

## EXERCÍCIO 1

### 1.1 Enunciado

Para o atendimento de um setor urbano está sendo projetado um sistema de abastecimento de água que contém 01 captação de água superficial, 01 sistema elevatório, 01 estação de tratamento de água, 01 reservatório e 01 rede de distribuição de água, cuja representação esquemática está apresentada na Figura 4.1 no livro texto, a seguir reproduzida.

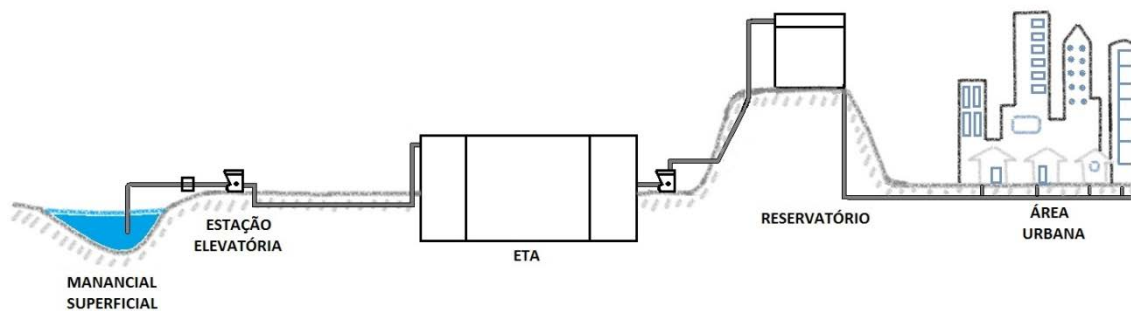


Figura 4.1: Concepção de um Sistema de Abastecimento de Água

A população a ser atendida em 2035 é de 41.000 habitantes e o consumo per capita efetivo de água previsto é na ordem de 225 l/hab.dia. Os valores adotados para os coeficientes de variação são  $K_1 = 1,2$  e  $K_2 = 1,5$ , e para as perdas de água na rede de distribuição e na ETA foram considerados valores na ordem de  $I = 35,0 \%$  e  $I_{eta} = 8,0 \%$ , respectivamente. Para este cenário atender as seguintes questões:

- estimar as vazões de projeto do sistema para 2035;
- avaliar se a vazão de outorga de 300 l/s atende a vazão prevista para a demanda;
- considerar a parametrização da Tabela 5.1 do livro texto e admitir que o tempo de banho de 12 minutos possa ser reduzido para 08 minutos, ação de conservação esta a partir da sensibilização do usuário. Assim, calcular qual o incremento de população que poderia ser atendido em relação àquela de 41000 habitantes prevista para 2035. Observar que o banho utiliza um chuveiro elétrico de 0,10 l/s
- considerar a parametrização da Tabela 5.1 do livro texto e admitir que a água cinza gerada no banho, após tratamento adequado, será utilizada na descarga

da bacia sanitária. Assim, calcular qual o incremento de população que poderia ser atendido em relação àquela de 41000 habitantes prevista para 2035.

- e) admitir um conjunto de intervenções de uso racional da água na rede de distribuição com o objetivo de reduzir o respectivo índice de perda I de 35,0 para 25,0 % e estimar qual o incremento de população que poderia ser atendido em relação àquela de 41000 habitantes prevista para 2035.

## 1.2 Resolução

Resolução desenvolvida com base no conteúdo dos itens 4.1 Sistemas de Abastecimento de Água e 5.1 Sistemas de Abastecimento de Água (Abordagem Sustentável) do livro texto.

- a) As vazões estimadas estão apresentadas na tabela a seguir:

Tabela de resultados

Variável	Equação	Estimativa
Consumo per capita total (L/hab.dia)	$q_t = \frac{q_e}{(1 - I)}$	346,15
Vazão média diária do ano (L/s)	$Q1 = P \cdot q_t / 86400$	164,26
Vazão entre o reservatório e rede (L/s)	$Q2 = K_1 \cdot K_2 \cdot Q / 86400$	295,67
Vazão entre a ETA e o reservatório (L/s)	$Q1 = K_1 \cdot Q / 86400$	197,11
Vazão de captação (L/s)	$Q1' = \frac{Q1}{(1 - Ieta)}$	214,25

- b) Conforme a Tabela de Resultados a vazão de captação Q1' é de 214,25 L/s, logo inferior a 300 L/s.
- c) A Tabela 5.1, a qual adaptada para a resolução deste exercício, apresenta a seguinte parametrização, conforme segue:

**Adaptação da Tabela 5.1: Parametrização do consumo ( $q_e = 225$  l/hab.dia)**

<b>Aparelho Sanitário</b>	<b>% *</b>	<b>Consumo per capita por aparelho (l/hab.dia)</b>
Bacia	28	63
Chuveiro	32	72
Pia de Cozinha	15	33,75
Máquina de Lavar Roupa	08	18
Lavatório	07	15,75
Torneira de Jardim	05	11,25

\* O somatório desta coluna totaliza 95,0 % do consumo per capita efetivo. Os demais 5,0 % (11,25 l/hab.dia) são admitidos referentes às perdas físicas no SPAF.

O banho de 12 minutos corresponde a um consumo de 72,00 L/hab.dia. No entanto, o banho de 08 minutos corresponde a um consumo de 48,00 L/hab.dia, significando uma redução de 24,00 L/hab.dia. Desta forma, o consumo per capita efetivo reduzido  $q_e$  é igual a 201,00 L/hab.dia. Já o consumo per capita total reduzido  $q_{tr}$ , para  $I = 35,00$  %, é igual a 309,23 L/hab.d. Para este  $q_{tr}$  e para  $Q2 = 295,67$  L/s, a população a ser atendida seria de 45.895 habitantes, o que corresponde a um acréscimo de 4.895 habitantes em relação à população de 41.000 habitantes.

- d) Dado que a bacia sanitária utilizará água cinza tratada ao invés da água potável, o consumo per capita efetivo reduzido  $q_e$  será 225,00 L/hab.dia – 63,00 L/hab.d = 162,00 L/hab.d. Já o consumo per capita total reduzido  $q_{tr}$ , para  $I = 35,00$  %, é igual a 249,23 L/hab.d. Para este  $q_{tr}$  e para  $Q2 = 295,67$  L/s, a população a ser atendida seria de 48.085 habitantes, o que corresponde a um acréscimo de 7.085 habitantes em relação à população de 41.000 habitantes.
- e) Quando o índice de perdas na rede  $I$  é reduzido de 35,00 para 25,00 % o valor do consumo per capita total reduzido  $q_{tr}$  é 300 L/hab.dia. Desta forma, considerando a vazão  $Q2$  de 295,67 L/s, a população a ser atendida passa para 47.307 habitantes. O acréscimo é de 6.307 habitantes.

