

REDUÇÃO DE ORGANISMOS COLIFORMES, NAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA E JUNDIAÍ^(*)

HIDEO KAWAI *
FERNANDO FUKUDA ***
WILMA C. BRANCO ****
ARISTIDES A. ROCHA *****

O presente trabalho consistiu na realização de um levantamento para avaliação dos valores do coeficiente k, de destruição de bactérias em cursos d'água de diferentes características hidráulicas nas bacias do Piracicaba e Jundiáí. A equação empregada foi a de Chick:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-kt}$$

onde:

- No = número médio (inicial) de bactérias no rio
- N = número de organismos restantes (após tempo t)
- K = coeficiente de eliminação para uma população específica de bactérias no meio criado na água receptora
- e = base dos logaritmos neperianos
- t = tempo

Os números de bactérias foram obtidos através do método dos tubos múltiplos de fermentação para o conhecimento do NMP coli/100 ml.

Os tempos de percurso foram avaliados em função das distâncias e velocidade da água, ten-

do esta sido determinada pelo emprêgo de substâncias traçadoras — fluoresceína sódica.

Os resultados obtidos para os valores de k, variaram de 0,11 a 1,11, sendo que os maiores valores foram encontrados nos trechos de maior velocidade e turbulência, como por exemplo no rio Camanducaia.

Alguns dados aparentemente incoerentes como o dos trechos do Monte Alegre e Balsa no rio Piracicaba, são explicados pela grande turbulência da água existente no trecho de Monte Alegre.

Uma vez que o valor do coeficiente k depende das características hidráulicas do curso d'água, os valores de k determinados no presente estudo são aplicáveis somente a rios com condições hidráulicas equivalentes às dos trechos considerados.

Tendo em vista:

1. A grande importância da avaliação da redução natural dos coliformes nos cursos d'água, como elemento fundamental para a avaliação do grau de tratamento que devem sofrer os despejos contaminantes, e
2. A grande variabilidade dos coeficientes da redução bacteriana verificada em diferentes regimes hidráulicos, os autores recomendam a realização de levantamentos dessa natureza em diferentes tipos de corpos receptores, tais como, lagos, rios de várias características hidráulicas e outras coleções de água.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Importância do grupo coliforme

A avaliação da qualidade de um corpo hídrico qualquer, pode ser efetuada através de aná-

* Trabalho elaborado através do convenio com o Departamento de Aguas e Energia Elétrica — DAEE.

** Biologista Chefe de Seção de Pesquisas Hidrobiológicas da Divisão de Estudos e Pesquisas do CETESB.

*** Químico da Divisão de Estudos e Pesquisas do CETESB.

**** Biologista da Divisão de Estudos e Pesquisas do CETESB.

***** Biologista da Divisão de Estudos e Pesquisas do CETESB e Professor da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

lises físicas, químicas e biológicas. Dependendo da finalidade que se tem em vista, certos parâmetros revestem-se de maior importância do que outros. Assim, se a água se destinar, ao abastecimento municipal ou à recreação, será fundamental a verificação de sua qualidade do ponto de vista bacteriológico.

Uma vez que, a grande maioria das doenças de veiculação hídrica é devida a seres patogênicos entéricos, a detecção na água, de qualquer organismo de origem intestinal, permite a afirmação quase que segura da existência da contaminação proveniente de excretas humanas. Sendo impraticável o isolamento dos organismos causadores de doenças como rotina de análises de água, desenvolveu-se o critério baseado no grupo de bactérias coliformes por serem estas, na sua grande maioria, habitantes do intestino humano, e de outros homeotermos, se bem que, algumas, pertencentes ao grupo, possam se reproduzir também em vida livre. Assim, estabeleceu-se que, o índice bacteriológico da poluição se refere ao número de organismos do grupo coliforme ou da espécie *Escherichia coli* que se encontra por unidade de volume de água. Estas bactérias, ainda que não sejam parasitas (a não ser ocasionalmente), podem fornecer evidência da presença de matéria fecal na água, levando-se em conta que nas fezes humanas, são eliminados «per capita» de 10^{11} a 10^{13} organismos coliformes por dia (1).

