

# MANUAL DE CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA TÉCNICOS QUE TRABALHAM EM ETAS



**Fundação Nacional de Saúde**

**Manual de Controle da Qualidade da Água para  
Técnicos que Trabalham em ETAS**

**Brasília, 2014**



Esta obra é disponibilizada nos termos da Licença Creative Commons – Atribuição – Não Comercial – Compartilhamento pela mesma licença 4.0 Internacional. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte.

A coleção institucional do Ministério da Saúde pode ser acessada, na íntegra, na Biblioteca Virtual em Saúde do Ministério da Saúde: <[www.saude.gov.br/bvs](http://www.saude.gov.br/bvs)>.

Tiragem: 1ª edição – 2014 – 5.000 exemplares

**Elaboração, distribuição e informações:**

MINISTÉRIO DA SAÚDE

Fundação Nacional de Saúde

Departamento de Saúde Ambiental (Desam)

Coordenação de Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano (Cocag)

SAS Quadra 4, Bloco N, 9º andar, Ala Sul

CEP: 70.070-040 – Brasília/DF

Tel.: (61) 3314-6670

**Home page:** <http://www.funasa.gov.br>

**Produção:**

Osman de Oliveira Lira (URCQA/PE)

**Colaboração:**

Giulliani Alan da Silva Tavares de Lira (Consultor OPAS/Doutor em Botânica)

Alba de Oliveira Lemos – URCQA/PE (Doutora em Biologia Vegetal)

**Revisão técnica:**

Antonio Carlo Batalini Brandão (COCAG/DESAM/**Funasa**)

**Editor:**

Coordenação de Comunicação Social (Coesc/Gab/Presi/**Funasa**/MS)

Divisão de Editoração e Mídias de Rede (Diedi)

Setor de Autarquias Sul, Quadra 4, Bl. N, 2º andar, Ala Norte

CEP: 70.070-040 – Brasília/DF

Impresso no Brasil / **Printed in Brazil**

**Ficha Catalográfica**

---

Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde.

Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS /  
Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília : Funasa, 2014.

112 p.

1. Controle da qualidade da água. 2. AspectosTécnicos. I. Título.

CDU 628.1

---

## Sumário

|   |     |
|---|-----|
| Apresentação  | 5   |
| 1 Água e meio ambiente  | 7   |
| 1.1 Meio ambiente   | 7   |
| 1.2 Água  | 8   |
| 1.3 Características da água                                     | 11  |
| 1.4 Distribuição da água  | 30  |
| 1.5 Ciclo hidrológico   | 33  |
| 1.6 Fontes de poluição de recursos hídricos                     | 34  |
| 1.7 Fatores importantes na preservação e proteção de mananciais | 35  |
| 1.8 Doenças relacionadas à água                                 | 39  |
| 2 Cianobactérias  | 45  |
| 2.1 Introdução  | 45  |
| 2.2 Habitat das cianobactérias                                  | 46  |
| 2.3 Florações das cianobactérias                                | 46  |
| 2.4 Toxinas das cianobactérias                                  | 48  |
| 3 Tratamento da água  | 49  |
| 3.1 Introdução  | 49  |
| 3.2 Sistema de abastecimento de água                            | 50  |
| 3.3 Manancial   | 50  |
| 3.4 Captação  | 52  |
| 3.5 Adução  | 54  |
| 3.6 Tratabilidade e potabilização da água                       | 55  |
| 3.7 Correção de pH  | 65  |
| 3.8 Fluoretação   | 66  |
| 3.9 Tratamentos não convencionais                               | 72  |
| 3.10 Biossegurança na ETA e laboratório                         | 73  |
| 4 Análises de amostras de água                                  | 85  |
| 4.1 Coletas de amostras de água                                 | 85  |
| 4.2 Análises físico-químicas                                    | 89  |
| 4.3 Análises microbiológicas                                    | 105 |
| Referências Bibliográficas                                      | 111 |



## Apresentação

A presente publicação, intitulada “**Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS**”, foi elaborada de forma a cooperar com o fomento e o apoio técnico ao controle da qualidade da água para consumo humano junto às estações de tratamento de água, além de suas dificuldades técnicas e operacionais, como uma das principais ações de saúde ambiental desenvolvidas pela Fundação Nacional de Saúde (**Funasa**).

Estas ações integram o Apoio ao Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano (ACQA), que é coordenado pelo Departamento de Saúde Ambiental (Desam), e priorizam os municípios com dificuldade na implementação da Portaria do MS nº. 2.914/2011. Esta Portaria, também conhecida como a Portaria da Potabilidade da Água, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade estabelecendo, para a **Funasa**, a competência para apoiar as ações de controle da qualidade da água para consumo humano em sistema ou solução alternativa de abastecimento de água.

Corroborativamente, a Portaria **Funasa** nº. 190/2014 ordena sobre o ACQA como um conjunto de ações exercidas pelas Unidades Regionais de Controle da Qualidade da Água (URCQA), instaladas nas Superintendências da **Funasa** junto aos Estados, podendo ser traduzidas como análise laboratorial, visita e orientação técnica, capacitação, suporte técnico, orientação acerca das alternativas e tecnologias apropriadas ao tratamento e análise de água para consumo humano, inclusive em áreas de interesse do Governo Federal, tais como: comunidades quilombolas, reservas extrativistas, assentamentos rurais e populações ribeirinhas.



# 1 Água e meio ambiente

## 1.1 Meio ambiente

O meio ambiente é o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas. Resumidamente, pode-se definir meio ambiente como o conjunto de elementos bióticos (organismos vivos) e abióticos (elementos não vivos, como a energia solar, o solo, a água e o ar) que integram a fina camada da Terra chamada biosfera, sustentáculo e lar dos seres vivos.

A atmosfera, que protege a Terra do excesso de radiações ultravioleta e permite a existência de vida, é uma mistura gasosa de nitrogênio, oxigênio, hidrogênio, dióxido de carbono, vapor de água, entre outros elementos, compostos e partículas de pó. Aquecida pelo sol e pela energia radiante da Terra, a atmosfera circula em torno do planeta e modifica as diferenças térmicas. As perspectivas de futuro, no que se refere ao meio ambiente, são pouco claras, ainda que o interesse e a preocupação pelo assunto sejam atualmente importantes.

Com a revolução industrial, o homem começou realmente a transformar a face do planeta, a natureza de sua atmosfera e a qualidade de sua água. Hoje, o rápido crescimento da população humana criou uma demanda sem precedentes que o desenvolvimento tecnológico pretende satisfazer, submetendo o meio ambiente a uma agressão que está provocando o declínio, cada vez mais acelerado, de sua qualidade e de sua capacidade para sustentar a vida. Um dos impactos que o uso dos combustíveis fósseis tem produzido sobre o meio ambiente terrestre é o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, dando lugar, por sua vez, a um aumento da temperatura global da Terra. Outros males relevantes causados pelo ser humano ao meio ambiente são os usos de pesticidas que contaminam regiões agrícolas e interferem no metabolismo do cálcio das aves; a erosão do solo, que está degradando de 20 a 35 % das terras de cultivos de todo o mundo; a perda das terras virgens; o crescente problema mundial do abastecimento de água, como consequência do esgotamento dos aquíferos subterrâneos, assim como pela queda na qualidade e disponibilidade da água e a destruição da camada de ozônio, entre outros.

Os impactos ambientais, sociais e econômicos da degradação da qualidade das águas se traduzem, entre outros, na perda da biodiversidade, no aumento de doenças de veiculação hídrica, no aumento do custo de tratamento das águas destinadas ao abastecimento doméstico e ao uso industrial, na perda de produtividade na agricultura e na pecuária, na redução da pesca e na perda de valores turísticos, culturais e paisagísticos. Vale salientar que esses reflexos econômicos nem sempre podem ser mensurados.

A deterioração da qualidade da água ocasiona crescentes aumentos nos custos de tratamento das águas destinadas ao abastecimento doméstico, principalmente nos custos associados ao uso de produtos químicos. Ao se projetar uma Estação de Tratamento de Água (ETA), leva-se em consideração tanto o volume de água a ser tratado, como a qualidade dessa água. Quanto melhor forem os parâmetros que indicam ser uma água adequada para sofrer o processo de potabilização, mais simples será o processo escolhido para se proceder ao tratamento da água e, conseqüentemente, menores serão os custos de implantação e de operação da ETA.

Nos municípios brasileiros que possuem mananciais de abastecimento protegidos, os custos de tratamento da água variam de R\$0,50 a R\$0,80 para cada 1.000 m<sup>3</sup> de água tratada. Em municípios que possuem mananciais pouco preservados, os custos podem atingir de R\$35 a R\$40 para cada 1.000 m<sup>3</sup> (TUNDISI e MATSUMURA – TUNDISI, 2011).



Figura 1 – Ciclo hidrológico.

Fonte: <http://www.novidadediaria.com.br/meio-ambiente/impactos-ambientais>.

Para reduzir a degradação do meio ambiente e salvar o habitat da humanidade, as sociedades devem reconhecer que o meio ambiente é finito. Os especialistas acreditam que, com o crescimento das populações e suas demandas, a ideia do crescimento contínuo deve abrir espaço para o uso mais racional do meio ambiente, ainda que isto só possa ocorrer depois de uma espetacular mudança de atitude por parte da humanidade. O impacto da espécie humana sobre o meio ambiente tem sido comparado às grandes catástrofes do passado geológico da Terra. Independentemente da atitude da sociedade em relação ao crescimento contínuo, a humanidade deve reconhecer que agredir o meio ambiente põe em perigo a sobrevivência de sua própria espécie.

## 1.2 Água

Água é o nome comum que se aplica ao estado líquido do composto de hidrogênio e oxigênio. Em um documento científico apresentado em 1804, o químico francês Joseph Louis Gay-Lussac e o naturalista alemão Alexander Von Humboldt demonstraram, conjuntamente, que a água consistia em dois volumes de hidrogênio e um de oxigênio, tal como se expressa na fórmula atual H<sub>2</sub>O.

A estrutura química de uma molécula de água é formada por dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio:  $H_2O$ . No entanto, deve ser lembrado que estes dois elementos apresentam formas isotópicas.

- Hidrogênio:  $H^1$  (próton),  $H^2$  (deutério),  $H^3$  (trítio);
- Oxigênio:  $O^{16}$ ,  $O^{17}$ ,  $O^{18}$ .

Na atmosfera de nosso planeta, os átomos de oxigênio estão distribuídos na seguinte proporção:

- 10 átomos  $O^{17}$ , 55 átomos  $O^{18}$ , 26.000 átomos  $O^{16}$ .

A combinação dos diversos isótopos de hidrogênio e oxigênio fornece uma variedade de 48 formas de água, das quais 39 são radioativas e apenas 9 são estáveis:

- $H_2O^{16}$ ,  $H_2O^{17}$ ,  $H_2O^{18}$ ,  $HDO^{16}$  (D = deutério),  $HDO^{17}$ ,  $HDO^{18}$ ,  $D_2O^{16}$ ,  $D_2O^{17}$ ,  $D_2O^{18}$ .

Esta última forma ( $D_2O^{18}$ ) é conhecida como água pesada e utilizada em reatores nucleares para moderação da velocidade dos nêutrons. Verifica-se, assim, que existem variantes químicas para uma molécula de água, de acordo com a distribuição dos diversos isótopos de hidrogênio e oxigênio. No entanto, a forma predominante e de maior interesse ecológico é  $H_2O^{16}$ .

O átomo tem duas regiões: o núcleo e as várias camadas de elétrons, pequenas partículas que tem carga elétrica negativa. O núcleo é formado por prótons (com carga elétrica positiva) e neutros (sem carga elétrica).

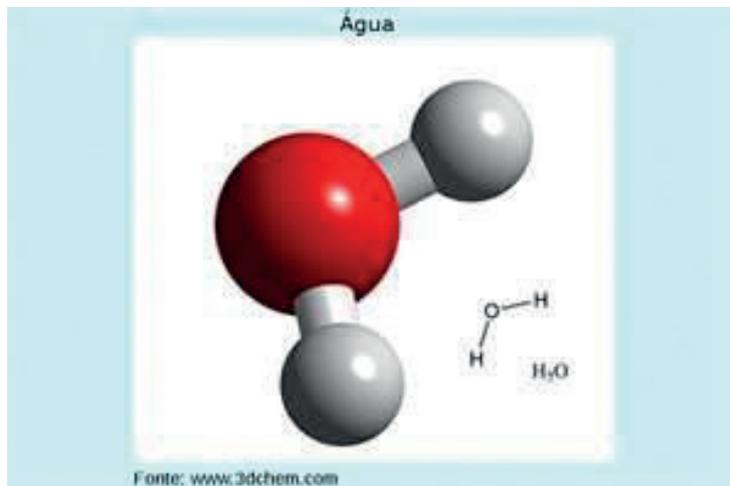


Figura 2 – A molécula de água é formada por um átomo de oxigênio (identificado pela letra “O”), e dois átomos de hidrogênio (identificados pela letra “H”).

Para ficar mais estável, o oxigênio tende a ganhar dois elétrons, enquanto o hidrogênio precisa ganhar só um. Então eles fazem uma “sociedade”: o hidrogênio “empresta” seu único elétron para o oxigênio, e ao mesmo tempo “pega emprestado” um dos elétrons do oxigênio. Quer dizer que os elétrons servem, ao mesmo tempo, ao oxigênio e ao hidrogênio. Na química, esse compartilhamento é chamado de ligação covalente. Se a sociedade for feita com dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, está formada uma molécula de água.

Na molécula de água, o oxigênio consegue atrair mais os elétrons para perto de si que o hidrogênio. Com isso, essa molécula acaba ficando com uma região negativa, que vem dos elétrons (perto do átomo de oxigênio) e uma região positiva (perto dos átomos de hidrogênio).

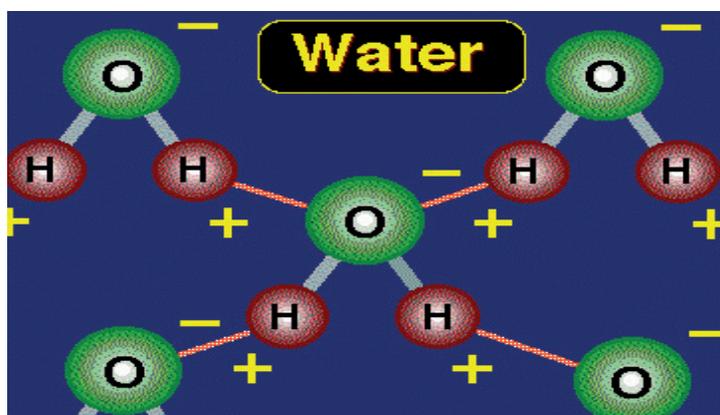


Figura 3 – O átomo de oxigênio consegue atrair mais os elétrons que o átomo de hidrogênio. Isso faz com que a região da molécula de água onde ele está fique negativa.

Fonte: <http://felix.ib.usp.br/bib131/texto3/molecula.html>.

Isso faz com que as moléculas de água atuem como ímãs, atraindo-se umas às outras: a carga negativa do átomo de oxigênio atrai a carga positiva do átomo de hidrogênio de outra molécula de água vizinha e vice-versa. Essa atração é chamada de “ponte” de hidrogênio.

Cada molécula de água pode formar pontes de hidrogênio com até quatro outras moléculas de água vizinhas.

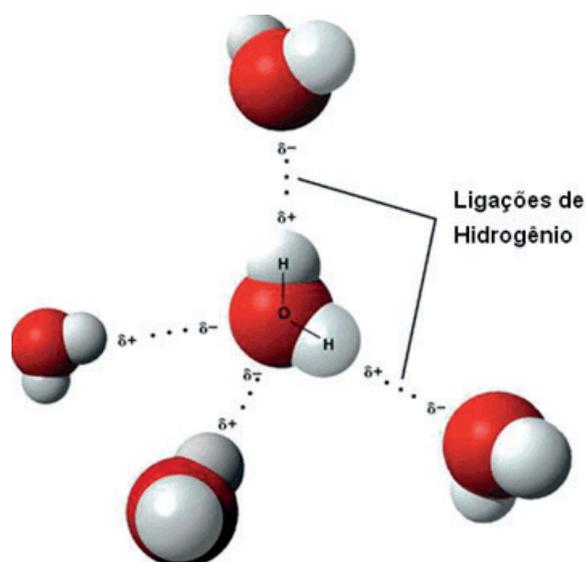


Figura 4 – A região negativa da molécula de água atrai a região positiva de outra molécula de água que está por perto, formando o que chamamos de pontes de hidrogênio.

Fonte: <http://www.mundoeducacao.com.br/quimica/ligacoes-hidrogenio.htm>.

### 1.3 Características da água

Para caracterizar uma água são determinados diversos parâmetros, que são indicadores da qualidade da água e se constituem não conformes quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso. As características físicas, químicas e biológicas da água estão associadas a uma série de processos que ocorrem no corpo hídrico e em sua bacia de drenagem. Ao se abordar a questão da qualidade da água, é fundamental ter em mente que o meio líquido apresente duas características marcantes, que condicionam, de maneira absoluta, a conformação desta qualidade: capacidade de dissolução e capacidade de transporte.

Constata-se, assim, que a água, além de ser formada pelos elementos hidrogênio e oxigênio na proporção de dois para um, também pode dissolver uma ampla variedade de substâncias, as quais conferem à água suas características peculiares. Além disso, as substâncias dissolvidas e as partículas presentes no seio da massa líquida são transportadas pelos cursos d'água, mudando continuamente de posição e estabelecendo um caráter fortemente dinâmico para a questão da qualidade da água. Neste aspecto, é bastante esclarecedora a afirmativa do filósofo grego Heráclito, de que “nunca se cruza o mesmo rio duas vezes”. Na segunda vez não é o mesmo rio que cruzamos, já que as características da água, em maior ou menor grau, serão seguramente distintas. A conjunção das capacidades de dissolução e de transporte conduz ao fato de que a qualidade de uma água é resultante dos processos que ocorrem na massa líquida e na bacia de drenagem do corpo hídrico. Verifica-se, assim, que o sistema aquático não é formado unicamente pelo rio ou lago, mas inclui, obrigatoriamente, a bacia de contribuição, exatamente onde ocorrem os fenômenos que irão, em última escala, conferir à água as suas características de qualidade. Outro aspecto bastante relevante refere-se às comunidades de organismos que habitam o ambiente aquático. Em sua atividade metabólica, alguns organismos provocam alterações físicas e químicas na água, enquanto que outros sofrem os efeitos destas alterações. Desta forma, observa-se a ocorrência de processos interativos dos organismos com o seu meio ambiente, fato este que constitui a base da ciência denominada Ecologia.

A qualidade requerida está bem definida nas concentrações máximas permitidas para determinadas substâncias, conforme especificado nas Resoluções CONAMA 357/05, 396/08 e 430/2011, que dispõem sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e superficiais e estabelecem as condições e padrões de lançamento de efluentes. Os principais indicadores da qualidade da água são separados sob os aspectos físicos, químicos e biológicos.

#### **Poluentes Orgânicos Persistentes**

No ano de 2001, o Governo Brasileiro assinou a Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs). Essa convenção teve como objetivo promover a proteção da saúde humana e do meio ambiente contra os efeitos dos POPs. A Convenção entrou em vigor internacional em 24 de fevereiro de 2004 e, em 7 de maio do mesmo ano, o Congresso Nacional aprovou essa Convenção por meio do Decreto Legislativo nº. 204. No ano seguinte, a Convenção foi promulgada pelo Brasil por meio do Decreto nº 5.472/2005. O primeiro inventário nacional sobre a emissão de dioxinas e furanos foi realizado em 2011. Essa foi uma das tarefas assumidas pelo Brasil como signatário da Convenção de Estocolmo.

### 1.3.1 Propriedade das águas naturais

#### 1.3.1.1 Massa específica

A massa específica, ou densidade absoluta, indica a relação entre a massa e o volume de uma determinada substância. Ao contrário de todos os outros líquidos, que apresentam a densidade máxima na temperatura de congelamento, no caso da água ela ocorre a 4°C, quando atinge o valor unitário. Isto significa que a água, nesta temperatura, por ser mais densa, ocupa as camadas profundas de lagos. Em países de clima frio, esta característica especial, conhecida como anomalia térmica da água, tem uma importância vital para a ecologia aquática em períodos de inverno. Sendo a água a 4°C mais densa que a 0°C (ponto de congelamento), os rios e lagos no inverno congelam-se apenas na superfície, ficando a temperatura do fundo sempre acima da temperatura do ponto de congelamento. Desta forma, possibilita a sobrevivência de peixes e outras espécies aquáticas, que obviamente morreriam se o corpo d'água se congelasse integralmente.

Para se entender a anomalia térmica da água, é necessário considerar variações na estrutura molecular da mesma de acordo com a temperatura. A água, na forma de gelo, apresenta uma estrutura tetraédrica ou cristalina, caracterizada pela existência de muitos espaços vazios. À medida que a temperatura aumenta, a água vai abandonando a estrutura cristalina e assumindo, gradativamente, a estrutura conhecida como compacta, na qual as moléculas estão acondicionadas sem espaços vazios.

Isto significa que, com o aumento de temperatura, a água vai se tornando cada vez mais densa. Por outro lado, a elevação da temperatura provoca a expansão molecular nos corpos. Verifica-se, assim, a ocorrência simultânea de dois fenômenos antagônicos quando ocorre um aumento de temperatura: enquanto a densidade aumenta, em razão de alterações na estrutura molecular, ela ao mesmo tempo diminui, em decorrência da expansão molecular. A superposição destes dois processos conduz à obtenção do ponto de densidade máxima. Assim, a densidade absoluta da água aumenta com a temperatura até atingir-se o valor de 4°C para, a partir daí, passar a diminuir com esse aumento.

## Saiba mais

Um aspecto a ser destacado com relação à densidade da água é o fato de maiores amplitudes de variação de densidade na faixa de temperaturas mais elevadas. Como exemplo, pode-se citar a diferença de densidade da água entre as temperaturas de 24° e 25°C, que é 26 vezes maior que a observada entre as temperaturas de 4° e 5°C. Isto exerce uma influência marcante na estratificação de corpos d'água, principalmente lagos e represas. Quando é grande a diferença de densidade entre superfície (água mais quente, menos densa) e fundo (água mais fria, mais densa), ocorre a formação de três estratos no corpo d'água: uma camada superior, movimentada pela ação do vento e, por essa razão, apresentando temperatura uniforme; uma camada intermediária, na qual ocorre uma queda brusca de temperatura, e uma camada inferior, de mais baixa temperatura. Tais camadas são denominadas, respectivamente, **epilímnio**, **metalímnio** e **hipolímnio**. Enquanto permanecer no meio líquido certa distribuição de temperaturas e, portanto, de densidades, já que ambas estão intimamente relacionadas, o corpo d'água estará estratificado, com o claro delineamento de três camadas distintas. Em épocas mais frias do ano, ocorre uma gradativa diminuição da temperatura superficial, até que esta camada atinja valores próximos ao do fundo. Nesta situação, a coluna d'água apresenta densidade aproximadamente uniforme no perfil, existente anteriormente. Caso haja um agente externo de energia (vento, por exemplo), o corpo d'água pode circular completamente, com as camadas inferiores indo até a superfície e vice-versa. É o fenômeno conhecido como virada, circulação ou **"TURN OVER"** do lago ou represa. Quando a temperatura da superfície volta a subir, o corpo d'água vai, gradativamente, reassumindo sua condição de estratificação. Como as diferenças de densidade são maiores sob temperaturas mais elevadas, lagos situados em regiões de clima quente, como é o caso do nosso país, apresentam estabilidades de estratificação superiores àquelas encontradas em regiões de clima frio, onde as diferenças de densidade entre o epilímnio e o hipólmnio não são tão marcantes. Evidentemente, isto traz consequências para a vida aquática e para a distribuição de substâncias no corpo d'água, já que, em lagos estratificados, a comunicação entre camadas é restrita.



Figura 5 – Fenômeno conhecido como virada, circulação ou “turn over” do lago ou represa.

Fonte: Wikimedia Commons.

### 1.3.1.2 Viscosidade

A viscosidade de um líquido caracteriza a sua resistência ao escoamento. Esta grandeza é inversamente proporcional à temperatura, o que significa que uma água quente é menos viscosa que uma água fria. Tal fato traz, naturalmente, consequências para a vida aquática: os pequenos organismos, que não possuem movimentação própria, tendem a ir mais rapidamente para o fundo do corpo d'água em períodos mais quentes do ano,

quando a viscosidade é menor. O mesmo ocorre com partículas em suspensão, que se sedimentam, mais intensamente, no caso de ambientes aquáticos tropicais. Para muitos organismos, o fato de atingirem o fundo significa a sua morte, em razão da pouca disponibilidade de oxigênio e luz. Por essa razão, muitos deles desenvolvem mecanismos para retardar a sua precipitação, o que pode ser observado, principalmente, com as microalgas. Tais mecanismos estão relacionados à produção de bolhas de gás, excreção de reservas de óleo e até mesmo alterações morfológicas, assumindo, às vezes, formas semelhantes a guarda-chuvas ou paraquedas, tudo isto com o intuito de retardar ao máximo sua sedimentação. No caso das alterações morfológicas, elas podem ocorrer de forma cíclica, sempre que a temperatura da água aumentar (períodos de verão, por exemplo) sendo este fenômeno conhecido por ciclomorfose.

### 1.3.1.3 Tensão superficial

Na interface que separa o meio líquido e o meio atmosférico, ou seja, na camada superficial micrométrica de um corpo d'água, há uma forte coesão entre as moléculas, fenômeno este denominado tensão superficial. Às vezes, esta coesão é tão forte que pode ser observada a olho nu em um recipiente de água ao se tocar levemente sua superfície com o dedo. Esta fina camada de aparência gelatinosa serve de substrato para a vida de pequenos organismos, que podem habitar tanto a parte superior, quanto a inferior da película. A coesão molecular na superfície é afetada por alguns fatores físicos e químicos, como, por exemplo, a temperatura e a presença de substâncias orgânicas dissolvidas. Quanto maior a temperatura, menor é a tensão superficial. Quando há o lançamento de esgotos industriais em rios e lagos, ocorre um aumento na concentração de substâncias orgânicas dissolvidas, o que também leva a uma diminuição da tensão superficial. Em casos extremos, como por exemplo, quando da forte presença de sabões e detergentes, a tensão superficial praticamente acaba trazendo prejuízos à comunidade que vive na interface água-ar e que desempenha importante papel na cadeia alimentar do corpo d'água.

### 1.3.1.4 Calor específico

O calor específico da água é elevadíssimo, superado, dentre os líquidos, apenas pelo amoníaco e pelo hidrogênio líquido. Isto significa que são necessárias grandes quantidades de energia para promover alterações de temperatura na água ou, de outra forma, que a água pode absorver grandes quantidades de calor, apresentar fortes mudanças de temperatura. Em razão do alto calor específico da água, ambientes aquáticos são bastante estáveis com relação à temperatura. Isto fica evidente no caso de pequenas ilhas situadas nos oceanos, as quais apresentam temperaturas médias uniformes durante todo o ano, em função da estabilidade térmica da água que as circunda.

Define-se calor específico como a quantidade de energia requerida, por unidade de massa, para elevar a temperatura de um determinado material. A energia necessária para elevar em 1°C (de 14,5 a 15,5°C) a temperatura de um grama de água foi definida como sendo uma caloria (1 cal), ficando, pois, estabelecido o calor específico da água pura como sendo igual a 1,0 cal/g °C. Ao contrário do calor específico, a condutividade térmica da água é extremamente baixa. Se um corpo d'água permanecesse imóvel, sem turbulência, a difusão do calor seria tão lenta que o seu fundo só seria aquecido após vários séculos. Na prática, isto não ocorre porque o transporte de calor também se dá por convecção, ou seja, por movimentos que ocorrem em razão de gradientes de densidade na água.

