

# Avaliação da eficiência das caixas retentoras de gordura prescritas pela NBR 8160:1999 como tanques de flotação natural

*Efficiency evaluation of grease traps prescribed by the Brazilian standard NBR 8160:1999 as natural flotation basins*

Sérgio Frederico Gnipper

## Resumo

**E**ste trabalho avalia a eficiência de funcionamento, segundo princípios da flotação natural, das caixas retentoras de gordura dimensionadas pelos critérios empíricos prescritos pela NBR 8160:1999. São apresentadas algumas características dos despejos gordurosos que ocorrem em sistemas prediais de esgoto sanitário, seguidas de uma revisão dos princípios de dimensionamento de tanques horizontais ideais de flotação natural. A seguir discute-se a adequação desses princípios a caixas de gordura reais, e é apresentado o critério de avaliação de eficiência de remoção proposto por Fair *et al.*, aplicando-o às caixas de gordura prescritas pela norma citada. A inexistência de câmara de entrada adequada provoca turbulência indesejável no escoamento interno, que retarda a flotação e reduz muito a eficiência. As caixas de gordura pequenas, simples e duplas, na maioria das vezes, acabam operando como simples caixas sifonadas. Conclui-se que os critérios normativos empíricos de dimensionamento em vigor resultam em caixas retentoras de gordura com desempenho acentuadamente baixo, operando com períodos de detenção muito aquém dos requeridos para a remoção eficiente de partículas de gordura com tamanhos desejados. Propõe-se que tais critérios sejam oportunamente revistos, fixando-se requisitos de desempenho adequado, de modo a possibilitar o seu dimensionamento como tanques de flotação natural.

**Palavras-chave:** Caixa de gordura. Flotação natural. Sistemas prediais de esgoto sanitário.

## Abstract

*This paper evaluates Brazilian standard NBR 8160:1999 sized grease traps efficiency under natural flotation principles. Some characteristics of sanitary drainage systems effluent containing grease are presented, followed by ideal natural flotation horizontal basins sizing principles. Then, the application of those principles to grease traps is discussed, and the original efficiency removal evaluation criterion proposed by Fair et al. is presented and applied to the standard grease traps. The absence of a proper entrance chamber causes undesirable internal flow turbulence, delaying flotation action and reducing its efficiency. Standard small, single, and double grease traps in fact operate as mere siphon traps. It was concluded that empirical standard sizing criteria in force lead to remarkably low efficiency grease traps, which operate below the detention periods required for efficient adequate removal of grease particles. Standard sizing criteria should be revised, and adequate performance requirements should be established to allow grease traps to work as natural flotation basins.*

**Keywords:** Grease traps. Natural flotation. Sanitary drainage systems.

Sérgio Frederico Gnipper  
Gnipper e Engenheiros  
Associados S C Ltda  
Rua Doutor Goulin, 615  
Juvevê  
Curitiba - PR - Brasil  
CEP 80040-280  
Telefone: (41) 32548713  
Fax: (41) 32548713  
Email: gnipper@uol.com.br

Recebido em 07/01/08  
Aceito em 21/07/08

## Introdução

A norma NBR 8160 (ABNT, 1999) prescreve um critério de dimensionamento de caixas retentoras de gordura para sistemas prediais de esgoto sanitário (SPES) com base no número de cozinhas contribuintes para instalações até 12 cozinhas e, para instalações acima desse limite, na quantidade de pessoas servidas pelas cozinhas no turno de maior afluxo.

Esse critério foi introduzido na versão de 1983 da NBR 8160 (até então NB-19) com base no antigo Decreto n.º 2.886, de 10 de junho de 1969, do antigo Estado da Guanabara (SANO, 1982), tendo permanecido na edição atualmente em vigor dessa norma técnica (ABNT, 1999).

A Tabela 1 traz sintetizadas tais prescrições normativas, onde  $D$  = diâmetro interno,  $h$  = extensão vertical da parte submersa do septo,  $V$  = volume da câmara de retenção (capacidade de retenção),  $n$  = número de cozinhas contribuintes e  $N$  = número de pessoas servidas pelas cozinhas contribuintes no turno de maior afluxo.

Como tal procedimento é puramente empírico, cabe uma verificação da eficiência dessas caixas retentoras de gordura sob a ótica do princípio da flotação natural.

## Características dos despejos gordurosos presentes em SPES

É natural a presença de material graxo ou gorduroso na composição do esgoto doméstico, em concentrações que vão de zero até 150 mg/l, representando cerca de 10% do total dos principais grupos de substâncias orgânicas aí presentes (METCALF; EDDY, 1981). Entretanto, os despejos de pias de cozinha, de pias de churrasqueiras e de máquinas de lavar louça costumam conter apreciáveis concentrações de óleos, gorduras e material graxo.

Os despejos gordurosos nas instalações sanitárias prediais provêm principalmente do preparo e manipulação de alimentos e do descarte de seus

resíduos. São o terceiro constituinte do esgoto doméstico em termos quantitativos.

Hammer (1979) explica serem consideradas genericamente sob o termo “graxa” as variedades de substâncias bioquímicas que apresentam a propriedade comum de se dissolverem em solventes orgânicos como o hexano, sendo apenas levemente solúveis em água.

Quimicamente, gorduras e óleos de origem vegetal e animal são ésteres de ácidos graxos e ésteres de álcoois ou gliceróis. Os ésteres de ácidos graxos que se apresentam líquidos à temperatura ambiente são chamados óleos (azeites), e os que se mostram sólidos são ditos gorduras. A matéria graxa é relativamente estável, capaz de sobreexistir por longo tempo dentro dos SPES, e aqui será por vezes referida simplesmente como gordura.

Ao depositar-se no interior das tubulações, ela pode provocar restrições ao fluxo líquido, redução da velocidade do escoamento, elevação da altura da lâmina líquida, deposição de sólidos em transporte por via hídrica e conseqüentes entupimentos.

Daí a importância de uma eficiente segregação de gorduras, óleos e graxas em SPES por meio de dispositivo adequado, situado em local o mais possível próximo do seu lançamento, que permita a sua separação do meio líquido e retenção durante certo intervalo de tempo, até ocorrer a remoção, geralmente manual em instalações de pequeno porte.

## Separação de óleos, graxas e gordura por flotação natural

As caixas retentoras de gordura usualmente empregadas em SPES são dispositivos que permitem a separação de parte das gorduras, óleos e graxas presentes no meio líquido, por meio de flotação natural, uma vez que apresentam densidades inferiores à da água, conforme a Tabela 2.

Número de cozinhas contribuintes	Tipo de caixa de gordura	Formato	Dimensões mínimas		
			$D$ (m)	$h$ (m)	$V$ (L)
$n = 1$	pequena	cilíndrico	0,30	0,20	18
$1 \leq n \leq 2$	simples		0,40	0,20	31
$2 \leq n \leq 12$	dupla		0,60	0,35	120
$n > 12$	especial	prismático	–	0,40	$2N + 20$

Tabela 1 - Dimensionamento de caixas de gordura conforme a NBR 8160:1999

Óleos e gorduras	Densidade relativa $\gamma_o$
Azeites	0,912 a 0,918
Óleo de algodão	0,880 a 0,930
Óleo de soja	0,930 a 0,980
Óleo de linhaça	0,930 a 0,940
Óleos de cereais	0,924 a 0,930
Óleo de palma	0,924
Óleo de coco	0,925
Banha de porco	0,960
Sebo animal	0,918

Fonte: Adaptada de Lencastre, 1972

Tabela 2 - Densidades típicas de alguns óleos e gorduras (15,6 °C)

Conforme esclarecem Fair *et al.* (1979), a flotação natural constitui um processo de elevação natural, por ação gravitacional, de partículas discretas em suspensão em meio líquido, e caracteriza-se pela similaridade, com inversão de sentido, ao processo da decantação natural ou da sedimentação gravitacional, com respostas análogas das partículas em suspensão.

