TECNOLOGIA INOVADORA DE BIOESTIMULAÇÃO: IMPACTOS DA APLICAÇÃO EM CAPTAÇÃO DE ÁGUA BRUTA DA ETA EMBU GUAÇU

Matheus Müller[(1)]
Engenheiro Civil, doutor em Ciências pelo ITA e Diretor Executivo na SALUS Engenharia em Deságue.
Luís Fernando Magalhães [(2)]
Diretor na O2Eco Tecnologia Ambiental.
Daniel Clemente Vieira Rego da Silva [(3)]
Biólogo, doutor pela IB-USP e Docente na Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI.
Márcia Regina de Freitas [(4)]
Engenheira Civil, doutora pela UNICAMP e Docente de Engenharia Civil na Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá FEG - UNESP.

Endereço[(1)]**:** Rua Tertuliano Delphim Jr., 79 - Aquarius – São José dos Campos - SP - CEP: 12246-001 - Brasil - Tel: +55 (12) 9.8319-0007 - e-mail: mmuller@salusengenharia.com.

RESUMO

Este estudo avalia os efeitos da aplicação da tecnologia de bioestimulação através de placas O2Eco com micronutrientes, na qualidade da água bruta do Rio Embu Guaçu, manancial responsável por 44% do volume da Represa Guarapiranga e fonte de água bruta da ETA Embu Guaçu. Foram instaladas 22 placas bioestimuladoras ao longo de 2 km a montante do ponto de captação. A avaliação considerou dados históricos e parâmetros como turbidez, cor, produção de lodo, densidade algal e cianobactérias. Mesmo com aumento de 64% na vazão tratada entre 2019 e 2021, observou-se estabilidade na produção de lodo e manutenção da dosagem de coagulantes, sugerindo melhora da qualidade da água bruta. Houve ainda redução de densidade algal e alteração no perfil de cianobactérias durante o período de pós-aclimatação, indicando reequilíbrio microbiológico. A escassez de literatura específica limita a interpretação total dos mecanismos envolvidos, mas os resultados demonstram potencial da tecnologia para promover a autodepuração, reduzir o uso de produtos químicos e os impactos ambientais do processo de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Bioestimulação; cianobactérias; densidade algal.

INTRODUÇÃO

A qualidade da água bruta captada é fator determinante na eficiência operacional e nos custos associados ao processo de tratamento em uma ETA. Fontes de captação com maior presença de sólidos suspensos, matéria orgânica, nutrientes e contaminantes microbiológicos exigem maior dosagem de insumos químicos, como coagulantes e oxidantes, além de maior frequência de retrolavagens e descarte de resíduos. Isso não apenas eleva o consumo de produtos químicos e energia, mas também aumenta a geração de lodo e os encargos com sua destinação final. Assim, a degradação da qualidade da água bruta impacta diretamente a sustentabilidade técnica e econômica do sistema de abastecimento, sendo fundamental a proteção das bacias hidrográficas e o monitoramento contínuo dos parâmetros de qualidade da água captada.

O município de Embu Guaçu, situado na região sudoeste da Região Metropolitana de São Paulo, é atravessado pelo rio de mesmo nome, o Rio Embu Guaçu, cuja importância hidrológica se destaca tanto pela sua contribuição ao sistema de abastecimento da capital paulista quanto pela relevância ambiental de sua bacia.

Com nascentes localizadas no extremo sul do município de São Paulo, dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) Municipal Capivari-Monos, o Rio Embu Guaçu percorre direção sudoeste até desaguar na represa de Guarapiranga. Este corpo hídrico é responsável por aproximadamente 44% do volume que abastece a represa, configurando-se como seu principal tributário. Outro afluente relevante da represa é o Rio Embu Mirim.

O Rio Embu Guaçu apresenta várzeas preservadas por meio do Parque Ecológico Várzea do Embu Guaçu, o qual abrange cerca de 129 hectares de Mata Atlântica, localizados em área próxima ao centro urbano do município.

Dentre seus afluentes, destaca-se o Rio Santa Rita, cuja nascente situa-se na divisa entre Embu Guaçu e São Lourenço da Serra, desaguando no Embu Guaçu dentro da área do parque ecológico.

