



# Engenharia de Produção:

NOVAS PESQUISAS e TENDÊNCIAS

2

Adriano Mesquita Soares  
(Organizador)

## **Direção Editorial**

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

## **Organizador**

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

## **Capa**

AYA Editora

## **Revisão**

Os Autores

## **Executiva de Negócios**

Ana Lucia Ribeiro Soares

## **Produção Editorial**

AYA Editora

## **Imagens de Capa**

br.freepik.com

## **Área do Conhecimento**

Engenharias

# **Conselho Editorial**

Prof.º Dr. Aknaton Toczec Souza

*Centro Universitário Santa Amélia*

Prof.ª Dr.ª Andréa Haddad Barbosa

*Universidade Estadual de Londrina*

Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz

*Faculdade Sagrada Família*

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos

*Instituto Federal do Amapá*

Prof.º Dr. Carlos López Noriega

*Universidade São Judas Tadeu e Lab. Biomecatrônica - Poli - USP*

Prof.ª Dr.ª Claudia Flores Rodrigues

*Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul*

Prof.º Me. Clécio Danilo Dias da Silva

*Centro Universitário FACEX*

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria De Genaro Chirolí

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota

*Universidade Federal de Sergipe*

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis

*Universidade do Estado de Minas Gerais*

Prof.ª Ma. Denise Pereira

*Faculdade Sudoeste – FASU*

Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig

*Universidade Federal do Paraná*

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos

*Universidade Federal do Amapá*

Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva

*Universidade Estadual de Londrina*

Prof.º Dr. Gilberto Zammar

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, IF Baiano - Campus Valença*

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza

*Universidade Federal de Sergipe*

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso

*Universidade de Santa Cruz do Sul*

Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues

*Faculdade Sagrada Família*

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.º Me. Jorge Soistak

*Faculdade Sagrada Família*

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra

*Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Ubajara*

Prof.º Me. José Henrique de Goes

*Centro Universitário Santa Amélia*

Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti

*Universidade Federal do Paraná*

Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim

*Faculdade Sagrada Família e Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais*

Prof.ª Ma. Lucimara Glap

*Faculdade Santana*

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho

*Universidade Federal Rural de Pernambuco*

Prof.º Me. Luiz Henrique Domingues

*Universidade Norte do Paraná*

Prof.º Me. Milson dos Santos Barbosa

*Instituto de Tecnologia e Pesquisa, ITP*

Prof.º Me. Myller Augusto Santos Gomes

*Universidade Estadual do Centro-Oeste*

Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch

*Faculdade Sagrada Família*

Prof.º Me. Pedro Fauth Manhães Miranda

*Centro Universitário Santa Amélia*

Prof.º Dr. Rafael da Silva Fernandes

*Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus  
Pauapebas*

Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira

*Instituto Federal do Acre*

Prof.ª Ma. Rosângela de França Bail

*Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais*

Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens

*Faculdade Sagrada Família*

Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

*Universidade Federal do Piauí*

Prof.ª Ma. Silvia Aparecida Medeiros

Rodrigues

*Faculdade Sagrada Família*

Prof.ª Dr.ª Silvia Gaia

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira Miranda

Santos

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.ª Dr.ª Tânia do Carmo

*Universidade Federal do Paraná*

Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues

*Instituto Federal de Santa Catarina*

Prof.º Dr. Valdoir Pedro Wathier

*Fundo Nacional de Desenvolvimento Educacional,  
FNDE*

© 2021 - **AYA Editora** - O conteúdo deste Livro foi enviado pelos autores para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição Creative Commons 4.0 Internacional (**CC BY 4.0**). As ilustrações e demais informações contidas desta obra são integralmente de responsabilidade de seus autores.

E576 Engenharia da produção: novas pesquisas e tendências [recurso eletrônico]. / Adriano Mesquita Soares (organizador) -- Ponta Grossa: Aya, 2021. 258 p. – ISBN 978-65-88580-85-1

Inclui biografia

Inclui índice

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

DOI 10.47573/aya.88580.2.51

1. Engenharia de produção. 2. Logística. 3. Sustentabilidade. 4. Comportamento organizacional. I. Soares, Adriano Mesquita. II. Título

CDD: 658.5

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

International Scientific Journals Publicações de  
Periódicos e Editora EIRELI

AYA Editora©

CNPJ: 36.140.631/0001-53

Fone: +55 42 3086-3131

E-mail: contato@ayaeditora.com.br

Site: <https://ayaeditora.com.br>

Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557  
Ponta Grossa - Paraná - Brasil  
84.071-150

## **Cálculos comuns numa estação de tratamento de águas**

### **Common calculations in a water treatment station**

---

*Roberto Tadeu Pereira Moraes*

**Relatos de Experiências**

DOI: 10.47573/aya.88580.2.51.15

Os gestores e operadores de uma estação de tratamento de águas se deparam diariamente com a necessidade de realizar cálculos que envolvem a dosagem e o consumo de produtos químicos. Outra operação unitária corriqueira, a lavagem dos filtros, também requer avaliações da quantidade de água usada. Nesse artigo, expomos fórmulas e cálculos pertinentes a essas operações. O perfeito cálculo desses insumos e do consumo de água de lavagem proporciona economia, redução de teores residuais e confiabilidade nos resultados.

