

AVALIAÇÃO ECONÔMICA CAMADA SIMPLES x CAMADA DUPLA

Tomando-se como referência uma série de estudos científicos realizados desde 1978 até os dias atuais, referenciados ao final deste documento, bem como a experiência prática acumulada desde 2002, quando da introdução do carvão CARBOTRAT AP no tratamento de águas naturais, pôde-se desenvolver uma simulação a qual avalia a relação custo/benefício entre a camada simples versus a camada dupla.

A simulação descrita abaixo indica sumariamente que o meio filtrante de dupla camada produz aproximadamente o dobro de água tratada do que o meio filtrante de camada simples, considerando-se a mesma qualidade para a água tratada a ser obtida bem como alguns parâmetros operacionais descritos abaixo.

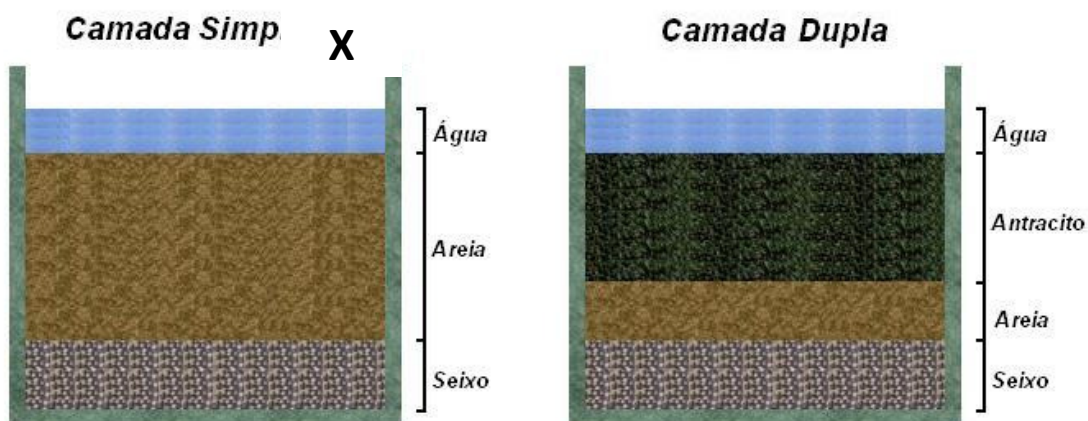
A norma NBR ABNT 12.216/1992, que trata do Projeto de Estações de Tratamento de Água para Abastecimento Público, descreve no item 5.12.2.1 que as taxas máximas de filtração recomendadas para a camada simples e para a camada dupla são de $180\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$ e $360\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$, respectivamente.

Maiores taxas de filtração, como no caso da camada dupla, implicam a obtenção de maiores volumes de água tratada por unidade de filtração da ETA, o que pode levar à redução da área a ser construída para filtros novos, reduzindo com isso os custos da construção da ETA, ou à ampliação da capacidade de tratamento da ETA, produzindo mais água tratada em uma mesma unidade operacional.

Como contraponto, trabalhos realizados por diversos autores, (AMIRTHARAJAH, A., 1978; ABREU, S. B., et. al., 2009; RICHTER, C. A. et.al., 2000 e Di BERNARDO, L., et. al., 2005), concluíram que ao fixarmos uma mesma taxa de filtração para os filtros de camada simples e camada dupla, a carreira de filtração obtida para a camada dupla é, necessariamente cerca de 1,5 a 2 vezes maior do que a carreira de filtração para a camada simples.

Neste sentido, a simulação realizada **avaliou os ganhos da camada simples versus camada dupla fixando a carreira de filtração em 24 horas para os dois filtros e diferenciando a taxa de filtração.** Tomou-se como referência a norma brasileira NBR 12.216; ou seja, maiores taxas de filtração para filtros de dupla camada.

Estes cálculos acompanhados de custos estão na planilha "Camada Simples X Camada Dupla", em anexo.