Em função da importância hídrica da região, foi implantada em 2013 a Estação de Tratamento de Água (ETA) Embu Guaçu, com o objetivo de atender uma população estimada de 120 mil habitantes. A unidade, do tipo compacta modular, opera atualmente com uma vazão média de 150 L/s, sob responsabilidade da Divisão de Controle Sanitário Sul – MSEC da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

O processo de tratamento segue os princípios clássicos de potabilização, incluindo captação, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, sendo este orientado pelas características físico-químicas e microbiológicas da água bruta proveniente do rio (OLIVEIRA C. R., 2016). Como subproduto do processo, gera-se o lodo de ETA, composto majoritariamente por água, sólidos suspensos removidos da água tratada, coagulantes, além de ferro e manganês oxidados.

O lodo gerado na ETA Embu Guaçu passa por processo de adensamento com o auxílio de polímeros para floculação, sendo então acondicionado em sistemas de confinamento constituídos por geotêxteis, tecnologia amplamente empregada para desaguamento e acondicionamento temporário de resíduos semissólidos.

O material permanece confinado até que a estrutura atinja sua capacidade de armazenamento, sendo então retirada e encaminhada para destinação final na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Barueri, que dispõe de infraestrutura adequada para o recebimento e tratamento de resíduos sólidos oriundos de processos de potabilização.

Visando mitigar os efeitos negativos da baixa qualidade da água bruta sobre o sistema de tratamento, este trabalho propõe o estudo e a aplicação de uma tecnologia inovadora com placas bioestimuladoras na ETA Embu Guaçu, com potencial para atuar na melhoria da água ainda na etapa de captação. A tecnologia, cujos detalhes serão apresentados neste estudo, busca reduzir a carga de nutrientes e turbidez por meio de tratamento biológico, promovendo um pré-tratamento eficiente que contribua para a redução do consumo de insumos ao longo do processo de tratamento da água para potabilidade. A proposta também almeja ganhos operacionais e econômicos, a viabilidade técnica, os benefícios esperados e os desafios de implementação serão discutidos e avaliados nas seções seguintes deste trabalho.

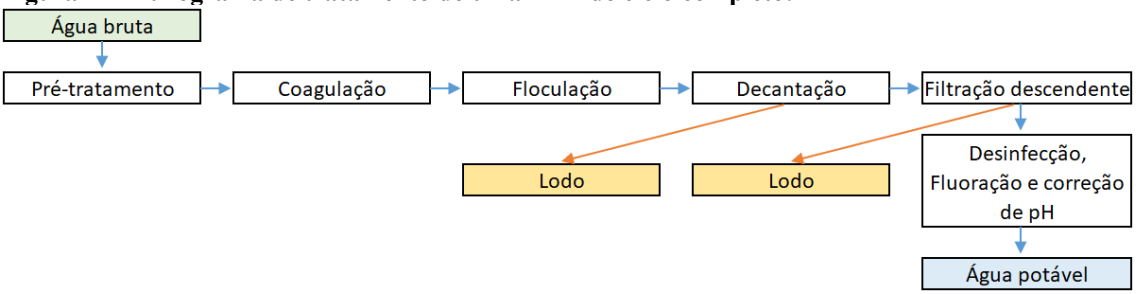
REFERENCIAL TEÓRICO

Estação de Tratamento de Água (ETA) de ciclo completo

Uma ETA de ciclo completo é caracterizada por reunir todas as etapas convencionais de potabilização da água em sequência integrada, abrangendo desde a captação até a distribuição da água tratada. O processo inicia-se com a captação da água bruta, geralmente em mananciais superficiais, seguida pelas etapas de coagulação e floculação, nas quais são adicionados coagulantes químicos que promovem a agregação das impurezas em flocos. Esses flocos são posteriormente separados por decantação, onde se sedimentam por gravidade em tanques apropriados, reduzindo a turbidez e a carga orgânica da água.

Na sequência, a água decantada passa por unidades de filtração, normalmente compostas por filtros de areia ou materiais granulares, com a função de remover partículas remanescentes. Posteriormente, são aplicados agentes desinfetantes, como o cloro, visando a eliminação de microrganismos patogênicos. Em algumas unidades, realizam-se ainda correções de pH e adição de fluoretos, conforme exigências da legislação vigente. Todo o processo é monitorado por meio de sistemas de controle operacional, garantindo a qualidade da água distribuída e a conformidade com os padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde. A ETA de ciclo completo é amplamente adotada no Brasil, sendo eficaz para diferentes perfis de qualidade de água bruta. A Figura 1 apresenta o fluxograma de tratamento.

