

**CONTROLE ECOTOXICOLÓGICO
DE EFLUENTES LÍQUIDOS
NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Eduardo Bertoletti

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE**

**CETESB Companhia Ambiental
do Estado de São Paulo**



Eduardo Bertoletti

**CONTROLE ECOTOXICOLÓGICO
DE EFLUENTES LÍQUIDOS
NO ESTADO DE SÃO PAULO**

2a. Edição ampliada e revisada
Revisão técnica de Rosalina Pereira de Almeida Araujo

CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
SÃO PAULO, 2013

GOVERNO DO ESTADO
DE SÃO PAULO

Governador

Geraldo Alckmin

SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE

Secretário

Bruno Covas

CETESB • COMPANHIA AMBIENTAL
DO ESTADO DE SÃO PAULO

Diretor Presidente

Otávio Okano

Diretor Vice-Presidente

Nelson Roberto Bugalho

Diretor de Gestão Corporativa

Sergio Meirelles Carvalho

Diretor de Licenciamento
e Gestão Ambiental

Aruntho Savastano Neto

Diretora de Avaliação de
Impacto Ambiental

Ana Cristina Pasini da Costa

Diretor de Engenharia
e Qualidade Ambiental

Carlos Roberto dos Santos



Diretoria de Engenharia, Tecnologia e Qualidade Ambiental

Depto. de Análises Ambientais *Maria Inês Zanoli Sato*

**Divisão de Análises
Hidrobiológicas** *Marta Condé Lamparelli*

Sector de Ecotoxicologia Aquática *Rosalina Pereira de A. Araujo*

Autor *Biol. Eduardo Bertoletti*

Autor: Eduardo Bertoletti
Revisão técnica: Rosalina Pereira de Almeida de Araújo

Projeto Gráfico: Vera Severo
Revisão: Maria Cristina Souza Leite
Desenhos: Antenor Paraíso Araújo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

B462c Bertoletti, Eduardo
2.ed. Controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no
estado de São Paulo / Eduardo Bertoletti. - - São Paulo :
CETESB, 2008.

42 p. : il. ; 21 cm. - - (Série Manuais / CETESB, ISSN
0103-2623)

Atualiza e substitui os documentos da Série Manuais
n^{os} 6 e 8, intitulados respectivamente: Procedimentos para
utilização de testes de toxicidade no controle de efluentes
líquidos e Implementação de testes de toxicidade no con-
trole de efluentes líquidos.

Disponível também em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>

ISBN 978-85-61405-54-0

1. Água – análise 2. Ecotoxicidade - Efluentes líquidos
3. São Paulo (Est.) 4. Toxicidade - ensaios I. Araújo, Rosalina
Pereira de Almeida, rev. II. Título. II. Série.

CDD (21.ed. esp.) 571.958 161
CDU (2.ed. port.) 628.312.3:502.175

Normalização para editoração e Catalogação na fonte: Margot Terada CRB 8.4422

.....

SUMÁRIO

.....

Apresentação • 7

.....

1. Introdução • 9

.....

2. Fundamento legal • 10

.....

3. Seleção de fontes emissoras de efluentes líquidos • 13

.....

4. Amostragem de efluentes • 14

.....

5. Preservação de amostras de efluentes • 15

.....

6. Métodos analíticos • 15

.....

7. Estimativa do potencial de efeitos tóxicos • 18

.....

7.1 Estabelecimento da ecotoxicidade permissível • 19

7.1.1 Para efluentes lançados diretamente em águas doces (rios e córregos) • 20

7.1.2 Para efluentes lançados diretamente em águas marinhas, estuarinas ou represas • 24

7.1.3 Para efluentes lançados indiretamente em água doce • 25

7.2 Reavaliação do limite de ecotoxicidade • 26

7.2.1 Estudo da dispersão física do efluente • 27

7.2.2 Estudo da Ecotoxicidade do efluente para diferentes organismos aquáticos • 29

7.2.3 Estudo da Variabilidade da ecotoxicidade • 29

8. Zona de mistura • 30

.....

8.1 Dispersão física • 30

8.2 Limites da zona de mistura • 32

8.3 Definição da zona de mistura • 32

9. Redução da ecotoxicidade • 34

.....

10. Estabelecimento prévio do limite de ecotoxicidade • 35

.....

11. Sequência de ações • 36

.....

12. Referências • 38

.....

.....

Apresentação

.....

No ano de 1990, no período de 12 a 15 de março, foi realizado na CETESB o Seminário Internacional “Controle de agentes tóxicos em efluentes líquidos”. Nesse evento, que contou com a participação de especialistas nacionais e estrangeiros, tanto de órgãos de controle da poluição como de universidades e de indústrias, desmitificou-se a complexidade atribuída ao controle ecotoxicológico de efluentes líquidos.

Naquela oportunidade, a CETESB divulgou os manuais “Procedimentos para utilização de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos” (GHERARDI-GOLDSTEIN et al., 1990) e “Implantação de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos” (BASSOI et al., 1990). Tais documentos continham as informações necessárias para a consecução do controle ecotoxicológico, em complemento à fiscalização tradicional de efluentes líquidos.

Esta publicação é uma atualização dos documentos mencionados, particularmente em decorrência da publicação de diplomas legais como a Resolução SMA nº 03/2000 (SÃO PAULO, 2000) e a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) e sua alteração e complementação realizada pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011). Desse modo, a CETESB disponibiliza um manual atualizado contendo as informações básicas para controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no Estado de São Paulo.

COLABORADORES:

O autor agradece a análise crítica do texto efetuada pelos seguintes profissionais da CETESB: Daniela Dayrell Franca, Eduardo Luis Serpa, Eduardo Mazzolenis de Oliveira, Eleni Stark Rodrigues, Gilson Alves Quinaglia, Hélio Bressan Jr., Luis Altivo Carvalho Alvim, Marisa Roitman, Marta Condé Lamparelli, Nicenor Barros Maia, Paulo Takanori Katayama, Regis Nieto, Rosalina Pereira de Almeida Araujo, Sandra Ruri Fugita Gomes e Tânia Mara Tavares Gasi.

1 INTRODUÇÃO

O controle das características dos efluentes líquidos, baseado em análises químicas, tem sido efetuado desde o ano de 1976 para verificação dos limites estabelecidos na legislação brasileira. Tais limites foram originários de documentos de orientação norte-americanos, no entanto, naquela época, imaginava-se que os limites individuais das substâncias seriam suficientes para preservar a vida aquática dos corpos hídricos receptores de efluentes. Ao mesmo tempo, nos países norte-americanos, o controle legal das características dos efluentes teve uma implementação diferenciada, a qual se baseou na implantação progressiva de tratamentos no período de 1972 até 1984 e, posteriormente, em ações fiscalizatórias previstas quando todos os efluentes líquidos possuísem tratamento para remoção de poluentes convencionais tais como: D.B.O., pH, sólidos, bactérias patogênicas, entre outros (MOUNT, 1984).

Embora a abordagem norte-americana de controle de efluentes líquidos tenha sido diferente daquela utilizada no Brasil, ambas convergiram para a necessidade de tratamento de emissões líquidas. Nesse contexto, a experiência norte-americana permitiu constatar que os efluentes mesmo após o tratamento não estavam isentos de provocar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos. Um levantamento parcial realizado nos EUA, no início dos anos de 1980, indicou que 79% dos efluentes domésticos e 62% dos efluentes industriais apresentavam efeitos tóxicos após os tratamentos para remoção de poluentes convencionais. Ainda, e mais relevante, foi o fato de que 43% dos efluentes domésticos e 46% dos efluentes industriais tinham potencial para causar efeitos tóxicos em diferentes recursos hídricos (TEBO, 1986).

Estudos brasileiros também já demonstraram que os sistemas de tratamento, em muitos casos, são ineficientes para a remoção da toxicidade de efluentes, mesmo quando o despejo atende os limites estabelecidos nos padrões de emissão (BERTOLETTI; ZAGATTO, 2006). Nesses estudos também foi demonstrado que a toxicidade remanescente dos efluentes, após

os tratamentos, pode causar efeitos tóxicos nos respectivos corpos hídricos receptores. Portanto, hoje é reconhecido que somente os ensaios ecotoxicológicos possuem a peculiaridade de caracterizar os efluentes líquidos de forma mais abrangente, englobando todos os seus constituintes químicos, principalmente pelo fato de acusar a biodisponibilidade das substâncias presentes, bem como em detectar o efeito tóxico resultante das interações entre essas substâncias químicas.

Pelos motivos mencionados anteriormente, aliados às exigências legais, a CETESB disponibiliza este documento com o intuito de informar e esclarecer a sociedade sobre o controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no estado de São Paulo, na expectativa de que os envolvidos compreendam melhor e respondam de forma satisfatória às solicitações desse órgão ambiental.

.....

2 FUNDAMENTO LEGAL

.....

Desde 1990, a CETESB tem efetuado o enquadramento legal dos efluentes que causam efeitos tóxicos em um corpo hídrico, com base nos ensaios ecotoxicológicos. Para tanto, foram utilizados os artigos 2º e 3º (inciso V) do regulamento da Lei nº 997 (SÃO PAULO, 1976a), aprovado pelo Decreto Estadual nº 8.468 (SÃO PAULO, 1976b), e suas alterações. Assim, no passado, o controle ecotoxicológico ocorreu de maneira implícita uma vez que, resumidamente, os artigos mencionados proíbem a liberação de poluentes que tornem, ou possam tornar, o meio aquático impróprio, nocivo ou ofensivo à fauna e à flora.

