DOI: 10.22411/rede2016.1002.03

REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA ISSN: 1982-5528

Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br Fortaleza, BRA

CLASSIFICAÇÃO GEOBIA APLICADA A GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: O CASO DA MICROBACIA DO CÓRREGO MONTE ALEGRE

Geobia classification applied to the wathershed management: case of wathershed of monte alegre stream

Saulo de Oliveira Folharini [1]
Sirius Oliveira Souza [2]

RESUMO:

A gestão de bacias hidrográficas adota mecanismos legais e técnicos que aplicados no território têm por objetivo melhorar a qualidade ambiental. Entre os mecanismos técnicos, a interpretação e classificação de imagens de satélite é amplamente difundida nos estudos de planejamento. Uma possibilidade de classificação, que ganha importância na atualidade é a GEOBIA (*Geographic Object Based Image Analysis*) que interpreta, além dos padrões espectrais da imagem, os padrões de forma dos objetivos captados pelo sensor, tornando a classificação mais acurada. Portanto, ao ser aplicada em imagens de alta resolução *Rapideye* os resultados são mais detalhados, tornando esse método de classificação indicado ao planejamento de microbacias hidrográficas. O objetivo do presente estudo foi realizar um diagnóstico do uso e ocupação da bacia do córrego Monte Alegre aplicando a técnica GEOBIA, testando sua acurácia com pontos validados em campo. Os resultados demonstraram que a microbacia tem mais de 75% de sua área ocupada por algum tipo de atividade antrópica e a validação da classificação obteve índice Kappa de 0,85.
Palavras-Chave: Uso e ocupação, Sensoriamento Remoto, Planejamento Ambiental.

ABSTRACT:

The watershed management adopts legal and technical mechanisms that applied in the territory aims to improve the environmental quality. Among the technical mechanisms the interpretation and classification of satellite images is widespread in planning studies. A possibility of classification, which becomes more important at the present time, is the GEOBIA (Geographic Object Based Image Analysis) which interpret beyond the spectral patterns of the image, form patterns of the objectives raised by the sensor, making more accurate the classification. Thus, when applied in high-resolution images RapidEye, the results are more detailed, making this classification method given to planning watersheds. The aim of this study was an diagnostic of the use and occupation of the stream basin Monte Alegre applying GEOBIA technical, testing its accuracy with points validated in field. The results showed that the watershed have more than 75% of its area occupied by some kind of human activity and validation of the classification obtained Kappa index of 0.85.
Keywords: Land and use, Remote Sensing, Environmental Planning.

[1] Ms em Geografia e doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. sfolharini@gmail.com
[2] Ms em Geografia e doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. biogeografia1@gmail.com

INTRODUÇÃO

A busca por informações relacionadas ao espaço geográfico, desde o século XIX, como por exemplo: a distribuição territorial de recursos minerais, a distribuição das zonas industriais, a distribuição da flora e da fauna, dentre outros, sempre representou uma parte importante dos estudos geográficos. No entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas impressos. Hoje, vive-se a era das tecnologias, e o desenvolvimento de softwares e modelos matemáticos focados na análise espacial, proporciona possibilidades diversas, dentre elas a capacidade de armazenar, recuperar e combinar os dados disponíveis sobre um determinado sistema ambiental (CRUZ e CAMPOS, 2005).

Atualmente os enfoques dos trabalhos ambientais têm considerado a necessidade de diminuição dos impactos urbanos, além da conservação do solo, da produção de energia, dentre outras ações, a fim de tornar o uso dos recursos naturais mais sustentáveis. Neste contexto, segundo Oliveira et al., (2010) a bacia hidrográfica tem sido amplamente utilizada como recorte espacial em determinados estudos geográficos, ao passo que vários autores apontam a bacia hidrográfica como uma unidade ambiental que possibilita tratar dos elementos e da dinâmica necessária ao planejamento e a gestão dos sistemas ambientais.

Para Ross (2003), é inequívoco que qualquer interferência realizada nos sistemas naturais necessite de estudos prévios, ou seja, a busca pelo conhecimento do quadro ambiental onde se deseja atuar. Neste contexto, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL,1997), incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão. Assim, é de notável importância para gestores e pesquisadores a compreensão do conceito de bacia hidrográfica e suas representações.

