



II-220 - AVALIAÇÃO DOS RISCOS ECOTOXICOLÓGICOS DO REÚSO DE EFLUENTES TRATADOS NA PISCICULTURA DEVIDO À PRESENÇA DE NITROGÊNIO AMONIAICAL

Soraia Tavares de Souza Gradvohl⁽¹⁾

Engenheira Civil. Mestre em Engenharia Civil na área de concentração de Saneamento Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental na Universidade Federal do Ceará. Doutoranda do curso de Doutorado em Engenharia Civil na área de concentração de Saneamento Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental na Universidade Federal do Ceará. Analista de Infraestrutura do Ministério da Saúde, em exercício na Fundação Nacional de Saúde.

Marisete Dantas de Aquino⁽²⁾

Engenheira de Pesca. PhD., École des Hautes Études - Paris, França. Professora Associada do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental na Universidade Federal do Ceará.

Francisco Suetônio Bastos Mota⁽³⁾

Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Saúde Pública, USP – São Paulo. Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental na Universidade Federal do Ceará.

Endereço⁽¹⁾: Rua Juazeiro do Norte, 333, Apto. 202 - Meireles - Fortaleza - CE - CEP: 60165-110 - Brasil - Tel: (85) 3267-2924 - e-mail: soraiatsg@yahoo.com.br

RESUMO

A toxicologia estuda os efeitos adversos de substâncias sobre os seres vivos, sejam produtos químicos sintéticos ou existentes no ambiente de forma natural. O teste de toxicidade aguda corresponde a um teste de curta duração, onde a exposição resultará em uma resposta significativa logo após o início do ensaio, em um tempo variando de 48 a 96 horas. Este teste é definido pela concentração letal média (LC₅₀) quando a mortalidade é o ponto final do experimento. Os testes de toxicidade com organismos em condições laboratoriais e/ou de campo têm sido utilizados para identificar os efeitos de substâncias existentes nos efluentes sobre a biota.

Assim, o presente trabalho vem relatar um estudo realizado em peixes da espécie *Oreochromis Niloticus* (Tilápia do Nilo) com vistas a avaliar os riscos ecotoxicológicos do reúso de efluentes tratados na piscicultura devido à presença de nitrogênio amoniacal. Para isso, foram realizados ensaios de toxicidade aguda.

Pode-se ver que os valores de LC₅₀ determinados nos experimentos realizados apresentaram-se em conformidade com os valores esperados. Mas, no que se refere à qualidade de vida para os organismos aquáticos, este parâmetro indicou um risco inaceitável para o caso estudado, mesma as espécies não estando em nível de ameaça. É importante salientar que, além destes parâmetros, outros fatores são de fundamental importância para o estudo da toxicidade tendo em vista a sustentabilidade da piscicultura com águas residuárias tratadas ou mesmo a garantia da sobrevivência dos peixes em mananciais receptores de efluentes, como por exemplo, a toxicidade decorrente da salinidade e dos teores de amônia.

PALAVRAS-CHAVE: Ecotoxicologia, Reúso, Riscos, Piscicultura.

INTRODUÇÃO

A Ecotoxicologia compreende a integração da ecologia com a toxicologia, e objetiva entender e identificar os efeitos de substâncias químicas em comunidades naturais sob condições reais de exposição. A toxicologia estuda os efeitos adversos de substâncias sobre os seres vivos, sejam produtos químicos sintéticos ou existentes no ambiente de forma natural. Testes focados apenas em compostos químicos e seus efeitos podem ser uma importante ferramenta, mas podem não ser a mais significativa delas, pois, aspectos que envolvem variações ambientais como, perda de habitat, introdução de novas espécies ou aumento de nutrientes no meio, podem ser até mais valiosas em um ponto de vista macro.

O teste de toxicidade aguda corresponde a um teste de curta duração, onde a exposição resultará em uma resposta significativa logo após o início do ensaio, em um tempo de cerca de 48 a 96 horas. Este teste é definido pela concentração letal média (LC₅₀) quando a mortalidade é o ponto final do experimento ou pela



concentração efetiva média (EC_{50}) quando o ponto final for um efeito subletal, como por exemplo, imobilização, fadiga ao nadar, evasão ou fuga, no caso de organismos aquáticos.