No entanto, recentemente, os instrumentos legais se tornaram explícitos quanto ao controle ecotoxicológico de efluentes. Desse modo, a Resolução CONAMA nº 430/11 (BRASIL, 2011) que complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2005), particularmente no *caput* do artigo 18, prescreve:

O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo

com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

No texto acima, a frase “não deverá causar” significa que o órgão ambiental deve autuar o emissor com base na constatação direta de que o efluente causa efeitos tóxicos (agudos ou crônicos) no corpo receptor. Essa constatação dar-se-ia pela realização de ensaio ecotoxicológico com amostra coletada no corpo receptor a jusante do lançamento do efluente. No entanto, em termos práticos, essa constatação torna-se de difícil realização, visto que seria necessária uma amostragem das águas do corpo receptor no local onde há a mistura completa do efluente.

Para evitar a necessidade de amostragens no corpo de água a CETESB utiliza a frase “não deverá possuir potencial para causar”, uma vez que essa condição permite o uso de relações matemáticas para estimar a possível ocorrência de efeitos tóxicos. Assim, os ensaios ecotoxicológicos devem ser realizados com a amostra do efluente (em consonância com o parágrafo 1º do artigo 18 da Resolução CONAMA nº 430/11 que complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/05) e seus resultados são aplicados em quaisquer das relações matemáticas descritas na Resolução SMA nº 03/2000 (SÃO PAULO, 2000) (ver Seção 6).

Para o cumprimento da frase “de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente” a CETESB utiliza integralmente o descrito na Resolução SMA nº 03/2000 (SÃO PAULO, 2000), na qual são fixados os limites de toxicidade permissível para cada efluente, com base em duas relações matemáticas, bem como os estudos necessários para reavaliação desses limites.

Outro aspecto a ser considerado é aquele mencionado no parágrafo 5º do artigo 18 da Resolução CONAMA nº 430/11 (BRASIL, 2011), que complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2005), qual seja:

Nos corpos de água em que as condições e padrões de qualidade previstos nesta Resolução não incluam restrições de toxicidade a organismos aquáticos, não se aplicam os parágrafos anteriores.

Desse modo, está implícito que o controle ecotoxicológico não se aplica aos efluentes que são lançados em águas doces de classe 4 e em águas salinas/salobras pertencentes à classe 3. Portanto, o controle ecotoxicológico de efluentes líquidos deve ser exercido nos corpos de água doce pertencentes às classes 1, 2 e 3, e nas águas marinhas ou salobras de classes 1 e 2, da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), as quais contemplam a proteção das comunidades aquáticas. Torna-se conveniente salientar que as classes de água doce mencionadas são equivalentes às classes 2 e 3 estabelecidas nos Decretos Estaduais nº 10.755 (SÃO PAULO, 1977), e nº 24.839 (SÃO PAULO, 1986). Embora as águas doces de classe especial (Resolução CONAMA nº 357/2005) e sua equivalente estadual de classe 1 (Decretos Estaduais nº 10.755/77 e 24.839/86) contemplem a preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas, não está previsto o lançamento de efluentes e, por tal motivo, o controle ecotoxicológico não é necessário.

Além desses, outro fundamento legal específico pode ser utilizado, pela CETESB, quando a redução dos efeitos tóxicos no efluente líquido implicar em melhorias significativas para o ambiente aquático, mesmo que atendendo a Resolução SMA nº 03/2000 (SÃO PAULO, 2000). Nesse sentido, o artigo 3º (parágrafo único) da Resolução CONAMA nº 430/11 (BRASIL, 2011) que complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2005) permite ao órgão ambiental a exigência de critérios ecotoxicológicos mais restritivos para o efluente, ou mesmo de melhor tecnologia para o seu tratamento, desde que haja uma fundamentação técnica proveniente dessa entidade.

Nas seções seguintes outros textos são utilizados para a fundamentação legal do controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no estado de São Paulo. Na Seção 10, Figura 4, é apresentada resumidamente uma sequência de ações e decisões para o controle ecotoxicológico de efluentes líquidos.

3 Seleção de fontes emissoras de efluentes líquidos

Todos os efluentes líquidos estão sujeitos ao controle ecotoxicológico, exceto aqueles lançados em águas doces de classe 4 e em águas salinas/salobras de classe 3. No entanto, alguns aspectos permitem priorizar esse controle dos efluentes, tais como:

- empresas que lançam efluentes em áreas a montante dos pontos de amostragem das águas, monitorados rotineiramente pela CETESB, nos quais haja a ocorrência de efeitos tóxicos agudos ou crônicos. Além dessas, são prioritárias as empresas localizadas em região de ocorrência de mortandades de peixes ou outros episódios que indiquem a possibilidade de efeito tóxico, no corpo-d'água, causado por agentes químicos.
- empresas cujos efluentes líquidos são lançados continuamente, com vazão relativamente grande em relação ao corpo hídrico receptor. Para a seleção de empresas que possuem efluente lançado em regime intermitente (batelada), pode ser considerada a vazão média no período de descarte.
- por causa da conhecida complexidade química de certos efluentes, as seguintes atividades empresariais podem ser consideradas prioritárias: química, petroquímica e farmacêutica; celulose e papel; têxtil; galvanoplastia; alimentícia; tratamento conjunto de esgotos domésticos e industriais; entre outras.

4 Amostragem de efluentes

A amostragem constitui-se em parte fundamental para a caracterização química de um efluente, assim como para o conhecimento da sua ecotoxicidade. Dessa forma, do mesmo modo que para a caracterização química, é necessário que a amostragem dos efluentes seja representativa, englobando as variações de suas características, as quais ocorrem por causa da diversidade das operações internas bem como de alterações das matérias-primas e/ou produtos auxiliares.

A amostragem pode ser composta ou simples. Para a maioria dos casos em que se pretende avaliar a ecotoxicidade do efluente recomenda-se a amostragem composta, a qual tende a produzir valores médios dos efeitos tóxicos. Para efluentes brutos ou tratados por processos físico-químicos com curto tempo de retenção recomenda-se, em especial, a amostragem composta.

A amostragem simples (instantânea) possibilita a identificação dos picos de efeito tóxico, máximo e mínimo, dependendo da frequência da amostragem. A amostragem instantânea é recomendada para efluentes com as seguintes características: lançados em regime de intermitência (batelada); provenientes de tratamento com período de detenção superior a 15 dias; ou efluentes cuja variação temporal da ecotoxicidade já é conhecida.

As amostras devem ser acondicionadas em frascos limpos de vidro ou de plástico (polietileno, polipropileno ou poliestireno). Os frascos devem ser totalmente preenchidos com a amostra de modo a evitar a presença de ar dentro deles. Os volumes necessários de amostra dependerão do ensaio ecotoxicológico a ser realizado (Seção 6), variando de um a vinte litros. Orientações sobre os procedimentos para coleta de amostras estão descritas no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos) da CETESB e ANA (Agência Nacional de Águas) de 2011 (CETESB, 2011) ou suas edições atualizadas.

5 Preservação de amostras de efluentes

A amostra do efluente deve ser preservada segundo a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 15469 (ABNT, 2007a), ou seja, resfriada até 12 horas, ou em temperatura abaixo de 10°C por 48 horas, ou congelada abaixo de -10°C por 60 dias. No entanto, quando não se conhece a interferência do congelamento na amostra recomenda-se que seja adotada a refrigeração, considerado o melhor procedimento de preservação, pois pouco altera as características da amostra (USEPA, 1982, 2002a, 2002b).

6 Métodos analíticos

O artigo 18, parágrafo 1º, da Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011) faz a seguinte exigência, quanto ao aspecto analítico:

Os critérios de ecotoxicidade previstos no *caput* deste artigo devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos aceitos pelo órgão ambiental, realizados no efluente, utilizando organismos aquáticos de pelo menos dois níveis tróficos diferentes.

Para o atendimento à tal exigência a CETESB adota, para a quantificação dos efeitos tóxicos do efluente, os métodos de ensaios ecotoxicológicos já normatizados pela ABNT como segue:

Para efluentes lançados em água doce:

NBR 12713 (Ensaio com *Daphnia* – ecotoxicidade aguda)

NBR 13373 (Ensaio com *Ceriodaphnia* - ecotoxicidade crônica)

NBR 12648 (Ensaio com algas – ecotoxicidade crônica)

NBR 15088 (Ensaio com peixes – ecotoxicidade aguda)

NBR 15499 (Ensaio com peixes – ecotoxicidade crônica)

NBR 15411 (Ensaio com *Vibrio fischeri* – ecotoxicidade aguda)

Para efluentes lançados em água marinha ou estuarina:

NBR 15308 (Ensaio com misidáceos – ecotoxicidade aguda)

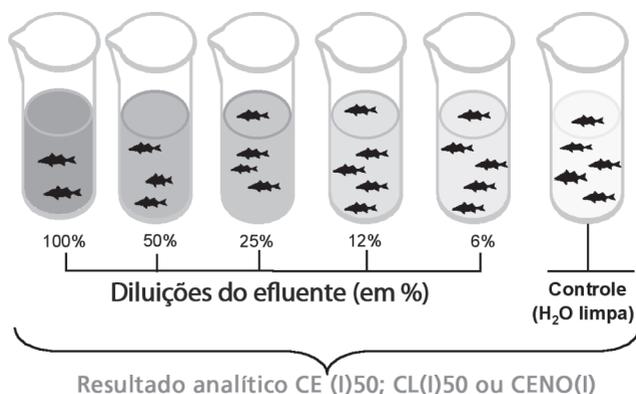
NBR 15350 (Ensaio com ouriço-do-mar – ecotoxicidade crônica)

NBR 15411 (Ensaio com *Vibrio fischeri* – ecotoxicidade aguda)

Recomenda-se que seja utilizada a versão mais atual das respectivas Normas.