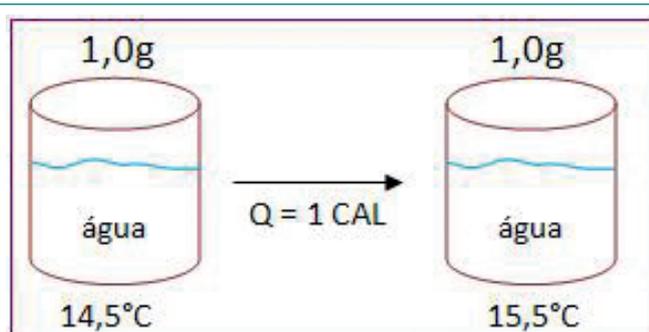


Figura 6 – Transporte de calor.

Fonte: [colegioweb.com.br](http://colegioweb.com.br)

### 1.3.1.5 Dissolução de gases

A água apresenta a capacidade de dissolução de gases, alguns dos quais bastante importantes para a ecologia do ambiente hídrico. O gás de maior relevância para o meio aquático é, sem dúvida alguma, o oxigênio, já que dele dependem todos os organismos aeróbios que habitam o corpo d'água. Sabe-se que a biota (conjunto de seres vivos) aquática pode ser formada por organismos aeróbios e ou anaeróbios. Enquanto os primeiros utilizam o oxigênio dissolvido para sua respiração, os últimos respiram utilizando o oxigênio contido em moléculas de diversos compostos, como nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e outros. Para o ser humano, o predomínio de uma condição aeróbia no corpo d'água é fundamental, já que a maioria dos usos da água exige condições de qualidade só encontradas em ambientes aeróbios. No entanto, sob o ponto de vista ecológico, os ambientes anaeróbios, como pântanos, por exemplo, também apresentam relevância, muito embora não se prestem para utilização humana. Além disso, muitos sistemas aquáticos anaeróbios são resultantes de antigos sistemas aeróbios que sofreram uma forte degradação de sua qualidade, como, por exemplo, por meio do lançamento de esgotos. Sabe-se, ainda, que as condições anaeróbias favorecem a proliferação de gases com maus odores, o que naturalmente é indesejável para o ser humano. Para o ser humano, o predomínio de uma condição aeróbia no corpo d'água é fundamental, já que a maioria dos usos da água exige condições de qualidade só encontradas em ambientes aeróbios.

A concentração dos gases na água depende da chamada pressão parcial do gás e da temperatura. Sabe-se que na atmosfera terrestre, os principais gases estão distribuídos, aproximadamente, na seguinte proporção:

- Nitrogênio ( $\text{N}_2$ ): 78%;
- Oxigênio ( $\text{O}_2$ ): 21%; e
- Gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ): 0,03%.

A solubilidade química absoluta dos gases na água, à temperatura de 20°C, é a seguinte:

- CO<sub>2</sub>: 1.700 mg/L;
- O<sub>2</sub>: 43 mg/L; e
- N<sub>2</sub>: 18 mg/L.

Multiplicando-se estas concentrações absolutas pela pressão parcial dos gases obtém-se a concentração de saturação dos mesmos, isto é, os valores máximos de concentração que podem ser atingidos no meio. Na água, esta concentração de saturação é diretamente proporcional à pressão e indiretamente proporcional à temperatura e ao teor salino. Isto significa que, em condições naturais, as águas de clima tropical são menos ricas em oxigênio que aquelas de clima temperado; os corpos d'água situados próximos ao nível do mar (maior pressão atmosférica) possuem mais oxigênio que os localizados nas montanhas; a água do mar (maior teor salino) apresenta menores teores de oxigênio que a água doce. Um corpo de água doce, submetido à pressão de uma atmosfera e com a temperatura de 20°C, possui aproximadamente as seguintes concentrações de saturação para os principais gases:

- O<sub>2</sub>: 9 mg/L;
- N<sub>2</sub>: 14 mg/L; e
- CO<sub>2</sub>: 0,5 mg/L.

Em geral, é mais conveniente expressar as concentrações de gases em percentuais de saturação, o que é muito mais elucidativo do que o fornecimento de concentrações absolutas. Por exemplo, a concentração de oxigênio de 7 mg/L pode ser um valor bastante satisfatório para rios e lagos em climas quentes, mas será um teor baixo se ela se referir a águas de regiões frias. A ausência de oxigênio em um ambiente aquático é designada pelo termo **anoxia**, enquanto que o predomínio de baixas concentrações é expresso por **hipoxia**.

### Saiba mais

O aumento da concentração de oxigênio em solução no meio líquido ocorre, fundamentalmente, por meio de dois fenômenos: aeração atmosférica e atividade fotossintética das plantas aquáticas. Enquanto que em rios a fonte principal de oxigênio é a atmosfera, mediante a existência de turbulência em suas águas, no caso de lagos há a dominância da fotossíntese, em decorrência do maior crescimento de microalgas e plantas aquáticas. É interessante observar que, por meio da atividade de fotossíntese, podem ser obtidas, temporariamente, concentrações de oxigênio superiores ao valor de saturação. Tal fato é designado como supersaturação do ambiente aquático. Vale ressaltar que a supersaturação da água apenas ocorre em decorrência da fotossíntese e nunca da aeração atmosférica. A diminuição da concentração de oxigênio em solução no meio líquido é consequência dos seguintes processos: perdas para a atmosfera (desorção atmosférica), respiração dos organismos, mineralização da matéria orgânica e oxidação de íons.

| Temperatura (°C) | Oxigênio dissolvido na água (cm <sup>3</sup> /l) |
|------------------|--|
| 0                | 10,2   |
| 5                | 8,9  |
| 10               | 7,9  |
| 15               | 7,1  |
| 20               | 6,4  |
| 25               | 5,9  |
| 30               | 5,3  |

FONTE: CHARBONNEAU, J. P. et al. *Enciclopédia de Ecologia*. São Paulo: EPU/EDUSP. 1979. p.120.

Em função das entradas e saídas de oxigênio, pode-se avaliar o balanço deste gás no ambiente hídrico. Existe a possibilidade de utilização de modelos, mediante o emprego de coeficientes para reaeração atmosférica, fotossíntese, respiração e mineralização da matéria orgânica. Estes modelos são muito úteis para o estabelecimento de prognósticos relativos à qualidade da água em decorrência da maior ou menor presença de oxigênio.

Além do oxigênio, outros gases são também relevantes para o estudo da qualidade da água. Dentre eles, podem ser citados o gás metano ( $\text{CH}_4$ ), o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) – ambos decorrentes e processos de respiração anaeróbia – e o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), matéria-prima para a fotossíntese e produto final da respiração (na atividade fotossintética há absorção de  $\text{CO}_2$  e liberação de  $\text{O}_2$ , enquanto na respiração ocorre exatamente o contrário).

#### 1.3.1.6 Dissolução de substâncias

Além de gases, a água também tem a capacidade de dissolver outras substâncias químicas, as quais apresentam relevância na determinação de sua qualidade. A solubilidade destas substâncias está vinculada ao pH do meio, havendo geralmente um acréscimo da solubilidade com a redução do pH. Também o aumento da temperatura favorece a solubilidade das diversas substâncias químicas. A influência do pH e da temperatura pode ser observada na distribuição de substâncias dissolvidas em rios e lagos. Principalmente nestes últimos, ocorre um gradiente acentuado de pH, com a obtenção de valores elevados na superfície, como decorrência da atividade fotossintética e teores mais baixos no fundo, em função do predomínio de processos respiratórios. Desta forma, é frequente a ocorrência de altas concentrações de substâncias dissolvidas no hipolímnio de lagos e represas, fenômeno este que é reforçado pelos baixos teores de oxigênio encontrados naquela região.

Quando acontece a circulação do corpo d'água, toda essa massa de substâncias dissolvidas, dentre elas vários nutrientes, sobe até a superfície, o que pode favorecer o crescimento excessivo de algas e plantas, fenômeno da eutrofização. Entre os compostos dissolvidos na água, merecem destaque: nutrientes responsáveis pela eutrofização; compostos de nitrogênio (amônia, nitrito, nitrato) e de fósforo (fosfato); compostos de ferro e manganês – tais compostos podem passar pelas estações de tratamento de água na forma dissolvida (reduzida quimicamente), vindo posteriormente a precipitar-se, através de oxidação química, na rede de distribuição, provocando o surgimento de água com coloração avermelhada ou amarronzada; compostos orgânicos; metais pesados; e alguns cátions (sódio, potássio, cálcio, magnésio) e ânions (carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloretos). Estas são as principais substâncias dissolvidas utilizadas para a avaliação da qualidade de uma amostra de água.

#### 1.3.2 Indicadores de qualidade física

O conceito de qualidade da água sempre tem relação com o uso que se faz dessa água. Por exemplo, uma água de qualidade adequada para uso industrial, navegação ou geração hidrelétrica pode não ter qualidade adequada para o abastecimento humano, a recreação ou a preservação da vida aquática. Existe uma grande variedade de indicadores que expressam aspectos parciais da qualidade das águas. No entanto, não existe um indicador único que sintetize todas as variáveis de qualidade da água. Geralmente são usados

indicadores para usos específicos, tais como o abastecimento doméstico, a preservação da vida aquática e a recreação de contato primário (balneabilidade).

#### 1.3.2.1 Temperatura

A temperatura expressa a energia cinética das moléculas de um corpo, sendo seu gradiente o fenômeno responsável pela transferência de calor em um meio. A alteração da temperatura da água pode ser causada por fontes naturais (principalmente energia solar) ou antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas). A temperatura exerce influência marcante na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas dos organismos e na solubilidade de substâncias. Os ambientes aquáticos brasileiros apresentam, em geral, temperaturas na faixa de 20°C a 30°C. Entretanto, em regiões mais frias, como no sul do país, a temperatura da água em períodos de inverno pode baixar a valores entre 5°C e 15°C, atingindo, em alguns casos, até o ponto de congelamento. Em relação às águas para consumo humano, temperaturas elevadas aumentam as perspectivas de rejeição ao uso. Águas subterrâneas captadas a grandes profundidades frequentemente necessitam de unidades de resfriamento, a fim de adequá-las ao abastecimento.

#### 1.3.2.2 Sabor e odor

A conceituação de sabor envolve uma interação de gosto (salgado, doce, azedo e amargo) com o odor. No entanto, genericamente usa-se a expressão conjunta: sabor e odor. Sua origem está associada tanto à presença de substâncias químicas ou gases dissolvidos, quanto à atuação de alguns micro-organismos, notadamente algas. Neste último caso, são obtidos odores que podem até mesmo ser agradáveis (odor de gerânio e de terra molhada etc.) além daqueles considerados como repulsivos (odor de ovo podre, por exemplo). Despejos industriais que contêm fenol, mesmo em pequenas concentrações, apresentam odores bem característicos. Vale destacar que substâncias altamente deletérias aos organismos aquáticos, como metais pesados e alguns compostos organossintéticos não conferem nenhum sabor ou odor à água. Para consumo humano e usos mais nobres, o padrão de potabilidade exige que a água seja completamente inodora.

#### 1.3.2.3 Cor

A cor da água é produzida pela reflexão da luz em partículas minúsculas de dimensões inferior a 1 µm – denominadas coloides – finamente dispersas, de origem orgânica (ácidos húmicos e fúlvicos) ou mineral (resíduos industriais, compostos de ferro e manganês). Corpos d'água de cores naturalmente escuras são encontrados em regiões ricas em vegetação, em decorrência da maior produção de ácidos húmicos. Um exemplo internacionalmente conhecido é o do Rio Negro, afluente do Rio Amazonas, cujo nome faz referência à sua cor escura, causada pela presença de produtos de decomposição da vegetação e pigmentos de origem bacteriana (*Chromobacterium violaceum*).

Os rios de águas brancas possuem alta turbidez, são ricos em nutrientes, íons dissolvidos e sedimentos, além de apresentarem pH mais básico. Essas características devem-se à erosão e, entre outros fatores, à forte declividade nas cabeceiras desses rios localizadas na porção Andina. São exemplos de rios de águas brancas os rios Solimões, Madeira, Juruá e Purus (ANA, 2005a).

Os rios de águas pretas apresentam uma coloração escura devido à presença de substâncias orgânicas dissolvidas, possuem pH ácido, baixa carga de sedimentos e baixa concentração de cálcio e magnésio. As propriedades químicas dessas águas são determinadas pelos solos arenosos e pela Campinarana – vegetação característica que ocorre nas nascentes dos rios. O principal exemplo de rio de águas pretas é o rio Negro.

A determinação da intensidade da cor da água é feita comparando-se a amostra com um padrão de cobalto-platina, sendo o resultado fornecido em unidades de cor, também chamadas uH (unidade Hazen). As águas naturais apresentam, em geral, intensidades de cor variando de 0 a 200 unidades. Valores inferiores a dez unidades são dificilmente perceptíveis. A cloração de águas coloridas com a finalidade de abastecimento doméstico pode gerar produtos potencialmente cancerígenos (trihalometanos), derivados da complexação do cloro com a matéria orgânica em solução. Para efeito de caracterização de águas para abastecimento, distingue-se a cor aparente, na qual se consideram as partículas suspensas, da cor verdadeira. A determinação da segunda realiza-se após centrifugação da amostra. Para atender o padrão de potabilidade, a água deve apresentar intensidade de cor aparente inferior a cinco unidades.

#### 1.3.2.4 Turbidez

A turbidez pode ser definida como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido. A alteração à penetração da luz na água decorre na suspensão, sendo expressa por meio de unidades de turbidez (também denominadas unidades de Jackson ou nefelométricas). A turbidez dos corpos d'água é particularmente alta em regiões com solos erosivos, onde a precipitação pluviométrica pode carrear partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo. Grande parte das águas de rios brasileiros é naturalmente turva em decorrência das características geológicas das bacias de drenagem, ocorrência de altos índices pluviométricos e uso de práticas agrícolas, muitas vezes inadequadas. Ao contrário da cor, que é causada por substâncias dissolvidas, a turbidez é provocada por partículas em suspensão, sendo, portanto, reduzida por sedimentação. Em lagos e represas, onde a velocidade de escoamento da água é menor, a turbidez pode ser bastante baixa. Além da ocorrência de origem natural, a turbidez da água pode, também, ser causada por lançamentos de esgotos domésticos ou industriais. A turbidez natural das águas está, geralmente, compreendida na faixa de 3 a 500 unidades fins de potabilidade; a turbidez deve ser inferior a 1 unidade. Tal restrição fundamenta-se na influência da turbidez nos processos usuais de desinfecção, atuando como escudo aos micro-organismos patogênicos, minimizando a ação do desinfetante.

#### Saiba mais

Um parâmetro não menos importante que está diretamente associado à turbidez é a transparência da água, a qual é usada principalmente no caso de lagos e represas. A transparência é medida mergulhando-se na água um disco de aproximadamente 20 cm de diâmetro (disco de Secchi, em homenagem a seu inventor, um naturalista italiano) e anotando-se a profundidade de desaparecimento. Os lagos turvos apresentam transparências reduzidas, da ordem de poucos centímetros até um metro, enquanto que em lagos cristalinos a transparência pode atingir algumas dezenas de metros.

### 1.3.2.5 Sólidos

A presença de sólidos na água é comentada neste tópico relativo aos parâmetros físicos, muito embora os sólidos possam, também, estar associados a características químicas ou biológicas. Os sólidos presentes na água podem estar distribuídos da seguinte forma: em suspensão (sedimentáveis e não sedimentáveis) e dissolvidos (voláteis e fixos). Sólidos em suspensão podem ser definidos como as partículas passíveis de retenção por processos de filtração. Sólidos dissolvidos são constituídos por partículas de diâmetro inferior a  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$  e que permanecem em solução mesmo após a filtração. A entrada de sólidos na água pode ocorrer de forma natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou antropogênica (lançamento de lixo e esgotos).

Muito embora os parâmetros turbidez e sólidos totais estejam associados, eles não são absolutamente equivalentes. Uma pedra, por exemplo, colocada em um copo de água limpa, confere àquele meio uma elevada concentração de sólidos totais, sendo que a sua turbidez pode ser praticamente nula. O padrão de potabilidade refere-se apenas aos sólidos totais dissolvidos (limite: 1000 mg/L), já que esta parcela reflete a influência de lançamento de esgotos, além de afetar a qualidade organoléptica da água.

### 1.3.2.6 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da água indica a sua capacidade de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, que se dissociam em ânions e cátions. Quanto maior a concentração iônica da solução, maior é a oportunidade para ação eletrolítica e, portanto, maior a capacidade em conduzir corrente elétrica. Muito embora não se possa esperar uma relação direta entre condutividade e concentração de sólidos totais dissolvidos, já que as águas naturais não são soluções simples, tal correlação é possível para águas de determinadas regiões onde exista a predominância bem definida de um determinado íon em solução. A condutividade elétrica da água deve ser expressa em unidades de resistência (mho ou S) por unidade de comprimento (geralmente cm ou m). Até algum tempo atrás, a unidade mais usual para expressão da resistência elétrica da água era o mho (inverso de ohm), mas atualmente é recomendável a utilização da unidade S (Siemens). Enquanto que as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

## 1.3.3 Indicadores de qualidade química

### 1.3.3.1 pH

O potencial hidrogênio (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido, por meio da medição da presença de íons hidrogênio ( $\text{H}^+$ ). É calculado em escala antilogarítmica, abrangendo a faixa de 0 a 14 (inferior a 7: condições ácidas; superior a 7: condições alcalinas). O valor do pH influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, além de contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de definir o potencial de toxicidade de vários elementos. As alterações de pH podem ter origem natural (dissolução de rochas, fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais). Em águas de abastecimento, baixos

valores de pH podem contribuir para sua corrosividade e agressividade, enquanto que valores elevados aumentam a possibilidade de incrustações. Para a adequada manutenção da vida aquática, o pH deve situar-se, geralmente, na faixa de 6 a 9. Existem, no entanto, várias exceções a esta recomendação, provocadas por influências naturais, como é o caso de rios de cores intensas, em decorrência da presença de ácido húmicos provenientes da decomposição de vegetação. Nesta situação, o pH das águas é sempre ácido (valores de 4 a 6), como pode ser observado em alguns cursos d'água na planície amazônica. A acidificação das águas pode ser também um fenômeno derivado da poluição atmosférica, mediante complexação de gases poluentes com o vapor d'água, provocando o predomínio de precipitações. Podem, também, existir ambientes aquáticos naturalmente alcalinos, em função da composição química de suas águas, como é o exemplo de alguns lagos africanos, nos quais o pH chega a ultrapassar o valor de 10. O intervalo de pH para águas de abastecimento é estabelecido pela Portaria MS n.º 2914/2011 entre 6,5 e 9,5. Este parâmetro objetiva minimizar os problemas de incrustação e corrosão das redes de distribuição.

### 1.3.3.2 Alcalinidade

A alcalinidade indica a quantidade de íons na água que reagem para neutralizar os íons hidrogênio. Constitui-se, portanto, em uma medição da capacidade da água de neutralizar os ácidos, servindo, assim, para expressar a capacidade de tamponamento da água, isto é, sua condição de resistir a mudanças do pH. Ambientes aquáticos com altos valores de alcalinidade podem, assim, manter aproximadamente os mesmos teores de pH, mesmo com o recebimento de contribuições fortemente ácidas ou alcalinas. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2+}$ ) e hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ). Outros ânions, como cloretos, nitratos e sulfatos, não contribuem para a alcalinidade.

A distribuição entre as três formas de alcalinidade na água (bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos) é função do seu pH: pH > 9,4 (hidróxidos e carbonatos); pH entre 8,3 e 9,4 (carbonatos e bicarbonatos); pH entre 4,4 e 8,3 (apenas bicarbonatos).

Verifica-se, assim, que na maior parte dos ambientes aquáticos a alcalinidade é devida exclusivamente à presença de bicarbonatos. Valores elevados de alcalinidade estão associados a processos de decomposição da matéria orgânica e à alta taxa respiratória de micro-organismos, com liberação e dissolução do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) na água. A maioria das águas naturais apresenta valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

### 1.3.3.3 Acidez

A acidez, em contraposição à alcalinidade, mede a capacidade da água em resistir às mudanças de pH causadas pelas bases. Ela decorre, fundamentalmente, da presença de gás carbônico livre na água. A origem da acidez tanto pode ser natural ( $\text{CO}_2$  absorvido da atmosfera, ou resultante da decomposição de matéria orgânica, presença de  $\text{H}_2\text{S}$  – gás sulfídrico) como antropogênica (despejos industriais, passagem da água por minas abandonadas). De maneira semelhante à alcalinidade, a distribuição das formas de acidez também é função do pH da água: pH > 8,2 –  $\text{CO}_2$  livre ausente; pH entre 4,5 e 8,2 – acidez carbônica; pH < 4,5 – acidez por ácidos minerais fortes, geralmente resultantes

de despejos industriais. Águas com acidez mineral são desagradáveis ao paladar, sendo desaconselhadas para abastecimento doméstico.

#### 1.3.3.4 Dureza

A dureza indica a concentração de cátions multivalentes em solução na água. Os cátions mais frequentemente associados à dureza são os de cálcio e magnésio ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ) e, em menor escala, ferro ( $\text{Fe}^{+2}$ ), manganês ( $\text{Mn}^{+2}$ ), estrôncio ( $\text{Sr}^{+2}$ ) e alumínio ( $\text{Al}^{+3}$ ). A dureza pode ser classificada como dureza carbonato ou dureza não carbonato, dependendo do ânion com o qual ela está associada. A dureza carbonato corresponde à alcalinidade, estando, portanto em condições de indicar a capacidade de tamponamento de uma amostra de água. A origem da dureza das águas pode ser natural (por exemplo, dissolução de rochas calcárias, ricas em cálcio e magnésio) ou antropogênica (lançamento de efluentes industriais). A dureza da água é expressa em mg/L de equivalente em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e pode ser classificada em mole ou branda: < 50 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; dureza moderada: entre 50 mg/L e 150 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; dura: entre 150 mg/L e 300 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ; e muito dura: >300 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

Águas de elevada dureza reduzem a formação de espuma, o que implica em um maior consumo de sabões e xampus, além de provocar incrustações nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores, devido à precipitação dos cátions em altas temperaturas. Existem evidências de que a ingestão de águas duras contribui para uma menor incidência de doenças cardiovasculares. Em corpos d'água de reduzida dureza, a biota é mais sensível à presença de substâncias tóxicas, já que a toxicidade é inversamente proporcional ao grau de dureza da água. Para águas de abastecimento, o padrão de potabilidade estabelece o limite de 500 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . Valores desta magnitude usualmente não são encontrados em águas superficiais no Brasil, podendo ocorrer, em menor concentração, em aquíferos subterrâneos.

#### 1.3.3.5 Cloretos

Os cloretos, geralmente, provêm da dissolução de minerais ou da intrusão de águas do mar, e ainda podem advir dos esgotos domésticos ou industriais. Em altas concentrações, conferem sabor salgado à água ou propriedades laxativas.

#### 1.3.3.6 Série nitrogenada

No meio aquático, o elemento químico nitrogênio pode ser encontrado sob diversas formas:

- a) Nitrogênio molecular ( $\text{N}_2$ ): nesta forma, o nitrogênio está, continuamente, sujeito a perdas para a atmosfera. Algumas espécies de algas fixar o nitrogênio atmosférico, o que permite o seu crescimento mesmo quando as outras formas de nitrogênio não estão disponíveis na massa líquida;
- b) Nitrogênio orgânico: constituído por nitrogênio na forma dissolvida (compostos nitrogenados orgânicos) ou particulada (biomassa de organismos);

- c) Íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ): forma reduzida do nitrogênio, sendo encontrada em condições de anaerobiose; serve, ainda, como indicador do lançamento de esgotos de elevada carga orgânica;
- d) Íon nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ): forma intermediária do processo de oxidação, apresentando uma forte instabilidade no meio aquoso; e
- e) Íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ): forma oxidada de nitrogênio, encontrada em condições de aerobiose.

O ciclo do nitrogênio conta com a intensa participação de bactérias, tanto no processo de nitrificação (oxidação bacteriana do amônio a nitrito e deste a nitrato), quanto no de desnitrificação (redução bacteriana do nitrato ao gás nitrogênio). O nitrogênio é um dos mais importantes nutrientes para o crescimento de algas e macrófitas (plantas aquáticas superiores), sendo facilmente assimilável nas formas de amônio e nitrato. Em condições fortemente alcalinas, ocorre o predomínio da amônia livre (ou não ionizável), que é bastante tóxica a vários organismos aquáticos. Já o nitrato, em concentrações elevadas, está associado à doença da metahemoglobinemia, que dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea de bebês. Em adultos, a atividade metabólica interna impede a conversão do nitrato em nitrito, que é o agente responsável por esta enfermidade.

Além de ser fortemente encontrado na natureza, na forma de proteínas e outros compostos orgânicos, o nitrogênio tem uma significativa origem antropogênica, principalmente em decorrência do lançamento em corpos d'água de despejos domésticos, industriais e de criatórios de animais, assim como de fertilizantes.

#### 1.3.3.7 Fósforo

O fósforo é, em razão da sua baixa disponibilidade em regiões de clima tropical, o nutriente mais importante para o crescimento de plantas aquáticas. Quando este crescimento ocorre em excesso, prejudicando os usos da água, caracteriza-se o fenômeno conhecido como eutrofização. No ambiente aquático, o fósforo pode ser encontrado sob várias formas:

- a) Orgânico: solúvel (matéria orgânica dissolvida) ou particulado (biomassa de micro-organismos);
- b) Inorgânico: solúvel (sais de fósforo) ou particulado (compostos minerais, como apatita).

A fração mais significativa no estudo do fósforo é a inorgânica solúvel, que pode ser diretamente assimilada para o crescimento de algas e macrófitas. A presença de fósforo na água está relacionada a processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, pesticidas). Em águas naturais não poluídas, as concentrações de fósforo situam-se na faixa de 0,01 mg/L a 0,05 mg/L.

#### 1.3.3.8 Fluoretos

O Flúor é o 13º elemento mais abundante no solo e o 15º no mar. Apresenta grande afinidade pelos metais bi e trivalentes, como o manganês, o ferro e o cálcio, característica

que favorece sua fixação nos organismos vivos. É o elemento quimicamente mais reativo de todos os íons carregados negativamente. Como consequência, nunca é encontrado na natureza em forma pura, mas sim em compostos: os fluoretos. Na forma isolada, o flúor é um gás que possui odor irritante.

Os fluoretos são compostos químicos formados pela combinação com outros elementos, encontrados em toda parte: solo, ar, água, nas plantas e na vida animal. Isto explica porque muitos alimentos contêm flúor. Ainda assim, a quantidade que ingerimos não passa de, em média, 0,3mg de flúor por dia. O conteúdo de flúor na superfície terrestre varia de 20-500 ppm, aumentando nas camadas mais profundas, podendo chegar a 8.300 ppm, conferindo uma maior concentração de flúor às águas subterrâneas. Sua importância no solo se dá ao fato da incorporação deste elemento aos alimentos, principalmente nas folhas de chá, inhame e mandioca. Os fertilizantes contendo flúor, em teores que variam de 0,58 a 2,43%, aparentemente não influenciam em sua concentração nos vegetais cultivados em solos fertilizados, embora a literatura relate mudanças abruptas na concentração de flúor em vegetais.

No ar, a concentração de fluoretos se dá pela presença de “aerossóis” (pós de solos) ricos em flúor, resíduos industriais gasosos, combustão de carvão e gases emitidos em zonas de atividades vulcânicas, podendo variar de 0,05 a 1,90 mg de F/m<sup>3</sup>. Níveis de até 1,4 mg de F/m<sup>3</sup> foram registrados dentro de fábricas e de 0,2 mg de F/m<sup>3</sup> nas imediações.

Na ingestão, o sal de flúor é rapidamente veiculado através da corrente sanguínea, ocorrendo uma deposição de íons fluoretos nos tecidos mineralizados – ossos e dentes. Não havendo deposição nos tecidos moles, a parcela não absorvida, 90%, é eliminada normalmente pelas vias urinárias, ocorrendo, também, através das fezes, suor e fluidos gengivais. A efetividade do flúor sistêmico deve-se à combinação de três fatores: o fortalecimento do esmalte pela redução da sua solubilidade perante o ataque ácido, inibindo a desmineralização; o favorecimento da remineralização; e a mudança na ecologia bucal pela diminuição do número e do potencial cariogênico dos micro-organismos.

