

# Dimensionamento de Filtros de Alta Capacidade

Eng.º LUIS CAETANO PORTO MIGLINO (\*)

## 1. INTRODUÇÃO

### "O filtro biológico é redescoberto."

Motivados pelo aumento, em todo o mundo, do interesse pelos filtros biológicos e pelo relativo pouco uso que os mesmos vêm tendo em nosso País, propomo-nos, nesta oportunidade, a examinar um caso prático de dimensionamento destas unidades de tratamento de esgotos.

Vale ressaltar que, depois de ter sido relegado a um quase esquecimento, os filtros biológicos voltam a despertar um crescente interesse nos últimos anos, principalmente nos países europeus e nos EUA.

Realmente, esta excelente unidade de depuração biológica possui inúmeras vantagens, dentre as quais podemos enumerar: boa resistência às sobrecargas de vazão e concentração do efluente, simplicidade de operação, economia de áreas, economia de energia, alta eficiência de remoção da DBO.

Experiências recentes realizadas no País e no exterior comprovam a possibilidade de se usar como suporte da biomassa materiais mais leve como pedaços de tubos de PVC, bambu, cacos cerâmicos, módulos plásticos, etc.

Isto significa sensível economia na construção da estrutura do filtro, uma vez que, com simples gabiões ou mesmo chapas onduladas, pode-se construir o confinamento da biomassa.

Por todas estas razões, tem-se observado de 1970 para cá, no País e no exterior um crescente interesse pela utilização dos filtros.

De acordo com os dados fornecidos pelo Eng.º Max Lothar Hess, para que se tenha uma idéia deste fato, citaremos alguns exemplos de utilizações recentes: nos EUA, a estação de tratamento da Pabst Breweries, na Geórgia, que foi premiada pela Environmental Protection Agency dada a sua excelência, a ETE da cidade alemã de Warstein, no vale do Ruhr, inaugurada no ano passado, e a ETE do frigorífico "Bom Beef" em Valinhos — SP.

Essas grandes instalações têm demonstrado que, ao contrário do senso geral, de que os filtros biológicos

estão ultrapassados, eles estão mais vivos e atuantes que nunca, havendo mesmo muitos casos em que se tornam quase insubstituíveis.

## 2. FÓRMULAS E PARÂMETROS UTILIZADOS

Para efeito deste trabalho, consideraremos somente as fórmulas mais em uso, que são: a do NRC (National Research Council — USA), a de RANKIN (que figura nas conhecidas normas dos "Dez Estados") e a modificação da fórmula de RANKIN, realizada por HOELER, na Suíça.

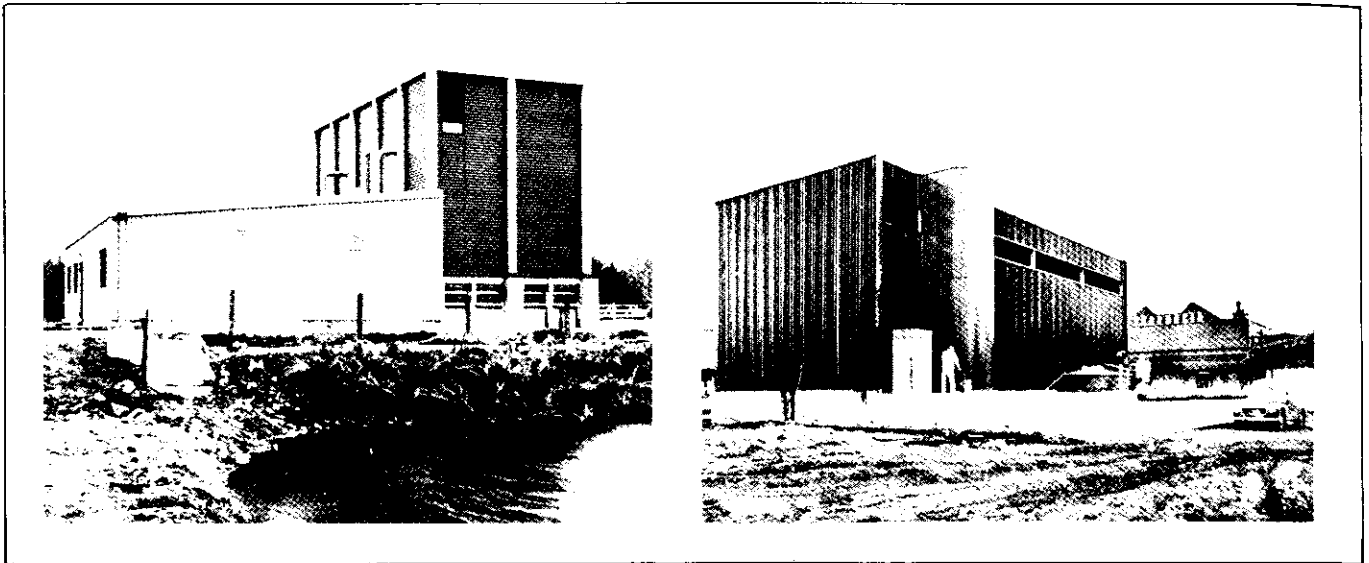
1. Na fórmula do NRC, temos os seguintes parâmetros:

