



IV - 627 - POTENCIAIS CORRELAÇÕES ENTRE USO DO SOLO E QUALIDADE DE ÁGUAS EM NASCENTES URBANAS DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Vanessa Rodrigues Pereira⁽¹⁾

Bióloga (IBB/UNESP). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental (FEG/UNESP). Técnica de Laboratório do Instituto de Ciência e Tecnologia (UNESP).

Bruna Esquivel Bernardo⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pelo Instituto de Ciências e Tecnologia (ICT/UNESP).

Líliam César de Castro Medeiros⁽¹⁾

Graduada em Matemática (UFPE); Mestre em Matemática (UFMG); Doutora em Matemática Computacional (UFPE); Professora do Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT/UNESP).

Fabiana Alves Fiore⁽¹⁾

Graduada em Engenharia Civil (UFMG); Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG); Doutora em Saneamento e Meio Ambiente (FEC/UNICAMP); Livre-docente em Gerenciamento de Resíduos Sólidos (UNESP). Professora do Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT/UNESP).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Doutor Altino Boldessan, 500 – Distrito Eugenio de Melo – São José dos Campos - SP - CEP: 12247-016- Brasil - Tel: (12) 3947-9700 - e-mail: vanessa.rodrigues@unesp.br

RESUMO

As nascentes são de grande relevância para o equilíbrio dos ecossistemas, uma vez que exercem a manutenção da umidade do solo e abastecimento para os rios e lagos. O presente trabalho avaliou a potencial correlação entre o uso e ocupação do solo em microbacias urbanas com a qualidade da água em 16 nascentes de São José dos Campos. Os parâmetros físico-químicos de turbidez, pH, cor, oxigênio dissolvido (OD), nitrato, fosfato e condutividade foram medidos e comparados com a Resolução CONAMA 357/2005. Aplicou-se testes estatísticos para verificar possíveis correlações entre os resultados de qualidade das águas e dos usos de solo nas microbacias. Os resultados evidenciam que há uma correlação significativa de OD com o uso e ocupação do solo, para os casos em que ocorre o uso intensivo. Verificou-se também que em função da similaridade do perfil de uso de nas microbacias áreas a qualidade das águas não possuem diferenças relevantes. Destaca-se a necessidade de realização de caracterização longitudinal da qualidade das águas para ampliação da confiabilidade dos resultados e a necessidade de melhores referenciais de qualidade de águas para nascentes.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade da água, uso e ocupação do solo, microbacias urbanas.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural que fornece diversos serviços ecossistêmicos diretamente ligados à redução da pobreza, crescimento econômico, garantia da segurança alimentar e energética, bem como à saúde humana (UNESCO, 2015). No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) reconhece a água como um bem de uso público e limitado, cuja qualidade deve ser preservada para garantir a disponibilidade deste recurso, em condições adequadas, para o atendimento dos diversos usos das gerações atual e futuras (BRASIL, 1997).

A qualidade de um corpo hídrico é influenciada por aspectos naturais como o regime de chuvas, escoamento superficial, geologia e cobertura vegetal, e também por atividades antrópicas, como o lançamento de efluentes e a forma de uso dos solos (ANA, 2021). A qualidade das águas decorre das interações humano-natureza, nas bacias hidrográficas e nesses contextos as nascentes figuram como elementos de destaques, pois são indispensáveis para a manutenção da biodiversidade no ecossistema, contribuem para o abastecimento dos cursos d'água e garantem o equilíbrio da fauna e flora (VALENTE & GOMES, 2011).



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



O gerenciamento das nascentes tem como objetivo principal garantir que o recurso hídrico seja utilizado de forma sustentável, com adoção de boas práticas de manejo do solo e uso racional dos recursos naturais, certificando que haja afloramento e fluxo de água em quantidade e qualidade (VESSONI, 2019). Segundo Lima (2015), é necessário pensar não somente na conservação das nascentes, mas também em toda a região de entorno, uma vez que elas condicionam a formação de um sistema composto pelo solo e seus usos, relevo e vegetação; pois todos esses elementos influenciam diretamente a qualidade da água.