Todos os métodos de ensaio mencionados seguem os mesmos princípios, de modo que os organismos-teste são submetidos a diferentes diluições do efluente líquido por um determinado período de tempo (Figura 1). Após o período de exposição, é registrada a porcentagem do efeito tóxico medido em cada uma das diluições e, em seguida, é calculado o resultado do ensaio ecotoxicológico [expresso em CE(I) 50; CL(I)50; CE(I)20; 15 min ou CENO(I), ver definições na Seção 7.1.1] que será utilizado na estimativa do potencial de efeito tóxico (Seção 7).

Figura 1 – Esquema de um ensaio ecotoxicológico com efluente



Para atendimento ao estabelecido na Resolução SMA nº 03/2000 (SÃO PAULO, 2000), é recomendada a realização simultânea dos ensaios de toxicidade aguda com *Daphnia similis* e de toxicidade crônica com *Ceriodaphnia dubia*, ambos para efluentes despejados em corpos de água doce (Seção 7). Torna-se importante ressaltar que esses organismos aquáticos pertencem ao mesmo nível trófico, o que aparentemente contraria o artigo 18, parágrafo 1º, da Resolução CONAMA nº 430/11 (BRASIL, 2011) que complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2005). No entanto, a estimativa inicial de impacto da Resolução SMA nº 03/00 (Seção 7.1.1 b) já contempla o fator de incerteza relativo ao uso de apenas um organismo aquático, e esse fator abrange a ecotoxicidade para dois ou mais níveis tróficos. Para efluentes lançados em águas doces, o resultado do ensaio com *Vibrio fischeri* poderá ser utilizado como um teste preliminar em razão da sua boa aplicabilidade para avaliar a toxicidade de amostras complexas, principalmente aquelas com baixas concentrações de oxigênio e elevadas concentrações de amônia. No entanto, esse ensaio somente poderá ser usado para avaliar o potencial de toxicidade do efluente caso o empreendedor efetue um estudo prévio que demonstre uma relação quantitativa entre os resultados desse ensaio e os resultados dos ensaios recomendados (com *Daphnia* ou *Ceriodaphnia*) para o estabelecimento da toxicidade permissível (conforme Seção 7). O estudo prévio deve consistir da análise de correlação de, ao menos, cinco resultados simultâneos com os métodos mencionados e as amostras do efluente devem ser originárias de amostragens realizadas em diferentes ocasiões. Após a apresentação desse estudo, a CETESB avaliará a pertinência da correlação encontrada e a possibilidade de substituição do método de ensaio.

Para efluentes lançados em ambientes marinhos ou estuarinos recomenda-se a execução simultânea dos ensaios de ecotoxicidade aguda com misidáceos ou *Vibrio fischeri* e do ensaio de ecotoxicidade crônica com ouriço-do-mar.

No caso da necessidade de futuros monitoramentos, como, por exemplo, no caso de renovação de licenças, a CETESB indicará o método de ensaio a ser utilizado, sempre com o organismo-teste mais sensível ao efluente em questão.

O método de ensaio de ecotoxicidade crônica (com *Ceriodaphnia*, com peixes, ou com ouriço-do-mar) deve ser utilizado sempre que o método de ensaio agudo (com *Daphnia*, peixes, misidáceos, ou *Vibrio fischeri*) não for suficiente para caracterizar um efeito tóxico mensurável, isto é, quando apresentar indícios de toxicidade, ou quando esse último tipo de método resultar em ausência de efeito tóxico na solução-teste de 100% do efluente. Cabe ressaltar, também, que para a execução dos ensaios do efluente despejado em águas marinhas ou estuarinas a salinidade deve ser ajustada para aquela próxima a do corpo hídrico receptor.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011) e SMA nº 90/2012 (SÃO PAULO, 2012), sua revisão ou de acordo com as resoluções vigentes, os ensaios ecotoxicológicos deverão ser realizados por laboratórios acreditados, nos parâmetros determinados, pela Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE do Instituto de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), segundo a Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 (ABNT, 2005), ou sua versão vigente, ou outro organismo signatário dos acordos mútuo do qual o INMETRO faça parte.

7 Estimativa do potencial de efeitos tóxicos

A presença de agentes químicos nos ecossistemas aquáticos representa sempre um risco aos seres vivos, não existindo, na prática, o que se possa chamar de risco zero, ou seja, 100% de segurança de que não ocorram efeitos tóxicos quando da exposição dos organismos aos agentes químicos. Nesse sentido, o risco que um agente químico impõe aos organismos aquáticos é avaliado por meio do julgamento científico da probabilidade

de danos que suas concentrações ambientais, conhecidas ou estimadas, podem causar.

No caso de efluentes líquidos, a avaliação de risco também é pertinente, visto que esses despejos são constituídos por vários agentes químicos, lançados continuamente nos recursos hídricos. Assim, no processo de julgamento científico para avaliar o risco que um efluente impõe ao ambiente aquático são consideradas, inicialmente, sua ecotoxicidade e a sua diluição no corpo de água. Desse modo, o processo de julgamento baseia-se no conhecimento do efluente como um todo, ao invés dos agentes químicos isolados presentes na sua composição.

Partindo desses princípios, para a estimativa do potencial de efeito tóxico de um efluente, como estabelecido na Resolução SMA nº 03/2000 (SÃO PAULO, 2000), é necessária uma avaliação inicial, além da qual pode ser necessária uma avaliação complementar (Seção 7.2) que possibilite angariar conhecimentos específicos tanto da ecotoxicidade como da dispersão do efluente. As características dessas avaliações e a necessidade de sua consecução estão descritas a seguir.

7.1 Estabelecimento da ecotoxicidade permissível

.....

Essa primeira avaliação é de cunho obrigatório, e inicia-se com o conhecimento da ecotoxicidade do efluente, de sua vazão e da vazão mínima do recurso hídrico receptor¹. Essas informações são aplicadas em quaisquer das relações matemáticas descritas nas seções seguintes.

1 Considera-se apropriado como vazão mínima de referência a $Q_{7,10}$, isto é, a vazão natural mínima de uma determinada seção de rio, média de 7 (sete) dias consecutivos e 10 (dez) anos de tempo de recorrência, contabilizadas, sempre que possível, as vazões correspondentes a lançamentos e captações efetuados a montante.

7.1.1 Para efluentes lançados diretamente em águas doces (rios e córregos)

a) Cálculo da diluição do efluente no corpo receptor (D.E.R.), expressa em %, como segue:

(1)

$$D.E.R = \frac{\text{vazão média do efluente}}{\text{vazão média do efluente} + \text{vazão mínima do corpo receptor (em } Q_{7,10})} \times 100$$

b) Comparação do resultado da D.E.R. com os resultados dos ensaios ecotoxicológicos, segundo a Resolução SMA-03/2000, como segue:

(2)

$$D.E.R. (\text{em } \%) \leq \frac{CE(I)50;48h \text{ ou } CL(I)50;96h}{100}$$

ou

(3)

$$D.E.R. (\text{em } \%) \leq \frac{CENO(I); 7 \text{ dias}}{10}$$

onde:

10 e 100 = fatores utilizados para garantir a ausência de efeitos tóxicos crônicos, a representatividade de vários níveis tróficos e as variações temporais da ecotoxicidade.

CE(I)50;48h = concentração do efluente que causa efeito agudo (imobilidade) a 50% de uma população do microcrustáceo *Daphnia similis*, em 48 horas de exposição, expressa em %. O método analítico para obtenção desse resultado deve ser a norma técnica ABNT-NBR 12713 (ABNT, 2009).

CL(I)50;96h = concentração do efluente que causa efeito agudo (letalidade) a 50% de uma população dos peixes *Danio rerio* ou *Pimephales promelas*, em 96 horas de exposição, expressa em %. O método analítico para obtenção desse resultado deve ser a norma técnica ABNT NBR 15088 (ABNT, 2011a).

CENO(I);7dias = concentração do efluente que não causa efeito crônico observável a uma população do microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia* (na sobrevivência ou reprodução), em 7 dias de exposição, expressa em %. O método analítico para obtenção desse resultado analítico deve ser a norma técnica ABNT NBR 13373 (ABNT, 2010). Alternativamente, pode ser utilizado o método analítico com peixes ou com algas segundo ABNT NBR 15499 (ABNT, 2007b) ou ABNT NBR 12648 (ABNT, 2011b), respectivamente.

