

Estimativa da carga tóxica de efluentes industriais¹

Eduardo Bertoletti²

RESUMO — Com a finalidade de comparar os valores de carga tóxica estimados por um método baseado em testes de toxicidade (Unidades Tóxicas) e dois outros fundamentados em análises químicas (Toxicidade Conjunta e Índice de Toxicidade), foram estudados 68 efluentes líquidos industriais. Pelos resultados obtidos, verificou-se que a classificação das cargas foi corretamente prevista em 44% e em 19% dos casos, respectivamente, pelos métodos Toxicidade Conjunta (TC) e Índice de Toxicidade (ITX). Em função destes resultados são discutidas as limitações dos métodos baseados em análises químicas para a previsão da carga tóxica de efluentes industriais e suas conseqüências na hierarquização desses despejos.

Palavras-chave Carga Tóxica, Toxicidade Conjunta, efluentes industriais, testes de toxicidade.

ABSTRACT: In order to compare the toxic load values estimated by an analytical method (Toxic Units) and two mathematical models (Joint Toxicity and Toxicity Index), 68 industrial effluents were studied. The classification of the toxic loads were correctly estimated in 44% and 19% of the effluents according, respectively, to these models. The limitations of the models in predicting effluent toxic loads and consequently their ranking are discussed.

Keywords: Toxic load, Joint Toxicity, mathematical models, industrial effluent.

A otimização de recursos em ações de controle de poluição tem se tornado cada vez mais necessária e pressupõe o estabelecimento de prioridades (Cetesb, 1987). Neste sentido, a avaliação da carga poluidora de efluentes industriais e a sua conseqüente hierarquização, tem sido efetuada através do método ABC (Campos & Onishi, 1975), que considera principalmente a quantidade de matéria orgânica, expressa em Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).



Para a efetiva hierarquização dos efluentes, sujeitos a ações de controle, além da quantificação da carga orgânica deve-se considerar também a carga de substâncias tóxicas. Braile & Cavalcanti (1979), por exemplo, ressaltaram que os despejos tóxicos podem ter alta demanda química de oxigênio (DQO), porém, tais despejos apresentam baixa demanda bioquímica de oxigênio (DBO), mesmo contendo grande quantidade de matéria orgânica.

Considerando este aspecto, a hierarquização de efluentes, somente através do método ABC, pode conduzir ao estabelecimento de prioridades que não reflitam as reais necessidades de controle. Portanto, a quantificação da carga tóxica de efluentes industriais torna-se uma medida necessária, principalmente quando se pretende selecionar os despejos mais problemáticos para uma região ou para um determinado recurso hídrico.

O cálculo da carga tóxica de efluentes tem sido realizado através dos resultados de testes de toxicidade com organismos aquáticos (Walsh et alii, 1980; Gherardi-Goldstein et alii, 1985). Entretanto, alguns estudos evidenciam que métodos baseados em análises químicas pode-

1 — Trabalho executado com o apoio do PROCOP, dentro do Programa Assistência Técnica, Projeto Capacitação Técnica de Recursos Humanos.

2 — Biólogo da Cetesb — Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

riam ser utilizados com a mesma finalidade (Chung et alii, 1979; Derísio & Fraga, 1983). Assim, no presente trabalho, procurou-se estimar as cargas tóxicas de vários efluentes industriais, através de dois métodos experimentais e compará-las às cargas calculadas a partir de resultados de testes de toxicidade com *Daphnia similis*.

Materiais e Métodos

Com os dados provenientes do estudo sobre a avaliação da toxicidade de despejos líquidos industriais na região da Grande São Paulo (Cetesb, 1987), foram selecionados para este trabalho 68 efluentes líquidos, pertencentes de diferentes atividades industriais. No presente estudo os efluentes foram codificados, de acordo com as atividades industriais das quais provinham, como segue: metalúrgica (efluentes n.ºs 01 a 10); mecânica (n.ºs 11 a 13b); material elétrico (n.ºs 14 a 16); material de transporte (n.ºs 17 a 29); papel e papelão (n.º 30); borracha (n.ºs 31 e 32); química (n.ºs 33 a 50); farmacêutica (n.ºs 51 e 52) e têxtil (efluentes n.ºs 53 a 61). Os efluentes numerados e acompanhados de letras representaram diferentes despejos de uma mesma indústria.

Cada efluente foi submetido a teste de toxicidade aguda com *Daphnia similis*, que consistiu na exposição dos organismos-teste a várias diluições do efluente estudado, conforme método Cetesb (1986). As análises químicas dos efluentes foram efetuadas de acordo com as características particulares de cada despejo.

A carga tóxica, com base nos resultados dos testes de toxicidade, expressa em Unidades Tóxicas (UT), foi calculada pela expressão abaixo, proposta por Tebo (1986):

$$\text{Carga Tóxica (UT)} = \frac{100}{\text{CE(I)50, \%}} \cdot \bar{Q}$$

onde:

. CE(I)50 = concentração do efluente que causa 50% de imobilidade aos organismos (*Daphnia similis*), durante 24 horas de exposição, em porcentagem.

