



GEOPROCESSAMENTO APLICADO A AVALIAÇÃO AMBIENTAL DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DA BACIA DO RIO MELADEIRO, SP- BRASIL

Leticia Tondato Arantes¹
Camille Vasconcelos Silva²
Hetiany Ferreira da Costa³
Bruna Henrique Sacramento⁴
Darllan Collins da Cunha e Silva⁵
Roberto Wagner Lourenço⁶

Ações antrópicas sobre o meio ambiente

Resumo

As áreas de preservação permanente (APP) desempenham um papel fundamental na preservação da paisagem, dos recursos hídricos e da biodiversidade. Todavia, o aumento das ações antropogênicas vem contribuindo para a degradação e alterações nessas áreas, corroborando com uma série de impactos. Assim, esse trabalho objetivou analisar as áreas de conflitos do uso e cobertura da terra em áreas de preservação permanente (APP), e por fim, gerar o índice NDWI (Normalized Difference Water Index) nas APPs com o intuito de verificar o teor de umidade nessas áreas. O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do Rio Meladeiro -SP, por meio do uso do sistema de informações geográficas (SIG) e dados de sensoriamento remoto. Analisando o mapa de uso e cobertura do solo, foi possível constatar que a maior área da bacia se refere a classe de pastagem, seguido das áreas de matas. Ainda quando confrontado com os dados da APPs, nota-se que a área conflitante corresponde a 63,7% da área total, isto é, áreas que estão descumprindo os critérios estabelecidos pelo Código Florestal, necessitando medidas e políticas para a recuperação e preservação dessas áreas. Por fim, a partir do índice de NDWI constatou-se que as áreas com ausência de vegetação apresentaram menor teor de umidade, em contrapartida, as áreas adequadas resultaram em maiores valores. Evidenciando assim a importância da preservação das APPs para a conservação dos recursos hídricos, solo e biodiversidade.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; SIG; Índice de Vegetação.

¹ Aluna do Curso de doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Ciência e Tecnologia, leticia.tondato@unesp.br.

² Aluna do Curso de mestrado em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Ciência e Tecnologia, camille.vasconcelos@unesp.br.

³ Aluna do Curso de doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Ciência e Tecnologia, hetiany.fc@gmail.com.

⁴ Aluna do Curso de doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Ciência e Tecnologia, brunahsacramento@gmail.com.

⁵ Prof. Dr. da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Departamento de Engenharia Ambiental, darllan.collins@unesp.br.

⁶ Prof. Dr. da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Departamento de Engenharia Ambiental, roberto.lourenco@unesp.br.



INTRODUÇÃO

Nos últimos anos um dos grandes desafios, no que diz respeito a conservação ambiental, refere-se a medidas e recursos para a preservação e recuperação de áreas degradadas, caracterizadas como estratégicas para a conservação dos recursos naturais e da biodiversidade, como é o caso das áreas de preservação permanente (APP) (ALVES *et al.*, 2015). A remoção dessas áreas acarreta inúmeras mudanças no ambiente físico e no ciclo dos recursos hídricos, afetando de forma direta as áreas de proteção natural, gerando impactos ambientais e socioeconômicos (ALMEIDA *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2015; MAGDALENA *et al.*, 2018; FREITAS *et al.* 2013, SANTOS *et al.*, 2019).

Diante desse cenário surge a necessidade de estudos voltados a quantificação e monitoramento das mudanças e composição da paisagem (ANDRADE; LOURENÇO, 2016), bem como o estabelecimento de políticas públicas, de forma que possibilite o desenvolvimento econômico em conjunto com a preservação do meio ambiente.

Nessa perspectiva, uma das tecnologias que tem sido amplamente empregues com o intuito otimizar essas operações é o geoprocessamento (SOARES *et al.*, 2011), mais especificadamente o sensoriamento remoto, juntamente com os sistemas informações geográficas (SIG), caracterizadas como ferramentas eficientes para mapear os tipos de uso e cobertura do solo, geração de diferentes índices de vegetação como o Índice da Diferença Normalizada da Água (NDWI) (OLIVEIRA; GALVÍNCIO, 2008), permitindo análises em grande escala, de forma economicamente viável e um menor tempo (LO; CHOI, 2004; LEAL *et al.*, 2013; HU *et al.*, 2016), fornecendo subsídios para os órgãos gestores para o estabelecimento de ações de recuperação e/ou proteção das áreas degradadas, evitando assim maiores impactos nessas áreas.

