

ELABORAÇÃO DE MAPA DE COBERTURA DA TERRA INTRAURBANA COM BASE EM ANÁLISE BASEADA EM OBJETOS (OBIA) PARA INFERÊNCIAS SOBRE O USO NA CIDADE DE MARÍLIA/SP

Agnes Silva de ARAUJO¹

Ailton LUCHIARI²

Resumo

O entendimento do espaço intraurbano das cidades requer a observação, identificação e compreensão da relação de padrões e formas espaciais para o desvendamento de seus conteúdos e compreensão dos processos que atuam na produção e reprodução do mesmo. Mapas de cobertura e uso da terra comumente são utilizados para adquirir informação sobre os padrões espaciais, uma vez que é fonte de dados para a elaboração de diagnósticos, ordenamento e gestão dos territórios. A abordagem da análise de imagens baseada em objetos (OBIA) representa um avanço em relação às abordagens de classificações tradicionais, pixel a pixel, uma vez que necessariamente pressupõe a existência de uma rede semântica vinculada ao processo de interpretação da imagem, aproximando aos processos cognitivos humanos. Este artigo tem como objetivo analisar a classificação de cobertura da terra intraurbana da cidade de Marília/SP elaborada a partir de imagens orbitais de alta resolução utilizando-se do método de análise de imagens baseada em objetos (OBIA) para inferências sobre o uso da terra intraurbana de Marília/SP. Para a avaliação da classificação foi utilizado índice *Kappa* que confronta as amostras classificadas com a verdade de campo. O valor de *Kappa* encontrado foi 0,86, superior ao observado em trabalhos similares.

Palavras-chave: Análise de imagens baseada em objetos (OBIA). Espaço intraurbano. Cobertura da terra.

Abstract

Elaboration of intraurban land cover map using object based image analysis (OBIA) to infer land use in the city of Marília/SP

The understanding of intraurban space in cities requires the observation and identification of the relationship between spatial patterns for the unveiling of its contents to understand the processes involved in the production and reproduction of these spaces. Land cover and land use maps are commonly used to acquire information on the existing spatial patterns, they are an important data source for land planning and management, and hence, are crucial in zoning projects. The object-based image analysis (OBIA) represents an advance in relation to the traditional classifications based on pixel-per-pixel analysis for it relies on a semantic network linked to the process of image interpretation, approaching human cognitive processes. This paper aims to analyze land cover mapping for the intraurban space of the city of Marília/SP resulting from the interpretation of remote sensing of a high-resolution satellite image using the method of analysis based on objects (OBIA) for inferences about the land use of intraurban spaces of Marília/SP. For the evaluation of classification was used *Kappa* index confronting the samples classified with the ground truth. The *Kappa* value was 0.86, higher than in similar papers.

Key words: Object-Based Image Analysis (OBIA). Intraurban spaces. Land cover.

¹ Discente do curso de Pós-graduação em Geografia Física pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP. Bacharel em Geografia pela USP. E-mail: agnes.araujo@usp.br

² Prof. Dr. Do Departamento de Geografia. E-mail:aluchiar@usp.br

INTRODUÇÃO

A importância de se compreender os novos fenômenos no espaço intraurbano, assim como a dinâmica das cidades, vem da necessidade de se obter dados e informações atuais para subsidiar o planejamento urbano. A complexidade dos espaços urbanos da sociedade atual nos leva a buscar entender como se dá a separação de classes sociais nas cidades, já é de senso comum dizer que tal separação não é apenas espacial, mas tem suas bases no nível social.

Os agentes que produzem os espaços das cidades buscam seguir uma organização e racionalizar este espaço, que se materializa na forma de padrões espaciais que refletem a complexidade das relações sociais. Este padrão de segregação sócio espacial é visivelmente notável nas áreas de função residencial. Apesar de a segregação socioespacial já ser considerada categoria de análise intrincada no que se refere aos espaços metropolitanos (CALDEIRA, 2000; CARLOS, 2001; MARQUES; TORRES, 2011; ROGGERO, 2009; SANTOS, 1990; SPOSATI, 1996, 2001; SEABRA, 2006; VILLAÇA, 2001), começa a ser discutida e analisada no âmbito das cidades pequenas e médias (AMORIM FILHO; SENA FILHO, 2005; MELAZZO, 2006; SPOSITO, 2007;). A particularidade das cidades médias como objeto de estudo reside no fato de ser uma específica combinação entre tamanho demográfico, funções urbanas e organização de seu espaço intraurbano, tornando-a um objeto de estudo complexo e diferenciado.

A cidade de Marília, objeto de estudo desta pesquisa, localizada no oeste paulista a 443 km da capital, se apresentou como campo fértil para esta discussão uma vez que foi considerada uma cidade média a partir de suas especificidades (MELAZZO, 2006; SPOSITO, 2007). Em análises anteriores foi observado a existência de espaços segregados na cidade de Marília e como se deu sua dinâmica no período entre 2000 e 2010 (ARAUJO, 2013). No entanto, observou-se a necessidade de implementação de outras variáveis de dados como cobertura da terra para novas análises mais específicas.

As geotecnologias e os métodos que envolvem a análise espacial são ferramentas importantes para a obtenção de dados de forma rápida, eficaz. O sensoriamento remoto apresenta-se como uma ferramenta interessante, devido ao avanço dos sensores orbitais, pode-se contar com uma resolução espacial e espectral condizente com o nível de detalhamento necessário aos estudos intraurbanos, além de novos métodos semiautomáticos para a extração de informações sobre a cobertura da terra, desenvolvidos atualmente, o que reduz significativamente o tempo de processamento dos dados. Os mais novos métodos e técnicas de extração de dados e mapeamento a partir de sensoriamento remoto têm ganhado repercussão e se tornado mais popular, principalmente a análise de imagens baseada em objeto (*Object Based Image Analysis - OBIA*).

Quando falamos de classificação da terra a partir do método de classificação orientada ao objeto (OBIA), devemos notar que a diferença mais significativa é a unidade de processamento de imagem, que deixa de ser o pixel e passa a ser o objeto. A segmentação da imagem é, assim, o principal procedimento que antecede a definição dos objetos, que diferencia a OBIA (*Object Based Image Analysis*) das análises pixel a pixel. (BURNETT; BLASCHKE, 2003; CRACKNELL, 1998;).

O conceito de "objeto" é, portando, é imprescindível nas análises de imagens baseada em objetos, uma vez que a informação semântica não se encontra mais no pixel. O objeto por sua vez é uma unidade de processamento que possui características estatísticas da imagem, assim como características dos objetos elaborados a partir de segmentação como: forma espacial, correlação entre vizinhos, características texturais, entre outros (BLASCHKE, 2010).

Análise Orientada a Objeto é considerada por Booch (1991) como uma metodologia que possui quatro requisitos na modelagem: abstração, encapsulamento, polimorfismo e hierarquia. Assim, baseia-se em uma rede semântica e entra na gama dos sistemas especialistas que buscam replicar o conhecimento humano.