$$(I) \quad E = \frac{100}{1 + a \sqrt{\frac{L}{A \cdot H \cdot F}}}$$

onde:

- E = eficiência do filtro em %
- a = fator que depende da DBO do esgoto
- L = carga de DBO (em Kg.DBO/dia)
- A = área do filtro biológico (m<sup>2</sup>)
- F = fator de recirculação (expri-

(\*) Engenheiro Civil e Sanitarista, Dip. S.E. — DELFT e Engenheiro de Projetos — SPT — Diretoria de Planejamento da SABESP.



Fotos (a) e (b): filtros biológicos construídos recentemente na Suécia.

me o efeito decrescente da recirculação)

H = profundidade da camada filtrante (m)

H.F = profundidade hipotética do filtro (vemos que a recirculação como que "aprofunda" a camada biológica).

O fator F é dado por:

(II)

$$F = \frac{1 + R}{(1 + 0.1 R)^2}$$

onde: R = relação de recirculação

$$R = \frac{Q_r}{Q_m}$$

onde:

Q<sub>r</sub> = vazão de recirculação

Q<sub>m</sub> = vazão média

alguns valores calculados de R e F são:

R	F
0	1,00
1	1,65
2	2,08
3	2,36

Tabela A

a fórmula do NRC também pode ser apresentada como:

(III)

$$E = \frac{100}{1 + a \sqrt{\frac{L_v}{F}}}$$

onde: L<sub>v</sub> = carga de DBO por m<sup>2</sup> de filtro.

$$L_v = \frac{L}{\text{Vol. filtro}}$$

No caso de ser desprezado o efeito biológico da recirculação, a fórmula do NRC passa a ser a seguinte:

(IV)

$$E_r = \left[ \frac{100}{1 + a \sqrt{L_v}} \right]$$

onde:

E<sub>r</sub> = eficiência do filtro, sem recirculação.

valores práticos de L<sub>v</sub>: de 0,4 a 1,5 kg DBO/m<sup>2</sup> dia

L<sub>v</sub> está relacionado com a eficiência desejada conforme a tabela (B) demonstrada:

L <sub>v</sub>	0,4	0,7	1,0	1,5
E (%)	80	75	72	67

Tabela B

valores práticos de a: de 0,37 a 0,44 sendo que o valor 0,37 se aplica para esgotos mais concentrados, com DBO entre 200 e 250 mg/l e o valor 0,44 aplica-se para esgotos mais diluídos com DBO entre 100 e 150 mg/l.

2. Na fórmula de RANKIN temos os parâmetros abaixo:

(V)

$$E = \frac{R + 1}{R + 1,5} \cdot 100 \text{ e}$$

e (VI)

$$R = \frac{1,5 \cdot E - 100}{100 - E}$$

3. Na Suíça, HOERLER generalizou a fórmula de RANKIN vista anteriormente, introduzindo o parâmetro E<sub>0</sub> que, como já vimos, é a eficiência do filtro excluído qualquer efeito biológico da recirculação. Assim, a fórmula de RANKIN assumiu a seguinte forma:

(VII)

$$E = \left[ \frac{R + 1}{R + \frac{100}{E_0}} \right] \times 100$$

(VIII)

$$R = \left[ \frac{\left| \frac{100 \cdot E}{E_0} \right| - 100}{100 - E} \right]$$

### 3. O DIMENSIONAMENTO

Uma vez apresentadas as fórmulas e os parâmetros que serão utilizados, passaremos a examinar um caso de aplicação prática.

