

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 km². Entretanto, a área de estudo corresponde a um recorte que envolve o perímetro urbano, com a área de 1,49 km². 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) 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.

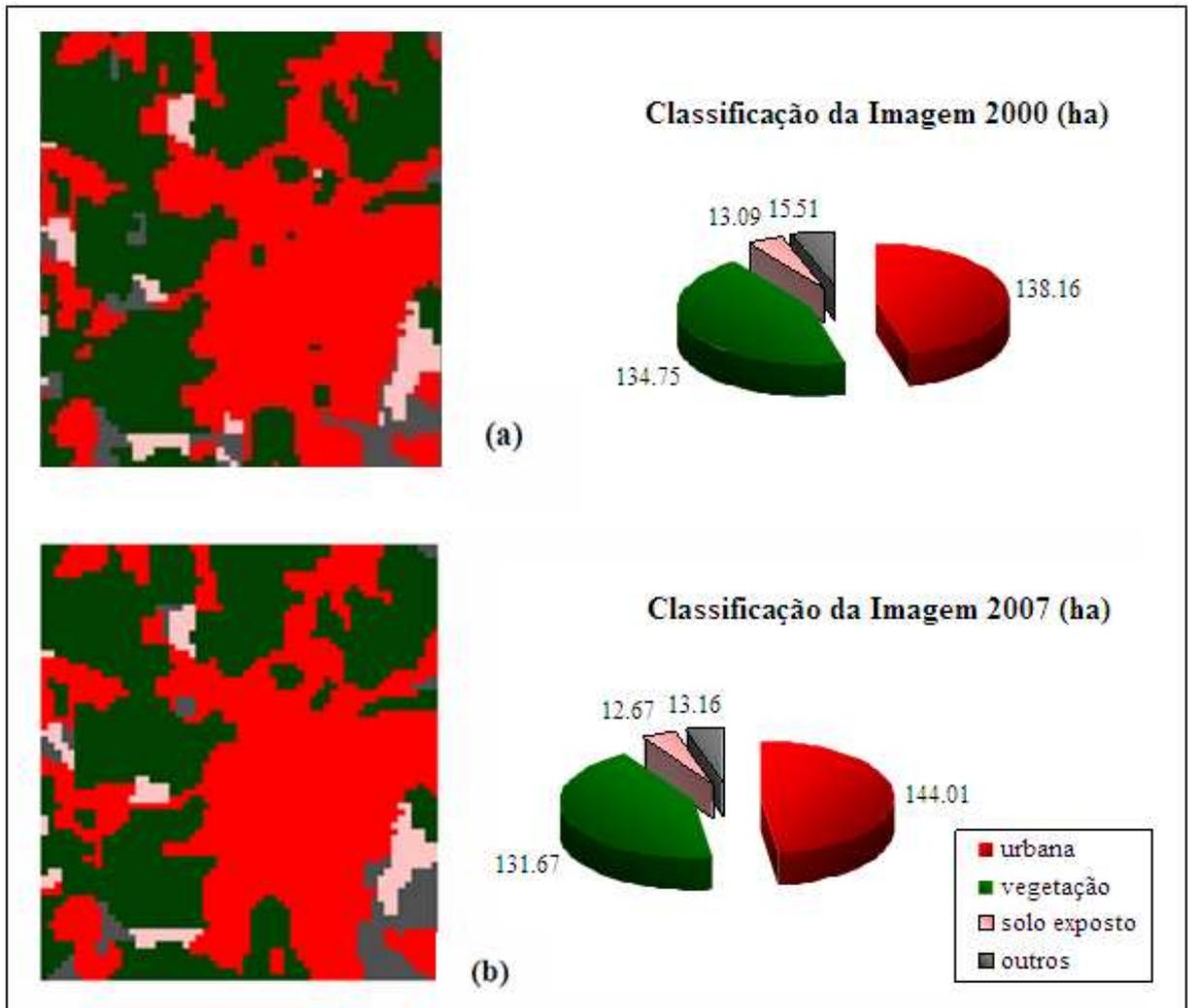


Fig. 2 Classificação obtida por análise orientada a objeto sobre as imagens TM5 de 2000(a) e 2007 (b) e áreas classificadas.

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.

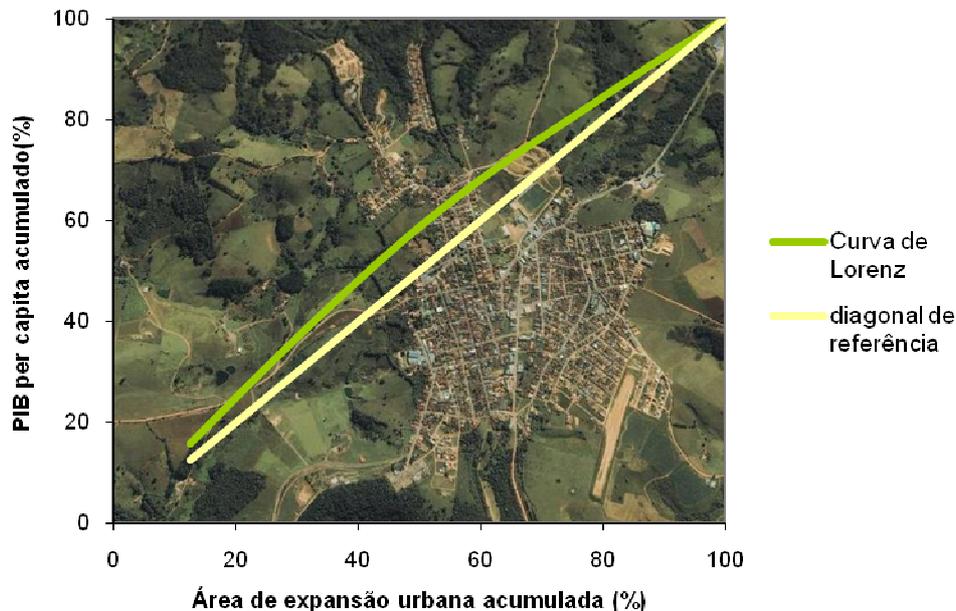


Fig 3 Curva de Lorenz da distribuição do PIB *per capita* em função da expansão rural de Bueno Brandão, MG (2000-2007).

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>.

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.