

Análise da degradação dos recursos hídricos em bacias hidrográficas a partir de indicadores ambientais

Darllan Collins da Cunha e Silva ¹
Jomil Costa Abreu Sales ¹
Roberto Wagner Lourenço ¹
Vanessa Nastri Oliveira ²
Veronica Dias Dominato ²
José Luiz Albuquerque Filho ³

¹ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Unesp
Av. Três de Março, 511 – Bairro Alto da Boa Vista – 18087-180 - Sorocaba - SP, Brasil
darllanamb@yahoo.com.br; jomilc@gmail.com; robertow@sorocaba.unesp.br

² Universidade de Sorocaba - Uniso
Rodovia Raposo Tavares, km 92.5 - 18023-000, Sorocaba - SP, Brasil
{vanessa.nastri, v.dominato}@hotmail.com

³ Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT
Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Butantã - 05508-901, São Paulo – SP, Brasil
albuzelu@ipt.br

Abstract. Environmental indicators are important mechanisms for reporting summary information or for provide a solid basis about the state of degradation of water resources in Watershed. Therefore, in this study we built up a Water Resources Potential Degradation Index (WRPDI) that focuses on the degradation of riparian forests, type of sanitation and the form of water supply present in Una River Watershed. This index use in your calculation, scientific basis and geoprocessing techniques. From the results, we found that WRPDI values are below 0.5, this is, below 50% of the maximum permissible value for this index, which is partly explained by the low values of conservation in riparian forests while the southern and central regions showed very low values due to the lack of water distribution management for human consumption and discharge of domestic sewage. The urban areas compared to rural areas showed the best WRPDI values, justified by population access to better sanitation conditions and low exposure to possible water contamination. This indicator allows numerically interpretation of water availability in the Una River watershed, and thus a fast, simple and valid alternative for assessing the sustainability of the water, and can serve as a decision-making tool for public managers and stakeholders on this issue.

Palavras-chave: geoprocessing, basic sanitation, watershed, index

1. Introdução

As reflexões sobre a sustentabilidade tiveram início na década de 70 a partir dos impactos ambientais sobre os recursos naturais causados pelas atividades antrópicas, resultando em diversos debates no âmbito global. A partir desses debates, o conceito de sustentabilidade foi discutido amplamente em várias dimensões que envolvem o ser humano, sua conduta e necessidades (MIRANDA; TEIXEIRA, 2004).

Portanto, a elaboração de ferramentas que possam apoiar essa avaliação se faz necessária, como a geração de indicadores e índices ambientais capazes de avaliar e monitorar as tendências de desenvolvimento sustentável, o que possibilita a construção de metas para a melhoria dos sistemas ambientais estudados (MIRANDA; TEIXEIRA, 2004; VAN BELLEN, 2005). Além disso, os indicadores e índices ambientais são importantes mecanismos para a comunicação de informações resumidas ou para a provisão de bases sólidas sobre o estado da água aos responsáveis por sua gestão, contribuindo para uma relação sustentável entre os compartimentos social, econômico e ambiental (DEPONTI et al., 2002; VAN BELLEN, 2005; MOLLER, 2015).

Segundo Carvalho e Curi (2013) a formulação de uma metodologia baseada em índices e indicadores focados na caracterização de sistemas hídricos, baseado na Teoria de Apoio à Decisão, pode contribuir para a melhoria da gestão desses recursos.

Vários estudos foram realizados em busca de um índice ou indicador de qualidade da água que pudesse refletir o quão sustentável é o sistema hídrico de uma determinada região, como os de Pompermayer et al. (2007) que propuseram o uso de indicadores de sustentabilidade ambiental, associado as técnicas de análise multicritério, como instrumento de auxílio à gestão de recursos hídricos, enquanto que, Guimarães e Magrini (2008) propuseram um sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável aplicado à bacias hidrográficas do Brasil. Já Melo et al. (2015) propuseram um índice multimétrico baseado em macroinvertebrados para avaliar a qualidade da água das zonas úmidas naturais e campos de arroz no sul do Brasil, enquanto que, Dedieu et al. (2016) propuseram um índice multimétrico baseado em macroinvertebrados para avaliar a saúde ecológica em riachos pequenos de cabeceiras remotas da Guiana Francesa.

