O uso de geotecnologias na caracterização da ocupação na bacia do Reservatório Guarapiranga - São Paulo

Aline Salim
Ailton Luchiari

Universidade de São Paulo - FFLCH/DG
Caixa Postal 72042 - CEP 05508-900 - São Paulo/SP, Brasil
{alinesalim, aluchiar}@usp.br

Abstract. Geo-technologies are commonly used to acquire detailed information of land cover from the urban space. In this context, the objective of this study is to propose methodology for the generation of information from the occupation at the urban peripheries, defining procedures for the analysis of urban areas, to obtain information of the characteristics of this occupation, from high resolution satellite images. The area under study was the district Jardim São Luis, located at the Guarapiranga Reservoir basin, an important water supplier for the São Paulo Metropolitan Region (RMSP). The methodology applied is based on three main steps: 1- Classification of IKONOS imagery, obtained in 2012, pan-sharpened, using software ENVI EX and Object-Based Image Analysis (OBIA) methods and techniques resulting 9 cover classes: asphalt, vegetation cover, shadow, different types of roofs (light, dark and ceramic), water and exposed fields. In this step were applied image segmentation, customized new attributes and defined classification rules. 2- Choice of variables about population characteristics and households in the 2010 Census. 3- Calculating bivariate correlation between results of land cover and population variables. The results were presented and the methodology proposed is very promising to be used to update information of the urban space and land management and consequently to improve the quality of life from the population.

Palavras-chave: remote sensing, land cover, Object-based Image Analysis (OBIA), demographic census sensoriamento remoto, cobertura da terra, análise de imagem baseada em objeto, censo demográfico.

1. Introdução

A bacia hidrográfica do Reservatório Guarapiranga localizada na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), responde por 20% do abastecimento público dessa região. Desde 1975, toda a área de drenagem deste manancial está inserida em Área de Proteção de Mananciais, por efeito de legislação estadual. Mesmo existindo regras para a ocupação residencial, as mesmas não impediram sua ocupação, principalmente pela população de baixa renda, deslocada para a periferia dos centros urbanos e destinada às áreas impróprias para habitação, em ocupações irregulares e sem infraestrutura.

Na busca da caracterização da ocupação da bacia, o sensoriamento remoto apresenta-se como uma maneira eficiente para obtenção de informações da cobertura da terra com um nível e detalhamento adequado aos estudos urbanos, juntamente com a constante evolução da resolução espacial e espectral dos satélites e pelo desenvolvimento de novos métodos automáticos para a extração de informação de imagens.

Essa pesquisa buscará a identificação dos padrões de ocupação urbana do território da bacia por meio de dados de cobertura da terra (dados orbitais) e socioeconômicos (censo demográfico), verificando a correlação entre as duas fontes de dados e o potencial de sua utilização para caracterizar a ocupação do manancial.

2. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na bacia do Reservatório Guarapiranga à sudoeste da RMSP, com uma área de drenagem de 638 km² distribuída nos municípios: Cotia, Juquitiba, Embu, São Lourenço da Serra, São Paulo, Itapecerica da Serra e Embu-Guaçu, conforme figura 1.