É necessário, porém, verificar a acurácia dos dados obtidos e das representações cartográficas considerando o método de obtenção e elaboração dos mesmos. Almeida, Câmara e Monteiro (2007) apontam para o fato de que a realidade existe independente das representações humanas e que esta realidade pode ser percebida pelos sentidos e instrumentos de medida, sendo assim a linguagem e representações possuem um papel fundamental neste processo. A metodologia proposta neste trabalho pretende avaliar e analisar a classificação de cobertura da terra intraurbana da cidade de Marília/SP elaborada a partir de imagens orbitais de alta resolução utilizando-se do método de análise de imagens baseada em objetos (OBIA) para inferências sobre o uso e a qualidade de vida da população de Marília/SP. Para a avaliação da classificação foi utilizado índice *Kappa* que confronta as amostras classificadas com a verdade de campo.

Pretende-se assim, a elaboração de uma pesquisa que possa ser aplicada na atualização de informação do espaço urbano para subsidiar o processo de planejamento e a gestão territorial, contribuindo, assim, para a melhoria da qualidade de vida da população.

ÁREA DE ESTUDO

Marília é um município do Estado de São Paulo, localizada a 443 km por rodovia e 376 km em linha reta da capital paulista. Geograficamente, o município, em toda sua extensão se situa entre as coordenadas geográficas 22°00' e 22°30' de latitude sul e 49°30' e 50°00' de longitude oeste, compreendendo uma área de 1.170,174 km² (IBGE, 2015). A cidade está localizada no Oeste paulista, estando inserida, de acordo com Ross e Moroz (1997), na província geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista e na unidade morfoescultural do Planalto Residual de Marília, o que dá ao espaço intraurbano certa conformidade espacial peculiar em formato de "X".

Para Queiroz Neto e Journaux (1978), o relevo é composto por três compartimentos geomorfológicos sendo: um correspondendo ao platô, um englobando as baixas colinas do Vale do Rio do Peixe, outro representado pela escarpa, a uma altitude média de 675 metros e o terceiro compartimento sobre o qual Marília esta, os arenitos cretáceos do Grupo Bauru. De acordo com o IPT (1981), a formação Marília, é um pacote sedimentar que ocupa áreas de platôs elevados na paisagem e associados às escarpas. São nas áreas do platô residual que o espaço intraurbano do município está localizado.

Como muitas cidades do oeste paulista, a cidade de Marília nasceu e se desenvolveu a partir do terminal ferroviário, e a partir de um momento histórico determinado, se expandiu ao longo das vias de circulação regional. No caso de Marília, a rodovia Comandante João Ribeiro de Barros e a rodovia Transbrasileira, influenciaram em sua expansão e em sua conformação espacial. Pode-se notar que estas cortam a cidade de Norte a Sul, Leste a Oeste e fazem conexão com importantes cidades regionais como Bauru, Ourinhos e Lins.

Os bairros estão dispostos a partir desta lógica, acompanhando as vias de circulação. O centro consolidado engloba bairros mais antigos como o próprio Centro comercial, Bairros: Alto Cafezal, parte norte e leste do Barbosa e a parte Oeste do

Fragata, além da parte Sul do Cascata. Os bairros mais antigos estão mais próximos deste centro consolidado, enquanto os mais novos estão mais afastados. É interessante notar que Bairros mais afastados como Bairro Aquários e Esmeralda estão intimamente ligados a emergência de novos pontos comerciais que levam o nome do bairro como os *shopping centers*, no caso do Aquários, o *shopping* Aquários e no caso do Esmeralda, *shopping* Esmeralda.

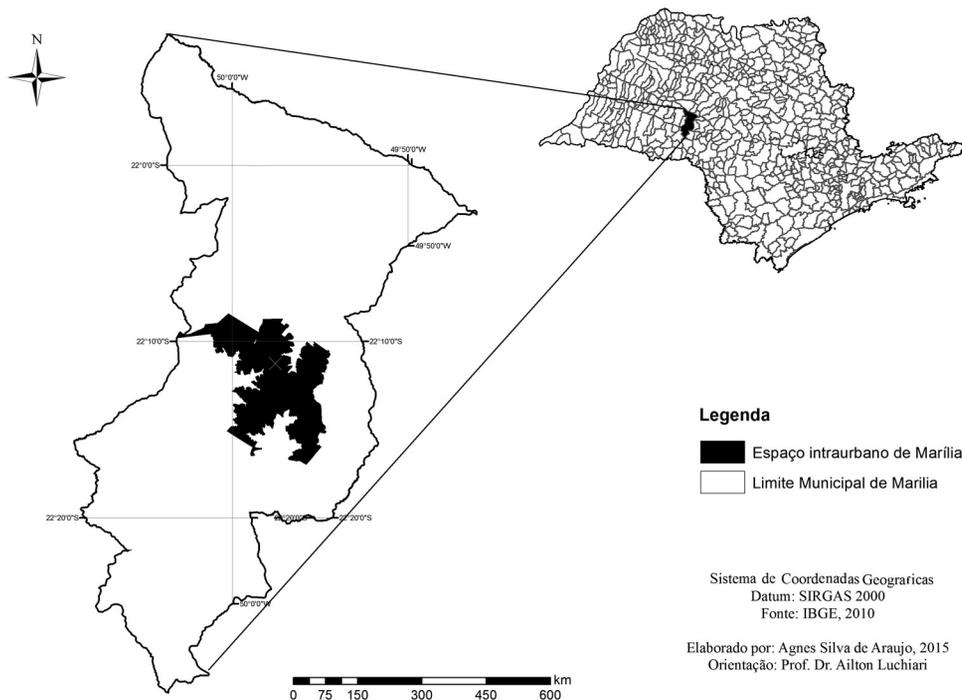


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração de um mapa de cobertura da terra intraurbana de Marília foi necessário adquirir uma imagem alta resolução. Optou-se por utilizar-se de uma imagem do sensor WorldView-II pelas suas especificidades no que se refere a resolução espacial de 2 metros nas bandas multiespectrais e 50 centímetros na banda pancromática. No processo de aquisição da imagem, foram adquiridas as bandas do espectro visível: azul, verde e vermelho e infravermelho próximo e a banda pancromática. Não foram solicitadas as 4 novas bandas: azul costal, amarelo, vermelho limítrofe e infravermelho2. É importante citar que as bandas não foram fusionadas. Os procedimentos de pré-processamento foram realizados pela empresa DigitalGlobe®, uma vez que as imagens já foram adquiridas georreferenciadas e ortoretificadas, Assim, no procedimento de correção geométrica padrão da empresa operadora é utilizado um modelo matemático denominado Coeficiente de Polinômios Racionais

(RPC – *Rational Polynomial Coefficients*), resultando numa precisão horizontal de 3,5 metros CE90 e numa precisão vertical de 3,6 metros LE90 para imagens WorldView-II (DIGITALGLOBE, 2009).