Diversas definições de bacia hidrográfica foram formuladas ao longo do tempo (STRAHLER, 1952; CHRISTOFOLETTI, 1991; GUERRA e CUNHA, 1997). Na maioria dos conceitos há uma eminente semelhança e consideração deste recorte espacial, baseado na área de concentração de determinada rede de drenagem. Assim, se considera bacia hidrográfica ou bacia de drenagem, a área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, onde ocorre a captação da água precipitada convergida para a desembocadura. Tal conceito abrange todos os espaços de entrada, circulação, armazenamento e saída de água e materiais por ela transportados, constituindo um sistema de drenagem hierarquicamente organizado (CHRISTOFOLETTI, 1991; CUNHA e GUERRA, 2003).

Considerando o exposto, a bacia hidrográfica pode ser utilizada como unidade territorial em estudos com objetivo de planejar e gerenciar o território, por não se restringir ao limite político-administrativo. Em seu território é possível compreender, mais facilmente, a interação entre os componentes e os processos que atuam na organização da paisagem.

A bacia hidrográfica também pode ser dividida em sub-bacias e microbacias, as quais estabelecem unidades de estudo e planejamento, definidas operacionalmente em função das aplicações a que se destinam. No Brasil, o Decreto/Lei nº 94.076, de 05 de março de 1987 (BRASIL,1987), define a microbacia como uma área drenada por um curso d'água e seus afluentes, a montante de uma determinada seção transversal, para a qual convergem as águas que drenam a área considerada, Calijuri e Bubel (2006) complementam ao considerarem microbacias como unidades espaciais menores, formadas por canais de primeira e segunda ordem e, em alguns casos, de terceira ordem, devendo ser definida como base na dinâmica de processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos.

Nesta perspectiva, o gerenciamento das microbacias deve ser integrado a bacia maior que pertença para alcançar o equilíbrio ambiental adequado. É o caso da microbacia do córrego Monte Alegre, localizada no município de São José do Rio Pardo, estado de São

Paulo, que faz parte da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do rio Pardo.

No planejamento das bacias hidrográficas compreender de que forma a sociedade humana ocupa seu território é essencial para a elaboração de instrumentos de gestão e planejamento compatíveis com as fragilidades e potencialidades do ambiente. Nesta perspectiva, o entendimento do uso e da ocupação da terra ao longo da bacia pode ser feito com o uso de geotecnologias, entendidas enquanto tecnologias utilizadas na coleta, processamento e análise de informações geoespaciais (ROSA, 2005).

Frequentemente o termo geotecnologias é utilizado para designar um conjunto de aparatos tecnológicos relacionados à computação (hardware, software, peopleware, arquitetura de banco de dados, metodologias de análise), aliados aos conhecimentos científicos que lhes são necessários para realizar a aquisição, o tratamento e a produção de informações de forma georreferenciada, agregando, portanto, o Sensoriamento Remoto (SR), a Cartografia Digital, o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e os Sistemas de Informações Geográficas (GIS) (MATIAS, 2001).

Dentre a gama de técnicas relacionadas ao SR, o Processamento Digital De Imagens (PDI) recebe destaque nas pesquisas geográficas ao possibilitar a extração de informações de imagens provenientes de sensores remotos, como os satélites, principalmente por possibilitar a classificação de imagens de satélite, processo pelo qual associa-se para cada pixel da imagem um rótulo descrevendo o objeto real (CROSTA, 1992).

Nesta construção de conhecimento e obtenção de informações sobre a superfície terrestre, as técnicas de classificação de imagens têm evoluído substancialmente com o desenvolvimento de novas metodologias e procedimentos de classificação de imagens, utilizando conceitos matemáticos que resultam em técnicas de classificação como à orientada a objeto.

Este tipo de classificação, também conhecida como GEOBIA (Geographic Object Based Image Analysis), consiste na interpretação não apenas das características espectrais da imagem, mas somada a essa, o contexto de distribuição, forma espacial e de textura (YAN et al., 2006).

A potencialidade da classificação GEOBIA em estudos de planejamento ambiental de bacias hidrográficas é evidenciada pelos estudos de Garófalo et. al. (2015), Rolim (2003), Wiggers e Ribeiro (2015). Considerando seus resultados, o presente estudo tem por objetivo diagnosticar as principais formas de uso e ocupação da terra na microbacia do córrego Monte Alegre - município de São José do Rio Pardo-SP.

METODOLOGIA

Localização da área de estudo

O córrego Monte Alegre localiza-se na região leste do município de São José do Rio Pardo, estado de São Paulo. Sua nascente é na Fazenda Vila Maria, em um pequeno vale com vegetação quase totalmente suprimida. A alta e média bacia localiza-se na área rural e a baixa bacia na área urbana do município (Figura 1).