O município de São José dos Campos conta com o Programa Municipal de Educação Ambiental (PROMEA), que visa promover processos de educação ambiental (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2006). Dentre as ações do PROMEA está o Programa de Revitalização de Nascentes (PRN), que promove a revitalização de 38 áreas de preservação permanente (APPs) de nascentes degradadas nas áreas públicas urbanas. De forma a contribuir no processo de revitalização das APPs de nascentes, foi criado um programa de educação ambiental específico para ser desenvolvido com a participação de 16 escolas localizadas próximas às nascentes (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2022; SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2024). O objetivo deste trabalho foi avaliar possíveis correlações entre a qualidade de água de 16 nascentes urbanas do município de São José dos Campos, abarcadas pelo PRN, com o uso e ocupação de solo de suas microbacias.

MATERIAIS E MÉTODOS

A seleção das 16 nascentes urbanas, dentre as 38 nascentes do PRN, ocorreu em função das escolas da rede pública de educação que atuam no ensino fundamental 2 do município, participantes do programa em 2023. O procedimento operacional para a coleta de amostras e caracterização do estado de conservação das nascentes foi previamente discutido com os alunos. As amostras de água foram coletadas durante visitas em campo realizadas por equipe de educadores ambientais associados à prefeitura municipal de São José dos Campos juntamente com alunos das escolas, sendo cada escola responsável pela nascente de uma microbacia.

Após coletadas, aferiu-se nitrato e fosfato *in situ*, e as amostras foram encaminhadas a laboratório de instituição superior de ensino para a determinação dos seguintes parâmetros: turbidez, pH, cor, oxigênio dissolvido (OD), e condutividade. Para as análises laboratoriais, foram observadas as metodologias descritas pelo *Standard Methods* (APHA, 2017) e as técnicas de coleta e conservação de amostras (CETESB, 2011).

Para identificar as possíveis correlações entre o uso e ocupação do solo e a qualidade da água das nascentes, adotou-se a escala que considera o potencial poluidor da forma de ocupação, descrita por Ometo et al. (2000). Foram utilizadas as seguintes categorias de uso do solo: (1) formações florestais e rios; (2) uso moderado do solo (monocultura, pastagem, plantação de arroz, outras lavouras temporárias, silvicultura, café, mosaico de usos e outras áreas não vegetadas e para a categoria) e (3) uso intensivo do solo (áreas urbanizadas). Mapas de categorias de uso e ocupação do solo para as microbacias hidrográficas estudadas foram elaborados a partir desta classificação prévia, com o auxílio do software QGIS, utilizando as bases de dados da ANA e do MapBiomas Brasil. As coordenadas dos pontos de coleta das amostras foram identificadas nos mapas gerados.

A normalidade dos resultados das análises dos parâmetros obtidos foi avaliada via o Teste de Shapiro-Wilk, considerando os dados com distribuição normal com $p > 0,05$. As possíveis correlações entre os indicadores de qualidade de água e os diferentes usos do solo foram analisadas aplicando o cálculo de correlação de Spearman, considerando um nível de significância de 0,05. Para verificar se houve diferenças significativas nos indicadores de qualidade de água ao longo dos pontos amostrados, foi aplicado o Teste de Kruskal-Wallis com nível de significância de 5%. Os testes estatísticos deste estudo foram realizados por intermédio do software Jamovi.

RESULTADOS

Os mapas contendo a localização dos 16 pontos das nascentes bem como a delimitação das sub-bacias hidrográficas em que elas estão inseridas e caracterização do uso do solo na região estão dispostos na Figura 1. A partir das informações obtidas, foi possível quantificar as classes predominantes de uso e ocupação de solo em cada um dos pontos de coleta, apresentados na Figura 2.