Segundo Imhoff (1986), podem funcionar como caixas retentoras de óleos e gorduras todos os recipientes que provoquem internamente redução da velocidade da água e apresentem uma superfície tranqüila, onde os corpos menos densos, que sobem à superfície, formam um manto ou camada sobrenadante chamada espuma. A nata superficial assim formada separa-se do meio líquido de forma análoga à remoção de lodo em tanques de sedimentação.

Conforme mostra a Figura 1, de forma esquemática, um tanque ideal de flotação natural é um dispositivo constituído de uma região de entrada, uma câmara de flotação ou retenção, acima da qual se encontra uma região destinada ao armazenamento temporário da gordura removida, e uma região de saída.

A região de entrada do líquido afluyente contendo material gorduroso emulsionado e a região de saída do líquido efluyente clarificado são de tal ordem que, por hipótese, admitem uma perfeita acomodação interna dos respectivos escoamentos nas extremidades do tanque.

Isso permite estabelecerem-se condições desejáveis para flotação natural, em particular um fluxo ao longo da câmara de retenção sob regime permanente uniforme essencialmente laminar. A gordura segregada acumula-se na região superior da câmara de retenção, formando a camada sobrenadante.

Uma partícula de gordura, ao adentrar a câmara de retenção, terá um percurso resultante da sobreposição de dois fluxos: um horizontal, determinado pelo escoamento líquido, que tende a arrastá-la para a região de saída; e outro vertical, determinado pela tendência ascensional devida à sua menor densidade em relação à do líquido, que tende a encaminhá-la para a camada sobrenadante. A componente vertical da velocidade de uma partícula gordurosa em processo de flotação é chamada velocidade ascendente.

Por serem menos densas do que a água, as partículas gordurosas de maior tamanho sobem com maior velocidade do que as partículas menores. Estas são mais freqüentemente constituídas por gotículas de óleo, fracionadas com certa facilidade pela ação da turbulência durante o escoamento a montante.

Quando uma gotícula de óleo ou gordura, imersa no líquido em escoamento, adentra a caixa de gordura, ocorre uma acentuada redução no valor da componente horizontal de sua velocidade devido ao repentino aumento da área de seção transversal.

Nessas condições, a gotícula de material gorduroso, enquanto é lentamente arrastada pelo escoamento horizontal, é também impelida para cima por uma força ascensional  $F_a$ , cujo módulo é dado pela Equação 1:

$$F_a = (\rho - \rho_o) g V \quad (1)$$

onde:

$\rho$  = massa específica da água;

$\rho_o$  = massa específica da partícula gordurosa;

$V$  = volume dessa partícula (suposta esférica); e

$g$  = aceleração local da gravidade.

A consideração do formato esférico para as partículas de gordura está vinculada ao fato de

partículas com formato irregular flutarem mais lentamente que esferas de mesmo volume.

O movimento ascensional da partícula é contrabalançado pela atuação de uma força de atrito  $F_{at}$ , imposta pela água ao escoamento vertical dentro da câmara de retenção, dada pela Equação 2, conhecida como Lei de Newton (CAMP, 1946)

$$F_{at} = C_d \rho a \frac{v_v^2}{2} \quad (2)$$

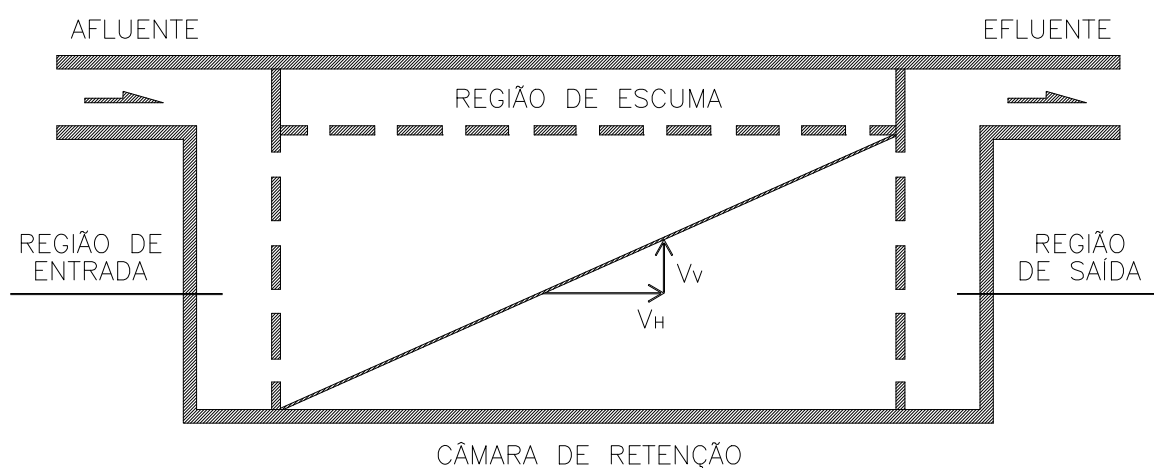
onde:

$v_v$  = velocidade ascendente (velocidade vertical relativa entre a partícula de gordura e a água);

$a$  = área da projeção vertical da partícula;

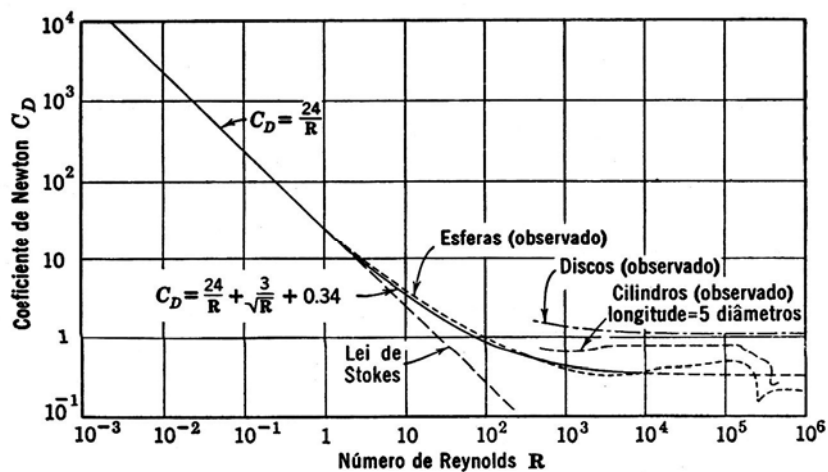
$\rho$  = massa específica da água; e

$C_d$  = coeficiente de arrasto (adimensional determinado experimentalmente, função do número de Reynolds  $R$ , segundo a Figura 2).



