

## USO DO SENSORIAMENTO REMOTO E DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE GINI PARA A ESTIMATIVA DA DESIGUALDADE SOCIAL COM A EXPANSÃO DA ÁREA URBANA: CASO DE BUENO BRANDÃO, MG.

V. T. G. Boulomytis e C. D. Alves

### RESUMO

Nesta pesquisa foram utilizados dados de sensoriamento remoto orbital e SIG para a verificação da desigualdade social a partir da expansão urbana no período de 2000 e 2007. A classificação das imagens foi feita por meio de análise orientada a objeto. Os dados obtidos por meio do processamento das imagens foram validados utilizando-se imagens de alta resolução espacial e obtiveram-se índices Kappa de 0,72 e 0,86. O índice de Gini foi utilizado para medir a concentração das distribuições estatísticas de desigualdade social, em função da variável PIB *per capita* relacionada à expansão urbana do município de Bueno Brandão, MG. A metodologia adotada no estudo mostrou-se relevante para a estimativa da desigualdade social e pode vir a auxiliar no planejamento de áreas urbanas em ascensão, a fim de se garantir uma melhor qualidade dos aspectos coletivos e individuais da população.

### 1 INTRODUÇÃO

Para a Organização Mundial da Saúde, o bem estar físico, mental e social está relacionado à saúde. Apesar da dificuldade em se mensurar e conceituar o aspecto da qualidade de vida, o mesmo pode estar relacionado à distribuição de renda, uma vez que, dentre os pré-requisitos para a promoção da saúde, estabelecidos na I Conferência Internacional de Promoção da Saúde de Ottawa, está a renda suficiente para o atendimento das necessidades básicas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1996).

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) utiliza o Produto Interno Bruto (PIB) real *per capita* para mensurar a qualidade de vida, além de outros fatores, como a expectativa de vida ao nascer e a taxa de alfabetização. Este índice sintético utiliza os três atributos de modo equivalente para representar a qualidade de vida.

De acordo com Forattini (1991), durante o desenvolvimento do ambiente urbano, ocorre uma intensa e profunda manipulação do ambiente. Tais modificações podem afetar o estado psicológico e fisiológico dos seus habitantes, resultando em fatores políticos e econômicos que influenciam isolada ou coletivamente a qualidade de vida dos indivíduos que residem no ambiente urbano em expansão.

Conforme o exposto por Ali (2008), o uso do PIB *per capita* apresenta a vantagem de ser disponibilizado em séries anuais. Este fato facilita a análise de desigualdade social em função da expansão urbana, de acordo com o estudo de variabilidade e mutabilidade do matemático Gini. Para os casos em que o índice de Gini é maior, verifica-se a maior ocorrência de desigualdade social.

A região escolhida para o estudo foi a área urbanizada do município de Bueno Brandão, MG, em função de sua expressiva expansão nas últimas décadas. De acordo Maktav et al.(2005), o crescimento não controlado da população e a rápida urbanização, especialmente em países em desenvolvimento, têm grande impacto no meio ambiente. De acordo com dados obtidos pelos Censos do IBGE, a população do município apresentou um aumento pouco significativo nos últimos 40 anos, mas a proporção do quadro rural em relação ao urbano sofreu modificação relevante.

A expansão urbana ocorreu devido à busca da população por atividades que proporcionassem um maior rendimento familiar e melhores condições de infra-estrutura, tais como atendimento hospitalar e proximidade das instituições de ensino.

No período estudado ocorreu o surgimento de diversos loteamentos de padrão popular em atendimento aos diversos planos habitacionais financiados pelo governo federal e estadual. No entanto, a vocação do município continua sendo voltada à agricultura, principalmente a bataticultura, cafeicultura e pastagem para gado de corte, não havendo o respectivo crescimento para a abertura de serviços na área urbana.

