

FERRAMENTA WEB PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA A PARTIR DA REESTRUTURAÇÃO DAS EQUAÇÕES QUE DESCREVEM AS CURVAS DOS INDICADORES DE QUALIDADE

Ricardo Grunitzki¹; Jarbas Cleber Ferrari^{2}; Ana Carla da Silva³; Patrícia H. Zambão⁴ & Eduardo V. P. Neckel⁵*

Resumo – É crescente o número de trabalhos que envolvem o monitoramento da qualidade da água, a fim de diagnosticar e servir como ferramenta de gestão deste recurso. A resolução 357/2005 do CONAMA determina os níveis adequados para os parâmetros físico-químicos e biológicos em que devem enquadrar-se os corpos hídricos. Devido à complexidade de analisar todos estes parâmetros, existem indicadores como o IQA, desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta através de um índice definido por um produtório ponderado, onde são considerados os principais parâmetros de qualidade de água. No intuito de tornar o cálculo desse índice mais dinâmico, neste trabalho é realizada a reestruturação das equações que descrevem as curvas médias dos indicadores de qualidade que compõem o IQA. Estas equações são utilizadas no desenvolvimento de uma ferramenta web, o BasIQA, que visa facilitar o cálculo do IQA e a visualização dos resultados. Os resultados obtidos demonstram que as equações estimadas possuem precisão equivalente ou superior a outros trabalhos da literatura. Além disso, as equações possuem menor complexidade, menor número de parâmetros e curvas definidas por uma única equação. O BasIQA está disponível gratuitamente na *web* e possibilita a geração de um relatório que facilita o monitoramento das análises.

Palavras-chave - Índice de Qualidade de Água, Software de Monitoramento Ambiental

WEB TOOL FOR DETERMINING THE QUALITY WATER INDEX FROM THE RESTRUCTURING OF EQUATIONS THAT DESCRIBE CURVES OF QUALITY INDICATORS

Abstract – Is growing number of studies involving the water quality monitoring in order to diagnose possible contaminants and serve as a tool for managing this resource. The CONAMA's resolution 357/2005 determines the appropriated levels for the physic-chemical and biological characteristics that must fit the rivers. Due to the complexity to analyze these parameters, there are indicators such as the WQI that was developed with the aim of evaluating the quality of raw water defined by a weighted multiplicand, which considers the major parameters of water quality. In order to make the index calculation more dynamic, in this work was carried out restructuring of the equations that describe the average curves of the quality indicators. These equations are used to develop a web tool, called BasIQA, which aims to facilitate the calculation and visualization of the WQI results. The results show that the estimated equations have equivalent accuracy or superior to other works. Moreover, the equations have lower complexity, fewer parameters and curves defined by a single equation. The BasIQA is freely available on the web and allows the generation of a report that facilitates the control of the analysis.

Keywords – Water Quality Index, Software to Environmental Monitoring.

¹Pós Graduando do Instituto de Informática - UFRGS, rgrunitzki@inf.ufrgs.br

²Professor do Depto Eng. Sanitária – UDESC, jarbasferrari@yahoo.com.br

³Bolsista de Iniciação Científica do Depto Eng. Sanitária – UDESC, anacarlaacs@live.com

⁴Bolsista de Iniciação Científica do Depto Eng. Sanitária – UDESC, patriciahzambao@gmail.com

⁵Bolsista de Iniciação Científica do Depto Eng. Sanitária– UDESC, poffo_edu@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas requerem usos múltiplos dos recursos hídricos. Essas atividades podem gerar impactos e deterioração da qualidade da água, assim como interferir na quantidade de água disponível (Netto *et al.*, 2003). A contaminação dos mananciais de abastecimento público, por rejeitos oriundos das atividades humanas tem sido um dos maiores fatores de risco para a saúde humana, especialmente nas regiões com condições inadequadas de saneamento básico.

Neste contexto, se tornam importantes ações de monitoramento da qualidade das águas como ferramentas para o manejo adequado dos recursos hídricos. Além disso, o monitoramento de qualidade de água constitui um alerta para as instituições de ensino, pesquisa e extensão, autoridades públicas e a população sobre significativos índices de poluição dos recursos naturais (Gonçalves, 2004).

O uso de índices de qualidade de água é uma tentativa que todo programa de monitoramento de qualidade de água prevê como forma de acompanhar, através de informações resumidas, a possível deterioração de um corpo hídrico (Toledo e Nicolella, 2002).