Observando os resultados apresentados nos itens “c”, “d” e “e” constata-se que medidas como a sensibilização no uso da água, a utilização de água cinza e redução das perdas físicas de água nas redes de distribuição possibilitam o aumento significativo de pessoas atendidas por água potável sem expansão do sistema.

## **EXERCÍCIO 2**

### **3.1 Enunciado**

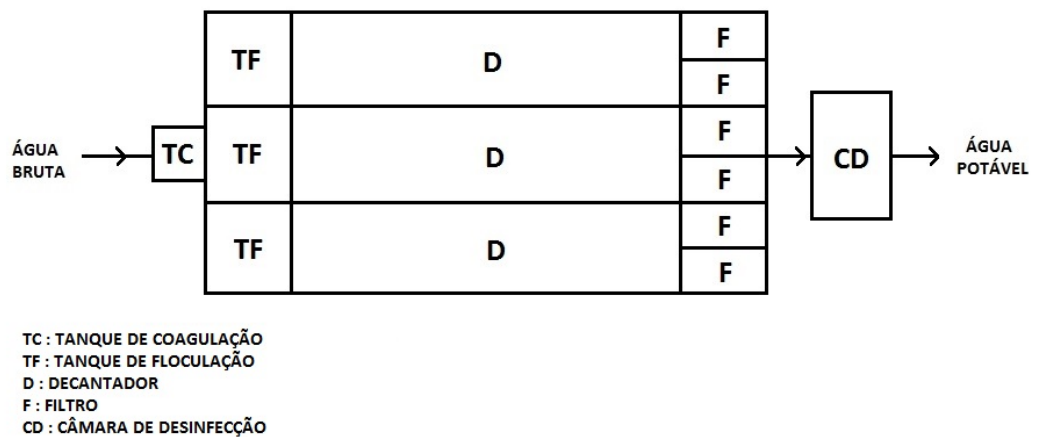
Uma estação convencional de tratamento de água (ETA) deverá tratar a vazão captada de 50,00 L/s. Desta forma, atender:

- a) Conceber e dimensionar as unidades de coagulação mecânica, floculação mecânica, sedimentação, filtração rápida e desinfecção por cloro. Admitir que para a água a ser tratada o pH é 7,00 e a temperatura é 10°C;
- b) Estimar o índice de perdas de água na ETA (Ieta) para uma carreira de filtração de 12,00 h. Admite-se que estas perdas ocorram basicamente em função da lavagem dos filtros rápidos;
- c) Para o Ieta estimando, qual a população atendida pela vazão de captação dado que, em média, o consumo diário per capita total é de 200 L/hab.dia e que o coeficiente do dia de maior consumo K1 é 1,2?
- d) Caso o Ieta seja reduzido em 50,00 %, qual o incremento de população que poderia ser atendido em relação àquela de 41000 habitantes prevista para 2035?

### **3.2 Resolução**

Resolução desenvolvida com base no conteúdo dos itens 4.1.6 Tratamento de Água e 5.1 Sistemas de Abastecimento de Água (Abordagem Sustentável) do livro texto.

- a) A Figura 4.4 apresenta a concepção da ETA.



**Figura 4.4 Configuração convencional de uma ETA**

O dimensionamento segue as equações apresentadas no item **4.1.6 Tratamento de Água** do livro texto. Para a **unidade de coagulação** foi adotado um tanque de mistura rápida com um agitador de eixo vertical cujos critérios de projeto são os seguintes:

Tempo de mistura rápida na coagulação:  $T_c = 20 \text{ s}$

Gradiente de mistura rápida:  $G = 1.000 \text{ s}^{-1}$

As estimativas do volume do tanque  $V$  e da potência  $P$  do misturador são apresentadas a seguir:

$$V = 0,05 \times 20 = 1 \text{ m}^3$$

$$P = (\mu V G^2) / 75 = (1,029 \times 10^{-4} \times 1 \times 1.000^2) / 75 = (102,9) / 75 = 1,37 \sim 1,5 \text{ CV}$$

Para a **unidade de decantação** os critérios de projeto são os seguintes:

Tempo de mistura lenta na floculação:  $T_f = 30 \text{ min}$

Decantadores: 03

Floculadores por decantador: 01

Tempo de decantação:  $T_d = 3,00 \text{ h}$

Taxa de escoamento superficial:  $TES = 30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$

Relação comprimento/largura = 4

P/ Potência dos Agitadores:  $G = 111 \text{ s}^{-1}$

Sendo o decantador do modelo convencional a Figura 4.5 do livro texto, a seguir reproduzida, apresenta as componentes da velocidade de sedimentação discreta de uma dada partícula.

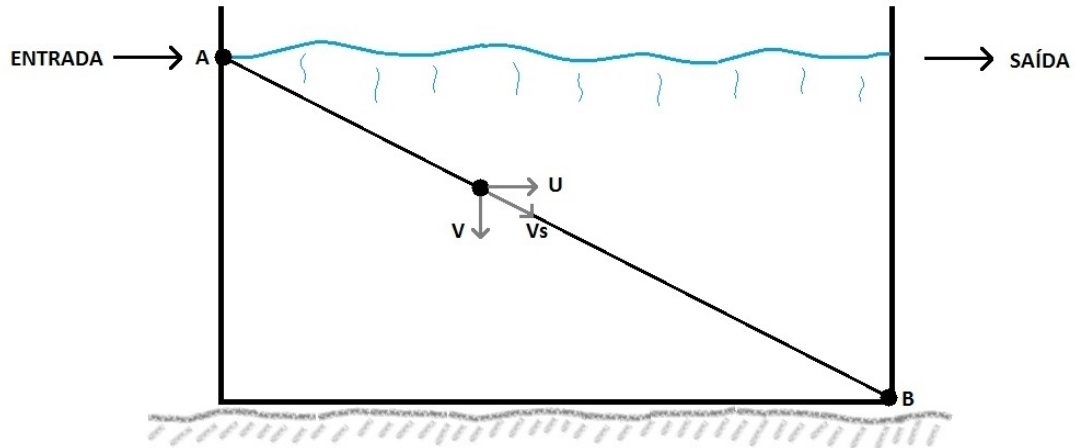


Figura 4.5: Perfil de um decantador horizontal

Desta forma, as estimativas são as seguintes:

Área total de decantação:  $A_t = \text{vazão} / \text{taxa de escoamento superficial}$ ;

$$A = (0,05 \times 86.400) / 30 = 144 \text{ m}^2$$

$$\text{Área por decantador: } A = 48 \text{ m}^2$$

Volume por decantador:  $V = (\text{vazão} \times \text{tempo de decantação}) / n^\circ \text{ decantadores}$

$$V = (0,05 \times 3600 \times 3) / 3 = 180 \text{ m}^3$$

Profundidade útil:  $H = \text{volume do decantador} / \text{área do decantador}$

$$H = 3,75 \text{ m}$$

Relação (comprimento / largura) = 4

Sistema de equações para estimar o comprimento C e largura L do decantador:

$$C / L = 4 ; C \times L = 48 \text{ m}^2$$

$$L = 3,40 \text{ m} ; C = 13,60 \text{ m}$$

As velocidades U e V são as seguintes:

$$U = Q / Ah = 0,05 / (3 \times 3,40 \times 3,75) = 0,0013 \text{ m/s} = 0,13 \text{ cm/s}$$

$$V = Q / Av = 0,05 / (3 \times 3,40 \times 13,60) = 0,0004 \text{ m/s} \approx 30 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}, \text{ que é a própria}$$

TES.

As estimativas para o **floculador** mecânico são as seguintes:

$$\text{Volume total de floculação: } V_t = 0,05 \times 30 \times 60 = 90 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume por floculador: } V = V_t / 3 = 30,0 \text{ m}^3$$

Altura útil do floculador a ser determinado em função da profundidade útil do decantador. Adota-se portanto a profundidade útil de 3,50 m;

$$\text{Area do floculador} = \text{volume} / \text{profundidade útil} ; A = 30,0 / 3,5 = 8,57 \text{ m}^2$$

$$\text{Potência dos agitadores (útil): } P = (\mu V G^2) / 75 = (1,029 \times 10^{-4} \times 30,0 \times 111^2) / 75 = 0,51 \text{ CV}$$

Para a **unidade de filtração** é admitida a taxa de filtração  $T_f$  igual a  $150 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{dia}$ . Logo, a estimativa da área de filtração é a seguinte:

$$\text{Área por filtro: } A = (0,05 \times 86400) / 150 \times 6 = 4,8 \text{ m}^2$$

A **unidade de desinfecção** consta de um tanque para o contato entre a água e o cloro. Em termos de projeto, o C.t requerido para 0,5 log de inativação da *Giárdia*, de acordo com a literatura, é  $19,0 \text{ mg/L} \cdot \text{min}$ . Considerando que o tempo de contato  $t_c$  é de 56 minutos. Assim, a concentração de cloro livre requerido no reservatório para promover a desinfecção é a seguinte:

$$C = \text{quantidade de cloro (mg/L} \cdot \text{min)} / \text{tempo de contato (min)}$$

$$C = (19 \text{ mg/L} \cdot \text{min}) / (56 \text{ min})$$

$$C = 0,34 \text{ mg/L de cloro livre.}$$

Todavia, observar que esta concentração estimada é aquela necessária para promover a desinfecção no tanque. Faz-se necessário ainda prever a concentração *break-point* que será tornada inerte, além da concentração livre que deve ser prevista para a rede de distribuição com a finalidade de manter a água protegida contra agentes patogênicos. É importante observar também que são necessários tratamentos complementares como a correção do pH e a fluoretação.

O volume do tanque de desinfecção  $V_d$  é a seguir estimado:

$$V_d = 0,05 \times 56 \times 60 = 168 \text{ m}^3$$

b) Para a estimativa do Ieta têm-se os seguintes critérios:

Taxa de lavagem  $Tl = 12,0 \text{ L/s} \cdot \text{m}^2$  de filtro;

Carreira de filtração: 12 horas

Tempo de lavagem  $t_l = 5,0 \text{ min}$

Dado isto, as estimativas são as que seguem:

Vazão de lavagem  $Ql = A \cdot Tf$

$Ql = 4,8 \times 12 = 57,60 \text{ l/s / filtro}$

Volume de lavagem  $Vl / \text{filtro} = t_l \times Ql$

Volume de lavagem  $Vl / \text{filtro} = 5 \times 60 \times 0,0576 = 17,28 \text{ m}^3 / \text{filtro}$

Volume de lavagem por dia  $V_{tl} = 17,28 \cdot 2 \cdot 6 = 207,36 \text{ m}^3 / \text{dia}$

Índice de perdas na ETA Ieta =  $V_{tl} / Q = (207,36 / 4320) \text{ m}^3 / \text{dia} = 4,8 \%$

c) Para os dados apresentados, com base na vazão de captação a população é estimada na ordem de 17.136 habitantes.

d) Cabe observar que estão previstas melhorias na operação das unidades de coagulação, floculação e decantação no sentido de aumentar a carreira de filtração para 24 horas. Para tanto, tem-se:

Volume de lavagem por dia  $V_{tl} = 17,28 \cdot 1 \cdot 6 = 103,68 \text{ m}^3 / \text{dia}$

Índice reduzido de perdas na ETA Ietar =  $V_{tl} / Q = (103,68 / 4320) \text{ m}^3 / \text{dia} = 2,4 \%$

População atendida para Ietar e para  $Q$  de 50 L/s:  $Pr = 17.568$  habitantes

Acréscimo de população:  $\Delta P = 17.568 - 17.136 = 432$  habitantes.

Ou seja, neste cenário a mudança da carreira de infiltração possibilita aumentar em aproximadamente 2,50 % a população a ser atendida por dia.



## EXERCÍCIO 3

### 3.1 Enunciado

Para um dado município foi concebido um sistema de esgotamento sanitário composto por rede coletora, tratamento e disposição final. Os respectivos dados caracterizadores são apresentados na sequência. Com estes dados, atender:

a) estimar as vazões de contribuição e as cargas orgânicas, em termos de DBO, do esgoto. Os dados caracterizadores são apresentados na sequência.

População Inicial:  $P_i = 10.715$  hab.

População Final:  $P_f = 14.400$  hab.