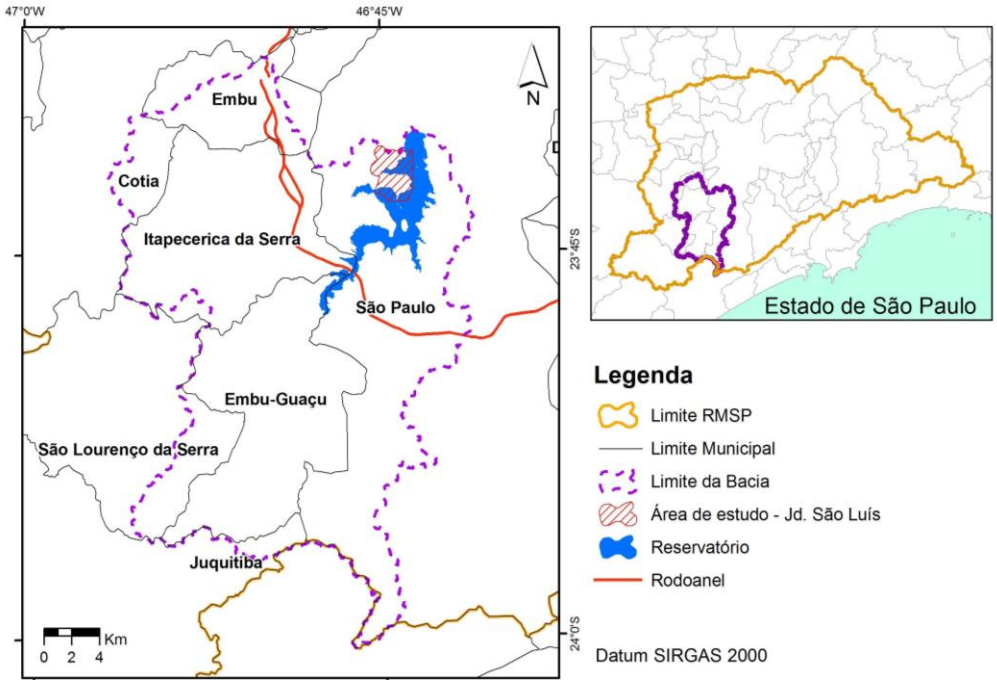

Figura 1 - Localização da Bacia do Guarapiranga.

O estudo foi realizado no distrito Jardim São Luís com uma área total de 9,5 km^2, localizado na zona Sul do Município de São Paulo, na porção do distrito contida na bacia do reservatório Guarapiranga.

3. Metodologia de trabalho

3.1 Materiais

Para realização desse trabalho foram utilizados:

• Imagens do satélite IKONOS do ano de 2012, ortorretificadas e fusionadas, com resolução espacial de 1m, 4 bandas (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo).

• ENVI EX: programa de extração de feições utilizado para a análise baseada em objetos.

• ArcGIS 9.3: Sistema de Informações Geográficas utilizado na elaboração dos mapas temáticos, sobreposição das informações e análise espacial.

• SPSS versão 17.0: programa de estatística para cálculo da correlação (*bivariete correlation*) entre as variáveis do censo 2010 e do resultado da classificação da imagem de satélite.

• Malha de setor censitário de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com 34 setores censitários urbanos escolhidos e tabelas com as variáveis demográficas dos resultados do universo do Censo Demográfico de 2010.

3.2 Métodos

A Figura 2 apresenta o esquema das etapas que serão descritas a seguir. Primeiramente foi realizada a classificação baseada em objetos da imagem, gerando um mapa de cobertura da terra da área de estudo. Posteriormente foram selecionadas as variáveis do censo do IBGE para que, ao final, fosse calculada a medida de correlação entre os dados de cobertura e os dados socioeconômicos.

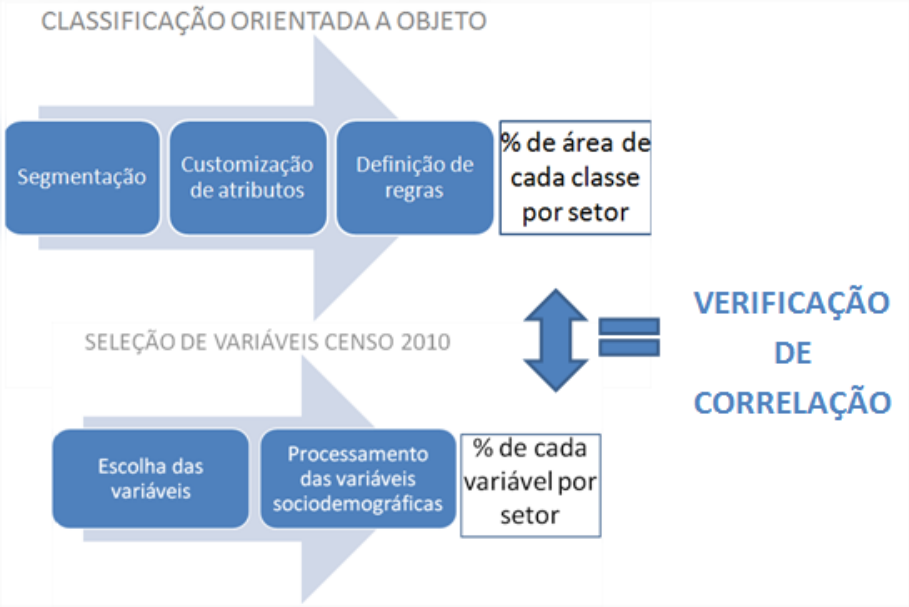

Figura 2 - Esquema do método aplicado.