## COMO CALCULAR A DOSAGEM DE FLUORETO

Vemos em nossa ETA que as dosagens dos insumos (produtos químicos adicionados à água) são dadas em 'ppm'. Para soluções aquosas, ppm, "partes por milhão", equivale a miligramas por litro, ou seja, é a quantidade de miligramas de produto que devemos adicionar a CADA litro de água a ser tratada. Por exemplo, a dosagem de 2 ppm de fluoreto significa que há 2 miligramas de fluoreto em CADA litro de água. Para sabermos o total a ser adicionado em 1 segundo, temos que multiplicar a dosagem pela vazão da ETA, em litros.

O cálculo da dosagem de fluoreto e da vazão da bomba dosadora envolve correções da fração molar (o produto usado é uma substância que contém flúor na sua molécula), da pureza do produto, e, como este é um líquido, transformar massa em volume equivalente.

A correção da fração molar é necessária porque apenas parte do ácido fluossilícico (sem R) é flúor. Observando a molécula do ácido fluossilícico,  $H_2SiF_6$ , vemos que há 6 átomos de flúor nela, ou seja, há 6 vezes o peso do flúor no peso da molécula. Sendo assim, uma regra de três nos diz quanto há de flúor na dosagem (ppm) desejada:

$$\text{Se } \frac{6 \cdot F}{PM \text{ ácido}} = \frac{ppm}{X} \quad \underline{\quad}, \text{ então } \quad X = \frac{ppm \cdot PM \text{ ácido}}{6 \cdot F}$$

Sendo  $PM \text{ ácido} = 144,1$  e  $F = 19$ , temos:

$$X = \frac{ppm \cdot 144,1}{6 \cdot 19} \Rightarrow X = \frac{ppm \cdot 144,1}{114} \Rightarrow X = ppm \cdot 1,264 \text{ (miligramas em 1 litro)}$$

Esse valor 'X' é a quantidade de ácido fluossilícico puro que fornece a dosagem (ppm, ou miligramas por litro) desejada.

A segunda correção se deve ao fato de que o ácido fluossilícico comercial não é puro. Nós o compramos com uma concentração 'C'. Nova regra de três (dessa vez inversamente proporcional) corrige isso:

$$\text{Se } \frac{X (= ppm \cdot 1,264)}{Y} = \frac{100\%}{C}, \text{ então } \quad Y = \frac{X \cdot 100\%}{C} \Rightarrow Y = \frac{ppm \cdot 1,264 \cdot 100}{C}$$

Esse valor 'Y' é a quantidade de ácido fluossilícico impuro (massa maior) que contém a quantidade de ácido puro (massa menor) que desejamos.

Bem, a quantidade 'Y' é um valor de massa em miligramas, e nossa bomba dosa volume em litros. Portanto, precisamos transformar massa em seu volume proporcional, e para isso usa-

mos a fórmula de densidade:

$$d = \frac{m}{v}, \text{ e sua variante, } v = \frac{m}{d}$$

É preciso observar que a densidade é dada em gramas por mililitro (g/ml), e que o valor 'Y' está em miligramas e a bomba dosa em litros. Precisamos transformar a densidade do ácido fluossilícico de  $\frac{g}{ml}$  em  $\frac{mg}{l}$ .

$$d \left( \frac{g}{ml} \right) \cdot \frac{1000 \text{ mg}}{g} \cdot \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} = \frac{m}{v}$$

Cortando as unidades iguais que estão em posições postas em numerador e denominador, e operando os números envolvidos, temos:

$$d \left( \frac{mg}{l} \right) \cdot 1000 \ 000 = \frac{m}{v} \Rightarrow v = \frac{m}{d \cdot 1000 \ 000}$$

Ora, a massa 'm' de ácido fluossilícico é  $Y = \frac{ppm \cdot 1,264 \cdot 100}{C}$ , que, se aplicado na fórmula acima resulta:

$$V = \frac{m}{d \cdot 1000 \ 000} \Rightarrow v = \frac{\frac{ppm \cdot 1,264 \cdot 100}{C}}{d \cdot 1000 \ 000} \Rightarrow v = \frac{ppm \cdot 1,264 \cdot 100}{C \cdot d \cdot 1000 \ 000}$$

Lembremos que 'ppm' é quantidade para tratar UM litro de água. Em 1 segundo temos que tratar 'Q' litros de água (que corresponde à vazão da ETA). O volume 'V' foi calculado para tratar 1 litro de água (pela definição de ppm). Para 'Q' litros precisamos de:

$$V_{total} = V \cdot Q \Rightarrow V_{total} = \frac{ppm \cdot 1,264 \cdot 100}{C \cdot d \cdot 1000 \ 000} \cdot Q \Rightarrow V_{total} = \frac{ppm \cdot 1,264 \cdot 100 \cdot Q}{C \cdot d \cdot 1000 \ 000}$$

A bomba dosadora de flúor, independente de sua potência, deve bombear, por segundo, o volume desejado  $V_{total}$ . Então, se ela bombeia o volume  $V_{b\acute{e}quer}$  em 1 segundo, ela bombeará o volume de um béquer de teste em 'T' segundos. Nova regra de três:

$$\text{Se } \frac{V_{total}}{V_{b\acute{e}quer}} = \frac{1 \text{ segundo}}{T}, \text{ então:}$$

$$T = \frac{V_{b\acute{e}quer}}{V_{total}} \Rightarrow T = \frac{V_{b\acute{e}quer}}{\frac{ppm \cdot 1,264 \cdot 100 \cdot Q}{C \cdot d \cdot 1000 \ 000}} \Rightarrow T = \frac{V_{b\acute{e}quer} \cdot C \cdot d \cdot 1000 \ 000}{Q \cdot ppm \cdot 1,264 \cdot 100}$$