A escolha de uma das relações matemáticas apresentadas no item b) dependerá do método de ensaio disponível. Para o estabelecimento inicial da ecotoxicidade permissível é recomendada a realização dos ensaios de ecotoxicidade aguda com *Daphnia similis* e de ecotoxicidade crônica com *Ceriodaphnia dubia*. No entanto, sempre que possível, são preferidos os resultados de ensaios crônicos expressos por CENO(I); 7 dias. A realização dos dois tipos de ensaio mencionados permite a utilização das duas relações matemáticas, fato que possibilita a confirmação mútua delas, além de permitir a seleção do organismo-teste mais sensível para futuros monitoramentos do efluente.

Outra possibilidade é o uso do ensaio com *Vibrio fischeri* em substituição aos métodos acima citados. Esse método só poderá ser adotado por decisão da CETESB tendo como base o estudo realizado conforme descrito na Seção 6. Nesse caso, a ecotoxicidade permissível será estabelecida de acordo com a relação matemática descrita a seguir:

(4)

$$\text{D.E.R. (em \%)} \leq \frac{\text{CE (I)20; 15min}}{100}$$

onde:

CE(l)20; 15 min = concentração do efluente que causa efeito agudo (inibição de luminescência) a 20% de uma população da bactéria *Vibrio fischeri*, em 15 minutos de exposição, expressa em %. O método analítico para obtenção desse resultado deve ser a norma técnica ABNT NBR 15411-1, 15411-2 ou 15411-3 (ABNT, 2012a, 2012b, 2012c).

Por outro lado, a estimativa da vazão mínima $Q_{7,10}$ do corpo receptor deve considerar primeiramente a disponibilidade de dados diretamente observados no corpo-d'água, ou seja, a existência de posto fluviométrico próximo da seção de interesse. Caso haja, ainda é necessário avaliar se a série histórica é razoavelmente longa (mínimo de 15 anos) para que os dados possam ser tratados estatisticamente, sendo a distribuição Log-Normal bastante recomendada pela literatura. Importante salientar que a $Q_{7,10}$ obtida dessa forma deverá ser corrigida por causa da razão entre a área de drenagem do posto fluviométrico e a da seção de interesse.

Na ausência de dados de vazão observados, a $Q_{7,10}$ poderá ser estimada pelo método da regionalização hidrológica. Conhecidas as coordenadas da seção de interesse do corpo-d'água e a área de drenagem, basta acessar o aplicativo disponível no *site* da Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos (SÃO PAULO, 2012) para a obtenção da vazão mínima. É importante salientar que esse método estima as vazões mínimas naturais e, dessa forma, desconsidera as intervenções antrópicas a montante, tais como captações, lançamentos e barramentos. Havendo barramento a montante, deverá ser estimada a vazão mínima remanescente composta pela vazão mínima descarregada pela barragem somada à mínima produzida na bacia formada a jusante do barramento. Em qualquer dos casos, o Setor de Hidrologia da CETESB poderá auxiliar na determinação da $Q_{7,10}$, orientando os procedimentos de cálculo.

Com base nessas informações, torna-se possível verificar o enquadramento inicial do efluente com base em uma das relações matemáticas descritas. Assim, o efluente que não atender ao princípio dessas relações possui potencial de causar efeitos adversos no corpo hídrico, e desse modo não se enquadra nas exigências da Resolução SMA nº 03/2000 (SÃO PAULO, 2000). Nesse caso, o empreendedor pode solicitar a reavaliação dos limites de ecotoxicidade (Seção 7.2) ou providenciar a redução dos efeitos tóxicos do efluente (Seção 9).

Um exemplo de aplicação das relações matemáticas descritas é apresentado, considerando os seguintes dados simulados:

- a) Vazão média do efluente = 8,9 L/s.
- b) Vazão mínima do corpo hídrico receptor no ponto de lançamento (em Q7,10) = 1.840,0 L/s.
- c) Ecotoxicidade aguda para *Daphnia similis*, CE(I)50;48h = 2,3%.

Utilizando a relação matemática indicada para o método de ensaio efetuado, temos:

(2)

$$D.E.R \leq \frac{CE(I)50;48h}{100}$$

Enquanto a substituição dos termos pelos dados simulados resulta em:

(1)

$$D.E.R \leq \frac{8,9 \text{ L/s} \times 100}{8,9 \text{ L/s} + 1840,0 \text{ L/s}} \Rightarrow D.E.R = 0,48\%$$

e

$$\frac{CE(I)50;48h}{100} = \frac{2,3\%}{100} \Rightarrow CE(I);50 = 0,023\%$$

Nesse caso, a D.E.R. (0,48%) é maior do que o valor que garante a ausência de efeitos tóxicos crônicos (CE(I)50; 48h = 0,023%), isto é, não atende ao estabelecido pela relação matemática, o que permite afirmar que o efluente tem potencial para causar efeitos adversos aos organismos aquáticos do recurso hídrico. Para essa situação, pode ser solicitada a reavaliação dos limites de ecotoxicidade (Seção 7.2) ou ser providenciada a redução dos efeitos tóxicos do efluente (Seção 9). Note-se que nesse caso, com a utilização da relação matemática, é possível constatar que a ecotoxicidade permitida do efluente deve ser $CE(I)50 \geq 48\%$ para não possuir potencial em causar efeitos adversos no corpo hídrico receptor. Outros exemplos de aplicação das relações matemáticas estão descritos na Seção 10.

7.1.2 Para efluentes lançados diretamente em águas marinhas, estuarinas, ou represas

O efluente lançado diretamente, ou por emissário, em águas marinhas ou estuarinas está sujeito a um outro tipo de avaliação para o estabelecimento da ecotoxicidade permissível, visto que esses ambientes não se apresentam confinados por canais ou calhas. Para contemplar esse aspecto o artigo 1º, parágrafo 3º da Resolução SMA-03/2000 (SÃO PAULO, 2000) descreve: "Em ambientes marinhos e estuarinos, a D.E.R. deverá ser estimada com base no estudo de dispersão do efluente no corpo receptor."

Nesses casos, a ecotoxicidade permissível baseia-se no estudo de dispersão (ver Seção 7.2.1 e 8), e as relações matemáticas (mencionadas em 7.1.1) não devem ser utilizadas. Quanto aos métodos de ensaio, recomendam-se os de ecotoxicidade aguda com misidáceos (ABNT, 2011c) ou *Vibrio fischeri* (ABNT, 2012a, 2012b, 2012c) e de ecotoxicidade crônica com ouriço-do-mar (ABNT 2012d). A realização dos dois tipos de ensaio mencionados (agudo e crônico) permite a seleção do organismo-teste mais sensível para futuros monitoramentos do efluente. Cabe ressaltar, também, que para a execução dos ensaios, o efluente despejado em águas marinhas ou estuarinas deve ter sua salinidade ajustada para aquela próxima a do corpo hídrico receptor.

O controle ecotoxicológico descrito neste item também se aplica para efluente lançado em represas ou reservatórios de água doce, no entanto, devem ser utilizados os métodos de ensaio mencionados na Seção 7.1.1.

7.1.3 Para efluentes lançados indiretamente em água doce

Uma situação bastante comum no estado de São Paulo é o lançamento do efluente em rede coletora de esgotos desprovida de tratamento. Nesse caso, o procedimento é similar ao estabelecido na Seção 7.1.1, isto é, a ecotoxicidade permissível deve se basear em uma das relações abaixo, levando-se em consideração a vazão mínima do corpo receptor final em $Q_{7,10}$, no ponto em que a rede coletora despeja o esgoto no corpo receptor, desde que o mesmo não pertença à classe 4. Assim, recomenda-se a seguinte sequência de cálculos e comparações:

a) Cálculo da diluição do efluente no corpo receptor (D.E.R.), expressa em %, como segue:

(1)

$$D.E.R. = \frac{\text{Vazão média do efluente}}{\text{Vazão média do efluente} + \text{vazão mínima do corpo receptor (em } Q_{7,10})} \times 100$$

b) Comparação do resultado da D.E.R. com os resultados dos ensaios ecotoxicológicos, como segue:

(5)

$$D.E.R. \text{ (em \%)} \leq \frac{\text{CE(I)50;48h ou CL(I)50;96h ou CE (I)20; 15 min}}{10}$$

ou

(6)

$$D.E.R. \text{ (em \%)} \leq \text{CENO(I); 7 dias}$$

onde:

CE(I)50; 48h, CL(I)50; 96h, CE (I)20; 15 min e CENO(I); 7 dias= ver definição na Seção 7.1.1.

Torna-se importante destacar que os efluentes lançados em rede pública coletora de esgotos que está interligada a sistema de tratamento não estão sujeitos às limitações de ecotoxicidade. Nesse caso, o controle ecotoxicológico será efetuado somente no efluente final da estação de tratamento.

7.2 Reavaliação do limite de ecotoxicidade

.....

Em certas situações, o limite de ecotoxicidade estabelecido para o efluente (Seção 7.1.1) pode ser reavaliado desde que sejam geradas informações complementares sobre o despejo em questão, de modo a eliminar os fatores de incerteza implícitos nas relações matemáticas utilizadas. As situações que podem exigir tal reavaliação são as seguintes:

- a) contestação, por parte do empreendedor, dos limites de ecotoxicidade estabelecidos;
- b) alegação, por parte do empreendedor, de dificuldades em reduzir os efeitos tóxicos do efluente;
- c) constatação, por parte da CETESB, de que o valor que garante a ausência de efeitos tóxicos crônicos esteja muito próximo do D.E.R. (diluição do efluente no corpo receptor).