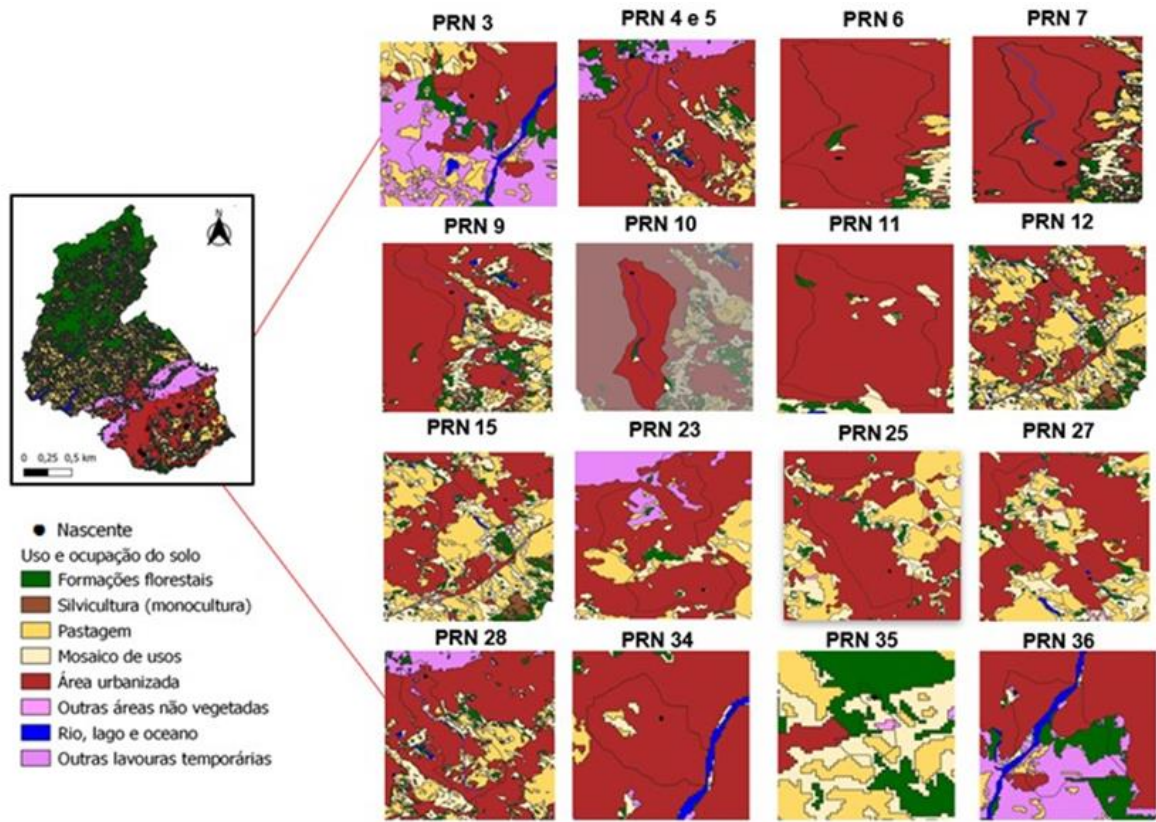


Figura 1. Localização das nascentes e uso e ocupação do solo da área de estudo.