Fonte: ASPE, 1986

Figura 1 - Seção longitudinal esquemática de tanque de flotação natural (ASPE, 1986)



Fonte: Fair, et al., 1979

Figura 2 - Relação entre coeficiente de arrasto e nº de Reynolds

Da Figura 2 resulta a expressão analítica empírica para o valor de  $C_d$ , dada pela Equação 3:

$$C_d = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0,34 \quad (3)$$

Steel e McGhee (1981) esclarecem que essa expressão é experimentalmente válida quando  $R \leq 10^3$ , ou seja, sob regime laminar, desejável para as condições de flotação em caixas de gordura usualmente empregadas em SPES. Acima desse limite, o coeficiente de arrasto assume o valor constante aproximado  $C_d = 0,4$ , aplicável ao regime turbulento (LEME, 1979).

Dessa forma, à medida que a gotícula sob flotação ascende sob certa aceleração inicial, devida à força ascensional  $F_a$ , esta passa a ser contrabalançada por uma força de atrito  $F_{at}$ , proporcional ao quadrado da velocidade ascensional  $v_v$ , até que ambas as forças se igualem em módulo, e a resultante conseqüentemente se anule.

A partir daí cessa a aceleração da gotícula gordurosa esférica sob flotação, e esta passa a subir com velocidade vertical constante  $v_v$ , cuja expressão, derivada da Lei de Newton, resulta da imposição de igualdade entre as equações 1 e 2, onde  $d$  = diâmetro teórico da partícula, conforme a Equação 4:

$$v_v = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g}{C_d} \frac{\rho - \rho_o}{\rho} d} \quad (4)$$

experimentalmente válida para  $10^3 \leq R < 2,5 \times 10^5$ , em regime turbulento (LEME, 1979).

Entretanto, quando o escoamento vertical da partícula gordurosa dá-se muito lentamente, caso das partículas de menores diâmetros, ou seja, sempre que  $R < 1$ , conforme ASPE (1986), ou  $R < 0,5$ , segundo Steel e McGhee (1981), ou ainda  $R < 0,3$ , consoante Metcalf e Eddy (1981), as duas parcelas finais da Equação 3 acima podem ser desprezadas, e esta se reduz à Equação 5:

$$C_d = \frac{24}{R} \quad (5)$$

A substituição da Equação 5 na Equação 4 resulta na conhecida Lei de Stokes, em que  $\mu$  = viscosidade dinâmica da água, dada pela Equação 6:

$$v_v = \frac{g}{18\mu} (\rho - \rho_o) d^2 \quad (6)$$

também usualmente apresentada na forma da Equação 7:

$$v_v = \frac{g}{18} \frac{1 - \gamma_o}{\nu} d^2 \quad (7)$$

onde:

$\gamma_o$  = densidade relativa da partícula de gordura (razão entre a sua massa específica e a massa específica da água à mesma temperatura); e

$\nu$  = viscosidade cinemática da água.

A Lei de Stokes é experimentalmente válida para a flotação de partículas sob regime laminar, com  $R < 0,5$ . Segundo Leme (1979), a Lei de Stokes oferece uma boa aproximação até  $R = 1$ . Para valores intermediários, com  $1 \leq R < 10^3$ , no regime de transição entre o laminar e o turbulento, é válida a expressão conhecida como Lei de Allen, dada pela Equação 8:

$$v_v = g^{2/3} (1 - \gamma_o)^{2/3} \frac{d - 0,4d'}{4 \cdot \nu^{1/3}} \quad (8)$$

com  $d'$  = diâmetro da menor partícula até 0,0085 m.

## Dimensionamento de um tanque ideal de flotação natural

O dimensionamento de uma caixa de gordura baseia-se no conceito de tanque ideal de flotação natural (Figura 1), assentado nos seguintes pressupostos simplificadores:

- a velocidade é uniforme em todos os pontos da câmara de retenção durante o intervalo de tempo teórico de permanência do líquido dentro do tanque (o período de detenção); e
- a concentração de partículas gordurosas suspensas de cada tamanho é uniforme em todos os pontos da seção vertical da região de entrada do tanque.

Nessas condições, um tanque ideal de flotação natural deve ser dimensionado para reter as partículas de menor tamanho, que ascendem mais lentamente, uma vez que o efeito do formato irregular das partículas gordurosas sob flotação não é acentuado sob baixos valores de velocidade ascendente.

Para tanto, como pressuposto de projeto, deve ser prefixado o menor diâmetro das gotículas gordurosas que se deseja reter completamente num tanque ideal de flotação natural.

Essa menor partícula, uma vez dentro da câmara de retenção, deve apresentar uma velocidade de tal ordem que possa ascender até a região de saída, ao final do percurso do líquido que a impele horizontalmente. Quando isso se verificar, todas as demais partículas de gordura com tamanhos maiores do que ela já terão atingido a camada de espuma, por terem maiores velocidades ascendentes.

A Figura 1 ilustra justamente a situação mais desfavorável, em que a partícula flotante penetra a câmara de retenção, num ponto situado na base da região de entrada.

Em consequência, ela tem a maior distância vertical a percorrer até atingir a camada de espuma, no limite da região de saída, sendo a última a atingi-la em relação às partículas de tamanhos maiores ou as de igual diâmetro que adentraram a câmara de retenção em cotas mais elevadas. Por essa razão, essa partícula é, por vezes, referida como partícula de projeto de um tanque de flotação natural.

### Tamanho das partículas flotantes a remover

Numa caixa de gordura de um SPES, as gotículas de menores diâmetros podem resultar do fracionamento de partículas de gordura inicialmente descartadas com temperaturas mais elevadas, que rapidamente se resfriam em contato com a água; porém, mais freqüentemente resultam do despejo de óleos e azeites.

Nesses casos, a situação mais desfavorável refere-se ao descarte de óleos de massa específica mais elevada, com valores mais próximos ao da água. Em instalações domésticas, entretanto, é comum a adoção de diâmetros para as partículas a serem completamente removidas em caixas de gordura entre 200 micra (PESSÔA; JORDÃO, 1982) e 250 micra (ASPE, 1986).

### Período de detenção de um tanque de flotação

O período de detenção é o tempo teórico de permanência do líquido dentro do tanque de flotação natural, definido pela Equação 9:

$$P = \frac{V}{Q} \quad (9)$$

Nessa expressão,  $Q$  = vazão de contribuição de esgoto e  $V$  = volume da câmara de retenção do tanque (capacidade volumétrica da zona de flotação ou capacidade de retenção do tanque). O período de detenção é um parâmetro geralmente prefixado para o dimensionamento de tanques de flotação natural, cujo valor é adotado com base na experiência (ASPE, 1986), ou seja, é um dado empírico.

Para caixas retentoras de gordura de uso doméstico, o tempo de detenção está geralmente compreendido entre 1 e 3 minutos. Pessoa e Jordão (1982) citam um período de detenção limite de 3 minutos, enquanto a ASPE (1986) adota 5 minutos para caixas de gordura domésticas com maior capacidade de retenção.