O Índice de Qualidade das Águas – IQA, desenvolvido pela *National Sanitation Foundation*, modificado no Brasil pela CETESB, é utilizado por agências de água em diversos países (Hülya, 2009) e foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para abastecimento público. Os parâmetros utilizados pelo IQA são em sua maioria, indicadores de contaminação causada pela ação antrópica, sendo eles: Oxigênio dissolvido, Coliformes termotolerantes, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio total, Fósforo total, Temperatura, Turbidez e Sólidos totais.

Devido à vasta utilização do IQA como indicador de qualidade de água, existem diversos trabalhos na literatura que investigam a metodologia de cálculo do IQA para fins de monitoramento da qualidade de água. A partir da avaliação de artigos da literatura que apresentam propostas de modelagem das curvas médias de variação dos indicadores de qualidade, observa-se uma necessidade de simplificação das equações que descrevem tais curvas, de forma a facilitar o acesso ao cálculo do IQA, sendo este o grande diferencial deste trabalho com relação a outros da literatura.

No intuito de tornar o cálculo do IQA mais dinâmico, neste trabalho é realizada a reestruturação das equações que descrevem as curvas propostas nos gráficos de qualidade (Figura 1). Para facilitar a interpretação dos dados e realizar os cálculos dos modelos, faz-se a implementação de um software, que através de uma interface WEB permite ao usuário leigo realizar o cálculo do IQA, e gerar um relatório técnico da amostra. Além de classificar a amostra pelo IQA a ferramenta *web* também realiza a classificação de cada parâmetro segundo a Resolução do CONAMA 357/2005.

2. ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA - IQA

O IQA foi elaborado em 1970 pelo *National Sanitation Foundation* (NSF), dos Estados Unidos, a partir de uma pesquisa de opinião realizada com especialistas em qualidade de águas, que indicaram os parâmetros a serem avaliados, seu peso relativo e a condição em que se apresentam cada parâmetro. No Brasil, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB utiliza desde 1975, uma versão do IQA adaptada da versão original do NSF.

O IQA é composto por nove parâmetros. Para cada parâmetro é atribuído um peso w , que foram fixados em função de sua importância para a conformação global na qualidade da água, conforme demonstrado na Tabela 1. Além do seu peso w , cada parâmetro possui um valor de qualidade q , obtido da respectiva curva de qualidade em função de sua concentração (IGAM, 2005).

Tabela 1 Parâmetros do IQA e seus respectivos pesos (CETESB,2011)

Parâmetros	Pesos
Oxigênio Dissolvido	0,17
Coliformes Fecaisl	0,15
Potencial Hidrogeniônico	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO _{5,20})	0,10
Temperatura	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Fósforo Total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo Total	0,08

O cálculo do IQA é dado por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros (Equação 1).

$$IQA_{NSF} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

onde: *IQA*: Índice de qualidade de água; *q_i*: qualidade do parâmetro *i* obtido pela respectiva curva média de qualidade; *w*: peso do parâmetro *i*, atribuído em função de sua importância na qualidade de água.

A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade da água bruta, que é indicada pelo IQA, variando numa escala de 0 a 100, representada na Tabela 2.

Tabela 2 Classificação das águas de acordo com o IQA (CETESB, 2011)

Valor do IQA	Classificação
Entre 80 – 100	Ótima
Entre 51 – 79	Boa
Entre 37 – 50	Aceitável
Entre 20 – 36	Ruim
Entre 0 – 19	Péssima

Nesse contexto, trabalhos como Comitesinos (1993), Brown et al. (1974), Mattos (1998), CETESB (2004) e IGAM (2005) buscam representar as curvas médias de variação da qualidade da água, de modo a dispor dos parâmetros de qualidade *q* de uma forma eficaz. Em geral, como as equações utilizadas para descrever as curvas, não constituem o objetivo fundamental da pesquisa desenvolvida nestes trabalhos, estas apresentam complexidade matemática por meio de um número excessivo de parâmetros e uma série de restrições para as funções que descrevem cada uma das curvas. Salienta-se ainda, que os trabalhos citados não apresentam muitas explicações sobre a forma de como é realizada a estimação dos parâmetros que compõem cada equação. A referência mais clara desse processo é apresentada por IGAM (2005), que utiliza regressão polinomial com auxílio de planilhas eletrônicas para determinar as equações que descrevem as curvas médias de qualidade de água.