Estudos mais recentes mostram que, apesar da incorporação do flúor à estrutura íntima dos dentes, o maior grau de proteção permanece constantemente na boca. Mesmo quando ingerido sistematicamente, sua maior função é tópica na superfície dental, depois de retornar ao meio bucal pela saliva. Seus efeitos benéficos são obtidos aumentando ou favorecendo a remineralização de lesões iniciais de cárie (manchas brancas), desenvolvendo uma maior resistência aos ataques futuros nos locais mais expostos à agressão. Sua ação é preventivo-terapêutica, pois o flúor que interessa para fins de proteção à cárie dental não é aquele incorporado intimamente à estrutura do dente, mas sim o que é incorporado na estrutura mais superficial, sujeito à dinâmica constante de trocas minerais estabelecidas entre saliva e esmalte dentário. Sendo assim, ele não oferece resistência permanente à cárie; as pessoas, uma vez privadas da exposição do flúor, voltam a ter as mesmas chances de desenvolver cárie dental que aquelas nunca expostas.

A Portaria nº. 635/Bsb (Bsb = Brasília), de 26 de dezembro de 1975, aprova o referido decreto defendendo a análise diária e mensal da concentração de flúor nas águas, determinando a necessidade do controle sobre a fluoretação. Além disso, determina o abastecimento contínuo de água distribuída à população, em caráter regular e sem interrupção, com padrões mínimos de potabilidade; os limites recomendados para concentração do íon flúor variam em função da média das temperaturas máximas diárias do ar.

### 1.3.3.9 Ferro e manganês

Os elementos ferro e manganês, por apresentarem comportamento químico semelhante, podem ter seus efeitos na qualidade da água abordados conjuntamente. Muito embora estes elementos não apresentem inconvenientes à saúde nas concentrações normalmente encontradas nas águas naturais, eles podem provocar problemas de ordem estética (manchas em roupas, vasos sanitários) ou prejudicar determinados usos industriais da água. Desta forma, o padrão de potabilidade das águas determina valores máximos de 0,3 mg/L para o ferro e 0,1 mg/L para o manganês. Deve ser destacado que as águas de muitas regiões brasileiras, como é o caso de Minas Gerais, por exemplo, em função das características geoquímicas das bacias de drenagem, apresentam naturalmente teores elevados de ferro e manganês, que podem, inclusive, superar os limites fixados pelo padrão de potabilidade. Altas concentrações destes elementos são também encontradas em situações de ausência de oxigênio dissolvido, como, por exemplo, em águas subterâneas ou nas camadas mais profundas dos lagos. Em condições de anaerobiose, o ferro e o manganês apresentam-se em sua forma solúvel ( $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$ ), voltando a precipitar-se quando em contato com o oxigênio (oxidação a  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{4+}$ ).

### 1.3.3.10 Oxigênio dissolvido

Trata-se de um dos parâmetros mais significativos para expressar a qualidade de um ambiente aquático. É sabido que a dissolução de gases na água sofre a influência de distintos fatores ambientais (temperatura, pressão, salinidade). As variações nos teores de oxigênio dissolvido estão associadas aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos corpos d'água. Para a manutenção da vida aquática aeróbica são necessários teores mínimos de oxigênio dissolvido de 2 mg/L a 5 mg/L, exigência de cada organismo. A concentração de oxigênio disponível mínima necessária para sobrevivência das espécies piscícolas é de 4 mg/L para a maioria dos peixes e de 5 mg/L para trutas. Em condições de anaerobiose (ausência de oxigênio dissolvido) os compostos químicos são encontrados na sua forma reduzida (isto é, não oxidada), a qual é geralmente solúvel no meio líquido, disponibilizando, portanto, as substâncias para assimilação pelos organismos que sobrevivem no ambiente. À medida em que cresce a concentração de oxigênio dissolvido os compostos vão se precipitando, ficando armazenados no fundo dos corpos d'água.

### 1.3.3.11 Matéria orgânica: DBO e DQO

A matéria orgânica da água é necessária aos seres heterótrofos, na sua nutrição, e aos autótrofos, como fonte de sais nutrientes e gás carbônico. Em grandes quantidades, no entanto, podem causar alguns problemas, como cor, odor, turbidez e consumo do oxigênio dissolvido pelos organismos decompositores. O consumo de oxigênio é um dos problemas mais sérios do aumento do teor de matéria orgânica, pois provoca desequilíbrios ecológicos, podendo causar a extinção dos organismos aeróbicos. Geralmente, são utilizados dois indicadores do teor de matéria orgânica na água: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Os parâmetros DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) são utilizados para indicar a presença de matéria orgânica na água. Sabe-se que a matéria orgânica é responsável pelo principal problema de poluição das águas, que

é a redução na concentração de oxigênio dissolvido. Isto ocorre como consequência da atividade respiratória das bactérias para a estabilização da matéria orgânica. Portanto, a avaliação da presença de matéria orgânica na água pode ser feita pela medição do consumo de oxigênio. Os referidos parâmetros DBO e DQO indicam o consumo ou a demanda de oxigênio necessários para estabilizar a matéria orgânica contida na amostra de água. Esta demanda é referida convencionalmente a um período de cinco dias, já que a estabilização completa da matéria orgânica exige um tempo maior, e a uma temperatura de 20°C.

A diferença entre DBO e DQO está no tipo de matéria orgânica estabilizada. Enquanto a DBO refere-se exclusivamente à matéria orgânica mineralizada por atividade dos micro-organismos, a DQO engloba, também, a estabilização da matéria orgânica ocorrida por processos químicos. Assim sendo, o valor da DQO é sempre superior ao da DBO. Além do mais, a relação entre os valores de DQO e DBO indica a parcela de matéria orgânica que pode ser estabilizada por via biológica. Tanto a DBO quanto a DQO são expressas em mg/L. A concentração média da DBO – que é, entre os dois, o parâmetro normalmente mais utilizado – em esgotos domésticos é da ordem de 300 mg/L, o que indica que são necessários 300 miligramas de oxigênio para estabilizar, em um período de cinco dias e a 20°C, a quantidade de matéria orgânica biodegradável contida em 1 litro da amostra. Alguns efluentes de indústrias que processam matéria orgânica (laticínios, cervejarias, frigoríficos) apresentam valores de DBO na ordem de grandeza de dezenas ou mesmo centenas de gramas por litro. Em ambientes naturais não poluídos, a concentração de DBO é baixa (1 mg/L a 10 mg/L), podendo atingir valores bem mais elevados em corpos d'água sujeitos à poluição orgânica, em geral decorrente do recebimento de esgotos domésticos ou de criatórios de animais.

#### 1.3.3.12 Micropoluentes

Existem determinados elementos e compostos químicos que, mesmo em baixas concentrações, conferem à água características de toxicidade, tornando-a, assim, imprópria para grande parte dos usos. Tais substâncias são denominadas micropoluentes. O maior destaque, neste caso, é dado aos metais pesados (por exemplo, arsênio, cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, níquel, prata, zinco), frequentemente encontrados em águas residuárias industriais. Além de serem tóxicos, estes metais ainda acumulam-se no ambiente aquático, aumentando sua concentração na biomassa de organismos à medida que se evolui na cadeia alimentar (fenômeno de biomagnificação). Outros micropoluentes inorgânicos que apresentam riscos à saúde pública, conforme sua concentração, são os cianetos e o flúor. Entre os compostos orgânicos tóxicos destacam-se os defensivos agrícolas, alguns detergentes e uma ampla gama de novos produtos químicos elaborados artificialmente para uso industrial (compostos organossintéticos). Além de sua difícil biodegradabilidade, muitos destes compostos apresentam características carcinogênicas (geração de câncer), mutagênicas (influências nas células reprodutoras) e até mesmo teratogênicas (geração de fetos com graves deficiências físicas).

| <b>Disruptores Endócrinos</b>   | <b>Poluentes Orgânicos Persistentes</b>  |
|---|--|
| <p>Os disruptores endócrinos são um grupo de substâncias exógenas capazes de interferir nas funções orgânicas reguladas por hormônios, podendo comprometer a saúde dos indivíduos expostos à sua ação.</p> <p>Várias substâncias possuem esse efeito, entre elas, os estrogênios naturais e sintéticos, plastificantes, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, bifenilas policloradas (PCBs) e agrotóxicos.</p> <p>Os disruptores endócrinos presentes nos corpos hídricos são provenientes de fontes pontuais (como esgotos domésticos e efluentes industriais) ou difusas (como os agrotóxicos). Normalmente, os disruptores endócrinos são detectados em baixíssimas concentrações nos rios e mananciais. No entanto, seus efeitos adversos podem se manifestar mesmo em baixas concentrações, uma vez que pequenas variações hormonais são suficientes para desencadear uma reação endócrina.</p> | <p>Os Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) são substâncias químicas de alta persistência, que apresentam propriedades carcinogênicas e mutagênicas e têm ampla distribuição geográfica, permanecendo nos ecossistemas por longos períodos. Além de se acumularem no tecido adiposo dos seres vivos, podem causar danos à saúde humana, animal e ao meio ambiente.</p> <p>Os POPs foram estabelecidos pela Convenção de Estocolmo, em 2001. Atualmente, a lista de POPs engloba oito agrotóxicos (Aldrin, Clordano, DDT, Dieldrin, Endrin, Hexaclorobenzeno, Mirex, Toxafeno), dois produtos industriais (Bifenilas Policloradas – PCBs e Heptacloro) e duas substâncias (dioxinas e furanos), que são formadas não intencionalmente em alguns processos industriais e, principalmente, durante a combustão de matéria orgânica na presença de cloro.</p> <p>O primeiro “Inventário Nacional de Fontes e Estimativa de Emissões/Liberações de Poluentes Orgânicos Persistentes Produzidos não Intencionalmente” foi realizado em 2008, com o objetivo de subsidiar o Plano Nacional de Implementação da Convenção de Estocolmo. O inventário mostrou um potencial de liberação de 2.235 g TEQ de dioxinas e furanos no Brasil. A principal fonte de emissão de dioxinas e furanos no Brasil é a produção de metais ferrosos e não ferrosos (38,2% das emissões), seguida pela queima a céu aberto (22,8%), produtos químicos e bens de consumo (17,5%) e a disposição de efluentes e resíduos (10,4%). Portanto, a ação de redução da emissão deve ser prioritária nessas categorias de fontes (BRASIL, 2012).</p> |

### 1.3.4 Características biológicas

#### 1.3.4.1 Micro-organismos de importância sanitária

O papel dos micro-organismos no ambiente aquático está fundamentalmente vinculado à transformação da matéria dentro do ciclo dos diversos elementos. Tais processos são realizados com o objetivo de fornecimento de energia para a sobrevivência dos micro-organismos. Um dos processos mais significativos é a decomposição da matéria orgânica, realizada principalmente por bactérias. Este processo é vital para o ambiente aquático, na medida em que a matéria orgânica que ali chega é decomposta em substâncias mais simples pela ação das bactérias. Como produtos finais obtêm-se compostos minerais inorgânicos, como por exemplo, nitratos, fosfatos e sulfatos que, por sua vez, são reassimilados por outros organismos aquáticos. O processo de decomposição, também designado como estabilização ou mineralização, é um exemplo do papel dos micro-organismos. Por outro lado, existem algumas poucas espécies que são capazes de transmitir enfermidades, gerando, portanto, preocupações de ordem sanitária.

O problema de transmissão de enfermidades é particularmente importante no caso de águas de abastecimento, as quais devem passar por um tratamento adequado, incluindo desinfecção. No entanto, a determinação individual da eventual presença de cada micro-organismo patogênico em uma amostra de água não pode ser feita rotineiramente, já que envolveria a preparação de diferentes meios de cultura, tornando o procedimento complexo e financeiramente inviável. Na prática, o que é feito é a utilização de organismos, facilmente identificáveis, cuja ocorrência na água está correlacionada à presença de organismos patogênicos, ou seja, são usados os chamados organismos indicadores. O mais importante organismo indicador são as bactérias coliformes, apresentadas a seguir. Componentes orgânicos: alguns componentes orgânicos da água são resistentes à degradação biológica, acumulando-se na cadeia alimentar. Entre esses, citam-se os agrotóxicos, alguns tipos de detergentes e outros produtos químicos, os quais são tóxicos.

#### 1.3.4.2 Indicadores de qualidade biológica

As bactérias do grupo coliforme habitam normalmente o intestino de homens e animais, servindo, portanto, como indicadoras da contaminação de uma amostra de água por fezes. Como a maior parte das doenças associadas com a água é transmitida por via fecal, isto é, os organismos patogênicos, ao serem eliminados pelas fezes, atingem o ambiente aquático, podendo vir a contaminar as pessoas que se abasteçam de forma inadequada desta água, conclui-se que as bactérias coliformes podem ser usadas como indicadoras desta contaminação. Quanto maior a população de coliformes em uma amostra de água, maior é a chance de que haja contaminação por organismos patogênicos.

#### 1.3.4.3 Comunidades hidrobiológicas

As principais comunidades que habitam o ambiente aquático são:

- a) **Plâncton:** organismos sem movimentação própria, que vivem em suspensão na água, podendo ser grupados em fitoplâncton (algas, bactérias) e zooplâncton (protozoários, rotíferos, crustáceos). A comunidade planctônica exerce um papel fundamental na ecologia aquática, tanto na construção da cadeia alimentar, quanto na condução de processos essenciais, como a produção de oxigênio e a decomposição da matéria orgânica;
- b) **Benton:** é a comunidade que habita o fundo de rios e lagos, sendo constituída principalmente por larvas de insetos e por organismos anelídeos, semelhantes às minhocas. A atividade da comunidade bentônica influi nos processos de solubilização dos materiais depositados no fundo de ambientes aquáticos. Além disso, pelo fato de serem muito sensíveis e apresentarem reduzida locomoção e fácil visualização, os organismos bentônicos são considerados como excelentes indicadores da qualidade da água;
- c) **Necton:** é a comunidade de organismos que apresentam movimentação própria, sendo representada principalmente pelos peixes. Além do seu significado ecológico, situando-se no topo da cadeia alimentar, os peixes servem como fonte de proteínas para a população e também podem atuar como indicadores da qualidade da água (rotíferos, crustáceos). A comunidade planctônica exerce um papel fundamental na ecologia aquática, tanto na construção da cadeia alimentar,

quanto na condução de processos essenciais, como a produção de oxigênio e a decomposição da matéria orgânica.

#### 1.3.4.4 Cianobactérias

As cianófitas ou algas azuis são organismos com características de bactérias (ausência de envoltório nuclear), porém com sistema fotossintetizante semelhante ao das algas, daí a dupla denominação. Em ambientes eutrofizados, isto é, ricos em nitrogênio e fósforo provenientes de esgotos domésticos, industriais e atividades agrícolas, as cianobactérias quase sempre constituem o grupo fitoplanctônico dominante. Nessas condições podem causar florações que constituem problemas de saúde pública e provocam desequilíbrios ambientais significativos. Como muitas espécies de cianobactérias são tóxicas, seu controle em mananciais torna-se medida fundamental. Assim, a Portaria MS 2914/2011, relativa às normas de qualidade para água de consumo humano, estabelece que os responsáveis por estações de tratamento de água para abastecimento público devem realizar o monitoramento de cianobactérias e o controle das cianotoxinas nos mananciais. A partir de 2005, o Ministério do Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA 357/2005, também exigiu o monitoramento das células de cianobactérias para o enquadramento e classificação das águas.

#### 1.3.5 Características da água subterrânea

As águas subterrâneas são águas localizadas abaixo da superfície do solo, em solo poroso espaço e em fratura de formações litológicas. Ela faz parte do ciclo da água, portanto, encontra-se intimamente relacionada com processos atmosféricos e climáticos, com o regime de águas superficiais de rios e lagos e com as nascentes e as terras úmidas que a água subterrânea alimenta naturalmente ao chegar à superfície.

A caracterização inclui informações relevantes sobre o impacto das atividades humanas e também informações pertinentes sobre:

- a) As características geológicas da massa de águas subterrâneas, incluindo a extensão e o tipo das unidades geológicas;
- b) As características hidrogeológicas da massa de águas subterrâneas, incluindo a condutividade hidráulica, a porosidade e o confinamento;
- c) As características dos solos e depósitos superficiais na área de drenagem que alimenta a massa de águas subterrâneas, notadamente a espessura, a porosidade, a condutividade hidráulica e as propriedades de absorção desses solos e depósitos;
- d) As características de estratificação das águas no interior da massa de águas subterrâneas.

Sendo assim, a opção por captações subterrâneas apresenta algumas vantagens intrínsecas. A primeira consiste nas características da água bruta, consequência da percolação através dos interstícios granulares do solo, permitindo, salvo algumas exceções, prescindir da quase totalidade das etapas inerentes à potabilização. Desta forma, reduzem-se drasticamente os custos do tratamento, restringindo-o à desinfecção, fluoretação e eventual correção do pH. Para a captação de poços muito profundos, há necessidade da instalação de uma unidade de resfriamento.

Todavia, o emprego de águas subterrâneas com elevada dureza ou concentração de sais dissolvidos, que poderão conferir sabor e odor à água distribuída, poderá concorrer, quando o problema não é convenientemente sanado, para que a população acabe por rejeitar a água e abasteça-se em mananciais sanitariamente comprometidos. Não obstante, é vantajoso captar água de poços onde não exista a necessidade de adutoras. Então o aproveitamento da água subterrânea pode ser realizado por intermédio dos aquíferos artesianos ou freáticos. Denomina-se aquífero freático o lençol situado acima de uma camada impermeável de solo, submetido à pressão atmosférica, normalmente de menor profundidade e menor custo de escavação. Todavia, uma vez que a zona de recarga abrange praticamente toda a extensão do lençol, conseqüentemente aumenta a possibilidade de contaminação por fossas, postos de gasolina e outras fontes de poluição difusa.

## 1.4 Distribuição da água

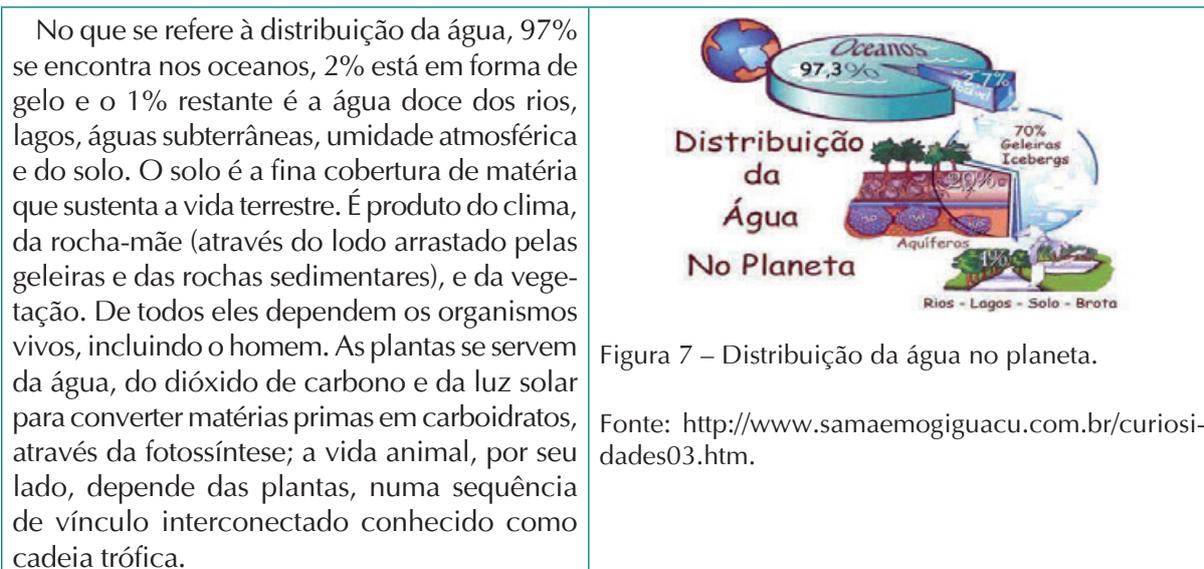
A Terra tem 1,5 bilhão de quilômetros cúbicos de água, que cobrem três quartos de sua superfície de 510 milhões de quilômetros quadrados. Mas apenas uma pequena parte, 9 mil quilômetros cúbicos, está disponível para consumo, irrigação agrícola e uso industrial. A água é um dos recursos naturais que no passado recente se imaginava praticamente ilimitados. Como resultado das melhorias dos padrões de vida em todo o mundo, o consumo de água vem aumentando rapidamente. Atualmente, é 50% maior que na década de 1950. O crescimento da demanda vem sendo atendido com a construção de barragens e desvios de rios, mas essas alternativas estão bem próximas do esgotamento. A urbanização é fator de interferência, pois afeta o armazenamento, a trajetória e a qualidade das águas.

Em todo o mundo existem aproximadamente 36 mil barragens para hidrelétricas, irrigação e abastecimento. Ressalta-se que na década de 1980 elas caíram para 170 novas unidades ao ano, contra 360 construídas entre 1951 e 1977. A razão é a ocupação quase total das áreas disponíveis e a reavaliação dos impactos ambientais, que no passado não eram considerados.

O consumo de água em todo o mundo atualmente está em torno de 6 mil quilômetros cúbicos, mas dados da UNESCO consideram que apenas a diluição da poluição das águas contaminadas exigiria outros 6 mil quilômetros cúbicos, superando em 3 mil quilômetros cúbicos a oferta. Nos Estados Unidos, por exemplo, cresce o uso de instalações sanitárias mais econômicas. Em 1988, Massachusetts tornou-se o primeiro estado a exigir que vasos sanitários usassem não mais que 6 litros numa descarga. Em 1992, uma lei estabeleceu que torneiras e chuveiros produzidos a partir de 1º de janeiro do ano seguinte utilizassem, no máximo, 9,5 litros por minuto. No Brasil, sistemas antiquados de descargas sanitárias podem consumir até 18 litros de água.

Uma das evidências de que a escassez prevista é real, e não uma extrapolação catastrófica, é o número de países onde já foi superado o nível de vida capaz de ser suportado

pela água disponível. Países com suprimentos anuais entre 1 mil e 2 mil metros cúbicos por pessoa são definidos pelos cientistas como pobres em água. Atualmente, isso até o final do século passado e início desse milênio, cerca de 26 países, com população em torno de 250 milhões de pessoas, estão incluídos nessa classificação. Com crescimento demográfico acelerado em vários deles, a situação tende a agravar-se já num futuro bem próximo. Os casos mais graves envolvem os depósitos fósseis, estoques subterrâneos de água de milhares de anos que recebem reduzida reposição das chuvas. Como poços de petróleo, esses estoques acabarão por esgotar-se ao final de certo tempo. A Arábia Saudita, por exemplo, retira de depósitos fósseis 75% da água de que precisa. E a demanda está aumentando com a decisão de tornar o país grande produtor de trigo.



A água é um elemento essencial à vida. A sua qualidade e oferta condicionam a saúde e o bem-estar das populações. A veiculação hídrica de agentes etiológicos de caráter infeccioso ou parasitário é responsável pela alta incidência de doenças que afetam as populações de modo geral.

A água contaminada veicula inúmeros agentes infecciosos causadores de enterites e diarreias infantis, principais fatores do elevado índice de mortalidade infantil no país. A disponibilidade de recursos hídricos no nosso país é bastante comprometida, do ponto de vista sanitário, em regiões onde o desenvolvimento se processou de forma desordenada, provocando a poluição das águas pelo lançamento indiscriminado de esgotos domésticos, despejos industriais, agrotóxicos e outros poluentes. Desta forma, os agentes veiculados pela água e causadores de doenças podem ser de natureza biológica ou química.

A qualidade da água para consumo humano deve ser considerada, portanto, como fator essencial no desenvolvimento das ações dos Serviços de Abastecimento de Água, quer públicos ou privados, de maneira que a água distribuída ao usuário tenha todas as características de qualidade determinadas pela legislação vigente.

## Divisão Hidrográfica Nacional



Figura 8 – Bacias hidrográficas.

Fonte: [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br).

Quadro 1 – Regiões hidrográficas.

|  |   |
|--|---|
| Região Hidrográfica Amazônica                    | É constituída pela bacia hidrográfica do rio Amazonas, situada no território nacional e, também, pelas bacias hidrográficas dos rios existentes na Ilha de Marajó, além das bacias hidrográficas dos rios situados no Estado do Amapá, que deságuam no Atlântico Norte. |
| Região Hidrográfica do Tocantins/Araguaia        | É constituída pela bacia hidrográfica do rio Tocantins até a sua foz, no Oceano Atlântico.  |
| Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental | É constituída pelas bacias hidrográficas dos rios que deságuam no Atlântico – trecho Nordeste, estando limitada a oeste pela região hidrográfica do Tocantins/Araguaia, exclusive, e a leste pela região hidrográfica do Parnaíba.                                      |
| Região Hidrográfica do Parnaíba                  | É constituída pela bacia hidrográfica do rio Parnaíba.  |
| Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental  | É constituída pelas bacias hidrográficas dos rios que deságuam no Atlântico – trecho Nordeste, estando limitada a oeste pela região hidrográfica do Parnaíba e ao sul pela região hidrográfica do São Francisco.  |

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| Região Hidrográfica do São Francisco  | É constituída pela bacia hidrográfica do rio São Francisco.  |
| Região Hidrográfica Atlântico Leste   | É constituída pelas bacias hidrográficas de rios que deságuam no Atlântico – trecho Leste, estando limitada ao norte e a oeste pela região hidrográfica do São Francisco e ao sul pelas bacias hidrográficas dos rios Jequitinhonha, Mucuri e São Mateus, inclusive.   |
| Região Hidrográfica Atlântico Sudeste | É constituída pelas bacias hidrográficas de rios que deságuam no Atlântico – trecho Sudeste, estando limitada ao norte pela bacia hidrográfica do rio Doce, inclusive, a oeste pelas regiões hidrográficas do São Francisco e do Paraná; e ao sul pela bacia hidrográfica do rio Ribeira, inclusive.                           |
| Região Hidrográfica do Paraná         | É constituída pela bacia hidrográfica do rio Paraná, situada no território nacional.   |
| Região Hidrográfica do Uruguai        | É constituída pela bacia hidrográfica do rio Uruguai, situada no território nacional, estando limitada ao norte pela região hidrográfica do Paraná, a oeste pela Argentina e ao sul pelo Uruguai.  |
| Região Hidrográfica Atlântico Sul     | É constituída pelas bacias hidrográficas dos rios que deságuam no Atlântico – trecho Sul, estando limitada ao norte pelas bacias hidrográficas dos rios Ipiranguinha, Iriaria-Mirim, Candapuí, Serra Negra, Tabagaça e Cachoeria, inclusive, a oeste pelas regiões hidrográficas do Paraná e do Uruguai e ao sul pelo Uruguai. |
| Região Hidrográfica do Paraguai       | É constituída pela bacia hidrográfica do rio Paraguai, situada no território nacional.   |

Fonte: www.ana.gov.br.

## 1.5 Ciclo hidrológico

A hidrologia é a ciência que estuda a distribuição da água na Terra, suas reações físicas e químicas com outras substâncias existentes na natureza, e sua relação com a vida no planeta.

O ciclo hidrológico é o movimento contínuo de parte da água existente na Terra. Parte das águas da chuva infiltra-se no solo (percolação), outra escoam pela superfície da Terra e outra se evapora. A parte que passa pelo processo de evaporação dá origem a um novo ciclo, pois retorna à atmosfera. Assim, verifica-se que parcela significativa da água existente na Terra encontra-se em permanente circulação. Sua importância é vital para o planeta. Os reservatórios de água que fazem parte do ciclo hidrológico são os oceanos e mares, geleiras, águas subterrâneas, lagos, rios e a atmosfera.

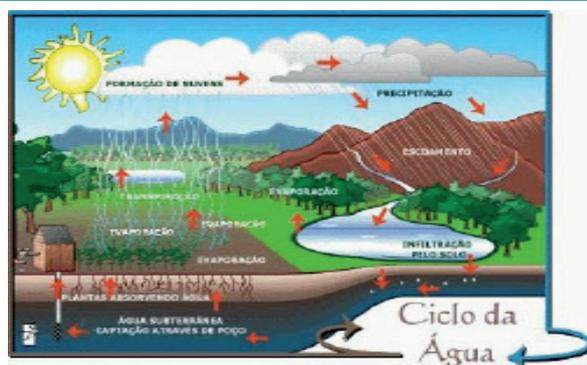


Figura 9 – Ciclo hidrológico.