### Componentes vertical e horizontal da partícula flotante

Na Figura 1 a componente vertical da velocidade  $v_V$  da partícula de gordura mais desfavorável a remover é dada pela Lei de Stokes (Equação 6 ou 7), pela Lei de Allen (Equação 8) ou então pela Lei de Newton (Equação 3 associada à Equação 4). Já a componente horizontal da sua velocidade  $v_H$  é numericamente igual à velocidade do líquido em escoamento dentro do tanque, segundo a Equação 10:

$$v_H = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B.H} \quad (10)$$

Nessa expressão,  $Q$  = vazão de contribuição de esgoto ao tanque de flotação (suposta constante ao longo do período de detenção),  $A$  = área de seção transversal da câmara de retenção,  $B$  = largura e  $H$  = altura. As componentes horizontal e vertical da velocidade da partícula flotante de percurso mais desfavorável e de menor diâmetro a ser removida num tanque de flotação ideal estão relacionadas com o período de detenção através das Equações 11, 12 e 13:

$$v_H = \frac{L}{P} \quad (11)$$

e

$$v_V = \frac{H}{P} \quad (12)$$

do que resulta:

$$\frac{v_V}{H} = \frac{v_H}{L} \quad (13)$$

### Taxa de escoamento superficial de um tanque de flotação

A associação da Equação 13 com a Equação 10 leva à Equação 14:

$$v_V = \frac{Q}{B.L} = \frac{Q}{S} \quad (14)$$

Na expressão acima,  $L$  = comprimento da câmara de retenção e  $S$  = área em projeção vertical (em planta). Essa relação define a chamada *taxa de escoamento superficial*, por vezes impropriamente chamada carga ou taxa de aplicação de um tanque de flotação natural, geralmente expressa em metros cúbicos por metros quadrados por dia. A dimensão física, entretanto, é de velocidade (m/s).

Essa taxa representa a velocidade ascendente da partícula de gordura de menor tamanho que ele seguramente retém. Portanto, quanto menor for a taxa de escoamento superficial, melhor será a eficiência de remoção de gordura de um tanque de flotação natural.

Daí se conclui que, para uma dada vazão de contribuição de esgoto  $Q$ , quanto maior for a área superficial  $S$  de um tanque de flotação, mais baixa será a velocidade ascendente  $v_V$  da menor partícula a remover. Evidentemente, quanto menor for o diâmetro das partículas de gordura retidas, tanto mais eficiente será o tanque de flotação natural.

A Equação 12 mostra que, para determinada profundidade da câmara de retenção, a taxa de escoamento superficial e o período de detenção são inversamente proporcionais. Portanto, se o período de detenção for parametrizado, a redução no valor da taxa de escoamento superficial, visando a uma melhoria da eficiência de remoção do tanque, só será obtida mediante a redução proporcional da profundidade da sua câmara de retenção.

### Taxa de remoção e eficiência de remoção de um tanque de flotação natural

Num tanque de flotação natural todas as partículas dotadas de velocidades ascendentes iguais ou superiores à dada pela taxa de escoamento superficial  $v_V$  são completamente removidas, ficando retidas na camada de espuma, ao passo que aquelas que flutam com velocidades ascensionais menores são apenas removidas na proporção direta de sua velocidade com  $v_V$ .

Isso pode ser compreendido com o auxílio da Figura 2, que mostra esquematicamente as trajetórias de duas partículas de gordura sob

flotação: uma com velocidade ascendente  $v_V$  (a menor partícula removível que percorre a trajetória mais desfavorável no tanque), e outra com velocidade inferior ( $v_A < v_V$ ).

Caso esta última partícula ingresse na câmara de retenção em qualquer cota situada entre os pontos  $a$  e  $b$ , ela simplesmente não ficará retida no tanque de flotação, sendo arrastada pelo fluxo líquido horizontal até atingir a região de saída e evadir-se.

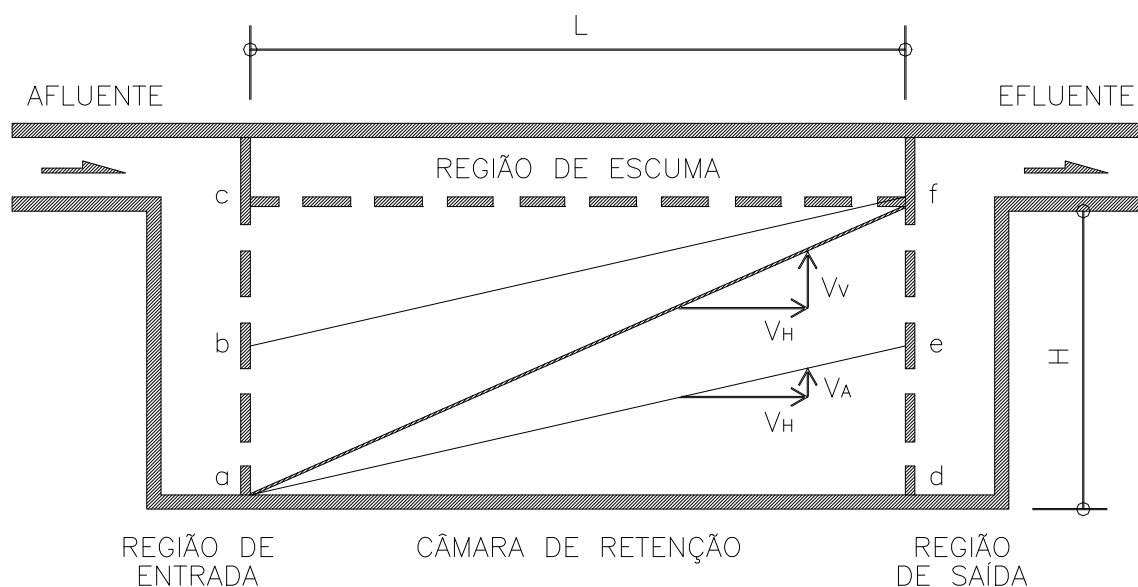
Entretanto, se essa partícula de tamanho inferior ao da considerada mais desfavorável penetrar a câmara de retenção em cota situada entre os pontos  $b$  e  $c$ , ela atingirá satisfatoriamente a camada de espuma sobrenadante. Portanto, um tanque ideal de flotação natural acaba retendo certo percentual de partículas com diâmetros inferiores ao da gotícula de projeto.

Na Figura 2, por semelhança de triângulos, a relação entre as distâncias  $bc$  e  $ac$  define a taxa de remoção  $X_A$ , ou seja, a fração de partículas com dada velocidade  $v_A < v_V$  que ficam retidas no tanque, expressa na Equação 15:

$$X_A = \frac{bc}{ac} = \frac{v_A}{v_V} \quad (15)$$

que associada à Equação 14 resulta na Equação 16:

$$X_A = v_A \frac{B \cdot L}{Q} \quad (16)$$



Fonte: ASPE, 1986

Figura 2 - Seção longitudinal de um tanque ideal de flotação natural

Considerando a fração de todas as partículas teoricamente retidas na câmara de retenção, a taxa de remoção global  $X$  é dada pela Equação 17:

$$X = (1 - X_v) + \int_0^{X_v} X_A \, dX \quad (17)$$

de onde sai a Equação 18:

$$X = (1 - X_v) + \frac{1}{v_v} \int_0^{X_v} v_A \, dX \quad (18)$$

Nesta expressão, a primeira parcela é a proporção de partículas com  $v \geq v_v$  completamente removidas (100%), e a segunda parcela representa a fração de partículas com  $v_A < v_v$  remanescentes, retidas pelo tanque horizontal de flotação. Conclui-se daí que a eficiência independe da profundidade do tanque e do período de detenção, mas apenas da taxa de escoamento superficial e da velocidade ascendente de determinado tamanho de partícula com  $v_A < v_v$ .

