

## TÓPICOS IMPORTANTES SOBRE FILTRAÇÃO RÁPIDA DESCENDENTE APLICADA AO TRATAMENTO DE ÁGUA POTÁVEL

O texto apresentado a seguir, resumido na forma de tópicos, visa a orientar operadores de ETA, técnicos, engenheiros e quaisquer profissionais de áreas afins, sobre os parâmetros mais importantes aplicados à filtração rápida descendente. Este material é fruto de uma extensa revisão bibliográfica baseada nas referências descritas ao final deste documento e não exclui, de forma alguma, a necessidade de estudos mais detalhados ao se projetar ou ampliar novas estações de tratamento de água.

- 
- A filtração consiste na remoção de partículas suspensas, partículas coloidais e de microorganismos presentes na água. Isto ocorre através do seu escoamento por um meio poroso, seja ele constituído por areia, carvão antracito ou qualquer outro material granular.
- 
- A ação conjunta de três mecanismos distintos, o transporte, a aderência e o desprendimento, é o responsável pela remoção da turbidez presente na água.
    - **O mecanismo de transporte** conduz as partículas suspensas para as proximidades da superfície dos coletores (meio filtrante). Na superfície, **o mecanismo de adesão** se dá pelas forças superficiais envolvidas entre as partículas da água e os grãos do meio filtrante. Neste caso as forças superficiais devem ser maiores do que as forças de cisalhamento, retendo partículas com diâmetros de 0,01 á 10  $\mu\text{m}$ . O **desprendimento** ocorre quando as forças de cisalhamento são maiores do que as forças de adesão. A prevalência de um ou outro mecanismo é função das características do afluente, das características da filtração (taxa de filtração, por exemplo) e dos grão que constituem o meio poroso.
-

- A filtração pode ocorrer com **ação de profundidade** ou com **ação superficial**.

No caso da filtração com ação de profundidade, a retenção das impurezas ocorre em todo meio filtrante e a carreira de filtração é máxima. Já com ação superficial, a retenção das impurezas ocorre somente na superfície (ou seja, nas primeiras camadas do meio filtrante), e a carreira de filtração é mínima. A principal diferença entre os dois mecanismos de filtração está na **uniformidade do meio filtrante**. Na ação superficial, o meio filtrante possui coeficiente de uniformidade  $\geq 1,7$ , ao passo que na ação de profundidade o valor do coeficiente de uniformidade gira entre 1,2 á 1,4. Sobre este assunto, cita-se, Luiz Di Bernardo, 2005:

*“A filtração rápida de água coagulada ou floculada deve, preferencialmente, ser realizada com ação de profundidade, pois caso contrário gerará carreiras de filtração curtas, com baixa produção efetiva de água”.*

- 
- Os **tipos de filtros** são:

- 1) **Filtração de Fluxo descendente**

- Baixa taxa de filtração (filtros lentos);
- Alta taxa de filtração (filtros rápidos).
  - De camada simples / De camada dupla.

- 2) **Filtração de Fluxo ascendente**

- De baixa taxa de filtração (filtros lentos ascendentes);
- De Alta Taxa de filtração (filtros rápidos ascendentes).

- 
- **A eficiência da filtração** esta relacionada com:

- a) **As características da suspensão**

Uma vez que as ETAs convencionais são compostas por coagulação, floculação, decantação e filtração, as características da suspensão estão intimamente relacionadas com estas etapas. Ou seja, a dosagem incorreta de coagulante, a má formação dos flocos e/ou a má decantação dos mesmos, irão causar perturbações no meio filtrante, com conseqüente redução na carreira de filtração.

**b) As características do meio filtrante**

Tipo de material granular, valor do tamanho efetivo (d10), tamanho do maior e menor grão, Coeficiente de Uniformidade, massa específica real e espessura da camada.

**c) As características hidráulicas do sistema**

Carga hidráulica disponível, taxa de filtração e taxa de retrolavagem.