AVALIAÇÃO CUSTO BENEFÍCIO - SIMULAÇÃO

1. DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS

- a) Mesma carreira de filtração para os dois filtros: 24 horas;
- b) Taxas de filtração diferentes (ABNT 12.216): Dupla camada (carvão antracito+areia) → 360 m³/m².dia (ou 15m³/m².h); Camada simples (areia) → 180 m³/m².dia (ou 7,5m³/m².h).

2. CÁLCULO DA PROFUNDIDADE DO MEIO FILTRANTE

A profundidade do meio filtrante para os dois filtros foi dimensionada segundo AWWA (1999). Nesta norma a relação entre a espessura do meio filtrante (em mm) e o diâmetro efetivo dos grãos (também em mm) é utilizada para o dimensionamento dos filtros, conforme descrito abaixo:

- $L/d \geq 1.000$ para camada simples de areia ou dupla camada (areia/antracito);

Camada Simples: $L = 700$ $D_{10} = 0,55$	Camada Dupla: Carvão: $L = 700$ $D_{10} = 0,95$ e Areia: $L = 300$ $D_{10} = 0,55$
$\sum \left(\frac{L_{areia}}{D_{areia}} \right) = 1272,72$	$\sum \left(\frac{L_{carvão}}{D_{carvão}} + \frac{L_{areia}}{D_{areia}} \right) = \sum \left(\frac{700}{0,95} + \frac{300}{0,55} \right) = 1282,45$

Conforme descrito acima, é possível observar que para a determinação do material filtrante considerou-se a mesma relação de L/D , ($\cong 1300$) tanto para a camada simples quanto para a camada dupla.

3. CÁLCULO DA VAZÃO DE FILTRAÇÃO

- a) Área transversal de filtração estipulada: $6,8 \text{ m}^2$ /filtro (secção quadrada);
- b) Cálculo da taxa de filtração = Vazão (m^3/h) / Área transversal (m^2);
- c) Cálculo da vazão de filtração para cada filtro (calculada em função de cada taxa de filtração):

Vazão do Filtro de Areia (camada simples):	$taxa = \frac{Q}{A} \Rightarrow 7,5 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} = \frac{Q}{6,8 \text{m}^2} = Q = 51 \text{m}^3 / \text{h}$
Vazão do Filtro de Antracito + Areia (camada dupla):	$taxa = \frac{Q}{A} \Rightarrow 15 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} = \frac{Q}{6,8 \text{m}^2} = Q = 102 \text{m}^3 / \text{h}$

Tabela 1

Calculando-se a vazão de filtração, é possível observar que, em função das diferentes taxas de filtração aplicadas para os dois filtros, a vazão do filtro de camada dupla é duas vezes a vazão do filtro de camada simples.

4. CÁLCULO DO TEMPO TOTAL DE FILTRAÇÃO (PRODUÇÃO DE ÁGUA TRATADA)

Carreira de filtração (mesma carreira para os dois filtros):	$\frac{24 \text{h de filtração}}{\text{carreira}}$
Horas úteis de operação da ETA por mês:	$\left(30 \frac{\text{dias}}{\text{mês}}\right) * \left(24 \frac{\text{horas}}{\text{dia}}\right) = 720 \frac{\text{horas úteis}}{\text{mês}}$
Número de retrolavagem que deverá ser realizado por mês (por filtro):	$\frac{720 \frac{\text{horas úteis}}{\text{mês}}}{24 \frac{\text{h de filtração}}{\text{retrolavagem}}} = 30 \frac{\text{retrolavagens}}{\text{filtro}} / \text{mês}$
Tempo mensal gasto com as retrolavagens (paradas):	$\frac{0,5 \text{h gastas}}{\text{retrolavagem}} * 30 \frac{\text{retrolavagens}}{\text{mês}} = 15 \frac{\text{h}}{\text{mês}}$
Tempo total de filtração, ou seja, produção de água tratada (para cada filtro):	$720 \frac{\text{horas úteis}}{\text{mês}} - 15 \frac{\text{h}}{\text{mês}} = 705 \frac{\text{h}}{\text{mês}}$