A eficiência de remoção  $E$  de um tanque de flotação é a razão entre a redução de concentração de gordura que ele proporciona ( $C_o - C$ ) e a concentração original  $C_o$  no esgoto afluente, conforme a Equação 19:

$$E = \frac{C_o - C}{C_o} = 1 - \frac{C}{C_o} = \frac{y}{y_o} \quad (19)$$

Aqui,  $y_o$  = número de partículas com  $v_A < v_v$  presentes no esgoto afluente ao tanque e  $y$  = parcela de  $y_o$  que fica retida no tanque (número de partículas que flutam com velocidade  $v_A$  durante o período de detenção).

## Do ideal ao real: considerações no dimensionamento de caixas de gordura em SPES

Com base nas formulações apresentadas para o tanque horizontal ideal de flotação natural, algumas considerações devem ser feitas acerca dos pressupostos e respectivas implicações.

### Ausência de câmara de entrada apropriada

Segundo a NBR 8160 (ABNT, 1999), as caixas de gordura empregadas em SPES devem ser divididas em duas câmaras, uma receptora e outra vertedoura, separadas por um septo não removível, cumprindo as funções de câmara de retenção e de câmara de saída. Não há, entretanto, qualquer menção à obrigatoriedade de uma câmara de entrada adequada.

Tem sido freqüente o emprego de caixas de gordura pré-fabricadas de formato cilíndrico, com geometria interna que em nada as difere de caixas sifonadas, exceto por alturas de fechos hídricos mais expressivas. Não há, entretanto, nenhuma razão para

que caixas de gordura atuem como desconectores em SPES.

Nota-se nas caixas de gordura pré-fabricadas da Figura 3 a inconveniência do despejo dos efluentes contendo material gorduroso diretamente sobre a câmara receptora, havendo evidente perturbação na camada de espuma sobrenadante e possibilidade de arraste para a câmara vertedoura de parte da gordura já segregada sempre que a vazão afluente for expressiva.

Entretanto, a flotação natural tem por pressupostos a ocorrência de escoamento horizontal uniforme na parte inferior da caixa de gordura e o escoamento vertical de partículas flotantes sob baixas velocidades, preferencialmente em regime laminar. Nas caixas de gordura cilíndricas pré-moldadas mostradas na Figura 3 esses pressupostos não são verificados.

Aí reside a importância de um septo fixo separando a câmara de entrada da câmara de retenção, de modo a também melhorar a uniformidade da entrada do líquido na caixa de gordura e reduzir substancialmente a indesejável turbulência. Uma câmara de entrada ideal numa caixa de gordura é aquela que:

- (a) reduz a velocidade do esgoto afluente de modo a impedir a ocorrência de correntes acentuadas no fluxo horizontal em direção à câmara vertedoura. Esse fenômeno desfavorável, associado às condições reais de funcionamento de uma caixa de gordura, é chamado curto-circuito do esgoto afluente na parte inferior da câmara de retenção. Ele é caracterizado pela formação de uma corrente líquida relativamente rápida ao longo da região inferior da caixa de gordura, que reduz muito o tempo de detenção previsto para a flotação e permite que o esgoto afluente alcance a câmara vertedoura sem a devida remoção da fração de material gorduroso desejada;
- (b) distribui o líquido afluente o mais uniformemente possível ao longo da seção vertical na entrada da câmara de retenção da caixa de gordura. Isso contribui para a validade de aplicação das equações desenvolvidas para o tanque ideal de flotação natural; e
- (c) mistura o líquido afluente com o esgoto já presente dentro da câmara de retenção, de modo a evitar o aparecimento de corrente causada por diferenças de densidade entre diferentes regiões da caixa de gordura.

Essa corrente deve-se ao fato de o líquido afluente à câmara de retenção conter maior concentração de gorduras em suspensão do que o líquido efluente parcialmente clarificado, havendo uma tendência natural de sua formação à medida que a massa



líquida é despojada do material gorduroso ao longo do seu percurso, devido à diferença de densidade entre ambos.

### Pressupostos do tanque ideal de flotação não verificados em caixas de gordura reais

Por motivos já citados, não se verifica numa caixa retentora de gordura a hipótese da uniformidade de velocidade em todos os pontos da câmara de retenção para partículas de mesmo diâmetro. Também devido à inexistência de uma câmara de entrada adequada, é inválida a hipótese da uniformidade de concentração de partículas de gordura de um dado tamanho na entrada da câmara de retenção.

Em razão da variação temporal característica das contribuições de esgoto às caixas de gordura, nelas geralmente não se verifica a ocorrência de regime permanente, exceto durante intervalos restritos de tempo ao longo de um típico hidrograma diário de vazões. Em conseqüência, não há constância do valor da vazão de contribuição de esgoto.

### Influência da agregação de partículas de gordura flotantes

As formulações apresentadas para o tanque horizontal ideal de flotação natural são válidas apenas para gotículas de pequenos diâmetros, supostamente individuais e independentes entre si.

Entretanto, ante a possibilidade de agregação de partículas gordurosas sob flotação, resultando em flocos de maior tamanho e com formatos

irregulares, sempre que a sua concentração exceder 1% em volume, a velocidade ascendente fica reduzida em 10% ou mais em relação à teórica obtida pelas equações 3, 6 ou 8 (ASPE, 1986).

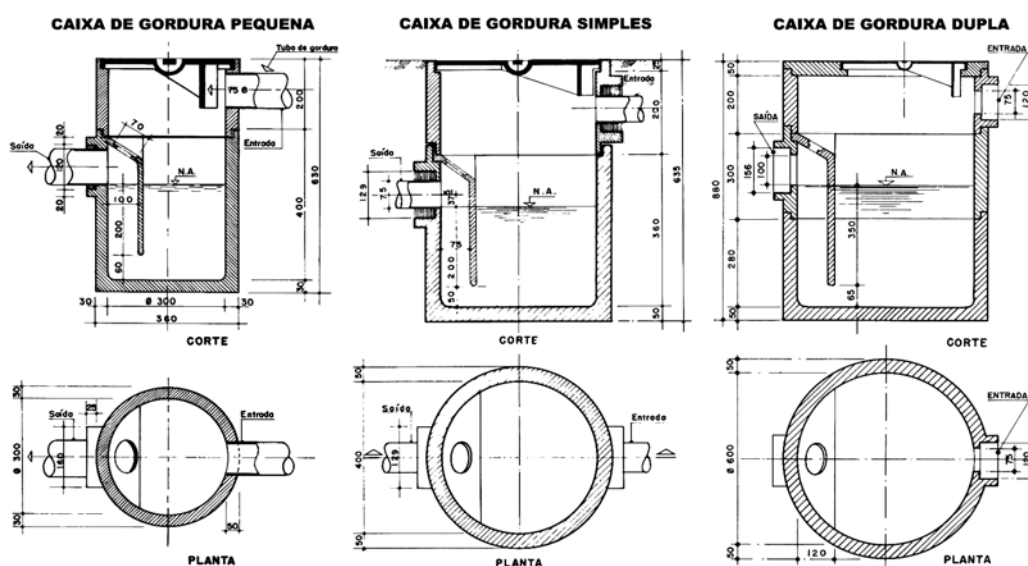
Isso ocorre porque as partículas maiores, com maior velocidade ascendente, colidem com as partículas mais lentas e de menor tamanho, propiciando a sua aglomeração em conjuntos maiores, supostamente mais rápidos em termos de flotação. Porém, a irregularidade dos formatos resultantes acaba impondo um aumento na força de atrito e conseqüente atenuação no aumento da velocidade ascendente.