3. MATERIAS E MÉTODOS

Como o objetivo inicial deste trabalho é realizar a reestruturação das equações que descrevem as curvas médias de variação de qualidade de água, inicialmente, investigam-se as características das curvas, de modo que a escolha empírica da equação que descreve cada curva obedecesse a certas particularidades.

Quanto ao ajuste dos coeficientes das equações selecionadas, este é realizado através de uma estratégia de minimização dos erros quadráticos (Equação 2), auxiliada pelo algoritmo de otimização estocástica *Particle Swarm Optimization* (Kennedy; Eberhart, 1995).

$$\min FO = \sum_{i=1}^{NE} \sum_{j=1}^{NP} \left(y_{ij}^e - y_{ij}^m(x_i, \theta) \right)^2 \quad (2)$$

Onde: FO : função objetivo; y_{ij}^e : i-ésimo valor experimental da variável y ; y_{ij}^m : i-ésimo valor calculado da variável y ; x_i : nível de qualidade do parâmetro; θ : vetor de coeficiente das equações.

A partir da redefinição das equações é desenvolvida uma ferramenta WEB, o BasIQA, que permite ao usuário, a partir da inserção dos resultados analíticos dos nove parâmetros da amostra de água, realizar o cálculo do IQA em ambiente WEB, possibilitando inclusive a geração de um relatório técnico sobre a amostra analisada. O Software é desenvolvido em linguagem de programação Java, com o auxílio do ambiente de desenvolvimento integrado *NetBeans 7.2.1* e *JDK 1.7*. A interface gráfica utiliza o *framework JSF* e componentes da biblioteca de componentes ricos *PrimeFaces 3.4*. A aplicação é desenvolvida e testada para rodar nos servidores *GlassFish 3.1* e *Apache TomCat 7.0.27.0.0*. Para geração do relatório PDF, é utilizado o *framework iReport 4.5.1*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

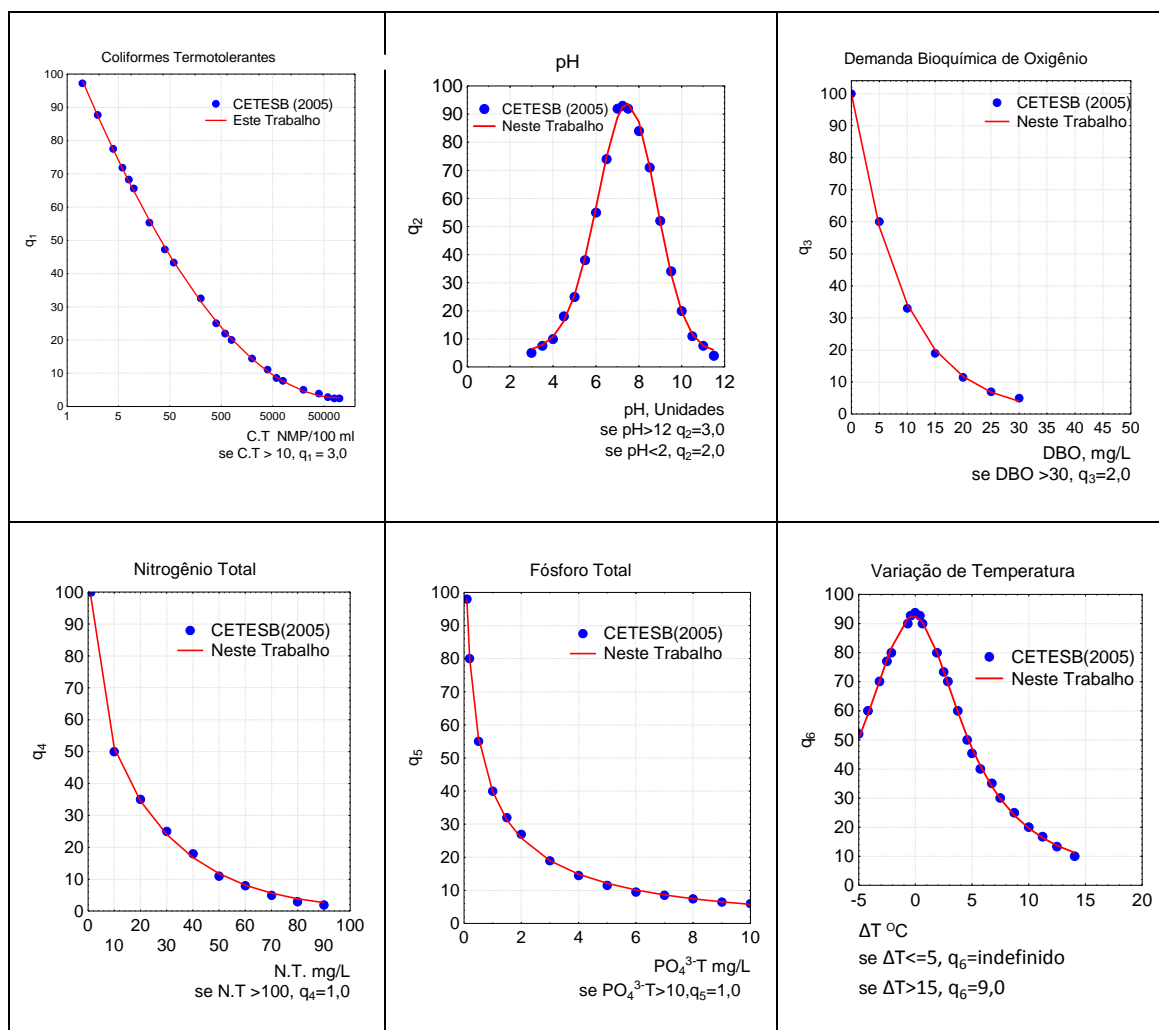
A proposta inicial ao realizar a modelagem matemática das curvas médias de variação de qualidade da água é promover a reestruturação das equações que descrevem tais curvas buscando definir equações de baixa complexidade, fazendo uso do menor número de parâmetros e restrições. A Tabela 3 apresenta as equações definidas para cada indicador de qualidade da água, bem como o valor dos parâmetros ajustados em cada caso. Para os casos onde há limitantes superiores e ou inferiores leva-se em consideração os mesmos critérios definidos por CETESB (2005).