O monitoramento do crescimento urbano torna-se difícil e oneroso, quando realizado com técnicas convencionais de obtenção de dados, tais como: levantamento de campo e levantamentos aerofotogramétricos tradicionais. Desde o lançamento da série de satélites específicos para o monitoramento dos recursos naturais, iniciado em 1972, tem-se, através de suas imagens, uma fundamental ferramenta para a realização de estudos relativos à expansão urbana em função da sistematização na coleta dos dados, à visão sinótica que permite que uma extensa área seja abrangida por uma única cena e ao baixo custo das imagens para os usuários.

Com o avanço das técnicas de interpretação de dados, através da automatização dos processos de tratamento e classificação, uma grande quantidade de informação pode ser gerada de forma sistemática e objetiva. Um dos objetivos do presente trabalho é otimizar o processo de extração automática de áreas urbanas de imagens do satélite LANDSAT, as quais serão utilizadas em estudos relativos à desigualdade social. Com isto pretende-se diminuir a subjetividade associada à interpretação manual de dados de sensoriamento remoto, acelerar o processo de obtenção de informações atualizadas e aumentar significativamente a quantidade de informações geradas.

A aplicação de técnicas de processamento digital de imagens e a possibilidade de associação e integração com dados provenientes de diversas fontes, como os dados censitários, entre outros, vêm sendo amplamente utilizadas para se verificar a expansão urbana. No caso dos municípios de pequeno porte no contexto brasileiro, este avanço se torna especialmente relevante devido à indisponibilidade de dados de cadastro multifinalitário. Deste modo, a aplicação dos métodos aqui propostos pode servir de subsídio para o planejamento urbano, principalmente em áreas de expansão. Segundo Bonduki (2005), as cidades têm condições de planejar seu futuro, reduzir as desigualdades e promover um adequado uso do solo para evitar desastres ambientais, desde que o poder público intensifique a fiscalização da aplicação das leis, para que não se transformem em meras formalidades.

## **2 ÁREA DE ESTUDO**

O estudo foi realizado no município de Bueno Brandão, que está localizado na região sul de Minas Gerais, microrregião da Alta Mantiqueira, conforme o ilustrado na Figura 1.



**Fig. 1 Localização da área de estudo, em Bueno Brandão, MG.**

A área total do município é de 355,23 km<sup>2</sup>. Entretanto, a área de estudo corresponde a um recorte que envolve o perímetro urbano, com a área de 1,49 km<sup>2</sup>. O retângulo envolvente do banco de dados compreende as latitudes de S 22°26'55.32'' e S 22°25'56.27'', e longitudes W 46°21'25.74'' e W 46°20'28.62''.

### 3 MATERIAL

Neste estudo foram utilizadas as imagens de média resolução TM5/Landsat, órbita/ponto 219/76, bandas 3, 4 e 5, adquiridas em 17/06/2000 e 16/08/2007. As imagens do ano de 2000 estão disponíveis no banco de dados da GLCF-NASA (maiores informações em: <http://glcf.umd.edu/data/landsat/>) e foram selecionadas devido à sua qualidade quanto ao georreferenciamento, uma vez que elas foram georreferenciadas e ortorretificadas a fim de comporem a base de dados Geocover da Nasa. As imagens de 2007 foram selecionadas no site da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do INPE (maiores informações em [http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/index\\_pt.php](http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/index_pt.php)) e foram georreferenciadas utilizando-se como referência as imagens de 2000.

Este período foi selecionado devido à disponibilidade de dados do PIB per capita, necessários para se estimar a desigualdade social através do índice Gini.

Para o processamento das imagens orbitais, integração com os demais dados e georreferenciamento das imagens 2007 foi utilizado o software SPRING, versão 5.1.5 (CÂMARA *et al.*, 1996), disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A classificação das imagens por análise orientada a objeto foi realizada no software Definiens, versão 7, no qual foram gerados os mapas temáticos relativos às áreas urbanas das datas estudadas.

A imagem utilizada como referência terrestre foi a do software Google Earth, versão 2009, com data de coleta da imagem de alta resolução Quickbird, em 29/04/2003. Para o registro da mesma foi utilizada a Folha da Carta do Brasil – Munhoz e Ouro Fino (IBGE, 1972).