### Ocorrência de flotação floculenta em caixas retentoras de gordura reais

Quando o material gorduroso flotante está altamente fracionado e emulsionado na massa líquida dentro da câmara de retenção, ele pode dar lugar à chamada *flotação floculenta*, resultando em partículas mais uniformes. Estas passam a apresentar maiores velocidades ascendentes à medida que crescem por aglomeração em seu percurso na câmara de retenção.

Nessas condições, uma câmara de retenção com profundidade suficiente para permitir essa aglomeração terá melhor eficiência do que outra equivalente com mesma taxa de escoamento superficial, porém de menor profundidade.

Por essa razão, quanto menor for a profundidade da câmara de retenção da caixa de gordura menor será a correspondente taxa de escoamento superficial para um dado tempo de detenção.



Fonte: Sano, 1982

Figura 3 - Caixas de gordura cilíndricas pré-moldadas produzidas segundo a NBR 8160

## Majoração do período de detenção teórico

Numa caixa de gordura real ocorrem correntes produzindo mistura e turbulência que retardam a floculação, como as correntes de inércia, de convecção térmica e de densidades diferenciais, de modo que, num dado instante  $t$ , só se clarifica uma fração  $1/n$  do volume correspondente.

Portanto, para que a flotação ocorra dentro de determinado grau de eficiência pretendido, é necessário majorar o período de detenção teórico, ou reduzir proporcionalmente a taxa de escoamento superficial, com a aplicação de um fator de correção (fator de turbulência  $F_T$ ), conforme a Equação 21:

$$P_{REAL} = F_T \cdot P_{TEÓRICO} \quad (20)$$

ou então

$$V_{REAL} = \frac{V_{TEÓRICA}}{F_T} \quad (21)$$

Fair *et al.* (1979) demonstraram que a quantidade proporcional de partículas flotantes com velocidade ascendente  $v_V$  que atingem a camada de espuma em dado instante  $t$  é dada pela equação 22, em que  $n$  expressa o comportamento da caixa de gordura quanto à existência e grau de turbulência, em termos da eficiência de remoção pretendida:

$$E = \frac{y}{y_0} = 1 - \left(1 + \frac{1}{n} \cdot \frac{t}{P}\right)^{-n} \quad (22)$$

equivalente à Equação 23:

$$E = \frac{y}{y_0} = 1 - \left(1 + \frac{F_T}{n}\right)^{-n} \quad (23)$$

Equação característica da eficiência de remoção de gordura de um tanque de flotação real.

Na forma da Equação 23, fixado determinado grau de eficiência de remoção  $E$  e um nível  $n$  de comportamento pretendido para a caixa de gordura em relação à existência de turbulência, a incógnita é o fator de correção  $F_T$ , a aplicar ao período de detenção teórico para compensar o retardo na flotação imposto pela turbulência.

A Figura 4 apresenta curvas para diferentes níveis de comportamento pretendidos com  $n = 1, 2, 4, 8$  e  $\infty$  (respectivamente, muito pouca eficiência esperada, pouca eficiência, boa eficiência, muito boa eficiência e máxima eficiência), representando a eficiência de remoção em função do fator de turbulência.

Dessa mesma figura tem-se que, para uma eficiência de remoção de 75% ( $E = y / y_0 = 0,75$ ) das partículas com dada velocidade ascendente  $v_0$ , qualquer que esta seja, o fator de turbulência será  $F_T = 1,4$  para o melhor nível de eficiência, ou operação sob ausência de turbulência ( $n = \infty$ ), e  $F_T = 3$  para uma eficiência muito fraca, ou operação sob acentuada turbulência ( $n=1$ ).

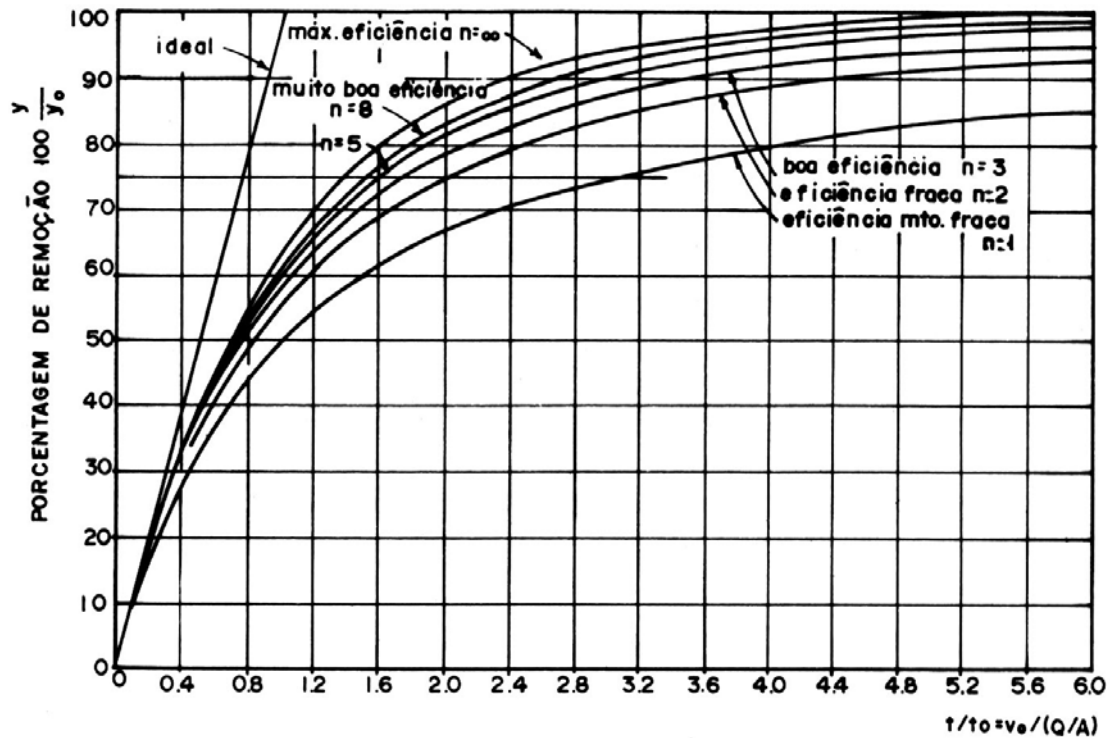
Isso significa que, para se obter uma eficiência de remoção de 75% numa caixa de gordura real, o respectivo período de detenção de projeto deve ser 40% maior do que o teórico, para flotação ocorrendo sem qualquer turbulência, caso da melhor eficiência possível ( $n = \infty$ ).

Já para o caso do pior nível de eficiência possível ( $n = 1$ ), em que a flotação ocorre sob expressiva turbulência, o período de detenção teórico deverá ser triplicado.

A Equação 21 mostra que o fator de turbulência pode ser alternativamente aplicado à taxa de escoamento superficial para se obter a velocidade ascendente (e, conseqüentemente, o tamanho) das partículas de gordura a reter num tanque de flotação real sob determinada eficiência de remoção.

