

Classificação orientada ao objeto para planejamento de bacias hidrográficas: Estudo de caso na bacia do Rio Clarinho - SP

João Vitor Roque Guerrero¹
Guilherme Augusto Verola Mataveli²
Rodrigo Cesário Justino³
Michel Eustáquio Dantas Chaves⁴
Luiz Eduardo Moschini¹
Diego Peruchi Trevisan¹

¹Universidade Federal de São Carlos
Rodovia Washington Luís, km 235 - SP-310 São Carlos - SP
joaovitorguerrero@yahoo.com.br; lemoschini@ufscar.br; diego.peruchi@gmail.com

²Universidade de São Paulo
Avenida Prof. Almeida Prado, 1280, Butantã, São Paulo - SP
mataveli@usp.br

³Universidade Federal de Alfenas
Rua Gabriel Monteiro da Silva 700, Centro, Alfenas - MG
rodrigofriend81@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Lavras
Câmpus Universitário, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras - MG
medchaves@posgrad.ufla.br

Abstract. The objective of this work was to propose the “object oriented classification” as a viable tool for territorial planning and management in watersheds. The study area chosen was the Clarinho River Basin, one of the main tributaries of the Claro River, located in Santa Rita do Passa Quatro, São Paulo, Brazil. This is an area of interest because of the conflicting relationship between anthropic activities and the environment, as well as being of great importance for the region's water supply. It was used a 2016 Landsat 8 image, that was processed in ArcGis 10.3.1, being performed processes of geometric correction, fusion with the panchromatic band and segmentation by the mean shift algorithm. In order to classify the image, we applied the Geographic Object-Based Information Analysis (GEOBIA) technique, for allowing the partitioning of an image into objects and for contemplating different attributes (spectral, spatial, morphological, contextual and temporal), not limited to an analyze pixel by pixel. The results obtained show the efficiency of this approach in the classification of land use and vegetation cover at watersheds, also presenting the advantages of low relative cost and less time in the execution in relation to other classification methodologies, being an alternative for the action of environmental managers.

Palavras-chave: remote sensing, watershed planning, object oriented classification. sensoriamento remoto, planejamento de bacias hidrográficas, classificação orientada ao objeto

1. Introdução

Nas últimas décadas, em especial a partir dos anos 1990, a conservação ambiental e a preservação dos ecossistemas vêm ganhando papel de destaque nos mais diversos campos da ciência, em consequência das ações antrópicas sobre o uso e cobertura da terra (Rimal, 2011).

As principais forças motrizes das mudanças no uso e cobertura da terra estão relacionadas a expansão urbana e a atividade agropecuária, porém, os benefícios econômicos provenientes dessas atividades devem ser ponderados em relação aos seus impactos sobre o meio ambiente e a qualidade de vida da população (Yuan et al., 2005; Costa, 2012). A ocupação desordenada inevitavelmente gera impactos, tais como perda de biodiversidade, impermeabilidade do solo, que acarreta em um maior escoamento superficial e uma menor infiltração, além do risco de movimentos de massa quando essa ocupação se dá em áreas de relevo acentuado (Pereira e Pereira, 2012).

Neste contexto as bacias hidrográficas se tornam uma importante unidade de análise e gerenciamento da paisagem, já que é uma área fechada e bem delimitada, como afirma Gomes

(2010). Considerando então a escala de análise das bacias hidrográficas, as mudanças da cobertura natural para usos como o urbano, a agricultura ou reflorestamento impactam a disponibilidade de água e a interação da água superficial e subsuperficial, afetando, desta forma, todo o ecossistema e a área abastecida por essa bacia (Butt et al., 2015).

Assim sendo, a realização de uma análise dentro da área de uma bacia hidrográfica se torna mais eficiente já que se conhece bem os seus limites. No entanto, ainda sim, a grande dificuldade encontrada para o monitoramento das mudanças no uso e cobertura da terra nas bacias hidrográficas reside na falta de recursos humanos e financeiros, além da ausência de informações, sendo, ainda, todos esses fatores aliados às grandes extensões territoriais das bacias hidrográficas (Nascimento et al., 2005). Um dos principais problemas encontrados no estudo de bacias hidrográficas é que a dinâmica de uso do solo é relativamente rápida e acompanhar e atualizar estes dados são ações imprescindíveis.