3.2.1 Classificação baseada em objetos

A classificação baseada em objetos vem ganhando cada vez mais espaço nos mapeamentos de áreas urbanas, utilizando imagens de alta resolução espacial. Isso porque essa técnica considera além da informação espectral, informações geométricas, espaciais, texturais e de contexto, e por meio de técnicas de segmentação trata os alvos das imagens como objetos e não somente como pixels isolados.

Para Navulur (2006) as vantagens da abordagem baseada em objetos é que a técnica aproveita todas as dimensões do sensoriamento remoto: espectral, espacial, morfológica, contextual e temporal, e ainda as funcionalidades do SIG.

Nesse mesmo sentido, Blaschke (2010) ressalta a eficácia da aplicação dessa técnica em imagens que possuem outras características relevantes, como: forma, textura e contexto, além de espectrais.

Ainda, esse tipo de classificação busca automatizar o conhecimento utilizado pelo analista durante uma interpretação visual. Por exemplo, em áreas urbanas onde as classes são semelhantes espectralmente (cor), o analista distinguiria os alvos urbanos facilmente a partir dos elementos de fotointerpretação, como cor, textura, tamanho, forma, padrão, localização e contexto.

O método de classificação automática realizado nessa pesquisa consistiu em 3 (três) principais etapas: segmentação, customização de atributos e definição de regras.

3.2.1.1 Segmentação

A segmentação consiste em um processo de separação da imagem em segmentos que agrupam pixels com valores similares (de brilho, textura, cor, etc.). O objetivo dessa segmentação é que cada segmento respeite e represente o contorno da feição no "mundo real".

Com o programa ENVI EX foram realizados diversos testes na imagem IKONOS para verificar os parâmetros de segmentação mais adequados para os alvos ou classes de interesse: asfalto, vegetação herbácea e arbórea, água, sombra, solo exposto e telhados claro, escuro e de cerâmica. Esse programa possui um algoritmo para realizar essa segmentação e o parâmetro escolhido para a segmentação foi de 35 de "*scale*" e 35 de "*merge*".

Cada objeto resultante da segmentação representa um alvo do mundo real com características individuais. Um conjunto de regras permite que os objetos com características comuns sejam agrupados em classes definidas pelo usuário.

3.2.1.2 Customização de atributos

As regras são construídas para cada classe utilizando um ou mais atributos e seus limiares. Assim, por exemplo, podemos construir uma regra para a classe vegetação onde todos os segmentos/objetos que possuírem valor de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (atributo) maior que 0,3 (limiar) serão classificados como vegetação.

Por isso, além dos 22 atributos presentes no programa ENVI EX, tanto espectrais, espaciais e de textura, foram customizados mais 25 atributos por meio de razão de bandas (por exemplo, razão da banda 3 sobre a banda 1), utilização de arquivos vetoriais (base de ruas), análise de principais componentes (*Principal Components Analysis* - PCA), indicador de solo e de sombra e geração de HSI (*Hue* = matiz, *Saturation* = saturação e *Intensity* = intensidade).

Os indicadores de solo e sombra foram implementados por Nobrega et al. (2006). O cálculo da razão de bandas teve como objetivo realçar as diferenças espectrais de um par de bandas, onde o resultado é um raster em que os extremos, branco ou preto da distribuição de níveis de cinza, representam as maiores diferenças de reflectância entre as duas bandas.

3.2.1.3 Construção das regras

Nessa etapa, para cada classe foram analisados os melhores atributos e seus limiares para que fosse possível diferenciar a feição e classificá-la automaticamente na classe correta. Após a constatação das características de cada classe e análise de estudos similares, são apresentadas os atributos escolhidos:

Água: média da razão da banda 1 (azul) e da banda 2 (verde), valores baixos de NDVI e a média da razão da banda vermelho com a azul (3/1).