Operando os números envolvidos, temos:

$$T = \frac{V_{b\acute{e}quer} \cdot C \cdot d \cdot 7900}{Q \cdot ppm} \text{ (é o tempo em segundos para a bomba encher um béquer de volume predeterminado)}$$

$ppm = \frac{V_{b\acute{e}quer} \cdot C \cdot d \cdot 7900}{Q \cdot T}$  (dosagem calculada a partir do tempo que a bomba leva para encher um b\acute{e}quer de volume predeterminado).

Conclu\im os ent\ao :

1) Que a f\ormula para calcular a dosagem de fluoreto \e  $ppm = \frac{V_{b\acute{e}quer} \cdot C \cdot d \cdot 7900}{Q \cdot T}$ , sendo ppm(mg/l) a dosagem de fluoreto desejada, d (g/ml) a densidade do \c{a}cido fluossil\icico, C sua concentra\c{a}o em porcentagem,  $V_{b\acute{e}quer}$  (em litros) o volume do b\acute{e}quer que testa a vaz\ao da bomba, T(s) o tempo para ench\ea-lo e Q (l/s) a vaz\ao da ETA. A constante 7900 promove a equival\encia entre as unidades das vari\aveis;

2) Que a f\ormula para calcular o tempo (em determinada dosagem) para a bomba encher o b\acute{e}quer de teste \e, com as mesmas vari\aveis,  $T = \frac{V_{b\acute{e}quer} \cdot C \cdot d \cdot 7900}{Q \cdot ppm}$ .

## COMO MEDIR O CONSUMO DE \c{A}CIDO FLUOSSIL\ICICO

A vaz\ao da bomba dosadora pode ser calculada por:

$$Q = \frac{V}{T} \text{ (volume bombeado dividido pelo tempo necess\ario para bombe\c{a}-lo)}$$

Medindo o tempo (em segundos) em que essa bomba bombeia o volume de um b\acute{e}quer (em litros), fica:

$$Q = \frac{V(b\acute{e}quer)}{T(b\acute{e}quer)}, \text{ em litros por segundos, l/s. Para litros por hora, l/h, temos:}$$

$Q \text{ (l/s)} = \frac{V(b\acute{e}quer)l}{T(b\acute{e}quer) s} \cdot \frac{60 s}{1 min} \cdot \frac{60 min}{1 h} = Q \text{ (l/h)} = \frac{V(b\acute{e}quer) \cdot 3600}{T(b\acute{e}quer)}$ , porque cortando 's' com 's' e 'min' com 'min', sobra 'l' no numerador e 'h' no denominador.

Por defini\c{a}o, uma bomba de vaz\ao Q bombeia um volume Q na unidade de tempo, ou seja, uma bomba de vaz\ao 4 litros por hora bombeia 4 litros em uma hora. Ent\ao, nossa bomba dosadora bombeia Q litros por hora. Em um per\iodo (quantidade) de H horas, temos, numa regra de tr\es:

$$\frac{Q}{V} = \frac{1 \text{ hora}}{H \text{ horas}} \Rightarrow V = Q \cdot H$$

$$\text{Como } Q = \frac{V(b\acute{e}quer) \cdot 3600}{T(b\acute{e}quer)} \Rightarrow V = \frac{V(b\acute{e}quer) \cdot 3600}{T(b\acute{e}quer)} \cdot H \Rightarrow V = \frac{3600 \cdot V(b\acute{e}quer) \cdot H}{T(b\acute{e}quer)}$$

sendo V o volume em litros bombeados no per\iodo H de horas no qual a dosagem de



ácido fluossilícico for constante, sem mudar. Para transformar esse volume em massa, usamos a fórmula de densidade:

$$d = \frac{m}{V}, \text{ e sua variante, } m = V \cdot d \text{ ( } d = \text{ g/ml ou kg/l, pois são equivalentes)}$$

$$\text{Sendo } V = \frac{3600 \cdot V(\text{béquer}) \cdot H}{T(\text{béquer})} \text{ e } m = V \cdot d, \text{ então:}$$

$$m = \frac{3600 \cdot V(\text{béquer}) \cdot H}{T(\text{béquer})} \cdot d \Rightarrow m = \frac{d \cdot 3600 \cdot V(\text{béquer}) \cdot H}{T(\text{béquer})}, \text{ sendo 'm' a massa em quilos}$$

**consumida** (tirada do tanque pela bomba dosadora e adicionada à água) em um período de horas em que a bomba ficou operando em determinada dosagem.

Concluimos então:

1) Que a fórmula para calcular o consumo de ácido fluossilícico é  $m = \frac{d \cdot 3600 \cdot V(\text{béquer}) \cdot H}{T(\text{béquer})}$ , sendo m (kg) o consumo de ácido fluossilícico num período de horas, H (horas) a quantidade de horas desse período, d (g/ml) a densidade do ácido fluossilícico,  $V_{\text{béquer}}$  (em litros) o volume do béquer que testa a vazão da bomba e T(s) o tempo para enchê-lo. A constante 3 600 promove a equivalência entre as unidades das variáveis;

2) Consideramos H a quantidade de horas na qual bomba ficou operando com determinada dosagem de ácido fluossilícico, sem mudar; quando essa dosagem muda após algumas horas, faz-se novo cálculo com a nova dosagem e o novo período H, e soma-se com o anterior, obtendo-se um total.