Consumo de Água Efetivo Per Capita:  $q_e = 100$  L/hab. dia

Coefficiente de Retorno:  $C = 0,8$

Coefficiente  $K_1 = 1,2$

Coefficiente  $K_2 = 1,5$

Taxa de Contribuição de Infiltração Inicial:  $T_{Ii} = 0,1$  L/s.Km

Taxa de Contribuição de Infiltração Final:  $T_{If} = 0,1$  L/s.Km

Contribuição Singular:  $Q_{Si} = 5,0$  L/s ;  $Q_{Sf} = 5,0$  L/s

Extensão da Rede Coletora Inicial:  $L_i = 10$  Km

Extensão da Rede Coletora Final:  $L_f = 10$  Km

DBO do Esgoto Doméstico:  $DBO = 250$  mg/L

DBO do Esgoto Industrial:  $DBO = 1000$  mg/L

DBO da Água de Infiltração:  $DBO = 10$  mg/L

b) Considerar uma intervenção de utilização de água cinza no município de maneira que nas edificações as bacias sanitárias sejam atendidas por água cinza tratada. Esta intervenção também prevê que o coeficiente de retorno  $C$  será reduzido de 80 para 50 % e que a DBO do esgoto doméstico aumentará de 250 para 300 mg/L. Neste contexto, estimar a DBO do esgoto bruto para este cenário.

### 3.2 Resolução

Estas estimativas seguem as equações apresentadas nos itens 4.3.2 Caracterização do Esgoto e 5.2.2.2 Fontes Alternativas – Água Cinza do livro texto.

a) Vazões e Cargas de DBO

Faz-se necessário estimar a Q média de final de plano, conforme equação a seguir:

$$Q_{\text{fmed}} = QD + QI + QS \text{ para final de plano,}$$

Logo,

$$QD = \frac{14.400 \times 100 \times 0,8}{86.400} = 13,33 \text{ l/s} = 1.152 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$QI = TI \times L_f = 0,1 \times 10 = 1,0 \text{ l/s} = 86,4 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$QS = 5,0 \text{ l/s} = 432 \text{ m}^3/\text{d}$$

Estimando, portanto, a vazão  $Q_{\text{fmed}}$ , obtém-se:

$$Q_{\text{fmed}} = (P \cdot q_e \cdot C / 86400) + (TI \cdot L_f) + QS ; \quad Q_{\text{f med}} = 19,33 \text{ L/s}$$

As cargas de DBO são as seguintes:

$$C_{\text{DBO/D}} = \frac{250 \text{ mg/L} \times 1152 \text{ m}^3/\text{d}}{1000} = 288 \text{ kg.DBO/d}$$

$$C_{\text{DBO/I}} = \frac{10 \text{ mg/L} \times 86,4 \text{ m}^3/\text{d}}{1000} = 0,86 \text{ kg.DBO/d}$$

$$C_{\text{DBO/S}} = \frac{1000 \text{ mg/L} \times 432 \text{ m}^3/\text{d}}{1000} = 432 \text{ kg.DBO/d}$$

A carga de DBO total é a seguinte:

$$C_{\text{DBO/ES}} = C_{\text{DBO/D}} + C_{\text{DBO/I}} + C_{\text{DBO/S}} = 720,86 \text{ kg.DBO/d}$$

Logo, a DBO/ES é dada por:

$$\text{DBO/ES (mg/L)} = 1000 \cdot C_{\text{DBO}} / Q_{\text{fmed}} \quad ; \quad C_{\text{DBO}} : \text{kg}_{\text{DBO}} / \text{dia} \quad ; \quad Q_{\text{fmed}} : \text{m}^3 / \text{dia},$$

$$\text{DBO/ES (mg/L)} = \frac{1000 \times (288 + 0,86 + 432)}{1152 + 86,4 + 432} = \frac{720,86}{1670,4} = 431,55 \text{mg/L}$$

sendo DBO/ES a DBO do esgoto bruto que contém as parcelas de esgoto doméstico, do esgoto industrial e da infiltração.

a) Recorrendo-se às equações do item “a”, seguem as estimativas:

$$QD = \frac{14.400 \times 100 \times 0,5}{86.400} = 8,33 \text{ l/s} = 720 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$C_{\text{DBO/D}} = \frac{300 \text{ mg/L} \times 1152 \text{ m}^3/\text{d}}{1000} = 216 \text{ kg.DBO/d}$$

$$\text{DBO/ES (mg/L)} = \frac{1000 \times (216 + 0,86 + 432)}{720 + 86,4 + 432} = \frac{720,86}{1670,4} = 178,60 \text{ mg/L}$$

Portanto, neste cenário a utilização de água cinza nas bacias sanitárias reduz a DBO efluente da edificação. Há de ser considerado, no entanto, os efeitos desta redução no desempenho das estações de tratamento de esgoto.

## EXERCÍCIO 4

### 4.1 Enunciado

O efluente de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) é lançado em um rio, causando um déficit de oxigênio dissolvido (OD) neste último. Os parâmetros representativos deste cenário são os seguintes:

efluente (e) da ETE:  $Q_e = 400 \text{ L/s}$      $OD_e = 2,5 \text{ mg/L}$

rio (r):  $Q_r = 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$      $OD_r = 9,2 \text{ mg/L}$     Velocidade =  $0,2 \text{ m/s}$

Resolução 357 CONAMA:    Classe 02 ( $OD_{\min} = 5,0 \text{ mg/L}$ )

Considerando que o déficit crítico de OD ( $DO_c$ ) no rio irá se estabelecer a 80,00 Km do ponto de lançamento de esgoto no mesmo, determinar:

- O OD da mistura ( $OD_m$ ) no ponto de lançamento;
- O déficit inicial de OD ( $DO_i$ ) no ponto de lançamento;
- O valor de OD crítico ( $OD_c$ ) no ponto crítico de OD que se estabelece à jusante do ponto de mistura. Observar que o déficit de OD no ponto crítico é de  $4,8 \text{ mg/L}$ . Caso a Resolução 357 do CONAMA não seja atendida, qual a solução cabível para atendê-la?
- em quantos dias, após o lançamento do esgoto, é que se estabelece o déficit crítico de OD?

### 4.2 Resolução

Resolução desenvolvida com base no conteúdo do **3.4.1.1 Água** do livro texto.