Mediante ao cenário de exploração excessiva exercida pelas atividades antrópicas sobre os ecossistemas, o uso de técnicas do Sensoriamento Remoto (SR) torna-se uma alternativa para amenizar esta relação conflituosa, em decorrência do baixo custo relativo da aquisição dos dados, periodicidade e visão sinótica do ambiente (Guerrero, 2011).

Para a obtenção de produtos finais advindos do sensoriamento remoto, tais como os mapas temáticos de uso do solo, faz-se uso de diferentes *softwares* e técnicas de classificação. Neste trabalho, a técnica utilizada para a confecção dos mapas foi a classificação orientada ao objeto, que, ao invés de classificar os *pixels* individualmente quanto às suas características espectrais, considera informações extraídas dos geo-objetos gerados pelo processo de segmentação da imagem (passo preliminar que divide a imagem em objetos homogêneos e contíguos), tais como a resposta espectral média, a variância, as dimensões, a forma e a textura (Ribeiro e Kux, 2009), possibilitando, assim, a aquisição de informações mais precisas e detalhadas, bem como o consequente aprimoramento de produtos finais, como os mapas temáticos.

Trabalhos comparando os métodos tradicionais de classificação baseada em *pixels* com o método de classificação orientada a objetos vêm sendo realizados no Brasil, atestando a superioridade deste último. Destacam-se os trabalhos de Antunes (2003), Alves et al. (2009), Luz et al. (2010) e Pinho et al. (2012). Duveiller et al. (2008) consideram que as melhorias ocorridas no processo de segmentação de imagens tornaram a classificação orientada a objetos importante ferramenta para delinear classes de uso e cobertura da terra de forma eficiente.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi propor e demonstrar a aplicabilidade da classificação orientada ao objeto como alternativa para a elaboração de mapas temáticos mais detalhados sobre o uso do solo, subsídio este de estimada relevância para o planejamento territorial em bacias hidrográficas, utilizando como região de interesse a bacia hidrográfica do Rio Clarinho, no Estado de São Paulo.

2. Metodologia de trabalho

A área de estudo escolhida para este trabalho foi a bacia hidrográfica do Rio Clarinho, um dos principais afluentes do Rio Claro, importante manancial de fornecimento de água para a sua região. A bacia está localizada na região nordeste do Estado de São Paulo, pertencendo totalmente ao município de Santa Rita do Passa Quatro, distante 260 km da capital, São Paulo.

Quanto ao clima, a região apresenta verão quente e úmido e inverno frio e seco, com temperaturas anuais médias no entorno de 22°C. O regime pluviométrico anual é de 1300 mm (Santos et al., 2015). Esta bacia está sobre os aquíferos sedimentares Guarani, Santa Rita do Passa Quatro e Quaternário e o aquífero fraturado Intrusivas Básicas (Lorandi et al.; 2014). Essencialmente formada por paisagens rurais, conforme estudos realizados por Guerrero et al.

(2016), onde destaca se que a vegetação florestal nativa foi substituída por cultivos de cana-de-açúcar e mais recentemente de eucalipto, além das pastagens e campos.

A região está localizada na unidade morfoescultural da bacia do Paraná, com base na classificação de Ross e Moroz (1985), representada pela unidade morfoescultural Patamares Estruturais de Ribeirão Preto e Unidade Depressão de Moji Guaçu. Ressalta-se que a bacia pertence à Bacia Sedimentar do Paraná, sendo constituída pelas formações Geológicas Pirambóia, Santa Rita do Passa Quatro, Intrusivas Básicas, Depósitos Recentes e Botucatu (Guerrero et al.; 2016). Na Figura 1, apresenta-se a localização geográfica da área de estudo.