. \bar{Q} = vazão média do efluente, em m³/dia.

A estimativa da carga tóxica, expressa em Toxicidade Conjunta (TC), foi obtida pela expressão que se segue, modificada a partir da proposta por Sprague (1970):

$$\text{Carga Tóxica (TC)} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{CE50}_i} \right) \cdot \bar{Q}$$

onde:

. C_i = concentração do agente tóxico no efluente industrial, em mg/L (Cetesb, 1987).

. CE50_i = concentração do agente tóxico, que causa imobilidade a 50% dos organismos, em mg/L, obtida de dados de literatura para substâncias isoladas.

. \bar{Q} = vazão média do efluente, em m³/dia.

A estimativa da carga tóxica expressa pelo índice de Toxicidade (ITX), foi obtida pela expressão proposta por Derísio & Fraga (1983), modificada como se segue:

$$\text{Carga Tóxica (ITX)} = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{C_i}{\text{PE}_i} \right) \cdot \bar{Q}$$

onde:

. α_i = coeficiência de proporcionalidade de uma substância em relação ao ferro solúvel (Derísio & Fraga, 1983).

. C_i = concentração do agente tóxico no efluente industrial, em mg/L (Cetesb, 1987).

. PE_i = padrão de emissão do agente tóxico, conforme Artigo 18, Decreto 8468 (Derísio & Fraga, 1983).

. \bar{Q} = vazão média do efluente, em m³/dia.

Os valores de carga tóxica, calculados pelo índice de Toxicidade, foram divididos por 10 para obedecerem a mesma ordem de grandeza das cargas tóxicas calculadas pelos outros métodos.

Os valores de carga tóxica dos efluentes, calculados pelos três diferentes métodos, foram somados a um e transformados em logaritmos, possibilitando assim a classificação de cargas tóxicas iguais a zero. Após essa transformação, os valores de carga tóxica foram classificados, para efeito desse estudo, de acordo com seus enquadramentos nos intervalos logaritmos na base de 10 e, deste modo, foram estabelecidas as seguintes classes:

. valores maiores do que 5,0 = carga tóxica elevada

. valores entre 4,99 e 4,0 = carga tóxica considerável

. valores entre 3,99 e 3,0 = carga tóxica moderada

. valores entre 2,99 e 2,0 = carga tóxica reduzida

. valores menores que 1,99 = carga tóxica desprezível.

Para avaliar o nível de concordância entre os resultados de cargas tóxicas, calculados pelo método UT e por TC e ITX, foi utilizada a estatística Kappa (Fleiss, 1973), com $P < 0,05$.

Resultados

Na *Tabela 1*, constam os valores de carga tóxica dos efluentes, em termos absolutos, calculados pelos três métodos (UT, TC e ITX). Através dos resultados obtidos, verifica-se que o método Toxicidade Conjunta (TC) tende a superestimar as cargas tóxicas, enquanto que o Índice de Toxicidade (ITX) subestima estas cargas, em comparação com o método baseado nos testes de toxicidade (UT).

Na *Figura 1*, estão representadas as cargas tóxicas dos efluentes obtidas pelos três diferentes métodos, de acordo com a classificação utilizada neste estudo, sendo estes os dados básicos para a hierarquização dos efluentes.

Nas *Tabelas 2 e 3*, constam os resultados concordantes, nas diferentes classes de carga tóxica, obtidos pela comparação do método baseado em testes de toxicidade (UT) com os métodos fundamentados em análises químicas (TC e ITX). Através da *Tabela 2*, observa-se que, pelo método TC, em 44% dos casos houve concordância significativa ($P < 0,05$) com a classificação obtida pelo método UT. Utilizando o mesmo procedimento, verificou-se que a concordância na classificação das cargas tóxicas, estimadas por TC, foi de 57% para os efluentes de indústrias de material de transporte, de 53% para os das indústrias químicas, 33% para os despejos das têxteis e 20% para os efluentes de indústrias metalúrgicas.

Na *Tabela 3*, verifica-se que o nível de concordância das cargas tóxicas, estimadas através do método ITX, foi

Tabela 1 — Cargas tóxicas dos efluentes, estimadas pelos diferentes métodos estudados