Fonte: <http://aguafontedevida.wordpress.com/2008/04/16/ciclo/>.

Contextualizando, a água pode estar nos estados gasoso, líquido ou sólido, distribuindo-se tanto no subsolo, na superfície da Terra, bem como na atmosfera. Portanto, a

água está em constante circulação, passando de um meio a outro e de um estado físico a outro, sempre mantendo o equilíbrio, sem ganhos ou perdas de massa no sistema. Os processos que permitem esta circulação da água são: evaporação, transpiração, precipitação, escoamento superficial, infiltração e escoamento subterrâneo. Assim, a água evapora a partir dos oceanos e corpos d'água, formando as nuvens, que, em condições favoráveis, dão origem à precipitação, seja na forma de chuva, neve ou granizo. A precipitação, ao atingir o solo, pode escoar superficialmente até atingir os corpos d'água ou infiltrar até atingir o lençol freático. Além disso, a água, interceptada pela vegetação e outros seres vivos, retorna ao estado gasoso através da transpiração. A água retorna ao mar através do escoamento superficial pelos rios, do escoamento subterrâneo pela descarga dos aquíferos na interface água doce/água salgada e, também, através da própria precipitação sobre a área dos oceanos. De toda a água do mundo, apenas 4,9% é água doce e 95,1% estão nos oceanos.

Considerando apenas a porção de água doce do mundo, 68,4% estão sob a forma de água subterrânea, formando os aquíferos, que são formações geológicas compostas por rochas permeáveis, seja pela porosidade granular ou pela porosidade fissural, capaz de armazenar e transmitir quantidades significativas de água. Os aquíferos podem ter tamanhos diferentes. Eles podem ter extensão de poucos km<sup>2</sup> a milhares de km<sup>2</sup> ou, também, podem apresentar espessuras de poucos metros a centenas de metros. Quando a unidade aquífera é formada por mais de uma formação geológica, com características hidrogeológicas semelhantes podemos chamá-la de sistema aquífero. A composição dos aquíferos pode ser bastante variada mas, de forma geral, podemos subdividi-la em dois grupos principais. Nos aquíferos sedimentares, formados por sedimentos de granulação variada, a água circula através dos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila. Os aquíferos cristalinos são formados por rochas duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fissuras e fraturas abertas devido ao movimento tectônico.

## 1.6 Fontes de poluição de recursos hídricos

As formas de poluição da água são várias, de origem natural ou como resultado das atividades humanas. Existem essencialmente três situações de poluição, cada uma delas característica do estágio de desenvolvimento social e industrial:

- a) Primeiro estágio: *poluição patogênica*. Neste estágio, as exigências quanto à qualidade da água são relativamente pequenas, tornando-se comuns às enfermidades veiculadas pela água. O uso de estações de tratamento de água e sistemas de adução podem prevenir os problemas sanitários neste estágio;
- b) Segundo estágio: *poluição total*. Este estágio define-se como aquele em que os corpos receptores tornam-se realmente afetados pela carga poluidora que recebem (expressa como sólidos em suspensão e consumo de oxigênio). Este estágio normalmente ocorre durante o desenvolvimento industrial e o crescimento das áreas urbanas. Os prejuízos causados ao corpo receptor e, em consequência, à população, podem ser reduzidos com a implantação de sistemas eficientes de tratamento de água e de esgotos;
- c) Terceiro estágio: *poluição química*. Este estágio é o da poluição insidiosa, causada pelo contínuo uso da água. O consumo de água aumenta em função do

aumento da população e da produção industrial. Cada dia é maior a quantidade de água retirada dos rios e maior e mais diversa a poluição neles descarregada.

Em uma visão global sobre processos poluidores, pode-se citar quatro definições propostas por BARROS et al. (1995):

- a) **Contaminação** é a introdução na água de substâncias nocivas à saúde e a espécies da vida aquática (exemplo: patogênicos e metais pesados);
- b) **Assoreamento** é o acúmulo de substâncias minerais (areia, argila) ou orgânicas (lodo) em um corpo d'água, o que provoca a redução de sua profundidade e de seu volume útil;
- c) **Eutrofização** é a fertilização excessiva da água por recebimento de nutrientes (nitrogênio, fósforo), causando o crescimento descontrolado (excessivo) de algas e plantas aquáticas;
- d) **Acidificação** é abaixamento de pH, como decorrência da chuva ácida (chuva com elevada concentração de íons H<sup>+</sup>, pela presença de substâncias químicas como dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, amônia e dióxido de carbono), que contribui para a degradação da vegetação e da vida aquática.

Pode-se descrever o fenômeno das chuvas ácidas associando ao ciclo hidrológico da seguinte forma: as indústrias químicas e as centrais térmicas jogam na atmosfera produtos contaminadores, como os gases dióxido de enxofre e monóxido de nitrogênio, os quais, com a ajuda do ozônio das camadas baixas da atmosfera, oxidam-se e, com a umidade da chuva, convertem-se em ácidos que se espalham pela terra, águas, árvores e plantações. O solo perde a fertilidade e os animais terrestres, aquáticos e aves, acostumados com ambientes limpos, não se adaptam a esses terrenos que perdem sua vegetação natural. É evidente que existem riscos indiretos para a saúde humana, causados por metais como chumbo, cobre, zinco, cádmio e mercúrio, liberados dos solos e sedimentos por causa do aumento da acidez. Esses metais podem atingir as águas subterrâneas, rios, lagos e correntes usadas para a provisão de água potável e ser introduzidos nas cadeias alimentares que chegam ao homem.

Deste modo, o homem pode apresentar sérios problemas neurológicos após anos de ingestão de água de chuva não tratada ou através do peixe contaminado por metais pesados. A solubilidade de metais potencialmente tóxicos como o alumínio, manganês e cádmio são dependentes do pH e aumentam rapidamente com a diminuição do pH da solução do solo. O alumínio é fitotóxico e causa prejuízos ao sistema de raízes, diminuindo a habilidade das plantas para absorver os nutrientes e a água do solo, afetando o crescimento das sementes e a decomposição do folheto, e interagindo sinergicamente com os ácidos para aumentar o prejuízo às plantas e aos ecossistemas aquáticos. Outro efeito líquido sobre a vegetação é a redução no seu crescimento ou, no pior caso, a morte, devido não só à lixiviação dos nutrientes, como o magnésio e o potássio pelo percolado ácido, mas também por causas secundárias, afetando a planta enfraquecida.

## 1.7 Fatores importantes na preservação e proteção de mananciais

No planejamento das atividades, visando estratégias de controle da poluição da água, é fundamental que se considere a bacia hidrográfica como um todo, a fim de se

obter uma maior eficiência na realização dessas atividades. Dentre as principais técnicas encontradas, podemos citar: implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos sanitários e indústrias; controle de focos de erosão e recuperação de rios, objetivando o retorno ao seu equilíbrio dinâmico, através da restauração de suas condições naturais.

### Saiba mais

Os impactos ambientais e sociais da degradação da qualidade das águas têm reflexos econômicos, nem sempre mensurados, tais como o aumento do custo de tratamento das águas destinadas ao abastecimento doméstico e ao uso industrial, o aumento de custos hospitalares com internações, a perda de produtividade na agricultura e na pecuária, a redução da pesca, a perda da biodiversidade e a perda de valores turísticos, culturais e paisagísticos. Uma análise mais detalhada desses custos foge ao escopo deste documento.

Quanto à recuperação dos rios, existem dois tipos de técnicas: não estruturais, que não requerem alterações físicas no curso d'água e incluem as políticas administrativas e legais e os procedimentos que limitam ou regulamentam alguma atividade; e técnicas estruturais, que requerem algum tipo de alteração física no corpo d'água e incluem reformas nas estruturas já existentes, acelerando os processos naturais de sua recuperação.

Com relação a agentes poluidores de origem industrial, o problema mais importante parece estar centralizado nos seguintes aspectos:

- a) Implantação do controle ambiental seguro, sem prejuízos dos investimentos econômicos;
- b) Obtenção de informação técnica referente aos melhores meios de que se dispõe para controlar a poluição;
- c) Emprego de técnicas de combate à poluição ambiental e de pessoal especializado na aplicação das mesmas;
- d) Seleção das soluções de controle importadas ao conjunto de técnicas desenvolvidas no país.

Para o Brasil encarar os problemas da poluição ambientais existentes e os do futuro, resultantes da atividade industrial, é necessário um senso de perspectiva de tal modo que as medidas de controle possam fazer parte do contexto de uma economia planejada e de um desenvolvimento social.

Portanto, aceitar tecnologia definida por outros países pode trazer sérios entraves aos investimentos nacionais e estrangeiros em vários setores industriais. É preciso estar sempre desenvolvendo uma tecnologia nacional de controle da poluição industrial fundamentada na pesquisa e desenvolvendo métodos adequados a nossa realidade, aliados à seleção e adaptação da tecnologia importada, paralelamente à formação e capacitação de pessoal técnico.

Quadro 2 – Principais poluentes de despejos industriais.

| Poluentes     | Origem dos despejos   |
|---------------|---|
| Acetaldeído   | Plásticos, borracha sintética, corante                                    |
| Ácido acético | Vinícolas, indústrias têxteis, destilação de madeira, indústrias químicas |
| Acetileno     | Síntese orgânicas   |

| Poluentes                     | Origem dos despejos  |
|-------------------------------|--|
| Acrilonitrila                 | Plásticos, borracha sintética, pesticidas  |
| Amônia                        | Manufatura de gás de carvão, operações de limpeza com “água amônia”  |
| Acetato de amônia             | Tintura em indústrias têxteis e preservação da carne   |
| Cloreto de amônia             | Tintura, lavagem do curtimento   |
| Dicromato de amônia           | Mordentes, litografia, fotografação  |
| Fluoreto de amônia            | Tintura em indústrias têxteis e preservação da madeira   |
| Nitrato de amônia             | Fertilizantes, explosivos, indústrias químicas   |
| Sulfato de amônia             | Fertilizantes  |
| Anilina                       | Tinturas, vernizes, borrachas  |
| Bário (acetato)               | Mordente em tinturaria   |
| Bário (cloreto)               | Manufatura de tintas, operações de curtimento  |
| Bário (fluoreto)              | Tratamento de metais   |
| Benzeno                       | Indústrias químicas nas sínteses de compostos orgânicos, tinturaria e outras operações têxteis   |
| Butil (acetato)               | Plásticos, couro artificial e vernizes   |
| Carbono (dissulfeto)          | Manufatura de gases e indústrias químicas  |
| Carbono (tetracloro)          | Indústrias químicas  |
| Cromo (hexavalente)           | Decapagem de metais, galvanização, curtumes, tintas, explosivos, papéis, águas de refrigeração, mordente, tinturaria em indústrias têxteis, fotografia, cerâmica |
| Cobalto                       | Tecnologia nuclear, pigmentos  |
| Cobre (cloreto)               | Galvanoplastia do alumínio, tintas indelévels  |
| Cobre (nitrato)               | Tinturas têxteis, impressões fotográficas, inseticidas   |
| Cobre (sulfato)               | Curtimento, tintura, galvanoplastia, pigmentos   |
| Diclorobenzeno                | Solvente para ceras, inseticidas   |
| Dietilamina                   | Indústrias petroquímicas, fabricação de resinas, indústrias farmacêutica, tintas   |
| Etilamina                     | Refinação de óleo, sínteses orgânicas e fabricação de borracha sintética   |
| Sulfato ferroso               | Fábricas de conservas, curtumes, têxteis, minas, decapagem de metais   |
| Formaldeído                   | Curtumes, penicilinas, plantas e resinas   |
| Furfural                      | Refino de petróleo, manufatura de vernizes, inseticidas, fungicidas e germicidas   |
| Chumbo (acetato)              | Impressoras, tinturarias e fabricação de outros sais de chumbo   |
| Chumbo (cloreto)              | Fósforos, explosivos, mordente   |
| Chumbo (sulfato)              | Pigmentos, baterias, litografia  |
| Mercaptana                    | Alcatrão de carvão e celulose Kraft  |
| Mercúrio (cloreto)            | Fabricação de monômeros  |
| Mercúrio (nitrato)            | Explosivos   |
| Composto orgânico (mercuroso) | Descargas de “água branca” em fábricas de papel  |

| Poluentes                  | Origem dos despejos  |
|----------------------------|--|
| Metilamina                 | Curtimento e sínteses orgânicas  |
| Níquel (cloreto)           | Galvanoplastia e tinta invisível   |
| Níquel (sulfato amoniacal) | Banhos em galvanoplastia   |
| Níquel (nitrato)           | Galvanização   |
| Piridina                   | Piche de carvão e fabricação de gás  |
| Sódio (bissulfato)         | Têxteis, papel e indústrias fermentativas  |
| Sódio (cloreto)            | Indústria cloro-álcali   |
| Sódio (carbonato)          | Indústria química e de papel   |
| Sódio (cianeto)            | Banhos eletrolíticos   |
| Sódio (fluoreto)           | Pesticidas   |
| Sódio (hidróxido)          | Celulose e papel, petroquímicas, óleos minerais e vegetais, couro, recuperação de borracha, destilação de carvão |
| Sódio (sulfato)            | Fabricação de papel  |
| Sódio (sulfeto)            | Curtumes, celulose Kraft   |
| Sulfúrico (ácido)          | Produção de fertilizante, outros ácidos, explosivos, purificação de óleos, decapagem de metais, secagem de cloro |
| Ureia                      | Produção de resinas e plásticos, sínteses orgânicas  |
| Zinco                      | Galvanoplastia   |
| Zinco (cloreto)            | Fábrica de papel, tinturas   |

O desenvolvimento desordenado das cidades, aliado à ocupação de áreas de mananciais e ao crescimento populacional, provoca o esgotamento das reservas naturais de água e obriga as populações a buscarem fontes de captação cada vez mais distantes. A escassez é resultado do consumo cada vez maior, do mau uso dos recursos naturais, do desmatamento, da poluição, do desperdício, da falta de políticas públicas que estimulem o uso sustentável, a participação da sociedade e a educação ambiental. O desperdício é resultado da má utilização da água e da falta de educação sanitária. O desconhecimento, a falta de orientação e informação aos cidadãos são os principais fatores que levam ao desperdício, que ocorre, na maioria das vezes, nos usos domésticos, ou seja, na nossa própria casa. Existem também as perdas decorrentes da deficiência técnica e administrativa dos serviços de abastecimento de água, provocadas, por exemplo, por vazamentos e rompimentos de redes. Essas perdas também se devem à falta de investimentos em programas de reutilização da água para fins industriais e comerciais, pois a água tratada, depois de utilizada, é devolvida aos rios sem tratamento, em forma de efluentes, esgotos e, portanto, poluída.

O controle dos contaminantes químicos e biológicos na água depende de medidas sanitárias eficientes que devem ser executadas com relação ao tratamento da água e de esgotos:

- a) Tratamento adequado da água captada dos mananciais e controle efetivo da água tratada por intermédio da realização de exames exigidos pela legislação vigente: Portaria MS nº. 2914/2011;
- b) Implantação de Estações de Tratamento de Água em localidades desprovidas de abastecimento público;

- c) Implantação de Estações de Tratamento de Esgotos nas áreas urbanas e soluções para disposição dos esgotos e dos dejetos em área rural, conforme recomendação das Resoluções Conama nº. 357/2005 e 430/2011;
- d) Ações de educação em saúde.

Tais medidas têm o objetivo de oportunizar o acesso da população à água isenta de contaminantes químicos e organismos patogênicos, além de impedir a poluição das águas dos rios por efluentes de esgotos, tendo como principais objetivos a promoção e a proteção da saúde pública. Devem prover os consumidores com um abastecimento satisfatório, com água em quantidade e qualidade suficientes, de forma a evitar a disseminação de enfermidades, tanto àquelas ocasionadas por água contaminada, bem como as associadas à falta de hábitos de higiene. Além disso, medidas de controle visando a disposição adequada dos dejetos e ações de educação para a saúde tendem a evitar a poluição do solo e a contaminação dos mananciais de abastecimento de água, propiciando a conservação do meio ambiente, a redução de doenças e a incorporação de hábitos higiênicos pela população.

Então, foi lançado pelo Governo Federal o desafio da universalização dos serviços de saneamento básico que está posto para o abastecimento de água potável e de coleta de resíduos domiciliares em todas as áreas urbanas, em 2020 e 2030, respectivamente. Quanto ao esgotamento sanitário, as metas preveem uma redução significativa da quantidade de domicílios não servidos por rede coletora ou fossa séptica, além de um aumento considerável do percentual de tratamento do esgoto coletado. Será contemplada a questão da erradicação dos lixões no país até 2014, em atendimento à Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2011b).

Neste contexto, o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que foi lançado pelo Governo Federal, primeiramente em 2007 e em uma segunda etapa em 2010 (PAC 2), com objetivo de aplicar recursos nos investimentos de infraestrutura nos setores como saneamento, transporte, habitação e energia. Com relação à qualidade das águas, o PAC possui ações de saneamento realizadas na 1ª etapa (PAC – Saneamento) e ações em elaboração previstas nos eixos Cidade Melhor e Água e Luz para Todos, do PAC 2. Os recursos para implantação do PAC são exclusivamente nacionais (BRASIL, 2011a).

## 1.8 Doenças relacionadas à água

Há 2.000 a.C. o homem já procurava medidas preventivas que evitassem doenças contraídas pela água. Existem menções efetuadas na antiga Grécia por Hipócrates (Baker, 1949i apud Leal, 2001) considerado o pai da medicina, no alvorecer do império macedônio, entre os séculos I e IV a.C., nas quais se reporta a importância da correta definição dos mananciais de abastecimento como forma de preservar a saúde da população.

Durante os períodos chuvosos, a lixiviação dos solos acarreta o carreamento de fezes humanas aos corpos d'água, consolidando a associação entre a turbidez e a perspectiva de transmissão de várias moléstias. Tais motivos estéticos provavelmente tornaram a filtração e, principalmente, a decantação as formas mais antigas de tratamento da água para consumo humano, objetivando apenas a remoção de partículas suspensas e do odor.

As contaminações da água para consumo humano são oriundas da contaminação de rios e córregos. Essas contaminações convertem-se em um dos problemas ambientais mais graves do século XXI. A poluição divide-se em dois grandes grupos: a *contaminação pontual* e a *não pontual*.

A primeira procede de fontes identificáveis, como fábricas, refinarias ou despejo de esgoto. A não pontual é aquela cuja origem não pode ser identificada com precisão, como os produtos químicos usados na agricultura e na mineração trazidos pelas chuvas ou as filtragens de fossas sépticas e esgotos.

A cada ano morrem cerca de 10 milhões de pessoas no mundo por beber água contaminada. O ser humano apareceu tardiamente na história da Terra, porém tem sido capaz de modificar seu meio ambiente para adaptá-lo a suas necessidades.

Os agentes químicos presentes na água caracterizam-se por sua origem que geralmente está associada ao ciclo hidrológico, através de sua passagem pela natureza, carreando elementos do ar ou do solo. Também, de elementos provenientes da poluição causada pelo próprio homem.

Os contaminantes químicos distinguem-se daqueles de caráter infeccioso ou parasitário, por serem prejudiciais à saúde do homem por sua exposição prolongada, diferenciando-se como alvo de preocupação aqueles com propriedades tóxicas cumulativas, como os metais pesados e os agentes cancerígenos. De um modo geral, a toxicidade desses elementos varia em relação a sua concentração na água, tempo de exposição e suscetibilidade individual.

A contaminação química da água para consumo humano também pode ser ocasionada pela utilização das substâncias empregadas no seu tratamento resultando na formação de produtos secundários, alguns deles com potencial de risco para a saúde bastante significativa. As substâncias empregadas nas práticas de cultivo e controle de pragas da agricultura ou utilizadas no combate aos vetores de certas doenças também contribuem para a poluição das águas subterrâneas ou superficiais e são determinantes de sérios problemas de saúde. Ainda destacam-se como elementos de poluição os despejos das indústrias e os poluentes das chaminés das fábricas quando carregados para os cursos de água.

Quadro 3 – Contaminantes químicos inorgânicos e orgânicos.

| Contaminantes químicos |                 | Efeitos sobre a saúde  |
|------------------------|-----------------|--|
| INORGÂNICOS            | <b>Arsênio</b>  | A intoxicação aguda compromete o Sistema Nervoso Central, podendo levar ao coma e a morte. O envenenamento crônico caracteriza-se por fraqueza muscular, perda do apetite e náuseas. |
|                        | <b>Cádmio</b>   | Provoca distúrbios gastrointestinais graves, bronquite, enfisema, anemia e cálculo renal.  |
|                        | <b>Chumbo</b>   | Provoca cansaço, ligeiros transtornos abdominais, irritabilidade e anemia.   |
|                        | <b>Cianetos</b> | Pode ser fatal em altas doses.   |
|                        | <b>Cromo</b>    | Baixas doses causam irritação nas mucosas gastrointestinais, úlcera e inflamação da pele. Altas doses provocam doenças no fígado e nos rins, podendo ser fatal.                      |

| Contaminantes químicos |                          | Efeitos sobre a saúde   |
|------------------------|--------------------------|---|
| INORGÂNICOS            | <b>Fluoretos</b>         | Doses recomendadas previnem o aparecimento da cárie dental, melhoram o índice de fertilidade e do crescimento. Altas doses provocam doenças como a fluorose dental (embranquecimento opaco dos dentes com posterior pigmentação da placa dentária), alterações ósseas, inflamação no estômago e intestinos. |
|                        | <b>Mercúrio</b>          | Os principais efeitos da intoxicação por mercúrio são transtornos neurológicos e renais. Ingestão de 0,50g provoca complicações digestivas e insuficiência renal. Altas doses levam a encefalopatia fatal. Também causa efeitos tóxicos nas glândulas sexuais e possui efeitos mutagênicos.                 |
|                        | <b>Nitratos</b>          | Provocam deficiência da hemoglobina no sangue em crianças, podendo ser fatal.   |
|                        | <b>Prata</b>             | Pode ser fatal para o homem em doses extremamente altas. Provoca descoloração da pele, dos cabelos e das unhas.   |
| ORGÂNICOS              | <b>Aldrin e Dieldrin</b> | Afetam o SNC. Em doses altas é fatal para o homem.  |
|                        | <b>Benzeno</b>           | A exposição aguda provoca depressão do SNC. Existem evidências de anemia e leucopenia por exposição crônica ao benzeno.   |
|                        | <b>Clordano</b>          | Provoca vômitos e convulsões. Foram reportados efeitos teratogênico, carcinogênico e mutagênico em ratos.   |
|                        | <b>DDT</b>               | Seu principal efeito está relacionado ao Sistema Nervoso Central.   |
|                        | <b>Lindano</b>           | Altera a função Sistema Nervoso Central, provocando náuseas, vômitos, dores musculares e respiração debilitada.   |

Fonte: Guias da OPAS/1987.

As doenças de veiculação hídrica, causadas por bactérias, vírus, protozoários, helmintos e outros micro-organismos patogênicos são os problemas de saúde públicas mais comuns dos países em desenvolvimento. Essas doenças transmitem-se principalmente por meio de excretas de origem humana ou animal, por sua introdução nas fontes de água, tornando-a imprópria para o consumo humano. A transmissão dessas doenças pode ocorrer de forma direta ou indireta: na ingestão direta da água, no preparo dos alimentos, na higiene pessoal, na agricultura, na indústria e lazer. As bactérias constituem-se nos mais numerosos seres distribuídos na natureza, sendo os micro-organismos mais amplamente difundidos na água. Algumas bactérias apresentam formas resistentes, esporuladas, que podem permanecer inativas em condições inadequadas, podendo reativar-se com o retorno de condições propícias. Em geral, são úteis para o homem na degradação da matéria orgânica morta, no tratamento de águas residuárias etc. No entanto, são mais conhecidas devido ao caráter patogênico de várias espécies que ocasionam doenças no homem, nos animais e nos vegetais. São os principais agentes das doenças de veiculação hídrica. Os principais micro-organismos presentes na água contaminada são *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Escherichia coli* e *Vibrio cholerae*, e são responsáveis pelos numerosos casos de enterites, diarreias infantis e doenças epidêmicas – como a febre tifoide – que constituem grave risco para a saúde humana.

Os corpos de água contêm substâncias nutritivas em quantidades suficientes para garantir a presença, embora em pequenos números, de grupos especializados de micro-organismos. É possível que poucos, ou nenhum desses grupos, possam causar doenças no homem. A presença de micro-organismos patogênicos na água indica sua contaminação a partir do solo, por descargas intencionais de esgoto ou liberados de matéria orgânica de animais em decomposição. As bactérias do grupo de coliformes, por exemplo, sobrevivem apenas durante curtos períodos de tempo na água e, de modo geral, admite-se que, quando presentes, a contaminação é recente, porém alguns efluentes são tão poluídos com matéria orgânica que as bactérias coliformes não apenas sobrevivem, mas podem se manter como populações significativas à custa de uma lenta multiplicação.

Outro tipo de contaminação relacionado com a água refere-se à presença de protozoários e helmintos causadores de infecções parasitárias no homem. Dentre as infecções causadas por protozoários podem ser citadas a amebíase (*Entamoeba histolytica*), giardíase (*Giardia lamblia*) e a balantidíase (*Balantidium coli*).

Algumas helmintíases, como a esquistossomose, possuem caráter endêmico e são graves problemas de saúde pública no Brasil. Helmintíases intestinais podem também ser adquiridas pela água (ascaridíase e ricocefalose), embora a maneira habitual de transmissão seja através da ingestão de alimentos contaminados. A água tem ainda papel importante na transmissão de algumas doenças endêmicas, atuando como ambiente propício ao ciclo evolutivo de vetores responsáveis pela propagação da malária, dengue, filariose e febre amarela.

Nas fontes naturais utilizadas para abastecimento de água pode ocorrer a formação de algas, cuja presença pode ser prejudicial à saúde pelo fato de que algumas delas podem liberar toxinas (ver capítulo *Cianobactérias*).

Quadro 4 – Doenças relacionadas com a água.

| Grupos de doenças   | Principais doenças  | Formas de transmissão   | Formas de prevenção  |
|---|---|---|--|
| Transmitidas pela via oro-fecal (bacterianas e não bacterianas) | <p><b>Bacterianas:</b><br/> Cólera<br/> Disenteria bacilar<br/> Febre paratifoide<br/> Febre tifoide<br/> Leptospirose</p> <p><b>Não bacterianas:</b><br/> Amebíase<br/> Ascaridíase<br/> Hepatite infecciosa<br/> Poliomielite<br/> Giardíase<br/> Diarreias por vírus</p> | Ingestão do agente patogênico por meio de alimentos contaminados, água contaminada por fezes e contaminação de indivíduo para indivíduo | Proteger os mananciais (fonte de abastecimento).<br>Tratar as águas de abastecimento evitando o uso de fontes contaminadas.<br>Fornecer água em quantidade e qualidade.<br>Promover ações de educação em saúde (higiene pessoal, doméstica e dos alimentos).<br>Promover melhorias da habitação e instalações sanitárias |

| Grupos de doenças  | Principais doenças                                | Formas de transmissão   | Formas de prevenção  |
|--|---|---|--|
| Associadas ao fornecimento de água insuficiente                | Infecções de pele<br>Tracoma<br>Tifo<br>Escabiose | Água em quantidade insuficiente e hábitos higiênicos inadequados favorecem a disseminação desses agravos              | Fornecer água em quantidade suficiente.<br>Promover ações de educação em saúde.  |
| Associadas a hospedeiros intermediários, cujo habitat é a água | Esquistossomose                                   | Penetração do agente patogênico na pele   | Proteção de mananciais.<br>Combate ao hospedeiro intermediário.<br>Disposição adequada de esgotos.<br>Evitar o contato das pessoas com águas contaminadas. |
| Transmitidas por vetores relacionadas com a água               | Malária<br>Febre amarela<br>Dengue<br>Filariose   | Penetração do Agente Infeccioso no organismo pela picada de insetos, cujo ciclo evolutivo está relacionado com a água | Combate aos vetores.<br>Eliminar condições que possam favorecer criadouros.<br>Utilizar medidas de proteção individual.                                    |

Fonte: Guias da OPAS/1987.

