

MODELAGEM AMBIENTAL APLICADA AO RIACHO MUSSURÉ-PB

Erika Lima Silva (*), Elisângela do Rêgo Lima, Jately Clementino dos Santos, Laudizíio da Silva Diniz.

* Universidade Federal da Paraíba, Graduanda em Engenharia Ambiental e bolsista de Iniciação Científica CNPq/CAPES. Email: erika2012.1ambiental@hotmail.com

RESUMO

O abastecimento humano é uma das principais utilizações da água, acatando necessidades pessoais, atividades econômicas e sócias, de tal forma que sua qualidade é indispensável. O monitoramento dos parâmetros de qualidade de água é uma ferramenta de extrema importância para a gestão de recursos hídricos, e podem seguir os aspectos físicos, químicos e biológicos, sendo esses últimos de maior relevância para o modelo base de desenvolvimento desse trabalho, exaltando o oxigênio dissolvido (OD) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO). O presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água do riacho Mussuré face ao lançamento do efluente industrial através da modelagem ambiental. Para a avaliação da qualidade da água do corpo hídrico foram realizadas simulações através do modelo de Streeter-Phelps considerando quatro cenários distintos, onde se analisou o comportamento dos parâmetros OD e DBO, mediante o lançamento do efluente industrial, ao longo do curso d'água. Para a avaliação da qualidade da água do corpo hídrico foram realizadas simulações através do referido modelo, considerando quatro cenários distintos, onde se analisou o comportamento dos parâmetros OD e DBO, mediante o lançamento do efluente industrial, ao longo do curso d'água. Os resultados obtidos apresentaram-se bastante satisfatórios, proporcionando subsídios ao processo de tomada de decisão, principalmente no âmbito da gestão hídrica.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo de Streeter-Phelps, riacho Mussuré.

INTRODUÇÃO

A água é o principal instrumento de vida para o homem, atendendo necessidades pessoais, atividades econômicas (agrícolas e industriais) e sociais. Essa diversidade de sua aplicação, quando realizada de forma inadequada, provoca alterações em sua condição, comprometendo os recursos hídricos e por consequência seus usos para diversos fins, sofrendo restrições significativas em função de prejuízos nos rios, provenientes das ações naturais e antrópicas, que alteram a qualidade e quantidade de água disponível para uso humano.

Os rios possuem características essencialmente dinâmicas, quando ocorre qualquer alteração de sua estabilidade, como lançamentos de efluentes, o mesmo tende a tentar readquirir suas características naturais (FARIA, 2008), processo conhecido como autodepuração.

O monitoramento dos parâmetros de qualidade de água é uma ferramenta de extrema importância para a gestão de recursos hídricos, e podem seguir os aspectos físicos, químicos e biológicos, sendo esses últimos de maior relevância para o modelo base de desenvolvimento desse trabalho, exaltando o oxigênio dissolvido (OD) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

O oxigênio dissolvido é o parâmetro mais importante para expressar a qualidade de um ambiente aquático, uma vez que é fundamental para a manutenção dos organismos aquáticos aeróbios. Um adequado fornecimento de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais, os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo d'água natural manter a vida aquática.

A DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessário para estabilizar a matéria orgânica através de uma decomposição microbiana aeróbia. Despejos de origem predominantemente orgânica proporcionam os maiores aumentos em termos de DBO num corpo d'água. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (BASSOI e GUAZELLI, 2004).

Modelos matemáticos de qualidade da água são utilizados para auxiliar na gestão, controle e proteção dos recursos hídricos, permitindo a simulação dos processos hidrológicos, físicos, químicos e biológicos que acontecem no rio. A utilização desses modelos proporciona além da simulação de eventos, a simulação das condições futuras, ajudando na tomada de decisões referentes ao gerenciamento desses recursos (GASTALDINI, 2001).

Um dos primeiros modelos matemáticos utilizados para o cálculo do perfil de oxigênio dissolvido, após o lançamento de matéria orgânica no corpo hídrico é conhecido como o Modelo de Streeter-Phelps.

O modelo de Streeter-Phelps (1925) é precursor entre os modelos numéricos de qualidade de água. Foi primeiramente aplicado em 1925, em um estudo sobre o Rio Ohio, com o objetivo de aumentar a eficiência das ações a serem tomadas no controle da poluição.