CARGA TÓXICA	UNIDADES TÓXICAS	TOXICIDADE CONJUNTA	ÍNDICE DE TOXICIDADE	CARGA TÓXICA	UNIDADES TÓXICAS	TOXICIDADE CONJUNTA	ÍNDICE DE TOXICIDADE
EFLUENTE INDUSTRIAL (nº)	(UT.m ³ .dia ⁻¹)	(TC.m ³ .dia ⁻¹)	(ITX.m ³ .dia ⁻¹)	EFLUENTE INDUSTRIAL (nº)	(UT.m ³ .dia ⁻¹)	(TC.m ³ .dia ⁻¹)	(ITX.m ³ .dia ⁻¹)
01	6.930	13.050	95	32	917	8.258	92
02	54.144	244.800	414.528	33 A	672.500	449.768	23.833
03	28.471	30.010	323	33 B	2.772	13.200	158
04	28.548	16.470	91	34	117.596	988	2.289
05	8.970	11.180	299	35	103.950	254.880	737.964
06	48.917	6.436	128	36	22.311	871	3.082
07	936	31.068	25.174	37	5.124	6.384	147
08	1.848	924	0	38	220.495	324.729	9.621
09	240	9.840	0	39	307.824	25.450.656	1.074.414
10	0	1.668	33	40	9.585	1.278	340
11	25.792	56.544	228.928	41	3.040	1.140	484
12	3.054	4.275	122	42	90.761	82.510	384.496
13 A	656	9.840	328	43	3.960	1.440	0
13 B	360	4.320	5.328	44	3.240	2.520	792
14	240.000	166.200	797.820	45	228	8	0
15	2.431	33.813	26.984	46	8.210	5	0
16	4.800	0	0	47	500	1.125	12
17	60.000	13.344	68.560	48	4.070	814	122.100
18	80.316	43.301	206.097	49	445	0,06	32
19	10.010	8.260	210	50	304	4.560	5.988
20	100	1.056	5.402	51	13.132	2.627	19.610
21	216.086	534.902	78.287	52	305	300	80.460
22	4.386	29.580	2.703	53	230.000	169.280	2.270
23	5.034	8.506	79.560	54	11.656	3.166	29
24	2.800	11.600	360	55	3.437	10.973	132
25	2.009	1.296	3.002	56	60.828	11.060	0
26	108	270	0	57 A	672	480	10
27	52	80	0	57 B	720	2.160	0
28 A	800.400	325.200	10.200	57 C	0	2.304	38
28 B	3.600	26.640	3.024	57 D	0	52.800	720
29	17.930	193.644	25.460	58	667	1.223	22
30	12.600	50.400	840	59	600	1.560	12
31 A	480.000	384.480	5.184	60	2.174	60.872	652
31 B	160	13.280	32	61	100	550	5

Tabela 2 — Frequências observadas das cargas tóxicas dos efluentes industriais, utilizadas para análise de concordância (Kappa) entre o método Unidades Tóxicas e o modelo Toxicidade Conjunta, na classificação das cargas.

TOXICIDADE CONJUNTA	UNIDADES TÓXICAS					
	ELEVADA	CONSIDERÁVEL	MODERADA	REDUZIDA	DESPREZÍVEL	TOTAL
ELEVADA	9*	2	0	0	0	11
CONSIDERÁVEL	0	8*	9	2	1	20
MODERADA	1	4	8*	10	2	25
REDUZIDA	0	1	2	4*	0	7
DESPREZÍVEL	0	0	2	2	1*	5
TOTAL	10	15	21	18	4	68

* = Número de concordâncias

Figura 1 — Comparação das cargas tóxicas obtidas através dos testes de toxicidade (U.T.) e dos modelos TC e ITX.