**d) A ocorrência de algas e outros microorganismos aderidos ao meio filtrante**

Estes organismos ao atingirem o meio filtrante e neles processarem o seu crescimento poderão liberar para a água tanto os compostos do seu metabolismo quanto O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> interferindo negativamente na qualidade da água filtrada.

- 
- A **lavagem dos filtros** ocorre por:

**a) Transpasse da turbidez na água filtrada (Turbidez  $\geq 0,5$  NTU).**

Durante a filtração, se a taxa de filtração permanecer constante, a velocidade de escoamento da água nos poros, ou seja, a velocidade intersticial irá aumentar. Isto ocorre em função das partículas retidas no meio filtrante. Quando as forças de cisalhamento forem maiores do que as forças de aderência, ocorrerá o arrastamento das partículas para as subcamadas inferiores do meio filtrante, até aparecerem na água filtrada. Isto caracteriza o transpasse.

Quando ocorre o transpasse, significa que o meio filtrante não é mais capaz de reter impurezas ocasionando um aumento do número de microorganismos presentes na água filtrada. Este aumento, de turbidez e de organismos, poderá comprometer a desinfecção.

**b) Igualdade entre a *perda de carga total* do sistema e a *carga hidráulica disponível* (geralmente entre 2,0 e 3,0m).**

O ideal nas estações de tratamento de água é que o encerramento da carreira de filtração se dê sempre pela obtenção da perda de carga limite (ou seja, da carga hidráulica máxima). Ainda na situação ideal, a carga hidráulica disponível total para certa taxa de filtração, seria igual àquela para a qual o final da carreira de filtração ocorresse simultaneamente com a perda de carga e a turbidez limites, como exemplificou, Luiz Di Bernardo, (2005) na figura apresentada abaixo.

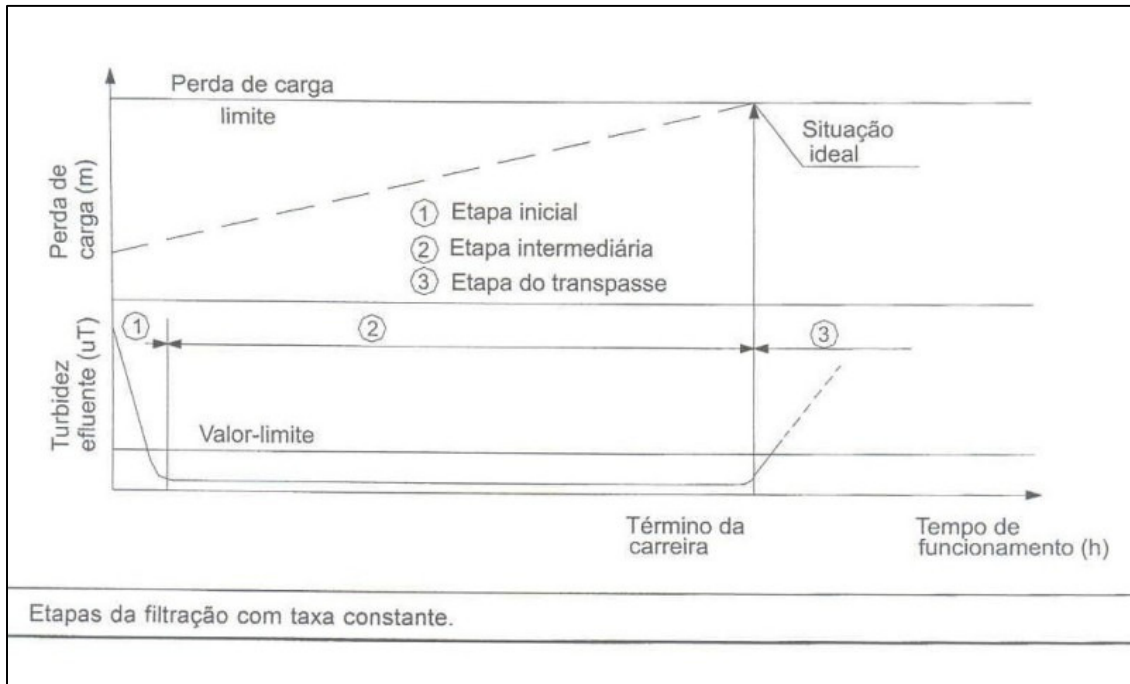


Figura 1 - Situação ideal: o término da carreira de filtração ocorre com a perda de carga e a turbidez limites atingidas praticamente ao mesmo tempo. Fonte: Livro Métodos e Técnicas de Tratamento de Água, Luiz Di Bernardo, 2005, volume 1, capítulo 9, pg.530.