Supondo-se uma cidade com uma população de projeto de aproximadamente 15 mil habitantes, dotada de um sistema de coleta tipo separador absoluto e totalmente servida por rede coletora, assumiremos por hipótese que os dados abaixo são verdadeiros e não sujeitos a discussão.

Vazão média: Q<sub>m</sub> = 45,00 l/s (inclusive infiltração)

I = contribuição per capita de DBO = 54 g DBO/hab/dia

L = carga DBO diária = 810 kg DBO/dia

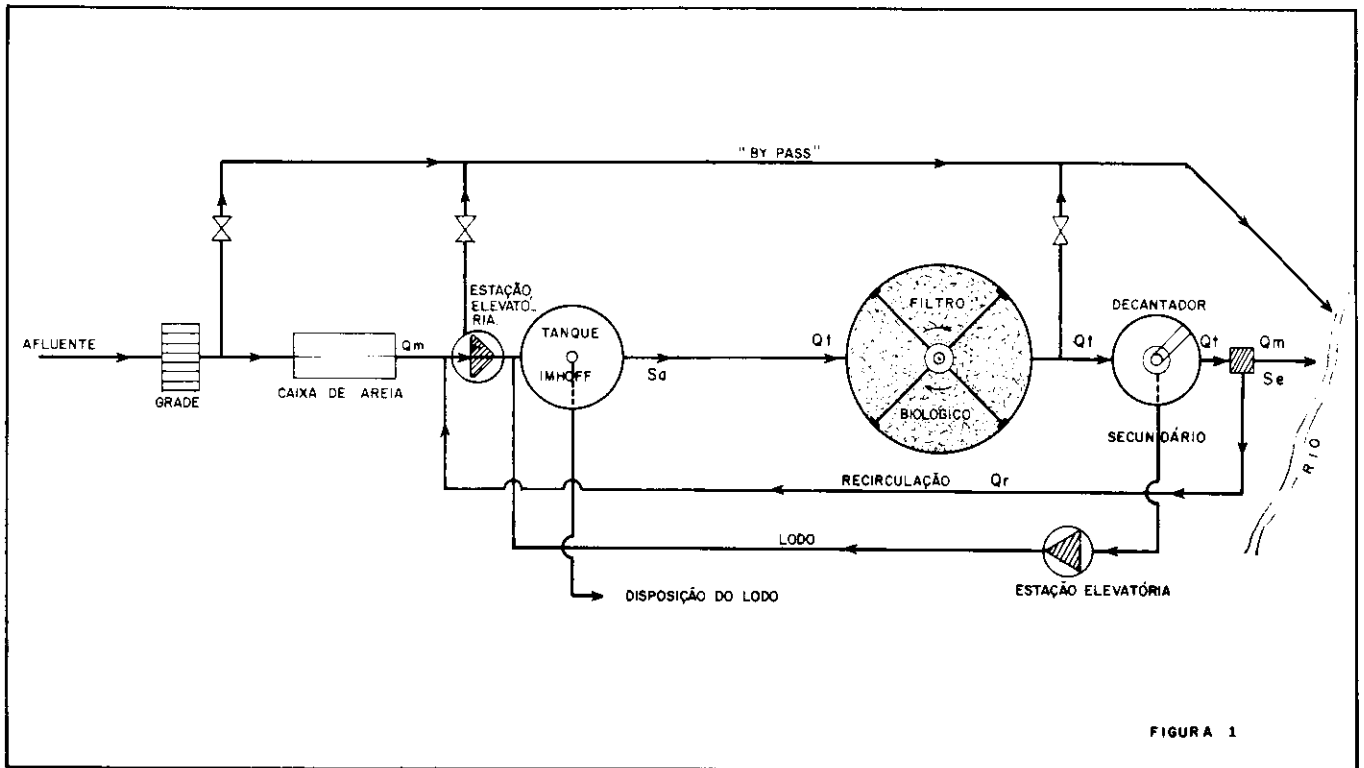
O esquema que propomos para uma ETE "filtros biológicos" para esta cidade, é apresentado na Figura n.º 1.