## COMO DOSAR A CAL

O Cálculo da dosagem da cal é feito pela seguinte fórmula:

$$d = \frac{m \times c \times 1000}{t \times Q}$$

Onde:

d = dosagem desejada

m = massa de cal recolhida no béquer

t = tempo para recolher a cal no béquer

c = concentração (pureza) da cal

Q = vazão da água bruta

## COMO ESSA FÓRMULA FOI OBTIDA?

A dosagem “d” é em miligramas por litro. Isso quer dizer que temos “d” miligramas em um litro de água, um único litro. Para sabermos a massa “m” de cal necessária para a vazão “Q” de água bruta, nessa dosagem, usaremos a seguinte regra de três:

$$\begin{array}{ccc} d \text{ (mg/L)} \longleftrightarrow 1 \text{ L} & \xrightarrow{\text{daí}} & d \text{ (mg/L)} \quad 1 \text{ L} \\ m \longleftrightarrow Q \text{ (L)} & & m \quad Q \text{ (L)} \end{array}$$

Então:

$$m = d \times Q$$

Essa massa está em miligramas.

Para transformá-la em gramas, outra regra de três:

$$\begin{array}{ccc} 1000\text{mg} \longleftrightarrow 1\text{g} & \xrightarrow{\text{daí}} & 1000 \text{ mg} \quad 1 \text{ g} \\ m \text{ (mg)} \longleftrightarrow M & & m \text{ (mg)} \quad M \end{array}$$

$$\text{então } M \text{ (g)} = \frac{m \text{ (mg)}}{1000}$$

Como  $m \text{ (mg)} = d \times Q$

$$\text{temos } M \text{ (g)} = \frac{d \times Q}{1000}$$

Bem, essa seria a massa de cal se a cal fosse pura. Como ela não é 100% pura, temos que descontar a pureza. Outra regra de três, mas antes vamos lembrar que 100% corresponde ao fator 1, e que as porcentagens menores correspondem a fatores decimais, por exemplo, 86% = 0,86 etc.

$$M \text{ (g)} \longleftrightarrow 1 \text{ (100\%)}$$

$$m \text{ (corrigido)} \longleftrightarrow C \text{ (pureza)}$$

Essa regra de três é inversamente proporcional, pois quanto mais impura for a cal maior a quantidade usada:

$$M \text{ (g)} \text{ ————— } 1$$

$$m \text{ (corrigido)} \text{ ————— } C$$

$$m \text{ (corrigido)} = \frac{M \text{ (g)}}{C}$$

$$\text{Como } M \text{ (g)} = \frac{d \times Q}{1000}$$

$$\text{temos } m \text{ (corrigido)} = \frac{d \times Q}{1000 \times C}$$

Essa é a massa de cal em gramas e com a pureza corrigida.

Ora, a vazão “Q” corresponde a um segundo (Q= L/seg). Igual ao cálculo do sulfato e do flúor, a quantidade de cal que cai no copo béquer cai em um tempo que o operador vai medir, o tempo “T” (em segundos). Nova regra de três:

$$\begin{array}{ccc} m \text{ (corrigido)} \longleftrightarrow 1 \text{ s} & \xrightarrow{\text{daí}} & m \text{ (corrigido)} \begin{array}{l} \diagup 1 \text{ s} \\ \diagdown T \end{array} \\ m \text{ (final)} \longleftrightarrow T & & m \text{ (final)} \begin{array}{l} \diagdown T \\ \diagup 1 \text{ s} \end{array} \end{array}$$

então  $m \text{ (final)} = m \text{ (corrigido)} \times T$

Como  $m \text{ (corrigido)} = \frac{d \times Q}{1000 \times C}$

temos  $m \text{ (final)} = \frac{d \times Q \times T}{1000 \times C}$

e  $d = \frac{m \times 1000 \times C}{Q \times T}$

Então, a dosagem da cal depende da massa de cal recolhida no parafuso em um béquer e do tempo que se leva para essa massa ser recolhida. Como a balança portátil usada para esse fim está temporariamente fora de uso, são necessários os seguintes passos:

1. Recolher a cal que sai do parafuso num béquer de 20 cm de diâmetro por 10 segundos;
2. Pesar a cal recolhida no passo 1 na balança do laboratório;
3. Aplicar os valores de “m”, “Q”, “C” e “T” na fórmula;
4. Repetir os passos acima modificando a velocidade do parafuso até encontrar a dosagem desejada.