Nessa perspectiva, a taxa de escoamento superficial a aplicar deverá ser reduzida a um valor entre  $(100 / 1,4) = 71\%$  e  $(100 / 3,0) = 33\%$  da velocidade ascendente das partículas que se pretende remover com 75% de eficiência.

Leme (1979) resolveu a Equação 23 tendo  $F_T$  como incógnita, com valores parametrizados de  $n$ , para diferentes eficiências de remoção prefixadas, cujos resultados numéricos (em rigor, iguais aos oferecidos pela Figura 4) estão na Tabela 3.



Fonte: LEME, 1979 a partir de FAIR *et al.*, 1979

Figura 4 - Curvas de comportamento pretendido de tanques de flotação para diferentes níveis de eficiência

n	categoria	Eficiência de remoção						
		60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%
8	muito bom	1,00	1,12	1,30	1,51	1,78	2,14	2,67
5	bom	1,00	1,17	1,36	1,59	1,90	2,31	2,93
3	regular	1,07	1,25	1,48	1,76	2,13	2,65	3,46
2	fraco	1,16	1,38	1,65	2,00	2,47	3,16	4,32
1	muito fraco	1,50	1,86	2,33	3,00	4,00	5,67	9,00

Fonte: ampliada de Leme, 1979

Tabela 3 - Fatores de turbulência para diferentes níveis de comportamento e eficiências de remoção de caixas retentoras de gordura

## Avaliação da eficiência das caixas de gordura prescritas pela ABNT: resultados obtidos

As caixas de gordura dimensionadas conforme a NBR 8160 (ABNT, 1999) foram avaliadas segundo os princípios que regem a flotação natural. Para tanto, valeu-se do critério desenvolvido por Fair *et al.* (1979) para a determinação do fator de turbulência. Os cálculos foram feitos para uma condição desfavorável de inverno (15 °C), em que  $\gamma_0 = 0,930$  e  $\nu = 1,146 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , considerando  $g = 9,79 \text{ m/s}^2$ .

## Avaliação de caixas retentoras de gordura cilíndricas

A partir das dimensões construtivas presentes na Figura 3 para as caixas de gordura de formato cilíndrico pequena (CGP), simples (CGS) e dupla (CGD), foram obtidas as áreas de superfície reais  $S$  das respectivas câmaras de retenção. Foi então estabelecida a correspondente faixa de vazões com base no Método Hidráulico do Anexo B da NBR 8160 (ABNT, 1999).

Consideraram-se as vazões unitárias normativas de 0,25 l/s para pias de cozinha e de 0,30 l/s para máquinas de lavar louça, e suas múltiplas

combinações, determinadas pelas quantidades de aparelhos sanitários de cada tipo supostos em uso simultâneo, numa instalação com uso congestionado.

Dessa forma, o desempenho à remoção de partículas de gordura de cada tipo de caixa de gordura foi avaliado a partir da vazão mínima  $Q_{\min} = 0,25$  l/s, quando apenas uma pia de cozinha contribui, e segundo uma vazão máxima estimada  $Q_{\max}$ , diferente para cada caso.

Foram então obtidas as correspondentes taxas de escoamento superficial  $v_o$  (Equação 14 associada à Equação 21). Para tanto já se levou em conta um fator de turbulência resultante da expectativa do nível de comportamento quanto à operação em presença de turbulência ( $n$ ), sempre associado à eficiência de remoção  $E = 60\%$  das partículas de gordura de um dado diâmetro.

Com o valor da taxa de escoamento superficial obtido em cada situação extrema de vazão de contribuição ( $Q_{\min}; Q_{\max}$ ), foi determinado na Tabela 5 o correspondente domínio de validade da Equação da velocidade ascendente.

A partir de então foi possível a determinação, na Tabela 6, do menor diâmetro de gotícula de gordura removida pela caixa retentora com apenas 60% de eficiência, seguida do período de retenção correspondente (Equação 9).

### Avaliação de caixas retentoras de gordura prismáticas de base retangular

Como a NBR 8160 (ABNT, 1999) não traz maiores informações construtivas para a caixa de gordura especial, geralmente moldada *in loco*, considerou-se estar devidamente provida de septo separador na câmara receptora, dotada de um tê sanitário na entrada, prolongado na base, para minimizar turbulências oriundas do indesejável despejo direto do esgoto afluyente.

Como não há uniformidade na entrada do esgoto afluyente, foi considerado um fator de turbulência  $F_T$  associado ao nível  $n = 3$ , resultante de uma regular expectativa do nível de comportamento quanto à operação em presença de turbulência (tanque de eficiência regular).

A norma citada fixa em 0,20 m a altura da região de flotação da câmara de retenção (altura do

gabarito livre sob o septo da câmara de saída) ou diferença entre a altura molhada e a parte submersa do septo. Além disso, o volume total ou capacidade de câmara de retenção (em litros) é dado pelas seguintes expressões empíricas, onde  $N$  = número de pessoas servidas pelas cozinhas contribuintes da caixa de gordura especial no turno em que existe maior afluxo, conforme as Equações 25 ou 26:

$$V = 2N + 20 \quad (25)$$

em litros ou

$$V = \frac{N + 10}{500} \quad (26)$$

em m<sup>3</sup>

Como as caixas de gordura especiais são prescritas para instalações acima de 12 cozinhas contribuintes, limite do emprego das caixas de gordura duplas, com volume de 120 l, tem-se para elas  $N = 50$  pessoas, de onde se conclui que as caixas de gordura especiais aplicam-se onde  $N > 50$ , equivalendo à proporção aproximada de quatro pessoas servidas por cozinha contribuinte. Com volumes assim calculados, para diferentes valores de  $N$  até 200 pessoas, foram obtidas as correspondentes áreas de superfície  $S$  das câmaras de retenção.

Também com base no Anexo B da NBR 8160 (ABNT, 1999), foi igualmente estabelecida a correspondente faixa de vazões de contribuição, com vazão mínima  $Q_{\min} = 0,50$  l/s (duas pias de cozinha contribuindo) e vazão máxima estipulada em  $Q_{\max} = 4,00$  l/s. Foram então obtidas as correspondentes taxas de escoamento superficial  $v_o$  (Equação. 14). Para tanto, foi considerado o fator de turbulência  $F_T = 1,07$  (Tabela 3, com  $n = 3$ ), também associado à eficiência de remoção  $E = 60\%$  das partículas de gordura de dado diâmetro. Segue-se na Tabela 7 o menor diâmetro de partícula retida pela caixa de gordura especial com 60% de eficiência e respectivo período de retenção (Equação 9).

Valores de  $d$  indicados no campo delimitado à esquerda do corpo da tabela foram obtidos pela Equação de Stokes, e os situados à direita foram calculados pela Equação de Allen.