A lavagem inadequada dos filtros pode apresentar diversos problemas, dentre eles podemos citar: um menor volume de água produzida na carreira de filtração, água filtrada de pior qualidade e um aumento maior da perda de carga no meio filtrante.

- **A operação de filtros rápidos descendentes** deve ser controlada por meio dos seguintes itens: Dispositivos para a medição da perda de carga; Medidor de vazão, quando esta é controlada à saída dos filtros; Tomada de água na saída de cada filtro para determinação da turbidez.

- Com relação às **características do material filtrante**, seja ele composto por areia, antracito ou granada, podemos dizer que:

a) O **coeficiente de uniformidade, (CU)**, é muito importante na filtração, pois mesmo que os demais parâmetros sejam iguais, a penetração das impurezas ao longo do meio filtrante esta

intimamente relacionada a esse coeficiente. Quanto menor o valor de CU, mais uniforme será o material, mais profunda será a retenção das impurezas e maior será a carreira de filtração.

b) A **solubilidade em ácido clorídrico** deve ser a menor possível. O teste de solubilidade determina as impurezas e os compostos solúveis em ácido presente no material filtrante, os quais podem ser lixiviados para a água, prejudicando com isso a qualidade final da água tratada.

c) Quanto mais irregular for à **forma geométrica dos grãos**, melhor será o desempenho durante a filtração devida maior captura das partículas. No caso do carvão antracito, por exemplo, a forma geométrica angular e irregular de suas partículas e o seu baixo peso específico tornam o leito filtrante praticamente imune ao efeito de compactação, resultando em um melhor desempenho durante a filtração.

d) A **porosidade do meio filtrante** influencia na determinação da velocidade da água requerida para lavagem, na perda de carga do meio filtrante fixo e na capacidade de retenção de impurezas do meio.

e) A massa específica do meio filtrante influencia na perda de carga, na fluidização e na expansão do leito.

Na Tabela 1, apresentam-se algumas características dos materiais filtrantes utilizados.

Meio filtrante utilizado na ETA	Massa específica real, ton/m <sup>3</sup>	Porosidade do leito	Esfericidade
Areia	2,65 a 2,67	0,42 a 0,47	0,70 a 0,80
Carvão antracito	1,40 a 1,70	0,45 a 0,55	0,45 a 0,60
Granada	4,10 a 4,50	-	-

**Tabela 1 - Massa específica real de alguns meios filtrantes.**

A massa específica aparente pode ser calculada a partir da massa específica real através da equação:

$$\rho_{aparente} = \rho_{real} * (1 - \epsilon), \frac{ton}{m^3}$$

- O **cálculo da perda de carga em um meio filtrante limpo**, de grãos não esféricos e estratificado, pode ser realizado pela equação abaixo:

$$\frac{\Delta H}{L} = \left( 150 * \left( \frac{\mu a}{\rho a * g} \right) * \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} * \frac{\text{Taxa}}{C e^2} * \frac{1}{D e q^2} \right) + \left( 1,75 * \frac{(1 - \varepsilon)}{g * C e * \varepsilon^3} * \frac{1}{D e q} \right)$$

$$\frac{\Delta H}{L} = \left( 150 * \left( \frac{\mu a}{\rho a * g} \right) * \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} * \frac{\text{Taxa}}{C e^2} * \frac{1}{D e q^2} \right) \Rightarrow \text{Somente para taxa} \leq 400 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{dia}$$