Considerando que o tratamento primário proporciona uma redução de 30% da carga de DBO, teremos uma carga efetiva no filtro de DBO<sub>5</sub> de: L<sub>e</sub> = 810 × 0,7 = 567 Kg DBO/dia a concentração média do efluente ao estágio biológico será então de:

$$S_a = \frac{567.000.000}{3.888.000} = 145,83 \text{ mg DBO}_5/\text{l}$$

Assumiremos que a DBO<sub>5</sub> máxima do efluente permitida pela legislação anti-poliuição seja S<sub>e</sub> = 24 mg DBO<sub>5</sub>/l

Isto posto, podemos concluir que a



eficiência exigida na remoção de DBO será:

$$E_r = \frac{S_a - S_e}{S_a} = \frac{145,83 - 24}{145,83} = 0,83$$

$E_r = 83\%$ .

utilizando as diversas fórmulas mencionadas, apresentaremos as soluções possíveis:

### Solução 1

Aplicando a fórmula do NRC e supondo-se que não haja recirculação (ou que haja apenas uma pequena recirculação com o objetivo único de manter uma descarga mínima sobre o leito filtrante); deste modo, a eficiência será dada por  $E_o$ , logo:

$$E_o = \frac{100}{1 + a \sqrt{Lv}}$$

como  $S_a = 145,83$  mg DBO/l, adotaremos o valor de  $a = 0,44$  (vide pág. 3).

como  $E_r$  requerido é  $> 80\%$  adotaremos:  $Lv = 0,40$  kg DBO/m<sup>2</sup> dia (vide tabela B) então:

$$E_o = \frac{100}{1 + 0,44 \sqrt{0,4}} = 78\%$$

Vemos, portanto, que com a hipótese de se adotar como nulo o efeito da recirculação, a eficiência do filtro está abaixo da mínima exigida pelas autoridades.

Assim sendo, procuraremos levar em conta o efeito da recirculação, e com isto determinar o valor da vazão mínima de recirculação para garantir

a eficiência requerida pelas autoridades.

### Solução 2

Aplicando as fórmulas de RANKIN-HOERLER, temos:

(sendo  $E_r = 83\%$   
 $E_o = 78\%$ )

$$R = \left[ \frac{\frac{100 \cdot E}{E_o} - 100}{100 - E} \right] \text{ logo,}$$

$$R = \left[ \frac{\frac{100 \times 83}{78} - 100}{100 - 83} \right] =$$

$$= \frac{6,41}{17} = 0,38$$

ou  $R \cong 40\%$

portanto, a vazão de recirculação será:

$$Q_r = 0,40 \times 45,00 = 18,00 \text{ l/s}$$

$$Q_t = 45,00 + 18,00 = 63,00 \text{ l/s}$$

### Solução 3

Agora, mantendo a mesma hipótese, qual seja, a de considerar o efeito biológico da recirculação, utilizaremos a fórmula III do NRC, visando uma comparação de resultados.

Assim:

$$E = \frac{100}{1 + a \sqrt{\frac{Lv}{F}}}$$

$$F = \frac{1 + R}{(1 + 0,1 R)^2}$$

da solução 2, chegamos ao valor de:  $R = 0,40$  logo,

$$F = \frac{1 + 0,4}{(1 + 0,1 \times 0,4)^2} = \frac{1,4}{1,0816} = 1,294$$

$F \cong 1,3$  então:

$$E = \frac{100}{1 + 0,44 \sqrt{\frac{0,40}{1,30}}} = \frac{100}{1,244} = 80\%$$

Se quisermos, entretanto, um rendimento mínimo de 83%, conforme as exigências preestabelecidas, podemos efetuar o processo inverso e tentar achar qual a relação de recirculação  $R$  que, pela fórmula NRC, dará a eficiência de 83% exigida.