O levantamento de pontos, para auxílio na validação das imagens classificadas, foi realizado com o auxílio do GPS ETREX – GARMIN, versão 2.09.

## 4 MÉTODOS

### 4.1. Mapeamento das áreas urbanas

A abordagem orientada a objeto vem se mostrando melhor em muitas aplicações. No estudo desenvolvido por Lee e Warner (2006), referente à comparação entre a classificação orientada a objeto com a pixel a pixel, a vantagem da primeira foi significativa por combinar informação espacial e espectral, pois tem início com o processo de segmentação no qual os objetos são criados utilizando-se de variáveis espectrais e espaciais.

A classificação orientada a objeto consiste no agrupamento de pixels a partir da segmentação da imagem. A segmentação é o passo preliminar que divide a imagem em objetos homogêneos e contíguos. A acurácia da segmentação afeta diretamente o desempenho da classificação. Inicialmente foi definida uma legenda de cobertura e uso a terra com base no conhecimento da área de estudo e nos objetivos da classificação, sendo determinadas as classes: *urbana*, *solo exposto*, *vegetação*, *outras*.

Como uma etapa inicial foi criado e inserido o NDVI como um atributo no software Definiens para que a classe de vegetação fosse feita com melhor definição, resultando em uma maior separabilidade desta em relação às áreas urbanas. A utilização do NDVI é importante, entre outros usos, para determinar a presença/ausência de vegetação em diversos estágios de vigor e crescimento/densidade. Dessa forma, a utilização deste atributo se mostra como de grande importância para a separabilidade entre as áreas urbanas e não-urbanas nas imagens LANDSAT, principalmente para aquelas que foram obtidas em períodos mais chuvosos, quando a vegetação é mais exuberante.

Os valores de NDVI foram obtidos a partir da razão da diferença dos níveis de cinza de cada pixel nas bandas 4 (infravermelho próximo) e 3 (visível) da imagem LANDSAT pela soma das mesmas, conforme Equação (1).

$$\text{NDVI} = \frac{\text{B4} - \text{B3}}{\text{B4} + \text{B3}} \quad (1)$$

Em seguida as imagens TM5 foram segmentadas utilizando-se dos parâmetros de escala (5), forma (0,1) e cor (0,9), definidos com base nas características espaciais dos dados e dos alvos a serem identificados e em trabalho desenvolvido por Alves *et al.* (2009). Na etapa posterior à segmentação foram determinados os atributos de forma, cor, textura e contexto que, isoladamente ou em conjunto, melhor caracterizaram as classes de interesse. Para a seleção de atributos houve a espacialização em forma de imagem de níveis de cinza daqueles que apresentaram melhores resultados na discriminação das classes. Os atributos selecionados para cada classe podem ser vistos na Tabela 1.

**Tabela 1 Atributos selecionados para as classes de interesse.**

Classes	Atributos	Tipo de Atributo
urbana	Média da banda 3 Homogeneidade contexto	Espectral Textura relacional
Solo exposto	Média da banda 3 homogeneidade	Espectral textura
vegetação	NDVI	espectral
outras	Não-classificado	relacional

Como se observa na Tabela 1, para a classe *urbana*, de interesse deste trabalho, foi utilizado, além do nível de cinza na banda 3, o atributo homogeneidade de textura. Este atributo textural foi selecionado para contribuir com a separabilidade entre as classes *urbana* e *solo exposto*, devido à confusão que ocorre entre as mesmas. Dentre os atributos de textura disponíveis foi selecionada a feição homogeneidade, já que áreas urbanizadas apresentam-se com um padrão rugoso em relação às áreas com solo exposto neste tipo de imagem. Para a classe urbana, também foi utilizado um atributo de contexto caracterizado pela dependência da existência desta classe nas diferentes datas, devido ao caráter multitemporal desta análise.