A data de passagem de aquisição da imagem foi 18/08/2010, justifica-se a escolha de agosto de 2010 pela menor quantidade de nuvens existentes sob o espaço intraurbano, já que agosto é um mês com poucas chuvas no Oeste Paulista e, porque, em etapas posteriores da pesquisa pretende-se correlacionar os dados de cobertura da terra com dados socioeconômicos e populacionais do Censo do IBGE para ano de 2010, assim torna-se imprescindível que a data da imagem de satélite corresponda a data de aquisição dos dados do Censo para evitar anacronismos.

A área de aquisição, por sua vez não contou com a cena inteira da imagem, foi selecionada apenas a área do espaço intraurbano da cidade de Marília. Para a elaboração do mapa de cobertura da terra intraurbana de Marília, a partir do método de classificação e análise orientada ao objeto (OBIA), foram executados três procedimentos técnicos: Elaboração da chave de interpretação, segmentação e construção das regras para classificação da cobertura da terra.

A chave de interpretação da cobertura da terra foi elaborada e definida de acordo com a área de estudo e com os objetivos da pesquisa estabelecidos *a priori*, considerando o nível de detalhamento necessário para as análises posteriores da pesquisa.

Os objetos foram observados e identificados através de técnicas de interpretação visual, produzindo informações qualitativas, consideradas de relevância no que se refere a padrões de cobertura da terra intraurbana. Para minimizar os efeitos de subjetividade do pesquisador no procedimento de interpretação visual foi elaborado um roteiro metodológico criterioso no qual a identificação e interpretação dos objetos observados demandam o uso de raciocínio lógico e elementos de análise bem definidos (PANIZZA; FONSECA, 2011). A primeira etapa, chamada identificação, apresenta uma simples leitura da imagem, realiza-se nesta etapa, uma correlação intuitiva entre o objeto observado e outro conhecido. A segunda etapa desenvolve-se processos mentais, dedutivos e intuitivos, mesmo que a imagem revele apenas uma visão parcial do objeto. Finalmente, criam-se correlações entre os elementos determinados na imagem e elaboram-se hipóteses interpretativas.

Foi determinado, anteriormente ao início dos procedimentos técnicos de segmentação da imagem e construção de regras, que constituem a classificação de imagens baseada em objetos, que as grandes unidades temáticas seriam: vegetação, solo exposto, água, áreas construídas e sombra. Justifica-se a necessidade de classificação das sombras presentes na imagem porque apesar de não ser um padrão de cobertura da terra e sim, um fenômeno decorrente da posição relativa do sol e do sensor no momento de aquisição da imagem, no processo de abstração e encapsulamento dos alvos, a sombra existe enquanto segmento, uma vez que não existe informação espectral da área sombreada e a sua não classificação ou não reconhecimento enquanto "objeto" pode resultar em classificações inadequadas, misturando-se com alvos de baixa reflectância espectral em algumas bandas como é o caso dos "telhados de cimento" e "pavimentação" no espectro visível.

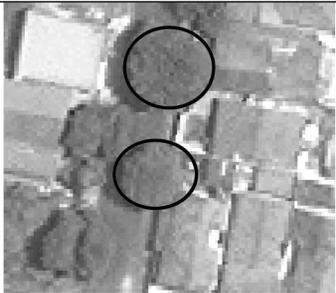
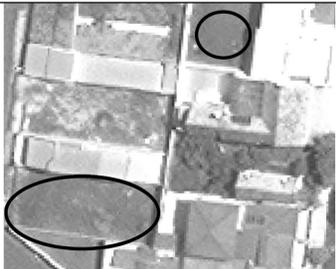
As classes definidas a partir da temática vegetação foram: "vegetação herbácea" e "vegetação arbórea e arbustiva". A partir da temática água foram: "rios" e "lagos". No que se refere as "áreas construídas" foram definidas as seguintes coberturas: "pavimentação", "telhados de cerâmica", "telhados de cimento", que congregam telhados de cimento esmaltado ou cimento amianto, "Lajes de concreto pintadas" que corresponde as lajes de concreto de prédios e casas pintadas de branco ou cores claras, "telhados de alumínio" que são utilizados nas coberturas de equipamen-

tos de lazer como quadras poliesportivas e cobertura de fábricas e galpões e “piscinas”.

Pinho (2006), Roggero (2009) e Salim (2013) apresentam características da cobertura da terra intraurbana que permitem inferências sobre o uso e o tipo de classe social residente nestas áreas. É o caso da utilização de “telhados de cimento”, por exemplo. Em setores censitários onde existem baixos índices de nível socioeconômico, os telhados apresentam-se muito próximos um dos outros, o lote não pode ser determinado facilmente, pode-se inferir que são telhados de cimento amianto, uma vez que é considerada uma solução de baixo custo. Em setores de altos índices socioeconômicos, onde existem telhados de cimento, mas os lotes são de tamanho significativo e o espaçamento é maior, pode-se inferir que são telhados de cimento esmaltado, solução de alto custo para telhas. A existência de asfaltamento, piscinas, quintais com área verde (vegetação arbórea ou herbácea), telhados de cerâmica ou lajes pintadas de branco são outros indicadores de nível socioeconômico alto e médio, uma vez que são soluções de alto custo. A partir dos padrões residências identificados em imagens podem-se fazer inferências sobre as classes sociais que ocupam estes espaços.

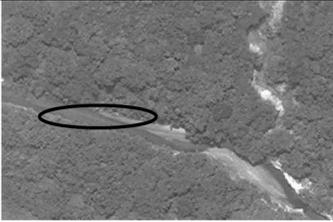
Francisco e Almeida (2012), Hofmann (2001), Meneghetti (2013), Pinho (2006) e Salim (2013) apresentam uma chave de interpretação similar no que refere as classes de cobertura da terra, havendo apenas pequenas adaptações de acordo com a área de estudo, apresenta-se a seguir a chave de interpretação utilizada neste trabalho:

Quadro 1 – Chave de interpretação da imagem utilizada nesta pesquisa

Classe	Imagem WorldView II em Composição RGB	Localização e contexto	Forma e Textura
Vegetação arbórea e arbustiva		Localizada dentro de quadras e dossel cobre parcialmente ou totalmente algumas ruas.	Possui textura rugosa, com variação no tamanho dos elementos texturais, dependendo do tipo de árvore.
Vegetação herbácea		Localizada dentro de quadras e ao longo de vias de acesso.	Textura lisa.