O efeito de um composto tóxico é função da concentração deste no ambiente onde se encontra o organismo e da duração do tempo de exposição deste organismo àquela concentração. A partir do conceito de dose e exposição surgem as definições de doses agudas e doses crônicas, pois uma elevada concentração em um período curto de exposição define uma dose aguda ao passo que a mesma dosagem com uma concentração menor em um período maior resulta em uma dose crônica (WESTMAN, 1985).

O efeito-resposta buscado em testes com animais, é, em sua maioria, a morte. O valor buscado é LC_{50} que corresponde à dose letal para 50% dos organismos testados (BAIRD, 2002).

A representação dos resultados da relação dose-resposta é mais comumente realizada através da geração da curva dose-resposta que relaciona a dose da substância química com a porcentagem acumulativa de animais onde se observam efeitos, como por exemplo, a morte. A curva obtida na escala aritmética é assimétrica, em forma de S, ao passo que se a escala utilizada for logarítmica na representação da dose, passa a ser simétrica (AZEVEDO; CHASIN, 2003).

Em décadas passadas, o controle da poluição era focado apenas em poluentes convencionais. Já nos últimos 10 (dez) anos, a atenção foi lançada para o controle de substâncias tóxicas, como por exemplo, aquelas provenientes de estações de tratamento de esgoto. Assim, a mais contemporânea forma de controle envolve o uso de testes de toxicidade para medir a toxicidade de descargas de efluentes tratados (METCALF; EDDY, 2003).

O risco corresponde à probabilidade de que algum efeito adverso aconteça (efeito adverso: julgamento de valor, como mortes, doenças, diminuição da qualidade de vida, prejuízos econômicos, danos ambientais e outros). Pode ser expresso através da comparação com doses calculadas com valores de referência determinados por gestores responsáveis (NARDOCCI, 2003).

A Avaliação de Riscos calcula e avalia a probabilidade de um efeito adverso ser provocado por um agente (químico, físico ou biológico), por um processo industrial, por uma tecnologia ou por um processo natural, que prejudique a saúde humana ou o ambiente. (Nardocci, 2003). Ela é capaz de estudar e analisar o efeito potencial de certos perigos para a saúde humana, atuando como uma ferramenta ao utilizar informações de causa e efeito.

OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é avaliar os riscos ecotoxicológicos do reúso de efluentes tratados na piscicultura devido à presença de nitrogênio amoniacal, e para isso, foram necessários ensaios de toxicidade aguda em peixes da espécie *Oreochromis Niloticus* (Tilápia do Nilo).

MATERIAIS E MÉTODOS

O teste de toxicidade específico para a amônia foi realizado porque vários estudos comprovam a grande influência que esta substância apresenta sobre o desenvolvimento ou até mesmo sobre a sobrevivência de peixes e outros organismos aquáticos, sendo ainda mais tóxico na sua forma não-ionizada (NH_3).

Neste caso, conforme especificação da norma NBR 15088 de 2004 da ABNT (associação Brasileira de Normas Técnicas) para o teste com substância específica foi necessária a realização de ensaios preliminares para estabelecer as concentrações e um intervalo de soluções-teste para o ensaio definitivo. Foram realizados dois ensaios preliminares e um ensaio definitivo.

Com a sequência de diluições definidas foi dado início ao ensaio definitivo utilizando o seguinte procedimento: cinco tanques em PVC de 45 L, mas com apenas 5 L de solução-teste em cada recipiente, diminuindo as diluições numa razão de 1,2 a partir da menor solução-teste que causou mortalidade a 100% dos organismos, conforme Tabela 1. Foram colocados 08 (oito) alevinos em cada recipiente-teste e 03 (três) no recipiente para controle, que foi um de 5 L com 2 L de água de diluição (Figura 1). Foram colocados



menos alevinos no recipiente-controle porque ele só funciona como critério de observação, conforme indicado pela norma NBR 15088.

TABELA 1: Fator de Diluição do Experimento com Amônia com Alevinos.