Figura 1 – Fluxograma de tratamento de uma ETA de ciclo completo.



Fonte: Autores.

Geração de lodo

Durante o processo de tratamento em uma ETA, especialmente nas etapas de coagulação, floculação e decantação, há a geração de um subproduto conhecido como lodo de ETA. Esse lodo é composto majoritariamente por partículas removidas da água bruta, como sólidos suspensos, matéria orgânica e inorgânica, além de resíduos dos produtos químicos utilizados no tratamento, como coagulantes metálicos (geralmente sais de alumínio ou ferro) e seus respectivos subprodutos de reação. A correta gestão e disposição deste lodo são fundamentais tanto do ponto de vista ambiental quanto operacional, pois influenciam diretamente no desempenho da estação, nos custos de operação e na sustentabilidade do sistema.

A estimativa da quantidade de lodo gerado em uma ETA pode ser realizada por meio da equação proposta pelo Water Research Center (WRC), amplamente utilizada em estudos de engenharia sanitária. A equação é expressa da seguinte forma:

$$P = (1{,}2 \times T + 0{,}07 \times C + k \times D + A) / 0{,}001 \qquad \text{equação (1)}$$

Onde P é a produção de sólidos (Kg massa seca/m³ de água tratada); T =e a turbidez (NTU); C é a cor aparente (UC); D é a dosagem de coagulante (mg/L); K é o coeficiente de precipitação; e A é a dosagem de outros produtos químicos como polímeros e carvão ativado pulverizado.

Essa equação permite estimar a produção de lodo a partir de parâmetros característicos da água bruta, como a alcalinidade e a cor aparente, que influenciam diretamente na demanda de coagulantes e, consequentemente, na formação de sólidos durante o tratamento. O uso dessa fórmula contribui para o dimensionamento de unidades de adensamento, desaguamento e transporte de resíduos nas ETAs, além de subsidiar a avaliação de custos operacionais e estratégias de manejo ambientalmente adequadas.

Bioestimulação

Bioestimuladores causam bioremediação, representam tecnologias ambientais inovadoras voltadas à recuperação da qualidade da água em corpos hídricos impactados, sobretudo nas regiões de captação para abastecimento público. Os bioestimuladores consistem em produtos formulados com nutrientes específicos (macro e micronutrientes, enzimas ou compostos orgânicos) que têm como objetivo estimular a atividade metabólica e o crescimento da microbiota nativa presente no ambiente aquático (KAMATH G., 2007; MODENESI, K. et al., 2004; SILVA E., 2004). Ao promoverem o desenvolvimento da microbiota benéfica, esses produtos intensificam os processos naturais de degradação da matéria orgânica e contaminantes, acelerando o fenômeno da autodepuração. Esse processo é essencial para a restauração do equilíbrio ecológico de bacias hidrográficas submetidas a pressões antrópicas como urbanização, lançamento de esgotos e uso desordenado do solo.

ESTUDO DE CASO

A avaliação da eficácia da tecnologia de placas bioestimuladoras TWC da O2Eco na melhoria da qualidade da água bruta do Rio Embu Guaçu foi conduzida por meio de um estudo comparativo, envolvendo a análise de parâmetros de qualidade antes e após a aplicação dos bioestimuladores. A decisão pelo uso da bioestimulação considerou dados históricos de monitoramento do ponto de captação, bem como características específicas do corpo hídrico, como vazão média, regime de fluxo e susceptibilidade à poluição difusa. A etapa de planejamento contou com a elaboração de um Mapa de Prototipação, utilizado como ferramenta técnica para refinar a abordagem, selecionar os

pontos estratégicos de aplicação das placas e prever o impacto da intervenção sobre a dinâmica ecológica do rio. A figura 2 apresenta o trecho a montante da captação onde a aplicação das placas foi realizada.

Figura 2 – Trecho de aplicação das placas TWC no Rio Embu Guaçu.



Fonte: COSTA F. A. S. *et al.* (2021).