Para as situações acima mencionadas o artigo 1º, parágrafo 2º, da Resolução SMA 03/2000 descreve:

Os limites de toxicidade são estabelecidos para cada efluente, podendo ser reavaliados pela CETESB, desde que a entidade responsável pela emissão apresente estudos sobre: a toxicidade do efluente a pelo menos três espécies de organismos aquáticos; variabilidade da toxicidade ao longo do tempo e; dispersão do efluente no corpo receptor.

Assim, os resultados de estudos, gerados pelo empreendedor, permitirão que os técnicos da CETESB tomem decisões apropriadas quanto à necessida-

de, ou não, de manter a exigência de redução da ecotoxicidade do efluente em questão. Cada um dos estudos, descritos a seguir, serão solicitados pela CETESB de forma progressiva à medida que se mostrem necessários.

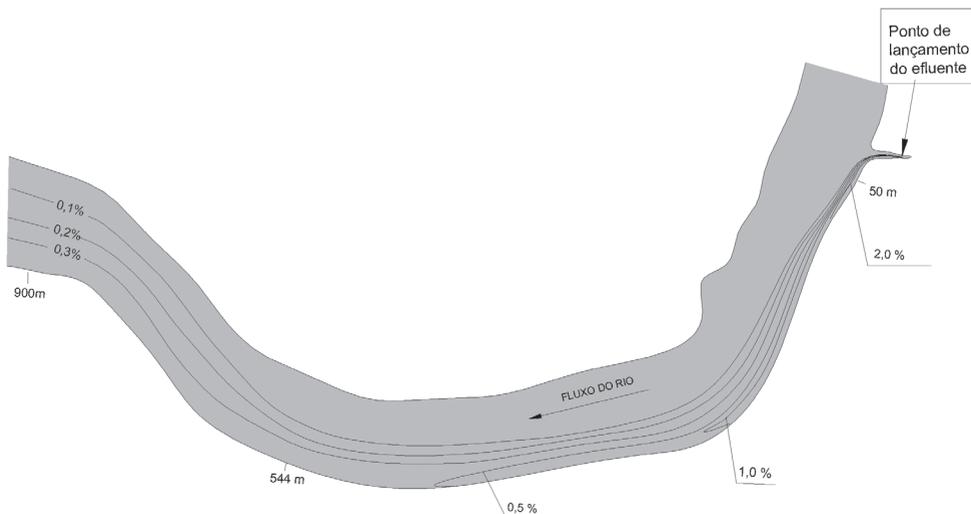
Ressalta-se que, após a conclusão dos estudos mencionados a seguir, não se deve considerar o atendimento às relações matemáticas descritas em 7.1.1. Portanto, a partir desse momento, a estimativa do potencial de efeito tóxico basear-se-á na projeção da porcentagem do efluente que não causa efeito tóxico crônico (obtida no ensaio ecotoxicológico) dentro da pluma de dispersão física superficial do efluente (Seção 8.3).

7.2.1 Estudo da dispersão física do efluente

Em consonância com o artigo 13 da Resolução CONAMA nº 430/11 (BRASIL, 2011), o objetivo desse estudo é o de dimensionar a extensão da zona de mistura onde se admite a ocorrência de efeitos tóxicos (Seção 8). Para tanto, é necessário conhecer a diluição do efluente ao longo do corpo hídrico receptor, até o ponto de sua homogeneização total. A Figura 2 mostra um exemplo real da pluma de dispersão física no rio Paraíba do Sul (GHERARDI-GOLDSTEIN et al., 1993), no qual as isolinhas de diluição demonstram que, em razão das condições locais específicas, tanto físicas como de vazões (do efluente e do rio), a homogeneização total do efluente ocorre a uma distância superior a 900 metros do ponto de lançamento do efluente. Assim, é esperado que para cada efluente a pluma de dispersão seja diferenciada, fato que requer estudos específicos.

O estudo da dispersão física é o principal estudo para eliminar as incertezas das estimativas iniciais da ecotoxicidade permissível dos efluentes despejados em rios ou córregos (ver Seção 7.1.1). Ao mesmo tempo, tal estudo é imprescindível para estabelecer a ecotoxicidade permissível de efluentes lançados em regiões marinhas/estuarinas ou represas, uma vez que esses ambientes não se apresentam confinados por canais ou calhas. Os detalhes sobre a execução desse tipo de estudo estão descritos na Seção 8.1.

Figura 2 – Pluma de dispersão superficial de um efluente (isolinhas em %) no rio Paraíba do Sul



Fonte: BERTOLETTI, 2008

O resultado do estudo de dispersão física possibilita confrontar as isolinhas de diluição do efluente no corpo receptor (expressas em porcentagem) e o resultado do ensaio ecotoxicológico (expresso em porcentagem do efluente). Desse modo, é possível avaliar a extensão do efeito tóxico provocado pelo efluente. Um exemplo dessa avaliação está descrito na Seção 8.3.

Com base no estudo de dispersão (Seção 8.1) e nas condições de dimensionamento da zona de mistura (Seção 8.2), a CETESB julgará se o efeito tóxico ocorre em região restrita o suficiente para preservar a integridade do recurso hídrico. Caso o efluente possua efeito tóxico crônico compatível para as dimensões do recurso hídrico, ele é considerado enquadrado nas exigências da Resolução SMA nº 03/2000 (SÃO PAULO, 2000), desde que não sejam alteradas as características do despejo, bem como de sua dispersão. Caso o efluente demonstre uma extensão inaceitável de efeito tóxico, ele deve ter sua ecotoxicidade reduzida (Seção 9) para valor apropriado ao corpo

de água receptor ou, ainda, a condição de dispersão do efluente deve ser alterada de modo a reduzir a área de impacto.

7.2.2 Estudo da ecotoxicidade do efluente para diferentes organismos aquáticos

O objetivo desse estudo é o de selecionar o método de ensaio mais sensível aos efeitos tóxicos do efluente e utilizá-lo para a reavaliação das estimativas de impacto. Embora a Resolução SMA nº 03/2000 (SÃO PAULO, 2000), no artigo 1º, parágrafo 2º exija, pelo menos, ensaios com três organismos aquáticos, evidências constatadas na CETESB mostram que a realização dos ensaios de ecotoxicidade aguda com *Daphnia similis* e de ecotoxicidade crônica com *Ceriodaphnia dubia* (Seção 6) já são suficientes para caracterizar o efeito tóxico de efluentes para a maioria dos organismos aquáticos de água doce. O mesmo ocorre para os efluentes lançados em água marinha/estuarina, para os quais são suficientes os ensaios de ecotoxicidade aguda com misidáceos ou *Vibrio fischeri* e o ensaio de ecotoxicidade crônica com ouriço-do-mar (Seção 6).

Portanto, a menos que a CETESB possua evidências que o efluente tenha uma ação tóxica específica sobre outros organismos aquáticos, os métodos de ensaio mencionados já se demonstram apropriados para a maioria dos efluentes.

7.2.3 Estudo da variabilidade da ecotoxicidade

Caso necessário, esse estudo de ecotoxicidade deve ser realizado com o objetivo de determinar, após amostragens em diferentes ocasiões, qual é o menor valor de ecotoxicidade do efluente líquido em estudo. Esse valor corresponde ao resultado analítico que apresenta o efeito tóxico mais intenso. Sempre que possível, a frequência de amostragem deve ser representativa das variações do processo produtivo ao longo do tempo, e os ensaios de ecotoxicidade devem ser efetuados com o organismo que se apresenta mais sensível ao efeito tóxico do efluente (Seção 7.2.2).

Após o conhecimento da variabilidade temporal dos efeitos tóxicos do efluente, deve ser selecionado o resultado analítico que apresentar o efeito tóxico mais intenso, isto é, a menor porcentagem do efluente que causou um efeito tóxico, e utilizá-lo para a reavaliação de qualquer das estimativas de impacto.

8 Zona de mistura

A interpretação do artigo 4º inciso XIV da Resolução CONAMA nº 430/11 (BRASIL, 2011) é de que a zona de mistura é uma região do corpo receptor que se estende do ponto de lançamento do efluente, delimitada pela superfície, até o ponto em que é atingido o equilíbrio da mistura. No artigo 13 da citada Resolução admite-se a presença de concentrações de substâncias acima dos padrões de qualidade estabelecidos e, por conseguinte, a ocorrência de efeitos tóxicos causados pela interação dessas substâncias. O fundamento legal para o estabelecimento da zona de mistura está descrito no artigo 13 da Resolução CONAMA nº 430/11 (BRASIL, 2011), como segue:

Na zona de mistura serão admitidas concentrações de substâncias em desacordo com os padrões de qualidade estabelecidos para o corpo receptor, desde que não comprometam os usos previstos para o mesmo.

Parágrafo único. A extensão e as concentrações de substâncias na zona de mistura deverão ser objeto de estudo, quando determinado pelo órgão ambiental competente, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento.