O objetivo do estudo foi realizar o mapeamento da cobertura e uso do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Meladeiro, visando identificar os possíveis conflitos de uso existente nas áreas de preservação permanente e, por fim, gerar o índice físico denominado NDWI para verificar o teor de umidade nas áreas de preservação permanente, utilizando técnicas de geoprocessamento.

METODOLOGIA

Área de estudo

O município de Sorocaba está localizado na região sudeste do estado de São Paulo, sendo seu perímetro inserido na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI-10), abrangendo cerca de 34 municípios paulista, constituindo uma área de drenagem de 6.830 km², sendo o principal corpo d'água denominado Rio Sorocaba (IGC, 2014).

A área de estudo selecionada foi a bacia hidrográfica do Rio Meladeiro, localizada no município de Sorocaba, com uma área de 4,4 km² (Figura 1), inserida na sub-bacia do Rio Pirajibu Mirim pertencente a UGRHI 10.

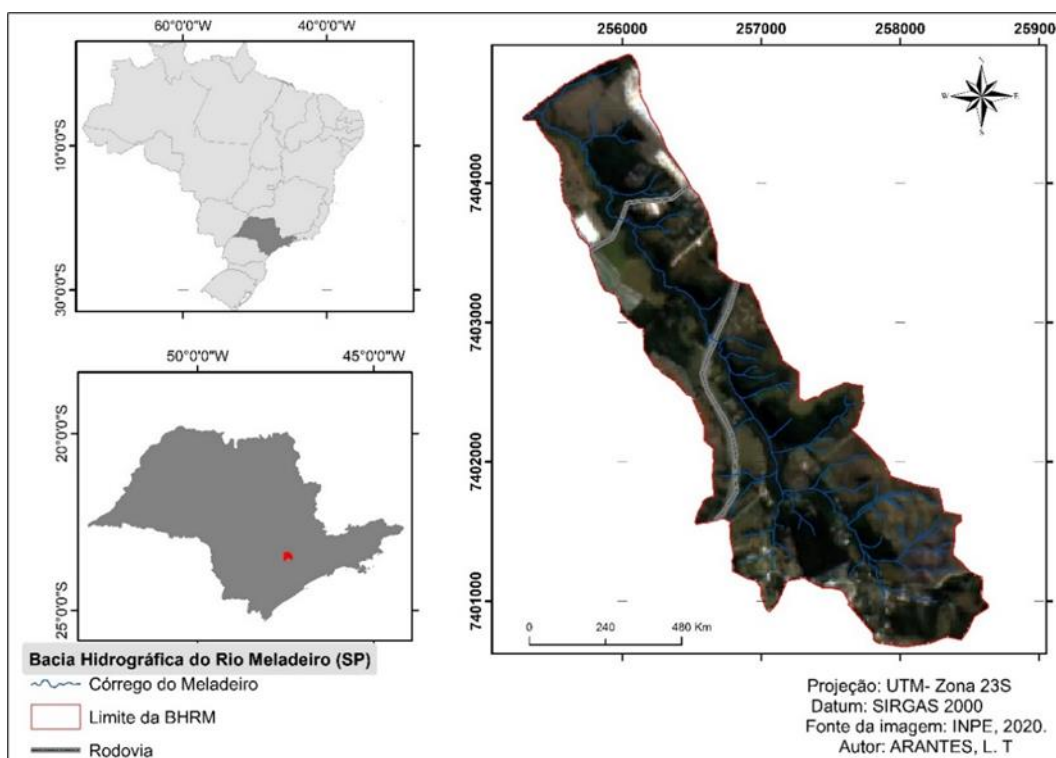


Figura 1: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Meladeiro.



Delimitação da área de estudo

A delimitação da bacia hidrográfica do Rio Meladeiro (BHRM), foi executada por meio do *software* ArcMap 10.5 (ESRI, ANO), no qual possui a extensão TauDEM – *Terrain Analysis Using Digital Elevation Model* (USU, 2018), que consiste em um conjunto de ferramentas para análises hidrológicas consistentes. A obtenção da área de contribuição da bacia hidrográfica foi realizada em algumas etapas (Figura 2), utilizando o algoritmo D-Infinity (Método da direção do fluxo) proposto por Taboton (1997).