Com relação às doenças de veiculação hídrica, a redução de custos relativos a internações por elas provocadas, entre outros benefícios, poderia ser significativa, caso os serviços de saneamento fossem universalizados. Em 2009, dos 462 mil acidentes internados por infecções gastrointestinais, 2.101 morreram no hospital. Nesse ano, o custo médio de uma internação por infecção gastrointestinal no Sistema Único de Saúde (SUS) foi de cerca de R\$350. Isso acarretou despesas públicas de R\$161 milhões. Se houvesse acesso universal ao saneamento, haveria uma redução de 25% no número de internações e 65% na mortalidade, significando ganho econômico expressivo (FGV/Instituto Trata Brasil, 2010).



## 2 Cianobactérias

### 2.1 Introdução

As atividades humanas geram impactos na qualidade da água, assim como interferem em sua quantidade. A contaminação dos recursos hídricos e dos mananciais de abastecimento público por rejeitos tem sido um dos maiores fatores de risco para a saúde humana, especialmente em regiões com condições inadequadas de saneamento e suprimento de água, o que é observável tanto em regiões brasileiras de alta concentração urbana, como em áreas rurais.

Outra consequência dos impactos antrópicos nos ecossistemas aquáticos é a ocorrência de acelerados processos de eutrofização, causando um enriquecimento artificial desses ecossistemas pelo aumento das concentrações de nutrientes na água, principalmente compostos nitrogenados e fosfatados, que resulta num aumento dos processos naturais da produção biológica em rios, lagos e reservatórios. As principais fontes desse enriquecimento têm sido identificadas como sendo as descargas de esgotos domésticos e industriais dos centros urbanos e das regiões agricultáveis.

A eutrofização artificial produz mudanças na qualidade da água, incluindo a redução de oxigênio dissolvido, da biodiversidade aquática, a perda das qualidades cênicas, a morte extensiva de peixes e o aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias. Essas florações podem provocar o aumento no custo do tratamento da água de abastecimento e consequências relacionadas à saúde pública.

Entre os fatores que levam as cianobactérias predominarem sobre os outros grupos fitoplanctônicos (microalgas), destacam-se as características fisiológicas pelas quais as cianobactérias assimilam os nutrientes (N e P) do meio aquático. De maneira geral, as cianobactérias são mais eficientes na assimilação desses nutrientes do que os demais grupos de microalgas (algas verdes ou diatomáceas, por exemplo), que, em condições normais, crescem melhor. No entanto, ao produzir uma descarga excessiva de nutrientes nos reservatórios, o homem propicia uma maior oferta desses nutrientes, facilitando a assimilação dos mesmos e o crescimento das cianobactérias.

O crescimento intenso desses microrganismos na superfície da água geralmente se dá com predomínio de poucas ou mesmo de apenas uma espécie de cianobactéria produtora de toxinas, ou de outros metabólitos, que inibem a sua predação por microcrustáceos, larvas de peixes, moluscos etc. Esses consumidores primários vão preferir consumir as microalgas não tóxicas e com maior valor nutricional, contribuindo, com isso, para a redução das populações dessas microalgas, o que, por sua vez, resultará numa diminuição drástica da comunidade dos consumidores primários, com consequências em toda a cadeia alimentar do ambiente aquático. Portanto, como resultado desses processos, muitas vezes restará no meio aquático apenas as cianobactérias tóxicas como organismos fitoplanctônicos dominantes. Esse meio aquático que apresenta uma diversidade de espécies

bastante reduzida e dominância de cianobactérias tóxicas, é, por vezes, o manancial de abastecimento que temos disponível em muitas regiões brasileiras.

A principal preocupação com o aumento da ocorrência de florações de cianobactérias em mananciais de abastecimento de água é a capacidade desses micro-organismos produzirem e liberarem para o meio líquido toxinas (cianotoxinas) que podem afetar a saúde humana, tanto pela ingestão de água, como por contato em atividades de recreação no ambiente ou, ainda, pelo consumo de pescado contaminado. Entretanto, a principal via de intoxicação é pelo consumo oral da água sem um tratamento adequado para remoção dessas toxinas.

As cianotoxinas formam um grupo de substâncias químicas bastante diverso, com mecanismos tóxicos específicos em vertebrados. Algumas cianotoxinas são neurotoxinas bastante potentes (anatoxina-a, anatoxina-a(s), saxitoxinas), outras são principalmente tóxicas ao fígado (microcistinas, nodularina e cilindrospermopsina) e outras ainda podem ser irritantes ao contato, consideradas como endotoxinas pirogênicas, como as de bactérias Gram-negativas.

Como o número de estudos sobre a eficiência da remoção dessas cianotoxinas pelos processos de tratamento da água ainda é reduzido, e as técnicas de detecção de cianotoxinas ainda não são muito difundidas na prática do monitoramento de águas de abastecimento, a avaliação da exposição humana as cianotoxinas pelo consumo da água ainda é bastante deficiente. Além disso, em regiões abastecidas por mananciais de superfície que apresentam florações de cianobactérias tóxicas, a real exposição a essas toxinas irá depender do método de captação, da sequência tratamento da água e do controle operacional do sistema de abastecimento.

## 2.2 Habitat das cianobactérias

As cianobactérias ou cianofíceas, também conhecidas popularmente como algas azuis, são microrganismos aeróbicos fotoautotróficos. Seus processos vitais requerem somente água, dióxido de carbono, substâncias inorgânicas e luz. A fotossíntese é seu principal modo de obtenção de energia para o metabolismo, entretanto, sua organização celular demonstra que esses micro-organismos são procariontes e, portanto, muito semelhantes bioquimicamente e estruturalmente às bactérias.

A origem das cianobactérias foi estimada em cerca de 3,5 bilhões de anos, sendo provavelmente os primeiros produtores primários de matéria orgânica a liberarem oxigênio elementar na atmosfera primitiva. A capacidade de crescimento nos mais diferentes meios é uma das características marcantes das cianobactérias. Entretanto, ambientes de água doce são os mais favoráveis para o crescimento de cianobactérias, visto que a maioria das espécies apresenta um melhor crescimento em águas neutro-alcálicas (pH 6-9), temperatura entre 15°C a 30°C e alta concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo.

## 2.3 Florações das cianobactérias

A crescente eutrofização dos ambientes aquáticos tem sido produzida principalmente por atividades humanas, causando um enriquecimento artificial desses ecossistemas. As principais fontes desse enriquecimento têm sido identificadas como as descargas de

esgotos domésticos e industriais dos centros urbanos e a poluição difusa originada nas regiões agricultáveis. Esta eutrofização artificial produz mudanças na qualidade da água, incluindo a redução de oxigênio dissolvido, a perda das qualidades cênicas, ou seja, das características estéticas do ambiente e seu potencial para lazer, a morte extensiva de peixes e o aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias, com consequências negativas sobre a eficiência e custo de tratamento da água, quando se trata de manancial de abastecimento público. Estas florações ou “*blooms*” se caracterizam pelo intenso crescimento desses micro-organismos na superfície da água, formando uma densa camada de células com vários centímetros de profundidade, com consequências relacionadas à saúde pública.

É amplamente aceito pelos microbiologistas e limnologistas que estudam a formação dessas florações, que a carga de nutrientes, o tempo de retenção da água, a estratificação e a temperatura são os principais fatores que influenciam a formação e intensidade das florações. Em nosso país, este problema é intensificado pelo fato de que a maioria dos reservatórios de água para abastecimento apresenta as características necessárias para o crescimento intenso de cianobactérias durante o ano todo.

A grande biomassa de cultivos mono específicos e a necessidade de intensificar o crescimento vegetal, pelo uso extenso de fertilizantes, têm causado uma rápida eutrofização de rios e reservatórios, que tem resultado num crescimento elevado de macrófitas aquáticas e altas concentrações de fósforo na coluna d’água ou no sedimento. A taxa de urbanização tem também crescido rapidamente, com o conseqüente aumento de descarga de esgotos sem nenhum tratamento prévio. Esses dois processos em larga escala são hoje as principais causas da eutrofização de rios, lagos e reservatórios.

Uma rápida resposta que ocorre com a eutrofização é dada pela comunidade fitoplanctônica (microalgas e cianobactérias que vivem na coluna d’água) que passa a apresentar uma redução na diversidade de espécies, porém, com um aumento considerável da biomassa das espécies presentes. Nesses ambientes, tem sido observado um aumento da dominância de espécies de cianobactérias. Conseqüentemente, tem sido mais comum a ocorrência de florações de cianobactérias, principalmente próximo aos centros urbanos.

Por outro lado, a toxicidade de florações de cianobactérias pode apresentar uma variação temporal, desde intervalos curtos de tempo, até diferenças sazonais e também espaciais, provavelmente decorrentes de alterações na proporção de cepas tóxicas e não tóxicas na população.

Essas variações de toxicidade nas cianobactérias ainda não foram devidamente esclarecidas. Entretanto, está se tornando cada vez mais frequente a ocorrência de florações tóxicas que apresentam os grupos comuns de cianotoxinas; tipicamente, cerca de 50% de todas as florações testadas em diferentes países mostram-se tóxicas em bioensaios.

Os países onde esses casos foram registrados estão distribuídos nos diferentes continentes. Entretanto, observa-se uma grande dominância de relatos em países do hemisfério norte, certamente devido ao maior interesse e investimentos nesta linha de pesquisa e conseqüente preocupação com o potencial de intoxicação das cianobactérias.

No Brasil, estudos reportam a ocorrência de cepas tóxicas de cianobactérias em corpos d’água (reservatórios de abastecimento público, lagos artificiais, lagoas salobras e rios) dos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Pará, Paraná, Bahia,

Pernambuco e do Distrito Federal. Entretanto, é certo que a ocorrência de cepas tóxicas de cianobactérias não se dá exclusivamente nesses estados. Esses registros refletem que os estudos sobre esse tema estão mais concentrados na região centro-sul do Brasil.

## 2.4 Toxinas das cianobactérias

Vários gêneros e espécies de cianobactérias que formam florações produzem toxinas. As toxinas de cianobactérias, que são conhecidas como cianotoxinas, constituem uma grande fonte de produtos naturais tóxicos produzidos por esses micro-organismos e, embora ainda não estejam devidamente esclarecidas as causas da produção dessas toxinas, têm-se assumido que esses compostos tenham função protetora contra herbívora, como acontece com alguns metabólitos de plantas vasculares. Algumas dessas toxinas, que são caracterizadas por sua ação rápida, causando a morte de mamíferos por parada respiratória após poucos minutos de exposição, têm sido identificadas como alcaloides ou organofosforados neurotóxicos. Outras atuam menos rapidamente e são identificadas como peptídeos ou alcaloides hepatotóxicos.

De acordo com suas estruturas químicas, as cianotoxinas podem ser incluídas em três grandes grupos: os peptídeos cíclicos, os alcaloides e os lipopolissacarídeos. Entretanto, por sua ação farmacológica, as duas principais classes de cianotoxinas até agora caracterizadas são: Neurotoxinas e Hepatotoxinas. Além dessas, alguns gêneros de cianobactérias também podem produzir toxinas irritantes ao contato. Essas toxinas têm sido identificadas como lipopolissacarídeos (LPS) que são, também, comumente encontrados nas membranas celulares de bactérias Gram-negativas.

## 3 Tratamento da água

### 3.1 Introdução

Neste capítulo será tratado, com detalhes, o tratamento da água para consumo humano de forma convencional, procurando enfatizar as boas práticas que devem ser adotadas nos de operação e manutenção de um sistema ou solução alternativa de abastecimento de água.

Contemporaneamente o advento da Lei nº. 11.445/07 conceituou o saneamento básico como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais urbanas.

Em 2008 foi realizada a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico que investigou as condições de saneamento básico no Brasil e contou com a ajuda das prefeituras municipais e empresas terceirizadas. Essa pesquisa, entre outras finalidades, permitiu uma avaliação da oferta e da qualidade dos serviços prestados. Verificaram-se as condições ambientais e suas implicações diretas com a qualidade de vida e a saúde da população brasileira.

Com foco na água para consumo humano constatou-se que o percentual de municípios brasileiros que tem rede geral de abastecimento de água em pelo menos um distrito aumentou de 97,9% para 99,4%, entre os anos de 2000 a 2008, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. De acordo com a pesquisa, 17% dos municípios brasileiros têm sistemas de abastecimento de água administrados de forma exclusiva, ou seja, a gestão é descentralizada. Entretanto, 58,2% são gerenciados por outras entidades, sendo a gestão de 24,7% compartilhada.

Também foi detectado que 5.531 municípios brasileiros, ou seja, 99,4% dos 5.564 municípios tinham abastecimento de água por rede geral, mesmo que apenas em parte do município. Isto significa que entre 1989 e 2008 a cobertura desse serviço cresceu 3,5%, sendo que o maior avanço foi na região Norte (de 86,9% para 98,4% dos municípios). Desde 2000, o Sudeste é a única região com todos os municípios abastecidos por rede geral de água em pelo menos um distrito.

Como contrassenso, nesta mesma pesquisa foi registrado que 33 municípios brasileiros distribuídos em nove estados não tinha rede geral de abastecimento de água, afetando cerca de 320 mil pessoas. Embora seja ponto de concórdia entre os pesquisadores que a situação vem diminuindo sistematicamente no país – em 1989, eram 180 municípios sem rede de água, e em 2000, foram registrados 116 municípios – vale ressaltar que 794 cidades na época da pesquisa apresentaram pelo menos um distrito em que também não havia rede, somando 827 municípios (14,9% do total) em que a água era fornecida por formas alternativas, como carros-pipas e poços particulares.

O Nordeste tem o maior percentual de municípios com outras formas de abastecimento (30,1%), sendo que os maiores percentuais entre os estados estão no Piauí (58,3%), Ceará (35,9%) e Maranhão (30,4%). Dois terços dos municípios brasileiros distribuem água totalmente tratada. Cerca de 6% dos municípios distribuem água apenas parcialmente tratada e em 6,6% a água não tem nenhum tratamento. Em 2000, os municípios onde não se realizava nenhum tipo de tratamento na água representavam 18,1% do total (Fonte: IBGE – 2008).

Neste contexto, pode ser entendida a vulnerabilidade com que a população está exposta, pois a magnitude dos riscos aumenta, considerando que as soluções alternativas requerem maior vigilância e controle da água distribuída, que nem sempre tem as devidas atenções do poder público.

Portanto, discernindo as tecnologias de tratamento de águas para abastecimento, elas são classificadas como convencionais, que incluem todas as etapas tradicionais do processo, coagulação, floculação, decantação e filtração, e não convencionais, incluindo a filtração direta ascendente e descendente, a dupla filtração e a filtração lenta. A simples desinfecção é tecnologia de tratamento aplicada apenas em águas brutas subterrâneas que apresentam condições naturais não objetivas e seguras no ponto de vista sanitário. Esta afirmação alerta para a necessidade de remoção e inativação de substâncias e organismos das águas superficiais, bem conceituada nas diretrizes técnicas de vários manuais que tratam sobre o assunto e fundamentada legalmente na Portaria MS nº. 2414/2011.

### 3.2 Sistema de abastecimento de água

O sistema de abastecimento de água para consumo humano é um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinados à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão, conceito definido na Portaria MS nº. 2914/2011.

A Estação de Tratamento de Água – ETA, geralmente é instalada quando a água bruta utilizada por uma população, especialmente nas grandes cidades, é imprópria para o consumo humano. Sua instalação deve ser localizada mais próxima possível do manancial que, em geral, é um rio, necessitando, muitas vezes, de uma Estação Elevatória para bombear a água até a entrada da ETA. Um dos artifícios para bloquear as impurezas é o sistema de gradeamento, que tem como finalidade deter os materiais flutuantes de maiores dimensões, evitando o desgaste e destruição dos equipamentos à jusante.

### 3.3 Manancial

Mananciais são todas as fontes de água superficiais, subterrâneas e água de chuva, que podem ser usadas para o abastecimento de água para consumo humano. Isso inclui, por exemplo, rios, lagos, represas e lençóis freáticos, bem como as cisternas do semiárido, que acumulam, durante o período de chuva, água boa para beber e cozinhar.

Para captar água de um manancial devem ser considerados aspectos relacionados à quantidade de água, à facilidade de adução e à proteção do manancial. Geralmente, quanto maior a vazão do manancial, tanto maior é sua bacia hidrográfica e, neste caso,

mais difícil será garantir a proteção da respectiva bacia hidrográfica e, por conseguinte, a qualidade da água a ser captada.

Atenção especial deve ser adotada com relação ao manancial escolhido para o abastecimento, devendo ser inseridas medidas de ordem geral para a proteção. É necessário ter o adequado conhecimento da bacia hidrográfica a montante da captação da água, incluindo fatores físicos, bióticos e socioeconômicos, aspectos relacionados à geologia, ao relevo, ao solo, à vegetação, à fauna e às atividades humanas aí desenvolvidas.

Uma das ferramentas necessárias para o conhecimento seguro da água a ser captada é a realização periódica de inspeções sanitárias nas bacias contribuintes aos mananciais, proceder o enquadramento desses mananciais nos termos da Resolução Conama nº. 357/2005, de acordo com os usos preponderantes pretendidos.

De forma mais complexa, promover a gestão dos recursos hídricos, nos termos da Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, incorporando princípios e instrumentos, tais como: gestão por bacia hidrográfica; constituição de Comitês de Bacias; elaboração de Planos Diretores de Recursos Hídricos; outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; participação comunitária e o controle social. Ainda, fomentar a implantação de diretrizes legais, optando por leis de proteção de mananciais, zoneamento ambiental, leis de uso e ocupação do solo e criação de Áreas de Proteção Ambiental.

Com relação às questões consideradas emergentes nos mananciais de superfícies, devem ser ressaltados dois problemas que guardam relação direta com o uso e a ocupação do solo na bacia de captação: a transmissão de protozooses (ex.: giardíase e criptosporidiose) e o desenvolvimento de cianobactérias. Este último é tido como um dos graves problemas de poluição que envolve os esgotos domésticos e efluentes oriundos da fertilização na agricultura e, conseqüentemente, a proliferação de algas.

O gerenciamento e controle de algas, cianobactérias e cianotoxinas nos sistemas de abastecimento de água envolvem ações de caráter preventivo e de caráter corretivo, que devem ser desenvolvidas segundo níveis hierárquicos. As ações de prevenção do processo de eutrofização no manancial de abastecimento devem ser prioritárias, e baseiam-se no manejo dos fatores que controlam o crescimento das algas e cianobactérias, particularmente do aporte de nutrientes.

São três as principais origens dos nutrientes que fertilizam a água: escoamento superficial e erosão em áreas de agricultura fertilizada; erosão devido ao desmatamento; e águas residuárias. Assim, para reduzir a carga de nutrientes que chega a um corpo d'água, faz-se necessário o ordenamento territorial e uso do solo na bacia hidrográfica, a adoção de boas práticas na agricultura (agricultura orgânica, controle de erosão, sistema de irrigação apropriado, período correto para aplicação dos fertilizantes em função da cultura etc.) e agroindústria, e a minimização e tratamento adequado das águas residuárias domésticas e industriais.

Para acelerar a recuperação de um corpo d'água eutrofizado, as medidas de controle das fontes externas de nutrientes podem ser complementadas por medidas de controle interno de nutrientes e cianobactérias, ou seja, ações que envolvem o "tratamento" do próprio corpo d'água. As medidas de controle interno podem ser divididas em:

- a) *Métodos físicos*, envolvendo a circulação artificial da água, a aeração do hipolimnio, retirada (exportação) de água do hipolimnio, dragagem dos sedimentos, entre outros;
- b) *Métodos químicos*, tais como precipitação e inativação do fósforo e uso de algicidas (sulfato de cobre, permanganato de potássio etc.);
- c) *Métodos biológicos*, como o uso de cianófagos e myxobactéria, e a biomanipulação.

Das mediadas de controle interno do manancial, uma das mais utilizadas em todo o mundo, e também no Brasil, é aplicação de algicidas, particularmente sulfato de cobre. Contudo, essa técnica deve ser usada de forma cuidadosa, pois leva à liberação das toxinas intracelulares das cianobactérias.

Dessa forma, o uso dos algicidas deve ser limitado a situações onde o número de células de cianobactérias presentes na água seja baixo, de modo a evitar teores excessivos de toxinas e/ou compostos que produzem odor e sabor. Em situações onde grande número de células de cianobactérias esteja presente na água, o uso de algicidas só poderá ser feito se um manancial alternativo de água puder ser usado enquanto as toxinas e outros compostos se degradam, ou se o tratamento de água disponível for, comprovadamente, capaz de remover as toxinas dissolvidas, na concentração em que estejam presentes.

No Brasil, a Portaria MS nº. 2914/2011, veda o uso de algicidas para o controle do crescimento de cianobactérias em mananciais para abastecimento de água, assim como qualquer intervenção no manancial que provoque a lise das células de cianobactérias, quando a densidade das cianobactérias exceder 20.000 células/mL.

Sendo assim, as medidas corretivas de controle de algas, cianobactérias e toxinas na água de abastecimento envolvem dois tipos de intervenção; a primeira, no ponto de captação (manejo da captação de água bruta), e a segunda, a remoção desses organismos e compostos no sistema de tratamento de água.

Em determinadas águas subterrâneas estão dissolvidas substâncias naturais como o arsênio, flúor, nitratos ou sulfatos, que limitam ou impedem mesmo o seu uso direto devido a questões de saúde pública. Existem processos adequados de tratamento de forma a diminuir ou a remover essas substâncias nocivas, mas este procedimento tem, muitas vezes, um custo elevado. A água subterrânea, em situações adversas, pode conter elevados níveis dessas substâncias naturais que limitam o seu uso. Como exemplo o excesso de nitrato em águas subterrâneas representa um potencial risco para a saúde, pois  $\text{NO}_3^-$  pode ser reduzido a  $\text{NO}_2^-$ , o qual se combina com a hemoglobina do sangue, o que causa meta-hemoglobinemia (síndrome do bebê azul) em recém-nascidos e mesmo em adultos com particular deficiência enzimática. A quantidade de nitrito deve também ser controlada devido à possível formação de nitrosaminas carcinogênicas, pela sua reação com aminas secundárias presentes no estômago de mamíferos (ELYANOW, 2010; SCHNOBRICH, 2010; HAFSI, 2002; ALMASRI, 2007).

### 3.4 Captação

É o conjunto de equipamentos e instalações utilizados para a tomada de água do manancial, com a finalidade de lançá-la no sistema de abastecimento. O tipo de captação

varia de acordo com o manancial e com o equipamento empregado. De acordo com o manancial a ser aproveitado, podem ser utilizadas as seguintes formas de captação: superfície de coleta (água de chuva); caixa de tomada (nascente de encosta); galeria filtrante (fundo de vales); poço escavado (lençol freático); poço tubular profundo (lençol subterrâneo); tomada direta de rios, lagos e açudes (mananciais de superfície).

A água de chuva pode ser armazenada em cisternas, que são pequenos reservatórios individuais. A cisterna tem sua aplicação em áreas de grande pluviosidade, ou em casos extremos, em áreas de seca, onde se procura acumular a água da época chuvosa para a época de estiagem com o propósito de garantir, pelo menos, a água para beber.

O aproveitamento da *água de encosta* é realizado através da captação em caixa de tomada. Para prevenir a poluição da água, essa caixa deve ter as paredes impermeabilizadas, tampa, canaletas para afastamento das águas de chuvas, bomba para retirada da água, ser convenientemente afastada de currais, pocilgas, fossas e ter sua área protegida por uma cerca.

O aproveitamento da fonte de fundo de vale é conseguido por meio de um sistema de drenagem subsuperficial sendo, em certos casos, possível usar a técnica de poço raso para a captação da água. Normalmente, a captação é feita por um sistema de drenos que termina em um coletor central e deste vai a um poço.

Os poços rasos ou freáticos, com diâmetro mínimo de 90 centímetros, são destinados tanto ao abastecimento individual, como coletivo. Esta solução permite o aproveitamento da água do lençol freático, atuando, geralmente, entre 10 a 20 metros de profundidade, podendo obter de dois a três mil litros de água por dia.

Já os poços tubulares profundos captam água do aquífero denominado artesiano ou confinado, localizado abaixo do lençol freático, entre duas camadas impermeáveis e sujeitas a uma pressão maior que a atmosférica. Nesses poços o nível da água, em seu interior, subirá acima da camada aquífera. No caso da água jorrar acima da superfície do solo, sem necessidade de meios de elevação mecânica, o poço é dito jorrante ou surgente. Caso a água se eleve dentro do poço sem, contudo, ultrapassar a superfície do solo, o poço é dito semisurgente. A quantidade de água que um poço tubular profundo pode fornecer depende das características geológicas do local, que influenciam na capacidade de armazenamento e circulação da água no aquífero. Por isso, a produção de água só pode ser estimada a partir de estudos hidro geológicos ou pela observação de registros operacionais de poços existentes na região. O diâmetro, normalmente de 150 mm ou 200 mm, é determinado em função da vazão a ser extraída. Quanto à profundidade, esta pode variar de 60 a 300 metros ou mais, dependendo da profundidade em que se encontra o aquífero.

Os poços profundos são construídos por meio de perfuratrizes, que podem ser de Percussão: bem mais simples, requerem menos conhecimento técnico, aplicam-se em qualquer tipo de terreno e em áreas de rocha mais dura e exigem muito pouca água durante a operação; e Rotativas: complexos, exigem maiores conhecimentos do operador, requerem muita água durante a operação, levam vantagem em terrenos de rocha mais branda e são mais rápidas em terrenos sedimentares.

## Saiba mais

Um **poço artesiano** é assim denominado quando as águas fluem naturalmente do solo, num aquífero confinado, sem a necessidade de bombeamento. Geralmente a sua profundidade é maior que a de um poço convencional, e suas águas teoricamente oferecem menor risco com relação à contaminação microbiológica. Existem registros que indicam que o nome de poço artesiano foi em função da cidade Grega de Artesia. Os poços perfurados naquela região jorravam água. Isto acontece devido à recarga do aquífero está acima do local onde se perfura o poço e, obviamente, em função da pressão atmosférica.

Finalmente, a captação de águas superficiais depende de cuidados que devem ser levados em conta quando da elaboração do projeto. Qualquer tipo de captação deverá atender em qualidade e quantidade a demanda prevista da população futura no horizonte (alcance) do projeto. A escolha das obras de captação deve ser antecedida da avaliação dos seguintes fatores: dados hidrológicos da bacia em estudo ou de bacias na mesma região; nível de água nos períodos de estiagem e enchente; qualidade da água; monitoramento da bacia, para localização de fontes poluidoras em potencial; distância do ponto de captação ao ponto de tratamento e distribuição; desapropriações; necessidade de elevatória; fonte de energia e facilidade de acesso.

### 3.5 Adução

Adutora é o conjunto de tubulações, peças especiais e obras de arte, dispostas entre captação e a ETA; captação e o reservatório de distribuição; captação e a rede de distribuição; ETA e o reservatório de distribuição; ETA e a rede de distribuição. A tubulação que deriva de uma adutora, indo alimentar um setor qualquer da área a ser abastecida, é chamado subadutora.

Os materiais das tubulações mais utilizadas na construção de adutoras são: PVC de alta pressão; ferro fundido, cimentado internamente; aço soldado; aço com junta ponta e bolsa, junta travada, entre outros; concreto armado; fibra de vidro impregnado em resinas de poliéster e polietileno de alta densidade.

As adutoras são classificadas com relação a:

- Natureza da água transportada:
  - a) Adutora de água bruta: transporta a água da captação até a Estação de Tratamento de Água;
  - b) Adutora de água tratada: transporta a água da Estação de Tratamento de Água até os reservatórios de distribuição.
- Energia utilizada para o escoamento da água:
  - a) Adutora por gravidade: quando aproveita o desnível existente entre o ponto inicial e o final da adução;
  - b) Adutora por recalque: quando utiliza um meio elevatório qualquer (conjunto moto-bomba e acessórios);
  - c) Mista: quando utiliza parte por recalque, e parte por gravidade.