## COMO CALCULAR O CONSUMO DA CAL

Lembrando que a dosagem da cal é em miligramas por litro (mg/L), então, para a vazão “Q” de água bruta, temos “M” miligramas de cal:

$$\begin{array}{ccc} d \text{ (dosagem)} & \begin{array}{l} \diagup 1 \text{ Lt} \\ \diagdown Q \text{ (vazão água bruta)} \end{array} \\ M & \end{array}$$

e  $M = d \times Q$

Lembrando também que a vazão “Q” passa pela ETA em 1 segundo, precisamos de outra regra de três para obtermos a massa de cal consumida em 8 horas (1 turno):

$$\begin{array}{ccc} M & \begin{array}{l} \diagup 1 \text{ segundo} \\ \diagdown 8 \text{ horas} \end{array} \\ m \text{ (turno)} & \end{array}$$

e  $m \text{ (turno)} = M \times 8$

Como  $M = d \times Q$

$$\text{Então } m (\text{turno}) = d \times Q \times 8$$

Como o turno está em horas, temos que transformar esse tempo em segundos:

$$m (\text{turno}) = d \times Q \times 8 \text{ horas} \times \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} \times \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}}$$

$$\text{então } m (\text{turno}) = d \times Q \times 8 \times 3600$$

Essa é a massa consumida em 8 horas, mas ela está expressa em miligramas. Para transformar essa massa em quilos:

$$m (\text{turno}) = d \times Q \times 8 \times 3600 \times \frac{1 \text{ grama}}{1000 \text{ miligramas}} \times \frac{1 \text{ quilo}}{1000 \text{ gramas}}$$

e finalmente temos:

$$m (\text{turno}) = d \times Q \times 0,03$$

que é o consumo de cal , em quilos, num turno de 8 horas, e cujo cálculo depende dos valores de “Q” ( vazão da ETA) e de “d” (dosagem desejada). O fator 0,03 corrige as proporções entre as unidades envolvidas.

## COMO DOSAMOS O PERMANGANATO?

Vemos em nossa ETA que as dosagens dos insumos (produtos químicos adicionados à água) são dadas em ‘ppm’. Para soluções aquosas, ppm , “ partes por milhão “, equivale a miligramas por litro, ou seja, é a quantidade de miligramas de produto que devemos adicionar a CADA litro de água a ser tratada. Por exemplo, a dosagem de 2 ppm de permanganato significa que há 2 miligramas de permanganato em CADA litro de água. Para sabermos o total a ser adicionado em 1 segundo, temos que multiplicar a dosagem pela vazão da ETA, em litros .

Desejamos a dosagem, na água bruta, de 0,5 ppm de permanganato. A dosagem “ppm” é igual a mg/L. Isso quer dizer que uma solução de permanganato de “X ppm” tem “X” miligramas de permanganato em 1 L de água. Isso vale para quaisquer outras substâncias.

A dosagem desejada atualmente é de 0,5 ppm de permanganato. Por convenção, vamos adotar a vazão média da ETA Principal como sendo de 8000 litros por segundo, L/seg.

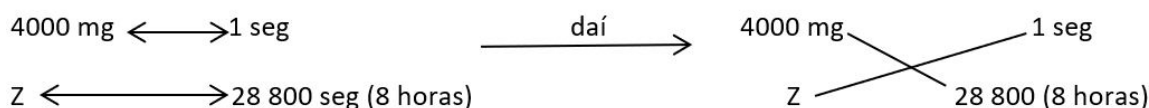
Como 0,5 ppm é o mesmo que 0,5 mg/L, miligramas em 1 litro, temos :

$$\begin{array}{ccc} 0,5 \text{ mg} \longleftrightarrow 1 \text{ L} & \xrightarrow{\text{daí}} & 0,5 \text{ mg} \quad 1 \text{ L} \\ X \longleftrightarrow 8000 \text{ L} & & X \quad 8000 \text{ L} \end{array}$$

$$\text{Então, } X = \frac{0,5 \times 8000}{1}$$

e  $X = 4000 \text{ mg}$ , que é a quantidade de permanganato necessária para dosar 8000 litros.

Ora, a vazão é dada em litros por segundo, e 8000 L/seg significa que os 8000 litros do cálculo acima correspondem a 1 único segundo, e os 4000 mg correspondem a 1 segundo também. Em um turno de 8 horas temos 28 800 segundos, e por outra regra de três calculamos a quantidade de permanganato necessária para um turno de 8 horas:



$$\text{Então } Z = \frac{4000 \times 28\,800}{1}$$

E  $Z = 115200000$  mg, que corresponde a 115,2 quilos, e que é a quantidade de permanganato consumida em um turno de 8 horas.

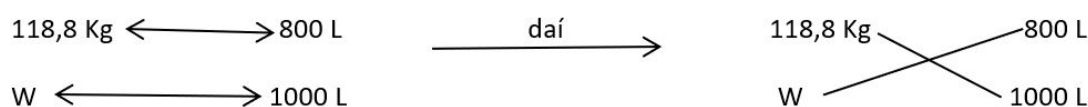
Como o permanganato em uso é apenas 97% puro, devemos corrigir sua pureza para encontrar a massa que deve ser efetivamente usada, que é:

$$Z' = \frac{115,2}{0,97} \text{ Kg} \quad \text{e} \quad Z' = 118,8 \text{ kg},$$

sendo essa massa a necessária para dosar 0,5 ppm de permanganato na vazão média de 8000 litros por segundo durante 8 horas.

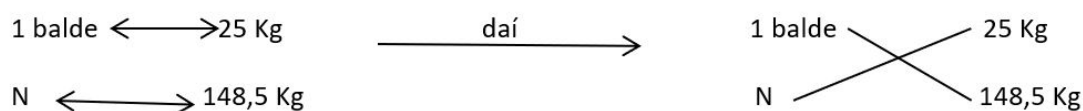
As condições operacionais mais práticas hoje na nossa ETA Principal são tais que devemos preparar 1000 litros da solução de permanganato (volume do tanque disponível) mas só podemos bombear para a água bruta apenas 800 litros, devido ao volume morto desse tanque.