Além disso, outras características do grupo coli favorecem, na prática, a sua utilização como índice bacteriológico da poluição: sendo pouco resistentes no meio externo, quando presentes em grande número, fornecem evidência de poluição recente, além de serem detectáveis, com bastante facilidade, através de análises simples de laboratório, pois, têm a propriedade de fermentar a lactose, produzindo gás a 35°C em 48 horas. Sendo as fezes humanas, como já foi dito, a principal fonte de bactérias patogênicas, a simples detecção da presença de coliformes na água constitui sinal evidente de perigo.

A expressão quantitativa referente ao número de coliforme é estatística, devendo ser considerada apenas como o número mais provável de organismos por volume de água. Os índices bacteriológicos entretanto, não devem ser considerados isoladamente, mas sempre interpretados à luz de levantamentos sanitários dos corpos d'água.

1.2. Redução natural de coliformes em águas poluídas

Em um curso d'água, ao ser introduzido um despejo contendo vários tipos de bactérias, ocorre uma purificação natural ao longo do percurso,

sendo eliminadas gradativa e naturalmente, em primeiro lugar as menos resistentes (fase primária) e, numa segunda fase, as mais resistentes das bactérias de origem fecal (fase secundária).

As variações longitudinais das concentrações de coliformes permitem estabelecer:

1.2.1. O estagio da autodepuração.

1.2.2. As possibilidades relativas de contaminação por ingestão da água.

1.2.3. O grau de tratamento a que a água deverá ser submetida para atingir os índices de segurança estabelecidos para a finalidade a que se destina.

A taxa de redução de organismos coliformes por autodepuração pode ser expressa pela seguinte equação (2):

$$\frac{(N_0 - y)}{N_0} = \frac{N}{N_0} = (1 + nkt)^{-1/n}$$

onde:

N_0 = Número médio (inicial) de bactérias no rio.

y = Número removido durante um tempo t a jusante do ponto de densidade N_0 .

N = Número de organismo restantes (após o tempo t).

k = Coeficiente de eliminação para uma população específica de bactérias no meio criado na água receptora.

n = Coeficiente de retardamento ou não uniformidade.

Nessa equação, n representa a variação irregular da taxa de destruição bacteriana e ambas dependem do grau de poluição, da temperatura da água e das características hidráulicas reinantes durante o trajeto no corpo receptor.

Todavia, quando existe uniformidade de condições de destruição, o coeficiente n tendo a zero, chegando-se $\frac{N}{N_0} = e^{-kt}$

fórmula estudada por Chick, para a avaliação da destruição de bactérias por ação de desinfetantes (3).

$$\frac{N}{N_0} = (1 + nkt)^{-1/n}$$

Para n tendendo a zero, e utilizando-se da fórmula $\lim (1 + 1/x)^x = e$,

$x = x$

Obtemos:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-kt}$$

TABELA I

Dados Hidráulicos

	Local	Extensão do trecho (m)	Velocidade da água (m/s)	Tempo de percurso (hs.)	Profundidade média (m)
Rio Atibaia	Trecho Valinhos	460	0,57	0,225	1,75
	Trecho - Paulínia	1 250	0,15	2,330	2,75
	Trecho - Atibaia	2 200	0,41	1,48	1,74
Rio Piracicaba	Trecho M.Alegre	2 700	0,32	2,32	2,88
	Trecho Balsa	4 200	0,21	5,52	2,55
Rio Jaguari	Trecho B.Paulista	2 500	0,37	1,88	1,52
Rio Camanducaia	Trecho Amparo	2 500	0,63	1,11	0,413
Rio Jundiá	Trecho Salto	3 200	0,26	3,35	1,36

Costuma-se expressar a taxa de redução em termos de tempo necessário para ocorrer redução de 90% do número total inicial de coliformes.