- Modo de escoamento:
  - a) Adução em conduto livre: mantém a superfície sob o efeito da pressão atmosférica. Os condutos podem ser abertos (canal) ou fechados. A água ocupa apenas parte da seção de escoamento, não funcionam a seção plena (totalmente cheios);
  - b) Adução em conduto forçado: a água ocupa a seção de escoamento por inteiro, mantendo a pressão interna superior à pressão atmosférica. Permite à água movimentar-se, quer em sentido descendente por gravidade, quer em sentido ascendente por recalque, graças à existência de uma carga hidráulica.
- Vazão de dimensionamento:
  - a) Adução Contínua;
  - b) Adução Intermitente.

### 3.6 Tratabilidade e potabilização da água

O tratamento de água consiste em melhorar suas características organolépticas, físicas, químicas e bacteriológicas, a fim de que se torne adequada ao consumo humano. As águas de superfície são as que mais necessitam de tratamento, porque se apresentam com qualidades físicas e bacteriológicas impróprias, com exceção das águas de nascentes que, com uma simples proteção das cabeceiras e cloração, podem ser, muitas vezes, consumidas sem perigo. As águas de grandes rios, embora não satisfazendo pelo seu aspecto físico, podem ser relativamente satisfatórias sob os pontos de vista químico e bacteriológico, quando captadas ou colhidas em locais do rio menos sujeitos à contaminação.

A presença de algas e cianobactérias, na água bruta aduzida para estações de tratamento, podem causar problemas operacionais em várias etapas de tratamento, tais como: dificuldade de coagulação e floculação, baixa eficiência do processo de sedimentação, colmatação dos filtros e aumento da necessidade de produtos para a desinfecção. Como consequência desses problemas operacionais, verifica-se, geralmente, a redução na eficiência dos processos de tratamento e o surgimento de problemas na água tratada associados à presença de algas, cianobactérias e seus subprodutos extracelulares.

Algumas algas e seus subprodutos podem produzir odores desagradáveis e gerar sabores indesejáveis à água, tornando necessário, em algumas situações, introduzir filtros de carvão ativado na sequência de tratamento, para remoção de odor e sabor, encarecendo o custo do tratamento da água. A alga flagelada *Synura*, por exemplo, causa um sabor amargo à água, mesmo quando em pequenas concentrações. A *Microcystis*, que normalmente apresenta um cheiro de capim ou grama, quando se encontra em estado de decomposição, pode apresentar forte cheiro característico de esgoto séptico. Várias espécies de diferentes gêneros de cianobactérias também são capazes de produzir odor de barro ou de mofo: *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Schizothrix* e *Symploca*. Todos esses gêneros, exceto *Symploca*, possuem espécies ou cepas produtoras de toxinas. Assim, o sabor e odor da água podem ser usados como sinal de alerta para ocorrência de cianobactérias.

Sendo assim, o primeiro passo para êxito do tratamento é trabalhar a captação com relação as algas e outros micro-organismos. A distribuição horizontal e vertical da

população de cianobactérias e de alguns tipos de algas pode variar significativamente no corpo d'água, seja ele um lago, um reservatório ou um rio. Esse fato deve ser levado em conta na alocação do ponto de captação de água bruta, bem como na profundidade da tomada d'água. A contaminação da água que alimenta a estação de tratamento pode ser consideravelmente reduzida alocando-se o ponto de captação longe de zonas protegidas e de baixa circulação (baías e reentrâncias) onde a espuma formada pelas algas tende a se acumular. Caso não seja prático, ou não seja previsto, pode-se adotar, nos períodos de floração, uma extensão temporária da captação.

De modo geral, a qualidade das águas de superfície varia ao longo do tempo, de acordo com a época do ano e o regime das chuvas. A variação da qualidade da água dos grandes rios é mais lenta que a dos pequenos rios, cuja turbidez, por exemplo, pode variar entre largos limites e em curto espaço de tempo. Mesmo a qualidade da água de lagos artificiais ou de lagos naturais varia com o decorrer do tempo.

Nem toda água pode ser utilizada, por que cada método de tratamento tem eficiência limitada. Sendo a poluição muito alta, a água tratada poderá não ser ainda satisfatória. Assim, por exemplo, não é possível, nem prático, tratar água de esgotos por métodos convencionais, a ponto de torná-la potável.

O tratamento convencional é composto das seguintes etapas: clarificação (mistura rápida/coagulação, mistura lenta/floculação, decantação e filtração), desinfecção, correção de pH, reservação e distribuição. A fluoretação é implantada como coadjuvante na prevenção da carie dental, considerada no Brasil como problema de Saúde Pública, em face da alta prevalência.

### 3.6.1 Coagulação e floculação

Após a chegada da água bruta, no canal de Parshall é realizada a adição do coagulante. Geralmente os reagentes são aplicados por via úmida, ou seja, o composto granulado é dissolvido em água e aplicado contando-se os ml/mim para se controlar a floculação.

Quadro 5 – Produtos utilizados na coagulação.

| Coagulantes         | Auxiliares de Coagulação | Alcalinizantes  |
|---------------------|--------------------------|-----------------|
| Sulfato de Alumínio | Argila                   | Óxido de Cálcio |
| Sulfato Ferroso     | Polieletrólitos          | Cal Hidratada   |
| Cloreto Férrico     | Sílica Ativada           | Soda Cáustica   |
| Sulfato Férrico     | Carbonato de Sódio       |                 |
| Alumina de Sódio    |                          |                 |

A coagulação tem por objetivo transformar as impurezas que se encontram em suspensão fina, estado coloidal e dissolvidas, em partículas que possam ser removidas pela decantação (sedimentação) e filtração. Esses aglomerados gelatinosos se reúnem produzindo os flocos (floculação). As águas de superfície geralmente contêm cor e turbidez em

quantidade e proporção variadas. A remoção dessas características é feita com adição de coagulantes que formam um precipitado insolúvel gelatinoso, o qual absorve a matéria em suspensão formando flocos pesados que sedimentam nos decantadores. Os coagulantes são substâncias capazes de produzir hidróxidos insolúveis que englobam as impurezas. Os materiais maiores em suspensão que não têm densidade suficiente para precipitar no fundo do reservatório, se agrupam em flocos maiores que serão sedimentados. Os produtos adicionados facilitam esse processo, em geral, adiciona-se Sulfato de Alumínio. Existe um mecanismo para manter a turbulência suave facilitando a agregação das partículas.

### Destaque

**Varredura** – ocorre na situação em que os hidróxidos metálicos precipitam e os coloides (partículas de impurezas) presentes na água podem ser envolvidos pelos aglomerados do precipitado, quando esses se formam ou com eles colidem. Tal mecanismo, conhecido como “captura” ou “varredura”, ocorre nos floculadores e decantadores. Dessa maneira, são formados aglomerados de hidróxido e impurezas (flocos) com maior dimensão e densidade, e, geralmente, boas características de sedimentabilidade.

**Adsorção** e formação de pontes Interpartículas – fenômeno predominante quando se utilizam polímeros orgânicos como coagulantes ou auxiliares de floculação. Grupos reativos presentes nesses compostos de cadeia longa podem ser adsorvidos na superfície de uma partícula, deixando segmentos livres para serem adsorvidos por outras partículas fazendo a ligação entre elas, formando um agregado partícula-polímero-partícula, no qual o polímero atua como uma “ponte”. Para serem usados como coagulantes, faz-se necessário que esses polímeros possuam sítios positivamente carregados (polieletrólitos catiônicos) que além da adsorção garantam também a neutralização das cargas negativas de partículas de impurezas.

Fonte: Manual Boas Práticas – Seção II 31 a 179 – SVS/MS.

Uma das preocupações durante a clarificação da água bruta de superfície captada é as cianotoxinas, que devem estar no interior das células de cianobactérias. Em geral, apenas uma pequena proporção dessas toxinas é liberada, porém quando ocorre a lise da célula, seja pelo decaimento natural ou pela ação de ruptura das células exercida por agentes químicos, a toxina intracelular é significativamente liberada para a coluna d’água. Assim, os processos e sequências de tratamento da água para abastecimento público devem ser analisados em função da sua capacidade de remover as células viáveis (biomassa algal) e de não promover a lise dessas células.

A remoção de biomassa algal tem sido objeto de estudo de muitos pesquisadores, e são várias as linhas de abordagem do problema. Os trabalhos abordam desde o uso de filtros rápidos de pequena granulometria sem prévia coagulação, até a adoção de uma etapa de pré-oxidação utilizando cloro, ozônio e outros oxidantes. Essa última opção tem se mostrado capaz de promover tanto uma maior eficiência de remoção de microalgas, como também o aumento da duração das carreiras de filtração. Entretanto, uma das opções que a literatura vem indicando como a mais recomendada para a remoção de microalgas é a flotação por ar dissolvido, seguida de filtração rápida. Esse processo, pela característica do seu pré-tratamento (coagulação-floculação), é também muito eficiente na remoção da matéria orgânica dissolvida.

## Destaques

- 1) A remoção de bactérias e microalgas por coagulação, floculação e filtração seguem os mesmos princípios que a remoção de partículas coloidais e em suspensão, independentemente da natureza orgânica ou inorgânica de cada um desses grupos;
- 2) Isso significa que as diatomáceas, clorofíceas e cianobactérias podem ser desestabilizadas e floculadas de acordo com os mesmos mecanismos que atuam no caso de partículas inorgânicas;
- 3) As microalgas que são mais ou menos esféricas e com superfícies suaves podem ser desestabilizadas pelo mecanismo de adsorção e neutralização de cargas; microalgas não esféricas, grandes ou filamentosas, necessitam de grandes dosagens de coagulante, resultando na predominância do mecanismo de varredura.

Fonte: Manual de Cianobactérias Tóxicas na Água para Consumo e sua Remoção – Funasa, 2003.

## Saiba mais

A flotação por ar dissolvido possui elevado potencial de remoção de microalgas (> 99%), desde que se garantam as condições ideais de coagulação, principalmente em relação à dosagem de coagulante para um determinado valor de pH. Sendo os tempos de floculação maiores parecem ser mais adequados para o tratamento por flotação seguido de filtração, tanto em termos de remoção de turbidez e microalgas, quanto na minimização dos residuais de alumínio e da perda de carga.

O tratamento: coagulação/floculação, sedimentação e filtração, não são efetivas na remoção da fração dissolvida das cianotoxinas. Para altas concentrações de toxinas (~ 200 µg/L) o uso do cloreto férrico como coagulante se mostra mais eficaz que o sulfato de alumínio, porém para uma concentração de toxinas cerca de dez vezes menor, os dois coagulantes praticamente não apresentaram remoção. O carvão ativado é capaz de remover cianotoxinas sozinho ou de forma combinada com o tratamento convencional.

O carvão ativado granular é um processo de tratamento efetivo na remoção de hepatotoxinas e neurotoxinas (anatoxina-a), porém não apresenta bons resultados com o carvão ativado em pó. A baixa eficiência do carvão ativado em pó verificada em estudo pode estar associada à baixa concentração utilizada nos experimentos (5 mg/L). A efetividade do carvão ativado em pó é altamente dependente do tipo e da dosagem aplicada. Em experimentos realizados, são necessárias dosagens superiores a 20 mg/L para atingir remoções maiores que 85%.

Fonte: Manual de Cianobactérias Tóxicas na Água para Consumo e sua Remoção – Funasa, 2003.

### 3.6.1.1 Teste de jarros

Um ensaio de laboratório chamado **“testes de jarros”**, que consiste em uma execução experimental de todo processo de clarificação da água, pode quantificar a dosagem de coagulante que será utilizada em uma clarificação, considerando a cor e turbidez da água bruta. Comumente o sulfato de alumínio é o coagulante utilizado e o alcalinizante, quando necessário, é a cal. Os parâmetros de Alcalinidade e pH influenciam no processo de coagulação. A cor é mais facilmente removida em pH ácido. A turbidez, ao contrário, é normalmente removida sob condições alcalinas. Quando o sulfato de alumínio se dissolve na água, produz-se ácido e, portanto, faz-se necessário adicionar à mesma um composto alcalino. Geralmente quando não há alcalinidade na água, em torno de 25mg/L, adiciona-se óxido de cálcio, cuja neutralização de cada mg/L de alumínio é conseguida com 0,25mg/L da cal. Para realizar um ensaio de coagulação deve-se coletar amostras

de água, adotando-se técnica convencional de amostragem, no ponto de captação na entrada da ETA, em volume suficiente para repetir várias baterias de ensaio (recomenda-se a coleta de, no mínimo, 20 litros para uma bateria de 6 provas). A amostra coletada deve, de preferência, ser utilizada imediatamente para que não ocorram mudanças nas suas características. Não devem ser usados preservantes na amostra coletada. O plano de ensaio prever várias baterias de exames da amostra em volume suficiente. Na avaliação dos testes de potabilidade, a caracterização da amostra é fundamental, pois ela praticamente estabelece a melhor condição de clarificação. Para tanto se faz necessário analisar alguns parâmetros físico-químicos, como cor, turbidez, alcalinidade e pH.

- **Cor** são substâncias dissolvidas de origem mineral e orgânica nas águas que acarretam maior ou menor intensidade da cor, dependendo da concentração dessas substâncias. A cor é medida no equipamento calorímetro, por comparação visual em disco, com padrões referências em escala Platino Cobalto (APHA). No processo de clarificação da água, a cor natural da água bruta é removida, geralmente, com os sólidos em suspensão (turbidez) por absorção do floculante. No ensaio de Floculação, deve-se medir a cor das águas bruta e decantada em cada uma das cubas, determinando, desta forma, em qual cuba ocorreu a melhor remoção de cor.
- **A turbidez** é o indicador da presença de material em suspensão. Nas ETAS faz-se a medição de turbidez das águas bruta, decantada, filtrada e final. Avalia-se a eficiência da remoção do material em suspensão, comparando-se a turbidez da água bruta com a decantada e com a filtrada. No ensaio de floculação, mede-se a turbidez da água bruta e consulta-se o **Quadro 6** com os valores mínimos do floculante a ser aplicado. Em cada cuba, efetuam-se dosagens crescentes, respeitando o limite máximo indicado no mesmo quadro. Após o ensaio, determina-se a turbidez em amostras de cada uma das cubas. O menor valor representa a maior remoção de material sólido em suspensão. Repete-se o ensaio a partir da aplicação da melhor dosagem encontrada na primeira bateria de teste correspondente à concentração aplicada na cuba que apresentou menor turbidez podendo-se, também, diminuir a concentração de floculante até obter a remoção máxima com a ideal concentração de floculante.

Quadro 6 – Dosagem de sulfato de alumínio em mg/L.

| Turbidez (NTU) | Mínima | Média | Máxima |
|----------------|--------|-------|--------|
| 10             | 5      | 10    | 17     |
| 15             | 8      | 14    | 20     |
| 20             | 11     | 17    | 22     |
| 40             | 13     | 14    | 25     |
| 60             | 14     | 21    | 28     |
| 80             | 15     | 22    | 30     |
| 100            | 16     | 24    | 32     |
| 150            | 18     | 27    | 37     |
| 200            | 19     | 30    | 42     |
| 300            | 21     | 36    | 51     |
| 400            | 22     | 39    | 62     |
| 500            | 23     | 42    | 70     |

- **O pH** tem grande influência na floculação. Deve ser ajustado com produtos alcalinizantes para que ocorra a floculação. Mede-se o pH da água a tratar, ajustando-o para a formação dos flocos. Cada tipo de água flocula requer um pH ótimo. Após determinar a melhor concentração de floculante, varia-se o pH em cada cuba para determinar o pH ótimo de floculação.
- **A alcalinidade** em hidróxido existente na água a ser tratada deve ser avaliada, pois é o íon hidroxila que irá reagir com o cátion alumínio, proveniente do Sulfato de Alumínio, para formar o floco de Hidróxido de Alumínio. Para cada 1 ppm de Sulfato de Alumínio aplicado, são necessários 0,45 ppm de alcalinidade natural ou adicionada. Quando a alcalinidade natural é insuficiente na água a tratar, necessita-se adicionar alcalinizante, ajustando às necessidades da reação química. Com base na análise da alcalinidade da água bruta, verifica-se se a alcalinidade natural é suficiente ou se existe a necessidade da adição de cal. Corrige-se, então, caso necessário, a alcalinidade com adição de  $(CaOH_2)$ . Não é recomendada, para águas industriais, a utilização de barrilha  $(Na_2CO_3)$  e soda  $(NaOH)$ . Nas águas tratadas, altos teores de Alumínio indicam desajuste no processo de floculação, por excesso de sulfato de alumínio ou pouca alcalinidade. Da mesma forma o Ferro solúvel, nas águas tratadas, indica problema semelhante ao alumínio residual, ou seja, não houve eficiência na remoção. O coagulante reage com a alcalinidade em proporções teóricas conforme o **Quadro 7**.

Quadro 7 – Coagulante/alcalinidade.

| Sulfato de Alumínio ppm | Alcalinidade ppm | Sulfato de Alumínio ppm | Alcalinidade ppm |
|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| 1                       | 0,45             | 21                      | 9,45             |
| 2                       | 0,90             | 22                      | 9,90             |
| 3                       | 1,35             | 23                      | 10,35            |
| 4                       | 1,80             | 24                      | 10,80            |
| 5                       | 2,25             | 25                      | 11,25            |
| 6                       | 2,70             | 26                      | 11,70            |
| 7                       | 3,15             | 27                      | 12,15            |
| 8                       | 3,60             | 28                      | 12,60            |
| 9                       | 4,05             | 29                      | 13,05            |
| 10                      | 4,50             | 30                      | 13,50            |
| 11                      | 4,95             | 31                      | 13,95            |
| 12                      | 5,40             | 32                      | 14,40            |
| 13                      | 5,85             | 33                      | 14,85            |
| 14                      | 6,30             | 34                      | 15,30            |
| 15                      | 6,75             | 35                      | 15,75            |
| 16                      | 7,20             | 36                      | 16,20            |
| 17                      | 7,65             | 37                      | 16,65            |
| 18                      | 8,10             | 38                      | 17,10            |
| 19                      | 8,55             | 39                      | 17,55            |
| 20                      | 9,00             | 40                      | 18,00            |

A vazão de aplicação da solução é definida a partir da dosagem ótima, determinada pelos testes com a água bruta (teste de jarros), com o auxílio da seguinte fórmula:



Figura 10 – Calha Parshall.

Fonte: <http://www.temes.com.br/temes.asp?p-g=industria>.

#### Aplicação da Solução de Sulfato de Alumínio:

$$q = \frac{Q \times d}{C \times 10}$$

Onde:

q -> vazão de aplicação da solução em L/h.

Q -> vazão da Estação de Tratamento em m<sup>3</sup>/h.

d -> dosagem ótima do produto (melhor floculação no Teste de Jarros).

C -> concentração da solução de uso.

A constante 10 corresponde à alíquota utilizada no teste (100 ml da amostra), sendo o cálculo final expresso em litro.

Na etapa da floculação, a agitação da água vai diminuindo gradualmente, de forma a possibilitar a formação dos flocos e esses não serem destruídos pela agitação intensa da água nem se depositarem no fundo por uma agitação muito lenta.

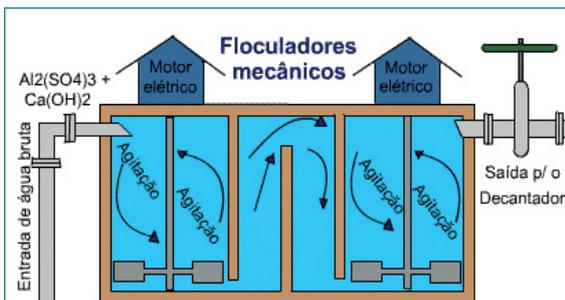


Figura 11 – Floculadores.

Fonte: <http://www.o2engenharia.com.br/o2eng/sistemas-de-tratamento-de-agua-para-abastecimento-eta>.

#### Tempo de detenção ou de contato no floculador:

$$T = \frac{V \times N}{60 \times Q}$$

Onde:

T -> tempo de detenção em minutos.

V -> volume da unidade de Floculação em m<sup>3</sup>.

N -> número de unidades de Floculação.

Q -> vazão Total da ETA em m<sup>3</sup>/segundos.

### 3.6.2 Decantação

Após a floculação, a água é transferida para os decantadores, a matéria em suspensão vai se depositando pela ação da gravidade, os tanques de decantação possuem o fundo inclinado para facilitar a descarga, o tempo de detenção é calculado, de maneira que haja uma boa e quase total deposição de materiais. Na decantação se verifica a deposição de matéria em suspensão, pela ação da gravidade. Este processo consiste em tornar as águas que carregam materiais em suspensão mais lentos, provocando a decantação. Isso ocorre no decantador, que é geralmente um tanque retangular com pontos de descarga.

O período teórico de detenção de um decantador é igual ao volume do tanque dividido pela vazão. Entretanto, vento, temperatura da água e outros fatores influenciam na deposição. O período de escoamento é sempre inferior ao teórico. Geralmente se adota quatro horas como tempo normal de passagem da água no decantador. Com a acumulação

do lodo é necessária a lavagem do decantador, pois pode começar a ocorrer a putrefação que desprende gases, os quais provocam odor e sabor na água efluente da estação.

|  |  |   |
|--|--|---|
| <p>Decantador horizontal</p> <p>Entrada de água floculada</p> <p>Zona de turbilhonamento</p> <p>Zona de decantação</p> <p>Zona de ascensão</p> <p>Zona de repouso</p> <p>Saída p/ o filtro</p> <p>Descarga de lodo</p> | <p><i>Zona de turbilhonamento: situada na entrada da água, observa-se certa agitação onde a localização das partículas é variável.</i></p> | <p><b>Velocidade de sedimentação/taxa de aplicação superficial dos decantadores:</b></p>  |
| <p>Figura 12 – Decantador.</p>   | <p><i>Zona de decantação: não há agitação e as partículas avançam e descem lentamente.</i></p>   | $V_s = \frac{6000 \times Q}{A \times N}$  |
| <p>Fonte: <a href="http://www.temes.com.br/temes.asp?pg=industria">http://www.temes.com.br/temes.asp?pg=industria</a>.</p>   | <p><i>Zona de ascensão: Os flocos que não alcançam a zona de repouso seguem o movimento da água e aumentam a velocidade.</i></p>           | <p>Onde:</p> <p><math>V_s</math> -&gt; velocidade de sedimentação em cm/minuto.</p> <p><math>Q</math> -&gt; vazão total da ETA m<sup>3</sup>/segundo.</p> <p><math>A</math> -&gt; área da unidade de decantação em m<sup>2</sup>.</p> <p><math>N</math> -&gt; número de decantadores.</p> |
|  | <p><i>Zona de repouso: É acumula do lodo. Não sofre influência da corrente de água do decantador em condições normais de operação.</i></p> |   |

O decantador deve ser lavado quando a camada de lodo tornar-se muito espessa, ou quando em processos descontínuos se inicia a fermentação. A decantação é o preparo para a filtração, quanto melhor for a decantação, melhor será a filtração. Para tanto, a cor da água deve ser baixa, 5 a 10 UH no máximo, e o decantador deve remover 90%, pelo menos, da turbidez encontrada na água bruta.

### Saiba mais

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Flotação</b></p> <p>É a separação gravitacional auxiliada pela adição de microbolhas de ar, que em contato com o floco, forma um aglomerado de densidade menor que a água, fazendo com que esse aglomerado floco-bolha flutue até a superfície sendo, então, recolhido por meio de raspadores de superfície ou canaletas.</p> | <p>Entrada de água</p> <p>injeção de ar</p> <p>Calha de coleta de flocos</p> <p>Calha de coleta de água flutuada</p>   |
| <p>Figura 13 – Flotação.</p>  | <p>Fonte: Desenho esquemático feito por Glaycon – COPASA, 10/2001.</p> <p>A flotação por ar dissolvido é mais efetiva que a sedimentação no tratamento de águas ricas em algas e bem mais eficiente na remoção da cianotoxinas (intracelular) por não causar a lise da célula.</p> |

### 3.6.3 Filtração

A filtração consiste em fazer a água passar por substâncias porosas capazes de reter e remover algumas de suas impurezas. Como meio poroso, emprega-se em geral a areia sustentada por camadas de seixos, sob as quais existe um sistema de drenos. Acarretando a remoção de materiais em suspensão e substâncias coloidais e redução de bactérias presentes. A remoção de impurezas nesse processo é complexa e pode envolver mecanismos físico, químico e biológico.

Durante a filtração ocorrem os seguintes fenômenos:

- Ação mecânica de coar;
- Sedimentação de partículas sobre grãos de areia;
- Floculação de partículas, que estava em formação, pelo aumento da possibilidade de contato entre elas;
- Formação de partículas gelatinosas na areia, promovida por micro-organismos que aí se desenvolvem (filtro lento).

Os filtros podem ser classificados de acordo com sua velocidade ou sua pressão. Os filtros lentos funcionam com taxa média de 2 a 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia e os filtros rápidos funcionam com taxa média de 120 a 600m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia. Os filtros de pressão são fechados, metálicos, nos quais a água é aplicada sobre pressão e geralmente são usados em piscinas e indústrias.

Os filtros lentos são utilizados geralmente em zonas rurais onde existe disponibilidade de área. O processo de remoção não requer previamente o uso de coagulantes. A inexistência, na filtração lenta, das etapas de mistura rápida, floculação e decantação permitem, de um modo geral, a produção de água com custos operacionais muito baixos. Os filtros lentos trabalham com taxas de filtração baixas e usam granulometria fina. Os usos de baixas taxas de filtração levam a um maior tempo de detenção da água sobre o meio filtrante e no seu interior, permitindo o desenvolvimento, na interface água-meio filtrante, de uma camada composta por organismos biológicos e detritos, a chamada “schmutzdecke”, assim como de um “biofilme” na superfície dos grãos filtrantes nos primeiros centímetros do meio filtrante. A formação do “schmutzdecke” pode levar alguns dias ou até semanas. Esse intervalo de tempo é denominado de período de amadurecimento de um filtro lento. A eficiência da filtração lenta depende essencialmente do amadurecimento biológico do filtro, somente após esse amadurecimento, o filtro se encontra em condições adequadas de produzir água tratada de boa qualidade. A atividade biológica presente no filtro depende, essencialmente, da quantidade de nutrientes presentes na água bruta e da temperatura.

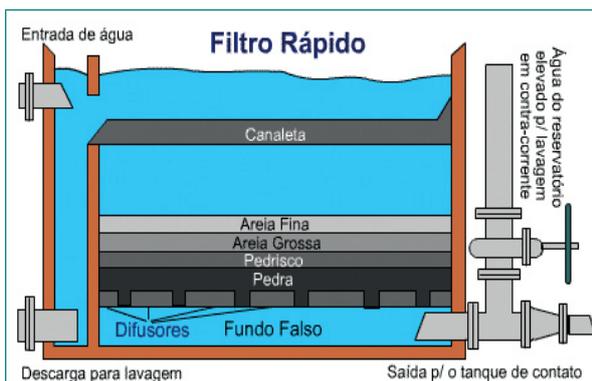


Figura 14 – Filtro rápido.

Fonte: <http://www.temes.com.br/temes.asp?pg=industria>.

Os filtros de gravidade são usados para a filtração de grandes volumes de água previamente coagulada. Tem forma retangular. São lavados com água tratada introduzida de baixo para cima. São constituídos de caixa de concreto com um sistema de canalização central (*manifold*) e laterais, coberto com pedregulhos em várias camadas e diâmetros e que suportam a camada (areia grossa) e a camada de areia preparada. Na lavagem, a areia que constitui o leito filtrante deverá ser posta em suspensão ou expansão na água. A velocidade ascensional da água deverá ser suficiente para expandir a areia, mas insuficiente para carregá-la para a calha de coleta de água de lavagem. A lavagem é feita quando a entrada de água é maior que a saída, provocando o acúmulo de água no filtro (afogamento). Porém, isso pode variar de acordo com as condições de funcionamento da ETA, como a turbidez da água bruta e decantada.