Foram selecionadas amostras e assim puderam ser obtidas as funções fuzzy de pertinência dos atributos descritores de cada classe. Em seguida foi executada a classificação automática e, o produto obtido a partir da mesma, o mapa temático, foi inserido em um banco de dados criado no SPRING 5.1.5 (CÂMARA *et al.*, 1996). Como etapa final do processo de classificação das imagens TM5-Landsat, foi realizada a edição matricial do mapa, obtido da classificação automática no Definiens, a fim de reduzir os erros deste produto, configurando o aspecto híbrido da classificação, conforme proposto por Durand *et al.* (2007).

A avaliação dos mapeamentos se deu a partir da comparação com o mapa obtido por meio de interpretação visual sobre a imagem de alta resolução do Google Earth, além dos pontos obtidos *in loco* por meio de um GPS de navegação. Esta imagem foi georreferenciada com pontos de controle sobre a carta do IBGE (1972). Inicialmente realizou-se uma análise qualitativa das classificações obtidas. O mapeamento final foi avaliado quantitativamente por meio do índice Kappa.

O cálculo do índice é feito a partir do uso de uma matriz de confusão que associa as ocorrências de acertos e erros da imagem classificada em relação à referência terrestre. A partir da adaptação de Congalton e Green (1998), a estimativa da precisão foi feita a partir a Equação (2).

$$K = \frac{t \sum_{i=1}^n x_{ii} - \sum_{i=1}^n x_{in+1} x_{n+1i}}{t^2 - \sum_{i=1}^n x_{in+1} x_{n+1i}} \quad (2)$$

Onde:

t : número total de amostras da matriz de confusão;

n : número total de classes;

$x_{ii}$  : elementos da diagonal principal da matriz de confusão;

$x_{in+1}$  : total de elementos para cada linha das classes da imagem classificada;  
 $x_{n+1i}$  : total de elementos para cada coluna das classes da imagem de referência.

#### 4.2 Índice Gini e análise dos dados

A área da geo-classe urbana referente à imagem de 2000 foi subtraída da referente à imagem de 2007, obtendo-se a área de expansão urbana para o respectivo período. Este procedimento foi realizado para o cálculo do índice Gini.

A partir do cálculo do índice de Gini, foi possível estimar o nível de desigualdade social com a expansão urbana no município de Bueno Brandão, no período de 2000 a 2007. O valor do índice de Gini varia entre 0 (zero), quando a distribuição é uniforme, e 1 (100%), quando um só dos elementos, grupos ou classes detém o total dos valores e os outros são todos iguais a zero (ALI, 2008). Quando a distribuição é uniforme, os valores da curva de Lorenz tendem a ser iguais à média e coincidir com a diagonal de referência.

No cálculo de Gini, manteve-se a taxa de expansão para cada ano do período de estudo constante. A Equação (3) foi utilizada para o cálculo de Gini (Adaptação de ALI, 2008).

$$G = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - y_i)}{\sum_{i=1}^{n-1} x_i \times 100} \quad (3)$$

Onde:

n : número total de elementos;  
 $x_i$  : parâmetro das abcissas;  
 $y_i$  : parâmetro das ordenadas.

Entre os diversos relatórios e conjuntos de dados disponibilizados pelo IBGE, ocorre divergência entre os valores do PIB *per capita* da população de Bueno Brandão. Deste modo, os valores adotados foram os mais recentes disponibilizados pelo órgão, de acordo com o descrito na Tabela 2.

**Tabela 2 Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* de Bueno Brandão, MG.**

Ano	PIB <i>per capita</i> (R\$)
2000	3.240,00
2001	3.065,00
2002	3.241,00
2003	3.719,00
2004	4.290,00
2005	4.630,00
2006	4.885,00
2007	5.092,00

Fonte: IBGE (2010)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A qualidade do mapeamento das áreas urbanas a partir das imagens de média resolução foi fundamental para a análise da evolução da ocupação urbana no município estudado. Uma das vantagens da análise de imagens orientada a objeto, segundo Chubey et al. (2006), é a multiplicidade de informações adicionais que podem ser derivadas de uma imagem-objeto em relação àquelas disponíveis em pixels individuais. Somando-se à informação suas características espectrais tem-se a informação baseada no tamanho do objeto, forma e contexto que podem ser calculadas como pertencentes a um subobjeto ou superobjeto, em uma hierarquia de multiníveis (DEFINIENS, 2006).