<p>Onde:</p> $D e q = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{D i m \acute{e} d i o}} ; m$	<p><math>\mu a</math> = viscosidade da água, kg/m.s (<math>T \cong 20^{\circ}C</math>, <math>\mu a = 0,001</math> kg/m.s);</p> <p><math>\rho a</math> = massa específica da água, kg/m<sup>3</sup> (<math>T \cong 20^{\circ}C</math>, <math>\rho a = 1.000,0</math> kg/m<sup>3</sup>);</p> <p><math>\xi</math> = porosidade do leito;</p> <p>Taxa = taxa de filtração, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>s;</p> <p>Ce = esfericidade do material;</p> <p>g = aceleração da gravidade, 9,8 m/s<sup>2</sup>.</p>
---	---

- A **velocidade mínima de fluidização de um material granular** praticamente uniforme ( $CD \leq 1,2$ ) pode ser estimada pela equação:

$$V_{mf} = \left( \frac{\mu a}{\rho a * D e q} \right) * \left( \sqrt{(33,7)^2 + 0,0408 * G a} - 33,7 \right) ; m / s$$

$$G a = \frac{D e q^3 * g * \rho a * (\rho s - \rho a)}{\mu a^2} ; \text{número de Galileu}$$

### DA CAMADA DUPLA:

- Até a década de 60, os filtros convencionais no Brasil eram operados com taxas de filtração da ordem de 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia. Com o desenvolvimento de pesquisas, passou-se ao uso de **meios filtrantes de camada dupla (antracito e areia)**, empregando-se

taxas de filtração da ordem de 300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia. Por consumir menor quantidade de água para a lavagem, quando comparado com os filtros de areia, o uso de meio filtrante constituído por antracito e areia, tornou-se mais vantajoso.

- Ainda na pesquisa de Amirtharajah, realizada em 1978, constatou-se que o meio filtrante constituído por camada dupla, resultava na mais profunda penetração das impurezas, em carreiras de filtração mais longas além de possibilitar o uso de taxas de filtração maiores.
- No trabalho de Abreu, (2009) sobre filtração rápida descendente, foi confrontada a utilização da camada simples, composta por carvão antracito ou areia, com a camada dupla (antracito e areia). Observou-se que os filtros compostos por camada única de carvão antracito, foram mais vantajosos no que diz respeito ao menor consumo de água para lavagem, devido aos menores valores da velocidade ascensional de água para fluidização. No quesito, carreira de filtração, a relação encontrada entre a carreira da camada dupla pela carreira da camada simples foi de 1,70 vezes maior, sendo 30 horas para a camada dupla e 18 horas para a camada simples (Abreu, 2009). No tocante a carreira de filtração da camada única, profunda de carvão antracito, a mesma alcançou valores superiores a 40 horas com turbidez na água filtrada < 0,5 NTU. Ressalta-se ainda que no trabalho de Abreu (2009), foi possível empregar taxas de filtração da ordem de 500 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia no filtro de camada única de carvão, com D10=1,30; C.U.=1,3.

- 
- A tabela 3 mostra um comparativo entre a **filtração de camada simples (areia) e a filtração em camada dupla (antracito e areia)**. Esta tabela descreve a variação da perda de carga no leito, a turbidez no efluente e no afluente e o início do transpasse da turbidez (no caso de camada simples de areia).