As lavagens dos filtros geralmente devem ser realizadas quando a perda de carga atinge o limite, geralmente em torno de 2,5 m.c.a; recomenda-se a lavagem através da inversão de corrente. Fecham-se os registros de entrada e saída, aguarda-se que o nível da água fique em torno de 10 cm acima do leito filtrante, em seguida é aberto o registro de esgoto e, de forma gradativa, o registro que recebe água do reservatório de lavagem. Essa abertura deve ser lenta e gradual para favorecendo a saída do ar, de modo a não danificar o sistema de drenagem do filtro. A vazão de lavagem deve ser em torno de oito vezes maior que a de filtração. Na medida em que a água é recolhida na canaleta, a aparência passa de turva a clara e, após sete minutos, deve-se inverter o procedimento também de maneira lenta.

### 3.6.4 Desinfecção

A desinfecção consiste na inativação dos micro-organismos patogênicos, realizada por intermédio dos agentes físico e ou químico, agregado à remoção de partículas coloidais utilizando as operações unitárias necessárias para cada *performance* que classifica a água captada.

Em situações estratégicas, cuja potabilização é considerada indispensável e prioritária, sempre que a água estiver possivelmente contaminada, as ações dos desinfetantes sobre os micro-organismos devem se dar sob os mecanismos de destruição ou danificação da organização estrutural da célula, interferência no nível energético do metabolismo e biossíntese, bem como no crescimento, devido à combinação de vários mecanismos, como a síntese de proteínas, ácida nucléica, coenzimas ou células estruturais.

Os métodos químicos de desinfecção incluem:

- **Ozono:** é um desinfetante poderoso. Não deixa cheiro na água, mas origina um sabor especial, ainda que não desagradável. Apresenta o inconveniente de uma operação difícil e, o que é mais importante, não tem ação residual;
- **Iodo:** desinfeta bem a água após um tempo de contato de meia hora. É, entretanto, muito mais caro para ser empregado em sistemas públicos de abastecimento de água;
- **Prata:** é bastante eficiente, sob forma coloidal ou iônica não deixa sabor nem cheiro na água e tem uma ação residual satisfatória. Porém, para águas que contenham certos tipos de substâncias, tais como cloretos, sua eficiência diminui consideravelmente;
- **Cloro:** constitui o mais importante dentre todos os elementos utilizados na desinfecção da água. Além desta aplicação, ele também é usado no tratamento de águas para eliminar odores e sabores, diminuir a intensidade da cor, auxiliar no combate à proliferação de algas, colaborar na eliminação de matérias orgânicas e auxiliar a coagulação de matérias orgânicas.

O cloro é o desinfetante comumente empregado e considerado eficaz, pois age sobre os micro-organismos patogênicos presentes na água, não é nocivo ao homem na dosagem requerida para desinfecção, é econômico, não altera outras qualidades da água depois de aplicado, não requer operação complexa para sua aplicação e mantém um residual ativo na água, isto é, sua ação continua depois de ser aplicado.

O cloro é aplicado na água por meio de dosadores, que são aparelhos que regulam a quantidade do produto a ser ministrado, dando-lhe vazão constante. Pode ser aplicado sob a forma gasosa. Nesse caso, usam-se dosadores de diversos tipos. O acondicionamento do cloro gasoso é feito em cilindros de aço, com várias capacidades de armazenamento.

Normalmente é usado na desinfecção da água para consumo humano na forma cloro molecular ( $\text{Cl}_2$ ), líquido ou gasoso. A quantidade de cloro na água como  $\text{Cl}_2$  (cloro elementar), HOCl (ácido hipocloroso) e  $\text{OCl}^-$  (ion hipoclorito) é denominada de cloro residual livre e é de extrema importância na inibição do crescimento bacteriano. A desinfecção tem caráter corretivo e preventivo, considerando que a água pode ser contaminada ao longo do percurso até o consumo.

A utilização do cloro gasoso em cilindros especiais com até 99.99% de pureza, com pesos de 40 kg, 50 kg, 68 kg, e 900 kg, requer uma série de cuidados. O processo de cloração consiste na dissolução do gás em uma quantidade pequena de água, por um dispositivo (clorador). Essa solução concentrada é aplicada na água após filtração que se encontra no tanque de contato, garantindo a inativação dos micro-organismos (bactérias e vírus), bem como assegurando a cloração da água que por ventura seja contaminada durante a distribuição. As boas práticas recomendam:

- Manter sempre os cloradores em temperatura baixa, de 10c a 30c;
- Usar sistematicamente máscara durante o manuseio para evitar a inalação de cloro;
- Para gás seco, as tubulações utilizadas podem ser de cobre, porém, quando diluído, ela deve ser de PVC devido à corrosão;
- Monitorar, com solução de amônia, os possíveis vazamentos (a mistura do gás cloro com amônia forma uma fumaça branca de fácil visualização).

### Saiba mais

Diversas pesquisas desenvolvidas a partir da década de 70, mostram que a cloração de algumas águas leva à formação de diversos subprodutos clorados, entre os quais os chamados trihalometanos (THM), que são potencialmente cancerígenos. Estudos recentes sugerem que, além das substâncias húmicas, as quais tradicionalmente se atribui a formação de THM, as algas também se constituem em potenciais precursores de trihalometanos. A cloração de matéria orgânica proveniente das algas pode produzir clorofórmio. A possibilidade deve-se a existência de uma correlação entre a concentração de clorofila-a, presente na água bruta e a de THM, na água tratada.

## 3.7 Correção de pH

Chamamos de água final a água a ser distribuída para a população, isto é, a água que já passou pelo processo total de tratamento. Porém, é necessário algum cuidado a mais para garantir a qualidade e a potabilidade da água a ser consumida:

- a) Correção do pH;
- b) Adição de flúor não deve ser considerada tratamento da água, e sim um aditivo necessário e recomendado pelo Ministério da Saúde (Portaria nº. 635/Bsb, de 26 de dezembro de 1975).

Estes processos são realizados logo após a filtração e antes da água ser encaminhada para os reservatórios, na caixa de correção.

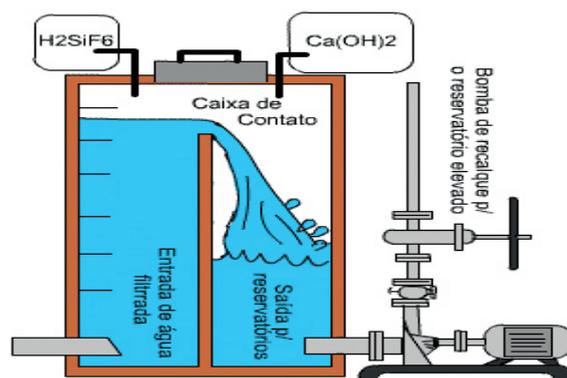


Figura 15 – Adição de flúor, correção de pH.

Fonte: <http://www.temes.com.br/temes.asp?pg=industria>.

A correção do pH é um método preventivo da corrosão do encanamento. Consiste na alcalinização da água para remover o gás carbônico livre e para provocar a formação de uma película de carbonato na superfície interna das canalizações. Para a formação da camada ou película protetora, eleva-se o pH da água a ponto de saturação (geralmente utiliza-se o hidróxido de cálcio). O controle da quantidade de produto a ser aplicado é feito por intermédio da determinação do pH utilizando-se equipamento específico.

### 3.8 Fluoretação

A fluoretação da água para consumo humano é uma medida preventiva de comprovada eficácia, que reduz a prevalência de cárie dental entre 50% e 65% em populações sob exposição contínua desde o nascimento, por um período de aproximadamente dez anos de ingestão da dose ótima. É um processo seguro, econômico e adequado. A implantação da fluoretação poderá ser realizada com os produtos que em sua seleção contemplem a eficácia, grau de solubilidade, custo, continuidade de fornecimento pelo fabricante, distância entre a fonte produtora e o consumidor, transporte, estocagem, manuseio do composto e riscos operacionais. Os produtos que se enquadram nestas características são: Ácido Fluossilícico ( $H_2SiF_6$ ) e Fluossilicato de Sódio ( $Na_2SiF_6$ ).

Quadro 8 – Relação entre a média das temperaturas máximas diárias do ar e os limites recomendados para a concentração de íon fluoreto na água.

| Média das temperaturas máximas diárias do ar (°C) | Limites recomendados para a concentração do íon fluoreto (mg/L) |        |       |
|---|---|--------|-------|
|   | Mínimo  | Máximo | Ótimo |
| 10,0- 12,1  | 0,9   | 1,7    | 1,2   |
| 12,2- 14,6  | 0,8   | 1,5    | 1,1   |
| 14,7- 17,7  | 0,8   | 1,3    | 1,0   |
| 17,8- 21,4  | 0,7   | 1,2    | 0,9   |
| 21,5- 26,3  | 0,7   | 1,0    | 0,8   |
| 26,8- 32,5  | 0,6   | 0,8    | 0,7   |

Fonte: Portaria nº. 635/Bsb, de 26 de dezembro de 1975 – Quadro I.

| Produto  | Características  |
|--|--|
| <p><b>O Ácido Fluossilícico</b></p> <p>É um subproduto da indústria de fertilizantes. É um líquido altamente solúvel e corrosivo, o que dificulta o seu transporte e requer reservatórios apropriados. Todos os recipientes, tubulações e válvulas que estiverem em contato com o ácido devem ser de material plástico, como PVC, Polietileno, Polipropileno, Acrílico ou Teflon. Os locais de armazenagem devem ser frescos e ventilados por sua natureza tóxica, pois ao vaporizar-se, decompõe-se em Ácido Fluorídrico e Tetrafluoreto de Silício. Suas principais características estão descritas ao lado.</p> | <p>Fórmula: <math>H_2SiF_6</math></p> <p>Peso Molecular: 144,08</p> <p>Densidade a 17,5° C</p> <p>Na concentração de 14%: 1,1190</p> <p>Na concentração de 20%: 1,1748</p> <p>Na concentração de 24%: 1,2136</p> <p>pH da solução: 1,2</p> <p>Solubilidade: infinita</p>   |
| <p><b>O Fluossilicato de Sódio</b></p> <p>É um produto de natureza tóxica, sólido na forma de pó branco brilhante e cristalino, que apresenta baixa solubilidade. Por ser corrosivo como o Ácido Fluossilícico, necessita que seus dosadores sejam de PVC, Polietileno, Polipropileno ou de Teflon. Em função de sua baixa solubilidade, utiliza-se solução saturada para fluoretar as águas para consumo humano. Suas principais características estão descritas ao lado.</p>   | <p>Fórmula: <math>Na_2SiF_6</math></p> <p>Peso Molecular: 188,05</p> <p>Peso específico: 1.200 Kg/m<sup>3</sup></p> <p>Umidade: 0,5%</p> <p>Pureza comercial: 98 a 99%</p> <p>pH da solução: 3,5</p> <p>Solubilidade: 0,762 gramas/100g de H<sub>2</sub>O a 25°C</p> <p>Porcentagem de íon fluoreto em uma molécula de <math>Na_2SiF_6</math>: 60,6%</p> |

Fonte: Manual de Fluoretação – Buendia, 1996.

O Ácido Fluossilícico (*aplicado com bomba dosadora*) e o Ácido Fluossilicato de Sódio (*aplicado com cone de saturação*) são compostos que devem ser manipulados pelos operadores com os cuidados devidos, evitando qualquer possibilidade de ingestão ou inalação dos vapores. O manuseio deve ser realizado com Equipamentos de Proteção Individual – EPI (NR 6 do Ministério do Trabalho e Emprego – 206.000.01/10): óculos, máscara, luvas, botas e avental de plástico ou borracha. O local de armazenagem deve possuir torneira com água corrente, de maneira a ser utilizada em caso de acidente. Ocorrendo tal situação, a pele da pessoa acidentada deve ser lavada com bastante água corrente. O vazamento de ácido deve ser neutralizado com água e cal. Os cuidados com a manipulação do produto incluem a aplicação direta do recipiente, ventilação adequada, estocagem livre de outros produtos, principalmente os incompatíveis. Os recipientes de armazenagem devem ter saída externa para os gases e identificação. Atentar para as recomendações do rótulo com relação ao descarte do recipiente, que deverá ser devolvido para reciclagem.

| Vazão da dosagem do ácido Fluossilícico – $Q_{\text{ácido}}$  |  |
|---|--|
| $Q_{\text{ácido}} = \frac{Q_{\text{ETA}} \times \text{teor de íon Fluoreto a ser aplicado} \times \text{fator}}{\text{Concentração de ácido Fluossilicio} = (\text{g/L}) = (\text{L/min})}$ | $= \frac{(\text{m}^3/\text{min}) \times (\text{g}/\text{m}^3) \times 1,263}{(\text{g/L})} = (\text{L}/\text{min})$ |
| $Q_{\text{ácido}} = \text{L}/\text{min}$  |  |

$$Q_{ETA} = m^3/min$$

$$\text{Teor de íon fluoreto} = g/m^3$$

$$\text{Fator de proporcionalidade} = 1,263$$

$$\text{Fator de proporcionalidade} = \frac{\text{Peso Molecular}}{\text{Massa atômica de íons fluoreto do composto}} = 1,263$$

### Consumo do Ácido Fluossilícico – $C_{\text{ácido}}$

$$C_{\text{ácido}} = Q_D \times \text{densidade do ácido}$$

#### Exemplo 1

Calcular a vazão de dosagem ( $Q_D$ ) de ácido a 20% para fluoretar a água de uma ETA cuja vazão é de 240.000 litros/hora e o teor ideal de fluoreto a ser aplicado é de 0,7 mg/L.

$$\text{Concentração do } H_2SiF_6 \text{ a 20\%} = 235,0 \text{ g/L.}$$

$$\text{Vazão da ETA} = 240.000 \text{ litros/hora} = 4,0 \text{ m}^3/min.$$

$$\text{Teor de íon Fluoreto a aplicar} = 0,7 \text{ mg/L} = 0,7 \text{ g/m}^3.$$

$$Q_D = \frac{4,0 \times 0,7 \times 1,263}{235,0} = 0,015048 \text{ L/min ou } 15,04 \text{ mL/min}$$

#### Exemplo 2

Calcular o consumo do composto utilizado, sendo o procedimento adotado como medida de segurança.

$$\text{Vazão de dosagem do ácido } (Q_D) = 0,015 \text{ L/min.}$$

$$\text{Concentração do ácido} = 20\%: \text{Densimetria de } 1,748 \text{ g/cm}^3 \text{ ou Kg/litro.}$$

$$\text{Tempo do funcionamento do sistema} = 24 \text{ horas.}$$

$$C_{\text{ácido}} = 0,015 \text{ L/min} \times 1,748 \text{ Kg/L} = 0,017622 \text{ Kg/min} = 25,38 \text{ Kg/dia} = 761 \text{ Kg/mês}$$

### Cone de saturação

O cone de saturação é um equipamento utilizado para dosagem e aplicação do Fluossilicato de Sódio. Trata-se de um cone invertido que é carregado com o referido produto e é alimentado em sua parte inferior por um fluxo de água com vazão constante, proveniente de um reservatório de nível constante.

O processo de preparo da solução se dá no interior do cone, com a dissolução progressiva dos cristais de Fluossilicato de sódio, os quais, com a redução do seu tamanho, são arrastados pela velocidade ascensional da água, obtendo-se uma concentração constante de íons fluoretos (Castelo Branco, 1989). Os estudos iniciais previam o uso do cone para produzir uma solução saturada. A pouca solubilidade do Fluossilicato de sódio (0,76%) fazia supor que o cone seria usado apenas em pequenas instalações, com

vazão máxima de 50L/s da água tratada. Verificou-se, no entanto, não ser necessário que o cone funcionasse produzindo uma solução saturada. Nas vazões mais elevadas, o conjunto atuava como um alimentador de uma solução uniforme, cuja concentração era função da velocidade de ascensão do fluxo da água. Concluiu-se que não existia a limitação proposta inicialmente (50L/s) e que seria possível fluoretar a água nas Estações de Tratamento com até 500L/s (Castelo Branco, 1989). Assim, com um único cone de saturação, é possível fluoretar uma vazão maior que 50 L/s, dentro de certos limites, dependendo, principalmente, do teor de flúor a ser dosado na água tratada. Para Estações de Tratamento de Água de grande porte (vazões acima de 1.800 m<sup>3</sup>/h), a implantação da fluoretação pode ocorrer com o emprego de dois ou mais cones em paralelo.

### Protocolo de aplicação do Fluossilicato de sódio por intermédio do cone de saturação



Figura 16 – Cone de saturação.

Fonte: Revista da FSESP – Castelo Branco, 1989.

- 1) A água de alimentação deve ser injetada sob pressão de 1 Kg/cm<sup>2</sup> próximo ao vértice do cone através de uma tubulação de PVC, com 3/4" de diâmetro;
- 2) A coleta da solução ou suspensão deve ser feita por tubulação de PVC de 3/4" de diâmetro, localizada a 0,10 m da borda do cone, provida de furos laterais, de diâmetro adequado;
- 3) A velocidade ascensional obtida na superfície livre da solução ou suspensão deve variar de 0,002 a 0,02mL/s/cm<sup>2</sup>;
- 4) O efluente coletado deve ser conduzido por tubulação em PVC de 1/2" de diâmetro ao ponto de aplicação. É necessário que a água esteja em movimento para que a dissolução das partículas em suspensão seja completada antes da reservação ou distribuição.

Estando o equipamento instalado e carregado com 50 Kg de Fluossilicato de sódio, deixe a água entrar lentamente no cone até que o tubo de coleta fique imerso. Nivela o cone de modo que os furos recebam a mesma carga hidráulica. Em seguida, prossiga à regulagem da vazão de solução a ser dosada, conforme cálculos feitos anteriormente. A disposição de 50 Kg do produto é a carga inicial (40 cm de altura), devendo ser completada a cada 25 Kg consumido. Teoricamente, a concentração de íons fluoretos na solução saturada de Fluossilicato de sódio presente no efluente coletado na superfície livre do cone é cerca de 4,54 g/L.

A concentração teórica de fluoreto na solução efluente do cone de saturação -  $C_{saturação}$

$C_{saturação} =$   
Solubilidade do produto x % de íon fluoreto em uma molécula de Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> x pureza do produto

Solubilidade do Produto: 0,76g/100 mL.

Porcentagem de íon fluoreto em uma molécula de Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>: 60,6%.

Pureza do produto: 98% (observar sempre a pureza do produto pois vai interferir na concentração da solução do efluente).

$$C_{saturação} = 0,76g/100mL \times 0,606 \times 0,98 = 0,454g/100mL \text{ ou } 4,54g/L$$

### Exemplo 3 (prático)

Cálculo do consumo de Fluossilicato de Sódio, utilizando o cone de saturação, em função do teor de íon fluoreto a ser aplicado, conhecida a vazão e o tempo de funcionamento da ETA. Além do teor de íon fluoreto a ser aplicado, é possível calcular o consumo de Fluossilicato de sódio.

**Consumo de  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$**  = Vazão da ETA x Tempo de funcionamento da ETA x Fator de proporcionalidade x Teor de íon Fluoreto

Consumo diário de  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ : Kg/dia.

Vazão da ETA: L/s.

Tempo de funcionamento da ETA: 86.400 segundos, ou seja, um dia.

Fator de proporcionalidade = 1,65.

Teor de íon  $\text{F}^-$  a ser dosado = mg/L.

Cálculo do fator de proporcionalidade: peso molecular do Fluossilicato de sódio/quantidade de íons fluoreto liberado pela sua molécula

$\text{Na}_2\text{SiF}_6$ , onde  $\text{Na}_2 = 2 \times 23 = 46$ ;  $\text{Si} = 28$ ;  $\text{F}_6 = 6 \times 19 = 114$ ; Peso molecular = 188

$$\text{Fator de proporcionalidade} = \frac{188}{144} = 1,649 \cong 1,65$$

a) Calcular a quantidade do produto Fluossilicato de sódio (Kg/dia) utilizando o cone de saturação, tendo como referência os seguintes dados:

- Vazão da ETA = 100 L/s;
- Tempo de funcionamento = 84.600 segundos;
- Teor de flúor a ser dosado = 0,7 mg/L.

**Consumo diário = 100L/s x 84.600 s x 1,65 x 0,7 mg/L = 9.979 mg/dia ou 9,979 Kg/dia**

b) Calcular a vazão do efluente (litros por minuto) do cone de saturação tendo como referência os seguintes dados:

- Consumo diário de  $\text{Na}_2\text{SiF}_6 = 9,979 \text{ Kg}$  ou 9.979 g;
- Tempo de funcionamento por dia = 84.600 segundos ou 1.440 minutos;
- Concentração teórica da solução efluente do cone = 4,54 g/L.

$$\text{Vazão}_{\text{efluente do cone}} = \frac{9.976 \text{ g}}{1.440 \text{ min} \times 4,54 \text{ g/L}} = 1,53 \text{ L/min}$$

## Saiba mais

### Fluorose dentária e desfluoretação

Fluorose dentária é um agravo na saúde bucal traduzida em manchas, em geral esbranquiçadas, que aparecem nos dentes por excesso de flúor, geralmente de forma simétrica. É o primeiro sinal da intoxicação por excesso de Fluoretos. Geralmente com incidência nas regiões onde a água é fluoretada ou tem fluretos natural, principalmente em águas captadas de lençóis subterrâneos, chegando até a 90 %, ou onde o nível de fluoreto natural é bastante alto. O excesso de flúor pode ser tóxico apesar de em quantidade recomendada ser benéfico. Sua toxicidade pode ser aguda, quando grande quantidade de flúor é ingerida de uma só vez ou crônica quando pequenas quantidades são ingeridas continuamente. Em sua forma aguda, a toxicidade pode variar desde uma simples perturbação gastrointestinal até a parada respiratória e, conseqüentemente, morte. Em sua forma crônica, a toxicidade pode afetar tecidos mineralizados (ossos e esmalte dental), causando fluorose óssea e principalmente a fluorose dentária. Estudos realizados por epidemiologistas e pesquisadores na área, avaliam que o número de pessoas com fluorose vem aumentando, sendo em muitas regiões um alarme em saúde pública.

Neste contexto são necessários critérios básicos, *viabilidade operacional e técnica* para a escolha do processo mais apropriado para a remoção de fluoretos em águas de captação subterrânea para consumo humano. O íon fluoreto é de grande importância para o tratamento profilático na prevenção da cárie dentária e sua adição à água tratada pelas companhias de abastecimento público é uma medida de grande alcance social; entretanto, não basta apenas a eficácia do produto, é necessária eficiência, ou seja, boas práticas para se ter efetividade alcançada.

Entre os possíveis processos para a remoção de íons fluoretos, pode-se citar, entre outros, a desmineralização total ou parcial da água através de processos de troca iônica com a utilização de resinas sintéticas, que têm como matriz produtos da copolimerização de um grupo vinílico, como estireno ou ácido acrílico, com divinilbenzeno, na qual são atrelados grupos funcionais (-SO<sub>3</sub>H; -COOH; RNOH-). Estes compostos são tóxicos e cancerígenos.

### Pesquisa Nacional de Cárie Dental

O último levantamento epidemiológico nacional, concluído em 2003, para as doenças bucais, denominado de SB – Brasil constatou o declínio do ataque à cárie na população infantil brasileira. Observou-se, no estudo, que cerca de 70% das crianças brasileiras de 12 anos têm pelo menos um dente permanente com experiência de cárie. Mesmo assim, o país alcançou a meta preconizada pela Organização Mundial da Saúde para o ano 2000 (CPO-D até 3,0) com um atraso de quatro anos, apresentando um índice CPO-D de 2,78 para a população de 12 anos de idade. Dados como estes são preocupantes, especialmente para a Região Norte, que possui características peculiares. Um declínio relevante do CPO-D foi observado no período do estudo, sendo a hipótese explicativa mais plausível a elevação no acesso a água e creme dental fluorados e as mudanças nos programas de saúde bucal coletiva. Apesar da melhora, a distribuição da cárie ainda é desigual. Os dentes atingidos por cárie passaram a se concentrar numa proporção menor de indivíduos. Ademais, não se alterou a proporção de dentes cariados não tratados.

Em contrapartida, atualmente vários produtos inócuos à saúde de diferentes tipos e composições químicas são utilizados em pesquisas e escalas pilotos para a desfluoretação, são eles: carvão de osso, sulfato de alumínio, alumina ativada, cal, aluminas hidratadas comerciais, bauxita, dolomita, sílica, argilas pré-tratadas, magnesita, farinha de osso, gesso, sulfato de magnésio, calcáreo, apatita, alúmen comercial, cal hidratada, cal dolomítica, caulim, nitrato de cálcio, cloreto férrico e outros.

Além desses compostos, foi estudado a utilização da coagulação, a partir do uso de extratos de semente de Moringa Oleífera (MO) seguido de separação com membranas. Ensaios já realizados em pesquisas consistiram em submeter águas fluoradas em excesso (10 mg F-/L) a um tratamento prévio com diferentes extratos de semente de MO, seguido de passagem no módulo de micro/ultrafiltração (5 KDa; 1 e 2 bar). A melhor condição foi utilizando a pressão de 2 bar e extrato filtrado, já que obteve-se o maior percentual de remoção de flúor (89,8 %), o menor percentual de entupimento da membrana (47,2 %) e a concentração final de flúor de 1,02 mg F-/L. O processo mostrou-se uma excelente alternativa de tratamento de águas subterrâneas, cuja concentração de flúor encontram-se acima do permitido pela legislação.

a redução das disparidades socioeconômicas e medidas de saúde pública dirigidas aos grupos mais vulneráveis permanecem como um desafio para todos os que formulam e implementam as políticas públicas no Brasil. Portanto, ainda é necessário, onde existir viabilidade técnica e econômica, a implantação da fluoretação e sistematização do processo, que de forma descontínua acarreta ineficiência.

### 3.9 Tratamentos não convencionais

A simples filtração procedida de desinfecção apresenta diversas vantagens em relação ao tratamento convencional. A primeira é o menor número de unidades envolvidas, já que o tratamento convencional é constituído por unidades de mistura rápida e coagulação, de floculação, de decantação ou flotação e de filtração, enquanto a filtração direta apresenta apenas as unidades de coagulação, floculação (eventualmente) e filtração. Outra vantagem é o menor consumo de produtos químicos durante o processo de tratamento. Dentre as tecnologias usuais de tratamento de água para abastecimento público, a filtração direta é a que apresenta menor custo de implantação. Por outro lado, em geral, a filtração lenta é mais vantajosa do ponto de vista de operação e de manutenção, tanto no que se refere aos menores custos quanto à maior simplicidade dessas atividades.

Caso as características físico-químicas e bacteriológicas da água bruta não evidenciem a possibilidade de tratabilidade e potabilização por intermédio de tecnologias simples, faz-se necessário o emprego do tratamento em ciclo completo, que caracteriza as ETAS que possuem unidades de mistura rápida, floculação, decantação (ou flotação) e filtração. Portanto, a escolha da tecnologia de tratamento depende basicamente da qualidade da água bruta e da qualidade desejada para o efluente final.

O tratamento não convencional pode ser realizado em ETAS compactas. Estão destacadas algumas configurações em função do tipo da água bruta a tratar, da área disponível para instalação e vazão. As ETAS compactadas podem ser construídas basicamente com os seguintes materiais, levando em consideração tipo e a capacidade: poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV), aço carbono revestido e concreto. As ETAS compactas são dos tipos descritos abaixo.

**Estação de Tratamento de Água tipo filtração direta de fluxo ascendente, chamada de Filtro Russo** é um sistema de tratamento que utiliza a filtração da água coagulada de forma direta e ascendente. Este tipo de estação é especialmente recomendado para o tratamento de água bruta com baixos valores de turbidez, podendo a cor ter níveis mais altos. Não possui floculadores e decantadores. Os parâmetros máximos para utilização desse sistema são Turbidez até 200 NTU e Cor máxima de 1.000 mg/L PtCo (aparente). As especificações ideais são: taxa de filtração de 200 a 250 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>; taxa de lavagem entre 40 e 60 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>; duração da lavagem em torno de 10 minutos; ciclo entre lavagens máximo de 24 horas; lavagem intermediária entre duas a três lavagens/dia (mínimo de três minutos) e fabricado em poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV), aço carbono revestido ou concreto.