Visto os estudos anteriores e a necessidade de gerar um índice que reflita o potencial de degradação da água presentes nas bacias hidrográficas foi proposto nesse estudo a construção de um Índice de Potencial Degradação dos Recursos Hídricos (IPDRH) que enfoca a degradação das matas ciliares, tipo de esgotamento sanitário e a forma de abastecimento de água presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Una, bem como sua capacidade de se manter sustentável frente aos processos potencialmente degradantes da qualidade e oferta da água imposto pelas atividades antrópicas. Para isso, utilizou em seu cálculo bases científicas e técnicas de geoprocessamento.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Caracterização da área de estudo

Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado como área de estudo a Bacia Hidrográfica do Rio Una que faz parte da décima Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGHRI 10) e está localizada no interior do Estado de São Paulo a aproximadamente 75 km da capital do Estado de São Paulo, no Município de Ibiúna (Figura 1).

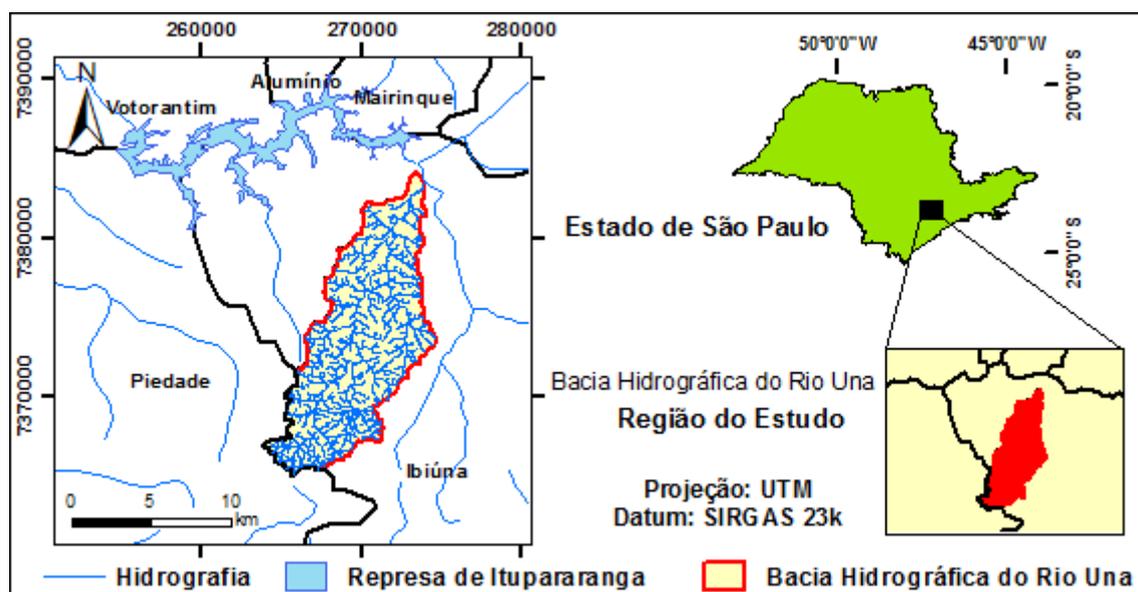


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Una.

O Rio Una juntamente com os Rios Sorocabuçu e o Sorocamirim desembocam no reservatório de Itupararanga, o qual possui grande importância regional, sendo o principal manancial de captação de água para o município de Sorocaba e região, além de irrigar centenas de propriedades agrícolas nos arredores (SILVA et al., 2016).

2.2 Construção do Índice de potencial degradação dos recursos hídricos

Para a construção do Índice de Potencial Degradação dos Recursos Hídricos (IPDRH) foram utilizadas três variáveis que focam, respectivamente, a degradação das matas ciliares, tipo de esgotamento sanitário e a forma de abastecimento de água presentes na área de estudo.