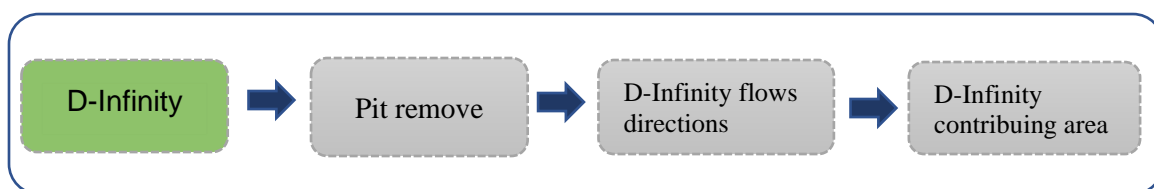


Figura 2: Etapas para a obtenção da área de contribuição.

Inicialmente, para corrigir possíveis erros existente no Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido pela interpolação baseada no método Topo to Raster, utilizando curvas de nível, considerando uma equidistância das curvas de nível de 5 metros, foi aplicada a ferramenta Pit Remove. Posteriormente, gerou-se o mapa de direção de fluxo (D-Infinity Flow Direction), seguido geração da área de contribuição (D-Infinity Contribuítion Area).

Mapeamento do uso e cobertura do solo

Para a geração do mapa de uso e cobertura do solo, foi utilizado imagem do satélite Lansat 8, sensor *Operational Land Imager* (OLI), do ano de 2020. Com o intuito de melhorar a informações referentes a imagem do sensor OLI, foi realizada a fusão de imagens utilizando o *software* ArcMap, por meio da combinação da banda pancromática (resolução espacial de 15 metros) e das mandas multiespectrais (resolução espacial de 30 metros), obtendo uma imagem com uma melhor resolução espacial, melhorando ainda a qualidade da interpretação da imagem (ABDIKAN; SANLI, 2012). Para a classificação da imagem foi utilizado um método de classificação supervisionada, denominado método máxima verossimilhança (MaxVer), considerando as classes de uso e cobertura: área urbana, mata, pastagem, solo exposto, rodovia e corpo hídrico. Por tratar-se de uma área

relativamente pequena, não foram propostas mais classes.

Delimitação das áreas de preservação permanente e áreas de conflito

A delimitação das áreas de preservação permanente (APPs) foi realizada a partir da ferramenta “buffer” do *software* Arcmap, sendo os valores adotados fundamentados na Lei Florestal nº 12.727 de 17 de outubro de 2012. Para a delimitação das APPs entorno das nascentes, foram identificadas as nascentes e, em seguida, aplicado a ferramenta (*buffer*), considerando uma zona com raio de 50 metros em torno de cada uma. Já para o cálculo das APPs nos cursos d’água, foi aplicado um “buffer” de 30 metros para cada margem ao longo dos canais, em virtude do Rio Meladeiro possui menos de 10 metros de largura conforme a legislação vigente. Em seguida, com a finalidade de quantificar e localizar as áreas conflitantes entre as APPs e tipo de uso cobertura do solo, os arquivos vetoriais dos *buffers* foram sobrepostos ao mapa de classificação obtido na etapa anterior, extraindo as informações das classes que estão inseridas nos limites das áreas de preservação permanente, gerando um mapa de caracterização da ocupação antrópica em APPs. Por fim, para classificar a APP conforme a existência da área preservada ou não, foi gerada um mapa de área de conflito, constituído apenas por duas classes sendo: o uso adequado e não adequado.