8.1 Dispersão física

Para se determinar a extensão da zona de mistura é necessária a realização de um estudo da dispersão física de um efluente. O estudo de dispersão deve conduzir ao conhecimento das isolinhas de diluição física do efluente no corpo receptor (expressas em porcentagem). Assim, o conhecimento das isolinhas é a base para o estabelecimento da zona de mistura, quer para o controle ecotoxicológico ou químico de um efluente.

O estudo de dispersão a ser apresentado pelo empreendedor pode basear-se em modelagem matemática ou em levantamento com utilização de traçadores, desde que atenda as seguintes exigências:

a) modelagem matemática:

O modelo matemático empregado deve ser aquele que já se demonstrou apropriado para esse tipo de estudo, bem como para as condições do efluente em questão. Algumas experiências bem-sucedidas foram verificadas com os modelos Cormix, Phoenics, Ecomsed, L-CDF/Unicamp e Visual Plumes. A pluma de dispersão deve ser apresentada sob a forma numérica e gráfica, por meio de isolinhas de diluição (expressas em porcentagem do efluente), considerando cenários desfavoráveis do corpo receptor (por exemplo, vazão em termos do $Q_{7,10}$ para rios, e condições de maré e correntes para mar/estuário) e vazão média de lançamento do efluente. Os dados de entrada e as condições de contorno adotadas deverão estar devidamente justificados em relatório de apresentação do estudo. Ainda, o empreendedor poderá ser convocado para executar o modelo na presença de técnicos da CETESB;

b) Levantamento com utilização de traçadores:

Os traçadores utilizados podem ser os fluorescentes (rodamina WT ou fluoresceína), os radioativos, ou os químicos (cloreto de sódio ou lítio) quando apropriado. É importante observar que a rodamina WT não deve ser utilizada em efluente corado. Para os despejos em rios, os levantamentos devem ser realizados em duas campanhas, uma para vazão do corpo receptor não diferente de 20% da vazão média estimada e outra para vazão não superior a 20% da vazão mínima $Q_{7,10}$, ambos os levantamentos com a vazão média do efluente. Já para os despejos em mar/estuário, o levantamento deve ser realizado, ao menos, em maré de quadratura. A pluma de dispersão deverá ser apresentada sob a forma numérica e gráfica, por meio de isolinhas de diluição. O método utilizado

no estudo, bem como eventuais dados utilizados que não tenham sido levantados durante os trabalhos de campo, devem ser detalhados e justificados em relatório apresentado à CETESB.

Independente do tipo de estudo escolhido, a extensão espacial da pluma de dispersão deve abranger o ponto de diluição inicial até a homogeneização completa do efluente no corpo hídrico receptor. Para efluentes lançados em regiões marinhas ou estuarinas, a extensão espacial da pluma de dispersão pode ser limitada pela diluição do efluente em que não se espera a ocorrência de efeitos tóxicos crônicos (conforme demonstrado pelos ensaios ecotoxicológicos).

8.2 Limites da zona de mistura

.....

Após a realização do estudo de dispersão, cabe à CETESB estabelecer a extensão da zona de mistura admissível para o efluente em questão. Torna-se importante mencionar que não existem critérios preestabelecidos para o dimensionamento da zona de mistura, e desse modo o órgão ambiental deve arbitrá-lo. Portanto, a princípio, a zona de mistura deve ficar confinada à dimensão superficial que atenda simultaneamente às seguintes condições:

- a) a ausência de efeitos tóxicos crônicos em porção significativa das seções transversal e longitudinal do recurso hídrico, de modo a permitir o trânsito e a preservação dos organismos aquáticos;
- b) a destinação da água do recurso hídrico, imediatamente a jusante do lançamento, para qualquer um dos seguintes fins: aquicultura, proteção ambiental e pesca.

8.3 Definição da zona de mistura

.....

Com base no estudo de dispersão (Seção 8.1), a CETESB confronta as isolinhas de diluição do efluente no corpo receptor (expressas em porcentagem) com o resultado do ensaio ecotoxicológico (expresso em porcentagem do

efluente). Desse modo, é possível avaliar a extensão do efeito tóxico provocado pelo efluente e verificar se a área superficial atende às condições da Seção 8.2. Baseada na constatação de que a extensão do efeito tóxico se restringe à zona de mistura apropriada, o resultado do ensaio ecotoxicológico efetuado torna-se o valor de ecotoxicidade permitido para o efluente. Caso o efluente demonstre extensão incompatível para o recurso hídrico (de acordo com Seção 8.2), o efluente requer uma redução da ecotoxicidade (Seção 9).

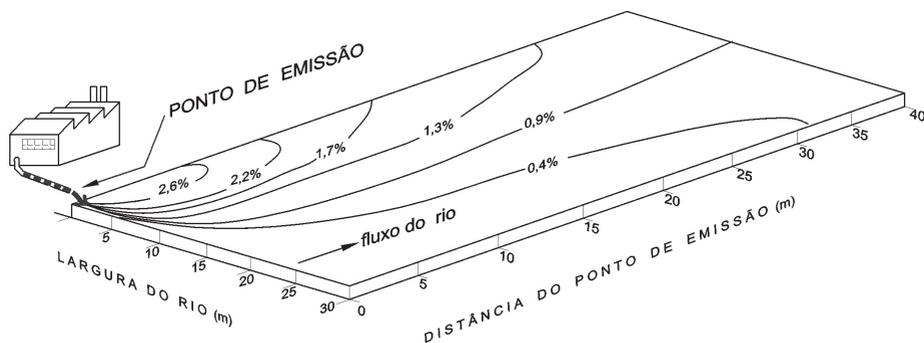
Deve-se mencionar que as isolinhas de diluição também permitem quantificar as concentrações de agentes químicos do efluente, ao longo do corpo receptor, caso o objetivo seja o controle das características químicas. Para tanto, deve ser efetuada a determinação química do(s) poluente(s) de interesse no efluente lançado para o recurso hídrico.

Para exemplificar a definição de uma zona de mistura e a sua adequação para evitar efeitos tóxicos expressivos no corpo hídrico receptor, a Figura 3 mostra o resultado de um estudo de dispersão com as isolinhas de diluição em um determinado rio (expressas em porcentagem do efluente). Nesse caso, considerando que a ecotoxicidade do efluente é de $CENO(I) = 1,3\%$, o confronto das diluições demonstra que o efluente possui potencial para causar efeitos tóxicos no rio em uma região com aproximadamente 10 metros de largura e 30 metros de comprimento a partir do ponto de lançamento.

Essa região de efeito tóxico pode ser considerada aceitável nesse caso, visto que se mostra de tamanho suficiente para evitar danos a um número expressivo de organismos aquáticos residentes, uma vez que em 2/3 da seção transversal do rio é possível o trânsito desses organismos sem que ocorram efeitos tóxicos. Essa aceitação complementa-se pela inexistência da exploração de pesca (profissional ou amadora), bem como de outro uso da água para organismos aquáticos, na região de potencial efeito tóxico a jusante do lançamento. Desse modo, a $CENO = 1,3\%$ constitui-se no valor

máximo de ecotoxicidade permissível após a reavaliação do limite para o efluente em questão.

Figura 3 – Resultado de um estudo de dispersão, com isolinhas de diluição (expressas em porcentagem) de um efluente hipotético



Fonte: BERTOLETTI, 2008

9 Redução da ecotoxicidade

Vários estudos têm demonstrado que uma significativa redução da ecotoxicidade pode ser obtida após o tratamento de efluentes em sistemas convencionais. No entanto, mesmo após o tratamento, os efluentes podem apresentar ecotoxicidade remanescente, a qual pode situar-se além dos limites calculados na Seção 7.1.1. Nesses casos, a ecotoxicidade do efluente deve ser reduzida, ao menos até os limites estabelecidos, utilizando o conhecimento técnico-científico disponível.

Em princípio, os conhecimentos necessários para a redução da toxicidade estão dentro do próprio empreendimento, ou seja, as informações sobre a qualidade química do efluente; as substâncias utilizadas nos processos produtivos, nos procedimentos de limpeza das instalações e no sistema de tra-

tamento, bem como registros do controle das áreas de armazenamento de materiais e resíduos, podem orientar os profissionais especializados nesse assunto. Com isso, é possível que problemas de toxicidade sejam resolvidos por medidas simples, como a substituição de um produto utilizado rotineiramente por outro menos tóxico. Há casos, porém, que exigem a condução de estudos de avaliação e identificação da toxicidade (AIT) de efluentes, os quais podem ser realizados por laboratórios especializados (privados ou de universidades) disponíveis no mercado. Tais estudos visam auxiliar na determinação de compostos, ou classe de compostos, responsáveis pela ecotoxicidade em um determinado efluente. A bibliografia de referência para os estudos de AIT pode ser obtida em manuais da EPA (NORBERG-KING et al., 1991; DURHAN, E.J.; NORBERG-KING; BURKHAND, 1993; MOUNT; NORBERG-KING, 1993).