Tal modelo é constituído por duas equações diferenciais ordinárias: uma modela a oxidação da parte biodegradável da matéria orgânica e a outra o fluxo de oxigênio proveniente da dinâmica da reaeração atmosférica. Essas equações são nomeadas equações de demanda bioquímica de oxigênio e equação de reaeração, respectivamente. O oxigênio dissolvido tem sido utilizado tradicionalmente para a determinação do grau de poluição e de autodepuração em cursos d'água, sendo seu teor expresso em concentrações quantificáveis e passíveis de modelagem matemática (Von Sperling, 2005).

OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água do riacho Mussuré face ao lançamento do efluente industrial através da modelagem ambiental.

METODOLOGIA

Descrição dos pontos de amostragem

A área deste estudo está inserida na sub-bacia hidrográfica do Riacho Mussuré correspondendo ao trecho do Riacho que se inicia no ponto de mistura entre o efluente da indústria estudada e o Riacho, equivalente a uma extensão de 1 km, a partir do ponto de lançamento até o deságue no rio Mumbaba. Para determinação dos pontos amostrais o sistema fluvial foi dividido em 5 trechos, com extensão de aproximadamente 200 m cada, como mostra a figura 1. Igualmente, foi analisado o efluente no ponto de mistura e a 50 m a montante do ponto de lançamento, aproximadamente. É importante ressaltar que não foi possível obter uma extensão igual em todos os trechos devido à impossibilidade de acesso.

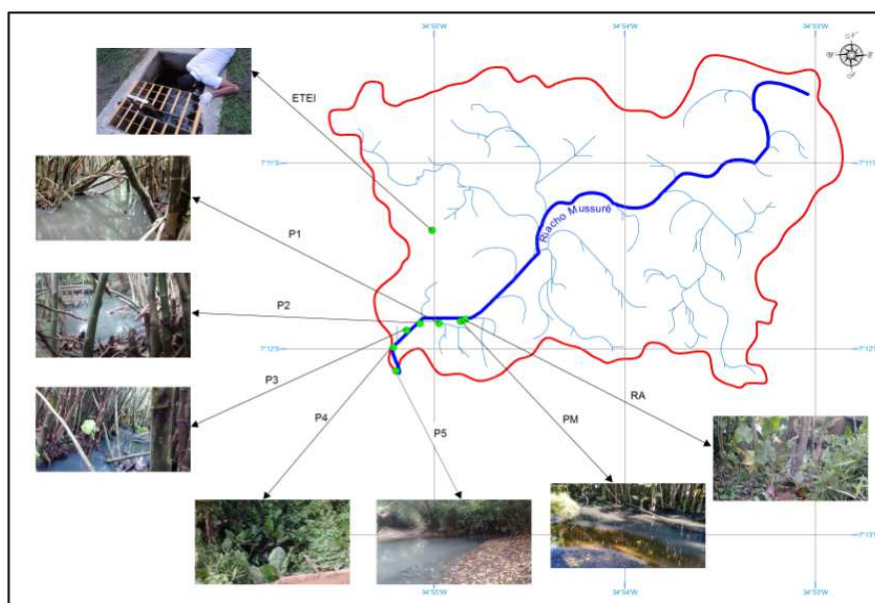


Figura 1: Localização dos pontos amostrais

Determinação da vazão do riacho Mussuré

A medição para determinação da vazão do riacho Mussuré foi feita tomando como base o método tradicional, tendo em vista pequenas profundidades nos pontos de medição, o que inviabilizaria a utilização de micro molinete. Para tanto, foi utilizada a equação da continuidade (Eq.1). O método consiste em determinar a velocidade de deslocamento de um

objeto flutuante, medindo-se o tempo necessário para que o mesmo se desloque num trecho do rio de comprimento conhecido

$$Q = (A \cdot L \cdot C) / T \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

A= média da área do rio (distância entre as margens multiplicada pela profundidade do rio).

L= comprimento da área de medição (utilizar o comprimento de 1,0 m).

C= coeficiente ou fator de correção (0,4 para rios rasos). O coeficiente permite a correção devido ao fato de a água se deslocar mais rápido na superfície do que na porção do fundo do rio.

T= tempo, em segundos, que o flutuador leva para deslocar-se no comprimento L.