O tempo, t_{90} pode ser determinado pela equação:

$$t_{90} = 1/k$$

2. MÉTODOS

Para o estudo da redução da taxa de coliformes por autodepuração foram selecionados alguns trechos dos principais rios das bacias do Piracicaba e Jundiá. Os trechos de pequena extensão (cerca de 3 km), estavam situados, em todos os casos, a mais de 3 km a jusante das principais fontes poluidoras dos rios, e, apresentavam características hidráulicas tanto quanto possível, uniforme, ao longo dos percursos.

Os trabalhos de coleta de dados desenvol-

veram-se durante o período de julho a outubro de 1969, e constaram principalmente de:

2.1. Dados hidráulicos

Nos vários trechos, foram determinados: extensão — utilizando-se plantas das bacias do Piracicaba e Jundiá em escalas 1:500 e 1:25.000; velocidade — desde um ponto A, inicial de cada trecho até B, final, por meio de uma substância traçadora: fluoresceína sódica. De posse destes valores (distância e velocidade) foram calculados os tempos de percurso entre A e B.

Para a determinação da taxa de redução dada a pequena extensão dos trechos escolhidos, aplicou-se a lei de Chick, uma vez que n tende a zero. (4,5).

Para o coeficiente de temperatura foi empregada a lei do $Q_{10} = 2$.

2.2. Análises de laboratório.

Foram feitas 36 determinações colimétricas para cada ponto.

O método empregado foi o dos tubos múltiplos de fermentação para a avaliação do NMP (número mais provável).

Os dados colimétricos médios de cada ponto foram utilizados para os cálculos de:

- taxa de redução de bactérias (k);
- tempo necessário para ocorrer redução de 90% do número inicial (t_{90});

c) tempo necessário para ocorrer redução até 5×10^3 , limite máximo permissível para eventual utilização da água em abastecimento público.

3. RESULTADOS OBTIDOS

A seguir, estão representados, na tabela I, os dados hidráulicos referentes aos trechos estudados e na tabela II os valores determinados para:

No — número médio, inicial, de bactérias para cada trecho (ponto A);

TABELA II

Valores obtidos e tempo necessário para redução de NMP/coli

Rio	Local	Temperatura da água (°C)	NMP Coli 100 ml Ponto A* (No x 10 ³)	NMP Coli 100 ml Ponto B** (N x 10 ³)	k P/ 20° C por hora	Tempo necessário p/ redução (A 20°) em hs.	
						de 90 % (t ₉₀)	Para 5 x 10 ³ (t ₅₀₀₀)
Rio Atibaia	Trecho Valinhos	19,8	725,8	581,5	0,42	2,3	5,1
	Trecho Paulínia	17,6	970,0	445,8	0,18	5,6	12,7
	Trecho Atibaia	15,8	218,2	60,9	0,53	1,9	3,1
Rio Piracicaba	Trecho M. Alegre	20,0	92,5	36,3	0,17	6,5	7,5
	Trecho Balsa	19,3	159,1	50,6	0,11	9,5	14,3
Rio Jaguari	Trecho B. Paulista	19,7	157,0	98,0	0,12	8,30	12,5
Rio Camanducaia	Trecho Amparo	18,1	1 123,0	104,5	1,11	0,9	2,1
Rio Jundiá	Trecho Salto	18,8	101,1	24,1	0,21	4,8	6,2

* A = Ponto inicial do trecho

** B = Ponto final do trecho

N — número médio, de bactérias após o tempo t (ponto B);

k — coeficiente de redução bacteriana;

t₉₀ — tempo necessário para ocorrer redução de 90% do número inicial
t₉₀ = 1/k;

t₅₀₀₀ — tempo necessário para ocorrer redução de 5000/100 ml

$$\left(t_{5000} = \frac{\log N_0 - \log 5000}{k \log e} \right)$$

$$k \log e = K.$$

Foi incluído um mapa mostrando os principais rios das bacias do Piracicaba e Jundiá, para permitir a localização dos pontos de amostragem (Gráfico 1).