Fator de diluição	Concentração de Amônia (mg/L)	Volume final (L)
1	6,40	5,0
2	5,33	5,0
4	4,44	5,0
8	3,70	5,0
16	3,09	5,0

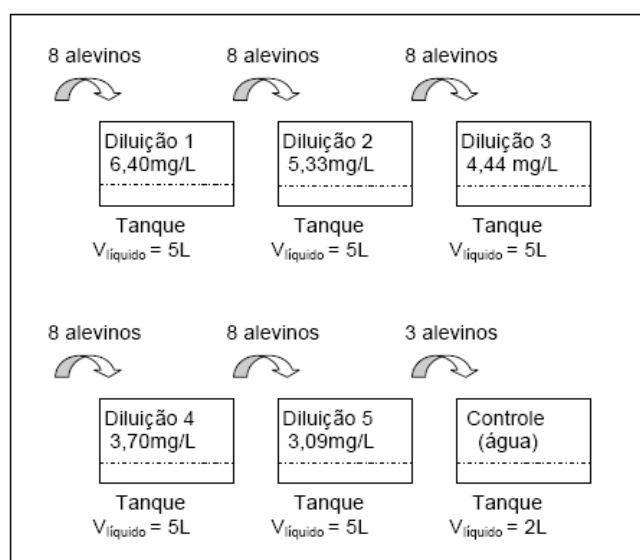


FIGURA 1: Esquema do experimento com amônia e alevinos.

Foram observados, então, os mesmos parâmetros: mortalidade, pH, OD, temperatura e condutividade elétrica; e, foi considerado o mesmo espaço de tempo: 03 (três) leituras iniciais de duas em duas horas e de 24 em 24 horas contando do início até um total de 96 horas. Os alevinos utilizados neste ensaio apresentaram um peso médio de 0,745 g e um tamanho médio de 1,0 cm, conforme biometria realizada com organismos selecionados aleatoriamente. O grau de dureza da água de diluição foi de 42 mgCaCO₃/L.

Com relação à avaliação dos riscos, foram utilizados como referência critérios da USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos). Baseando-se nas propriedades físicas e químicas das substâncias consideradas tóxicas e na dinâmica dos receptores, pode-se estimar a concentração ambiental (EEC), que define critérios a serem utilizados em avaliações de riscos ecotoxicológicos, assim definidos:

TABELA 2: Diretrizes da USEPA para determinação de riscos das substâncias tóxicas para organismos aquáticos.

Pressuposição Regulamentadora	Toxicidade Aguda
Sem riscos	$EEC < 1/10 LC_{50}$
Riscos que podem ser mitigados mediante restrição de uso	$1/10 LC_{50} \leq EEC < 1/2 LC_{50}$
Risco inaceitável	$EEC \geq 1/10 LC_{50}$
Espécies não ameaçadas	$EEC \geq 1/2 LC_{50}$
Risco inaceitável	$EEC > 1/20 LC_{50}$ ou
Espécies em risco	$EEC > 1/10 LC_{50}$

Fonte: URBAN; CROOK, 1986 *apud* MATSUI, 2002, p. 26.



As análises de qualidade da água foram feitas no LABOSAN a partir do projeto de pesquisa (PROSAB/CT-HIDRO) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC e os valores médios para nitrogênio amoniacal encontram-se apresentados na Tabela 3.

TABELA 3: Parâmetros do efluente tratado utilizado na atividade de piscicultura.

Parâmetros	Valores dos Parâmetros					
Amônia (mg N-NH ₃ /L)	3,7	4,0	1,9	3,7	2,2	3,5

Fonte: Projeto CT-HIDRO da Universidade Federal do Ceará.

A partir dos parâmetros obtidos nas análises comparados com os limites das normas, são indicados se os valores estão obedecendo às normas, ou seja, dentro dos limites estabelecidos e para os que estão fora dos padrões, a distância destes para o limite estabelecido indicando o grau do risco. Portanto, baseia-se numa análise de risco potencial.

RESULTADOS OBTIDOS

No experimento realizado com a amônia, foram observados os parâmetros relativos à temperatura, oxigênio dissolvido (OD), pH e condutividade elétrica. Os valores médios das leituras observadas de cada um destes encontram-se listadas nas Tabelas 4 e 5.

TABELA 4: Valores Médios de OD, T(°C), pH e Condutividade Elétrica no 1º dia de observação do Experimento com Alevinos e Amônia.