Utilizando-se a fórmula III novamente temos:

$$83 = \frac{100}{1 + 0,44 \sqrt{\frac{0,40}{F}}} \text{ daí,}$$

$$83 + 36,52 \sqrt{\frac{0,40}{F}} = 100$$

$$36,52 = \sqrt{\frac{0,40}{F}} = 17$$

$$1.333,71 \times \frac{0,40}{F} = 289$$

$$F = \frac{1.333,71 \times 0,40}{289} = 1,8$$

Pela tabela A vemos que o valor de  $R$  está entre 1,0 e 2,0. Adotaremos o valor de 1,5. Para o prosseguimento deste trabalho, adotaremos os valores obtidos neste último cálculo.

então temos, vazão de recirculação:  
 $Q_r = 1,5 Q_m$

$$Q_r = 1,5 \times 45 = 67,50 \text{ l/s}$$

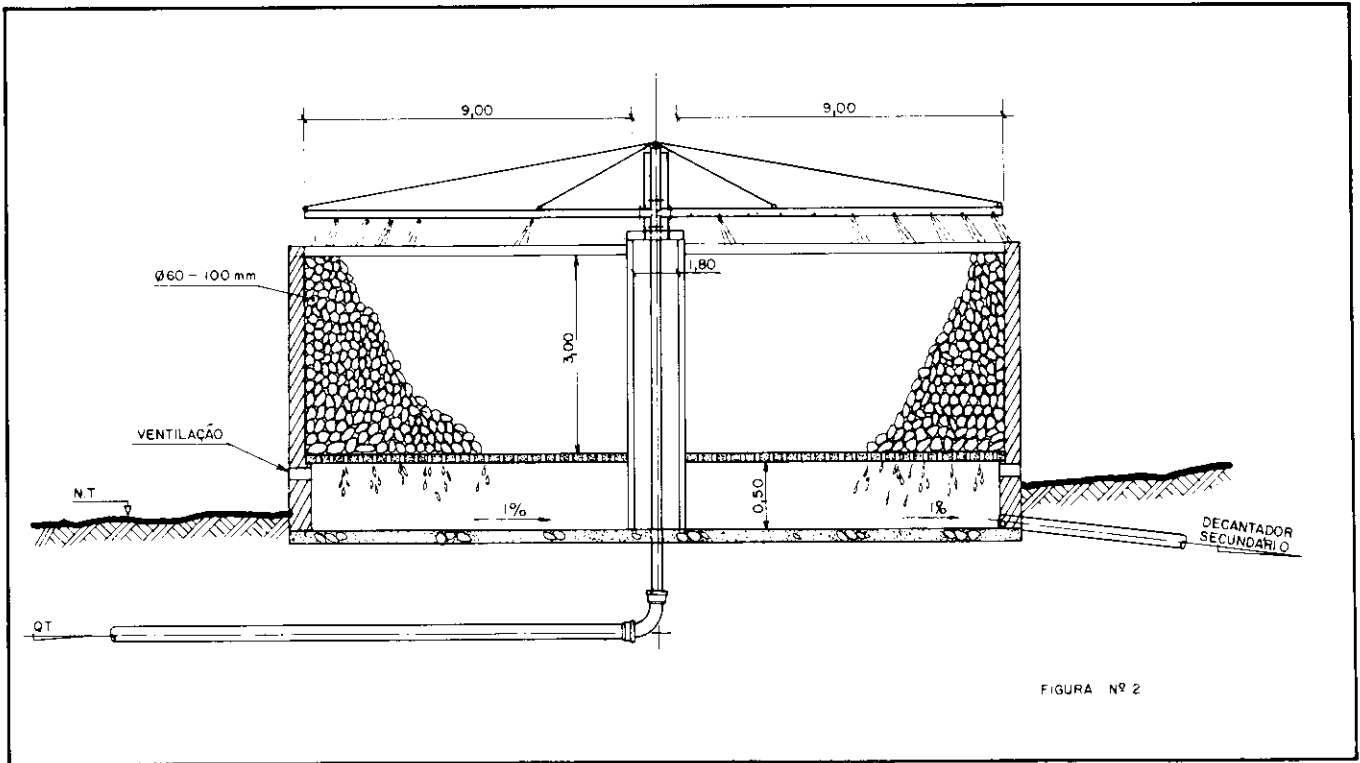


FIGURA Nº 2

$Q_t = 45 + 67,50 = 112,5 \text{ l/s}$   
 neste caso, necessitamos de três conjuntos elevatórios de 40 l/s de capacidade cada um, mais um idêntico de reserva.