Tabela 2

Observa-se pela Tabela 2 que o tempo total de filtração, ou seja, o tempo total de produção de água tratada na ETA é de 705 h/mês para ambos os filtros. Para o cálculo deste tempo foram feitas as seguintes considerações:

Primeira → A operação da ETA ocorre durante 24h/dia e 30 dias/mês. Nenhuma parada para manutenção, seja ela preventiva e/ou corretiva, é realizada.

Segunda → O tempo total gasto para a retrolavagem de cada filtro é de 30 minutos (0,5h). Supõe-se que este tempo seja o tempo máximo necessário para o fechamento/abertura de válvulas, esvaziamento do filtro, instalação de acessórios, clarificação desejada para a água da retrolavagem e etc. Além disso, supõe-se também que o mesmo tempo de retrolavagem é gasto para a camada simples e para a camada dupla. Na prática isto não é verificado, haja vista que a camada de carvão lava mais facilmente do que a camada de areia somente.

5. CÁLCULO DO VOLUME TOTAL DE ÁGUA PRODUZIDA POR FILTRO

Com as suposições e os cálculos descritos anteriormente foi possível calcular-se o tempo total de operação dos dois filtros; tanto o filtro composto por carvão e areia quanto para o filtro composto somente pela areia. A produção de água tratada por filtro pode ser então calculada como segue:

Volume de água tratada por mês para camada dupla:	$102 \frac{m^3}{h} \times 705 \frac{h}{mês} = 71.910 \frac{m^3}{mês}$
Volume de água tratada por mês para camada simples:	$51 \frac{m^3}{h} \times \frac{705h}{mês} = 35.955 \frac{m^3}{mês}$
$\frac{\text{Água produzida pela camada dupla}}{\text{Água produzida pela camada simples}} = \frac{70.910}{35.955} = 1,97$	

Tabela 3

Verifica-se, portanto, que aproximadamente o dobro do volume de água tratada pode ser produzido quando se trabalha com camada dupla ao invés da camada simples.

6. CÁLCULO DO VOLUME TOTAL DE ÁGUA GASTO NA RETROLAVAGEM

Número de retrolavagens que deverão ser realizadas por mês (por filtro):	$\frac{720 \frac{\text{horas úteis}}{\text{mês}}}{24 \frac{\text{h de filtração}}{\text{retrolavagem}}} = 30 \frac{\text{retrolavagens / mês}}{\text{filtro}}$
Velocidade ascensional de retrolavagem ^(Ref.) :	Camada simples \cong 0,75 m/min (45,0 m/h) Camada dupla \cong 0,66 m/min (39,6 m/h)
Tempo mensal gasto com as retrolavagens:	$\frac{0,5h \text{ gastas}}{\text{retrolavagem}} \times 30 \frac{\text{retrolavagens}}{\text{mês}} = 15 \frac{h}{\text{mês}}$
% do tempo de retrolavagem que efetivamente se tem a utilização de água:	50%
Volume total de água gasto na retrolavagem (por filtro)	
Camada dupla $\rightarrow 39,6 \frac{m}{h} * 6,8 \frac{m^2}{\text{filtro}} * 15 \frac{h}{\text{mês}} * 50\% = 2.019,6 \frac{m^3}{\text{mês}}$	
Camada simples $\rightarrow 45,0 \frac{m}{h} * 6,8 \frac{m^2}{\text{filtro}} * 15 \frac{h}{\text{mês}} * 50\% = 2.295,0 \frac{m^3}{\text{mês}}$	
% de água gasta para a retrolavagem de cada filtro	
Camada dupla $\frac{2.019,6 \frac{m^3}{\text{mês}}}{70.910,0 \frac{m^3}{\text{mês}}} = 2,84\%$	Camada simples $\frac{2.295,0 \frac{m^3}{\text{mês}}}{35.955,0 \frac{m^3}{\text{mês}}} = 6,30\%$