10 Estabelecimento prévio do limite de ecotoxicidade

O limite permissível de ecotoxicidade pode ser estabelecido para efluente de empreendimento projetado para o futuro. Para tanto, deve-se utilizar as relações matemáticas descritas no item 7.1.1. Exemplificando, é possível que um empreendimento produza um efluente que tenha uma vazão média projetada de 20 L/s e, ainda, que será lançado em um rio com vazão (em $Q_{7,10}$) igual a 2.000 L/s. Assim, com base no cálculo de balanço de massas das vazões disponíveis, a D.E.R. (diluição do efluente no corpo receptor) será igual a 0,99%, e a substituição desse valor na relação abaixo, tem-se:

(3)

$$D.E.R. \leq \frac{CENO(I)}{10} \Rightarrow 0,99\% \leq \frac{CENO(I)}{10} \Rightarrow CENO(I) \geq 9,9\%$$

Desse modo, o efluente que será lançado pelo empreendimento deve possuir um valor de ecotoxicidade crônica igual ou superior a 9,9%. Obvia-

mente, esse limite permissível deverá ser confirmado, por meio de ensaio ecotoxicológico, após o início da geração do efluente.

O cálculo demonstrado anteriormente também pode ser utilizado para estimar o limite permissível de ecotoxicidade de um efluente já existente, desde que a informação sobre as vazões (do efluente e do corpo receptor) esteja disponível. Torna-se importante mencionar, também, que caso o valor de ecotoxicidade [CE(I)50 ou CENO(I)] resultante seja maior do que 100% o efluente em questão deve ser considerado como isento de ecotoxicidade (aguda ou crônica).

Do mesmo modo, é possível estimar a vazão média do efluente apropriada para evitar os efeitos tóxicos, bem como a vazão do corpo receptor (em $Q_{7,10}$) compatível para o efluente a ser produzido. Nesses casos, com base em resultados de ecotoxicidade para efluentes semelhantes, recomenda-se a substituição dos termos na seguinte relação matemática:

(1,2,3)

$$\frac{\text{vazão média do efluente}}{\text{Vazão média do efluente} + \text{vazão do corpo receptor (em } Q_{7,10})} \times 100 \leq \frac{\text{CE(I)50}}{100}$$

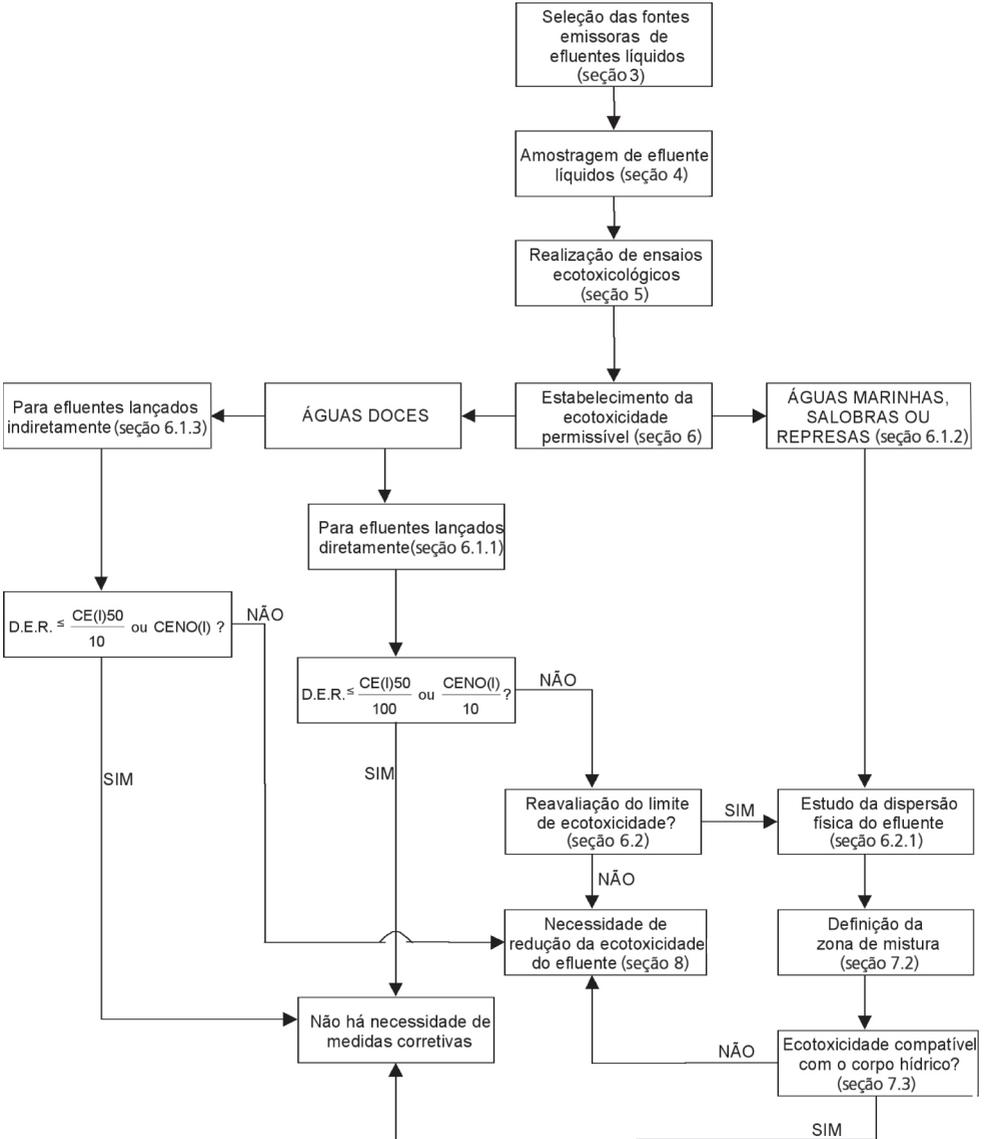
ou

$$\frac{\text{vazão média do efluente}}{\text{Vazão média do efluente} + \text{vazão do corpo receptor (em } Q_{7,10})} \times 100 \leq \frac{\text{CENO(I)}}{10}$$

11 Sequência de ações

A Figura 4 apresenta, resumidamente, uma sequência de ações utilizada pela CETESB para o controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no estado de São Paulo. A sequência apresentada (com a indicação da Seção correspondente no presente manual) pode ser usada por empresas sujeitas a esse tipo de controle.

Figura 4 - Sequência de ações, e tomadas de decisão, utilizadas pela CETESB para o controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no estado de São Paulo



Fonte: BERTOLETTI, 2008 modificado

12 Referências

- ABNT. **NBR 15469**: ecotoxicologia aquática: preservação e preparo de amostras. Rio de Janeiro, 2007a. 7 p.
- ABNT. **NBR 15499**: ecotoxicologia aquática: toxicidade crônica de curta duração – método de ensaio com peixes. Rio de Janeiro, 2007b. 21 p.
- ABNT. **NBR 12713**: ecotoxicologia aquática: toxicidade aguda – método de ensaio com *Daphnia* spp (Cladocera, Crustacea). Rio de Janeiro, 2009. 23 p.
- ABNT. **NBR 13373**: ecotoxicologia aquática: toxicidade crônica – método de ensaio com *Ceriodaphnia* spp (Crustacea, Cladocera). Rio de Janeiro, 2010. 18 p.
- ABNT. **NBR 15088**: ecotoxicologia aquática: toxicidade aguda – método de ensaio com peixes. Rio de Janeiro, 2011a. 22 p.
- ABNT. **NBR 12648**: ecotoxicologia aquática: toxicidade crônica – método de ensaio com algas (Chlorophyceae). Rio de Janeiro, 2011b. 28 p.
- ABNT. **NBR 15308**: ecotoxicologia aquática: toxicidade aguda – método de ensaio com misídeos (Crustacea). Rio de Janeiro, 2011c. 19 p.
- ABNT. **NBR 15411-1**: ecotoxicologia aquática – determinação do efeito inibitório de amostras aquosas sobre a emissão de luz de *Vibrio fischeri* (Ensaio de bactéria luminescente) Parte 1: método utilizando bactérias recém-cultivadas. Rio de Janeiro, 2012a. 24 p.
- ABNT. **NBR 15411-2**: ecotoxicologia aquática – determinação do efeito inibitório de amostras aquosas sobre a emissão de luz de *Vibrio fischeri* (Ensaio de bactéria luminescente) Parte 2: método utilizando bactérias desidratadas. Rio de Janeiro, 2012b. 21 p.
- ABNT. **NBR 15411-3**: ecotoxicologia aquática – determinação do efeito inibitório de amostras de aquosas sobre a emissão de luz de *Vibrio fischeri* (Ensaio de bactéria luminescente) Parte 3: método utilizando bactérias liofilizadas. Rio de Janeiro, 2012c. 23 p.
- ABNT. **NBR 15350**: ecotoxicologia aquática: toxicidade crônica de curta duração – método de ensaio com ouriço-do-mar (Echinodermata: Echinoidea). Rio de Janeiro, 2012. 19 p.
- ABNT. **NBR ISO/IEC 17025**: requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, 2005. 31 p.
- BASSOI, L.J. et al. **Implementação de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB, 1990. 7 p. (Série Manuais, 8)
- BERTOLETTI, E. **Controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB. 2008. 36 p. (Série Manuais)

BERTOLETTI, E.; ZAGATTO, P.A. Aplicação dos ensaios ecotoxicológicos e legislação pertinente. In: ZAGATTO, P.A.; BERTOLETTI, E. (Ed.) **Ecotoxicologia aquática: princípios e aplicações**. São Carlos: Rima, 2006. cap. 15, p. 347- 382.

BRASIL. CONAMA. Resolução n. 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**: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, n. 53, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codegi=459>>. Acesso em: jan. 2012.