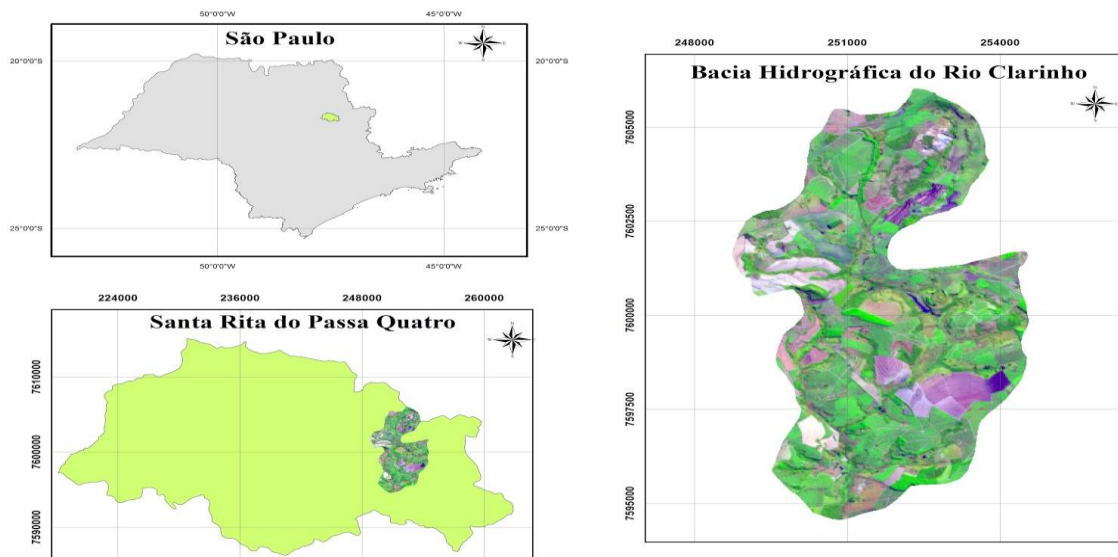


Figura 1. Localização geográfica da bacia hidrográfica do Rio Clarinho, em Santa Rita do Passa Quatro, SP.

2.1. Materiais

Para a realização deste trabalho foi necessária a obtenção e processamento de uma cena do sensor OLI a bordo do satélite LandSat 8, datada de 13 de julho de 2016, obtida através do site *LandViewer* (<http://lv.eosda.com/>). Com a obtenção das sete bandas espectrais, sendo 6 delas com resolução espacial de 30m e a banda 8 a pancromática de 15 m.

A delimitação espacial da bacia hidrográfica do Rio Clarinho foi realizada com a utilização da carta topográfica elaboradas e disponibilizadas pelo IBGE, mais precisamente com a folha de Santa Rita do Passa Quatro na escala 1:50.000. A identificação da localização da bacia foi realizada a partir da malha municipal do estado de São Paulo, igualmente disponibilizada pelo IBGE. Por fim, a análise e o processamento dos dados espaciais foram realizados em ambiente ArcGIS 10.3.1, sendo este capaz de contemplar as necessidades técnicas para a segmentação e classificação orientada ao objeto.

2.2. Método

Para a análise do atual uso do solo e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Rio Clarinho foi realizada a classificação orientada a objeto da imagem LandSat 8. Por ser uma região declivosa e heterogênea quanto ao uso e ocupação do solo, foi adotada a abordagem *Geographic Object-Based Information Analysis* - GEOBIA (Hay e Castilla, 2008), visto que uma abordagem *pixel-a-pixel* não contemplaria a quantidade de objetos diferentes presentes na área do *pixel* da imagem utilizada, provocando erros de omissão, além de confusão ocasionada pela mistura espectral provocada pela interferência de diferentes objetos dentro da área de um mesmo *pixel*.

Desta forma, por permitir o particionamento de uma imagem em objetos (o que se assemelha à maneira pela qual os seres humanos organizam a paisagem para compreendê-la),

a abordagem GEOBIA representa aumento de possibilidades de análise para o planejamento ambiental, uma vez que uma quantidade maior de características e atributos do sensoriamento remoto pode ser contemplada, tais como as espectrais (bandas multiespectrais), espaciais (área, direção, distância, largura), morfológicas (parâmetros de forma e textura), contextuais (relação de vizinhança e análises de proximidade) e temporais (séries temporais) (Marpu, 2009).

Sendo assim, o trabalho foi dividido em cinco etapas principais. A primeira etapa consistiu na obtenção de dados cartográficos da região. Tanto as imagens orbitais, quanto os produtos cartográficos, tais como cartas topográficas e malhas territoriais, foram obtidos gratuitamente.

Posteriormente, na segunda etapa, foram realizados os tratamentos iniciais dos dados, que envolveu a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Clarinho, a qual foi realizada manualmente no software ArcGis por meio da identificação dos divisores de água e pontos de maior conta que contribuem para a dinâmica fluvial do rio. As imagens orbitais, foram pré-processadas, etapa em que foi necessário realizar uma transformação radiométrica das bandas, já que durante o processamento dos dados brutos do sensor OLI as imagens são convertidas de 16 para 8 bits com o intuito de diminuir o tamanho dos arquivos (Santos, 2013).