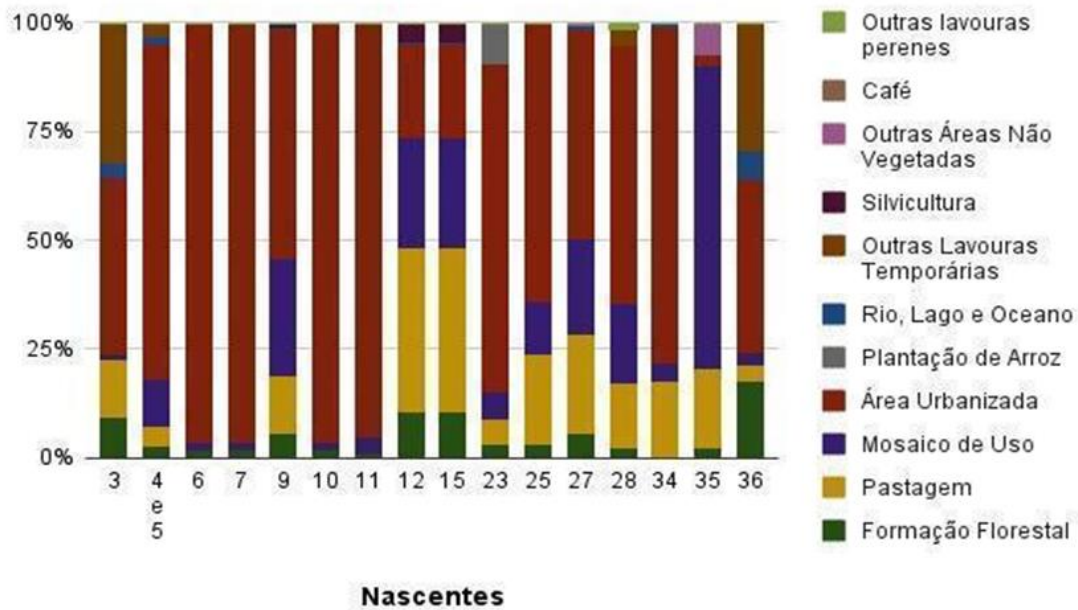


Figura 2. Representatividade das classes de uso e ocupação do solo nas 16 nascentes do estudo.



Os resultados das análises de qualidade das águas, para os parâmetros avaliados estão mostrados na Figura 3, que apresenta também os referências de qualidade de águas doces para as classes 1 e 2, do território brasileiro (BRASIL, 2005).