- Considerando a equação das misturas aplicada para o OD, a qual,

$$OD_m = (OD_e \cdot Q_e + OD_r \cdot Q_r) / (Q_e + Q_r) ,$$

para ODm em mg/L e Q em L/s.

Logo, o ODm é 8,41 mg/l.

b) O déficit inicial de OD (DOi) no ponto de lançamento é pela expressão

$$DOi = ODr - ODm,$$

cujo resultado é 0,79 mg/l.

c) O valor de ODmin que se estabelece à jusante do ponto de mistura é dado pela seguinte expressão:

$$ODc = ODr - Doc ;$$

Assim,  $ODc = 4,40$  mg/l. Dado que a Resolução 357 do CONAMA expressa que o ODmin de um rio Classe 02 é de 5,0 mg/l, o valor de ODc não atende o exigido. Desta forma, o tratamento de esgoto deverá ter uma eficiência maior que a prevista em termos de remoção de matéria orgânica para que ODe seja superior a 2,5 mg/l.

d) Dados os valores de velocidade do rio e de distância crítica de 80,00 Km, o tempo crítico estimado é de 4,63 dias.

## EXERCÍCIO 5

### 5.1 Enunciado

Seja um cenário cujos dados são os seguintes:

OD rio = 6,0 mg / L ; Q rio = 300 L / s ; OD esgoto = 0,5 mg / L.

Desta forma, atender:

- a) Calcular a vazão máxima de esgoto a ser lançada no rio de maneira que o limite mínimo de oxigênio dissolvido de 4,0 mg / L, conforme Classe 03 da Resolução 357 do CONAMA, seja atendido no ponto de mistura;
- b) No entanto, se em alguma situação esta vazão máxima for ultrapassada em 80 L/s, qual o valor de oxigênio dissolvido no ponto de mistura?

### 5.2 Respostas

Resolução desenvolvida com base no conteúdo do item **3.4.1.1 Água** do livro texto.

- a) Vazão máxima de esgoto;  $Q_e = 171,43 \text{ l/s}$  ;
- b) OD no ponto de mistura para a vazão máxima de esgoto acrescida em 80 L/s:  
OD = 3,5 mg/L, valor este inferior ao necessário para a Classe 03.

Por estes resultados é importantíssimo observar o quanto é importante controlar as vazões de esgoto lançadas nos corpos hídricos de maneira a garantir as concentrações mínimas necessárias de OD.

## **EXERCÍCIO 6**

### **6.1 Enunciado**

Os trabalhos de concepção de um sistema centralizado de tratamento de esgoto sanitário para um pequeno município estão em andamento. Em tal município há apreciável disponibilidade de área, todavia o solo apresenta baixa permeabilidade. A temperatura média anual é de 20 °C e a temperatura média o mês mais frio é de 11°C. Os requisitos ambientais a serem atendidos são amplos decorrendo que o sistema em questão a ser implantado deva ser completo. No entanto há dúvidas quanto ao sistema a ser concebido. Assim, de forma a colaborar para estes trabalhos de concepção, propor um sistema centralizado de tratamento de esgoto sanitário que atenda tais condições e justificar a proposta.

### **7.2 Diretrizes para Discussão**

O fato de haver grandes áreas disponíveis possibilita o uso de lagoas. No entanto, as temperaturas de inverno deverão comprometer o desempenho das mesmas. Por outro lado, apesar dos sistemas de lodos ativados apresentarem satisfatórias eficiências para remover matéria orgânica, os mesmos podem ser inviáveis economicamente para pequenos municípios em função dos custos de implantação e de operação, este último fortemente atrelado ao consumo de energia. Outro ponto de destaque neste contexto é que são amplos os requisitos ambientais a serem atendidos. Logo o sistema deve ser completo, como solicitado, devendo ser prevista portanto a remoção de nutrientes e patógenos, isto é, deve conter tratamento terciário.

## **EXERCÍCIO 7**

### **7.1 Enunciado**

A Secretaria de Saneamento Ambiental de um dado município contratou uma empresa para elaborar projeto de um sistema de tratamento de esgoto sanitário. Dentro do prazo previsto, a empresa apresentou o projeto cuja configuração foi a seguinte sequência para remoção da matéria orgânica: tratamento preliminar → lagoa anaeróbia → reator anaeróbio de manto de lodo. Considere-se o(a) engenheiro(a) ambiental do município que irá analisar esta proposta e apresente seu parecer quanto a adequação técnica, ou não, da mesma. Justifique seu parecer.

### **7.2 Diretrizes para Discussão**

Nesta configuração observar que o reator anaeróbio receberia um esgoto sanitário pré-tratado pela lagoa anaeróbia à montante e, em consequência, com reduzida carga de matéria orgânica, condição esta que prejudicaria o bom desempenho deste reator. Portanto esta configuração não é adequada e deveria ser revista.



## **EXERCÍCIO 8**

### **8.1 Enunciado**

Dimensionar, com base na NBR 7229, um tanque séptico para tratar o esgoto de um sistema descentralizado. Este sistema atende uma região não servida por sistema centralizado de esgotamento sanitário. Na sequência, dimensionar um dispositivo de tratamento complementar do esgoto para a disposição do efluente do tanque séptico. Os dados caracterizadores são os seguintes:

- Considerar 05 pessoas por residência na área a ser atendida;
- Admitir 40 residências para a área atendida;
- Contribuição per Capita de Esgoto (C): apesar Tabela 01 da NBR 7229 apresentar este valor, podem ser utilizados valores específicos de  $q_e$  e C;
- Média do mês mais frio na região  $t = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Intervalo entre limpezas do tanque séptico é considerado de 01 ano;

Quanto às condições de contorno, observar:

- Terreno argiloso com baixa permeabilidade;
- Lençol freático com nível alto;
- Pequena área disponível para a construção do sistema de tratamento.

### **8.2 Resolução**

Estas estimativas seguem as equações apresentadas no item **4.3.4.2 Processos de Tratamento de Esgoto** do livro texto.