As matas ciliares funcionam como reguladoras do fluxo de água, sedimentos e nutrientes dentro de uma Bacia Hidrográfica, desempenhando funções ecológicas extremamente importantes para a conservação dos recursos hídricos (USDA, 2003). Visto a importância das matas ciliares para a proteção dos recursos hídricos foi gerado o Indicador de Integridade de Matas Ciliares (IIMC).

O Indicador de Integridade das Matas Ciliares (IIMC) foi definido com base nos estudos de USDA (2003), de Metzger (2010) e de Santos e Sparovek (2011) para a definição da faixa mínima de mata ciliar, isto é, de 50 metros, a qual garante a sustentabilidade da água.

Para identificar as matas ciliares na bacia hidrográfica foi utilizado imagens de satélite multiespectrais ortorretificadas do sensor SPOT 5 (Satellite Pour l'Observation de la Terre) com resolução espacial de 2,5 metros do ano de 2010 fusionadas (Bandas do Vermelho; Infravermelho Próximo; Verde; Infravermelho Médio), cedidas pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA) da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Para processar as imagens do SPOT 5 foi gerada uma imagem falsa cor com a composição das bandas nos comprimentos de ondas do Infravermelho Próximo, Infravermelho Médio e Vermelho respectivamente. Essa composição de bandas destaca a vegetação e os corpos hídricos dos demais tipos de usos e, portanto, facilita na extração desses usos do solo para compor o mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal (FLORENZANO, 2002). Portanto, essa composição de bandas foi utilizada para extrair essas feições, enquanto que, para o tratamento e análise dessas imagens foi utilizado o método de classificação supervisionada multivariada de Máxima Verossimilhança (MAXVER) presente no software ArcGIS 10.1.

Para atribuir os valores ao IIMC no intervalo de 0 a 1 baseou-se na pontuação atribuída por Isaias (2008) que gerou em seus estudos um indicador de integridade de Área de Preservação Permanente (APP), o qual considerou a área, em porcentagem, de integridade da APP. A Tabela 1 apresenta os valores atribuídos ao IIMC.

Tabela 1. Pontuação do IIMC

| Integridade da mata ciliar em % | Pontuação |
|---------------------------------|-----------|
| $IIMC \leq 60$ | 0 |
| $60 < IIMC \leq 70$ | 0,2 |
| $70 < IIMC \leq 80$ | 0,4 |
| $80 < IIMC \leq 90$ | 0,6 |
| $90 < IIMC \leq 95$ | 0,8 |
| $IIMC \geq 95$ | 1 |

Para a construção do Indicador de Esgotamento Sanitário (IES) foram utilizadas as informações extraídas do banco de dados do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2012) em escala municipal para os 42 setores censitários presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Una. Para isso utilizou-se as informações de domicílios particulares permanentes sem banheiro ou sanitário e os com banheiro ou sanitário ligados à fossa rudimentar, vala, rio, lago, mar entre

outros. Os dados de fossa séptica não foram utilizados, pois é uma medida que evita a contaminação das águas superficiais e subterrâneas quando bem dimensionado e com a correta manutenção (COSTA; GUILHOTO, 2014).

Os dados referentes ao esgoto ligado à rede coletora não puderam ser utilizados, pois os domicílios ligados a essa rede tem seus esgotos tratados, uma vez que, no ano de 2013, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2015), o município tratava 100% de todo o esgoto coletado.

O cálculo do valor do IES para cada setor censitário presente na Bacia Hidrográfica do Rio Una foi obtido através da Equação (1), sendo que o valor igual a 1 representa a melhor condição de esgotamento sanitário, enquanto que, o valor igual a 0 representa a pior condição do esgotamento sanitário.

$$IES_i = 1 - \frac{Ndom_{esp}}{Ndom_{total}} \quad (1)$$

Onde:

IES_i é o valor do IES de cada setor censitário presente na Sub-Bacia Hidrográfica;

$Ndom_{esp}$ é o número de domicílios particulares presentes em cada setor censitário sem banheiro ou sanitário e os com banheiro ou sanitário ligados à fossa rudimentar, vala, rio, lago, mar entre outros;

$Ndom_{total}$ é o número total de domicílios particulares presentes em cada setor censitário.