Índice da Diferença Normalizada da Água– NDWI

Para avaliar o vigor da vegetação nas áreas de preservação permanente (APPs), foi feito o cálculo o *Normalized Difference Water Index* (NDWI) ou Índice da Diferença Normalizada da Água (Equação 01) proposta por Gao (1996), obtida pela razão entre a diferença das refletividades do infravermelho médio (ρ_{MIR}) e infravermelho próximo (ρ_{IV}) e a soma delas:

$$NDWI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{SWIR})}{(\rho_{NIR} + \rho_{SWIR})} \quad (1)$$

Onde:

ρ_{NIR} = refletância na faixa do infravermelho próximo;

ρ_{SWIR} = refletância na faixa do infravermelho médio;



Sendo os valores inferiores a zero, referentes as áreas com vegetação seca, enquanto, os valores positivos representam a vegetação verde (GAO, 1996). Assim, o NDWI para a área de estudo foi gerado por meio de 2 bandas espectrais (5 e 6) do satélite do Landsat-8 (sensor TM), por apresentarem comportamentos distintos da vegetação no espectro eletromagnético, obtidas no ano de 2020, com uma resolução de 30 metros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da classificação supervisionada da imagem do LandSat 8, foi possível discriminar e quantificar 6 feições na bacia hidrográfica do Rio Meladeiro no qual pode ser observado na Figura 3. Constatou-se em relação as áreas mapeadas, que as classes de pastagem e mata são as que ocorrem na maior parte da bacia hidrográfica, com 2,39 km² (53,8%) da área total e 1,58 km² (1,58%) respectivamente. As classes temáticas de área urbana, solo exposto, rodovia e corpo hídrico vegetação e solo exposto são de menor predominância na área em estudo se comparadas às classes de mata e pastagem. A expressiva participação da classe de pastagem demonstra que a área em questão possui intensos processo de antropização. A Tabela 1 apresenta a área em quilômetros quadrados correspondente a cada classe, bem como as respectivas porcentagens.

Tabela 1: Uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Meladerio.

Classes de uso e cobertura da terra	Área (km ²)	Porcentagem %
Area Urbana	0,19	4,3
Mata	1,58	35,6
Pastagem	2,39	53,8
Solo Exposto	0,16	3,6
Rodovia	0,09	2,0
Corpo Hídrico	0,03	0,7
Total	4,4	100

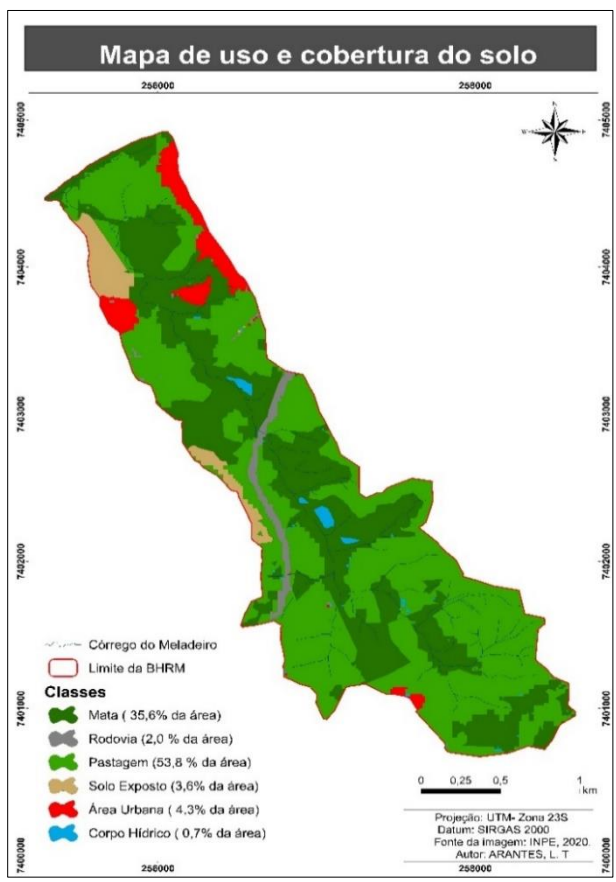


Figura 3: Classificação do uso e cobertura em 2020.

Já o resultado da interseção do mapa de uso e cobertura do solo com as áreas de APPs (Figura 4) permitiram identificar o estado da mata ciliar nas margens dos cursos d'água e nascentes, bem como as áreas que estão em conflito, isto é, incompatível com as definições do Código Florestal. A BHRM possui cerca de 1, 14 km² de APPs, isto é, 25,9 % da área total da bacia, no qual 85,1% referem-se as APPs localizadas as margens da hidrografia, 14,9 % ao redor das nascentes. Por meio do mapa de conflito das APPs com o uso e cobertura do solo, foi possível constatar que a região com maiores descumprimentos das normas estabelecidas pelo Código Florestal (Lei nº 4.771/65), está localizada na região sul da bacia hidrográfica. As APPs com uso irregular estão ocupadas em sua maior parte por áreas de pastagens, no qual 0,59 km² (53,8%) da vegetação nas APPs já foram suprimidas e estão ocupadas com pastagens, já para as outras classes elas não estão inseridas em áreas de conflito (Figura 4).