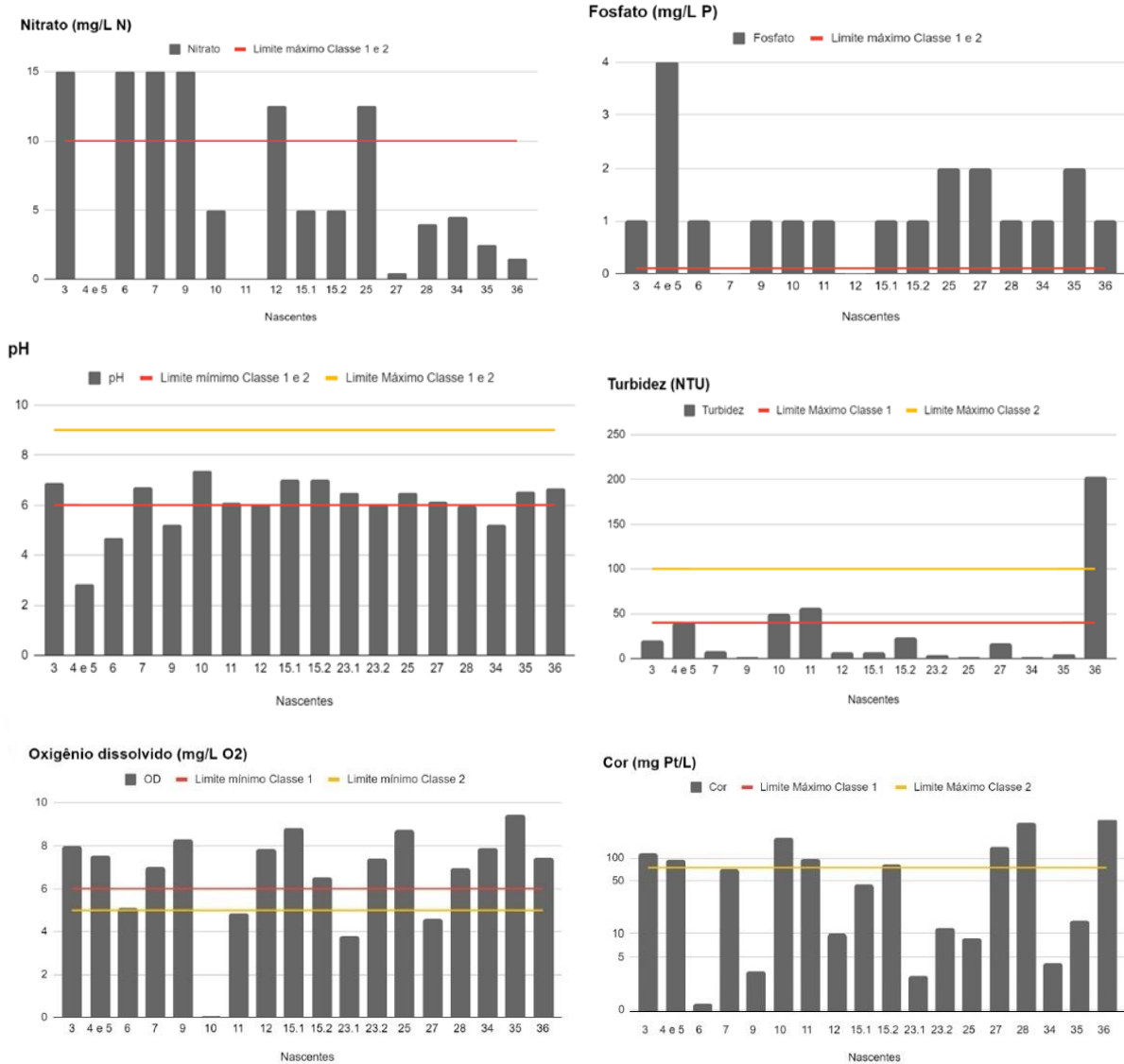


Figura 3. Qualidade de água em nascentes urbanas de SJC.

A partir do teste Shapiro-Wilk verificou-se que nenhum dos parâmetros de qualidade de águas apresentou distribuição normal (com $p < 0,05$), para pH (0,005), turbidez ($<0,001$), cor (0,002), oxigênio dissolvido (0,011), nitrato (0,003), fosfato (0,001) e condutividade elétrica ($<0,001$). Benassi et al. (2017) afirmam que os dados ambientais, especificamente relacionados à água, geralmente não apresentam distribuição normal, uma vez que a média e a mediana não se equiparam como ocorre na distribuição normal, que apresenta assimetria positiva sem valores negativos.

Os resultados da análise de correlação dos parâmetros de qualidade de água com o uso e ocupação do solo estão dispostos na Tabela 1, que traz o coeficiente de Spearman entre os dados dos parâmetros de cada

microbacia com os três agrupamentos de uso do solo: formação florestal, uso moderado e intensivo do solo. Os resultados que apresentaram significância estatística ($p\text{-value} \leq 0,05$) estão destacados em negrito.

Tabela 1. Correlação dos parâmetros de qualidade de água com os diferentes usos e ocupação do solo.

Parâmetros	Formação Florestal		Uso moderado do solo		Uso intensivo do solo	
	Correlação Spearman	p-value	Correlação Spearman	p-value	Correlação Spearman	p-value
pH	0,91	0,737	0,478	0,061	-0,297	0,265
Turbidez	0,128	0,636	0,115	0,0672	-0,065	0,811
Cor	0,174	0,52	0,253	0,344	-0,168	0,533
OD	0,191	0,478	0,259	0,333	-0,543	0,030
Nitrato	0,133	0,624	-0,072	0,791	0,063	0,816
Fosfato	-0,077	0,778	0,067	0,806	-0,283	0,289
CE	-0,037	0,892	-0,351	0,183	0,384	0,142

Os resultados do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis adotando $p < 0,05$ estão dispostos na Tabela 2. É possível observar que não houve variações relevantes entre os parâmetros de qualidade de água em todas as nascentes deste estudo. Isto se deve ao fato de as microbacias apresentarem características predominantemente de áreas urbanizadas ou outras atividades antrópicas, como pastagem e mosaico de usos, não apresentando diferenças significativas de uso e ocupação de solo entre si.