Depois, foram feitas diversas composições coloridas em RGB através da ferramenta “*Composite Bands*”, com o objetivo de identificar qual a mais efetiva relação entre as bandas espectrais para melhor analisar a composição do uso do solo local. Foi escolhida a composição R6G5B4 em falsa cor. Ainda dentro do pré-processamento das imagens, foi realizada uma fusão das bandas espectrais de 30 metros de resolução com a banda pancromática de 15 metros de resolução. O procedimento de fusão das imagens foi realizado por meio da ferramenta “*Pan-Sharpening*”, que nada mais é do que a ação de colorir a imagem pancromática com as informações da composição RGB feita anteriormente, atingindo então uma resolução espacial de 15 metros na imagem LandSat 8.

A terceira etapa consistiu na performance da classificação orientada ao objeto. Como primeiro passo metodológico foi realizado a segmentação da imagem ou seja, os *pixels* da imagem são agrupados em regiões onde cada *pixel* apresenta características parecidas quanto à sua intensidade espectral, dividindo a imagem em zonas homogêneas.

O procedimento de segmentação se deu a partir do algoritmo *MeanShift* disponível no ArcGis 10.3.1, onde foram selecionados parâmetros de detalhe espectral, detalhe espacial e tamanho mínimo do segmento de acordo com as características da imagem e os padrões dos atributos do terreno. Após a segmentação foram elencadas áreas de treinamento para a determinação dos tipos de uso os quais os segmentos produzidos pertenciam, desta forma foi possível a aplicação do algoritmo de classificação *Maximum Likelihood*, pois foi o que obteve a melhor eficiência de classificação.

A quarta etapa consistiu em analisar os resultados obtidos através da aplicação da metodologia proposta e avaliar se a metodologia da GEOBIA pode ser considerada uma boa ferramenta para o planejamento de bacias hidrográficas e de tomada de decisão por gestores ambientais.

Por fim, a última etapa consistiu na avaliação da acurácia do mapeamento, que se deu a partir da elaboração de uma matriz de erro (Jensen, 2015), onde foram comparados sistematicamente 210 pontos aleatoriamente distribuídos entre os 7 tipos de uso do solo e cobertura vegetal classificados com a amostragem proveniente dos tipos de uso de referência utilizadas como verdade de mapeamento. Com base na matriz de erro elaborada foi possível o cálculo do índice Kappa, que, segundo Jensen (2015), é considerado uma das principais técnicas multivariadas discretas para o uso em avaliação de acurácia. O coeficiente Kappa necessitou da matriz de erro, pois ele é uma medida de concordância entre a classificação e a referência indicado pela diagonal principal da matriz e pela possibilidade de concordância,

definida pelos totais de linhas e colunas (Jensen, 2009), podendo ser definido de acordo com a Equação 1, expressa abaixo (Guimarães, 2016):

$$Kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

Onde $P_o = \frac{\text{número de concordâncias}}{\text{número de concordâncias} + \text{número de discordâncias}}$

e $P_e = \sum_{i=1}^n (p_{i1} \times p_{i2})$
 n é o número de categorias
 i é o índice da categoria
 p_{i1} é a proporção de ocorrência da categoria i para o avaliador 1;
 p_{i2} é a proporção de ocorrência da categoria i para o avaliador 2 (1)

A avaliação da razoabilidade da concordância da classificação é realizada através da interpretação proposta por Landis e Koch (1977), expressa na Tabela 1:

Tabela 1. Avaliação da concordância da classificação

Valor do coeficiente Kappa	Interpretação
< 0	Concordância Pobre
0.00 – 0.20	Concordância Leve
0.21 – 0.40	Concordância Justa
0.41 – 0.60	Concordância Moderada
0.61 – 0.80	Concordância Substancial
0.81 – 1.00	Concordância Quase Perfeita

3. Resultados e discussão

3.1. Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal

Como resultado, foi obtida a carta de Uso do solo e cobertura vegetal de 2016 (Figura 3), na qual foram identificados sete tipos de uso:

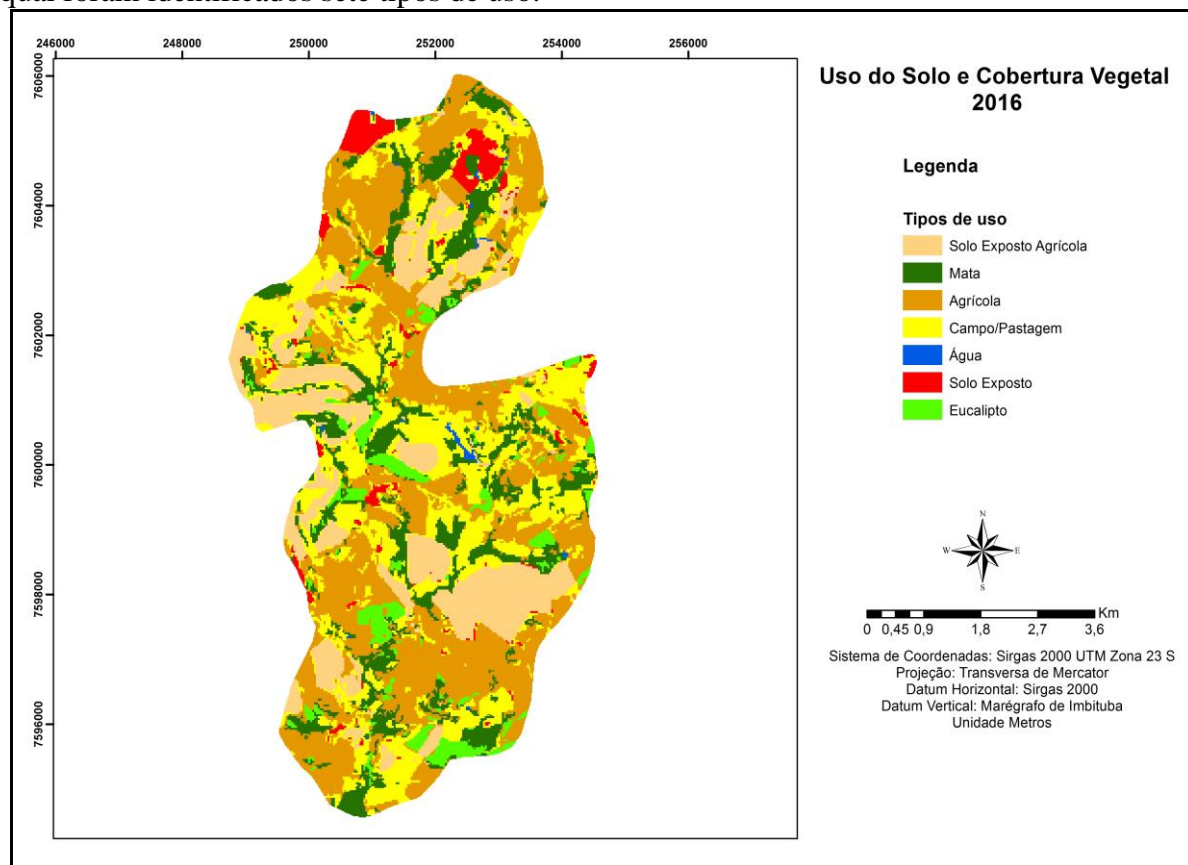


Figura 2. Carta de uso do solo e cobertura vegetal obtida para a bacia hidrográfica do Rio Clarinho.

A área recoberta por cada tipo, bem como a porcentagem correspondente ao total da área da bacia são mostradas na Tabela 2:

Tabela 2. Tipos de uso, Áreas que recobrem e a porcentagem em relação ao total da área

<i>Tipos de uso</i>	<i>Área Km²</i>	<i>% total</i>
Solo Exposto Agrícola	6,90	16,5
Mata	5,80	14,5
Uso Agrícola	14,00	34,3
Campo / Pastagem	10,80	25
Água	0,11	0,5
Solo Exposto	1,35	3,5
Eucalipto	1,85	4,5

A maior parte do uso do solo da bacia é voltada para a produção agrícola (34,3% se agruparmos os tipos de atividade agrícolas, os mesmos somam mais de 50% da área da bacia hidrográfica). A produção agrícola desta área é totalmente composta por cultivos de cana-de-açúcar, gerando diversas preocupações quanto ao manejo dos solos em grandes extensões de produção, ao uso de produtos fitossanitários potencialmente contaminadores de solo e água e à degradação proveniente da utilização de monoculturas.