TEMPO		INÍCIO			02 HORAS				04 HORAS			
DIL.	TEMP. (°C)	OD (mg/L)	pH	Cond. (mS/cm)	TEMP. (°C)	OD (mg/L)	pH	Cond. (mS/cm)	TEMP. (°C)	OD (mg/L)	pH	Cond. (mS/cm)
1	25,8	3,58	9,61	0,192	25,5	3,69	9,49	0,193	-	-	-	-
2	25,7	3,54	9,58	0,189	25,4	3,78	9,44	0,189	-	-	-	-
4	25,6	3,59	9,51	0,187	25,4	3,79	9,37	0,187	25,4	3,69	9,20	0,189
8	25,6	3,95	9,49	0,186	25,3	3,88	9,37	0,186	25,3	3,42	9,18	0,187
16	25,4	4,12	9,37	0,180	25,0	3,92	9,21	0,179	25,0	3,92	9,06	0,180
Cont.	25,2	4,34	8,52	0,159	24,8	4,13	8,41	0,159	25,0	3,99	8,30	0,159

TABELA 5: Valores Médios de OD, T(°C), pH e Condutividade Elétrica nos 2º ao 5º dia de observação do Experimento com Alevinos e Amônia.

TEMPO		24 HORAS			48 HORAS				96 HORAS			
DIL.	TEMP. (°C)	OD (mg/L)	pH	Cond. (mS/cm)	TEMP. (°C)	OD (mg/L)	pH	Cond. (mS/cm)	TEMP. (°C)	OD (mg/L)	pH	Cond. (mS/cm)
4	26,4	3,49	8,44	0,206	26,9	3,70	8,23	0,206	25,5	3,68	7,94	0,207
8	26,4	3,70	8,42	0,204	26,9	3,68	8,19	0,205	25,5	3,62	7,90	0,206
16	26,5	3,58	8,29	0,196	27,0	3,55	8,16	0,197	25,6	3,50	7,86	0,202
Cont.	26,6	3,31	8,25	0,169	27,2	3,29	8,14	0,172	25,7	3,24	7,70	0,178

A mortalidade observada durante o experimento em questão encontra-se listada na Tabela 6 e foram utilizadas para encontrar o valor do índice de concentração letal de toxicidade aguda (LC₅₀) a partir da plotagem do gráfico, conforme Figura 2.



Tabela 6: Mortalidade dos Alevinos no Experimento com Amônia.

CONCENTRAÇÃO DE AMÔNIA (mg/L)	Nº ANIMAIS	Nº MORTES					% MORTES				
		2h	4h	24h	48h	96h	2h	4h	24h	48h	96h
6,40	10	10	10	10	10	10	100	100	100	100	100
5,33	10	10	10	10	10	10	100	100	100	100	100
4,44	10	7	8	8	8	8	70	80	80	80	80
3,70	10	1	1	8	8	8	10	10	80	80	80
3,09	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