#### **8.2.1 Dimensionamento do Tanque Séptico**

O volume do taque é dado pela seguinte equação:

$$V = 1000 + N (C \cdot T + k \cdot L_f)$$

sendo,

V: volume útil, em litros;

N: número de pessoas ou unidades de contribuição;

C: contribuição per capita de esgoto:  $C = 100 \text{ L/hab.dia}$  (adotado para esta aplicação)

T: tempo de detenção, em dias:  $T = 12\text{h}$  (Tabela 02 da NBR 7229);

k: taxa de acumulação do lodo digerido, em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco:  $k = 65 \text{ d}$  (Tabela 03 da NBR 7229);

Lf: contribuição do lodo fresco:  $L_f = 1,0 \text{ L/hab.dia}$  (Tabela 01 da NBR 7229)

As estimativas são as seguintes:

A contribuição diária:  $200 \times 100 = 20.000 \text{ L/dia}$ ;

Volume =  $24.000 \text{ L} = 24,00 \text{ m}^3 = \text{volume útil}$ ;

Altura útil: Adotada altura  $H = 2,80\text{m}$  (Tabela 04 da NBR 7229);

Área  $A = V / H$  ;  $A = 8,57 \text{ m}^2$

Dimensões para tanque prismático:

Largura Mínima:  $0,80 \text{ m}$ ;

Relação comprimento/largura: máxima.  $4:1$  , mínima:  $2:1$ ;

Diâmetro Mínimo:  $1,10 \text{ m}$ ;

$C \times L = A = 8,57$  ;  $C/L$  varia de  $2,0$  a  $4,0$  ;

Adota-se  $C/L = 4,0$  ;  $4L \times L = 8,57$  ;  $L = 1,46 \text{ m}$  ;  $C = 5,87 \text{ m}$

Dimensões para tanque circular:

$D \leq 2H$  ;  $A = 8,57 = \pi \times R^2$  ;  $R = 1,65\text{m}$  ;  $D = 3,3 \text{ m} < 5,6 \text{ m}$ ; confere !

## 8.2.2 Dimensionamento do Tratamento Complementar

O tratamento complementar previsto é o filtro anaeróbio para a remoção da matéria orgânica seguido de um filtro de areia para desinfecção.

### Filtro Anaeróbio

Dadas esta configuração e estas condições de contorno optou-se pela instalação de um filtro anaeróbio pelo fato de garantir proteção ao lençol freático, além de ocupar menor área em relação a vala de filtração, esta também uma alternativa que protege o lençol.

$$\text{Volume: } V = 1,6 \cdot N \cdot C \cdot T$$

$$\text{Área: } A = V / H$$

V: volume útil, em litros;

N: número de pessoas ou unidades de contribuição;

C: contribuição per capita de esgoto, em L / pessoa .dia;

T: tempo de detenção, em dias; (tabela 02)

$$T_d = 0,5 \text{ d} \quad ; \quad C = 100 \text{ L / hab.dia} \quad ; \quad N = 200 \text{ pessoas}$$

$$V = 1,6 \times N \times C \times T_d \quad ; \quad V = 1,6 \times 200 \times 100 \times 0,5 \quad ; \quad V = 16.000 \text{ L} = 16 \text{ m}^3$$

$$A = 16 / 1,8 = 8,9 \text{ m}^2 \quad ; \quad 8,9 \text{ m}^2 = \pi \times R^2 \quad ; \quad D = 3,37 \text{ m}$$

### **Filtro de Areia**

Adotando  $TF = 0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  para tratamento intermitente de esgoto, conforme literatura:

$$\text{Sendo } TF = Q / A;$$

$$A = \frac{20}{0,2} = 100,00 \text{ m}^2$$

## EXERCÍCIO 9

### 9.1 Enunciado

Considere uma cidade com as seguintes características de ocupação de solo:

Tipo de Superfície	A (Km <sup>2</sup> )	C (%)
Centro Comercial	0,1000	90
Terrenos sem construção	0,0125	15
Habitações urbanas	0,3375	45
Habitações suburbanas	0,3500	30
	$A_{total}: 0,8 \text{ Km}^2$	

Para este contexto, atender:

- Sendo A a área de captação, C o coeficiente de *runoff* e I a intensidade pluviométrica específica, cujo valor é  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{ha}$ , estime a vazão de drenagem para esta área. A vazão estimada supera a vazão limite para que não ocorra enchente, a qual é de  $15,00 \text{ m}^3/\text{s}$ ?
- Caso supere, sem alterar a área de captação, estime o novo valor de C cuja vazão igual a limite supracitada. Para obter este novo valor de C quais as medidas de drenagem sustentável possíveis?

### 9.2 Resolução

A resolução destas questões embasa-se no conteúdo do itens **4.6 Microdrenagem** e **5.4 Sistema de Drenagem Urbana Sustentável** do livro texto. Desta forma, os resultados são apresentados na sequência.

- a) Pela média ponderada para estimar os valores de  $C$  obtém-se  $C = 0,436$ . Pela equação  $Q = C \cdot i \cdot A$  estima-se  $Q = 17,44 \text{ m}^3/\text{s}$ , a qual supera o valor limite de  $15,00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- b) Para  $C$  estima-se o valor de  $0,375$ . Com base na filosofia dos *SuDS* este valor pode ser obtido pela aplicação de medidas como a utilização de pavimentos permeáveis, de *filterstrips*, de reservatórios de detenção nos lotes, de sistemas prediais de aproveitamento da água da chuva, de sistemas de retenção em parques públicos, etc.

## EXERCÍCIO 10

### 10.1 Enunciado

Em um prédio de 12 andares uma coluna de água fria atende os banheiros cujos aparelhos sanitários instalados são 01 lavatório, 01 bidê, 01 chuveiro, 01 banheira e 01 bacia sanitária com caixa de descarga. A população da edificação é de 96 moradores e o consumo per capita diário que é de 200 L/hab.dia. Observar ainda que o trecho da coluna de água fria que atende os 12 banheiros tem um diâmetro de 1,00”.

- a) O dimensionamento está correto da coluna de água fria está correto?
- b) Para a estimativa da vazão projeto para o dimensionamento da rede de distribuição dos sistemas prediais, compare o Método dos Pesos com o Método da Binomial quanto às aplicações práticas. Qual a principal vantagem comparativa de cada método?
- c) Estimar a potência elétrica consumida em conjunto motobomba projetado para a edificação residencial em questão, cujos dados específicos são os seguintes:

Altura de Recalque: 40,00 m;

Altura de Sucção: 2,00 m;

Diâmetro de Recalque: 50 mm;

Diâmetro de Sucção: 63 mm;

Perdas de Carga no Recalque: 6,50 m

Perdas de Carga na Sucção: 0,95 m

Tempo de Funcionamento da Bomba: 5,0 horas

- d) Caso ocorram medidas de conservação de água na edificação e o que seja reduzido para 170 L/hab.dia, qual a economia mensal no consumo de energia elétrica do conjunto motobomba?