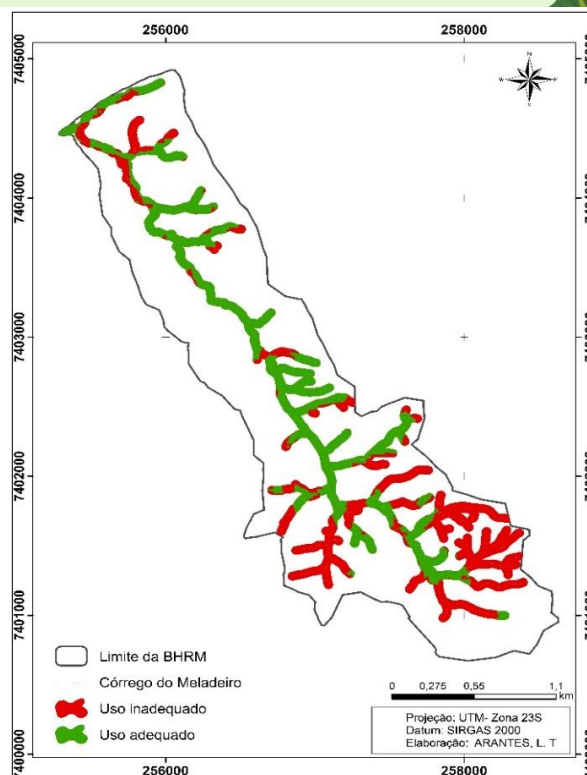
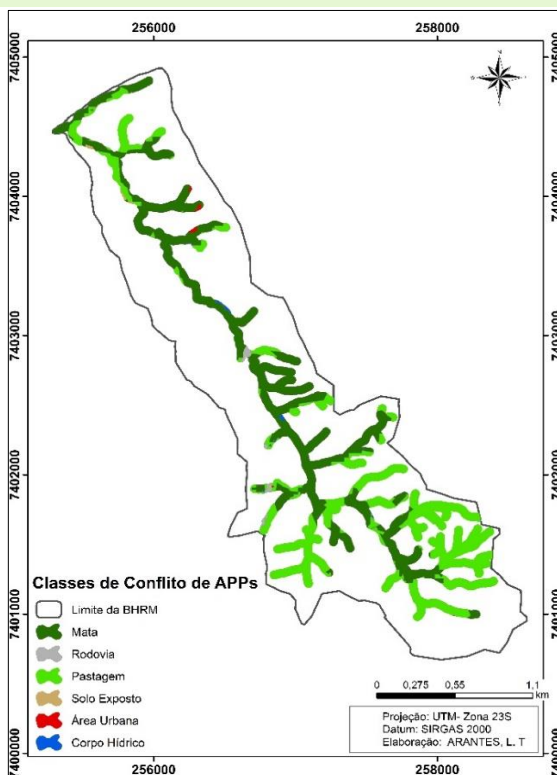


Figura 4: Conflito de uso da terra em APPs. Figura 5: Uso e cobertura do solo em APPs.

Analisando de um modo geral, é possível constatar que apenas 48,2% da área está em áreas de acordo com o Código Florestal, e o restante 51,8% caracterizada como áreas que estão descumprindo o código ambiental vigente que protege as APPs, carecendo realizar a recomposição dessas APPs (Tabela 2).

Tabela 2: Uso e cobertura do solo nas áreas de APPs.

Classes de uso e cobertura da terra	Área (m ²)	Porcentagem %
Area Urbana	0,00	0
Mata	0,59	51,8
Pastagem	0,54	47,4
Solo Exposto	0,00	0
Rodovia	0,01	0,8
Corpo Hídrico	0,00	0
Total	1,14	100

A supressão das áreas de mata para áreas de pastagem pode acarretar o acréscimo da degradação ambiental em bacia hidrográficas, afetando principalmente a complexidade

estrutural do ecossistema, como nas propriedades do solo e do regime de escoamento superficial (LEITE *et al.*, 2011). No que diz respeito as áreas circundantes às nascentes, a remoção da mata ciliar, ocasiona em uma série de impactos (SANTOS *et al.*, 2017), pois a vegetação corrobora para manter a qualidade e quantidade de água das nascentes, exercendo influência direta sobre a disponibilidade, armazenamento e cursos d'água (MENEZES *et al.*, 2009).