Já o cálculo do valor do IES para cada Sub-Bacia Hidrográfica foi obtido através da Equação (2) que pondera o valor do IES de cada setor por sua área presente em cada Sub-Bacia Hidrográfica.

$$IES_{sub} = \sum_{i=1}^n A_i \times IES_i / A_{sub} \quad (2)$$

Onde:

IES_{sub} é o valor do IES por Sub-Bacia Hidrográfica;

A_i é a área que cada setor censitário apresenta dentro dos limites da Sub-Bacia Hidrográfica;

IES_i é o valor do IES de cada setor censitário presente na Sub-Bacia Hidrográfica;

A_{sub} é a área de cada Sub-Bacia Hidrográfica estudada.

Para a construção do Indicador de Abastecimento de Água (IAA) foram utilizadas informações extraídas do banco de dados do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2012) em escala municipal por setores censitários para os 42 setores censitários presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Una. Para isso, utilizou-se as informações de domicílios particulares permanentes que extraem água de poços, nascentes e outras formas de captação que não sejam da rede geral de distribuição e nem captação de água de chuvas armazenadas em cisternas.

Essa informação é importante, pois é necessário saber quanto de água está sendo extraída diretamente dos recursos hídricos para que sua gestão seja eficiente e o risco de escassez diminua consideravelmente, além disso, há pessoas que não pagam pelo uso da água e ainda correm o risco de contaminação devido à ingestão de água com péssima qualidade (GOULART, 2013). Segundo dados do SNIS (2015) apenas 39,5% da população residente no município de Ibiúna estavam ligados à rede pública de abastecimento de água em 2013.

O cálculo do valor do IAA para cada setor censitário presente na Bacia Hidrográfica do Rio Una foi obtido através da Equação (3), sendo que o valor igual a 1 representa a melhor condição de abastecimento de água, enquanto que, o valor igual a 0 representa a pior condição do abastecimento de água.

$$IAA_i = 1 - \frac{Nd_{esp}}{Nd_{total}} \quad (3)$$

Onde:

IAA_i é o valor do IAA de cada setor censitário presente na Sub-Bacia Hidrográfica;

Nd_{esp} é o número de domicílios particulares presentes em cada setor censitário que extraem água de poços e nascentes e outras formas de captação que não sejam da rede geral de distribuição e nem captação de água de chuvas armazenadas em cisternas;

Nd_{total} é o número total de domicílios particulares presentes em cada setor censitário.

Já o cálculo do valor do IAA para cada Sub-Bacia Hidrográfica foi obtido através da Equação (4) que pondera o valor do IAA de cada setor por sua área presente em cada Sub-Bacia Hidrográfica.

$$IAA_{sub} = \sum_{i=1}^n A_i \times IAA_i / A_{sub} \quad (4)$$

Onde:

IAA_{sub} é o valor do IAA por Sub-Bacia Hidrográfica;

A_i é a área que cada setor censitário dentro do limite da Sub-Bacia Hidrográfica;

IAA_i é o valor do IAA de cada setor censitário presente na Sub-Bacia Hidrográfica;

A_{sub} é a área de cada Sub-Bacia Hidrográfica estudada.

O valor final para o Índice de Potencial Degradação dos Recursos Hídricos (IPDRH) foi obtido através de uma média aritmética, exposta na Equação (5) para cada Sub-Bacia Hidrográfica presente na área de estudo.

$$IPDRH = \frac{IIMC + IES + IAA}{3} \quad (5)$$

3. Resultados e Discussão

A Figura 2 mostra os mapas dos IES, IIMC e IAA distribuídos por Sub-Bacias Hidrográficas.