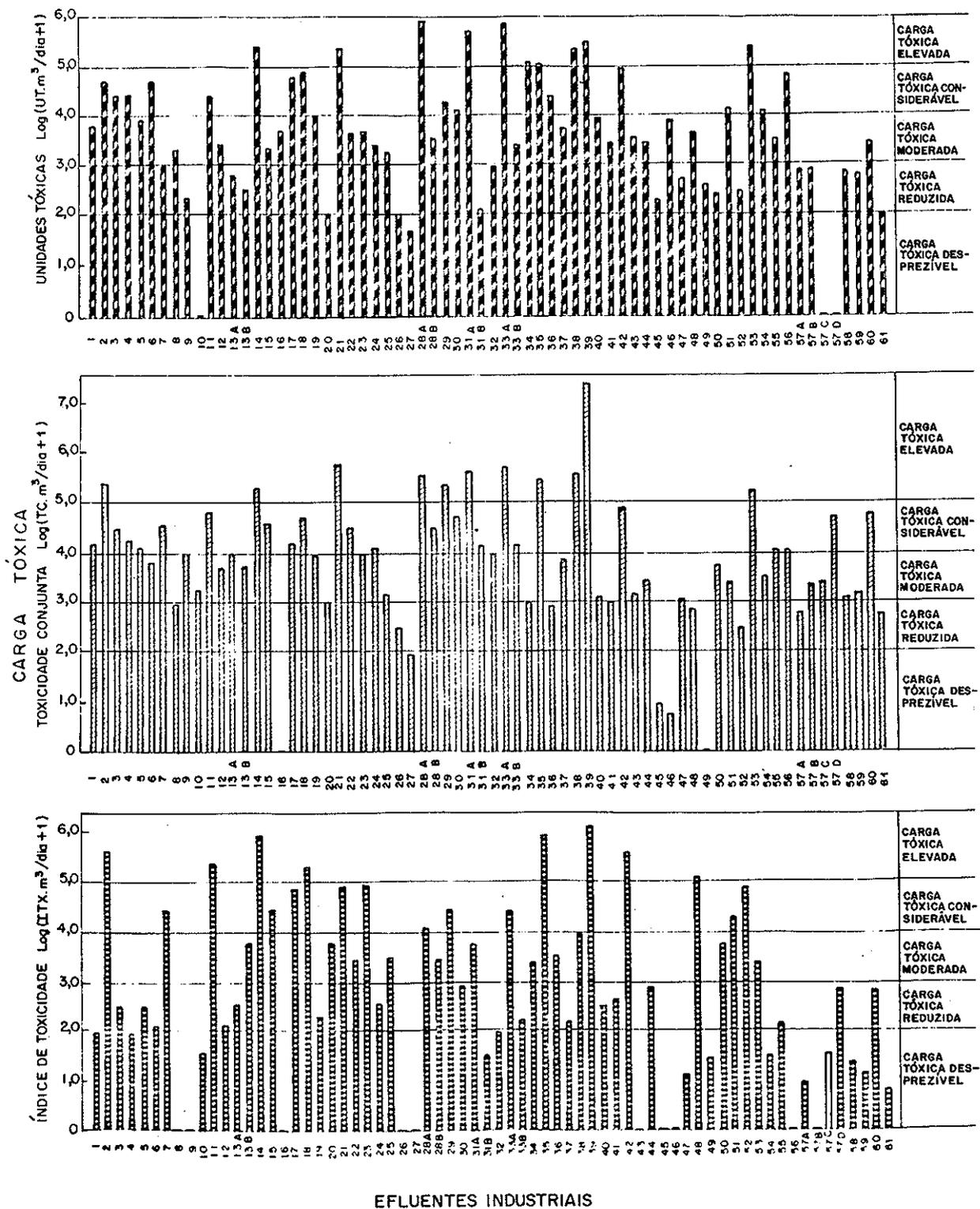


Tabela 3 — *Frequências observadas das cargas tóxicas dos efluentes industriais, utilizadas para a análise de concordância (Kappa) entre o método Unidades Tóxicas e o modelo Índice de Toxicidade, na classificação das cargas.*

ÍNDICE DE TOXICIDADE	UNIDADES TÓXICAS	ELEVADA	CONSIDERÁVEL	MODERADA	REDUZIDA	DESPREZÍVEL	TOTAL
ELEVADA		3*	4	1	0	0	8
CONSIDERÁVEL		3	3*	2	2	0	10
MODERADA		4	1	3*	3	0	11
REDUZIDA		0	4	10	1*	1	16
DESPREZÍVEL		0	3	5	12	3*	23
TOTAL		10	15	21	18	4	68

* = Número de concordâncias

Tabela 4 — *Resultados dos testes de toxicidade aguda com efluentes, utilizando Daphnia similis, e vazão dos efluentes, utilizados no cálculo da carga tóxica pelo método Unidades Tóxicas (UT)^r.*

EFLUENTE INDUSTRIAL (Nº)	CE(I)50; 24h (%)	VAZÃO MÉDIA (m ³ /dia)	EFLUENTE INDUSTRIAL (Nº)	CE(I)50; 24h (%)	VAZÃO MÉDIA (m ³ /dia)
01	0,26	18,0	31	98,0	160,0
02	0,35	192,0	32	98,0	917,6
03	0,54	153,9	33 A	0,04	269,0
04	0,64	183,0	33 B	4,7	132,0
05	1,45	130,0	34	0,14	164,7
06	2,66	1.287,3	35	0,26	270,0
07	3,80	36,0	36	0,30	67,0
08	60,0	924,0	37	0,41	21,0
09	65,0	120,0	38	1,80	4.009,0
10	N.T. ^b	333,6	39	1,90	5.808,0
11	0,48	124,0	40	2,22	213,0
12	3,30	101,8	41	3,12	95,0
13 A	60,0	328,0	42	8,75	8.251,0
13 B	I.T. ^c	360,0	43	9,40	360,0
14	0,25	600,0	44	11,6	360,0
15	8,7	221,0	45	17,2	38,0
16	23,0	1.200,0	46	19,2	1.642,0
17	0,04	24,0	47	24,5	125,0
18	0,29	232,8	48	61,0	2.035,0
19	0,70	70,0	49	69,0	318,0
20	1,20	1,2	50	96,0	304,0
21	1,65	3.542,4	51	6,5	875,5
22	2,30	102,0	52	19,5	60,0
23	3,40	173,6	53	0,02	46,0
24	7,0	200,0	54	1,24	143,9
25	10,7	216,0	55	3,90	132,2
26	52,0	54,0	56	4,60	2.764,9
27	75,0	40,0	57 A	7,10	48,0
28 A	0,15	1.200,0	57 B	99,0	720,0
28 B	21,5	720,0	57 C	N.T.	192,0
29	19,2	3.586,0	57 D	N.T.	480,0
30	36,0	4.200,0	58	15,4	111,2
31 A	0,05	240,0	59	19,0	120,0
			60	96,0	2.174,0
			61	44,5	50,0

a Fonte CETESB (1987)

b N.T. = Não apresentou toxicidade aguda

c I.T. = Índices de toxicidade na maior diluição testada (90%).

de apenas 19%, quando comparadas com os resultados obtidos por UT.