Modelo de Streeter-Phelps

Um dos primeiros modelos matemáticos utilizados para o cálculo do perfil de oxigênio dissolvido, após o lançamento de matéria orgânica no corpo hídrico é conhecido como o Modelo de Streeter-Phelps.

Este modelo é aplicável para estudos de qualidade de água em rios supondo que o escoamento se estabeleça em regime permanente e uniforme (vazão e velocidade média da água não variam ao longo do tempo e do espaço), que haja mistura imediata do efluente com a água do rio e os efeitos produzidos pela dispersão longitudinal sejam desprezíveis (considera-se apenas a advecção e o transporte de massa) e que ocorra o lançamento contínuo e constante de um constituinte biodegradável, não existindo qualquer variação temporal do fenômeno.

Os parâmetros necessários para utilização do modelo de Streeter-Phelps são os seguintes:

- ✓ Vazão do rio, a montante do lançamento (Q_r).
- ✓ Vazão de esgotos (Q_e)
- ✓ Oxigênio dissolvido no rio, a montante do lançamento (OD_r)
- ✓ Oxigênio dissolvido no esgoto (OD_e)
- ✓ DBO5 no rio, a montante do lançamento (DBO_r)
- ✓ Coeficiente de desoxigenação (K_1)
- ✓ Coeficiente de reaeração (K_2)
- ✓ Velocidade de percurso do rio (v)
- ✓ Tempo de percurso (t)
- ✓ Concentração de saturação de OD (C_s)
- ✓ Oxigênio dissolvido mínimo permissível (OD_{\min}).

A hipótese básica do modelo Streeter-Phelps é que a taxa de decomposição da matéria orgânica no meio aquático (ou taxa de desoxigenação dL/dt) é proporcional à concentração da matéria orgânica presente em um dado instante de tempo (ANDRADE, 2010), seguindo a equação de primeira ordem a seguir:

$$\frac{dL}{dt} = -k_r \cdot L \quad \text{equação (2)}$$

Onde: L corresponde à DBO remanescente ao fim do tempo t, em mg/L e k_r é o coeficiente de remoção que tem por unidade tempo⁻¹.

O primeiro passo para aplicação do modelo é a obtenção da DBO no ponto de mistura (efluente + corpo receptor) Neste trecho do rio, ponto de lançado do efluente pela indústria, foi considerado o km 0. O valor da concentração foi calculado tomando como base a seguinte equação:

$$L_0 = \frac{Q_r L_{R0} + Q_e L_{E0}}{Q_r + Q_e} \quad \text{equação (3)}$$

Q_R e L_R são, respectivamente, a vazão e a concentração (DBO) no rio, Q_E e L_E são a vazão e a concentração de DBO do efluente, e L_0 é a concentração que se deseja encontrar.

Aplicando o balanço de massa para o OD em um rio, tendo em vista os processos envolvidos (aeração e degradação), tem-se:

$$\frac{dC_{OD}}{dt} = k_2 \cdot (C_{OD_{SAT}} - C_{OD}) - k_r \cdot L \quad \text{equação (4)}$$

Sendo: C_{OD} - Concentração de OD no rio em estudo [M/L³]; $C_{OD_{SAT}}$ - Concentração de OD saturado no rio [M/L³]; k_2 - Coeficiente de reaeração [T⁻¹].

Como anteriormente, a condição de contorno para o OD é definido no km 0:

$$C_0 = \frac{Q_R \cdot C_R + Q_E \cdot C_E}{Q_R + Q_E} \quad \text{equação (5)}$$

Onde: C_E - Concentração de OD no efluente [M/L³]; C_R - Concentração de OD no rio, antes do lançamento [M/L³]; Q suas respectivas vazões, e C_0 a concentração buscada.

Para a solução da equação (4), define-se o déficit de OD no rio como:

$$D = C_{OD_{SAT}} - C_{OD} \quad \text{equação (6)}$$

D - Déficit de OD no rio [M/L³].