Tabela 3 - Equações ajustadas nesse trabalho para descrever as curvas médias de variação dos indicadores de qualidade da água. *%O₂ = percentual de oxigênio dissolvido, CF = coliformes fecais, pH = percentual hidrogeniônico, DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio, FT= Fósforo Total, NT = Nitrogênio Total, TU = Turbidez, ΔT = Variação de temperatura, q_n = valor de qualidade de água.

Variável*	Equação ajustada à curva	Parâmetros Ajustados
%O ₂	$q_9 = A * \exp\left(\frac{(\%O_2 + B)^2}{C}\right)$	A = 100,8; B = -106; C = -3745
CF	$q_1 = A + B * \log(CF) + C * \log_{10}(CF)^2 + D * \log_{10}(CF)^3$	A = 98,03 B = -36,45 C = 3,138 D = 0,06776
pH	$q_2 = A * pH^{(B*pH+C*pH^2)} + 5,213$	A = 0,05421 B = 1,23 C = -0,09873
DBO	$q_3 = A * \exp^{(B*DBO)}$	A = 102,6 B = -0,01101

<i>FT</i>	$q_5 = A * \exp^{(B * CF^C)}$	$A = 213,7$ $B = -1,680$ $C = 0,3325$
<i>NT</i>	$q_4 = A * NT^{(B+C*NT)}$	$A = 98,96$ $B = -0,2232$ $C = -0,006457$
<i>TU</i>	$q_7 = A * \exp(B * TU + C * \sqrt{TU})$	$A = 97,34$ $B = -0,01139$ $C = -0,04917$
ΔT	$q_6 = \frac{1}{(A * (DT + B)^2 + C)}$	$A = 0,0003869$ $B = 0,1815$ $C = 0,01081$
<i>ST</i>	$q_8 = A * \exp(B * ST + C * \sqrt{ST}) + D * ST$	$A = 80,26$ $B = -0,00107$ $C = 0,03009$ $D = -0,1185$

Na Figura 1 são apresentadas as curvas geradas pelas equações ajustadas em comparação com as curvas médias de variação de qualidade da água segundo CETESB (2005). Observando a Figura 1, não é possível perceber diferenças significativas entre as curvas descritas, sendo este um indicativo de que a modelagem matemática realizada através da estimação de parâmetros é eficiente.