A área é formada por embasamento rochoso de origem ígnea, com relevo de morros com forma mamelonar constituindo uma pequena serra, localizada no rebordo da Mantiqueira Ocidental. Essas formações são resultado da ativação de processos tectônicos e intrusões alcalinas do planalto de Poços de Caldas (FOLHARINI e OLIVEIRA, 2013; LEME, 1982).

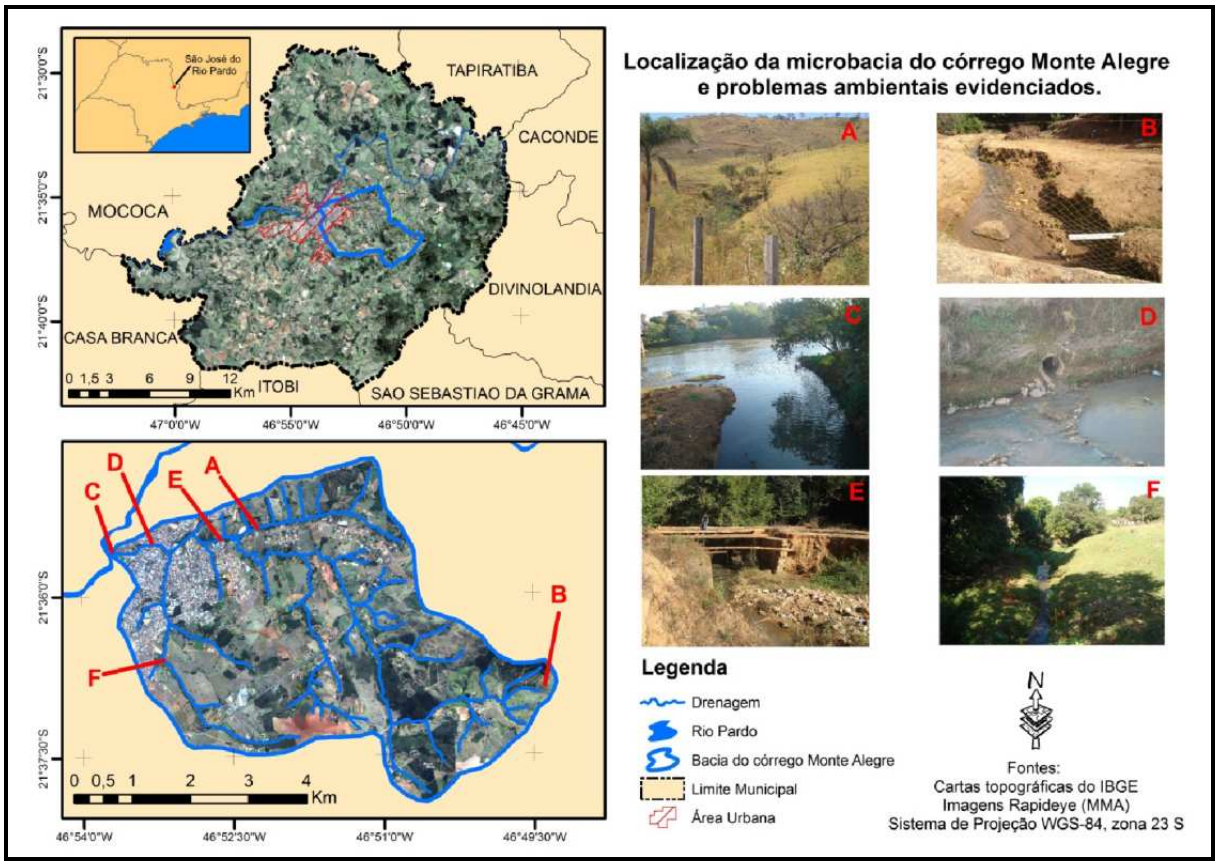


Figura 1 – Localização da área em estudo.

Na área rural a configuração da ocupação atual, com muitas chácaras e sítios produtores de verduras, cana de açúcar e café demonstra um cenário preocupante, caso medidas de mitigação de impactos ambientais não estejam em prática. A falta de manejo adequado do solo e a inadequada utilização de agrotóxicos nas lavouras podem resultar, respectivamente, no assoreamento e na poluição do córrego Monte Alegre.

A confluência com o córrego São José marca o início da passagem do córrego Monte Alegre pela área urbana do município. A partir desse ponto, outros tipos de impacto ambiental ocorrem, como o despejo de esgoto doméstico sem tratamento e a intensificação de pontos de erosão pela retirada da mata ciliar que deu lugar a ruas, avenidas e construções.