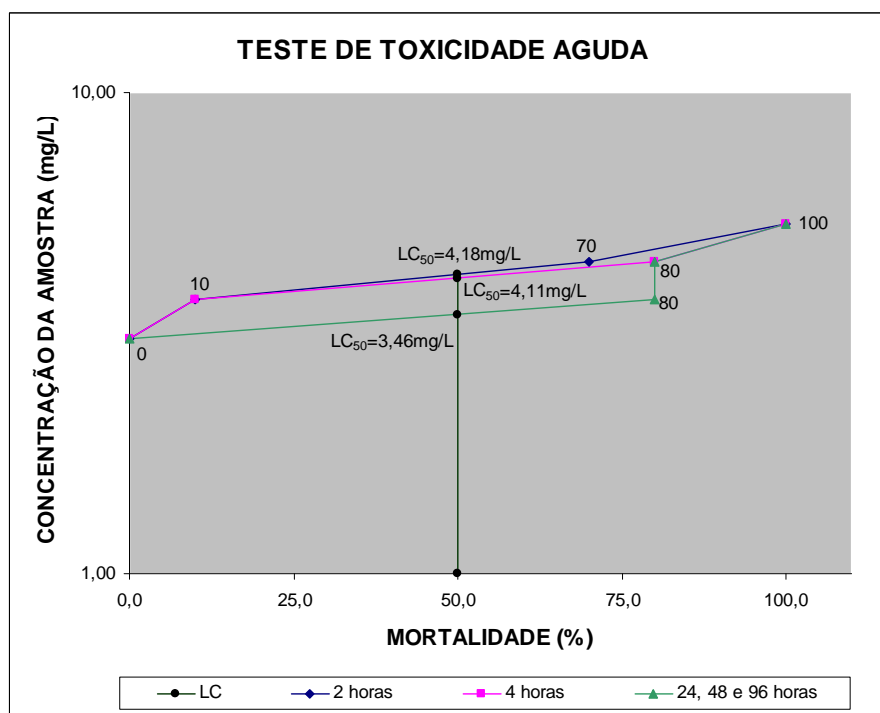


Figura 2: Gráfico - Mortalidade dos Alevinos x Concentração da Amônia.

Foram encontrados, portanto, os valores de 4,18 mg/L para o período de 2 horas de exposição, 4,11 mg/L para 4 horas e 3,46 mg/L para o período de até 96 horas para a solução de amônia utilizada.

Com relação à amônia não-ionizada, calculando-se a porcentagem desta na solução total considerando-se uma temperatura média de 25,2 °C para obter o valor de pKa e um pH médio de 9,2, tem-se que:

$$\% \text{ Amônia não-ionizada} = \frac{100}{1 + \text{anti log}(9,234 - 9,2)} = 48,0\%$$

Com isso pode-se inferir que os índices de concentração letal para a amônia não-ionizada passam para: 2,01 mg/L NH₃-N para 2 horas, 1,97 mg/L NH₃-N para 4 horas e 1,66 mg/L NH₃-N para até 96 horas de exposição.

Para os ensaios iniciais realizados foram determinados os LC₅₀'s indicados na Tabela 7.

TABELA 7: Índices de Toxicidade Aguda do Nitrogênio Amoniacal.

Tempo de resposta (horas)	2 horas	4 horas	Até 96 horas
LC ₅₀ NH ₃ -N (mg/L)	2,01	1,97	1,66



Conforme os valores indicados anteriormente na Tabela 3, foi feita a quantificação e a potencialidade do risco inerente ao nitrogênio amoniacal para organismos aquáticos segundo conteúdo apresentado na Tabela 2. A quantificação dos riscos é apresentada na Tabela 8.

TABELA 8: Quantificação dos riscos conforme comparativo com a norma da USEPA.

PARÂMETRO	VALORES LIMITES	RISCO	QUANTIDADE
NH ₃ -N (mg/L) (LC ₅₀ - 96h = 1,66 mg/L)	< 1/10 LC ₅₀	Sem riscos	06
	1/10 LC ₅₀ ≤ NH ₃ -N < 1/2 LC ₅₀	Riscos que podem ser mitigados mediante restrição de uso	
	≥ 1/2 LC ₅₀	Risco inaceitável Espécies não ameaçadas	

Minimização dos Riscos

As medidas mitigadoras devem ser tomadas tendo em vista os pontos indicados na avaliação de riscos para que os mesmos sejam minimizados, como:

- Preparação e instrução das pessoas que irão trabalhar na piscicultura;
- Obrigatoriedade no uso de equipamentos de proteção individual no ambiente de trabalho, como botas, máscaras, roupas impermeáveis e luvas;
- Providenciar vacinação para estas pessoas contra possíveis doenças de veiculação hídrica;
- Garantir a segurança da área onde serão cultivados os peixes para que outras pessoas ou mesmo animais não entrem em contato com a água e sejam contaminadas, ou insiram alguma substância contaminante aos peixes, se possível, dando instruções à população que resida em regiões próximas ao local;
- Verificar as condições do efluente antes da sua utilização para que sejam tomadas precauções contra contaminantes químicos provenientes de esgotos industriais de difícil remoção;
- Confirmar se esta atividade de reúso está de fato trazendo benefícios, evitando a poluição de mananciais com água de qualidade superior;
- Verificar se o efluente dos tanques de piscicultura possui características dentro dos padrões limites para serem descartados adequadamente, e caso não seja, deverá ser analisada a possibilidade de um pós-tratamento;
- Verificar o efeito de toxicidade aguda do efluente para que o mesmo não atinja os organismos que serão cultivados de forma tóxica;
- Instruir os consumidores a fazerem uma adequada cocção dos peixes que serão consumidos para que sejam eliminadas ainda mais as possibilidades de contaminação;
- Realizar um monitoramento periódico e eficaz dos parâmetros de qualidade da água de cultivo, sanitária e microbiológica para que os peixes não sejam contaminados, seu nível de mortalidade aumente ou mesmo sejam prejudicados no seu desenvolvimento.