Continuando o dimensionamento, teremos:

$L = 567 \text{ kg DBO/dia}$

$L_v = 0,40 \text{ kg DBO/m}^3$

portanto, o volume do leito filtrante será:

$$V_{FB} = \frac{567}{0,40} = 1.417 \text{ m}^3$$

Adotando-se uma carga hidráulica de:

$L_H = 0,85 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hora}$  ou

$L_H = 20,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$

A área do filtro poderá ser calculada pela seguinte expressão:

$$A_{FB} = \frac{Q_t}{L_H} = \frac{112,5 \times 3,6}{0,85} =$$

$$A_{FB} = \frac{405}{0,85} = 476 \text{ m}^2$$

A profundidade então será:

$$H = \frac{V_{FB}}{A_{FB}} = \frac{1.417}{476} = 2,97 \text{ m}$$

Diâmetro do filtro:

$$D = \sqrt{\frac{H \cdot A_{FB}}{4 \cdot 3,14}} = \sqrt{\frac{3,00 \cdot 476}{4 \cdot 3,14}} = 24,87 \text{ m}$$

A melhor solução, entretanto, é a construção de 2 filtros com diâmetros idênticos. Assim:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{A_{FB}}{2}}{3,14}} = \sqrt{\frac{4 \times 238}{3,14}} = 17,50 \text{ m} \approx 18,00 \text{ m}$$

O corte esquemático de cada filtro é indicado na Figura n.º 2.

Área total de cada filtro:

$D = 9,00 + 9,00 + 1,80 = 19,80 \text{ m}$

$$\text{Área} = \frac{3,14 D^2}{4} = \frac{3,14 \times (19,8)^2}{4} \approx 308 \text{ m}^2$$

Área útil per capita =

$$A_T = 2 \times 308 = 616 \text{ m}^2$$

$$\frac{616}{15.000} = 0,041 \text{ m}^2/\text{hab.}$$

**4. CONCLUSÕES**

Verificamos que os valores obtidos para a eficiência do filtro nas soluções 2 e 3 diferem de aproximadamente 3%.

Isto sugere que a fórmula do NRC é mais exigente e segura que a de RANKIN HOERLER, embora a diferença de 3% não seja significativa a ponto de influir decisivamente na opção escolhida.

Uma explicação plausível para este fato é que a fórmula do NRC foi elaborada à base de experiências realizadas com esgoto diluído (efeito da recirculação) e leva em conta o fato

de que os sólidos que são recirculados são mais estáveis e portanto mais resistentes à biodegradação que os que estão passando pela primeira vez no leito biológico.

Vale ressaltar que nos EUA o preço da energia é inferior ao preço da energia na Europa. Por esta razão, nos EUA, a recirculação é usada com mais liberalidade, e portanto a fórmula mais utilizada é a do NRC. Na Europa, ao contrário, a recirculação é utilizada com mais moderação ou simplesmente eliminada, e a fórmula mais empregada é a de RANKIN-HOERLER. De acordo com a referência (2), outrossim, a fórmula do NRC é a mais indicada para países de clima tropical como o Brasil. Finalizando, lembramos que, embora a recirculação traga vários benefícios, acarreta contudo um aumento do volume dos decantadores secundários. Ao projetista cabe comparar os efeitos e decidir em cada caso qual a melhor solução.

**5. REFERÊNCIAS**

1. Prof. Dr. Ing. B. HANISCH — Professor of Sanitary Engineering, University of Stuttgart — Germany — (Notas de Aula) I.C.S.E. — Delft — Holanda.
2. D.A. OKUN, G. PONGHIS — Community Wastewater — Collection and Disposal — World Health Organization — Geneva — 1975.
3. Azevedo Netto, J.M., Hess M.L. — Tratamento de Águas Residuárias — Separada da Revista "DAE" — São Paulo — 1970.