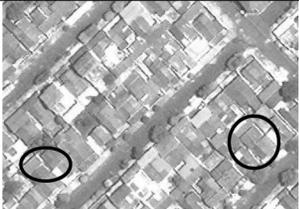
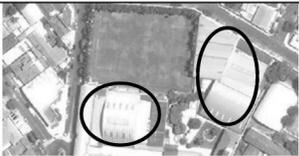
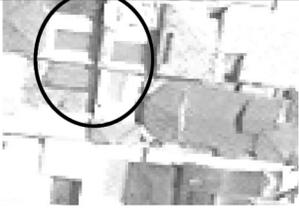
(continua)

(continuação)

Rios		Localizam-se um pouco afastados do espaço intra urbano, próximos a áreas de vegetação arbórea e grama.	Possui formato alongado e textura lisa.
Lagos		Localizam-se um pouco afastados do espaço intra urbano, próximos a áreas de vegetação arbórea e grama.	Possui formato arredondado e textura lisa.
Sombra		Ocorre próxima a edificações, árvores e pontes.	Textura lisa, forma e tamanhos variáveis.
Solo exposto		Localizado dentro de quadras em novos loteamentos, terrenos inutilizados ou em ruas não pavimentadas.	Forma, textura e tamanhos variados
Pavimentação		Ocorre em ruas entre quadras e em estacionamentos.	Forma retangular (estacionamentos) e alongada (ruas).

(continua)

(continuação)

<p>Telhados de cerâmica</p>		<p>Ocorre como cobertura de edificações, localiza-se dentro das quadras.</p>	<p>Tamanhos variáveis, porém com forma preferencialmente retangular .</p>
<p>Telhados de cimento</p>		<p>Ocorre como cobertura de edificações, localiza-se dentro das quadras.</p>	<p>Tamanhos variáveis, porém com forma preferencialmente retangular</p>
<p>Lajes de concreto pintadas</p>		<p>Ocorre como cobertura de edificações, localiza-se dentro das quadras, podendo ser grandes galpões.</p>	<p>Tamanhos variáveis, porém com forma preferencialmente retangular</p>
<p>Telhados de alumínio</p>		<p>Ocorre como cobertura de edificações, localiza-se dentro das quadras, podendo ser grandes galpões.</p>	<p>Tamanhos variáveis, porém com forma preferencialmente retangular.</p>
<p>Piscinas</p>		<p>Ocorre como forma de lazer nas proximidades de edificações, localiza-se dentro das quadras.</p>	<p>Tamanho e formas variáveis, preferencialmente retangular, textura lisa.</p>

O procedimento de segmentação foi executado posteriormente a determinação das classes de interesse. Primeiramente foram elaborados testes na uma WorldView-II com as bandas azul, verde, vermelho e infra vermelho próximo de 2 metros juntamente com a banda pancromática com 50 centímetros de resolução espacial. Somou-se a isso uma imagem com os resultados de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), para que os alvos de vegetação fossem facilmente encapsulados.

A segmentação multirresolução, utilizada nesta pesquisa, foi desenvolvida utilizando-se do algoritmo FNEA (*Fractal Net Evolution Approach*) implementado na pla-

taforma Definiens Developer 7.04 do Software E-Cognition®, elaborado para adaptar-se às imagens de alta resolução. Utilizando a segmentação multirresolução podem-se calcular os pesos dos critérios espaciais e espectrais. A homogeneidade da segmentação multirresolução é estabelecida a partir da combinação das propriedades espectrais das cinco bandas (nível de cinza) e forma. Os parâmetros cor e forma somam 1,0 e determinam quanto de cada informação é usada no processo de segmentação.

O parâmetro forma é subdividido em compactidade e suavidade. Um alto valor de compactidade produz polígonos menores, mais compactos e com formas geométricas regulares, característica típica de alvos antrópicos. Por outro lado, um alto valor de suavidade gera polígonos com áreas maiores, bordas suaves e certa homogeneidade interna, características de alvos naturais como rios e lagos (KRESSLER; STEINNOCHER, 2006).

O parâmetro escala determina o tamanho médio do objeto a ser criado, quanto mais alto o valor atribuído ao parâmetro, maiores serão os objetos e menor a quantidade de objetos criados. Um peso é atribuído às bandas, de tal forma que isso representa a importância de cada banda no processo de segmentação, assim quanto maior o valor, maior o grau de importância conferida à respectiva banda (BAATZ; SCHÄPE, 2000).

Os processos de segmentação e classificação foram executados em várias etapas de treinamento, ou seja, após determinada segmentação se classificavam alguns alvos, os objetos ainda não classificados entram numa segunda etapa de segmentação e classificação, e assim por diante. Essa é uma das grandes vantagens da classificação a partir da construção de regras. Tendo isso em consideração, foram executadas duas segmentações para a obtenção da classificação final:

A primeira utilizou-se dos seguintes parâmetros:

- Image layers weights: 1,1,1,2,3
- Shape: 0,1
- Compactness: 0,5
- Scale Parameter: 30

Foram dados pesos 1 as banda multiespectrais, peso 2 a pancromática e peso 3 ao resultados de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). A partir desta segmentação, foram classificadas "vegetação arbórea e arbustiva", "vegetação herbácea", "sombra" e "rios" e "lagos".

O segundo procedimento de segmentação utilizou-se dos seguintes parâmetros:

- Image layers weights: 1,1,2,2,1
- Shape: 0,2
- Compactness: 0,6
- Scale Parameter: 20

A partir desta segmentação foi possível extrair objetos como "pavimentação", "solo exposto", "sombras" ainda não classificadas, "telhado de cerâmica", "telhados de alumínio", "Lajes de concreto pintadas", "telhados de cimento" e "piscinas". As etapas posteriores referem-se à construção de regras para classificação da cobertura da terra a partir das segmentações acima mencionadas.

Para cada classe foram analisados os melhores atributos e seus limiares para diferenciar cada alvo e classificá-lo semi automaticamente na classe correta. Para isso é importante o conhecimento de cada alvo de interesse, seu comportamento espectral nas bandas do espectro eletromagnético, forma espacial e geométrica, textura, etc. Além dos mais de 500 atributos, foi customizado mais um atributo por meio

da razão de bandas, sendo este, a elaboração de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

No processo de classificação, foram analisados inúmeros atributos e escolhidos os que melhor separavam as classes e os alvos de interesse interativamente através da análise da distribuição espacial dos valores dos descritores e dos histogramas da função de pertinência dos objetos para cada classe. Após a constatação por testes e experimentação, além da literatura e estudos similares, foram analisados os seguintes comportamentos espectrais:

A partir da primeira segmentação foi possível classificar "vegetação arbórea e arbustiva", "vegetação herbácea", "sombra" e "rios" e "lagos". Para vegetação em geral foram utilizados atributos de NDVI. O alto valor de NDVI é uma das características da vegetação, sendo um dos índices mais comumente utilizados. Pinho (2006), Pinho, Feitosa e Kux (2005) e Salim (2013) utilizaram-no no desenvolvimento de seus experimentos os altos valores de NDVI como regra na classificação baseada em objetos da classe vegetação.

As classes contidas no subnível hierárquico de "vegetação" são compreendidas pela "vegetação arbórea e arbustiva" e pela "vegetação herbácea". Estas foram classificadas utilizando-se os parâmetros de textura. O parâmetro que melhor apresentou distinção entre as classes foi o GLCM Homogeneidade em todas as direções, índice de textura baseado nas formulações de Haralick *et al.*(1973).