Diante desse cenário de impactos ambientais se faz necessário um monitoramento, por imagens de satélite, para prevenir e minimizar esses eventos. Para tanto a utilização da classificação GEOBIA é uma importante ferramenta que trará precisão e conhecimento de forma holística do uso da terra da bacia hidrográfica.

Procedimentos Metodológicos

Para alcançar os objetivos propostos neste estudo, o mesmo foi dividido em três principais etapas: a primeira foi a revisão bibliográfica acerca do uso e da ocupação da terra em bacias hidrográficas continentais; a segunda, composta pela aquisição da imagem da constelação de satélites RapidEye e a realização de trabalhos de campo, pautados na observação e nos registros das classes de uso e ocupação presentes; e a terceira etapa caracterizada pela integração dos dados levantados em campo com os dados do sensor RapidEye em ambiente SIG, com uso do software Envi e pela redação final da pesquisa. Apresenta-se a seguir, o detalhamento dos principais procedimentos relativos à segunda e à terceira etapa.

Aquisição e processamento da imagem

Foram utilizadas imagens da constelação de cinco satélites *Rapideye* com resolução espacial de 6,5 m que após ortorretificação passam a 5 m, resultando em imagens compatíveis com a escala 1:25.000 e resolução temporal diária. Para a classificação foram utilizadas imagens das datas 17/07/2014 e 30/08/2014 adquiridas no Geocatálogo do Ministério do Meio Ambiente, por meio de um acordo de cooperação técnica firmado com o Núcleo de Estudos Ambientais e Litorâneos do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (RAPIDEYE, 2013).

As cinco bandas espectrais do satélite possuem comprimento de onda entre 440 μm e 850 μm. O *Rapideye* é o único sistema orbital com a banda *Red Edge*, específica para o monitoramento da atividade fotossintética da vegetação (PLANET, 2013).

No processamento de imagens de satélite é necessário que elas sejam pré-processadas, que consiste em procedimentos com objetivo de melhorar a qualidade do dado (LIU, 2006; MOREIRA, 2007).

Os procedimentos básicos empregados nesta etapa do estudo foram (MENESES e ALMEIDA, 2012):

- Correção geométrica é etapa fundamental para corrigir as distorções geométricas da imagem. Essas distorções ocorrem no posicionamento dos pixels;
- Equalização imagem que consiste no aumento do contraste de cada pixel em relação ao seu vizinho;
- Construção do mosaico que consistiu na composição de duas cenas *Rapideye* para abarcar toda a área da bacia

Com o mosaico finalizado, a área de estudo foi recortada e realizada a composição R(4) G(5) B(3) aumentando o contraste entre áreas de vegetação natural e áreas antrópicas, facilitando a identificação e seleção das amostras de classes.

Classificação GEOBIA

O fluxograma abaixo mostra as etapas da classificação GEOBIA (Figura 2):



Figura 2: Fluxograma de etapas do estudo.

A classificação GEOBIA enquadra-se no tipo de classificação por região, considerando na segmentação e classificação várias características da imagem, como heterogeneidade espacial (forma), assim como espectral (cor) e diferença dos objetos de entorno, utilizando em síntese o método de crescimento de regiões para agregar pixels vizinhos.

Moreira (2007) afirma que a classificação utiliza algoritmos cujo reconhecimento dos padrões espectrais na imagem se faz com base numa amostra de área de treinamento, que é fornecida ao sistema de classificação pelo analista, o que valida à necessidade do

conhecimento da área estudada e resulta em um melhor aprimoramento do mapa gerado.

Após a composição da imagem *Rapideye*, utilizou-se o módulo *Feature Extraction* do Envi, que possibilita a extração de informações e classificação de imagens com base em características espectrais, espaciais e de textura. Inicialmente, aplicou-se a segmentação da imagem em regiões homogêneas, com os limiares 45,1 para o item "*edge*", e 85,5 para "*merge setting*", ambos escolhidos por tentativa e erro, até a obtenção de um resultado satisfatório verificado de forma visual na imagem.

Os dois limiares são responsáveis por agrupar ou individualizar uma área, o limiar de similaridade é o valor mínimo para duas classes serem consideradas similares e agrupadas em uma região única, já o limiar de área é responsável por definir o número mínimo de pixels para uma área ser individualizada (MOREIRA, 2007).

Definidos os limares e realizada a segmentação da imagem, a etapa seguinte foi a classificação da imagem baseada nos objetos definidos anteriormente. Foi utilizado o algoritmo *Support Vector Machines* (SVM), desenvolvido por Vapnik (2005) que tem por objetivo determinar limites de decisão que resultam em uma separação ótima entre classes. A escolha pelo algoritmo SVM foi baseada na sua eficiência testada em estudo comparativo de Garofalo et. al., 2015.