Desta forma, as equações diferenciais (2) e (4) podem ser resolvidas, tendo como resultado o modelo de Streeter-Phelps definido pelo par de equações:

- Demanda Bioquímica de Oxigênio

$$L = L_0 \cdot e^{-k_r \cdot t} \quad \text{equação (7)}$$

- Déficit de Oxigênio Dissolvido

$$D(t) = D_0 \cdot e^{-k_2 t} + \frac{k_2 L_0}{k_2 - k_r} (e^{-k_r t} - e^{-k_2 t}) \quad \text{equação (8)}$$

Em que $t = \frac{x}{u}$ (x a distância horizontal a partir do ponto de lançamento do efluente e u é a velocidade média); D_0 - Déficit inicial no ponto de lançamento; $k_r = k_d + k_s$, onde: k_s - Coeficiente de sedimentação. k_d é o coeficiente de decaimento ou coeficiente de desoxigenação e k_s o coeficiente de sedimentação. Pode-se considerar que a sedimentação não provoca consumo de OD, portanto, considera-se $k_s = 0$ logo, $k_r = k_d$.

O cenário trata do estudo de modelagem ambiental aplicada à qualidade da água do riacho Mussuré face ao lançamento do efluente industrial.

RESULTADOS

Para aplicação do modelo matemático fez-se necessário o conhecimento prévio dos dados hidráulicos e dos parâmetros físicos-químicos do riacho. Os dados de entrada para utilização do modelo estão dispostos na tabela 1 seguir:

Tabela 1: Dados necessários para simulação do modelo

Descrição	Unid.	Valores
Vazão média do curso de água (Q_R);	m ³ /s	0,11 m ³ /s
Vazão do efluente (Q_E);	m ³ /s	0,03 m ³ /s
Profundidade curso de água (P_R)	m	0,6 m
Velocidade do curso de água (V_R)	m/s	0,10 m/s
Oxigênio Dissolvido do rio, à montante do lançamento (OD_R);	mg/L	0,9 mg/L
Oxigênio Dissolvido do efluente industrial (OD_E);	mg/L	6,6 mg/L

DBO ₅ do rio, à montante do lançamento (DBO _R);	mg/L	15 mg/L
DBO ₅ do efluente (DBO _E);	mg/L	17 mg/L
Temperatura do curso de água	°C	28 °C

Determinação da Vazão

Na tabela 2 estão dispostos os valores da área média, do comprimento e tempo (percorrido pelo objeto-flutuador) e a vazão correspondente a cada ponto amostral.

Tabela 2: Valores da área média, do comprimento e tempo de cada trecho

Trecho	A (m ²)	L(m)	T(s)	Q (m ³ /s)
1	0,75	2,80	4	0,075
2	1,20	2,50	7	0,068
3	1,36	1,98	6	0,090
4	1,80	1,54	19	0,038
5	1,72	2,60	6	0,114
6	2,41	3,6	12	0,080
7	0,88	3,7	2,6	0,341

Calibração

A calibração tem como principal objetivo ajustar os pontos reais de oxigênio dissolvido à curva do OD calculado – ver tabela 13. Para tanto, com base nos valores dos coeficientes calculados (ajustados), foram determinados valores de déficits através da equação (8), em que a distância horizontal (x) está em km, e a velocidade (u) em km/dia, e a partir disso é calculada a concentração de OD através da equação (6).

Tabela 3: OD observados

X (Km)	OD (mg/L)
0	1,88
0,2	0,70
0,4	0,62
0,6	0,4
0,8	0,27
1	0,4

É necessário destacar que a calibração foi atingida manualmente, à medida que os valores dos coeficientes eram alterados, novos valores de oxigênio dissolvido eram calculados. Contudo, a calibração foi efetivada em função do Erro Quadrático Médio (EQM) e por análise gráfica. O EQM é utilizado no intuito de diminuir o erro proveniente da escolha dos coeficientes, é baseada nos dados observados e calculados (oxigênio dissolvido). Para tanto, utilizou-se a seguinte equação (19).

$$\sum (\text{OD}_{\text{obs}} - \text{OD}_{\text{cal}})^2 \quad \text{equação 9}$$

A comparação dos valores de OD observados e calculados, para os valores dos coeficientes calibrados (1/d), Kr = 3,95; Kd = 3,95; Ka = 5,4; Ks = 0, está disposta na figura 2 seguir:

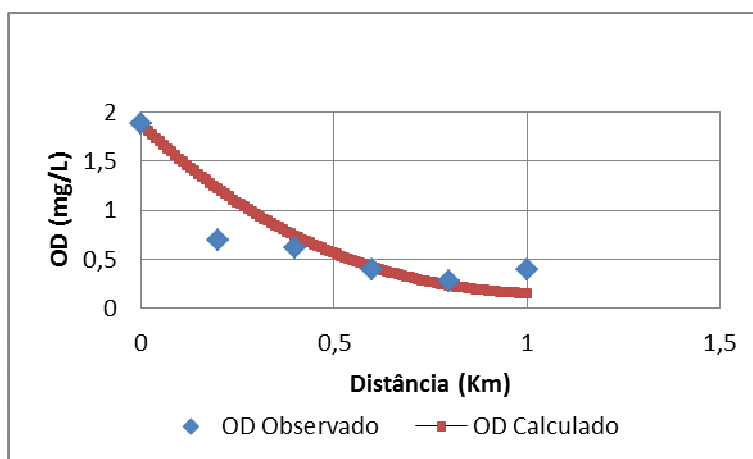


Figura 2: Comparação entre as concentrações de OD calculadas e observadas

Simulação da modelagem ambiental

Para a avaliação da qualidade da água do corpo hídrico foram realizadas simulações através do referido modelo, onde analisou-se o comportamento dos parâmetros OD e DBO, mediante o lançamento do efluente industrial, ao longo do curso d'água. Para tal simulação, foram considerados quatro cenários distintos, conforme apresentados na tabela 3:

Tabela 4: Cenários de avaliação e suas condições

Cenário	Valores considerado (DBO em mg/L)		Autodepuação (km)	Condições atendidas
	Efluente	Rio		
1º Cenário	17,0	15,0	2,92	Situação atual
2º Cenário	10,0	15,0	2,55	Atendendo aos padrões estabelecidos pela AESA
3º Cenário	10,0	10,0	1,43	Atendendo aos padrões estabelecidos pela AESA e a Resolução CONAMA 357/05
4º cenário	10,0	0,22	1	DBO que o rio deverá apresentar pra atender ao condicionante da AESA

- Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA

Com o conhecimento dos dados de entrada necessários para aplicação do modelo, obtiveram-se o comportamento do corpo hídrico correspondente as condições de cada cenário conforme a figura 3 abaixo:

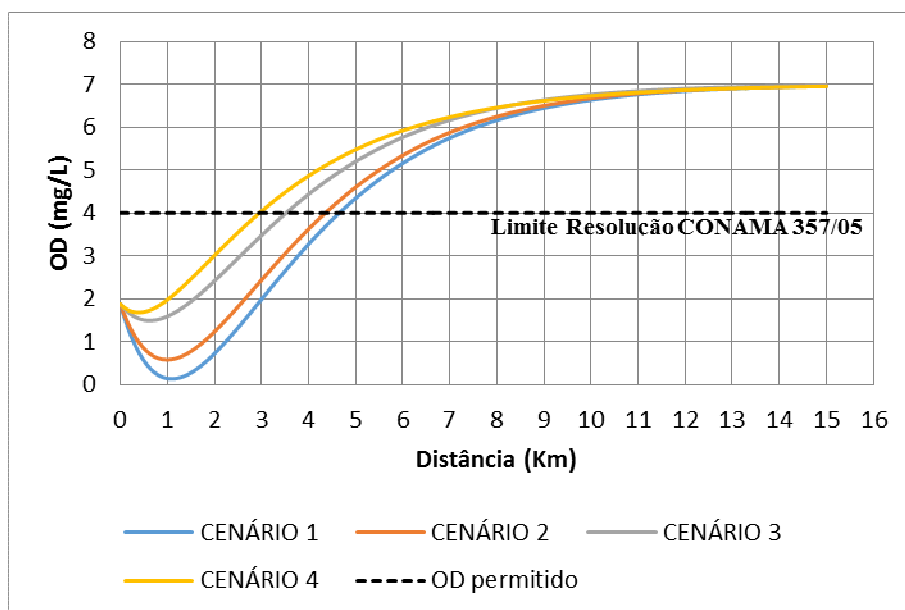


Figura 3: Perfil do Oxigênio dissolvido para da cada cenário

Para a descrição dos cenários é importante considerar os limites mínimos para os parâmetros exigidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 de OD = 4 mg/L e DBO = 10 mg/L, para rios de classe 3.