Para classificar "rios" e "lagos", tomaram-se em consideração as características da "água" enquanto alvo, segundo Novo (2011), em seu estado líquido apresenta baixa refletância entre 0,38 μ m e 0,70 μ m, absorvendo toda radiação a partir de 0,7 μ m. Sendo assim, também foram utilizados parâmetros de baixo brilho, além de baixos valores de NDVI. No que se refere ao nível hierárquico a baixo, os parâmetros formato elíptico (*Elliptic fit*) e arredondamento (*Roundness*) foram utilizados para separar as classes "rios" de "lagos". A classe "sombra" por sua vez foi separada utilizando altos valores de assimetria (*Assymetry*), outro parâmetro geométrico.

Após o segundo procedimento de segmentação foram classificados os seguintes alvos: "pavimentação", "piscinas", "solo exposto", "sombrias" ainda não classificadas, "telhado de cerâmica", "telhados de alumínio", "lajes de concreto pintadas" e "telhados de cimento".

Para a classe "pavimentação", Novo (2011) e Salim (2013) demonstram suas características espectrais com refletância baixa, até 0,4 μ m. Desse modo, o asfalto tem refletância maior na banda do vermelho e infravermelho próximo do satélite WoldView-II. Sendo assim, foram utilizados parâmetros de baixo brilho (*Brightness*), para a classificação das áreas de "pavimentação", foram somados, também, o atributo comprimento (*Length*) e um atributo da relação comprimento por largura (*Length/Width*).

Para a classificação das "lajes de concreto pintadas", "telhados de alumínio" e "piscinas", Pinho, Feitosa e Kux (2005) e Salim (2013) afirmam que o comportamento da classe "lajes de concreto pintadas" apresenta alta resposta espectral (brilho) nos canais do visível, uma vez que a tinta branca ou clara apresenta elevado albedo. Assim, foram utilizados altos valores de brilho (*Brightness*). No entanto, com diferentes limiares para sua delimitação, além de atributos da média da banda no infravermelho para separar as classes "lajes de concreto pintadas", "telhados de alumínio" e "piscinas".

É importante afirmar que a imagem WorldView-II conta com as bandas no azul costal, amarelo e outros 2 tons de vermelho. No entanto, tais bandas não foram adquiridas para o desenvolvimento desta pesquisa. Ribeiro, Boggione e Fonseca (2013) afirmam que utilizando as bandas no azul costal e amarelo facilmente consegue-se extrair as piscinas por seu comportamento específico na banda do amarelo. Por não

contarmos com esse atributo, utilizamos as variáveis geométricas de padrões retangulares (*Retangular Fit*).

No que se refere à classe “telhados de cimento” de acordo com Novo (2011), é devido à presença de concreto na composição do mesmo, que seu comportamento é muito parecido com o asfalto, mas apresenta forma retangular, assim, uma vez classificados a “pavimentação”, as formas com altos valores nos parâmetros geométricos retangulares (*Retangular Fit*) e com baixo brilho (*Brightness*), foram classificadas como “telhados de cimento”.

As classes “telhados de cerâmica” e “solo exposto” foram as que necessitaram de maior quantidade atributos para separação das duas classes. Por terem uma assinatura espectral e brilho num limiar muito próximo, foram necessários outros parâmetros geométricos como: assimetria (*Assymetry*), formato retangular (*Retangular Fit*), compacidade (*Compactness*) e texturais como: GLCM Homogeneidade em todas as direções.

O trabalho de campo realizado entre os dias 05 e 29 de janeiro de 2015, permitiu uma identificação dos padrões de cobertura e melhor compreensão da configuração deste espaço intraurbano. Para avaliação do mapa final de cobertura da terra através de índice *Kappa*, foi necessário a coleta de pontos de amostragem de verdade de campo adquiridos com suporte em receptor GPS de navegação eTrex 30X da empresa Garmin Brasil®, com suporte para GLONASS (Sistema Russo de Navegação Global por Satélite), permitindo uma precisão de 3 metros de erro. Assim, foram espalhados, de maneira aleatória, 440 pontos a serem coletados enquanto verdade de campo. As amostras procuraram abranger toda a área do espaço intraurbano da cidade e todas as classes. A seguir observa-se o mapa dos pontos de coleta e amostragem:

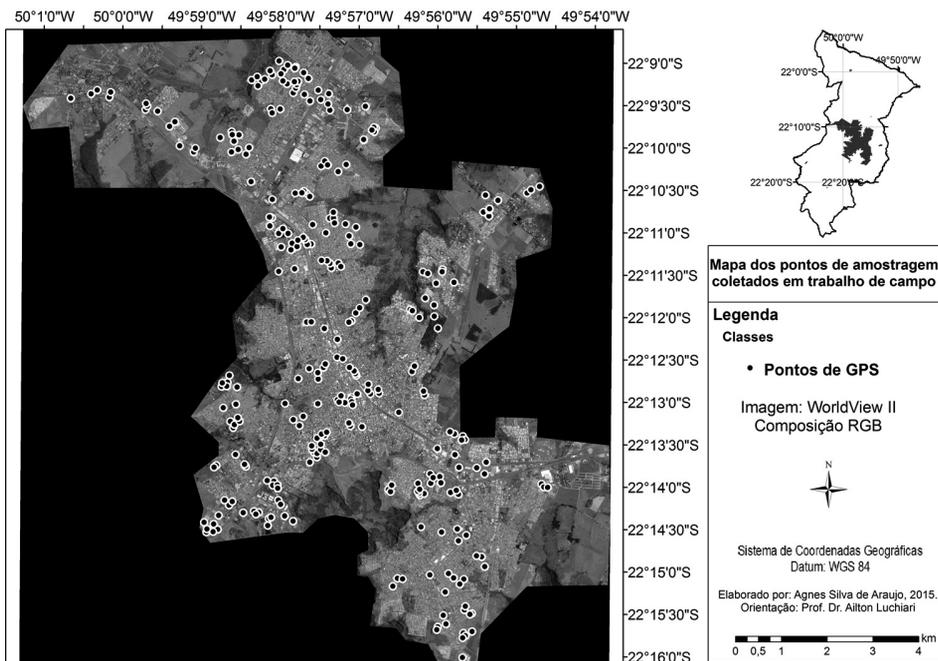


Figura 2 – Mapa dos pontos de amostragem de verdade de campo coletados em trabalho de campo

ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

É sabido que os produtos de sensoriamento remoto demonstram muitas possibilidades no que se refere a informações sobre o espaço intraurbano das cidades, considerando as facilidades de aquisição das imagens de satélite de alta resolução e as novas técnicas de processamentos de imagens. A partir dos materiais e procedimentos operacionais e técnicos citados, foi elaborado um mapa de cobertura da terra, aqui apresentado também como resultado.