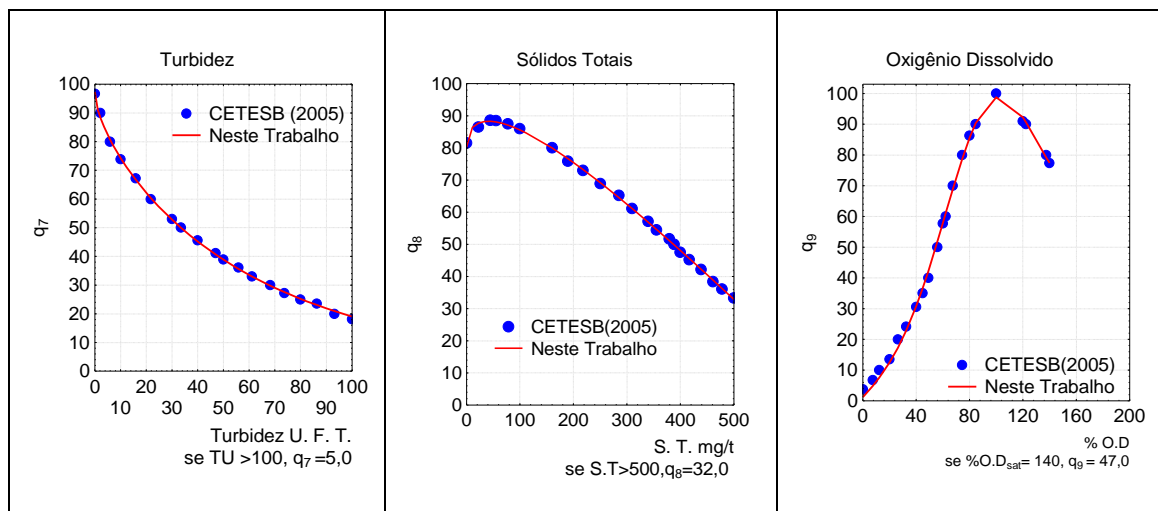


Figura 1 Curvas geradas pelas equações ajustadas em comparação com as curvas médias de variação de qualidade da água segundo CETESB (2005)

A fim de validar as equações descritas, é realizada uma avaliação estatística através da determinação do coeficiente de correlação entre curvas CETESB (2005) e curvas geradas pelas equações ajustadas. Em síntese, em todos os casos obteve-se $R^2 \geq 0,99$, conferindo qualidade às estimações realizadas com o auxílio do algoritmo de otimização global *Particle Swarm Optimization*, em virtude de sua robustez na geração randômica de soluções associada a uma heurística de busca bastante inteligente.

4.1 Software para calculo do IQA

Com a finalidade de facilitar o uso dos modelos propostos neste trabalho, é desenvolvida uma ferramenta WEB denominada BasIQA. Além de realizar o cálculo do IQA, o sistema permite gerar um relatório técnico possibilitando um melhor controle das amostras. Para utilizar o sistema basta acessar o endereço: <http://bsi.ceavi.udesc.br:8080/basiqa>, a partir de qualquer navegador atual. Ao acessar o sistema, sua página inicial será carregada, como mostra a Figura 2 (a).

Esta é a única interface do sistema e, como se pode observar, ela apresenta todos os campos para inserção dos parâmetros dos IQA, junto à descrição de sua respectiva unidade de medida. Depois de inserção dos parâmetros, basta clicar no botão “Calcular”, neste momento, o sistema realizará a validação das entradas e atualizará o valor calculado e o nível de qualidade respectivamente nos campos “IQA” e “Nível de Qualidade”. Caso os valores informados sejam inválidos, o sistema dispara uma mensagem de alerta com os detalhes do erro. Depois de calculado, opcionalmente pode-se gerar um relatório de identificação e classificação da amostra.

Para gerar o relatório basta clicar no botão “Relatório”. Imediatamente, a caixa de diálogo apresentada pela Figura 2 (b) aparecerá na tela. Esta janela permite a inserção opcional de alguns dados para fins de identificação de amostra. Esses dados são: instituição requerente, responsável pela amostra, descrição da amostra, tipo de amostra, data da coleta, ponto de amostragem, natureza da amostra, localização geográfica e observações. Finalmente, clicando no botão “Gerar” será criado um relatório no formato PDF com os dados resultantes da classificação e identificação da amostra. Acrescenta-se ainda, que o relatório apresenta a classificação individual de cada parâmetro de acordo com a resolução 357/2005 do CONAMA, bem como a classificação final do corpo hídrico.