BRASIL. CONAMA. Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, n. 92, 16 maio 2011. p. 89. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiare.cfm?codegi=646>>. Acesso em: jan 2012.

CETESB. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras**: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Carlos Jesus Brandão et al. (Org.). São Paulo: CETESB, Brasília: ANA, 2011. 326p.

DURHAN, E.J.; NORBERG-KING, T.J.; BURKHAND, L.P. **Methods for aquatic toxicity identification evaluations**: phase II toxicity identification procedures for samples exhibiting acute and chronic toxicity. Duluth, MN: EPA, 1993. (EPA-600/R-92/080). Disponível em: <<http://www.epa.gov/npdes/pubs/owm0343.pdf>>. Acesso em: jul. 2008.

GHERARDI-GOLDSTEIN, E. et al. **Procedimentos para utilização de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB, 1990. 17 p. (Série Manuais, 6)

GHERARDI-GOLDSTEIN, E. et al. Dispersão de efluentes e os padrões ambientais. **Am-biente**: Revista CETESB de Tecnologia, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 12-17, 1993.

MOUNT, D.I. The role of biological assessment in effluent control. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON BIOLOGICAL TESTING OF EFFLUENTS AND RELATED RECEIVING WATERS. **Proceedings**...Minnesota: OECD, 1984. p. 15-30.

MOUNT, D.I.; NORBERG-KING, T.J. **Methods for aquatic toxicity identification evaluations**: phase III toxicity confirmation procedures for samples exhibiting acute and chronic toxicity. Duluth, MN: EPA, 1993. (EPA-600/R-92/081). Disponível em: <<http://www.epa.gov/npdes/pubs/owm0341.pdf>>. Acesso em: jul. 2008.

NORBERG-KING, T.J. et al. (Ed.). **Methods for aquatic toxicity identification evaluations**: phase I toxicity characterization procedures. 2nd ed. Duluth, MN: EPA, 1991. (EPA-600/6-91/003). Disponível em: <<http://www.epa.gov/npdes/pubs/owm0330.pdf>>. Acesso em: jul. 2008.

SÃO PAULO (Estado). Decreto n. 24839, de 6 de março de 1986. Dispõe sobre o re-enquadramento do Rio Jundiá-Mirim e seus afluentes na classificação prevista no

Anexo do Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, v. 96, n. 45, 7 mar. 1986. Seção 1. p. 11. Disponível em: <http://www.imprensaoficial.com.br/PortallO/DO/BuscaDO2001Documento_11_4.aspx?link=/1986/executivo%2520secao%2520i/marco/07/pag_0001_30QBVDV2CVM5G9e2JT9RTNQF9NOM.pdf&pagina=1&data=07/03/1986&caderno=Executivo%20I&paginaordenacao=100001>. Acesso em: set. 2012.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Resolução SMA n. 3, de 22 de fevereiro de 2000. Dispõe sobre as relações que fixam a toxicidade permissível no controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no estado de São Paulo. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, v. 110, n. 39, 25 fev. 2000. Seção 1, p. 24. Disponível em: <http://www.imprensaoficial.com.br/PortallO/DO/BuscaDO2001Documento_11_4.aspx?link=/2000/executivo%2520secao%2520i/fevereiro/25/pag_0001_3S7LUP3LQEFH1e8C7BM4LMKBSU5.pdf&pagina=1&data=25/02/2000&caderno=Executivo%20I&paginaordenacao=100001>. Acesso em: set. 2012.

SÃO PAULO (Estado). **Lei n. 997, de 31 de maio de 1976**. Dispõe sobre o Controle da Poluição do Meio Ambiente. São Paulo, 1976a. Com alterações posteriores. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/lei_997_1976.pdf> ou <<http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/leis/1976%20Lei%20997.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2012.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto n. 8468, de 8 de setembro de 1976**. Aprova o Regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. São Paulo, 1976b. Com alterações posteriores. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/institucional/legislacao/dec_8468.pdf> ou <<http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/decretos/1976%20Dec%208468.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2012.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto n. 10755, de 22 de novembro de 1977**. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. São Paulo, 1977. Com alterações posteriores. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/decretos/1997_Dec_Est_10755.pdf>. Acesso em: 17 set. 2012.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Resolução SMA n. 90, de 13 de novembro de 2012. Regulamenta as exigências para os resultados analíticos incluindo-se amostragem, objetos de apreciação pelos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais - SEAQUA, e que subsidiam o exercício e suas atribuições legais do controle, monitoramento e a fiscalização das atividades efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, 14 nov. 2012, p.66-67. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/legilacao/estadual/resolucoes-sma/resolucao-sma-9-2012/>>. Acesso em: agosto 2013.

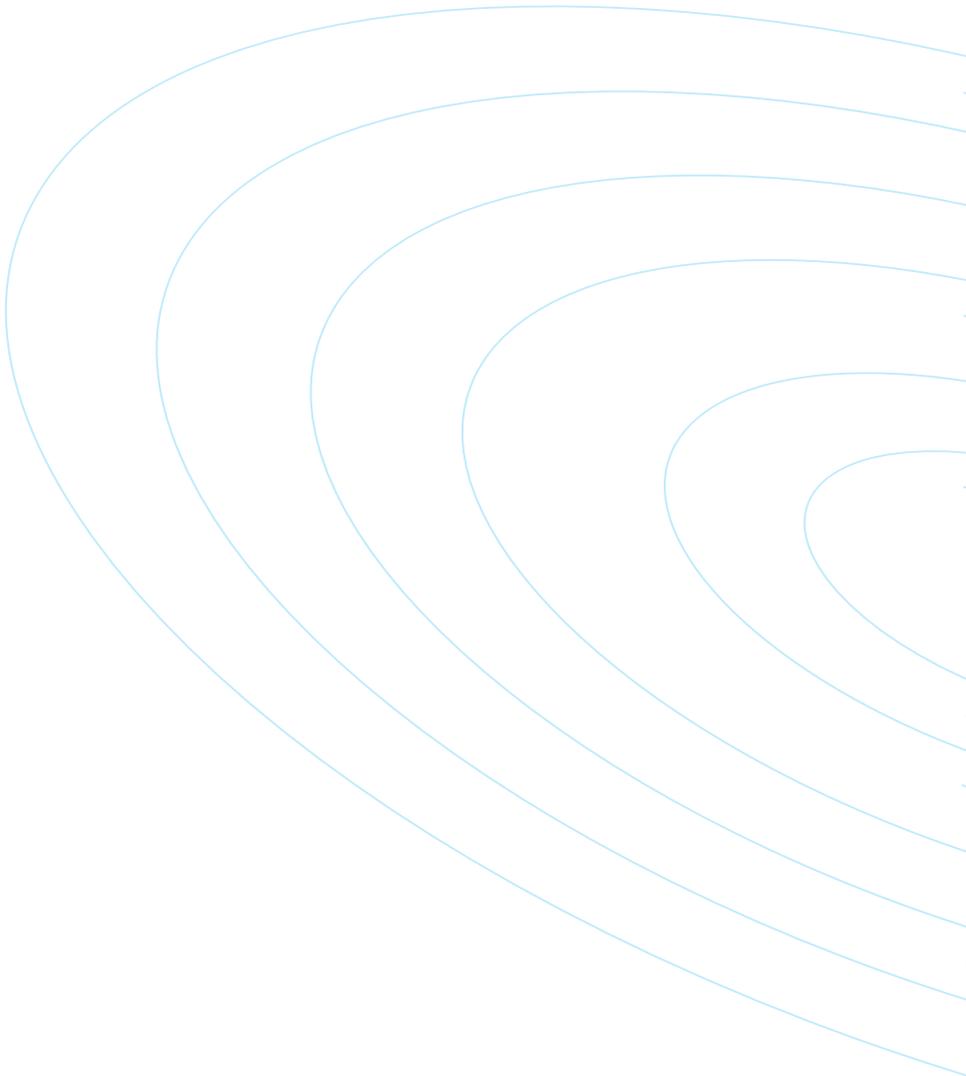
SÃO PAULO (Estado) Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos . **Sistema de informações para o gerenciamento de recursos hídricos do estado de São Paulo - SIRGH**: Regionalização hidrológica do estado de São Paulo. São Paulo [2012?]. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/regnet.exe?lig=pdfp>>. Acesso em: 17 set. 2012.

TEBO JR., L.B. Effluent monitoring: historical perspective. In: BERGMAN, H.L.; KIMERLE, A.A.; MAKI, A.W. (Ed.). **Environmental hazard assessment of effluent**. Elmsford: Pergamon Press, 1986. p. 13-31.

USEPA. **Handbook for sampling and sample preservation of water and wastewater**. Cincinnati, Ohio, 1982. 402 p. (EPA-600/4-82-029). Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=30000QSA.txt>>. Acesso em: set. 2012.

USEPA. **Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms**. 5 th ed. Washington, D.C., 2002a. 266 p. (EPA-821-R-02-012). Disponível em: http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/wet/disk2_index.cfm. Acesso em: set. 2012.

USEPA. **Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms**. 4 th ed. Washington, D.C., 2002b. 335 p. (EPA-82-R-02-013). Disponível em: http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/wet/disk3_index.cfm. Acesso em: set. 2012



CETESB



GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO

Secretaria do Meio Ambiente