Assim, devemos ter efetivamente 118,8 quilos de permanganato (calculado acima) em 800 litros, mas precisamos preparar 1000 litros:



$$\text{Então } W = \frac{118,8 \times 1000}{800} \quad \text{e} \quad W = 148,5 \text{ quilos}$$

Como recebemos o permanganato em baldes de 25 quilos, temos ;



$$N = \frac{148,5 \times 1}{25} \quad \text{e} \quad N = 5,94 \text{ baldes de 25 quilos, operacionalmente equivalentes a 6 baldes.}$$

Ora, esses 6 baldes de permanganato estarão dissolvidos em 800 litros, que deverão ser bombeados para a água bruta em 8 horas, um turno. Como 8 horas são 28 800 segundos, devemos dividir esses 800 L por 28 800 segundos para obtermos o controle de vazão da bomba dosadora :

Vazão da bomba dosadora =  $\frac{800 \text{ L}}{28\,800 \text{ seg}} = 0,0277$  litros por segundo, o que corresponde a 27,7 mililitros por segundo e 277 mililitros por 10 segundos, operacionalmente 280 mililitros em 10 segundos.

## Conclusões:

1 – Para se obter a dosagem de 0,5 ppm de permanganato em uma vazão média de 8000 L/s é necessário, nas condições atuais, dissolver 6 baldes de 25 Kg do produto em 1000 litros de água e bombear para a água bruta apenas 800 litros;

2 – Para essas mesmas condições, a bomba dosadora deverá bombear para a água bruta 280 mL/ 10 seg.

3 – É possível usar uma solução mais diluída, por exemplo, 6 baldes em 3000 litros, mas o consumo da solução também seria 3 vezes maior, 2400 litros em um turno de 8 horas, e a bomba dosadora bombearia 840 mL/ 10 seg.

## COMO CALCULAR O CONSUMO DO CLORO E A AUTONOMIA DA CARRETA

O consumo de cloro é dado unicamente pela vazão do clorador, e essa vazão é medida em lb/24hs, o que significa que, naquela vazão 'q' são fornecidas 'q' libras de cloro em 24 horas, um dia. Por exemplo, a vazão 3000 lb/24hs fornece 3000 libras de cloro em 24 hs, um dia.

Libra é uma medida de massa inglesa que corresponde a 454 gramas (0,454 quilo). Seu uso é reflexo da Revolução Industrial, quando o império inglês dominava (porque a criava a partir do zero ) toda a tecnologia industrial, e impôs, inclusive, seu sistema particular de medidas, tais como, além da libra, o pé, onça, polegada, jarda, cavalo-vapor, watt, joule etc.

Podemos calcular quantas libras são fornecidas em um turno que dura 'H' horas quando a vazão do clorador for 'q' lb/24hs usando a regra de três abaixo :

$$\begin{array}{ccc} q(\text{lb}) \longleftrightarrow 24(\text{hs}) & \xrightarrow{\text{daí}} & \begin{array}{cc} q(\text{lb}) & 24(\text{hs}) \\ \diagdown & \diagup \\ X & H(\text{turno}) \end{array} \\ X \longleftrightarrow H(\text{turno}) & & \end{array}$$

$$\text{então } X = \frac{H \cdot q}{24}$$

Esse valor 'X' é a quantidade de libras de cloro fornecidas em um turno de 'H' horas se o clorador estiver na vazão 'q'. Como nos interessa calcular a quantidade de quilos e não de libras, devemos transformar essas unidades (libras em quilos). Como uma libra pesa 0,454 quilo, temos:

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ libra} \longleftrightarrow 0,454 \text{ quilo} & \xrightarrow{\text{daí}} & \begin{array}{cc} 1 \text{ libra} & 0,454 \text{ quilo} \\ \diagdown & \diagup \\ X \text{ libras} & m \end{array} \\ X \text{ libras} \longleftrightarrow m & & \end{array}$$

$$\text{então } m = X \cdot 0,454$$

Como  $X = \frac{H \cdot q}{24}$ , então  $m = \frac{H \cdot q}{24} \cdot 0,454$  e,

finalmente,  $m = \frac{H \cdot q}{53}$

Concluimos então:

Que a fórmula para calcular o consumo de gás cloro é,  $m = \frac{H \cdot q}{53}$ , sendo m (quilos) o consumo de cloro, q (lb/24h) a vazão do clorador e H (hs) o número de horas em que a vazão do clorador não mudou. A constante 53 promove a equivalência entre as unidades das variáveis;

Para calcular o consumo de cloro gás, dividir a vazão do clorador por 53 e multiplicar o resultado pelo número de horas em que a vazão do clorador não mudou; se a vazão mudou após algumas horas, fazer novo cálculo com o novo número de horas e a nova vazão, e somar com o cálculo anterior; Esse resultado final é o consumo, em quilos. Fazer cálculos separados para PRÉ e PÓS cloração.

Para obter a autonomia do estoque de cloro, SOMAR a vazão dos cloradores e dividir o resultado por 53: esse é o consumo de uma hora. Dividir a capacidade da carreta ou o estoque atual pelo consumo calculado de 1 hora. O resultado é a autonomia da carreta, em horas.