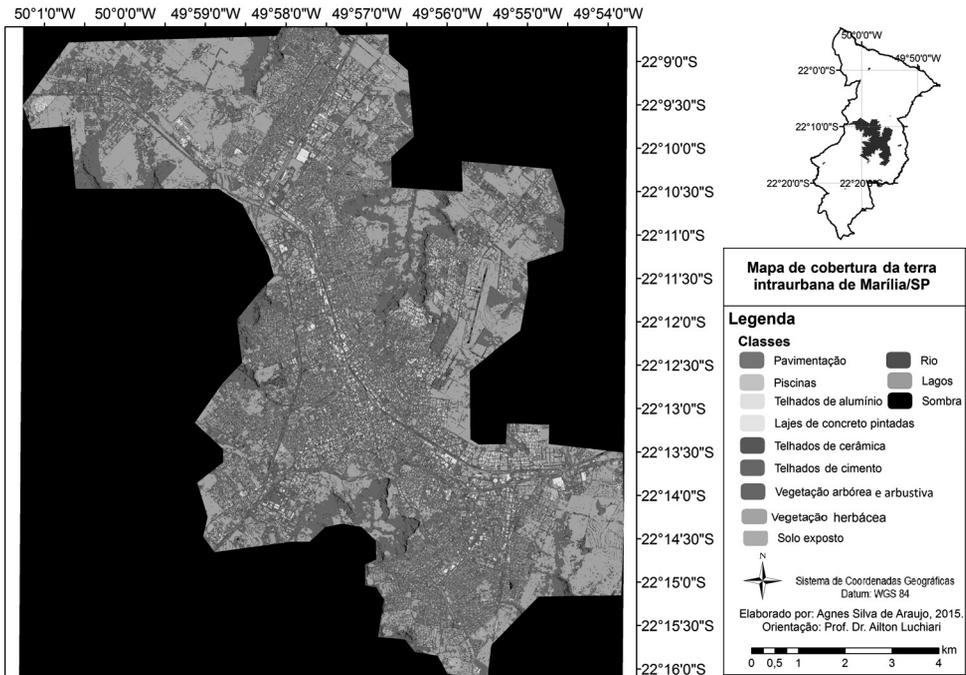


Figura 3 - Mapa de cobertura da terra intraurbana de Marília, elaborado a partir de OBIA

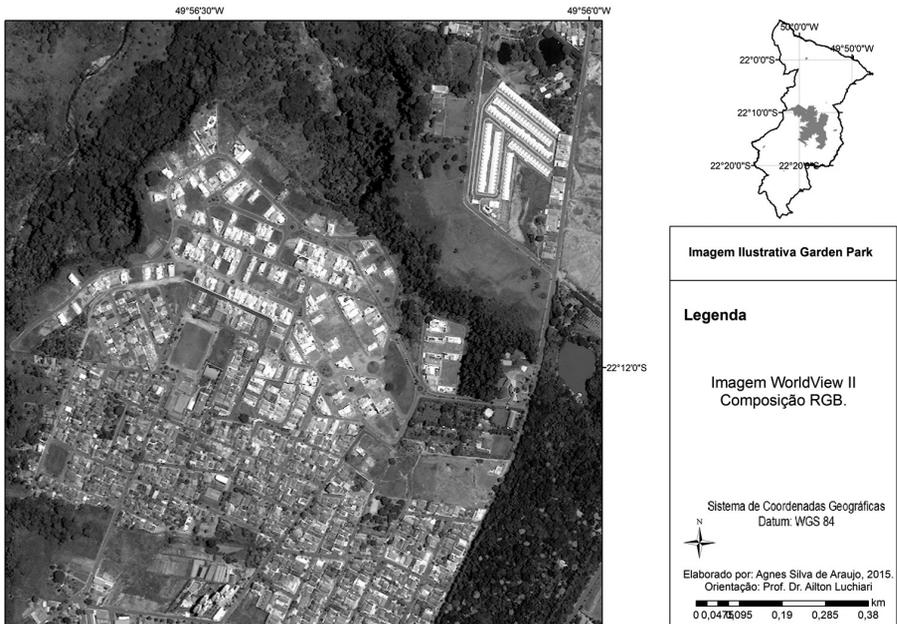


Figura 4 – Amostra da Imagem WorldView-II ilustrativa – Condomínio Garden Park

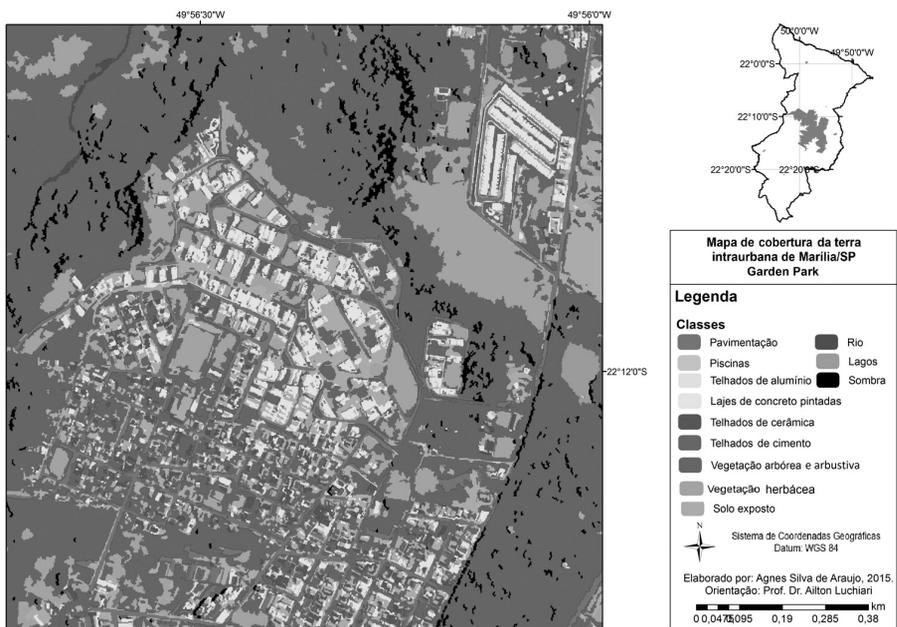


Figura 5 – Amostra do Mapa de cobertura da terra ilustrativo – Condomínio Garden Park

Para avaliação do mapa de cobertura da terra intraurbana de Marília foram selecionados os objetos sob os quais os pontos de GPS foram sobrepostos, totalizando 440 objetos verdade de campo, sendo assim, a unidade de amostra deixou de ser o ponto e passou a ser o objeto. Tal processo de avaliação é recomendado por Congalton e Green (2009) uma vez que o mapa a ser analisado possui esta estrutura oriunda do processo de segmentação.

O mapa foi avaliado a partir dos procedimentos de análise por índice *Kappa* e matriz de confusão. O índice *Kappa*, é calculado segundo a equação a seguir (BISHOP et al., 1975):

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}$$

Figura 6 – Equação para cálculo do índice *Kappa*.