Os solos expostos de origem agrícola representam uma área de 16,5% do total. Neste trabalho este tipo foi separado do cultivo agrícola pois possuem uma dinâmica diferente que deve ser levada em conta em estudos que contemplem o planejamento de bacias. Por mais que estes representem uma área na entressafra da produção canavieira, sua dinâmica de interação com os demais fatores do meio físico é diferente, tendo em vista que os solos ficam totalmente desprotegidos, suscetíveis à ação das gotas de chuva e conseqüente erosão e perda de solos agricultáveis.

Uma situação preocupante que a carta nos permitiu analisar é que apenas 14,5% da área da bacia é recoberta por matas, indicando assim que os solos estão relativamente desprotegidos e os recursos hídricos estão degradados, já que as matas são eficientes na contenção de processos erosivos e um bom indicador de qualidade da água.

Os campos e pastagens são integrados em um só tipo de uso devido às suas respostas espectrais muito parecidas que dificultam a distinção entre os tipos de uso. 25% da bacia é recoberta por este tipo, que por mais que indique que diversas áreas foram desmatadas, ainda oferece certo grau de proteção ao solo.

A representatividade do tipo de uso “Água” nesta carta é muito pequena devido à resolução espacial das imagens utilizadas e à falta de rios de grande porte na área. Este tipo indica que existem apenas alguns lagos artificiais e pequenos represamentos do rio Clarinho.

A silvicultura na região ainda é uma atividade em início de desenvolvimento, com apenas 4,5% da área ocupada por essa atividade, porém vem se intensificando por toda região sudeste do Brasil por ter uma boa rentabilidade econômica. É, também, uma atividade que necessita de um manejo adequado para que não prejudique os solos nem os recursos hídricos, já que também é uma atividade potencialmente degradadora.

Por fim, os solos expostos ocupam 3,5 % da bacia. O número parece inexpressivo, porém este tipo tem um potencial alto de degradação ambiental. Mais preocupante ainda é a situação das áreas de solo exposto localizadas ao norte da bacia do rio Clarinho, já que são voçorocas de grande extensão que colocam em risco a qualidade ambiental através do assoreamento e contaminação dos corpos hídricos além de gerarem riscos sociais às pessoas que acessam o local.

3.2. Avaliação da acurácia do mapeamento

A partir da análise dos 210 pontos coletados, o índice Kappa calculado para o mapeamento foi de 0,76, indicando que a classificação realizada está no limiar entre concordância substancial e concordância quase perfeita, comprovando a eficácia desta abordagem.

4. Considerações Finais

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que a metodologia da Classificação Orientada ao Objeto (GEOBIA) é uma ferramenta que pode ser implementada no planejamento e gestão de bacias hidrográficas, já que permite diagnosticar a atual situação da bacia quanto ao seu uso do solo com baixo custo relativo e menor tempo de execução se comparado a outras metodologias de classificação.

A rapidez de execução desta proposta metodológica e a periodicidade de revisita relativamente alta do Satélite LandSat 8 é capaz de sanar uma das maiores dificuldades de quem atua na área ambiental: a manutenção de uma base de dados atualizada, já que o uso do solo é bastante dinâmico em alguns casos, é necessário manter os dados atualizados garantindo a eficácia dos estudos de planejamento.

É importante ressaltar que a carta de uso do solo e cobertura vegetal é básica para qualquer estudo de planejamento, na identificação de conflitos de uso com a análise de outros parâmetros do meio físico e biológico, permitindo assim a proposição de ações e áreas prioritárias para intervenções dos gestores.