1º Cenário: Situação atual

A concentração do oxigênio dissolvido do corpo receptor atinge seu ponto crítico com 0,13 mg/L, iniciando sua autodepuração e atingindo as condições iniciais no Km 2,92, fora da área de estudo. O corpo receptor não atende as condições exigidas no CONAMA, alcançando o OD mínimo no Km 4,7.

2º Cenário: padrões estabelecidos pela AESA

Situação hipotética considerando uma concentração de DBO de 10 mg/L para o efluente industrial, em atendimento ao condicionante da AESA e, para o rio, foi mantida a DBO atual (15 mg/L). Constata-se um processo de autodepuração em menor distância comparado ao cenário 1, devido a redução do teor de carga orgânica correspondente a 58%. O OD também atinge seu ponto crítico em condições melhores, 0,60 mg/L, porém só apresenta as condições estabelecidas para o OD a partir do Km 4,4.

3º Cenário: Atendendo aos padrões estabelecidos pela AESA e a Resolução CONAMA 357/2005

Situação hipotética tanto para o efluente da indústria, partindo da condicionante da AESA, DBO de 10mg/L, quanto para o rio, DBO = 10 mg/L, conforme Resolução CONAMA nº 357/05. A concentração crítica do oxigênio dissolvido elevou-se de 0,13 mg/L (situação real) para 1,5 mg/L, atendendo o mínimo permitido no Km 3,52.

4º Cenário: DBO que o rio deverá apresentar pra atender ao condicionante da AESA

No quarto e último cenário, avaliou-se a concentração de DBO que o rio deveria apresentar antes do lançamento do efluente, para que a indústria, atendendo ao condicionante da AESA, não comprometa as condições de autodepuração do corpo hídrico. Com um aumento de caráter significativo do nível crítico de OD, de 0,13 mg/L (situação atual) para 1,7 mg/L, o valor de OD atinge suas condições iniciais ainda no km 1, dentro da área de estudo. No entanto, o rio só atinge os 4 mg/L previsto pela legislação no Km 3.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode ser visto em todos os cenários simulados o corpo hídrico apresentou comportamento diferenciado para as diferentes concentrações de DBO recebida. Dentre às diferentes situações simuladas, destaca-se o do 4º cenário. Neste,

fica evidenciado que o riacho Mussuré necessita, em caráter emergencial, de uma maior fiscalização dos órgãos ambientais às indústrias, localizadas à montante do ponto de lançamento do efluente industrial, que lançam seus efluentes no riacho, pois o mesmo encontra-se com uma carga bem maior do que o corpo suporta para se autodepurar.

Vale salientar que os resultados obtidos apresentaram-se bastante satisfatórios, proporcionando subsídios ao processo de tomada de decisão, principalmente no âmbito da gestão hídrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, L. N. Autodepuração dos corpos d'água. *Revista da Biologia*, v. 5, p. 16-19, 2010.
2. BASSOI, L. J.; GUAZZELLI, M. R. Controle Ambiental da água. In: PHILIPPI Jr, A.; ROMÉRO, M. de A.; BRUNA, G. C. *Curso de Gestão Ambiental*. Barueri: Manole, 2004. p. 53-99
3. BRANCO, S. M. *Poluição*. Rio de Janeiro: Ao livro técnico, 1972. 157p.
4. FARIA, D. S. Capacidade de Autodepuração do ribeirão Anicuns: um estudo de caso. Goiânia, 2008.
5. FONSECA, W. C. Ajuste do modelo QUAL2K e simulação de cenários para o Ribeirão Claro. Monografia apresentada a Universidade Estadual Paulista como requisito para conclusão do Curso Superior de Engenharia Ambiental. Rio Claro – SP. 2008.
6. GASTALDINI, M.C.C.; SEFRIN, G.F.F.; PAZ, M.F. Diagnóstico Atual e Previsão Futura da Qualidade das Águas do Rio Ibicuí Utilizando o Modelo QUAL2E. *Engenharia Sanitária e Ambiental: revista da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, RJ. v. 7, n. 3/4. p. 129 - 138. 2002.
7. CHAPRA, S. C. *SurfaceWater-QualityModeling*. Boston: McGraw-Hill, 844p, 1997.
8. SPERLING, M. V., *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*, ed. 3, Belo Horizonte – MG, Editora SEGRAC, 2005.