As classes foram definidas considerando o Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013) e trabalho de campo que possibilitou o conhecimento *in loco* da área. Após considerar o exposto por IBGE (2016) e trabalho de campo foram definidas as seguintes classes: Café, Lavoura de Hortaliças, Cana de Açúcar, Pastagem, Área Pós Colheita, Solo Exposto, Área Urbana, Vegetação Natural, Vias de Circulação, Água.

Na figura 3 são expostos alguns exemplos da coleta de amostras considerando os objetos delimitados na etapa de segmentação.

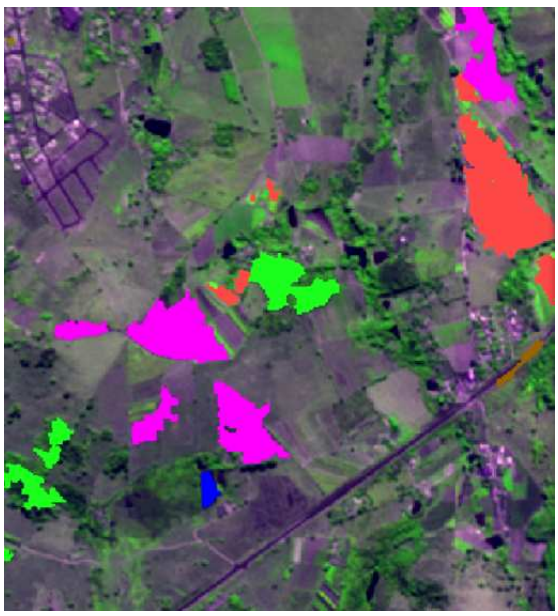


Figura 3: Exemplo de seleção de objetos para classificação.

O resultado final da classificação foi um *raster* convertido para polígono onde foi calculada a área ocupada por cada classe na totalidade da bacia.

Como etapa pós-processamento e para fins de validação foi gerada o índice *Kappa*, que mede a concordância entre a classificação e os dados de campo e varia de 0 a 1, conforme demonstrado na tabela 1.

Tabela 1: Classes do índice Kappa.

Índice *Kappa*	Desempenho
< 0	Péssimo
0 < k ≤ 0,2	Ruim
0,2 < k ≤ 0,4	Razoável
0,4 < k ≤ 0,6	Bom
0,6 < k ≤ 0,8	Muito Bom
0,8 < k ≤ 1,0	Excelente

Esse índice utiliza como base para cálculo a matriz de confusão, formada por um arranjo numérico que expressa o número de amostras relativas ao classificador e compara-as a amostras de campo (FIGUEIREDO e OLIVEIRA, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado da classificação foi organizado em um mapa (Figura 4) que mostra a imagem base do processamento e seu resultado.