Na *Tabela 4*, constam os resultados dos testes de toxicidade com *Daphnia similis* e os dados de vazão das indústrias selecionadas, que foram utilizados nos cálculos das cargas tóxicas pelo método Unidades Tóxicas (UT).

Na *Tabela 5* são apresentados os dados de toxicidade aguda de diversas substâncias, obtidas em literatura, utilizados na estimativa de carga tóxica pelo método Toxicidade Conjunta (TC).

Discussão

Para avaliar os efeitos adversos causados aos corpos hídricos, decorrentes do lançamento de efluentes líquidos industriais, deve-se considerar não apenas a carga orgânica e as características físico-químicas já bem estudadas e conhecidas, mas também a carga tóxica desses efluentes. Observando esse aspecto, Walsh *et alii* (1980) e Gherardi-Goldstein *et alii* (1985) utilizaram testes de toxicidade com organismos aquáticos para calcular a carga tóxica de efluentes industriais e, com base nesses dados, hierarquizaram aqueles despejos com maior potencial poluidor.

Em termos metodológicos, a forma mais precisa de estimar a carga tóxica de um efluente industrial é através de testes de toxicidade a organismos vivos. Essa afirmação torna-se evidente se considerarmos que "a toxicidade é o potencial inerente ou a capacidade de um material em causar efeitos adversos a organismos vivos" (Rand & Petrocelli, 1985).

Na realidade, quando se opta por avaliar a toxicidade de um efluente como um todo, está se transferindo para o organismo vivo a tarefa de traduzir, através de um efeito, as complexas interações químicas que eventualmente ocorram. Além disso, se um efeito deletério é detectado e mensurado, ele está revelando a presença de substâncias químicas em concentrações tóxicas, substâncias essas que apresentam potencial em causar impactos de diferentes proporções no ambiente aquático.

Apesar desses aspectos serem inquestionáveis, poder-se-ia supor que alguns métodos alternativos fossem úteis para o cálculo da carga tóxica, principalmente quando se pretende aproveitar os resultados das análises químicas, utilizadas na caracterização de efluentes líquidos industriais. Neste sentido, dois métodos estão disponíveis, os quais têm sido empregados para estimar a toxicidade de misturas de agentes tóxicos (Sprague, 1970; Derísio & Fraga, 1983).

Assim, no presente estudo, procurou-se estimar as cargas tóxicas de diversos efluentes industriais, utilizando os dois procedimentos citados e, com base nos resultados obtidos, compará-las àquelas calculadas a partir de um método de referência (Unidades Tóxicas), que se baseia na toxicidade a organismos aquáticos. Devido à importância do estabelecimento de prioridades em ações de controle, optou-se pela comparação dos resultados, principalmente em termos da hierarquização das cargas tóxicas estimadas pelos diferentes métodos.

Recentemente, TEBO (1986) ao discutir o uso de testes de toxicidade para avaliar as cargas tóxicas de efluentes industriais e seus impactos em corpos hídricos, considerou também que o uso do método descrito por

Tabela 5 — Toxicidade aguda de diversas substâncias para organismos aquáticos, expressa em CE50, utilizadas nos cálculos das cargas tóxicas pelo modelo T.C.