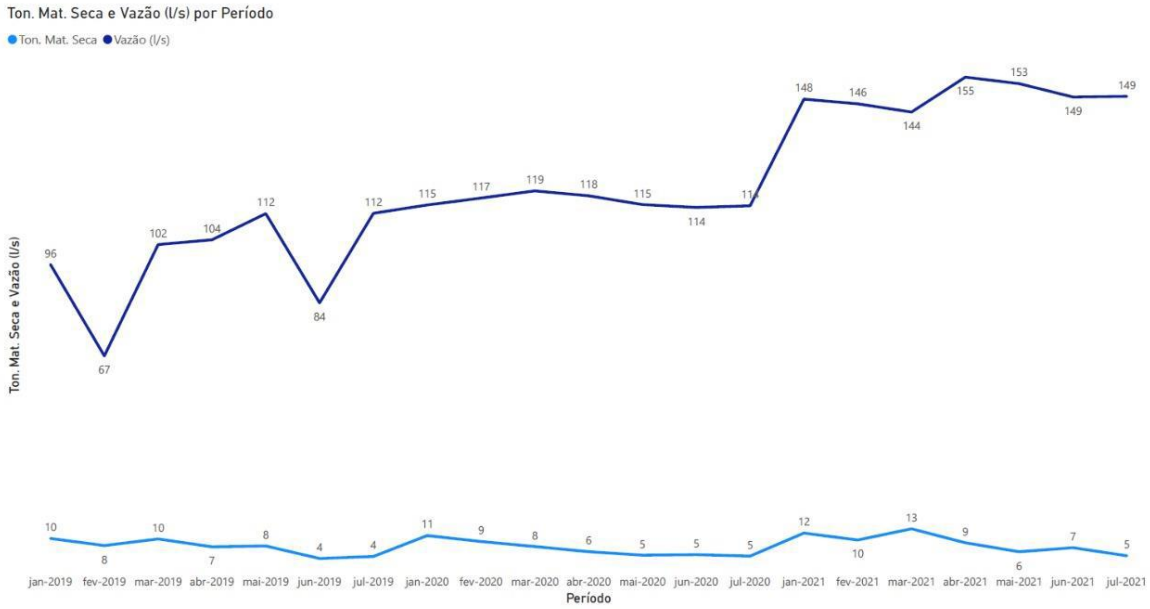
Durante a fase de testes, foram instaladas 22 placas bioestimuladoras TWC ao longo de um trecho de 2 km a montante do ponto de captação da ETA. A instalação foi realizada preferencialmente na face interna das curvas do rio, onde a menor velocidade do fluxo favorece o tempo de retenção hidráulica e potencializa o contato com a microbiota nativa. Foram definidos parâmetros de controle, frequência de amostragem e protocolos de manutenção dos pontos de aplicação. As coletas de água bruta foram realizadas em períodos distintos, seco e chuvoso, visando abranger a variabilidade sazonal e operacional do sistema. As variações de vazão e profundidade decorrentes de manobras em comportas de controle também foram registradas, permitindo a análise contextualizada dos resultados. Os parâmetros avaliados incluíram turbidez, cor aparente, DBO, oxigênio dissolvido e presença de coliformes termotolerantes, conforme métodos padronizados.

RESULTADOS OBTIDOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO

A fase de prototipação da tecnologia TWC foi realizada entre agosto de 2020 e junho de 2021. A avaliação da produção de lodo baseou-se em dados históricos do sistema, com foco nos primeiros semestres de 2019 a 2021, período crítico devido à maior variabilidade na qualidade da água bruta por influência de chuvas e temperaturas elevadas. A comparação foi feita com base em semestres homólogos, buscando minimizar interferências sazonais.

A massa seca de lodo foi estimada pela fórmula convencional adotada na ETA, baseada no consumo de coagulantes e auxiliares de floculação, sem alteração na metodologia ao longo do período analisado. Os resultados indicaram redução na geração de lodo, mesmo com manutenção das dosagens químicas e aumento da turbidez entre novembro e dezembro de 2020, atribuído à intensificação das chuvas. A Figura 3 apresenta estes dados.

Figura 3 – Trecho de aplicação das placas TWC no Rio Embu Guaçu.