CONCLUSÕES

Buras *et al.* (1986 *apud* FELIZATTO, 2000) indicam que o valor máximo tolerável é de 8,0 mg/L NH₄⁺-N é de 0,3 a 0,6 mg/L NH₃-N. Diante destes valores, pode-se ver que os valores de LC₅₀ determinados nos experimentos realizados apresentaram-se em conformidade com os valores esperados. Mas, no que se refere à qualidade de vida para os organismos aquáticos, este parâmetro indicou um risco inaceitável para o caso estudado, mesma as espécies não estando em nível de ameaça.

É importante salientar que, além destes parâmetros, outros fatores são de fundamental importância para o estudo da toxicidade tendo em vista a sustentabilidade da piscicultura com águas residuárias tratadas ou mesmo a garantia da sobrevivência dos peixes em mananciais receptores de efluentes, como por exemplo, a toxicidade decorrente da salinidade e dos teores de amônia.



Alguns critérios gerais devem nortear um programa de reúso quanto à qualidade da água, tais como:

- Saúde pública: o reúso não deve resultar em riscos sanitários à população;
- Aceitação da água pelo usuário: o reúso não deve causar objeções por parte dos usuários;
- Preservação do meio ambiente: o reúso não deve acarretar prejuízos ao meio ambiente;
- Qualidade da fonte de água: a fonte de água que será submetida a tratamento para posterior reúso deve ser quantitativa e qualitativamente segura;
- Adequação da qualidade ao uso pretendido: a qualidade da água deve atender às exigências relativas aos usos a que ela se destina.

O reúso efetivo exige que cuidados com a segurança sanitária sejam maiores e à medida que o efluente final assumir características de matéria-prima de algum produto, novas leis e padrões de qualidade devem ser obedecidos. Por exemplo, a mão-de-obra não especializada deve dar lugar a profissionais mais preparados e caso não seja possível, esta atividade deve ser evitada em pequenas comunidades.

Deve-se, ainda, considerar a adoção de duas medidas mitigadoras muito importantes com relação aos riscos relacionados à saúde humana devido à atividade do reúso de efluentes na piscicultura que são a cocção adequada dos peixes e a depuração em água limpa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15088: Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio em peixes. Rio de Janeiro, 2004, 19p.
2. AZEVEDO, F. A., CHASIN, A. A. M. (Coordenação). As Bases Toxicológicas da Ecotoxicologia. São Carlos: Rima, 2003, 340p.
3. BAIRD, C. Química Ambiental. Tradução: Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.
4. BASTOS, R. K. X. (Coord.). Utilização de Esgotos Tratados em Fertirrigação, Hidroponia e Piscicultura. Projeto PROSAB. ABES, Rima, Rio de Janeiro – RJ, 2003.
5. FELIZATTO, M. R. Reúso de Água em Piscicultura no Distrito Federal: Potencial para Pós-tratamento de Águas Residuárias Associado à Produção de Pescado. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2000.
6. MATSUI, S. (Editor). Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos. Vol. 4 – Gerenciamento de Substâncias Tóxicas em Lagos e Reservatórios. Tradução: Eng. Dino Vannucci. Editor da série em português: Prof. Dr. José Galizia Tundisi. São Carlos: Instituto Internacional de Ecologia – IIE, 2002.
7. METCALF, EDDY. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th Ed. Revisado por: George Tchobanoglous, Franklin L. Burton e H. David Stensel. New York, NY: McGraw-Hill, 2003. 1820 p.
8. NARDOCCI, A. C. Avaliação de Riscos em Reúso de Água. In: MANCUSO, P. C. S. e SANTOS, H. F. (Editores). Reúso de Água. 1ª Ed. Barueri, SP: Manole, 2003.
9. WESTMAN, W. E. Ecology, Impact Assessment, and Environmental Planning. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1985. 532p.