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Sabe-se que, dentre os fatores que afetam a taxa de redução de bactérias fecais por autodepuração do curso d'água, além da falta de alimentos, destacam-se:

4.1. Oportunidade de contacto das bactérias entre si e com o ar atmosférico.

Verifica-se ser de um modo geral mais alta a taxa de redução de organismos coliformes nos rios rasos, de águas turbulentas, de modo a permitir maior agitação, responsável por várias reações físicas. Ao contrário, rios profundos de águas tranquilas, com maior fator de diluição, apresentam taxa menor.

4.2. Natureza e densidade dos organismos coliformes.

Parece ser de grande importância para a velocidade de purificação, a natureza e densidade de organismos coliformes. Os trechos de rios que recebem esgoto fresco e concentrado, rico em bactérias apresentam altos valores de k. Isso porque, o ambiente de grande poluição é imediatamente seguido por outro de menor poluição. Como consequência, na fase secundária, onde restam apenas os organismos mais resistentes à purificação natural, a redução torna-se lenta, sendo baixos os valores de k.

4.3. Temperatura

A temperatura da água é também fator de grande importância na redução do número de bactérias por autodepuração.

Baixas temperaturas determinam uma diminuição no valor do coeficiente k e aumento de n, ou seja diminuição da taxa de redução e aumento do valor do coeficiente de desuniformidade.

4.4. Outros fatores tais como: presença de protozoários predadores, intensidade de radiação solar, pH, substâncias tóxicas, etc.

Nas bacias em estudo, foram encontrados valores do coeficiente k, em ambientes onde há coincidência de dois ou mais dos fatores apontados acima. Assim, no trecho de Amparo, no rio Camanducaia e nos trechos de Atibaia e Valinhos, no rio Atibaia, os valores de k encontrados foram particularmente elevados. Esses trechos apresentam pequena profundidade e alta velocidade, além de receberem despêjo «in natura» com alta concentração de bactérias. Nos cinco outros trechos estudados, os valores de k encontrados revelaram-se inferiores, uma vez que eram menores as densidades de organismos coliformes, aproximadamente com aspectos de fase secundária e as características hidráulicas, desfavoráveis à eliminação desses organismos.

No trecho de Monte Alegre, no rio Piracicaba, encontrou-se um valor de k maior do que à sua montante, no trecho da Balsa. Esses valores parecem incoerentes, uma vez que, os principais contribuintes em bactérias são os ribeirões Quilombo e Tatu, situados a montante de Balsa. Entretanto, esse fato pode ser justificado, se for levada em conta a grande turbulência da água, provocada pelas inúmeras corredeiras existentes no trecho de Monte Alegre. A mesma observação é válida para o trecho de Salto, no rio Jundiá.

A aplicação dos valores de k obtidos em pequenos trechos e sua projeção para grandes extensões dos rios dessas bacias deve, portanto, levar em consideração o limite de aplicabilidade dos mesmos, uma vez que os valores de k sofrem modificações com o desenvolvimento da ação purificadora. Este é um fato da maior importância especialmente em rios cujos percursos são longos após o recebimento dos despejos, como ocorre com os rios Camanducaia, Jaguari e Atibaia, a jusante da cidade de Atibaia.

Considerando-se, entretanto, que foram obtidos valores de k representativos das mais variadas condições de autodepuração, a aplicação desses coeficientes a rios de características equivalentes não necessitará de correção.

1. FAIR, G. M.; GEYER, J. C. & OKUN, D. A. — **Aquatic Biology in Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal** (2) 1968, 32:1-36. New York.
2. ———— **Ecology and Management of Receiving Waters in Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal** (2)33:47. New York.
3. CHICK, H. — The process of disinfection by Chemical agencies and hot water. *Jorn, Hyg., Camb.* 10 (1910):237.
4. CAMP, T. R. — 1968 — **Water and Its Impurities** — 4.^a ed.: 1-355: Boston.
5. PHELPS, E. B. — 1960 — **Stream Sanitation**, 4.^a ed.: 1-276, London.