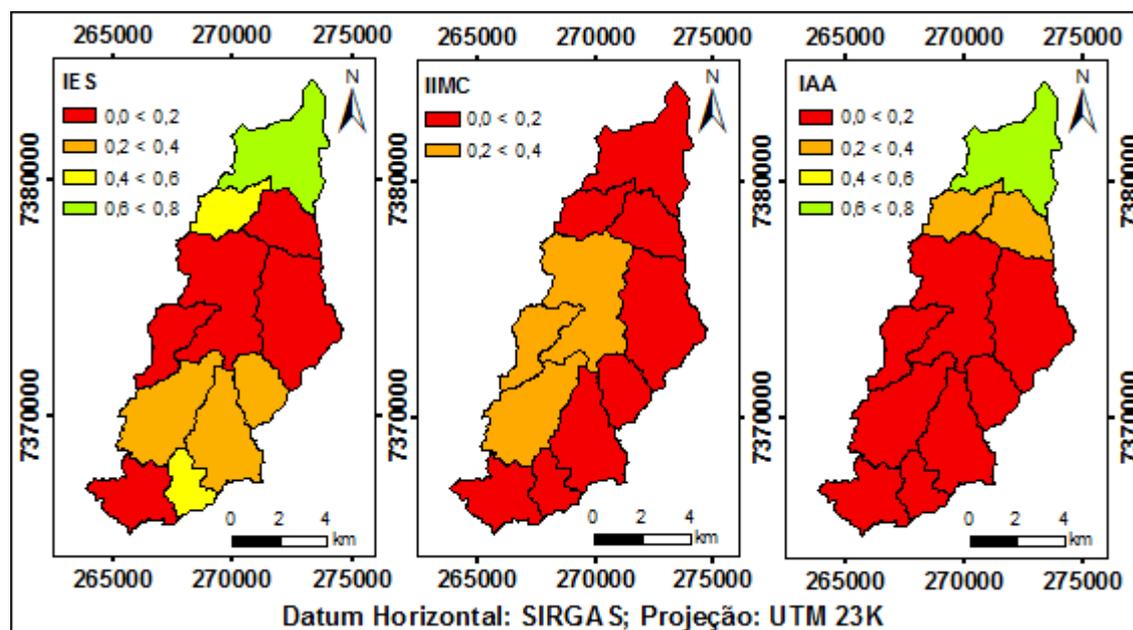


Figura 2. Distribuição dos valores de IES, IIMC e IAA por Sub-Bacias Hidrográficas.

De acordo com esses mapas da Figura 2 é possível observar que os valores do indicador de integridade das matas ciliares para a bacia encontram-se baixos, mesmo na cabeceira da Bacia Hidrográfica. Isto se deve ao fato da Lei n.º 12.651/2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, ser menos restritiva que a faixa mínima de mata ciliar adotada nesse estudo e também devido a pressão antrópica, principalmente proveniente da agricultura, que rege toda a Bacia Hidrográfica.

Os valores de IES também apresentam valores baixos na região central e sul da Bacia Hidrográfica e indicam que as pessoas que se encontram nessa região impactam os recursos hídricos com o lançamento de esgotos domésticos, entretanto, na área urbana do município, os valores são razoáveis e indicam que as pessoas impactam menos os recursos hídricos com o lançamento de esgotos domésticos. A população residente na região central e sul da Bacia Hidrográfica lança, em sua maioria, os esgotos domésticos em fossas rudimentares, enquanto que, a população residente na região norte da Bacia Hidrográfica lança, em sua maioria, os seus esgotos domésticos na rede coletora do município, uma vez que, os residentes dessa área se encontram na região urbana, a qual apresenta a maior infraestrutura do município de Ibiúna.

Em relação aos valores de IAA, tanto a região sul quanto a central apresentaram valores baixos, enquanto que, a região norte novamente apresentou os maiores valores em comparação com o restante da Bacia Hidrográfica, uma vez que, quase todos os domicílios presentes nessa região estão ligados à rede de distribuição de água do município.