(a)

(b)

Figura 2 Interface gráfica do software (a); caixa de diálogo para geração do Relatório (b)

Clicando no botão “Sobre” na Figura 2 (a), encontram-se informações relevantes sobre o cálculo do IQA e o sistema BasIQA. Para maiores detalhes sobre a especificação e desenvolvimento da ferramenta, o código-fonte encontra-se disponível no repositório Google Code através do link: <https://code.google.com/p/basiqa>.

5. CONCLUSÃO

A necessidade cada vez maior de se obter indicadores que permitam monitorar o nível de qualidade de água torna imprescindível o uso de modelos matemáticos capazes de representar estes indicadores de forma precisa. Neste sentido, modelos menos complexos tornam este processo mais eficiente. A modelagem matemática das curvas médias de variação da qualidade da água realizada neste artigo apresenta eficiência equivalente a modelos citados na literatura. Porém, o grande diferencial destes modelos é a redução significativa dos parâmetros e restrições comparados aos demais trabalhos.

Acrescenta-se ainda que a ferramenta *web* desenvolvida mostra-se bastante intuitiva na estimação do IQA, além de propiciar a geração de um relatório que facilita o controle das análises e interpretação dos resultados. Este software já é utilizado como ferramenta de auxílio no projeto de pesquisa da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, campus Ibirama, que visa o monitoramento da qualidade de água dos rios que compõem a bacia do Rio Itajaí do Norte.

REFERÊNCIAS

- BROWN, R. M.; MCCLELLAND, N. I.(1974). *Up from Chaos: the water quality index as an effective instrument in water quality management*. Michigan: National Sanitation Foundation, p. 27.
- CETESB (2004). *Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo*. São Paulo, p. 264.
- CETESB (2005). *Relatório de águas interiores do Estado de São Paulo de 2005*. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.Br/Agua>, 2005.

- CETESB.(2011). *Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo*. São Paulo.
- COMITESINOS.(1993). *Aplicação de um Índice de Qualidade da Água no rio dos Sinos*. Porto Alegre: DMAE, 59 p.
- GONÇALVES, C.S. (2004). *Qualidade da água de um dreno principal de uma micro bacia fumageira relacionada a diferentes áreas de captação*. Lages. FERTIBIO. 25p.
- HAGAN, M. T.; DEMUTH, H. B.; BEALE, M.(2003). *Neural Network Design*. 7th International Student Edition. Vikas Publishing House.
- IGAM.(2005). *Relatório de monitoramento das águas superficiais na bacia do Rio São Francisco em 2004: sub-bacia do Rio das Velhas*. Belo Horizonte.
- LIMA, E. B. N. R. (2001). *Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na bacia do rio Cuiabá. Programa de pós graduação de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, p. 206.
- MATTOS, A. R. (1998). *Índice de qualidade de águas para bacia do Rio das Velhas: Aspectos metodológicos e avaliação qualitativa do ambiente*. Belo Horizonte: [s.n.], p. 101.
- NETTO, G.F.; CARNEIRO, M.L.O.; COSTA S.S.; CANCIO, J.A.(2003). *Cianobactérias Tóxicas na Água para Consumo Humano na Saúde Pública e Processos de Remoção em Água para Consumo Humano*. 1º ed. Editora Funasa. 55p.
- NSF.(2005). *Sobre a Empresa: NSF*. National Sanitation Foundation. Disponível em: <http://nsf.org/business/about_NSF>.
- ONGLEY, E. D.(2000). *Controle da poluição da água pelas atividades agrícolas*; tradução de H. R. GHEYI, F. A. V. DAMASCENO, L. T. de BRITO. Campina Grande. UFPA.
- THOMANN, R. V.(1998). *The future golden age of predictive models for surface water quality and ecosystem management*. Journal of Environmental Engineering, p. 124.
- TOLEDO, L. ;NICOLELLA, G. *Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano*. (Piracicaba, Braz.) vol.59 n.º1 Piracicaba Jan./Mar. 2002.
- HÜLYA, B. (2009). *Utilization of the water quality index method as a classification tool. Environmental Monitoring and Assessment*. doi:10.1007/s10661-009-1035-1.