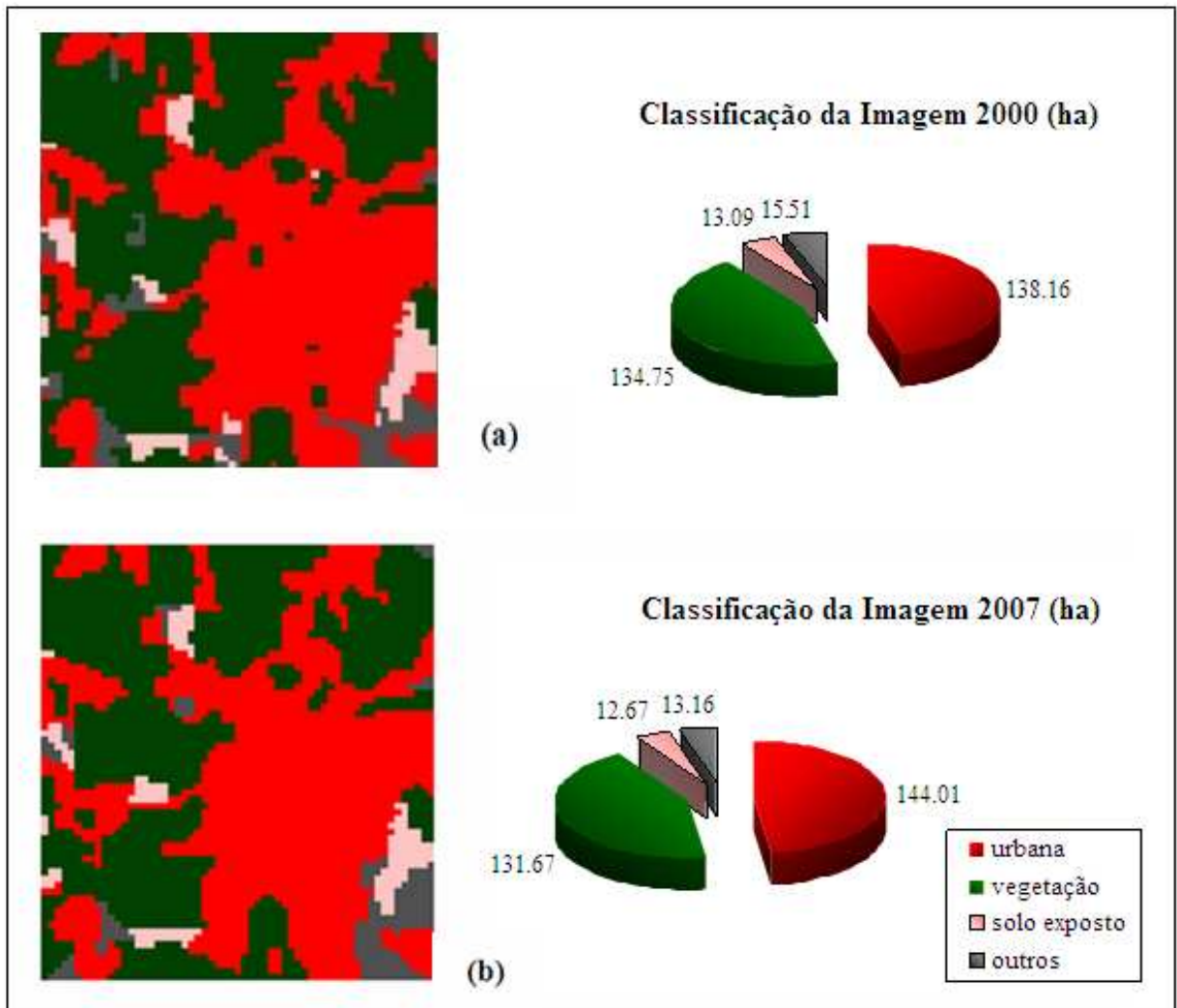
Para que as imagens classificadas pudessem ser validadas foi calculado o índice Kappa, obtendo-se os valores de 0,72 para o mapeamento relativo ao ano 2000 e 0,86 para o de 2007. A fim de verificar se os valores obtidos tinham um nível de qualidade aceitável, utilizaram-se dos parâmetros listados na Tabela 3 (CONGALTON E GREEN, 1998).