Sombra: média da banda do infravermelho próximo, indicador de sombra (NOBREGA et al.; 2006), a média da razão da banda do verde com a banda do azul (2/1) e a média da banda 1 (azul).

Asfalto: NDVI, a componente principal 1 (PCA1) e a sobreposição do raster de base de ruas.

Telhado escuro: NDVI, a média e o mínimo da banda do azul, o indicador de solo, a PCA1 e a não sobreposição do segmento ao raster da base de ruas.

Telhado claro: mínimo da banda do azul e média do PCA1.

Herbácea e Arbórea/arbustiva: para ambos o atributo de NDVI e a média da banda do verde, com limiares diferenciados.

Telhado cerâmica: média da razão da banda do vermelho com a banda do azul (3/1), PCA3 e NDVI (atributo *band ratio* do ENVI EX).

Devido a pequena quantidade de solo exposto na área de estudo, optou-se por classificar toda a área como telhado cerâmica e posteriormente corrigir manualmente os segmentos de solo exposto (terrenos ou ruas), garantindo a qualidade da classificação e a posterior medição da correlação com os dados do Censo.

Após concluída a verificação visual da qualidade da classificação, com a ferramenta "*Tabulate Area*" do programa ArcGIS foi calculada a porcentagem de cobertura de sombra, asfalto, telhados (escuro, claro e de cerâmica), vegetação (arbórea/arbustiva e herbácea), água e solo exposto para cada setor censitário e realizada a edição e estruturação desse resultado em uma planilha.

3.2.2 Seleção e processamento das variáveis sociodemográficas

Foram escolhidas as seguintes variáveis do censo de 2010 (IBGE, 2011):

- Número de domicílios particulares permanentes.
- População e média do número de moradores em domicílios.
- Domicílios com abastecimento de água por rede geral ou poço.

• Domicílios com sanitário e esgotamento sanitário via rede geral, fossa séptica, fossa rudimentar, vala ou escoado diretamente para um corpo d'água.

• Número de banheiros nos domicílios.

• Domicílios com lixo coletado por serviço de limpeza ou colocado em caçamba de serviço de limpeza.

• Domicílios com energia elétrica, com ou sem medidor para registro do consumo.

• Pessoas alfabetizadas com 5 ou mais anos de idade.

• Rendimento nominal e rendimento total do domicílio.

Com o programa ArcGIS foi calculada a área de cada um dos 34 setores censitários, previamente editados com os conceitos da cartografia dasimétrica, que juntamente com a variável do Censo de população em domicílios, resultou na densidade demográfica de cada setor.

Essas variáveis escolhidas do Censo de 2010 foram processadas e organizadas em uma planilha.

3.2.3 Verificação de Correlação

A planilha completa com a porcentagem de cada classe de cobertura da terra (item 3.2.1) e os dados processados das variáveis demográficas (item 3.2.2) foram inseridas no programa SPSS, para o cálculo da correlação entre todas as variáveis da planilha, ou seja, as classes de cobertura da terra (provenientes da classificação da imagem) com as características socioeconômicas de população (provenientes do Censo), dos 34 setores censitários.

A correlação entre X e Y pode ser classificada quanto a sua força e sentido. A força da correlação aumenta à medida que os pontos, em um diagrama de dispersão, se agrupam em uma linha reta imaginária. Quanto ao sentido, pode ser classificada em positiva, quando a variável X e Y possuem reciprocamente escores altos ou baixos (mais próximos de 1 ou -1, respectivamente) ou negativa, quando, por exemplo, a variável X possui escore alto (mais próximo de 1) e a variável Y possui escore baixo (mais próximo de -1) (LEVIN, 1987).

4. Resultados e Discussão

A classificação da imagem do satélite IKONOS utilizando a metodologia de classificação baseada em objetos mostrou-se muito eficiente. Os atributos customizados descritos no item 3.2.1.2, foram muito utilizados nas regras. Como por exemplo, os componentes principais, foram utilizados nas regras de telhado claro, escuro, de cerâmica e na classe asfalto.