Fonte: BISHOP et al., 1975

Onde: K = Índice *Kappa* de concordância; N = Número de observações (pontos amostrais); r = Número de linhas da matriz de erro; x_{ii} = Observações na linha i e coluna i; x_{i+} = Total marginal da linha i; x_{+i} = Total marginal da coluna i.

O resultado do índice *Kappa* varia de -1 a 1, e quanto mais próximo de 1, maior a acurácia da classificação. A avaliação do mapa de cobertura da terra intraurbana de Marília apresentou um valor de 0,86 para o índice de concordância *Kappa* e considerado, pela tabela de interpretação sugerida por Landis e Koch (1977) como uma classificação com excelente concordância e acurácia.

Tabela 1 - Interpretação de valores de índice *Kappa*

Valores de Kappa	Interpretação
<0	Sem concordância
0-0.19	Pouca concordância
0.20-0.39	Concordância razoável
0.40-0.59	Concordância média
0.60-0.79	Concordância considerável
0.80-1.00	Concordância excelente

(LANDIS; KOCH, 1977, p. 165, tradução nossa)

A análise da matriz de confusão permitiu concluir que as classes que apresentaram o maior limiar de confusão, foram "telhados de cerâmica" e "solo exposto", com 15 amostras classificadas erroneamente. E, apesar da classe "solo exposto" apresentar um índice de acerto de 98,2%, nota-se um maior valor de erros de comissão, enquanto a classe "telhados de cerâmica" apresentou um valor maior para erros de omissão, com 67,1% de acerto na classificação. As classes "pavimentação" e

“telhados de cimento” também apresentaram limiar de confusão. No entanto, ambas as classes apontaram um índice de acerto de 88,8% e 89,5% respectivamente, indicando excelente concordância.

Constata-se, também, com base na matriz de confusão, limiar de confusão existente entre as classes “telhados de alumínio”, “Lajes de concreto pintadas” e “piscinas”, com maior valor de erros de omissão para a classe “telhados de alumínio” e maior valor de erros de comissão para a classe “lajes de concreto pintadas”. No entanto, tais classes também apresentam altos valores de índice de acerto com 82,5% de acerto para a classe “telhados de alumínio”, 97,3% para a classe “lajes de concreto pintadas” e 90,9% de acerto para a classe “piscinas”.

As classes “vegetação herbácea” e “vegetação arbórea e arbustiva” também apresentaram limiar de confusão entre si, com 78,8% de acerto para a classe “vegetação herbácea” e 97,2% de acerto para a classe “vegetação arbórea e arbustiva” o que denota maior índice de omissão para a classe “vegetação herbácea” e maior índice de comissão para a classe “vegetação arbórea e arbustiva”.

É importante apontar também que a classe “lagos” apresentou acerto de 100% na classificação. E apesar de terem sido adquiridos apenas cinco pontos de amostragem de verdade de campo para esta classe, salienta-se que existem poucos lagos na área de estudo e conseqüentemente na imagem adquirida. Portanto a classe “lagos” apresentou maior índice de acerto e menor índice de confusão na classificação final como se pode observar a seguir:

	Vegetação herbácea	Telhados de cerâmica	Vegetação arbórea e arbustiva	Sombra	Solo exposto	Pavimentação	Telhados de alumínio	Lajes de concreto pintadas	Telhados de cimento	Piscinas	Lagos	Classes
Vegetação herbácea	26	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	33 (7.5%)
Telhados de cerâmica	0	47	1	0	15	0	0	3	4	0	0	70 (15.9%)
Vegetação arbórea e arbustiva	0	0	35	0	0	0	0	0	1	0	0	36 (8.2%)
Sombra	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2 (0.5%)
Solo exposto	0	0	0	0	56	0	0	1	0	0	0	57 (13.0%)
Pavimentação	0	0	0	0	0	51	0	0	6	0	0	57 (13.0%)
Telhados de alumínio	0	0	0	0	4	1	33	1	1	0	0	40 (9.1%)
Lajes de concreto pintadas	0	0	0	1	1	0	0	73	0	0	0	75 (17.0%)
Telhados de cimento	0	0	0	0	1	5	0	0	48	0	0	54 (12.3%)
Piscinas	0	0	0	0	0	0	0	1	0	10	0	11 (2.5%)
Lagos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5 (1.1%)
Verdade	26 (5.9%)	47 (10.7%)	44 (10.0%)	2 (0.5%)	77 (17.5%)	57 (13.0%)	33 (7.5%)	79 (18.0%)	60 (13.6%)	10 (2.3%)	5 (1.1%)	440

Figura 7 – Matriz de confusão

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia para classificação e análise de imagens baseada em objeto (OBIA) utilizando-se de imagem WorldView-II para sua elaboração, demonstrou-se satisfatória e de alta qualidade para inferências no espaço intraurbano, possibilitando sua utilização para etapas posteriores da pesquisa.

Verificaram-se a partir da análise da matriz de confusão que as classes com maior dificuldade de discriminação foram “telhados de cerâmica” e “solo exposto”, a utilização de índices de forma como padrão retangular e assimetria, apesar de conseguirem um volume grande de objetos, não foram suficientes para a discriminação de todos, uma vez que no processo de segmentação foi utilizado um parâmetro de escala pequeno, fragmentando alguns objetos por inteiro como já mencionado anteriormente. Estas dificuldades relacionam-se a falta de informação na base de dados e aos próprios limites no método de classificação.

Outra importante consideração é sobre algumas áreas de confusão e de classificação inadequada entre as classes “vegetação arbórea e arbustiva” e “vegetação herbácea”. No processo de segmentação foi utilizado um parâmetro de escala pequeno, fragmentando alguns objetos por inteiro como já mencionado anteriormente. No que se refere à vegetação, era necessário encapsular os dosséis das árvores e as áreas inteiras de “vegetação herbácea”, principalmente porque são estes os tipos de vegetação encontrados dentro das quadras do espaço intraurbano, foco desta pesquisa. Assim, em áreas mais periféricas, onde a “vegetação herbácea” mistura-se com a “vegetação arbustiva” numa fitofisionomia mais próxima do que denominamos “campo”, houve uma confusão e áreas de classificação inadequada uma vez que a classe “vegetação arbustiva” foi suprimida. Justifica-se a não utilização da classe “vegetação arbustiva” porque dentro do espaço intraurbano a “vegetação arbustiva”, normalmente vem agrupada ou integrante de projetos paisagísticos e pode ser facilmente confundida com dossel de árvores uma vez que nos procedimentos de segmentação são encapsulados os dosséis enquanto uma região ou segmento, além de que, os arbustos agrupados também produzem áreas de sombra, assim como a “vegetação arbórea” dificultando a observação de parâmetros que possam separar estas classes uma vez que possuem geometria, textura e assinatura espectral muito próxima ou semelhante na escala adotada. Assim, para eliminar os erros da rede semântica, optou-se por agrupar as classes de “vegetação arbórea” e “vegetação arbustiva” em uma classe denominada “vegetação arbórea e arbustiva”.