## 10.2 Resolução

Resolução desenvolvida com base no conteúdo dos itens **4.2.1 SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA FRIA** e **5.2.1 CONSERVAÇÃO DA ÁGUA - EDIFICAÇÕES** do livro texto.

a) Somatório dos pesos por banheiro = 1,8 conforme NBR 5226;

Somatório dos pesos para 12 banheiros = 21,60 ;

$Q = 0,3 (21,60)^{0,5} = 1,39 \text{ L/s} ; 0,0014 \text{ m}^3/\text{s} ;$

$V = 3,0 \text{ m/s} ;$

$D = 0,0244 \text{ m} = 24,38 \text{ mm} \approx 1,0''$  com base no diâmetro nominal. Portanto, atende.

b) Pela distribuição binomial é possível estimar a vazão de projeto a partir da definição da duração **t** da descarga e do tempo **T** que é o tempo entre duas descargas. Com estas variáveis é possível estimar a probabilidade **p** de um aparelho sanitário estar funcionando, que é dada pela relação **t/T**. A partir desta probabilidade **p** é possível, pela distribuição binomial, estimar probabilisticamente quantos aparelhos **m** estarão em funcionamento entre **n** instalados. Desta forma a partir de **m** e da vazão específica **q** do tipo de aparelho sanitário é possível estimar a vazão de projeto **Q** pela expressão **Q = m x q**.

Neste método, portanto, o projetista tem a flexibilidade de definição dos valores **t** e **T** para estimar a vazão de projeto, particularidade esta que pode redundar em maior precisão na estimativa da vazão. Todavia, a dificuldade deste método é exatamente a definição dos valores de **t** e **T**.

O método dos pesos, por sua vez, não apresenta esta flexibilidade pois os pesos utilizados para a estimativa da vazão são tabelados. Considerando a dinâmica das inovações tecnológicas referentes aos aparelhos sanitários, muitos desses são lançados no mercado cujos pesos são desconhecidos. Assim, estabelece-se um importante fator de imprecisão. Por outro lado é um método mais prático que não requer o estabelecimento de variáveis com **t**, **T** e **q**.

c) As estimativas são as seguintes:

$$P = (9,8 \times H_{man} \times Q_r) / \eta,$$

sendo P a potência em KW, H<sub>man</sub> a altura manométrica da água em mca,  $\eta$  o rendimento do conjunto motobomba (adotar 50%).

A vazão de recalque Q<sub>r</sub>, em m<sup>3</sup>/s, é estimada pela expressão  $Q_r = C_d / t$ , sendo C<sub>d</sub> o consumo diário na edificação, o qual estimado pela equação  $C_d = N \times q_e$ , e t o tempo de funcionamento da bomba em horas. Assim,

$$C_d = 200 \times 96 = 19.200 \text{ L/d} ; 19,20 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_r = 19,20 \text{ m}^3 \cdot 24 \text{ h} / 5,0 \text{ h} = 92,16 \text{ m}^3 / \text{d} = 0,0011 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{man} = 49,45 \text{ mca}$$

$$P = 1,07 \text{ KW}$$

$$E = P \times t = 5,35 \text{ KWh} / \text{d}$$

$$E_{mensal} = 5,35 \text{ KWh} / \text{d} \times 30 \text{ d} = 160,5 \text{ KWh/mês}$$

d) As estimativas são as seguintes:

$$C_d = 170 \times 96 = 16.320 \text{ L/d} ; 16,32 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_r = 16,32 \text{ m}^3 \cdot 24 \text{ h} / 5,0 \text{ h} = 78,34 \text{ m}^3 / \text{d} = 0,0009 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{man} = 49,45 \text{ mca}$$

$$P = 0,87 \text{ KW}$$

$$E = P \times t = 4,36 \text{ KWh} / \text{d}$$

$$E_{mensal} = 4,36 \text{ KWh} / \text{d} \times 30 \text{ d} = 130,8 \text{ KWh/mês}$$

$$\text{Economia Mensal de Energia} = 160,5 - 130,8 = 29,7 \text{ KWh/mês}$$



## EXERCÍCIO 11

### 11.1 Enunciado

Uma edificação residencial multifamiliar contém 10 andares, 02 apartamentos por andar, e 04 moradores em média por apartamento. A cobertura desta edificação é composta por um telhado de área A de 250 m<sup>2</sup>. Quanto aos dados hidrológicos da região da edificação, a precipitação média local P é de aproximadamente 2000 mm / ano e o número de dias sem chuvas N é na ordem de 10 dias. Para esta edificação atender:

- a) Estimar o volume de reservação de aproveitamento de água da chuva pelos métodos Inglês, Alemão, Azevedo Netto e Número de Dias sem Chuva. Para tanto, admitir que cada morador utiliza a bacia sanitária, de 06 litros por descarga, 02 vezes por dia. Admitir também que o fator  $\eta$  (percentual de aproveitamento da água captada que é função do descarte da “1ª água” e de outras perdas de água) é de 90,00 %.
- b) Após as estimativas definir o volume do reservatório e justificar a resposta;
- c) A medida de utilização de água da chuva nas edificações, além de ser uma fonte alternativa de água, também pode contribuir para reduzir as vazões de escoamento superficial decorrentes das chuvas intensas e, por consequência, reduzir os riscos de alagamentos em áreas urbanas?

### 11.2 Resolução

Resolução desenvolvida com base no conteúdo do item **5.2.2.2 FONTES ALTERNATIVAS - Aproveitamento da água da chuva** do livro texto.

- a) As estimativas são as seguintes:

**Método Inglês:**  $V = 0,05 \cdot P \cdot A \cdot \eta$

$$V = 0,05 \times 2000 \times 250 \times 0,9 = 22.500 \text{ L} \quad ;$$

$$V = 22,50 \text{ m}^3$$

**Método Alemão:**  $V_{\text{ADOTADO}} = \text{Mínimo} ( V \text{ ou } D) \times 0,06 \times \eta$  sendo,

V: volume de água da chuva captado ao ano

D: demanda anual de água da chuva para uso não potável.