A inserção do arquivo de sistema viário na classificação solucionou a confusão tão comum do asfalto com a classe telhado escuro/cimento amianto. Pinho et al. (2005), Kux et al. (2009) e Ribeiro (2010) também utilizaram a base de ruas para diminuir a confusão na classificação e segmentação entre as classes pavimentação e concreto/amianto escuro.

Referente ao resultado da classificação, podemos afirmar que as classes sombra, arbórea/arbustiva e herbácea, cimento amianto e asfalto tiveram ótimos resultados na análise visual da imagem comparada com a classificação gerada. Maiores informações dos resultados podem ser obtidas em Salim (2013).

O mapa de cobertura da terra, produzido a partir da classificação baseada em objetos da imagem IKONOS, é apresentado na figura 3.

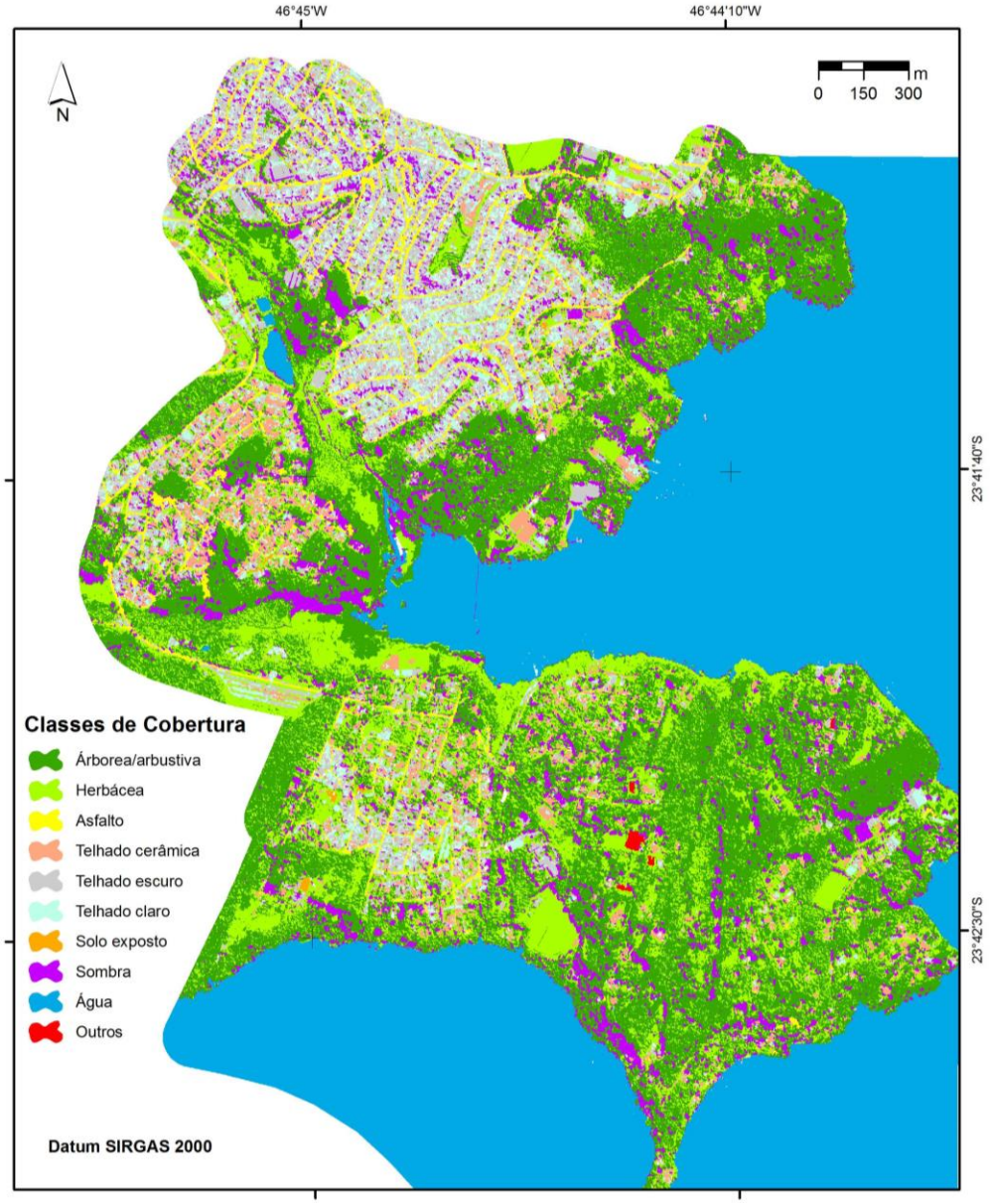

Figura 3: Classificação da cobertura da terra da área de estudo.