**Tabela 3 Nível de aceitação para validação da classificação das imagens**

Coeficiente Kappa	Característica da estimativa
$K < 0,4$	Pobre
$0,4 < K < 0,8$	Aceitável
$K > 0,8$	Excelente

Observando-se a Tabela 3, pode-se concluir que os valores obtidos para ambas as classificações podem ser considerados como aceitável e excelente para os anos de 2000 e 2007.

Os mapeamentos temáticos obtidos por meio das classificações das imagens podem ser observados na Figura 2, assim como as respectivas áreas das classes mapeadas.

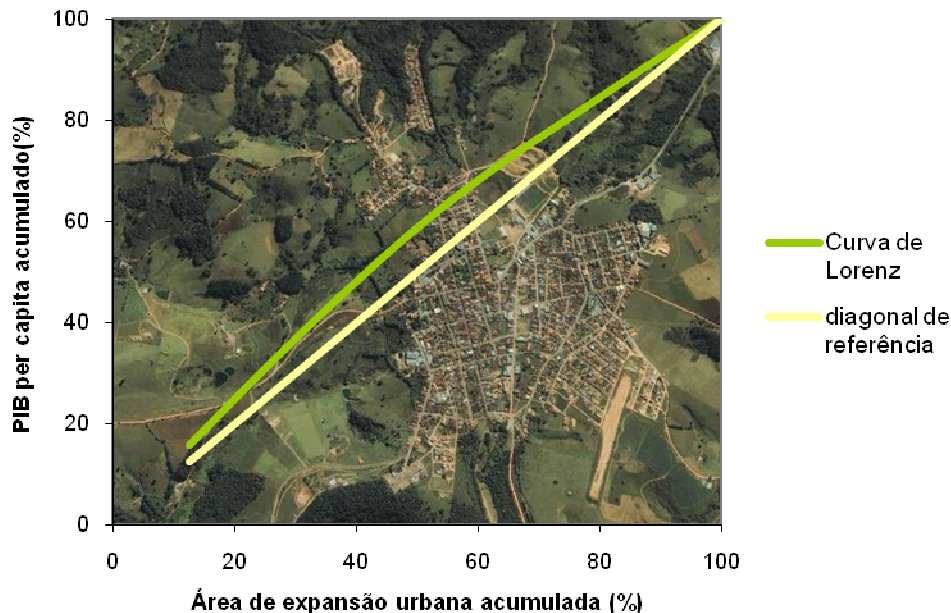


**Fig. 2** Classificação obtida por análise orientada a objeto sobre as imagens TM5 de 2000(a) e 2007 (b) e áreas classificadas.



Observa-se que a área urbana, em vermelho, sofreu um ligeiro aumento entre as datas estudadas, como era esperado, de acordo com os dados populacionais do IBGE. A área de vegetação, em verde, sofreu um decréscimo no mesmo período.

A partir da taxa de expansão urbana calculada para o período de estudo foi calculado o índice Gini em função do PIB *per capita* para o município de Bueno Brandão. Foi obtida a curva de Lorenz correspondente, como se observa na Figura 3.