Lei de Stokes (Equação 7)		Lei de Allen (Equação 8)		Lei de Newton (Equação 4)	
$R \leq 1$		$1 < R \leq 10^3$		$R \geq 10^3$	
(cm/s)	(mm)	(cm/s)	$d$ (mm)	(cm/s)	(mm)
$v_o \leq 0,326$	$d \leq 0,326$	$0,325 < v_o < 13,2$	$0,326 < d < 8,71$	$v_o \geq 13,2$	$d \geq 13,2$

Tabela 5 - Faixas de validade das equações de velocidade ascendente

tipo	S (cm <sup>2</sup> )	Q (l/s)	E = 60%		diâmetro d		P (s)
			n	F <sub>T</sub>	Equação	(mm)	
CGP	442,83	mín: 0,25	1	1,50	Allen	0,54	9
		máx: 0,55	1	1,50	Allen	1,67	3
CGS	1.028,14	mín: 0,25	3	1,07	Stokes	0,28	18
		máx: 0,85	1	1,50	Allen	1,11	4
CGD	2.424,87	mín: 0,25	3	1,07	Stokes	0,18	67
		máx: 3,30	1	1,50	Allen	1,83	4

Tabela 6 - Tamanhos de partículas removidas e períodos de detenção em caixas de gordura cilíndricas dimensionadas segundo a NBR 8160:1999

Q	0,50 l/s		1,00 l/s		1,50 l/s		2,00 l/s		2,50 l/s		3,00 l/s		3,50 l/s		4,00 l/s	
F <sub>T</sub> =1,07	d	P	d	P	d	P	d	P	d	P	d	P	d	P	d	P
N	mm	s	mm	s	mm	s	mm	s	mm	s	mm	s	mm	s	mm	s
50	0,28	80	0,48	40	0,72	27	0,96	20	1,20	16	1,44	13	1,68	11	1,92	10
75	0,24	113	0,34	57	0,51	38	0,68	28	0,85	23	1,02	19	1,19	16	1,36	14
100	0,21	147	0,30	73	0,39	49	0,52	37	0,65	29	0,86	24	0,92	21	1,05	18
125	0,19	180	0,27	90	0,32	60	0,43	45	0,53	36	0,64	30	0,75	26	0,85	23
150	0,17	213	0,25	107	0,30	71	0,36	53	0,45	43	0,54	36	0,63	30	0,72	27
175	0,16	247	0,23	123	0,28	82	0,32	62	0,39	49	0,47	41	0,55	35	0,62	31
200	0,15	280	0,21	140	0,26	93	0,30	70	0,34	56	0,41	47	0,48	40	0,55	35

Tabela 7 - Tamanhos de partículas removidas e períodos de detenção em caixas de gordura prismáticas dimensionadas segundo a NBR 8160:1999

## Conclusões e recomendações

Os resultados oferecidos pelas Tabelas 5 e 6 revelam um desempenho insatisfatório para a maioria das situações de operação das caixas retentoras de gordura dimensionadas pelos critérios empíricos prescritos pela NBR 8160:1999 sob as faixas de vazões consideradas, revelando períodos de detenção acentuadamente baixos.

Estes se situam entre cerca de 3 segundos e 1 minuto para as caixas cilíndricas, bem aquém dos valores recomendados pelas fontes bibliográficas supracitadas (a partir de 3 minutos). Nas caixas de gordura prismáticas, esses valores só são verificados quando operam sob baixas vazões de contribuição.

Mesmo tendo sido considerada uma condição de desempenho pouco rigorosa, a saber, remoção de apenas 60% das partículas de gordura flotantes com determinada velocidade ascendente, desprezando o fator de curto-circuito ( $F_C = 1,20$ ), e levando apenas em conta o efeito de turbulências na base da câmara de retenção (fator  $F_T$ ) para baixos valores do nível de comportamento correspondentes ( $n = 1$  e  $n = 3$ ), os diâmetros das

partículas removidas resultaram excessivos para a maioria dos casos.

Enquanto as fontes bibliográficas indicam limites máximos entre 0,09 mm e 0,25 mm, os resultados obtidos revelaram valores várias vezes superiores aos desejáveis, mesmo sob baixo requisito de eficiência de remoção.

Sob o prisma da flotação natural, o regime laminar no fluxo ascendente das partículas de gordura, em que é válida a Equação de Stokes, não se verifica para a caixa de gordura pequena (CGP) em nenhum valor da respectiva faixa de vazões características em que é indicada para operar. Ela apenas ocorre em caixa de gordura simples (CGS) quando há contribuição de uma única pia de cozinha ou máquina de lavar louças.

Esta constatação traz a conclusão de que o critério normativo em vigor leva ao subdimensionamento de CGP e CGS.

Pode-se então afirmar que a caixa de gordura pequena prescrita pela NBR 8160:1999 apresenta muito pouca eficiência prática, atuando mais como mera caixa de passagem ou como caixa de inspeção sifonada, sem exercer a função objetiva a que se propõe. O mesmo é válido para a caixa de gordura simples para até duas cozinhas

contribuintes, sempre que há mais de um aparelho sanitário em funcionamento.

Além disso, a câmara vertedoura (saída) deve ser adaptada para contribuir na manutenção das condições desejáveis dentro da caixa de gordura, a saber, redução da turbulência e de correntes de curto-circuito, e uniformidade das velocidades de aproximação das linhas de fluxo.

Essas assertivas levam à conclusão da inadequação das atuais prescrições geométricas e volumétricas feitas pela NBR 8160:1999 para caixas retentoras de gordura, sugerindo-se que tais critérios sejam oportunamente revistos.

Nessa ocasião, poderá ser fixado um requisito de desempenho adequado, tal como o menor diâmetro de partícula de gordura a reter sob certa eficiência de remoção, para determinada faixa de vazões de contribuição de operação, isso considerando uma condição real de operação, compensando-se devidamente no seu dimensionamento os efeitos adversos de curto-circuito e turbulências, de modo a possibilitar o emprego dos princípios da flotação natural.

## Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160:1999**.

Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.

ASPE.AMERICAN SOCIETY OF PLUMBING ENGINEERS. **ASPE Data Book**, v. 2, 1986. Supplement – Special Plumbing Systems Design. Chapter 13: Grease Interceptors. Westlake Village, 1986. p. 13.1-13.16.

CAMP, T. R. Sedimentation and the design of settling tanks. **Transactions of the American Society of Civil Engineers** (ASCE), v. 3, p. 895-958, 1946.

FAIR, G. M.; GEYER, J. C.; OKUN, D. A.

**Ingeniería sanitaria y de aguas residuales**. v. 2: Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. Ciudad de México: Limusa, 1979. 764 p. (Tradução para o espanhol).

HAMMER, M. J. **Sistemas de abastecimento de água e esgotos**. Rio de Janeiro, LTC, 1979. 563 p. (Tradução de *Water and Wastewater Technology*, 1977).

IMHOFF, K.; IMHOFF, K.R. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: Edgard Blücher, 1986. 301 p. (Tradução da 26ª edição alemã, 1985).

LEME, F. P. **Teoria e técnicas de tratamento de água**. São Paulo: CETESB, 1979. 424 p.

LENCASTRE, A. **Manual de hidráulica geral**. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP, 1972. 411 p.

METCALF,; EDDY, H. P. **Tratamiento y depuración de las aguas residuales**. 2. ed. espanhola. Madrid: Labor, 1981. 837 p. (Tradução de *Wastewater Engineering: Collection, Treatment, Disposal*, 1977).

PESSÔA, C. A.; JORDÃO, E. P. **Tratamento de esgotos domésticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1982. v. 1: Concepções clássicas de tratamento de esgoto. 536 p.

SANO S.A INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Materiais e serviços para instalações prediais de despejos sanitários Sano – Seção 3**. Catálogo técnico. Rio de Janeiro, 1982.

STEEL, E. W.; McGHEE, T. J. **Water supply and sewerage**. 5th ed. New York: McGraw Hill, 1981. 665 p.