Quanto a utilização do Censo 2010, o uso de técnicas de dasimetria e a edição dos limites de alguns setores refinou a informação de densidade demográfica.

O coeficiente de correlação utilizado foi o de Pearson, onde a correlação é a medida da associação linear entre duas variáveis (X, Y) que resulta em um coeficiente de correlação de -1 a 1, que descreve a relação entre as variáveis.

As classes utilizadas no cálculo da correlação foram: sombra, telhado amianto, telhado cerâmica, telhado claro (laje e telhado brilhante), e cobertura herbácea e arbórea/arbustiva.

Foi apresentada correlação negativa entre a classe telhado escuro e as variáveis de renda mensal do domicílio (escore: -0,828) e a renda do responsável pelo domicílio (escore: -0,816), demonstrando que nos setores a renda dos domicílios diminui com o aumento da quantidade de telhados escuros, ou seja, telhados de cimento amianto, cujo custo é um dos menores no mercado para a cobertura de residências.

A comparação do custo de diferentes tipos de telhados e estruturas foi realizado por Lee (2000), que constatou que o telhado mais utilizado e de menor custo é o de cimento amianto, porém em sua composição existem fibras com potencial cancerígeno.

A lei nº 12.684/2007 proibiu o uso, no Estado de São Paulo, de produtos, de materiais ou artefatos que contenham quaisquer tipos de amianto ou asbesto ou outros minerais que, acidentalmente, tenham fibras de amianto em sua composição.

Quanto ao telhado de cerâmica, no geral sua implantação é mais cara, porque as telhas exigem uma estrutura mais robusta e mão de obra para montagem da estrutura e colocação.

As correlações da classe telhado de cerâmica também corroboram essa relação com a renda. Foi apresentada correlação positiva do telhado de cerâmica com a renda dos domicílios (escore: 0,720). A classe de cobertura herbácea também apresentou correlação positiva com a variável de renda do responsável pelo domicílio (escore: 0,771) e com a renda do domicílio particular permanente (escore: 0,745), onde setores que possuem grandes quantidades de áreas gramadas possuem maior renda.

O mesmo ocorreu com a classe de cobertura arbórea/arbustiva que apresentou correlação positiva com a variável de renda do responsável pelo domicílio (escore: 0,848) e com a renda do domicílio (escore: 0,821), onde setores que possuem grandes quantidades de áreas arborizadas possuem maior renda.

Luchiari (2001) por meio de produtos de sensoriamento remoto e de um SIG identificou a cobertura vegetal no setor norte do município de Campinas. Seus resultados demonstram um estreito relacionamento entre densidade de cobertura vegetal e a renda familiar da população residente. Apesar de raras exceções, existe uma associação entre qualidade de vida, nível socioeconômico, nível de renda da população presente no ambiente urbano e a cobertura vegetal do local em que elas residem (LUCHIARI, 2001).

Uma das características da área de estudo é a presença de fossas sépticas e fossas e negras, devido principalmente a inexistência de rede coletora de esgoto, ocasionando a busca de alternativas autônomas para o saneamento. Nesse sentido, houve correlação positiva da presença de fossa séptica com a classe telhado de cerâmica (escore: 0,818) e correlação entre de fossas rudimentares e a classe arbórea/arbustiva (escore: 0,8), localizadas principalmente em bairros de chácaras/casas de veraneio.

A última variável do Censo que apresentou correlação com as classes de cobertura da terra foi a de número de banheiros por domicílio. Os setores que possuíam maior quantidade de domicílios com 1 banheiro apresentaram correlação positiva com a classe telhado amianto (escore: 0,827) e correlação negativa com as classes telhado cerâmica (escore: -0,748), cobertura herbácea (escore: -0,770) e cobertura arbórea/arbustiva (escore: -0,765).