A Figura 3 apresenta o mapa com a distribuição dos valores do IPDRH para a Bacia Hidrográfica do Rio Una.

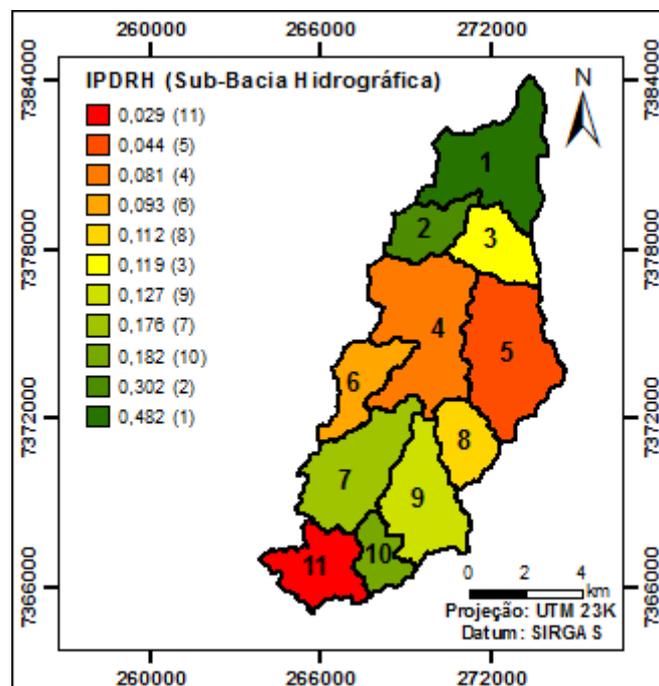


Figura 3. Mapa da distribuição dos valores do IPDRH.

A partir do mapa da Figura 3, é possível observar que os valores de IPDRH estão abaixo de 0,5, isto é, abaixo de 50% do valor máximo admissível para esse índice, o que é explicado em parte pelos baixos valores de conservação das matas ciliares, enquanto que, as regiões sul e central apresentaram baixíssimos valores devido à falta de gestão na distribuição das águas para consumo humano e lançamento de esgotos domésticos.

A região central é onde se encontram a maior concentração das atividades agrícolas dessa Bacia Hidrográfica e, possivelmente, há um maior desperdício de água com irrigação das culturas agrícolas, o qual não foi computado por não haver esses dados disponíveis para o município.

Estes valores abaixo do esperado são justificados pelas péssimas condições de saneamento básico presentes na área de estudo e pelas atividades agrícolas que suprimem as matas ciliares e não são orientadas ou supervisionadas por nenhum órgão público. A área urbana em comparação a área rural apresentou os melhores valores de IPRH, justificável pelo acesso da população às melhores condições de saneamento básico.

4. Conclusões

O estudo demonstra que as imagens de sensoriamento remoto em conjunto com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) são importantes ferramentas para avaliar a cobertura vegetal em bacias hidrográficas e, nesse estudo, possibilitou verificar as condições de preservação das matas ciliares e como isso influencia na sustentabilidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio Una.

A partir dos resultados foi possível concluir que as desigualdades sociais com relação ao acesso de saneamento básico de qualidade estão mais presentes na área rural da área de estudo, região central e sul da Bacia Hidrográfica, entretanto, a área urbana do município tem 100% do seu esgoto tratado, porém, de acordo com o Censo Demográfico de 2010, há domicílios que não estão ligados à rede pública de coleta de esgoto, o que refletiu nos valores obtidos para o IPDRH. Visto isso, conclui-se que o IPDRH é sensível o suficiente para avaliar a situação da gestão da água e auxiliar os tomadores de decisão na gestão da Bacia Hidrográfica.

Através das informações levantadas neste estudo, pode-se concluir que o IPDRH é uma importante ferramenta que permite interpretar numericamente a realidade do estado da água na Bacia Hidrográfica do Rio Una, a partir de uma óptica sustentável e simples, enfocando os residentes dessa área e, portanto, é uma alternativa rápida, simples e válida para avaliar a sustentabilidade da água, além de poder servir como um instrumento de tomada de decisão para gestores públicos e interessados nessa questão.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação do Instituto de Pesquisa Tecnológica (FIPT) pelo financiamento do projeto, indispensável para o desenvolvimento do estudo.