SUBSTÂNCIAS	CE50 (mg/L)	TEMPO DE EXPOSIÇÃO (HORAS)	DUREZA DA ÁGUA (mg/CACO ₃ /L)	ESPÉCIE UTILIZADA	FONTE
Alumínio	3,9	48	45	<i>Daphnia magna</i>	Biesinger & Christensen (1972)
Bário	410,0	48	72	<i>Daphnia magna</i>	LeBlanc (1980)
Boro	133,0	48	148	<i>Daphnia magna</i>	Gersich (1984)
Cádmio	0,065	48	45	<i>Daphnia magna</i>	Biesinger & Christensen (1972)
Chumbo	0,45	48	45	<i>Daphnia magna</i>	Biesinger & Christensen (1972)
Cianeto	0,98	24	40-48	<i>Daphnia similis</i>	CETESB (1983)
Cloreto	1.470,0	48	100	<i>Daphnia pulex</i>	Birge <i>et alii</i> (1985)
Cobalto	1,11	48	45	<i>Daphnia magna</i>	Biesinger & Christensen (1972)
Cobre	0,009	24	40-48	<i>Daphnia similis</i>	CETESB (1983)
Cromo VI	0,037	24	40-48	<i>Daphnia similis</i>	CETESB (1981)
Estanho	55,0	48	45	<i>Daphnia magna</i>	Biesinger & Christensen (1972)
Fenol	62,0	24	40-48	<i>Daphnia similis</i>	CETESB (1980)
Ferro	9,6	48	45	<i>Daphnia magna</i>	Biesinger & Christensen (1972)
Fluoreto	128,0 a	96	49	<i>Salmo gairdneri</i>	Pimentel & Bulkley (1983)
Manganês	9,8	48	45	<i>Daphnia magna</i>	Biesinger & Christensen (1972)
Mercúrio	0,01	24	40-48	<i>Daphnia similis</i>	CETESB (1980)
Níquel	2,6	24	40-48	<i>Daphnia similis</i>	CETESB (1983)
N. Amoniacal	85,1	24	40-48	<i>Daphnia similis</i>	CETESB (1980)
Prata	0,0009	48	38-40	<i>Daphnia magna</i>	Nebeker <i>et alii</i> (1983)
Selênio	0,43	48	72	<i>Daphnia magna</i>	Le Blanc (1980)
Sulfeto	0,02 a	96	220	<i>Pimephales promelas</i>	USEPA (1976)
Surfactantes	3,0 b	48	20-268	Várias	Reiff <i>et alii</i> (1979)
Zinco	0,5	24	40-48	<i>Daphnia similis</i>	CETESB (1983)

a CL50

b CL50 média para vários surfactantes

Sprague (1970), denominado no presente estudo como Toxicidade Conjunta (TC), poderia ser útil para aqueles fins.

De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que, em 44% dos casos, a classificação das cargas tóxicas estimadas pelo método TC concordou significativamente ($P < 0,05$) com as calculadas pelo método Unidades Tóxicas (UT). Esse fato é de certa forma esperado, pois estudos sobre a ação tóxica de misturas de substâncias puras a organismos aquáticos, indicam que esta ação geralmente é de natureza aditiva (EIFAC, 1980), sendo que o mesmo pode ocorrer entre substâncias contidas em efluentes (Alabaster, 1981). Cabe ressaltar que, em 38% dos casos, as cargas foram superestimadas pelo modelo TC, fato que pode ter contribuído, naturalmente, para a maior concordância dos resultados obtidos por esse método com os níveis mais elevados de carga tóxica calculados pelo método UT.

A tendência em superestimar as cargas tóxicas pelo modelo TC, pode ser notada através de alguns efluentes que apresentaram carga tóxica desprezível pelo método UT (nº 10, 57C e 57D) mas, pelo método avaliado, evidenciaram carga tóxica moderada e considerável (Fig. 1). Deve-se ainda destacar alguns resultados inesperados, tais como os dos efluentes nºs 16 e 46, que apresentaram carga tóxica moderada pelo método UT, enquanto tais cargas foram classificadas como desprezíveis pelo método TC.

Outro aspecto analisado refere-se à adequação do método TC em classificar a carga tóxica de efluentes pertencentes a uma mesma atividade industrial. Como resultado, a maior porcentagem de concordância na classificação das cargas foi de 57% para os efluentes de indústrias de material de transporte. Desse modo, observa-se que os valores de carga tóxica estimados pelo método TC, para os efluentes agrupados, ainda apresentam reduzida porcentagem de concordância com os valores obtidos pelo método Unidades Tóxicas (UT). Portanto, a utilização do método TC demonstra ser restrita, mesmo para estimar a carga tóxica de efluentes que, em princípio, possuem a mesma constituição química.

Chung et alii (1979), trabalhando com efluentes de indústria de papel e celulose, verificaram que com a utilização do método TC a previsão da toxicidade oscilou ao redor de 30% em relação aos valores obtidos nos testes de toxicidade com trutas, em 76% das amostras analisadas. Comparando-se com resultados obtidos neste trabalho, esse nível de variação ocorreu em apenas 15% das amostras (Tab. 1), provavelmente devido a maior diversidade de efluentes analisados.

Quanto ao outro método analisado neste trabalho, o Índice de Toxicidade, sua utilização foi proposta por Derisio & Fraga (1983), os quais observaram que efluentes industriais com baixo potencial poluidor, em termos da DB0, continham substâncias tóxicas que poderiam agir como fonte inibidora do processo de depuração da matéria orgânica. Estes autores sugeriram, então, com base nos resultados das análises químicas dos efluentes, o uso do Índice de Toxicidade (ITX) para a hierarquização destes despejos tóxicos.

Com relação às cargas tóxicas estimadas pelo método ITX, verificou-se que a porcentagem de concordância entre esses dados com os obtidos analiticamente (UT) foi reduzida, apenas 19%.