Tabela 2. Resultado do teste não paramétrico Kruskal-Wallis.

Teste Kruskal-Wallis	
Parâmetros	p
pH	0,332
Turbidez	0,369
Cor	0,350
OD	0,524
Nitrato	0,319
Fosfato	0,319
CE	0,410

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir do gráfico de distribuição das categorias de uso e ocupação do solo é possível observar que a maioria dos pontos apresentam valores expressivos de áreas urbanizadas, sendo que a nascente que apresentou maior porcentagem foi a PRN 06, apresentando cerca de 96,7% para esta categoria. Por outro lado, a microbacia que apresentou menor porcentagem foi a PRN 35, contando com apenas 0,88% de perímetro urbano em sua área total. Ainda que esta microbacia esteja localizada próxima à Área de Proteção Ambiental (APA) de São Francisco Xavier, a sub-bacia na qual ela está inserida apresenta influência predominante de atividades antrópicas, sendo o motivo da baixa representatividade de áreas vegetadas em sua totalidade.

Nota-se que para a categoria de formação florestal, nenhum dos parâmetros testados apresentou correlação significativa. Isto significa que os percentuais de vegetação presente na região das sub-bacias em que cada nascente está inserida não apresentaram atuação relevante na alteração dos parâmetros analisados. Ou ainda que não existam quantidade de dados suficientes para que essa relação seja manifesta.



O mesmo ocorre para a classe de uso moderado do solo, a correlação calculada não foi significativa e, portanto, os usos do solo voltados para atividades agrícolas e rurais não apresentaram influência expressiva na alteração da qualidade da água. No entanto é possível observar que para o parâmetro de pH, o coeficiente Spearman apresentou significância mediana de 0,478 (sendo que os coeficientes mais próximos de -1 ou 1, sendo de variação positiva quando as variáveis são diretamente proporcionais ou variação negativa, quando apresentam proporcionalidades inversas). Neste sentido, essa correlação pode estar relacionada com possíveis despejos de efluentes, que segundo Benassi *et al.* (2017), são fatores determinantes para elevação do pH da água.

Os resultados para a classe de uso intensivo do solo indicaram que o indicador OD apresentou resultados significativos, com p-value de 0,03 e coeficiente Spearman mediano de -0,543 em relação ao percentual de regiões que apresentam maior atividade antropológica e aos parâmetros de qualidade de água. Essa correlação pode ser atribuída ao fato de que as regiões mais urbanizadas estão atreladas ao lançamento de efluentes domésticos e industriais, que inferem de maneira direta na redução das concentrações de oxigênio dissolvido na água, já que causam um aumento da disposição de matéria orgânica nas nascentes (Souza & Gastaldini, 2014).

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos com essa pesquisa foi possível verificar que nenhuma das amostras de qualidade de águas das nascentes atendeu integral ao padrão requerido para as classes 1 e 2. A despeito de ser essa uma análise transversal, o resultado aponta para a necessidade de aprofundamento dos estudos com realização de amostragem longitudinal. Destaca-se que as concentrações de OD verificadas são maiores do que aqueles esperados para afloramentos de águas e que se faz necessária a criação de referenciais específicos de qualidade para a avaliação de nascentes.

A partir do Teste de Spearman foi possível verificar apenas uma correlação significativa entre os parâmetros de qualidade de água com os diferentes usos do solo, sendo pela relação de OD com o uso intensivo do solo. A correlação resultante demonstrou a associação de proporcionalidade que se caracteriza como inversa. Neste contexto, quanto maior for o uso excessivo do solo, seja por ocupação da região ou por outras atividades antrópicas, atreladas a possíveis descartes impróprios de efluentes na microbacia, menor é a concentração de oxigênio dissolvido presente na água. Destaca-se que as análises longitudinais poderão evidenciar novas correlações.