O mapa da Figura 6 apresenta os valores de NDWI referentes as áreas de preservação permanente. Nota-se que as áreas classificadas como mata (Figura 4) apresentaram valores mais altos, contendo maior teor de umidade, em contrapartida, as áreas destinadas a classe de pastagem apresentam menores valores de umidade, indicando assim um possível estresse hídrico nessas áreas em função da supressão das áreas de preservação permanente.

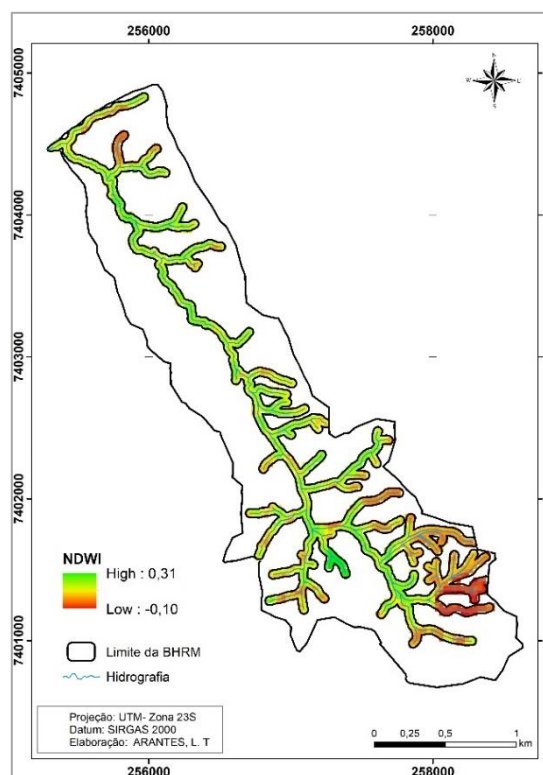


Figura 6: Distribuição dos valores de NDWI nas áreas de preservação permanente.



O estudo realizado por Oliveira *et al.*, (2010), também constatou que altos índices de umidade estavam atribuídas as áreas que apresentavam uma vegetação densa, em contrapartida, as áreas com atividades antrópicas apresentam valores baixos, indicando perda ou até mesmo a ausência de umidade nessas regiões.

Assim, os resultados obtidos nesse estudo demonstram que os tipos de uso do solo podem ser caracterizados como um problema ambiental na bacia hidrográfica do Rio Meladeiro, no qual grande parte da mata ciliar das APPs apresentam outros usos, isto é, a supressão das áreas de mata nativa e a sua substituição em sua maior parte por áreas de pastagem, fazendo com que ocorra uma série de impactos de cunho negativo, uma vez que as áreas pastagens extensivas apresentam normalmente solos compactados em função do pisoteio excessivo, tornam as áreas mais susceptíveis a erosão, menor infiltração da água no solo, alterações na qualidade da água, menor teor de umidade do solo e menor recarga dos cursos d'água.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram identificadas seis classes de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Meladeiro-SP, com destaque para a classe pastagem, possuindo maior representatividade, seguida da classe de mata. De um modo geral, no que diz respeito as áreas de preservação permanente inseridas na bacia, a maior parte não está sendo preservada, evidenciando a presença de atividades antrópicas nas áreas legalmente protegidas pelo Código Florestal (Lei nº 12.727), sendo a pastagem o principal conflito de uso.

O índice NDWI mostrou-se importante para o estudo acerca da cobertura vegetal, permitindo avaliar quais regiões da área de preservação permanente apresentou maior e menor teor de umidade. Sendo as áreas com desenvolvimento de ações antrópicas, como é o caso das áreas de pastagem, as que apresentaram menores valores de umidade, enquanto as áreas com mata apresentaram maiores valores de umidade.