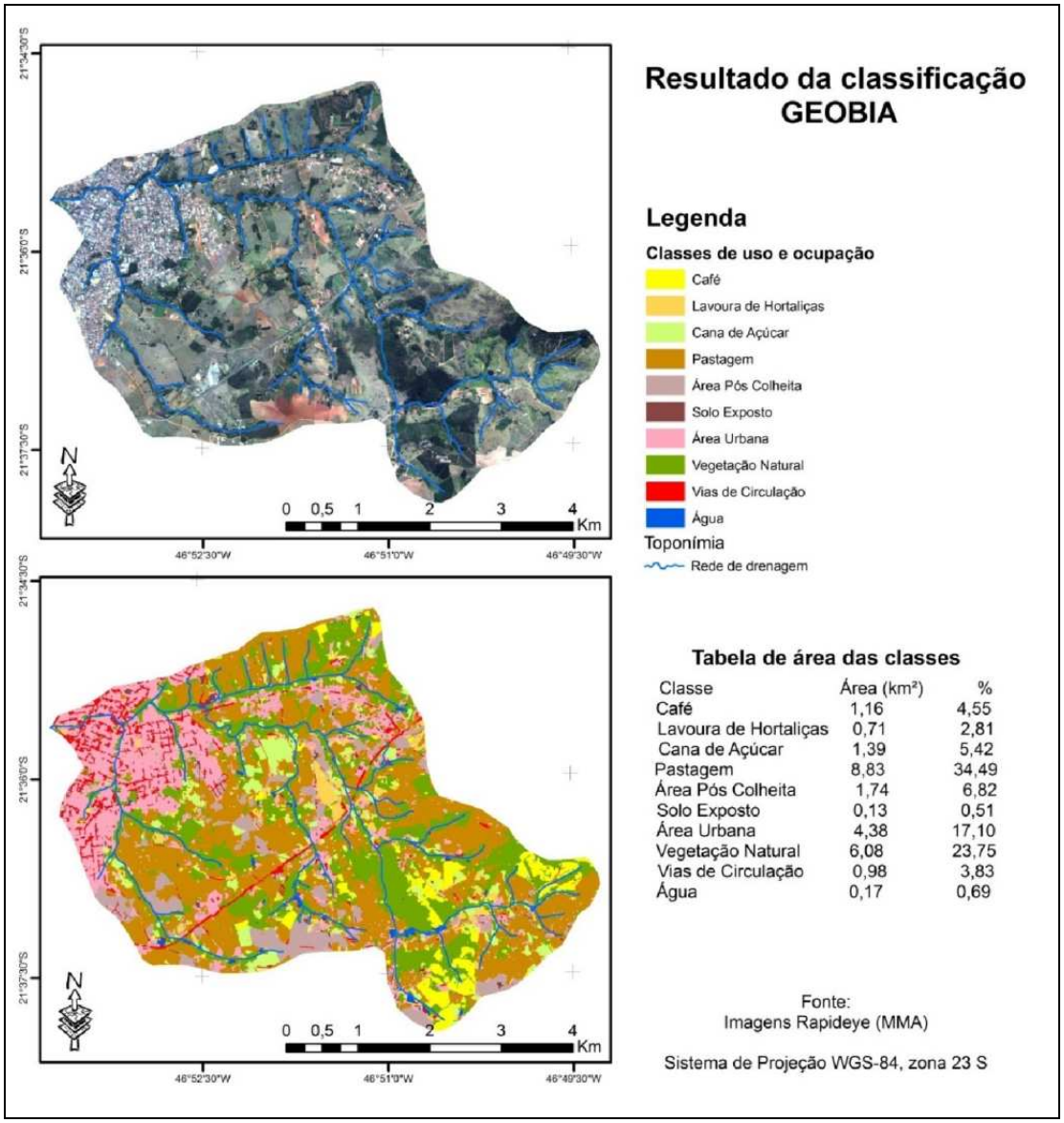


Figura 4: Imagem Base e Classificação de uso e ocupação da terra.

As classes pastagem (34,49%), solo exposto (0,51%), área urbana (17,10%) e vias de circulação (3,83) ocupam juntas 55,93% da bacia, indicando uma alta concentração de ocupação humana, cenário preocupante diante da localização dessas ocupações. A área urbana se concentra na baixa bacia e as áreas de pastagem são difundidas por toda a bacia, em muitas situações ao lado da rede de drenagem, evidenciando o não cumprimento dos dispositivos legais que tratam sobre áreas de preservação permanente.

Outras quatro classes representam 19,6% da área da bacia, área pós colheita (6,82%) que indica locais anteriormente ocupados por alguma cultura agrícola, mas que no momento estão cobertos apenas por material que sobrou da colheita, cana de açúcar (5,42%), café (4,55%) e lavoura de hortaliças (2,81%) que indicam áreas de propriedades rurais com pequenas lavouras com produção comercializada na cidade. Essas classes somadas às classes do parágrafo anterior somam 75,53% da área total da bacia, ou seja, mais de três quartos da área total foi alterada pela ocupação humana.

As duas últimas classes se referem ao quadro natural da bacia, dividido em vegetação natural (23,75%) e água (0,69%). A vegetação natural, constituída por remanescentes de floresta estacional, concentra-se na alta bacia do córrego Monte Alegre, mesmo assim grandes áreas, principalmente próximas à rede de drenagem tiveram a vegetação natural suprimida para fins de ocupação. Já a classe água, se refere, principalmente a represamentos realizados no leito da rede de drenagem com objeto de captar água para as plantações e criações de animais das propriedades rurais.

Entre os impactos ambientais observados o assoreamento da foz do córrego Monte Alegre (figura 1, foto C) e o lançamento de esgoto sem tratamento (figura 1, foto D) são alguns dos impactos mais recorrentes que resultam na diminuição da qualidade ambiental da microbacia.

O cenário, resultante da classificação, mostra uma intensa atividade humana em um córrego que faz parte da bacia do rio Pardo, principal rio do município e que é utilizado para abastecer a população, alterações na rede de drenagem acabam afetando toda a bacia do rio Pardo.

A análise qualitativa do uso e ocupação deve ser concomitantemente à análise quantitativa, visto que a discussão sobre a ocupação se baseia na análise dos dados estatísticos gerados na fase de pós-processamento.