Quanto aos resultados discordantes, pode-se notar que as diferenças entre os valores obtidos pelo método ITX e o método UT foram acentuadas, destacando-se os efluen-

tes nºs 31 e 56 (Fig. 1). Através da comparação dos dados obtidos (Tab. 3), nota-se a tendência do método ITX em subestimar a carga tóxica (em 62% dos casos). Na verdade, este método pretende estimar a toxicidade não com base no efeito a organismos vivos, mas na presença do agente tóxico e a relação entre seu teor e um padrão de emissão estabelecido em legislação.

Diante dos resultados obtidos, verificou-se as limitações dos métodos que se baseiam em análises químicas, em prever a toxicidade e a conseqüente carga tóxica de efluentes industriais.

Além das baixas porcentagens de concordância entre o método de referência (UT) e os analisados, deve-se considerar, principalmente, a super e/ou a subestimativa das cargas tóxicas através dos métodos TC e ITX.

Assim, como conseqüência de uma classificação errônea das cargas tóxicas, efluentes de potencial tóxico semelhante podem ser controlados de maneira distinta. Um exemplo dessa situação foi verificado com os efluentes nºs 15 e 16, onde, na prática, através dos métodos TC e ITX, o efluente nº 15 poderia ser distinguido como prioritário em detrimento de outros com maior carga tóxica, enquanto o efluente nº 16 seria relegado a um segundo plano e, provavelmente, não sofreria ações de controle (Fig. 1).

Quanto à previsão do impacto de efluentes em corpos hídricos receptores, a estimativa da carga tóxica através dos modelos estudados, pode fornecer, também, dados pouco confiáveis, especialmente quando se espera a disposição segura de efluentes tóxicos. Assim, a utilização de testes de toxicidade constitui-se ainda no melhor recurso para o cálculo das cargas tóxicas. Para exemplificar, TEBO (1986) adaptou a fórmula usada pela USEPA (1985), para evitar efeitos tóxicos nos recursos hídricos, utilizando a carga tóxica calculada por UT, como segue:

$$AF(Q_{ef} + Q_r) > CT$$

onde:

- AF = fator de aplicação para evitar efeitos agudos (0,3) ou crônicos (0,1)
- Q_{ef} = vazão do efluente
- Q_r = vazão do corpo receptor
- $CT = \text{carga tóxica} = \frac{100}{CL50} \cdot Q_f$

Deve-se destacar que esta previsão de impacto, que se baseia em testes de toxicidade, tem demonstrado bons resultados, de acordo com os recentes estudos desenvolvidos (Mount et alii, 1984).

Ainda, com referência aos métodos TC e ITX, deve-se considerar que a estimativa da carga tóxica poderia ser mais exata se outras substâncias tóxicas, certamente contidas nos efluentes, fossem detectadas e mensuradas. Porém, em geral, isto não é possível, pois ou a presença dessas substâncias não é esperada nos processos industriais ou os métodos analíticos não são acessíveis, por várias razões, a uma caracterização química mais completa do efluente. No entanto, mesmo que estes aspectos fossem superados, ainda assim a estimativa da carga tóxica poderia não ser satisfatória, pois os modelos estudados consideram somente a ocorrência de ações aditivas das substâncias, não contemplando as ações sinérgicas ou antagonísticas que podem também ocorrer em efluentes industriais.

Portanto, conforme demonstrado neste estudo, os mé-

todos TC e ITX disponíveis para o cálculo da carga tóxica não permitem substituir, com segurança, o método fundamentado nos testes de toxicidade. Assim, os testes de toxicidade devem ser utilizados sempre que possível pois, deste modo, dispor-se-á de uma metodologia fidedigna tanto para a hierarquização como também para a avaliação de impacto de efluentes líquidos complexos.

Agradecimentos

O autor agradece à Biol. Elenita Gherardi Goldstein pela revisão e sugestões fornecidas e ao estatístico Antonio de Castro Bruni pelo auxílio na interpretação estatística dos dados.

Gostaria de agradecer, também, a Cláudia P. Ramos pelo apoio administrativo prestado e a Marisa Cury pela ilustração gráfica.