É importante considerar que neste trabalho não foram utilizadas nenhuma outra base cartográfica de forma a otimizar os processos de segmentação e classificação. É decorrente em pesquisas que visam classificar áreas intraurbanas a utilização de bases cartográficas de arruamento, zoneamentos, em outras para otimizar o processo de classificação. No entanto, como o objetivo era adquirir informação sobre os padrões espaciais intraurbanos a partir de imagens de alta resolução, não foram introduzidos outros dados, o que tornou o processo de classificação mais complexo.

No que se refere às limitações do método, a comunidade científica está buscando aprimorar os algoritmos de segmentação para refinamento deste procedimento na busca encapsular objetos puros, aproximando-se dos limites reais dos alvos presentes nas imagens.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. de; CÂMARA, G. e MONTEIRO, A. M. V. (org) – **Geoinformação em urbanismo**: cidade real x cidade virtual. São Paulo: Oficina de textos, 2007.
- AMORIN FILHO, O, B.; - Um modelo de zoneamento morfológico-funcional do espaço intra-urbano das cidades médias de Minas Gerais. In: AMORIM FILHO, O, B. ; SENA FILHO, N. de. **A morfologia das cidades médias**. Goiânia: Ed. Vieira, 2005.
- ARAUJO, A. S. – **Qualidade de vida no município de Marília**. 2013. 98 p. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013.
- BAATZ, M.; SCHÄPE, A. - Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL, J. et al. (Ed.): **Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII**. Heidelberg: Wichmann, , p. 12-23, 2000.
- BLASCHKE, T. – Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, n. 65, p. 2-16, 2010,. Available on: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271609000884>
- BOOCH, G. - **Object Oriented Design**: With Applications. Redwood City: Benjamin-Cummings Publishing Co., 1991.
- BURNETT, C.; BLASCHKE, T. – A multi-scale segmentation/object relationship modeling methodology for landscapes analysis. **Ecological Modelling**, , n. 3, p. 233-249, 2003. Available on: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438000300139X>
- CALDEIRA, T. P. R. – **Cidade de muros**: crime, segregação e cidadania na cidade de São Paulo. 2ª edição. São Paulo: Edusp, 2000.
- CARLOS, A. F. A. - **Espaço público e “nova urbanidade” no contexto do direito á cidade**. **Confins** [Online], n. 18, 2013. Available on: <http://confins.revues.org/8391> ; DOI : 10.4000/confins.8391
- CONGALTON, R.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data**: Principles and practices. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2009. 183p.
- CRACKNELL, A. P. – Synergy in remote sensing – What’s in a pixel? In: **International Journal of Remote Sensing**, n. 19, p. 2025-2047, 1998,. Available on: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/014311698214848>
- DIGITALGLOBE – **WorldView-2 Specifications** - 2009. Available on: http://global.digitalglobe.com/sites/default/files/DG_WorldView2_DS_PROD.pdf (Acessado no dia 01/09/2015)
- FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, C. M. Interpretação de imagens orbitais por meio de sistema especialista para o mapeamento de cobertura da terra em região montanhosa. In: **Soc. & Nat.**, Uberlândia, v. 24 n. 2, p. 283-302, 2012.
- HARALICK, R. M et al. - Textural Features for Image Classification. **IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics**, v. 3, p. 610-621, 1973.
- HOFMANN, P. - Detecting buildings and roads from IKONOS data using additional elevation information. **GeoBIT/GIS**, v. 6, n.1, p. 28-33, 2001.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br>. Consultado em 29/08/2015.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000, Volume I.** São Paulo: Divisão de Minas e Geologia Aplicada do IPT., 1981.

KRESSLER, F. P.; STEINNOCHER, K. - Image data and LIDAR – an ideal combination matched by object oriented analysis. In: LANG, S.; BLASCHKE, T. ; SCHÖPFER, E. - **Geographic Object-Based Image Analysis**, v. 1, Salzburg : Salzburg University, 2006.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. – The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. In: **Biometrics**, v. 3, n. 1, 3, p. 159 – 174, 1977.

MARQUES, E. TORRES, H. - **São Paulo: segregação, pobreza e desigualdades sociais.** São Paulo: SENAC, 2011.

MELAZZO, E. S. **Padrões de desigualdades em cidades paulistas de porte médio. A agenda das políticas públicas em disputa.** Tese (Doutorado) Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente , 2006.

MENEGHETTI, G.T.; **Classificação da cobertura da terra do município de Raposa (MA), com imagens worldview-2 utilizando o aplicativo interimage e mineração de dados.** Dissertação (Mestrado) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 116 páginas, 2013.

NOVO, E. M. L. M. - **Sensoriamento remoto princípios e aplicações.** 4. ed. São José dos Campos: Edgard Blucher Ltda, 2011. 387 p.

PANIZZA, A. C.; FONSECA, F. P. – Técnicas de Interpretação Visual de Imagens. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 30, p. 30 - 43, 2011.

PINHO, C. M. D. - **Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos.** 2006. 180 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 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, 12., 2005, Goiânia. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4217-4224.

QUEIROZ NETO, J.P.; JOURNAUX, A. – Carta **Geomorfológica do Vale do Rio do Peixe em Marília (SP), Escala 1:100.000**, São Paulo: USP, 1978.

RIBEIRO, B.M. G.; BOGGIONE, G. A.; FONSECA, L. M. G. Simulações das bandas espectrais do sensor QuickBird-2 a partir do sensor WorldView-2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16.; 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 7981-7988.

ROGGERO, M. A. - **Um ensaio metodológico sobre a qualidade de vida no distrito de Cachoeirinha, Zona Norte da cidade de São Paulo-SP.** 2009. 137 p. Dissertação (mestrado em Geografia física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C.- **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000, Volume I.** São Paulo, 1997.

SANTOS, M. - **Metrópole Cooperativa Fragmentada.** São Paulo: Nobel, 1990.

SEABRA, O. C. L. – Territórios de uso: cotidiano e modo de vida. **Cidades**, v.1, n.2. p. 181-206, 2006.

SPOSATI, A; - **Cidade em pedaços**. 1ª edição. São Paulo: Editora Brasiliense, 2001.

SPOSATI, A; - **Mapa da inclusão/exclusão social**. São Paulo: EDUC, 1996.

SPOSITO, et al. - O estudo das cidades médias brasileiras: uma proposta metodológica. In: SPOSITO, M. E. B. (Org.) **Cidades médias – espaços em transição**. São Paulo: Expressão Popular, 2007, 1ª ed.

SALIM, A. - **Caracterização do uso da terra em periferias urbanas utilizando geotecnologias – bacia do Reservatório Guarapiranga**. 2013. 160 p. Dissertação (mestrado em Geografia física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013.

VILLAÇA, F. – **Espaço intra-urbano no Brasil**. 2ª edição. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

Recebido em setembro de 2015

Aceito em janeiro de 2016