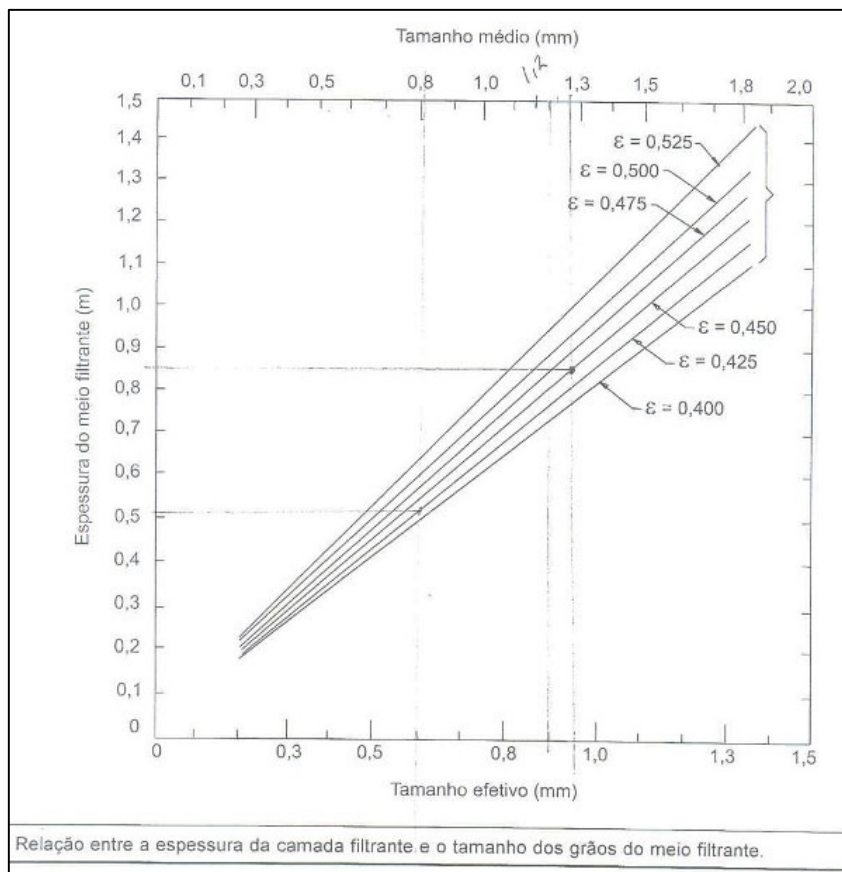
	<p>Somente areia: <math>d_{10}=0,55\text{mm}</math>; <math>L=0,7\text{m}</math>; <math>CD=1,5</math>.</p> <p>Turbidez na entrada <math>\rightarrow 1,50</math> á <math>2,50</math> uT;</p> <p>Taxa de filtração <math>\rightarrow 180</math> <math>\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}</math>;</p> <p>Tempo=21 horas <math>\rightarrow</math> Transpasse da turbidez;</p> <p>Perda de carga com 21 horas = 2,1 metros;</p>
	<p>Carvão antracito: <math>d_{10}=0,95\text{mm}</math>; <math>L=0,5\text{m}</math>; <math>CD=1,5</math>.</p> <p>Areia: <math>d_{10}=0,55\text{mm}</math>; <math>L=0,3\text{m}</math>; <math>CD=1,5</math></p> <p>Turbidez na entrada <math>\rightarrow 2,80</math> á <math>4,50</math> uT;</p> <p>Taxa de filtração <math>\rightarrow 200</math> <math>\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}</math>;</p> <p>Tempo=35 horas <math>\rightarrow</math> Turbidez água filtrada <math>&lt; 0,2</math> uT;</p> <p>Perda de carga com 35 horas = 1,6 metros</p>

**Tabela 2 – Filtro de camada simples X camada dupla – Fonte dos gráficos: Di Bernardo, 2005.**

### DA RELAÇÃO ENTRE A ESPESSURA E O TAMANHO MÉDIO DOS GRÃOS:

A Figura 2 apresentada abaixo mostra que quanto maior o tamanho do grão, maior deverá ser a espessura da camada filtrante. Para um diâmetro efetivo de 0,95mm (D10) e uma porosidade do leito de 0,45, por exemplo, a espessura do meio filtrante situa-se entre 0,8 á 0,9 m.

Ao mesmo tempo, observa-se que quanto menor o tamanho do grão menor é a espessura requerida do meio filtrante para uma mesma eficiência na remoção da turbidez. Entretanto a medida que o tamanho do grão diminui, a porosidade do leito também diminui e conseqüentemente o aumento na perda de carga durante a filtração é maior o que acarretará em menores carreiras de filtração.