Referências Bibliográficas

- ALABASTER, J.S. Joint action of mixtures of toxicants on aquatic organisms. *Chemistry and Industry*, 1:529-534, 1981.
- BIESINGER, K.E. & CHRISTENSEN, G.M. Effects of various metals on survival, growth, reproduction, and metabolism of *Daphnia magna*. *Journal Fish. Res. Board Can.* 29(12): 1691-1700. 1972.
- BIRGE, W.J.; BLACK, J.A.; WESTERMAN, A.G.; SHORT, T.M.; TAYLOR, S.B.; BRUSER, D.M. and WALLINGFORD, E.D. *Recommendations on numerical values for regulating iron and chloride concentrations for the purpose of protecting warmwater species of aquatic life in the Commonwealth of Kentucky*. 1985. 73p.
- BRAILE, P.M. & CAVALCANTI, J.E.W.A. *Manual de tratamento de águas residuárias industriais*. CETESB (Ed.). São Paulo, 1979. 764p.
- CAMPOS, J.F.F. & ONISHI, E.Y. *Utilização do método "ABC" para o planejamento e controle objetivo da poluição das águas*. São Paulo. CETESB, 14p. 1975 (Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. 8. Rio de Janeiro, 1975).
- CETESB-São Paulo. *Programa Bioensaios. Relatórios de Atividades/1980*. São Paulo. 1980. 55p.
- CETESB-São Paulo. *Programa Bioensaios, Relatório de Atividades/1981*. São Paulo. 1981. 33p.
- CETESB-São Paulo. *Relatório Complementar de Atividades/1982*. São Paulo. 1982. 11p.
- CETESB-São Paulo. Água — Teste de toxicidade aguda com *Daphnia similis* Claus, 1876 (Cladocera, Crustacea). Norma Técnica nº L5.018. 1986. 27p.
- CETESB-São Paulo. *Avaliação da toxicidade de despejos industriais na região da Grande São Paulo*. São Paulo. 1987. 92p.
- CHUNG, L.T.K.; MEIER, H.P. and LEACH, J.M. Can pulp mill effluent toxicity be estimated from chemical analyses? *Tappi*. 62 (12):71-74. 1979.
- DERÍSIO, J.C. & FRAGA, J.M. *Utilização do Índice de Toxicidade (ITX) e do método ABC como ferramentas nos programas de controle de poluição das águas*. CETESB. São Paulo, 1983. 5p. Trabalho apresentado no 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Camboriú, 1983).
- EIFAC. *Report on combined effects on freshwater fish and other aquatic life of mixtures of toxicants in water*. EIFAC Technical Paper nº 37, FAO. Rome, 1980. 49p.
- FLEISS, J.L. *Statistical Methods for Rates and Proportions*. Wiley-Intern. Publ. New York. 1973. p.140-155.
- GERSICH, F.M. Evaluation of a static renewal chronic toxicity test method for *Daphnia magna* Straus using boric acid. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 3:89-94. 1984.
- GHERARDI-GOLDSTEIN, E.; ZAGATTO, P.A. BERTOLETTI, E.; ARAÚJO, R.P.A.; MARTINS, M.H.R.B.; LOMBARDI, C.C. *Estimativa de carga poluidora de efluentes industriais da região de Cubatão, através de ensaios biológicos com microcrustáceos e peixes*. CETESB. São Paulo. 1985. 10p. (Trabalho apresentado no 13º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Maceió. 1985).
- LE BLANC, G.A. Acute toxicity of priority pollutants to water flea. (*Daphnia magna*). *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* 4:684-691. 1980.
- MOUNT, D.I.; THOMAS, N.A.; NORBERG, T.J.; BARBOUR, M.T.; ROUSH, T.H.; BRANDES, W.F. *Effluent and ambient toxicity testing and instream community response on the Ottawa River, Lima, Ohio*. EPA-600/3-84-080. August. 1984.
- NEBEKER, A.V.; McAULIFFE, C.K.; MSHAR, R.; STEVENS, D.G. Toxicity of silver to steelhead and rainbow trout, fathead minnows and *Daphnia magna*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2: 95-104, 1983.
- PIMENTEL, R. & BULKLEY, R.V. Influence of water hardness of fluoride toxicity to rainbow trout. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2: 381-386. 1983.
- RAND, G.M. & PETROCELLI, S.R. *Fundamentals of Aquatic Toxicology*. G.M. RAND & S.R. PETROCELLI, (Eds.) Hemisphere Publ. Co. Washington. 1985. 666p.
- REIFF, B.; LLOYD R.; HOW, M.J.; BROWNS, D.; ALABASTER, J.S. The acute toxicity of eleven detergents of fish: Results of and interlaboratory exercise. *Water Research*. 13: 207-210. 1979.
- SPRAGUE, J.B. Measurement of pollutant toxicity to fish. II Utilizing and Applying Bioassays Results. *Water Research*. 4: 3-32. 1970.
- TEBO, L.B. Effluent monitoring: Historical perspective. In: H.L. Bergman, R.A. Kimerle and A.W. Maki (Eds.). *Environmental Hazard Assessment of Effluents*. Pergamon Press. N.Y. 1986. p.13-31.
- USEPA — U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Effect of Hydrogen Sulfide on Fish and Invertebrates. Part. Invertebrates. Part. I. Acute and Chronic Toxicity Studies*. Ecological Research Series. EPA-600/3-76-062A. 1976. 285P.
- USEPA — U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Technical Support Document for Water Quality-Based Toxics Control*. Washington, D.C. 1985. 74p.
- WALSH, G.E.; BAHNER, L.H. and HORNING, W.B. Toxicity of textile mill effluents to freshwater and estuarine algae, crustaceans and fishes. *Environ. Pollution (Series A)*. 21: 169-179. 1980.