**Fig 3 Curva de Lorenz da distribuição do PIB *per capita* em função da expansão rural de Bueno Brandão, MG (2000-2007).**

Fonte: Fotografia disponibilizada pelo Google Earth (2009)

O pequeno afastamento da curva de Lorenz em relação à diagonal de referência indica que há desigualdade social no período estudado para a variável considerada. Entretanto, como a área de concentração entre a curva e a diagonal de referência é pequena, verifica-se a pequena desigualdade social em função do crescimento da área urbana. O índice de Gini calculado é condizente com o aspecto da curva, e corresponde a 0,1055. Ou seja, como é um valor próximo de 0 (zero), indica uma baixa variabilidade e mutabilidade estatística da variável analisada.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem orientada a objeto adotada na metodologia de classificação das imagens apresentou um ganho na qualidade do mapa temático gerado no que diz respeito à definição dos alvos, embora a imagem fosse de baixa resolução. Ainda assim, foi necessária a realização de trabalho *in loco* para a validação do mapa temático classificado.

O cálculo do índice de Gini demonstrou a variabilidade estatística que se desejava estimar no estudo. Ou seja, através do mesmo, foi possível observar a distribuição da variável PIB *per capita* em função do percentual de expansão urbana no período do estudo de modo relevante, principalmente para os estudos de planejamento urbano.

Concluiu-se que o objetivo inicial de se estimar a desigualdade social em função da expansão urbana foi concretizado, tornando possível a utilização desta abordagem para subsidiar de modo menos oneroso o planejamento e desenvolvimento urbano e social, principalmente em municípios de pequeno porte.

## 7 REFERÊNCIAS

Ali, R. S. (2008) **Níveis e tendências da desigualdade econômica e do desenvolvimento humano em Moçambique: 1996-2006**. Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Economia, Moçambique.

Alves, C. D., Pereira, M. N., Florenzano, T. G., Souza, I. M. (2009) **Análise orientada a objeto no mapeamento de áreas urbanas com imagens Landsat**. Boletim de Ciências Geodésicas – v.15, nº 1, 120-141, jan./mar. 2009. Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas. <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/bcg/article/view/13904/9359> ISSN 1413-4853 ISSN 1982-2170 (on line)

Bonduki, N.(2005) **Sem erros do Passado**. Folha de São Paulo, São Paulo. 28 abr. 2005

Câmara, G.; Casanova, M. A.; Hermerly, A. S.; Magalhães, G. C.; Medeiros, C. M. B. (1996) **Anatomia de sistemas de informações geográficas**. São José dos Campos: INPE, 205 p. (INPE-8094-RPQ/716). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/sergio/2004/10.07.13.36>>.

Chubey, M. S.; Franklin, S. E.; Wulder, M. A.(1996) **Object-based analysis of Ikonos-2 imagery for extraction of forest inventory parameters**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 72, n. 4, p. 383-394.

Congalton, R. G. e Green, K. (1998) **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**, Lewis Publishers, New York. 137p.

Definiens, (2006) **eCognition: User Guide 5**, Disponível em: <[http://www.definiens.com/services/faq/Definiens\\_Professional5\\_InstallationGuide.pdf](http://www.definiens.com/services/faq/Definiens_Professional5_InstallationGuide.pdf)>.

Durand, C.; Souza, I. M., Pereira, M.N. (2007) **Análise Orientada a Objeto para a Extração Automática de Áreas Urbanizadas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE



SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5187-5189. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.20.16.57>>.

Forattini, O. P. (1991) Qualidade de vida e meio urbano. A cidade de São Paulo, Brasil. **Revista Saúde Pública**, v. 25, n. 2, p. 75-86.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1972) **Folha da Carta do Brasil – Munhoz e Ouro Fino**, IBGE, São Paulo.

\_\_\_\_\_. (2010). **Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/mapasite/estatistica.html>>.

Lee, J. Y.; Warner, T. (2006) A Segment Based Image Classification. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, n..15 -16, p.3403-3412.

Maktav, D.; Erbek, F. S.; Jürgens, C. (2005) Remote Sensing of Urban Areas. **International Journal of Remote Sensing**, v.26, n..4, P.655-659.

Ministério da Saúde (1996) **Promoção da Saúde: Cartas de Otawa, Adelaide, Sundsvalle e Santa Fé de Bogotá**. MS/IEC, Brasília.