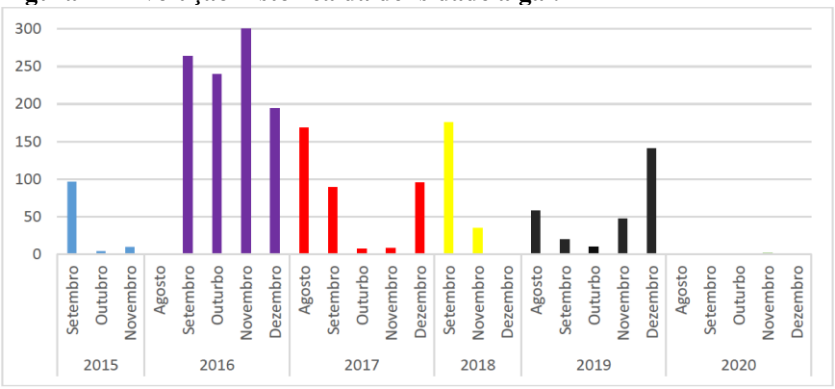
Fonte: COSTA F. A. S. *et al.* (2021).

No primeiro semestre de 2021, mesmo com o aumento da vazão média de 96 L/s para 149 L/s, ultrapassando a vazão nominal nos meses de abril e maio devido à recuperação de água de lavagem, os níveis de produção de lodo permaneceram estáveis. Isso sugere maior eficiência no processo de tratamento com o uso da bioestimulação.

Mais de 99% dos microrganismos presentes no ambiente são benéficos, mas sua quantidade, em áreas contaminadas, é insuficiente para promover a autodepuração natural. O uso do bioestimulador mostrou-se eficaz ao fornecer microambientes de fixação e nanonutrientes que favorecem o crescimento exponencial da microbiota nativa, intensificando o processo de nitrificação e reequilíbrio do meio. Ao contrário dos manejos tradicionais, que eliminam parte dos microrganismos e perpetuam o acúmulo de resíduos, a bioestimulação potencializa a restauração ecológica do corpo hídrico.

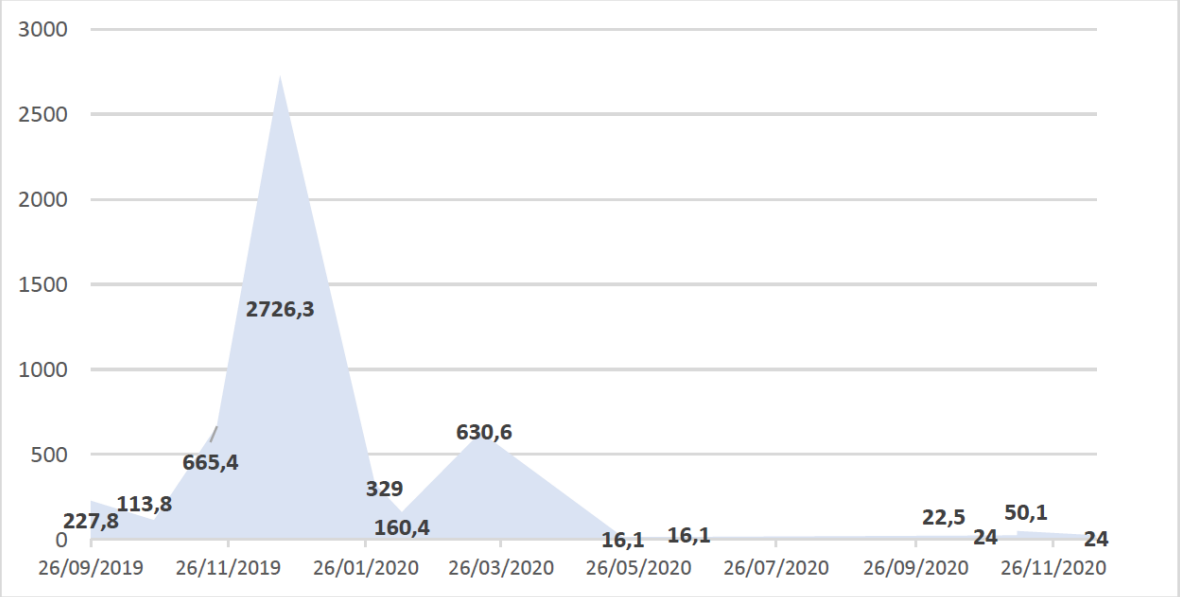
Durante a fase de testes no Rio Embu Guaçu, observou-se alteração significativa em dois parâmetros de monitoramento: densidade algal e quantificação de cianobactérias. A série histórica complementada com dados coletados e advindos do teste indicam valores nulos ou próximos de zero para densidade algal em agosto/2016, dezembro/2018 e entre agosto e dezembro/2020. Para cianobactérias, os valores foram igualmente baixos em maio, julho, setembro e novembro de 2020. A comparação entre os períodos de setembro a dezembro de 2019 e 2020 evidencia uma mudança no perfil da comunidade de cianobactérias, associada ao período pós-aclimatação do bioestimulador, conforme ilustram as Figuras 4 e 5.