A partir do teste de Kruskal-Wallis foi possível verificar que os resultados das análises dos diferentes parâmetros de qualidade de água não apresentaram diferenças significativas entre as nascentes analisadas, o que pode ser justificado pela similaridade de perfil de uso do solo descrito em cada microbacia.

Ainda que as microbacias das nascentes do estudo não possuíssem quantidades expressivas de vegetação, o suficiente para que uma observação mais assertiva pudesse ser realizada e/ou alterações mais expressivas nos parâmetros de qualidade de água pudesse ser constatada, foi possível verificar que, dentre todas as nascentes analisadas, as que apresentaram maiores percentuais de vegetação são as que possuem águas com melhor condição de qualidade.

Nesta perspectiva, pode-se afirmar que a qualidade da água é influenciada pelos diversos usos do solo, o que torna o gerenciamento das nascentes imprescindível para o controle e manutenção da qualidade da água das bacias hidrográficas. Recomenda-se, portanto, uma análise detalhada dos indicadores apresentados no estudo, assim como um acompanhamento das alterações do uso e a ocupação do solo para que se possa monitorar a qualidade de água nas nascentes, visando a manutenção da biodiversidade local.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Secretaria de Urbanismo e Sustentabilidade (SEURBS) da prefeitura municipal de São José dos Campos, em especial ao Dr. Luciano Machado, por propiciar o desenvolvimento desse trabalho e ao Laboratório de Saneamento do DEA/UNESP pela realização das análises.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Conjuntura dos recursos hídricos do Brasil, 2021. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2021.
2. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). Washington DC: American Public Health Association, 2017.
3. BENASSI, R. F., ARAUJO, P. L., HAMBURGER, D. S., JESUS, T. A., CICCIO, V. Relação entre a qualidade da água e o uso do solo em microbacias do reservatório Billings, na Região Metropolitana de São Paulo - SP. REGA- Revista de Gestão de Água da América Latina v.15e2 p.1-19, 2017.
4. BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Política nacional de recursos hídricos. Diário Oficial da União, 9 jan. 1997. Seção 1, p.470.
5. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005; dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 2005.
6. CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimentos, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB. Brasília: ANA. 2011.
7. LIMA, C. R. N.; ZEILHOFER, P.; DORES, E.; CRUZ, I. F. Variabilidade espacial de qualidade de água em escala de bacias - Rio Cuiabá e São Lourenço, Mato Grosso. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20 n. 1, 2015.
8. OMETO, J.P.H.B.; MARTINELLI, L.A.; BALLESTER, M.A.; GESSNER .A; JRUSCHE, A.V.; VICTORIA, R.L.; WILLIAMS, M. Effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates in two streams of Piracicaba river basin, south-east Brazil. Freshwater Biology, v.44, n.2, p. 327-337, jun. 2000.
9. SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Lei nº 7.112 de 2006 ; institui a Política Municipal de Educação Ambiental e dá outras providências. Diário Oficial, São José dos Campos, 2006.
10. SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Mostra de Vídeos Ambientais apresenta trabalhos estudantis. 2022 Disponível em: <https://www.sjc.sp.gov.br/noticias/2022/dezembro/08/mostra-de-videos-ambientais-apresenta-trabalhos-estudantis/> Acesso: 28 fev. 2024
11. SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Histórico do Programa Revitalização de Nascentes. 2024 Disponível em: <https://nascentes.sjc.sp.gov.br/o-programa/> Acesso: 28 fev. 2024
12. SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.19, n.3, p.263-274, 2014.
13. VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. Conservação de nascentes - Produção de Água em Pequenas Bacias Hidrográficas. 2 ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil Editora, 2011. 267 p.
14. VESSONI, R. H. Conservação de nascentes e a degradação ambiental por ocupação do solo no bairro nascente imperial em Contagem (MG). Belo Horizonte, 2019.
15. UNESCO. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: água para um mundo sustentável. Sumário executivo. 2015.