Para a variável de 3 banheiros por domicílio, o sentido da correlação foi invertido, apresentando correlação negativa com a classe telhado amianto (escore: -0,849) e correlação positiva com as classes telhado cerâmica (escore: 0,732), cobertura herbácea (escore: 0,763) e cobertura arbórea/arbustiva (escore: 0,819).

Verificamos dessa forma que o número de banheiros por domicílio é menor em setores que apresentam maior quantidade de telhados escuros. Nos setores que possuem maior quantidade de cobertura vegetal e telhados de cerâmica, o número de banheiros por domicílio é maior.

5. Conclusões

Dos resultados apresentados, as correlações significativas entre as classes de cobertura da terra, telhados escuro e de cerâmica e vegetação, com as variáveis do censo, bem como sua utilização como indicador carecem de novas pesquisas.

Os produtos de sensoriamento remoto aparecem como uma importante fonte complementar de dados. Por exemplo, a classe de cobertura de vegetação comumente é utilizada como indicador de qualidade de vida e qualidade ambiental, no entanto, não é comum a utilização das classes de cobertura de telhado na construção de indicador social da população.

Na busca de contribuir para suprir as lacunas existentes, investigou-se formas diferenciadas de trabalhar com os dados, extraindo novos tipos de informações. Almeja-se que essa metodologia subsidie o planejamento e o direcionamento de políticas públicas mais eficientes, garantindo uma vida mais digna para os moradores da bacia e a preservação e proteção do manancial.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao projeto Temático AcquaSED da FAPESP pelas imagens do satélite IKONOS.

Referências Bibliográficas

BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.65, n. 1, p. 2-16, jan, 2010.

IBGE. **Censo Demográfico 2010 – Resultados Preliminares do Universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

KUX, H. J. H.; NOVACK, T.; FONSECA, L. M. G. Mapeamento de favelas usando classificação orientada a objeto – estudo de caso em Paraisópolis, São Paulo (SP). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 715-721.

LEE, A. **O custo das alternativas de substituição do telhado de cimento amianto**. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. 12p. Disponível em: <http://www.crisotilabrasil.org.br/site/pesquisas /_pdf/O%20Custo%20das%20Alternativas.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2011.

LEVIN, J. **Estatística Aplicada a Ciências Humanas**. Tradução Sérgio Francisco Costa. 2 ed. São Paulo: Harbra, 1987. 392 p.

LUCHIARI, A. Identificação da Cobertura Vegetal em Áreas Urbanas por meio de Produtos de Sensoriamento Remoto e de um Sistema de informação Geográfica. **Revista de Departamento de Geografia**, n.14, p.47-58. 2001.

NAVULUR, K. **Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm**. CRC Press, Boca Raton, FL, 2007. 165 p.

NOBREGA, R. A. A.; O'HARA, C. G.; OLSON, G.; KIM, S.; VIJAYARAJ, V.; QUINTANILHA, J. A.; BARROS, M. T. L. Extracting and classifying bare soil erosion risk areas in an urban basin using object-oriented technologies, high resolution imagery and elevation data. In: GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND WATER RESOURCES IV – AWRA SPRING SPECIALTY CONFERENCE, 2006 Houston, Texas. **Proceedings**… Houston: American Water Research Association, 2006.

PINHO, C. M. D.; FEITOSA, F. F.; KUX, H.. Classificação automática de cobertura do solo urbano em imagem IKONOS: Comparação entre a abordagem pixel-a-pixel e orientada a objetos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais**...São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 4217-4224.

RIBEIRO, B. M. G**. Avaliação das imagens WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE**. 2010. 177 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

SALIM, A. **Caracterização do uso da terra em periferias urbanas utilizando geotecnologias - bacia do Reservatório Guarapiranga**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SÃO PAULO. Lei nº 12.684, de 26 de julho de 2007. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2007/lei%20n.12.684,%20de%2026.07.2007.htm>. Acesso em: 12 jan. 2012.