Figura 4 – Evolução histórica da densidade algal.



Fonte: COSTA F. A. S. *et al.* (2021).

Figura 5 – Evolução histórica da quantificação de cianobactérias (cels./mL).



Fonte: COSTA F. A. S. *et al.* (2021).

CONCLUSÕES

O sistema de abastecimento de Embu Guaçu integra aspectos de proteção ambiental e operação sanitária eficiente, destacando-se tanto pela preservação dos corpos hídricos da região quanto pelo emprego de soluções técnicas adequadas para o manejo dos resíduos gerados. A utilização de geotêxteis no confinamento do lodo representa uma alternativa segura e eficaz para a redução do volume, melhoria da logística de transporte e posterior disposição adequada em unidade licenciada.

A limitada bibliografia específica e o conhecimento ainda parcial dos mecanismos de ação da bioestimulação dificultam a avaliação completa dos dados obtidos. No entanto, os resultados indicam que a aplicação da tecnologia na água bruta do Sistema Embu Guaçu contribuiu significativamente para a melhoria da qualidade da água, possibilitando a manutenção da produção de lodo e da dosagem de produtos químicos, mesmo com um aumento de 64% na vazão tratada em comparação a janeiro de 2019.

Essa melhoria apresenta potencial efeito cascata em todo o processo de tratamento, com benefícios como a redução de cianobactérias e da densidade algal, menor necessidade de produtos químicos e algicidas, diminuição da turbidez da água bruta, redução na geração de lodo, além de economia logística e mitigação de impactos ambientais.

Destaca-se a necessidade de um período de climatização após a instalação das placas, antes do início das coletas de amostras para avaliação, para estabilização da microbiota estimulada. Ainda não foi possível determinar a vida útil do material ou a frequência ideal de substituição, o que será objeto de estudos futuros. A manutenção da composição química e a estabilidade de parâmetros como cor e turbidez reforçam o potencial da bioestimulação para reduzir o consumo de reagentes e a geração de lodo, mesmo em condições adversas de captação.

Devido as mudanças observadas no perfil microbiológico indica-se a necessidade de estudos futuros que explorem aplicações mais amplas da bioestimulação como ferramenta de tecnologia verde, alinhada aos princípios de governança ambiental contemporânea. Avaliando também a aplicação da tecnologia TWC para o controle e mitigação de plantas aquáticas, uma vez que atua no reequilíbrio da microbiota e na melhoria da qualidade da água, reduzindo nutrientes como nitrogênio e fósforo, que favorecem a proliferação dessas espécies. Embora os mecanismos de ação indireta sobre macrófitas ainda não tenham sido investigados neste estudo, a hipótese de sua eficácia no manejo biológico dessas plantas justifica a realização de futuras pesquisas específicas, com foco no monitoramento de biomassa vegetal, disponibilidade de nutrientes e respostas ecológicas ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COSTA F. A. S. et al. Redução da produção de lodo no Processo de Tratamento de Água da ETA Embu-Guaçu utilizando bioestimulação na água bruta, 31° Congresso da ABES, Curitiba/PR, p. 1305, 2021.
2. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Carta do Brasil. Folha topográfica de Araraquara (SF-22-X-D-VI-4), São Paulo, IBGE. Escala 1:50.000, 1983.
3. KAMATH G. Bioremediation of Lakes: Myths and Realities. In: Sengupta M, Dalwani R. Proceedings of Taal 2007 - 12th World Conference. Mubai: Organica Biotech; 2007. p. 44-49.
4. MODENESI, K. et al. A CFD model for pollutant dispersion in rivers. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 21, n. 4, p. 557-568, out./dez., 2004.
5. OLIVEIRA CR, Contador LS. Avaliação das condições dos indicadores microbiológicos de balneabilidade da Lagoa Rodrigo de Freitas - RJ. Rio de Janeiro. Monografia [graduanda em ciências biológicas] – USU; 2016.
6. SILVA E, Fialho AM, Sa-Correia I, Burns RG, Shaw LJ. Combined bioaumentation and biostimulation to cleanup soil contaminated with high cocentraions of atrazine. Environ Sci Technol 2004; 38: 632-37.