As estimativas são as seguintes:

$$V = 2000 \times 250 \times 0,9 = 450 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$D = 10 \text{ andares} \times 2 \text{ apt./andar} \times 4 \text{ moradores} \times 2 \text{ descargas/ d} \times 6,0 \text{ L/desc.} \times 365 \text{ d} = 350,40 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Como  $D < V$ ;  $V_{\text{MÍNIMO}} = 350,40 \text{ m}^3/\text{ano}$  ;

$$V_{\text{ADOTADO}} = 350,40 \times 0,06 = 21,02 \text{ m}^3$$

**Azevedo Neto:**  $V = 0,042 \times P \times A \times T$  sendo,

T = número de meses de reduzidas chuvas ou de seca;

Admitindo T = 2 meses tem-se,

$$V = 0,042 \times 2000 \times 250 * 2 = 42.000 \text{ L} = 42,00 \text{ m}^3$$

**Número Dias sem Chuvas:**  $V = D \times N$  sendo,

$$N = 10 \text{ dias}$$

D: demanda anual de água da chuva para uso não potável.

As estimativas são as seguintes:

$$D = 10 \text{ andares.} \times 2 \text{ apt./andar} \times 4 \text{ moradores} \times 2 \text{ descargas / d} \times 6,0 \text{ L/descarga} = 0,96 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$V = 0,96 \times 10 = 9,6 \text{ m}^3$$

- b) Neste caso opta-se pelo método do Número de Dias sem Chuvas por ter apresentado o menor volume admitindo-se que o valor de N seja produto de estudo estatístico das séries históricas de chuvas.
- c) Certamente reduz as vazões de escoamento superficial pois há um retardo no escoamento deste volume de água reservado caso seja utilizado para lavagem de pisos e há um desvio do escoamento superficial deste mesmo volume caso seja utilizado nas bacias sanitárias, que é o caso deste cenário.

## **EXERCÍCIO 12**

### **12.1 Enunciado**

Para um edifício de 12 andares com 250 pessoas, atender:

- a) Dimensionar um sistema de água cinza composto por um tanque séptico seguido de filtro biológico - decantador secundário e de filtro de areia. A contribuição per capita diária de água cinza é de 40,00 L/hab.dia. Considerar a concentração DBO da água cinza de 150 mg/L;
- b) Admitir as eficiências de remoção de DBO do tanque séptico e do filtro biológico e avalie se a DBO do efluente do filtro biológico é inferior ao valor limite de 10,00 mg/L preconizado pelo *Guidelines for Water Reuse* da USEPA para uso de água cinza tratada em finalidades urbanas. Adotar demais dados necessários observando que devem ser verossímeis;
- c) Qual a função do filtro de areia na configuração em questão? E, para tal função, o filtro de areia é suficiente para a distribuição segura da água cinza tratada para os pontos de consumo?
- d) Quais os cuidados necessários para evitar que haja conexão cruzada entre água potável e água cinza tratada nos sistemas prediais hidráulicos sanitários?

### **12.2 Resolução**

As estimativas são apresentadas a seguir conforme o item **5.2.2.2 FONTES ALTERNATIVAS - Água Cinza** do livro texto.

#### **a) Unidades de Tratamento**

##### **Tanque Séptico**

. Contribuição diária total (C'):  $C' = C \times n^{\circ}$  de pessoas ou habitantes na edificação.

$$C' = 40 \text{ L/hab.dia} \times 250 \text{ pessoas} = 10.000\text{L/dia} = 10\text{m}^3/\text{dia} = 0,12 \text{ L/s}$$

. Período de detenção (T): Tabela 2 NBR 7229.

$$T_d = 0,5 \text{ dia}$$

. Taxa de acumulação de lodo digerido (k): Tabela 3 NBR 7229.

$$k = 65$$

. Contribuição de lodo fresco ( $L_f$ ): TABELA 1 NBR 7229.

$$L_f = 1\text{L/hab.dia}$$

. Volume útil do tanque séptico:  $V = 1000 + N.(C.T + K.L_f)$

$$V = 1000 + 250(40 \times 0,5\text{dia} + 65 \times 1) = 22250\text{m}^3$$

## **Filtro Biológico**

Considere o filtro biológico sendo um tratamento secundário e trabalhe com uma TAH igual a  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  e uma altura de 1,5 m. Portanto,

Área  $A = Q / \text{TAH}$ , sendo A a área da seção transversal do filtro biológico.

$$A = \frac{10\text{m}^3/\text{dia}}{10\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}} = 1\text{m}$$

Diâmetro:  $D = 1,13 \text{ m}$

Verificar a COV de DBO.

$$\text{COV} = \frac{Q (\text{m}^3/\text{dia}) \times \text{DBO} (\text{mg/L})}{(1000 \times V)} = \frac{10 \times 90}{1000 \times 1,5} = 0,6 \text{ kg. DBO} / \text{m}^3.\text{dia}$$

Faixa recomenda: 0,6 a 1,8 kgDBO/m<sup>3</sup>.dia; OK!

## **Decantador Secundário**

$TES = Q / A_{DS}$  , sendo TES a Taxa de Escoamento Superficial e  $A_{DS}$  a área do decantador secundário.

O valor de TES encontra-se na faixa de 16 a 24  $m^3/m^2.dia$ , para vazão média de esgoto.

A área é  $A_{DS} = 10 / 16 = 0,63 m^2$ .

### **Filtro de Areia**

Adotando  $TF = 0,2 m^3/m^2.dia$  para tratamento intermitente de esgoto, conforme literatura:

Sendo  $TF = Q / A$ ;

$$A = \frac{10}{0,2} = 50,00 m^2$$

- b) Considerando que o tanque séptico tenha a eficiência de remoção de 50 %, o efluente do mesmo terá a DBO de 75,00 mg/L. Não obstante, admitindo que a eficiência do filtro biológico seja de 90 %, a DBO do efluente do mesmo será de 7,5 mg/L, atendendo portanto o critério da USEPA.
- c) O filtro de areia tem como função, enquanto tratamento terciário, desinfetar o esgoto, no caso água cinza. No entanto, para distribuir a água cinza requer-se uma concentração residual de cloro na mesma para prevenção contra sua contaminação nos reservatórios e nas tubulações de forma a garantir segura utilização.
- d) No caso do reservatório de água potável alimentar o reservatório de água cinza quando este estiver vazio, o primeiro deve estar em cota superior ao segundo para garantir o escoamento por gravidade e para evitar o acesso de água cinza à reserva de água potável. E para reforçar a prevenção contra este acesso de água cinza à reserva de água potável, válvulas de retenção ao escoamento da água cinza devem ser instaladas nas conexões entre estes reservatórios.