Referências Bibliográficas

- Carvalho, J. R. M.; Curi, W. F. Construção de um índice de sustentabilidade hidro-ambiental através da análise multicritério: estudo em municípios paraibanos. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n.1, p. 91-105, 2013. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/17220>
- Costa, C. C.; Guilhoto, J. J. M. Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 19(spe), p. 51-60, 2014. doi: 10.1590/S1413-41522014019010000171
- Dedieu, N.; Clavier, S.; Vigouroux, R.; Cerdan, P.; Céréghino, R. A Multimetric Macroinvertebrate Index for the Implementation of the European Water Framework Directive in French Guiana, East Amazonia. **River Research and Applications**, v. 32, n. 3, p. 501-515, 2016. doi: 10.1002/rra.2874
- Deponti, C. M.; Eckert, C.; Azambuja, J. L. B. Estratégia para construção de indicadores para avaliação da sustentabilidade e monitoramento de sistemas. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 3, n. 4, p. 44-52, 2002. Disponível em: <http://www.emater.tche.br/site/multimedia/leitor/13.php#book/43>
- Florenzano, T. G. **Imagens de Satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.

Goulart, M. J. F. N. **Gestão da água na produção de leite na Ilha do Faial**. 2013. 69p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.3/3457>

Guimarães, L. T.; Magrini, A. A Proposal of Indicators for Sustainable Development in the Management of River Basins. **Water Resources Management**, v. 22, n. 9, p. 1191-1202, 2008. doi: 10.1007/s11269-007-9220-x

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base Estatcart de Informações do Censo Demográfico 2010**: Resultados do Universo por Setor Censitário. Rio de Janeiro, IBGE, 2012. CD-ROM.

Isaias, F. B. **A sustentabilidade da água**: proposta de um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas. 2008. 169p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília. 2008. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/1153>

Melo, S.; Stenert, C.; Dalzochio, M. S.; Maltchik, L. Development of a multimetric index based on aquatic macroinvertebrate communities to assess water quality of rice fields in southern Brazil. **Hydrobiologia**, v. 742, n. 1, p. 1-14, 2015. doi: 10.1007/s10750-014-1957-7

Metzger, J. P. O Código Florestal tem Base Científica. **Natureza & Conservação**, v. 8, n. 1, p. 92-99, 2010. doi: 10.4322/natcon.00801017

Miranda, A. B.; Teixeira, B. A. N. Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 9, n. 4, p. 269-279, 2004. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522004000400002>

Moller, A. P. Environmental Indicators of Biological Urbanization. *In: Environmental Indicators*. Springer Netherlands, 2015. Cap. 25, p. 421-432, 2015. doi: 10.1007/978-94-017-9499-2_25

Pompermayer, R. S.; Paula Júnior, D. R.; Cordeiro Netto, O. M. Análise Multicritério como Instrumento de Gestão de Recursos Hídricos: O Caso das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 3, p. 117-127, 2007. Disponível em: http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/b0eec7845c774e545b9cf3cfc83aedbc_2e5180757354833851f994140d8787ab.pdf

Santos, D. S.; Sparovek, G. Retenção de sedimentos removidos de área de lavoura pela mata ciliar, em Goiatuba (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1811-1818, 2011. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000500035>

Silva, D. C. C.; Albuquerque Filho, J. L.; Sales, J. C. A.; Lourenço, R. W. Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, p. 221-217, 2016. Disponível em: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/1553>

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Série Histórica**. 2013. Disponível em: <http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: set. 2015.

USDA - U.S. Department of Agriculture. **Where the Land and Water Meet**: A Guide for Protection and Restoration of Riparian Areas. 1. ed. Tolland, CT, 2003.

Van Bellen, H. M. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: FGV Editora, 1. ed. 2005.