## COMO CALCULAR A DOSAGEM DE CLORO E A VAZÃO DO CLORADOR

No caso específico do cloro, a quantidade de produto aplicada à água é determinada apenas pela dosagem desejada, que depende da legislação (obrigatória) e do teor de matéria orgânica nessa água (avaliado). Não há influência da pureza (o cloro comercial é um gás puro) nem de correções de fração molecular (o gás cloro é uma substância pura simples,  $Cl_2$ ).

Lembremos que a dosagem 'X' ppm é a quantidade de cloro em miligramas que deve ser adicionada a cada litro de água, já que, para soluções aquosas, ppm = miligramas por litro.

Então, para a vazão da ETA de 'Q' litros por segundo, temos 'X' ppm para cada litro, mas, para o total de litros precisamos da quantidade 'Q' de cloro, quantidade essa que corresponde à vazão 'q' do clorador, porque o cloro necessário para o total de litros 'Q' é o total de cloro aplicado através do clorador (dado pela vazão 'q').

Assim,  $\text{ppm} \cdot Q = q$  (o necessário é igual ao dosado)

A unidade de ppm é  $\frac{mg}{l}$  e a de Q é  $\frac{l}{s}$ . Assim, a unidade de  $\text{ppm} \cdot Q$  é

$\text{ppm} \cdot Q = \frac{mg}{l} \cdot \frac{l}{s} \Rightarrow \text{ppm} \cdot Q = \frac{mg}{s}$  (cortando l do denominador com l do numerador)

Então, a unidade de  $\text{ppm} \cdot Q$  é  $\frac{mg}{s}$ , mas a de 'q' (vazão do clorador) é  $\frac{lb}{dia}$ , ou  $\frac{lb}{24 h}$ .

Para manter a igualdade  $\text{ppm} \cdot Q = q$  precisamos, então, transformar  $\frac{mg}{s}$  em  $\frac{lb}{dia}$ .

Assim, lembrando que  $\text{ppm} \cdot Q = q$ , e também suas unidades e equivalências, temos:

$$\text{ppm} \cdot Q \left( \frac{\text{mg}}{\text{s}} \right) \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{1 \text{ lb}}{454000 \text{ mg}} = q \left( \frac{\text{lb}}{\text{dia}} \right)$$

Sequencialmente transformamos segundos(s) em minutos (min), minutos em horas(h), horas em dias(dia) e miligramas(mg) em libras(lb) multiplicando várias frações iguais a 1 mas com unidades diferentes porém equivalentes, ora no denominador, ora no numerador. Cortamos, por exemplo, min do denominador com min do numerador, sendo 1h = 60 min, sobrando 'h' no denominador. O corte de unidades e a operação dos números nos dá:

$$\text{ppm} \cdot Q \cdot \frac{86400}{454000} = q \Rightarrow \text{ppm} \cdot Q = \frac{q \cdot 454000}{86400} \Rightarrow \text{ppm} \cdot Q = q \cdot 5,2 \Rightarrow \text{ppm} = \frac{q \cdot 5,2}{Q}$$

Concluimos então:

1) Que a fórmula para calcular a dosagem de gás cloro é  $\text{ppm} = \frac{q \cdot 5,2}{Q}$ , sendo ppm(mg/l) a dosagem de cloro desejada, q (lb/24h) a vazão do clorador e Q (l/s) a vazão da ETA. A constante 5,2 promove a equivalência entre as unidades das variáveis;

2) Que a fórmula para calcular a vazão no clorador é, com as mesmas variáveis,

$$q = \frac{\text{ppm} \cdot Q}{5,2}$$

## COMO CALCULAR O CONSUMO DA MISTURA DE SULFATOS

A vazão da bomba dosadora pode ser calculada por:

$$Q = \frac{V}{T} \text{ (volume bombeado dividido pelo tempo necessário para bombeá-lo)}$$

Medindo o tempo (em segundos) em que essa bomba bombeia o volume de um béquer (em litros), fica:

$$Q = \frac{V(\text{béquer})}{T(\text{béquer})}, \text{ em litros por segundos, l/s. Para litros por hora, l/h, temos:}$$

$Q \text{ (l/s)} = \frac{V(\text{béquer}) \text{ l}}{T(\text{béquer}) \text{ s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = Q \text{ (l/h)} = \frac{V(\text{béquer}) \cdot 3600}{T(\text{béquer})}$ , porque cortando 's' com 's' e 'min' com 'min', sobra 'l' no numerador e 'h' no denominador.