Com relação a metodologia empregue, o uso de ferramentas de geoprocessamento, como é o caso do sistema de informação geográfica e sensoriamento remoto, demonstraram-

se excelentes ferramentas, fornecendo resultados de forma simples e rápida, possibilitando a quantificação das mudanças ocorridas nas áreas de preservação permanente, logo, fornecendo informações da realidade ambiental da região. Todavia, destaca-se a necessidade do refinamento dos produtos cartográficos utilizados, pois a qualidade radiométrica da pode exercer influência na identificação e extração de informações.

A AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

R REFERÊNCIAS

ABDIKAN, S.; SANLI, F. B. Comparison of different fusion algorithms in urban and agricultural areas using sar (palsar and radarsat) and optical (spot) images. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 18, p. 509-531, 2012.

ALMEIDA, A.Q. *et al.* Relação entre cobertura florestal e resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009. Natal. Anais ... Natal, 2009.

ALVES K.C.L.F. *et al.* Avaliação temporal dos conflitos de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Formoso, Tocantins. *Pesq flor bras*, v.35, n. 83, p. 271-283, 2015.

ANDRADE, F. M.; LOURENÇO, R. W. Soil use and plant cover in the Una -Ibiúna /SPmRiver Basin. **Journal of the Department of Geography**, v. 32, p.48-60, 2016.

BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 571, 25 maio 2012. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112727.htm

FREITAS, E. P. *et al.* Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n. 4, p. 443-449, 2013.

HU, T. A *et al.* Mapping urban land use by using Landsat images and open social data. **Remote Sensing**, v. 8, n.2, p.1-18, 2016.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO - IGC. Mapa das unidades hidrográficas de gerenciamento de recursos hídricos. 2014. Disponível em: <http://www.igc.sp.gov.br/produtos/ugrhi.html>. Acesso em: 18 jun. 2020.

JACOBOSKIA, L. I.; PAULSEN, R. K.; HARTZA, S. M. Bird-grassland associations in protected and non-protected areas in southern Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15, n. 2, p. 109-114, 2017.



LEAL, J. V. *et al.* The use of GIS for monitoring degraded areas-case study.PPA Arroio Gil, Triunfo /RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 5, p.967-983, 2013.

LEITE, S. P. *et al.* Impactos ambientais ocasionados pela agropecuária no Complexo Aluizio Campos. **Revista Brasileira de Informações Científicas**, v. 2, n.14, p.59-64,2011.

LO, C. P.; CHOI, J. A hybrid approach to urban land use/cover mapping using Landsat 7 enhanced thematic mapper plus (ETM+) images. **International Journal of Remote Sensing**, v.25, n.14, p. 2687-2700, 2004.

MAGDALENA, U. R.; FRANCISCO, C. N.; RODRIGUEZ, D. A. Permanent Preservation Area (PPA) on Top of Hills Mapping Based on Legal Devices of Rio de Janeiro State. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n.3, p. 789-797, 2018.

MENEZES, M. D. *et al.* Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha - Serra da Mantiqueira (MG). **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 82, p. 175-184, 2009.

SANTOS, L. A. C. *et al.* Conflitos de Uso e Cobertura do Solo para o Período de 1985 a 2017 na Bacia Hidrográfica do Rio Caldas-GO. v.8, n.2, p. 189-211, 2019.

SANTOS, W. A. Conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente da bacia do rio Piauitinga, Sergipe, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v.60, n.1, p. 19-24, 2017.

SOARES, V. P. *et al.* Mapeamento das áreas de preservação permanente e dos fragmentos florestais naturais como subsídio à averbação de reserva legal em imóveis rurais. **Cerne**, v.17, n.4, p.555-561, 2011.

TARBOTON, D.G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, v.33, n.2, p. 309-319, 1997.

USU. TauDEM Version 5. Utah State University, Hydrology Research Group. Disponível em: <http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/downloads.html>. Acesso em 5 de Jun. 2020.

OLIVEIRA, T.H.; Galvêncio, J.D. Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Moxotó – PE usando sensoriamento remoto termal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n. 2, p. 30-49, 2008.

OLIVEIRA, T. H.; MACHADO, C. C. C.; SILVA, J. S.; GALVÊNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; SILVA, B. B. Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física** 03 (2010) 55-69. Disponível em: <http://www.ufpe.br/rbge/index.php/revista/article/view/130/106>