 1994 e -0.5 a 15 para 2004, contemplando os picos do histograma de cada ano.

Após o fatiamento da classe cidade do modelo de mistura de cada ano, foi feito o corte das áreas urbanas do município a partir da máscara criada das manchas urbanas para a comparação de área do modelo e da área da mancha urbana.

Para a fase final de análise, os valores das áreas de cada ano, tanto do modelo de mistura quanto das regiões de mancha urbana, foram plotados em um gráfico no software *Excel* e calculadas suas taxas de crescimento com o intuito de analisar o crescimento da cidade comparando os valores obtidos. Esta análise final foi feita para a verificação da aplicabilidade do modelo de mistura para expansão urbana.

## 5. Análise e discussão dos resultados

Para este estudo foram escolhidas as bandas 3, 4 e 5 de cada imagem, uma vez que estas representam, tanto visualmente como espectralmente, a melhor combinação para o estudo da expansão urbana. A biomassa da vegetação é bem interpretada pelas bandas 3 e 4, sendo a banda 5 melhor para a interpretação do estresse da vegetação e identificação de mineralizações superficiais (Costa, 1990).

A aplicação do modelo no *ENVI* mostrou-se satisfatória para diferenciação das classes de vegetação, solo exposto e cidade.

As tabelas 1 e 2 apresentam o resultado da análise, após o processamento dos modelos de mistura e das classes visuais para cada ano. A **Tabela 1** mostra o comparativo entre as áreas obtidas entre o modelo de mistura e a classificação manual.

Tabela 1: Áreas obtidas para modelo de mistura e mancha urbana.

Classes/ ano	1984	1994	2004
<b>Modelo de mistura</b>	4007,52 ha.	5134,59 ha.	6325,56 ha.
<b>Mancha urbana</b>	4703,94 ha.	5842,62 ha.	7004,07 ha.

A **Tabela 2** apresenta as taxas de crescimento da área urbana obtidas neste estudo.

Tabela 2: Taxa de crescimento de área urbana total e periódica (em %).

	Classe visual	Modelo de mistura
<b>1984 a 1994</b>	24,21	28,12
<b>1994 a 2004</b>	19,88	23,20
<b>Total (84-04)</b>	48,90	57,84

A **figura 3** apresenta uma relação linear entre o modelo de mistura e a classe visual, indicando que este método é uma ferramenta útil para a análise proposta.

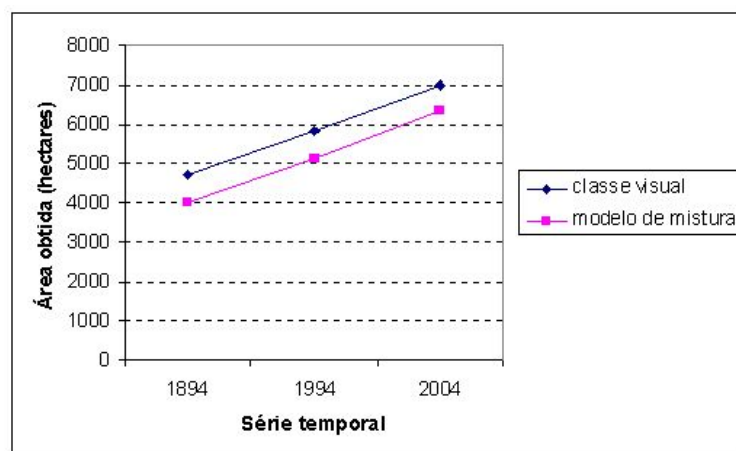


Figura 3: Relação entre o modelo de mistura e classes visuais.

As taxas de crescimento obtidas neste estudo apresentam variações, que refletem a dinâmica do crescimento urbano, tal como um alto crescimento tanto populacional quanto econômico, entre os anos de 1984 e 1994 e uma pequena desaceleração destes crescimentos no decênio subsequente. Rigotti (2003) apresenta que a taxa migratória para Betim entre 1980 e 2000 foi de aproximadamente 30 mil habitantes, com uma diminuição da taxa líquida de migração de apenas 5,3% entre os anos de 1981-1991 e 1995-2000, confirmando que o município ainda é pólo de atração populacional.

A diferença de valores de área obtida entre o modelo de mistura e a classe visual pode ser explicada pelo processo de classificação por fatiamento, no qual apresentam pequenos “buracos” na classificação devido ao corte dos valores de nível de cinza, uma vez que nesta classificação, se consideram os picos de resposta espectral do histograma destas imagens.

O alto valor dado para a taxa total de crescimento do modelo de mistura pode ser explicado pelo fatiamento da classe de cidade, no qual algumas áreas de vegetação e solo exposto dentro da mancha urbana são contabilizadas, uma vez que as respostas espectrais destes se misturam muito dentro da mancha urbana.

## 6. Considerações Finais

O estudo foi conclusivo quanto aos seus objetivos, de analisar a expansão urbana, e a relação entre a classificação visual e o modelo de mistura, uma vez que apresenta uma clara relação linear entre os dois métodos.

Esta relação fica melhor explicitada quando se comparam as taxas de crescimento apresentadas nas tabelas 1 e 2. Elas apresentam um crescimento muito próximo, sendo que a diferença entre os valores das séries temporais (1984 a 1994, 1994 a 2004) do o modelo de mistura e da classe visual é de 4,39% e 4,33% respectivamente.

## 6. Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, Maria Bernadete. **Déficit Habitacional no Brasil**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 2001.
- BARRET, S.C.; CURTIS, L.F. **Introduction to Environmental Remote Sensing**. New York: Chapman and Hall, 1982. 352 pg 2<sup>nd</sup> edition.

COSTA, S. M. F. **Avaliação de técnicas de processamento digital de imagens TM – Landsat aplicadas á delimitação de áreas urbanas.** Outubro, 1989. 125 p. Dissertação de Mestrado – INPE, São José dos Campos, abril, 1990.

CROSS, A. M.; SETTLE, et al. Subpixel measurement of tropical forest cover using AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 12, n. 5, p. 1119-1129, 1991.

HOLBEN, BRENTN; SHIMABUKURO, YOSIOE. Linear mixing model applied to coarse spatial resolution data from multispectral satellite sensors. **International Journal of Remote Sensing**. Vol. 14, no. 11, pp. 2231-2240. 1993.

JENSEN, J. R. **Introductory digital Image processing.** Rio de Janeiro: Ed. Prentice Hall do Brasil, 1996. p 90 -92.

RIGOTTI, J. I. R., VASCONCELOS, I. R. P. As Migrações na Região metropolitana de Belo Horizonte no limiar do século XXI. In: Mendonça, J. G. de; Godinho, M. H. de L. (org.). **População, espaço e gestão na metrópole: novas configurações, velhas desigualdades.** Belo Horizonte: Editora PUCMINAS. 2003, p. 43-71.

SHIMABUKURO, Y. E. **Shade images derived from linear mixing models of multispectral measurements of forested areas.** Ph. D. Dissertation, Department of Forest and Wood Sciences, Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 1987.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20. 1991.

TEIXEIRA, J. G.; SOUZA, J. M. 2003. Espaço e sociedade na Grande BH. In: Mendonça, J. G. de; Godinho, M. H. de L. (org.). **População, espaço e gestão na metrópole: novas configurações, velhas desigualdades.** Belo Horizonte: Editora PUCMINAS. 2003, p. 19-42.