Tabela 4

De fato, a velocidade ascensional de retrolavagem da camada simples é cerca de 1,5 vezes maior do que a velocidade ascensional de retrolavagem da camada dupla. Esta diferença estará intimamente relacionada à granulometria utilizada tanto para o filtro de dupla camada quanto para o filtro de camada simples. Considerando-se, porém, uma pequena diferença conforme descrito acima (0,66 X 0,75 m/min) observa-se que a perda de água para a retrolavagem do filtro de camada simples é 6,3% ao passo que a na camada dupla, é de aprox. 3%.

7. CÁLCULO DO VOLUME TOTAL DE ÁGUA PRODUZIDA NA ETA

Volume de água produzida por mês na camada dupla:	$102 \frac{m^3}{h} \times 705 \frac{h}{mês} = 70.910 \frac{m^3}{mês} - 2.019,6 \frac{m^3}{mês} = 68.890,40 \frac{m^3}{mês}$
Volume de água produzida por mês na camada simples:	$51 \frac{m^3}{h} \times 705 \frac{h}{mês} = 35.955 \frac{m^3}{mês} - 2.295,0 \frac{m^3}{mês} = 33.660,00 \frac{m^3}{mês}$
$\frac{\text{Água produzida pela camada dupla}}{\text{Água produzida pela camada simples}} = \frac{68.890,40}{33.660} = 1,91$	

Tabela 5

CONCLUSÃO

Ao compararmos um filtro de dupla camada com um filtro de camada simples, operando com diferentes taxas de filtração e ambos com a mesma carreira de filtração (de 24h, por exemplo), observa-se que **é possível produzir praticamente o dobro de água tratada no filtro de dupla camada**, considerando-se a mesma qualidade para a água tratada produzida.

Ressalta-se ainda que para estes cálculos considerou-se o mesmo tempo de retrolavagem para os dois filtros, no caso 30min, e uma pequena diferença entre as velocidades ascensionais de lavagem da camada simples para a camada dupla (0,66 X 0,75m/min).

Ainda com relação às considerações, utilizou-se uma vazão de filtração constante durante toda a carreira, obtendo-se com isso uma taxa de filtração variável. Esta taxa irá variar de tal modo que o limite máximo das forças de cisalhamento entre as partículas aderidas ao meio filtrante e o fluxo da água será atingido somente ao findar as 24horas da carreira de filtração. Neste ponto poderia então haver o transpasse da turbidez, o que acarretaria o fim da carreira de filtração e o início da retrolavagem.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Di BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.B. Métodos e técnicas de tratamento de água. Vol. 1 e vol. 2, 2ª edição, 2005.
2. NUNES, A.J. Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais. 3ª edição, 2001.
3. RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. de A. Tratamento de água – Tecnologia atualizada. 3ª edição, 2000.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. EB-2097: Material filtrante – Areia, antracito e pedregulho. Rio de Janeiro, 1990.
6. AMERICA WATER WORKS ASSOCIATION. ANSI/AWWA B100-96. Filtering Material. Colorado, 1996.
7. ABREU, S.B; BRINCK, N.C.P; FERREIRA, S.S.F. Avaliação do Tipo de Material Filtrante No Comportamento Hidráulico de Filtros Rápidos de Camada Profunda no Tratamento de Água de Abastecimento.2009.
8. ABREU, S.B; BRINCK, N.C.P; FERREIRA, S.S.F. Avaliação da Altura de Material Filtrante No Comportamento Hidráulico de Filtros Rápidos de Camada Profunda no Tratamento de Água de Abastecimento.2009.
9. Amirtharajah, A., Optimum Backwashing of Sand Filters. Journal of the Sanitary Engineering Division, p. 917 – 932, 1978.