Na análise quantitativa obteve-se índice *Kappa* com valor 0,85 e exatidão global 0,86, indicando a robustez do classificador SVM em imagens de alta resolução (tabela 4). Na análise quantitativa foram selecionadas áreas teste da microbacia, resultado da classificação correspondentes a *pixels* puros de cada classe definida no estudo.

O classificador SVM obteve 100% de acerto na avaliação da matriz de confusão nas classes água, área pós colheita e cana de açúcar. As classes vegetação natural, solo exposto, café e vias de circulação o classificador obteve erro de 6,8%, 7,95%, 9,09% e 9,09%, respectivamente. As classes pastagem e área urbana o erro foi de 13,63% e a classe lavoura de hortaliças o erro foi de 36%.

Esses valores salientam a confiabilidade do classificador no uso em imagens de alta resolução. O classificador SVM tem uma alta confiabilidade na discriminação de alvos com respostas espectrais semelhantes, este fato, somado ao uso de imagens de alta resolução são os fatores responsáveis pelo alto nível de acerto do classificador (ANDREOLA, 2009).

Tabela 4: Matriz de confusão.

Classe	Café	Água	Pastagem	Vegetação Natural	Área Pós Colheita	Área Urbana	Lavoura de Hortaliças	Solo Exposto	Cana de Açúcar	Vias de Circulação
Café	87	-	1	3	-	-	-	-	-	-
Água	-	55	-	-	-	-	-	-	-	-
Pastagem	-	-	29	-	-	4	-	2	-	-
Vegetação Natural	-	-	-	91	-	1	-	-	-	2
Área Pós Colheita	-	-	5	-	57	-	-	-	-	-
Área Urbana	-	-	2	1	-	37	4	5	-	5
Lavoura de Hortaliças	5	-	-	1	-	4	39	-	-	1
Solo Exposto	2	-	-	-	-	1	1	23	-	-
Cana de Açúcar	1	-	3	1	-	2	25	-	54	-
Vias de Circulação	-	-	1	-	-	-	2	-	-	80
Total	**95**	**55**	**41**	**97**	**57**	**49**	**71**	**30**	**54**	**88**

O erro na classe lavoura de hortaliças é justificável por serem áreas pequenas e com assinatura espectral próxima a classe cana de açúcar, indicativos do erro, diante da biomassa presente. Entretanto esse fato não diminui a qualidade final do resultado apresentado, já que o erro máximo obtido ainda demonstra uma elevada concordância espectral.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo, com objetivo de diagnosticar o uso e ocupação da bacia do córrego Monte Alegre utilizando o método de classificação GEOBIA obteve resultado que expressa a realidade da ocupação da área, comprovado com o cálculo de índice *Kappa* e matriz de confusão.

A metodologia apresentada é de fácil aplicação para pessoas com conhecimentos básicos de um SIG e pode ser amplamente utilizada por comitês de bacias e órgãos responsáveis pelo monitoramento ambiental, devido a disponibilidade de imagens *Rapideye* pelo Geocatálogo do MMA e facilidade de operação de softwares de processamento de imagens.

A análise do cenário de uso e ocupação da terra da microbacia do córrego Monte Alegre demostra que ela é intensamente ocupada pelo homem. Mesmo localizando-se em parte na área rural, ocorrem impactos ambientais com frequência como a retirada da cobertura vegetal natural, principalmente das margens da rede de drenagem.

Entre os impactos os mais evidentes além da retirada da cobertura vegetal são o assoreamento dos canais, seguido da contaminação da água pelo lançamento sem tratamento de agrotóxicos utilizados nas lavouras e o lançamento de esgoto sem tratamento quando o canal fluvial passa pela área urbana da cidade.

Para minimizar esse cenário, medidas de mitigação são fundamentais, entre elas a educação ambiental, o monitoramento constante do uso e ocupação e da qualidade da água.

Diante do exposto, o estudo alcançou o seu objetivo de aplicar a metodologia GEOBIA na microbacia hidrográfica do córrego Monte Alegre de forma satisfatória, demonstrando ser uma ferramenta importante para a gestão ambiental.

REFERÊNCIAS

ANDREOLA, R. **Support Vector Machines na classificação de imagens hiperespectrais.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009. 130f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2009.

BRASIL. Lei n. 9.433. de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, - Data da legislação: 08/01/1997 - Publicação DOU, de 09/01/1997. Brasília, DF.

BRASIL. Lei n. 94.076 de 05 de março de 1987. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, - Data da legislação: 05/03/1987 - Publicação DOU, de 06/03/1987. Brasília, DF.