Fonte: Livro Métodos e Técnicas de Tratamento de Água, Luiz Di Bernardo, 2005, volume 1, capítulo 10, pg. 621.

Segundo AWWA (1999), a relação entre a espessura do meio filtrante (em mm) e o diâmetro efetivo dos grãos (também em mm), pode ser utilizada para o dimensionamento dos filtros conforme descrito abaixo:

- $L/d \geq 1.000$  para camada simples de areia e dupla camada (areia/antracito);
- $L/d \geq 1.250$  para camada tripla (areia, antracito e granada);
- $1.250 \leq L/d \leq 1.500$  para camada única profunda ( $1,2 \text{ mm} \leq d \leq 1,50\text{mm}$ );
- $1.500 \leq L/d \leq 2.000$  para camada grosseira, única e profunda ( $1,5 \text{ mm} \leq d \leq 2,00\text{mm}$ ).

No trabalho recente de Brinck, (2009), foi avaliada a influência da profundidade do meio filtrante, para filtros de camada simples, compostos por carvão antracito ou areia, nos parâmetros relativos a filtração. Foi verificado também o comportamento do carvão antracito versus a areia a uma taxa de filtração de  $500\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ .

Ao comparar filtros de camada simples, compostos por carvão antracito, (F1 e F3), ambos com D10 igual a 1,3mm e altura da camada filtrante de 1,2 e 1,6m, respectivamente, com a camada simples de areia, (F2 e F4), também com D10 igual a 1,3mm e altura da camada de 1,2 e 1,6m; observou-se que o aumento da camada filtrante melhora a qualidade da água tratada com relação a turbidez. Os valores encontrados para a turbidez situaram-se entre 0,3 e 0,5NTU durante toda a carreira de filtração, a qual ficou em 40horas. A melhora na qualidade da água filtrada foi mais significativa para os filtros de antracito e quanto a configuração destas camadas filtrantes que foram utilizados valores de L/d entre 923 e 1231.

---

### DA COMPOSIÇÃO E DOS PARÂMETROS OPERACIONAIS SUGERIDOS PARA UM MEIO FILTRANTE DE CAMADA DUPLA:

PARÂMETROS	Areia	Carvão antracito
d10, mm:	0,40 – 0,60	0,90 – 1,10 ou 0,80 – 1,0
Coef. De Uniformid.:	1,40 – 1,60	≤ 1,40
Espessura, m:	0,25 – 0,35 (30 á 40% da camada)	0,60 – 0,70 (50 á 60% da camada)
Tamanho dos grãos, mm:	0,40 – 1,40	0,71 – 2,00
Esfericidade:	0,80	0,65
Porosidade:	0,35 – 0,45	0,45 – 0,50
Expansão do leito na lavagem, %:	Entre 20 á 40	
Velocidade de lavagem, m/min:	Entre 0,60 á 0,80	
Tempo de lavagem, minutos:	Entre 10 á 15	
Carga hidráulica disponível, m	Geralmente entre 2,5 á 3,5	
<b>Camada suporte</b>		
Tamanho dos grãos, mm:	25,4 – 19,0 15,9 – 9,6 6,4 – 3,2 2,4 – 1,4	
Espessura, m:	0,25 á 0,35	
Cada camada componente do meio suporte deve ser a mais uniforme possível. $d_{max}/d_{mín} = 2$ ; O diâmetro do menor grão da camada inferior do meio suporte deve ser cerca de 2 a 3 vezes o diâmetro do orifício do sistema de drenagem; O diâmetro do menor grão da camada superior do meio suporte deve ser cerca de 4,0 a 4,5 vezes o valor do diâmetro efetivo do material filtrante.		

**Tabela 3 - Composição do leito de camada dupla e parâmetros operacionais.**

- As **taxas máximas** de filtração a serem adotadas por filtros rápidos segundo norma.
  - a) Para filtros de camada simples: 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia;
  - b) Para filtros de camada dupla: 360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia.

## 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.