Por definição, uma bomba de vazão Q bombeia um volume Q na unidade de tempo, ou seja, uma bomba de vazão 4 litros por hora bombeia 4 litros em uma hora. Então, nossa bomba dosadora bombeia Q litros por hora. Em um período (quantidade) de H horas, temos, numa regra de três:



$$\frac{Q}{V} = \frac{1 \text{ hora}}{H \text{ horas}} \Rightarrow V = Q \cdot H$$

$$\text{Como } Q = \frac{V(\text{béquer}) \cdot 3600}{T(\text{béquer})} \Rightarrow V = \frac{V(\text{béquer}) \cdot 3600}{T(\text{béquer})} \cdot H \Rightarrow V = \frac{3600 \cdot V(\text{béquer}) \cdot H}{T(\text{béquer})}, \text{ sendo}$$

V o volume em litros bombeados no período H de horas no qual a dosagem da mistura de sulfatos for constante, sem mudar. Para transformar esse volume em massa, usamos a fórmula de densidade:

$$d = \frac{m}{V}, \text{ e sua variante, } m = V \cdot d \text{ ( } d = \text{ g/ml ou kg/l, pois são equivalentes)}$$

$$\text{Sendo } V = \frac{3600 \cdot V(\text{béquer}) \cdot H}{T(\text{béquer})} \text{ e } m = V \cdot d, \text{ então:}$$

$$m = \frac{3600 \cdot V(\text{béquer}) \cdot H}{T(\text{béquer})} \cdot d \Rightarrow m = \frac{d \cdot 3600 \cdot V(\text{béquer}) \cdot H}{T(\text{béquer})}, \text{ sendo 'm' a massa em quilos consumida (tirada do tanque pela bomba dosadora e adicionada à água) em um período de horas em que a bomba ficou operando em determinada dosagem, sem mudar.}$$

Ora, essa massa 'm' é a massa da mistura de sulfatos (de alumínio e férrico). Se quisermos saber separadamente a massa de cada um dos sulfatos devemos multiplicar a massa total pela porcentagem em massa (não em volume) de cada um dos sulfatos. Essas porcentagens são 84% (0,84) para o sulfato de alumínio e 16% (0,16) para o sulfato férrico. Assim :

Para o sulfato de alumínio,

$$m_{(\text{total})} = \frac{d \cdot 3600 \cdot V(\text{béquer}) \cdot H}{T(\text{béquer})} \cdot 0,84 \Rightarrow m = \frac{d \cdot 3024 \cdot V(\text{béquer}) \cdot H}{T(\text{béquer})}$$

Para o sulfato férrico,

$$m_{(\text{total})} = \frac{d \cdot 3600 \cdot V(\text{béquer}) \cdot H}{T(\text{béquer})} \cdot 0,16 \Rightarrow m = \frac{d \cdot 576 \cdot V(\text{béquer}) \cdot H}{T(\text{béquer})}$$

Concluimos então:

1) Que a fórmula para calcular o consumo de sulfato de alumínio é  $m = \frac{d \cdot 3024 \cdot V(\text{béquer}) \cdot H}{T(\text{béquer})}$ , sendo m (kg) o consumo de sulfato de alumínio num período de horas e d (g/ml) a densidade da mistura de sulfatos. A constante 3 024 promove a equivalência entre as unidades das variáveis;

2) Que a fórmula para calcular o consumo de sulfato férrico é  $m = \frac{d \cdot 576 \cdot V(\text{béquer}) \cdot H}{T(\text{béquer})}$ , sendo m (kg) o consumo de sulfato férrico num período de horas e d (g/ml) a densidade da mistura de sulfatos. A constante 576 promove a equivalência entre as unidades das variáveis;

3) O valor  $V_{\text{béquer}}$  (em litros) é o volume do béquer que testa a vazão da bomba dosadora da mistura de sulfatos e T(s) o tempo para enchê-lo; Esses valores são comuns aos dois cálculos;

4) Consideramos H a quantidade de horas na qual bomba ficou operando com determinada dosagem da mistura de sulfatos, sem mudar; quando essa dosagem muda após algumas horas, faz-se novo cálculo com a nova dosagem e o novo período H, e soma-se com o anterior, obtendo-se um total. Esse valor é comum aos dois cálculos.

## COMO CALCULAR A VELOCIDADE DE LAVAGEM

Velocidade de lavagem é o volume de água que passa em contracorrente por cada metro quadrado de leito filtrante com o objetivo de lavar um filtro e, é claro, essa operação ocorre em um determinado tempo.

Por definição,

$$V = \frac{Q}{A}$$

Ou seja, a velocidade é a vazão da água que sai do reservatório de lavagem dividida pela área do filtro. Como a vazão 'Q' é o volume dividido pelo tempo, temos:

$$Q = \frac{\text{Volume}}{\text{Tempo}}$$

No caso do nosso reservatório de lavagem, o volume usado na lavagem de um filtro é:

$$\text{Volume} = h \times 706,5$$

Onde 'h' é a altura de queda do volume durante a lavagem e 706,5 é a área de base desse tanque cilíndrico, e então

$$Q = \frac{h \times 706,5}{\text{Tempo}}$$

Lembrando da equação de velocidade

$$V = \frac{Q}{A}$$

temos:

$$V = \frac{\frac{h \times 706,5}{\text{tempo}}}{A}$$

consequentemente,

$$V = \frac{h \times 706,5}{\text{tempo} \times A}$$

A área filtrante dos nossos filtros é 166,3 m<sup>2</sup>, e daí:

$$V = \frac{h \times 706,5}{\text{tempo} \times 166,3}$$

Então:

$$VELOCIDADE = \frac{h \times 4,25}{\text{tempo}}$$

sendo que sua unidade é m<sup>3</sup> por m<sup>2</sup> por minuto.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram listados nesse artigo os cálculos, separadamente, de consumo e dosagem dos produtos químicos comumente usados no tratamento de água. Essas fórmulas podem ser usadas por gestores, operadores e químicos que atuam em uma Estação de Tratamento de Águas (ETA).