CALIJURI, M.C.; BUBEL, A. P.M. Conceituação de Microbacias. In: LIMA, W. P. e ZAKIA, M. J. B. (org.). **As Florestas Plantadas e a água**. Ed. RIMA, CNPq, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A.L.H. **Estudo sobre a sazonalidade da precipitação na bacia do Piracicaba.** São Paulo: Universidade de São Paulo. 1991. 175f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, SP: UNICAMP, 1992. 170p.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**, 3ª Edição, Editora Bertrand Brasil, RJ, 2003. 210p.

CRUZ, I.; CAMPOS, V. B. G. Sistemas de informações geográficas aplicados à análise espacial em transportes, meio ambiente e ocupação do solo. **Anais Rio de Transportes, III**, Rio de janeiro. 2005. Disponível em: http://www.ime.eb.br/~webde2/prof/vania/pubs/(15)SIG-AE2.pdf. Acesso em: 18 mar. 2016.

FIGUEIREDO, G. C; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto,** Florianópolis, Brasil, 21-26 de abril de 2007, INPE, p. 5755-5762. Disponível em <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.17.35/doc/5755-5762.pdf >. Acessado em 25 mar. 2016.

FOLHARINI, S. O.; OLIVEIRA, R. C. Proposta de zoneamento ambiental para o município de São José do Rio Pardo - SP. **Geografia (Londrina)**, v. 22, p. 95-116, 2013. Disponível em < http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/14294 >. Acessado em 25 mar. 2016.

GAROFALO, D. F. T.; MESSIAS, C. G; LIESENBERT, V.; BOLFE, E. L; FERREIRA, M. F. Análise comparativa de classificadores digitais em imagens do Landsat-8 aplicados ao mapeamento temático. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 50, n. 7, p. 593-604,

jul. 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2015000700593&lng=pt&nrm=iso>. Acessado em 25 mar. 2016.

GUERRA A. J. T. e CUNHA S. B. da. **Novo dicionário geológico-geomorfológico** – 8ª ed.- Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997. 648p.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual Técnico de uso da Terra.** 3ª ed**. (**Manuais técnicos em Geociências nº 7) Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/manual_usodaterra.shtml>. Acesso em: 18 mar. 2016.

LEME, S. M. **Compartimentação geomorfológica e organização do espaço em São José do Rio Pardo (SP).** São Paulo: Universidade de São Paulo. 1982. 215 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1982.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. 1. ed. Campo Grande: UNIDERP, 2006. 908 p.

MATIAS, L. F. **Sistema de Informações Geográficas (SIG): teoria e método para representação do espaço geográfico**. São Paulo: Universidade de São Paulo. 2001. 273 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia Humana da Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Ed. UNB. Brasília. 2012. Disponível em http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8, acessado em 18 mar. 2016.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2007.

OLIVEIRA, E. D.; CUNHA, M. C.; VESTENA, L. R. e THOMAZ, E. L. Aspectos Morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel, Guarapuava – PR. **Anais do V SimpGeo** (Simpósio Paranaense de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, UFPR, Curitiba, 2010. 36-51 p

PLANET. **Rapideye imagery product specifications**. 2016. Disponível em: < https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/160625-RapidEye%20Image-Product-Specifications.pdf >. Acesso em 18 mar. 2016.

ROLIM, F. A. Classificação orientada a objeto em imagens de alta resolução para auxílio ao monitoramento ambiental em uma microbacia hidrográfica. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**. n. 16. 2005. p.81-90.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Meio Ambiente e Planejamento.** 7ª Ed. São Paulo: Contexto. 2003.120 p.

STRAHLER, A. N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology.** Trans. American Geophysical Union, 38, 1952. 920 p.

VAPNIK, V. **The Nature of Statistical Learning Theory**. New York: Springer-Verlag, 1995.

YAN, G.; MAS, J.F.; MAATHUIS, B.H.P.; XIANGMIN, Z.; VAN DIJK, P.M. Comparison of pixel based and object oriented image classification approaches – a case study in a coal fire area, Wuda, Inner Mongolia, China. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, p.4039-4055, 2006.

WIGGERS, K. L.; RIBEIRO, S. R. A. GEOBIA em imagem *Rapideye* para classificação do uso e cobertura da terra mediante *Self-Organizing Maps* em uma área da Bacia do Pitangui – PR. **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto,** João Pessoa, Brasil, 25-29 de abril de 2015, INPE, p. 1439-1446. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0268.pdf >, acessado em 18 mar 2016.