Referências Bibliográficas

- Alves, C. D.; Pereira, M. N.; Florenzano, T. Z.; Souza, Í. de M. Análise orientada a objeto no mapeamento de áreas urbanas com imagens Landsat. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.15, n.1, p.120-141, 2009.
- Antunes, A. F. B. **Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial**. 2003. 147p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- Butt, A.; Shabbir, R.; Ahmad, S.S.; Aziz, N. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v.18, n. 2, p. 251-259, 2015.
- Costa, J. S. **Aplicação de Métodos de Sensoriamento Remoto para Mapeamento da Área de Preservação Permanente (APP) do Lago da Usina Itaipu**. 2012. 151 p. Monografia (Graduação em Geografia) - Departamento de Geociências - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.
- Duveiller, G.; Defourny, P.; Desclée, B.; Mayaux, P. Deforestation in Central Africa: estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts. **Remote Sensing of Environment**, v.112, n.5, p.1969-1981, 2008.
- Guerrero, J.V.R. **Estudo de impacto na vegetação e solo na mina de urânio em Caldas, Minas Gerais, através de imagens multitemporais**. 2011. 31p. Monografia (Graduação em Geografia). Instituto de Ciências da Natureza. Universidade Federal de Alfenas. 2011.
- Guerrero, J. V. R; Lollo, J. A.; Lorandi, R. Cartografia Geoambiental como base para planejamento territorial na bacia do rio Clarinho, SP. **Revista Brasileira de Cartografia** (2016), N0 68/2, Edição Especial Aplicações dos SIG: 313-326 Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto ISSN: 1808-0936.
- Guimarães, P.R.B. **Análise de Correlação e medidas de associação**. UFPR. 15pg. 2016. Disponível em <https://docs.ufpr.br/~jmarc/correlacao.pdf>. Acesso em 12/08/2016

Hay, G. J.; Castilla, G. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline? In: **Object-Based Image Analysis – Spatial Concepts for Knowledge-driven Remote Sensing Applications**, T. Blaschke, T., Lang, S., Hay, G. J., (editores), SpringerVerlag, 1.4, p. 81- 92, 2008.

Jensen, J.R; Image Quality Assessment and Statistical Evaluation. In: Jensen, J, R; (2015) **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. Pearson 4ª edição. South Carolina University., 2015. 544p.

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Landis, J.R; Koch, G.G; An Application of Hierarchical Kappa-type Statistics in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers. **Biometrics**, v. 33, n. 2, p. 363-374, 1977.

Lorandi, R.; Lollo, J. A.; Guerrero, J. V. R. Carta de unidades aquíferas aplicada ao Zoneamento (Geo)Ambiental- Estudo de Caso na Bacia do Rio Claro. In: 14º Congresso Nacional de Geotecnia. **Anais**. p. 1- 6, 2014.

Luz, N. B. Da; Antunes, A. F. B.; Tavares Júnior, J. B. Segmentação multirresolução e classificação orientada a objetos aplicados a imagens Spot-5 para o mapeamento do uso da terra. **Floresta**, v.40, p.429-446, 2010.

Marpu, P. R. **Geographic Object-based Image Analysis**. 2009. 121 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Faculty of Geosciences, Geo-Engineering and Mining Technische Universität Bergakademie, Freiberg, 2009.

Nascimento M. C. do; Soares V. P.; Ribeiro, C. A. A. S.; Silva, E. Delimitação automática de áreas de preservação permanente (APP) e identificação de conflito de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Alegre. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. **Anais...XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia/GO: INPE, 16-21 abril 2005, p. 2289-2296. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.18.18.26/doc/2289.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

Pereira, L. E.; Pereira, J. G. Identificação e análise das áreas de vulnerabilidade ambiental da cidade de Corumbá (MS). **Revista Geografia**, Londrina, v.21, n. 1, p. 085-101, 2012.

Pinho, C. M. D. de; Fonseca, L. M. G.; Korting, T. S.; Almeida, C. M. de; Kux, H. J. H. Land-cover classification of an intra-urban environment using high-resolution images and object-based image analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v.33, p.5973-5995, 2012.

Santos, F. A. C.; dos Santos, C. A. C.; da Silva, B. B.; Araújo, A. L.; Cunha, J. E. D. B. L. Desempenho de metodologias para estimativa do saldo de radiação a partir de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 295-306, 2015.

Ribeiro; B. M. G.; Kux, H. J. H. Classificação Orientada a Objeto para Mapeamento do Uso do Solo - Métodos de Análise de Expansão Urbana. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, Brasil, 25 - 30, abril, 2009. INPE, p. 7893 - 7900.

Rimal, G. Urban Growth and Land use/Land cover change of Biratnagar Sub-Metropolitan city, Nepal. **Applied Remote Sensing Journal**. Montreal, v. 2, n.1, p. 6-15, 2011.

Yuan, F.; Sawaya, K. E.; Loeffelholz, B. C.; Bauer, M. E. Land cover classification and change analysis of the twin cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal Landsat remote sensing. **Remote Sensing of Environment**. New York, v. 98, n.2, p.317- 328, 2005.