**Estação de Tratamento de Água tipo filtração direta de fluxo descendente à pressão** é recomendado para tratamento de água bruta com baixos valores de turbidez em torno de 75 NTU. Sendo uma quantidade pequena de flocos formados na floculação. A filtração é direta e os filtros mantêm bom estado de conservação. Os filtros necessitam de projeto especial, de modo a não afetar o ciclo de lavagens e a quantidade de água filtrada.

**Estação de tratamento de água tipo compacta a pressão** é um sistema de tratamento de água compacto e sob pressão que contempla fases de mistura rápida, coagulação, floculação, decantação e filtração da água. Sua utilização independe da qualidade da água bruta para produzir água tratada dentro dos padrões de potabilidade, podendo ser modulada para vazões maiores. Este tipo de estação é recomendado para o tratamento de água bruta, considerando-se espaço limitado para instalação e vazão até 30 L/s.

**Estação de tratamento de água tipo compacta convencional aberta à gravidade** é um sistema de tratamento de água que utiliza a gravidade com fases de mistura rápida, coagulação, floculação, decantação e filtração da água. Sua utilização também independe da qualidade da água bruta. A vazão recomendada é até 70 L/s para água bruta com valores de turbidez e cor em níveis baixos ou altos.

ETAS pré-fabricadas, apesar da praticidade, muitas vezes apresentam problemas. Como geralmente são módulos padronizados, pode-se incorrer em grandes erros caso não sejam levadas em consideração as características da água bruta no momento em que se decide adquiri-las. Dependendo dessas características, o dimensionamento-padrão da ETA pode não favorecer o alcance da eficiência esperada no tratamento, resultando na produção de água que não atende ao padrão de potabilidade.

### 3.10 Biossegurança na ETA e laboratório

Os laboratórios de Estação de Tratamento de Água devem ser projetados para atender as condições de biossegurança, de acordo com a classe de risco dos organismos e agentes manipulados nas suas atividades. Dessa forma, deve ser criada uma estrutura no laboratório de Normas de Segurança a serem seguidas pelos técnicos, de maneira a evitar ocorrência de acidentes em suas dependências. Essas normas recebem o nome de *Good Laboratory Practices* – GLP (Boas Práticas de Laboratório). Trata-se de um conjunto de recomendações de ordem pessoal a serem desenvolvidas nos laboratórios, procurando minimizar os riscos e sustentabilidade da segurança. Visando minimizar ou eliminar os

riscos é necessário dispor de um programa que contemple estrutura física, administrativa e técnica compatíveis com as atividades a serem desenvolvidas.

- Segurança do pessoal, proteção da amostra;
- Precisão dos resultados;
- Eficiência no fluxo de trabalho;
- Proteção do meio ambiente e dos riscos provenientes das atividades realizadas no seu interior.

De maneira sucinta, são listados abaixo procedimentos básicos de ordem geral, que devem ser implantados pelos responsáveis do laboratório químico, com ênfase à análise de água, e seguidos pelos usuários do laboratório:

- Realizar controles médicos periódicos, envolvendo exames clínicos e laboratoriais, além de manter a caderneta de vacinação em dia, principalmente contra febre tifoide, tétano e hepatite A;
- Conhecer e avaliar os riscos com a operação de amostras, reativos, solventes, vidrarias e utilidades e tomar as medidas preventivas necessárias;
- Operar corretamente os equipamentos e aparelhagens do laboratório, ler o manual de cada equipamento, conhecendo seus riscos, usos e limitações;
- Utilizar os EPI nas atividades operacionais da ETA e Laboratório;
- Trabalhar sempre com avental de manga longa e devidamente abotoado;
- Evitar usar roupas de tecido sintético (facilmente inflamável);
- Proibir fumar nas dependências do laboratório, por perigo de contato com material inflamável;
- Evitar comer e beber nos ambientes das operações unitárias e laboratório, lavando as mãos antes de qualquer refeição;
- Comunicar a chefia a ocorrência de qualquer acidente, por mais simples que seja;
- Não misturar pertences pessoais com material de laboratório;
- Seguir as orientações de segurança e de uso de equipamentos e reagentes;
- Com relação ao laboratório do ponto de vista funcional, é de suma importância que o mesmo ofereça condições de segurança a seus usuários, para tanto, serão listadas, abaixo, algumas recomendações:
  - Manter as bancadas limpas e livre de materiais estranhos ao trabalho;
  - Fazer uma limpeza prévia, com água, antes de descartar frascos de reagentes vazios;
  - Rotular o frasco com o reagente preparado e as amostras coletadas, discriminando o produto, data e concentração, quando for o caso;
  - Limpar qualquer derramamento de produtos e/ou reagentes, lembrando que deve ser mantido balde de areia para conter derramamento de álcalis e ácidos;

- Descartar todos e quaisquer materiais de vidro trincado ou que possa oferecer perigo quando do seu uso;
- Acondicionar os cacos de vidro num recipiente próprio, não misturando com o lixo comum;
- Discriminar a voltagem de todas as tomadas, de preferência padronizando suas cores, bem como indicar nos equipamentos suas respectivas voltagens;
- Indicar com um aviso do tipo “Chapa quente” as chapas de aquecimentos utilizadas;
- Ter sempre disponível os EPI’s;
- Possuir em suas dependências uma Caixa de Primeiro Socorros, de conhecimento de todos os usuários;
- Possuir, em local estratégico, um chuveiro de emergência e um lava-olhos;
- Manter os extintores de incêndio sinalizados e em dia com suas recargas;
- Oferecer um sistema de iluminação de emergência, para os casos de falta de energia elétrica;
- Possuir um sistema de exaustão e recirculação de ar.

### 3.10.1 Primeiros socorros

Os riscos mais comuns de acidentes em laboratórios químicos são: cortes, queimaduras, derramamento de produtos químicos e intoxicação com substâncias nocivas. Os primeiros socorros devem ser ministrados o mais próximo possível do momento do acidente, sendo que, dependendo da gravidade, o acidentado deverá ser encaminhado ao hospital mais próximo, imediatamente. Abaixo, serão descritos procedimentos básicos a serem ministrados em caso de acidentes:

- **Por ingestão de substância química:** não provocar vômito quando tratar-se de ingestão de ácidos ou bases; deve-se, no primeiro caso (ingestão de ácidos), ministrar leite de magnésia e água para beber e, no segundo caso (ingestão de bases), ministrar cerca de 30 ml de vinagre diluídos em 250 ml de água, seguido de suco de laranja ou limão;
- **Por inalação de vapores corrosivos:** remover a pessoal do local, dispondo-a num ambiente ventilado;
- **Por queimaduras:** no caso de queimaduras com ácidos, deve-se lavar com água em abundância e, em seguida, com Bicarbonato de sódio a 5%; em tratando-se de queimaduras com bases, deve-se lavar com água em abundância e, em seguida, com vinagre. Quando a região afetada for os olhos, deve-se utilizar o lavador de olhos para proceder a lavagem;
- **Por cortes:** deve-se lavar com água e sabão o local da lesão e, em seguida, ministrar solução à base de Iodo.

### 3.10.2 Equipamentos de segurança coletivos e individuais

Genericamente, podem ser considerados equipamentos de proteção individual para ser utilizados em laboratórios e na Estação de Tratamento de Água todos os objetos cuja função é prevenir ou limitar o contato entre o trabalhador e o material tóxico. Assim sendo, a segurança pode ser provida pelos objetos simples como as luvas descartáveis, bem como por equipamentos de contenção secundária.

Porém, é fundamental que o técnico tenha consciência de que os equipamentos de proteção individual – EPI's não substituem as boas práticas. Também é importante ter conhecimento preciso do funcionamento e o uso correto e apropriado destes equipamentos de proteção. A maioria dos EPI's, se usados adequadamente promovem, também, uma contenção da dispersão de vários agentes químicos e infecciosos no ambiente, facilitando a preservação da limpeza da ETA e do laboratório.

EPIs: luvas, máscaras, aventais, visores, óculos de proteção e protetores auriculares.

#### 3.10.2.1 Luvas

Devem ser usadas em todos os procedimentos de coletas de amostras de água. No caso de luvas apropriadas para manipulação de objetos em temperaturas altas ou baixas, estas devem estar disponíveis nos locais onde tais procedimentos são realizados. Em casos de acidente, luvas grossas de borracha devem ser usadas nos procedimentos de limpeza e na retirada de fragmentos cortantes do chão ou de equipamentos, com auxílio de pá e escova. A luva deve ser impermeável ao produto químico. Produtos que contêm solventes orgânicos, como por exemplo os concentrados emulsionáveis, devem ser manipulados com luvas de BORRACHA NITRÍLICA ou NEOPRENE, pois estes materiais são impermeáveis aos solventes orgânicos. Luvas de LÁTEX ou de PVC podem ser usadas para produtos sólidos ou formulações que não contenham solventes orgânicos. De modo geral, o técnico deverá usar luvas de “borracha NITRILICA ou NEOPRENE”, bem como luvas de procedimento para atividades laboratoriais, adequando o tamanho ideal para suas mãos.

#### 3.10.2.2 Aventais

O técnico deve utilizar avental tipo jaleco para as atividades do laboratório da ETA. Esses aventais devem ser de tecido e ter mangas compridas, comprimentos pelo menos até a altura dos joelhos e sempre devem ser usados abotoados. Deve ser dada preferência às fibras naturais (100% algodão) uma vez que as fibras sintéticas se inflamam com facilidade. Quando retirado do laboratório para ser lavado, o avental deverá ser acondicionado em saco plástico. O técnico também deve utilizar avental para proteção contra solventes orgânicos, ácidos e álcalis. Esses aventais devem ser de materiais resistentes tipos PVC, bagum, tecido emborrachado aluminizado, nylon resinado ou não tecidos.

### 3.10.2.3 Respiradores

O técnico deve utilizar respiradores, também chamados de máscaras, sempre que for necessário evitar a inalação de vapores orgânicos, névoas ou finas partículas tóxicas através das vias respiratórias. Existem basicamente dois tipos de respiradores: sem manutenção (chamados de descartáveis), que possuem uma vida útil relativamente curta e recebem a sigla PFF (Peça Facial Filtrante), e os de baixa manutenção, que possuem filtros especiais para reposição, normalmente mais duráveis. Os respiradores devem estar sempre limpos, higienizados e os seus filtros jamais devem estar saturados. Antes do uso de qualquer tipo de respirador, o técnico deve estar barbeado, além de realizar um teste de ajuste de vedação, para evitar falha na selagem. É importante conscientizar o técnico que, se utilizados de forma inadequada, os respiradores tornam-se desconfortáveis e podem transformar-se numa verdadeira fonte de contaminação. O armazenamento deve ser em local seco e limpo, de preferência dentro de um saco plástico. Para proteger o técnico, o respirador deve estar em perfeitas condições de funcionamento, isto é, seus componentes (válvulas, tirantes, peça facial, filtros) devem estar em bom estado e limpo. A limpeza deve ser feita, após desmontagem parcial do respirador, por lavagem com água morna, sabão neutro e com auxílio de uma escova de cerdas não metálicas. Enxaguar com água limpa e higienizar, deixar secar na sombra. O técnico nunca deve usar álcool ou solventes para retirar manchas, pois extraem os plastificantes que contribuem para a maciez da peça facial.

O técnico deve saber que a vida útil do filtro do respirador depende de diversos fatores, entre outros a qualidade e a quantidade do carvão ativo ou do reagente contido no filtro, a massa de carvão do filtro e o nível do esforço físico desenvolvido pelo técnico. A seleção dos filtros depende dos contaminantes presentes no ar, que podem ser classificados em Partículas, Gases e/ou Vapores e a mistura deles.

Os gases e/ou vapores são: vapores orgânicos, gases ácidos, gases alcalinos e especiais. Os vapores orgânicos contêm nas suas moléculas, no mínimo, átomos de carbono e hidrogênio. Ex. álcool etílico ( $C_2H_5OH$ ), éter etílico ( $C_2H_5OC_2H_5$ ), acetato de etila ( $H_3COOC_2H_5$ ), benzeno ( $C_6H_6$ ), tricloroetileno ( $ClHC=CCl_2$ ) e outros.

O gás ou vapor ácido é formado por substâncias que têm caráter ácido, isto é, ao se dissolverem na água formam os ácidos, fazendo com que o seu pH fique menor que 7. São exemplos: cloro, ácido nítrico, óxidos nitrosos etc.

Os gases ou vapores alcalinos são aqueles que têm caráter alcalino, isto é, ao se dissolverem na água fazem com que seu pH fique maior que 7. Ex. amônia, aminas.

A seleção do respirador e dos filtros tem como base o contaminante, o limite de exposição e a concentração do contaminante. Para tanto, é necessário conhecer o contaminante e o filtro que servirá como barreira primária para proteger o operador e/ou técnico de laboratório. No Brasil, a cor do filtro não é padronizada. Entretanto, no mercado estão padronizadas cores seguindo as normas de mercado da Europa e América.

**Europa:**

- Vapores orgânicos – marrom;
- Cloro, ácido sulfídrico ou cianídrico – cinza;
- Anidrido sulfuroso – amarelo;
- Amônia – verde.

**América:**

- Vapores orgânicos – preto;
- Gases ácidos – branco;
- Vapor orgânico e gás ácido – amarelo;
- Amônia – verde.

#### 3.10.2.4 Visores ou óculos

O técnico deve proteger os olhos e o rosto contra respingos durante o manuseio e a aplicação de produtos químicos. Para tanto, deve usar viseira com ótima transparência, de maneira a não distorcer as imagens. Deve ser revestida com viés para evitar corte. O suporte deve permitir que a viseira não fique em contato com o rosto do técnico e embace. A viseira deve proporcionar conforto ao técnico e permitir o uso simultâneo do respirador, quando for necessário. Quando não houver a presença ou emissão de vapores ou partículas no ar, o uso da viseira com o boné árabe pode dispensar o uso do respirador, aumentando o conforto do técnico. Existem algumas recomendações de uso de óculos de segurança para proteção dos olhos. A substituição dos óculos pela viseira protege não somente os olhos do aplicador, mas também o rosto.

#### 3.10.2.5 Botas

O técnico deve utilizar botas impermeáveis, preferencialmente de cano alto e resistente aos solventes orgânicos, por exemplo, PVC. A principal função é proteger os pés.

#### 3.10.2.6 Protetores Auriculares

Sempre que necessário, o técnico deve utilizar os protetores auriculares, principalmente em ambientes próximo a ruídos, que tenham índices insalubres.

Por iniciativa da Organização das Nações Unidas – ONU, foi criado e adotado um sistema universal da identificação de riscos, facilmente compreendido tanto por profissionais de emergência, quanto pelo público em geral. Os símbolos são aplicados em embalagens, locais de processamento ou estocagem e veículos de transporte.

## Quadro 10 – Símbolos.

| RÓTULOS DE RISCO   |  Apesar da abrangência do sistema da ONU, símbolos especiais têm sido criados para atender a algumas necessidades, como a carinha triste, para afastar as crianças de frascos com produtos tóxicos.  |
|--|---|
|  | <p>Estes símbolos universais não esgotam as possibilidades. Outros meios de sinalização diariamente são usados por diversos serviços para indicar algum tipo de risco. Os painéis de madeira, pintados com listras diagonais em vermelho e branco, ou em amarelo e preto, são comuns em construções ou em obras nas vias públicas. A própria Defesa Civil Municipal tem seus símbolos de perigo instalados em caráter emergenciais para preservar a vida e a integridade das pessoas. São os cones, as fitas e os cartazes de interdição.</p>  |

### 3.10.2.7 Produtos perigosos

Produtos perigosos são os de origem química, biológica ou radiológica que apresentam um risco potencial à vida, à saúde e ao meio ambiente, em caso de vazamento. O grande avanço tecnológico, a necessidade de coadjuvantes no tratamento da água (coagulação) e os insumos químicos para o laboratório têm aumentado a quantidade e a variedade de produtos químicos em uso o que, por sua vez, aumenta a possibilidade e a gravidade dos acidentes. Os acidentes ocorrem durante o fabrico e o processamento, o transporte, a estocagem e o descarte. Tais incidentes podem acontecer, basicamente, de duas maneiras: por derramamento acidental e/ou por depósito clandestino.

O derramamento acidental geralmente ocorre em decorrência de um acidente ou incêndio em instalações ou veículos, falha em processo ou equipamento industrial e ação deliberada. A consequência de um derramamento é a potencial contaminação do ambiente, ar, solo e águas, como consequência aos seres vivos, plantas, animais e pessoas. Esta contaminação ambiental ocorre também quando produtos perigosos sem utilidade são abandonados ou despejados sem quaisquer precauções e/ou quando não se tem boas práticas de contenção, no caso específico do tratamento da água, resíduos gerados após a coagulação e lavagem de filtros. Não obstante, práticas de armazenagem de produtos químicos indevidas.

É muito difícil, senão impossível, mesmo para um técnico, identificar, num relance, se um determinado líquido, pó, fumaça ou sólido é um dos chamados produtos perigosos.

A imprudência de algumas pessoas, tocando, inalando ou até mesmo ingerindo um destes produtos, acarreta o aparecimento dos sinais e sintomas de queimaduras ou intoxicações. Para sanar estas dúvidas e aumentar a segurança dos seres vivos e do ambiente, a Organização das Nações Unidas – ONU criou um sistema de identificação para os produtos perigosos. Cada produto recebeu um número de quatro algarismos, sendo agrupados em nove classes, conforme a similaridade.

Quadro 11 – Identificação dos produtos perigosos é feita pela aplicação de um rótulo (pictórico) e um painel (numérico) em portas de salas ou depósitos, áreas de processamento, tanques, tambores, garrafas e veículos transportadores para indicar precisamente qual é o produto.

|  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>Explosivos;</b></li> <li>2) <b>Gases Comprimidos;</b></li> <li>3) <b>Líquidos Inflamáveis;</b></li> <li>4) <b>Sólidos Inflamáveis;</b></li> <li>5) <b>Substâncias Oxidantes;</b></li> <li>6) <b>Substâncias Tóxicas e Infectantes;</b></li> <li>7) <b>Substâncias Radioativas;</b></li> <li>8) <b>Corrosivos;</b></li> <li>9) <b>Diversos.</b></li> </ol> |   |
| <p>Um produto como sódio é identificado por um rótulo referente à classe:</p>  | <p>E um painel com o número que identifica o produto:</p> |

É importante identificar os produtos perigosos, bem como as principais medidas imediatas em caso de acidentes, entre outras:

- Afaste-se do local, andando contra o vento;
- Alerta outras pessoas presentes para fazer o mesmo;
- Não coma, não beba, não fume;
- Feche janelas e aberturas de ventilação caso esteja em veículo todo metálico;
- Em casa, se for necessário, feche portas e janelas e vede as frestas com fita adesiva ou toalhas úmidas, desligue condicionadores de ar, feche tantas portas internas quanto possível;
- Na presença de vapores tóxicos no ambiente, respire em sorvos curtos através de um pano ou toalha;

- Evite contato físico com qualquer líquido derramado, vapor ou poeira, mantenha-se completamente vestido, com mangas compridas, calças compridas, sapatos e meias (embora a roupa comum ofereça uma proteção mínima);
- Caso seja contaminado, procure socorro médico imediatamente; considere que suas roupas estão também contaminadas;
- Para fazer uma descontaminação inicial, retire todas as roupas e ponha-as diretamente em um saco plástico que será fechado com um nó apertado. Peça instruções às autoridades quanto ao que fazer com este material;
- Caso o produto envolvido não reagir com a água, deve-se tomar banho de chuveiro, impedindo que as primeiras águas que escorram do alto da cabeça atinjam os olhos, as mucosas do nariz, entrem na boca e nos ouvidos.

### 3.10.2.8 Alguns exemplos de produtos utilizados no tratamento da água para consumo humano

|   |  |
|---|--|
|  | <p><b>Fórmula química:</b> NaClO.</p> <p><b>Sinônimos:</b> hipoclorito de sódio (solução à base de cloro).</p> <p><b>Classificação:</b> nº. ONU: 1791 – Classe: 8 –Número de Risco: 8.0.</p> <p><b>Aspecto:</b> líquido amarelo claro pálido ou esverdeado com odor característico ao cloro, irritante.</p> <p><b>Indicações de uso:</b> conhecido como <i>água de lavadeira</i>, possui alto poder bactericida, por isso é utilizado extensivamente no tratamento de água potável, tratamentos de efluentes industriais, piscinas, desinfecção de ambientes. Possui aplicações no branqueamento da celulose e têxteis, tinturarias, produtos de limpeza, lavagem de frutas e legumes, como intermediário na produção de diversos produtos químicos e onde possam ser aproveitadas suas propriedades oxidantes, branqueantes e desinfetantes.</p> <p><b>Estocagem:</b> ambiente protegido de raios solares e “arejado”. Utilizar recipientes plásticos de espessura grossa, cor escura e/ou cimento amianto.</p> <p><b>Validade:</b> 60 dias.</p> <p><b>Embalagem:</b> bombonas plásticas de 50 kg e 250 kg.</p> |
|  | <p><b>Fórmula química:</b> Cl<sub>2</sub>.</p> <p><b>Sinônimos:</b> cloro líquido, cloro gás liquefeito, gás cloro.</p> <p><b>Classificação:</b> nº. de ONU: 1017 – Classe: 2 – Número de risco: 2.</p> <p><b>Aspecto:</b> líquido de cor âmbar, gás de cor amarelo esverdeado, odor pungente e irritante. Enquadra-se como CORROSIVO.</p> <p><b>Indicações de uso:</b> devido a seu alto poder bactericida, é largamente empregado no tratamento de água potável e de piscinas. É extensivamente utilizado na fabricação de PVC, solventes clorados, agroquímicos e no branqueamento da celulose. Também é utilizado como intermediário nos processos de obtenção de numerosos produtos químicos, tais como: anticoagulantes, poliuretanos, lubrificantes, amaciantes de tecidos, fluidos para freios, fibras de poliéster, insumos farmacêuticos etc.</p> <p><b>Estocagem:</b> cilindros e tanques em aço carbono de 900 kg, 50 kg e 68 kg</p> <p><b>Validade:</b> Uso indeterminado se seguidas boas condições de armazenamento.</p>  |

|   |  |
|---|--|
|  | <p><b>Fórmula química:</b> <math>Al_2(SO_4)_3</math> ou <math>Al_2S_3O_{12}</math>.</p>  |
|   | <p><b>Sinônimos:</b> sulfato de alumínio, trissulfato de alumínio e alumem.</p>  |
|   | <p><b>Classificação:</b> nº. ONU: 1759 – Classe: 8 – Classe de risco: 8,5.</p>   |
|   | <p><b>Aspecto:</b> sólido branco perolado e de granulometria fina, solúvel em água. Reage violentamente com ácidos, com ecotermia.</p>   |
|   | <p><b>Indicações de uso:</b> tratamento de efluentes; controlador de pH na indústria de papel; purificação de água; tratamento de água e esgotos como agente precipitante; antichama e prova de água em tecidos; mordente de corantes; fabricante de verniz; clarificação de óleos, gorduras, velas de estearina; pesticida para agricultura; fabricação de sais de alumínio e aluminos; agente extintor de espuma, como agente acidulante seguido de bicarbonato.</p> |
|   | <p><b>Estocagem:</b> local seco e na sombra. Sacos de 25 kg.</p>   |
|   | <p><b>Validade:</b> uso teórico – indeterminado e uso prático – melhor consumir até um ano.</p>  |

Quadro 12 – Incompatibilidade de substâncias químicas.

| Substância                                       | Incompatível com:   |
|--|---|
| Acetileno  | Cloro, bromo, flúor, cobre, prata, mercúrio.  |
| Ácido Acético                                    | Ácido crômico, ácido perclórico, peróxidos, permanganatos, ácido nítrico, etilenoglicol.  |
| Acetona  | Misturas de ácidos sulfúrico e nítrico concentrados, peróxido de hidrogênio.  |
| Ácido Crômico                                    | Ácido acético, naftaleno, cânfora, glicerol, turpentine, álcool, outros líquidos inflamáveis.                                       |
| Ácido Hidrociânico                               | Ácido nítrico, álcalis.   |
| Ácido Fluorídrico anidro, Fluoreto de Hidrogênio | Amônia (aquosa ou anidra)   |
| Ácido Nítrico concentrado                        | Ácido cianídrico, anilinas, óxidos de cromo VI, sulfeto de hidrogênio, líquidos e gases combustíveis, ácido acético, ácido crômico. |
| Ácido Oxálico                                    | Prata e mercúrio.   |
| Ácido Perclórico                                 | Anidrido acético, álcoois, bismuto e suas ligas, papel, madeira.  |
| Ácido Sulfúrico                                  | Cloratos, percloratos, permanganatos e água.  |
| Alquil Alumínio                                  | Água.   |
| Amônia Anidra                                    | Mercúrio, cloro, hipoclorito de cálcio, iodo, bromo, ácido fluorídrico.   |
| Anidrido Acético                                 | Compostos contendo hidroxil tais como etilenoglicol, ácido perclórico.  |
| Anilina  | Ácido nítrico, peróxido de hidrogênio.  |
| Azida Sódica                                     | Chumbo, cobre e outros metais.  |
| Bromo e Cloro                                    | Benzeno, hidróxido de amônio, benzina de petróleo, hidrogênio, acetileno, etano, propano, butadienos, pós-metálicos.                |
| Carvão ativo                                     | Dicromatos, permanganatos, ácido nítrico, ácido sulfúrico, hipoclorito de sódio.  |

| Substância                                 | Incompatível com:   |
|--|---|
| Cloro                                      | Amônia, acetileno, butadieno, butano, outros gases de petróleo, hidrogênio, carbeto de sódio, turpentine, benzeno, metais finamente divididos, benzinas e outras frações do petróleo. |
| Cianetos                                   | Ácidos e álcalis.   |
| Cloratos, Percloratos, Clorato de Potássio | Sais de amônio, ácidos, metais em pó, matérias orgânicas particuladas, combustíveis.  |
| Cobre Metálico                             | Acetileno, peróxido de hidrogênio, azidas.  |
| Dióxido de Cloro                           | Amônia, metano, fósforo, sulfeto de hidrogênio.   |
| Flúor                                      | Isolado de tudo.  |
| Fósforo                                    | Enxofre, compostos oxigenados, cloratos, percloratos, nitratos, permanganatos.  |
| Halogênios                                 | Amoníaco, acetileno e hidrocarbonetos.  |
| Hidrazida                                  | Peróxido de hidrogênio, ácido nítrico e outros oxidantes.   |
| Hidrocarbonetos (butano, propano, tolueno) | Ácido crômico, flúor, cloro, bromo, peróxidos.  |
| Iodo                                       | Acetileno, hidróxido de amônio, hidrogênio.   |
| Líquidos Inflamáveis                       | Ácido nítrico, nitrato de amônio, óxido de cromo VI, peróxidos, flúor, cloro, bromo, hidrogênio.  |
| Mercúrio                                   | Acetileno, ácido fulmínico, amônia.   |
| Metais Alcalinos                           | Dióxido de carbono, tetracloreto de carbono, outros hidrocarbonetos clorados.   |
| Nitrato de Amônio                          | Ácidos, pós-metálicos, líquidos inflamáveis, cloretos, enxofre, compostos orgânicos em pó.  |
| Nitrato de Sódio                           | Nitrato de amônio e outros sais de amônio.  |
| Óxido de Cálcio                            | Água.   |
| Óxido de Cromo VI                          | Ácido acético, glicerina, benzina de petróleo, líquidos inflamáveis, naftaleno.   |
| Oxigênio                                   | Óleos, graxas, hidrogênio, líquidos, sólidos e gases inflamáveis.   |
| Perclorato de Potássio                     | Ácidos.   |
| Permanganato de Potássio                   | Glicerina, etilenoglicol, ácido sulfúrico.  |
| Peróxido de Hidrogênio                     | Cobre, cromo, ferro, álcoois, acetonas, substâncias combustíveis.   |
| Peróxido de Sódio                          | Ácido acético, anidrido acético, benzaldeído, etanol, metanol, etilenoglicol, acetatos de metila e etila, furfural.   |
| Prata e Sais de Prata                      | Acetileno, ácido tartárico, ácido oxálico, compostos de amônio.   |
| Sódio                                      | Dióxido de carbono, tetracloreto de carbono, outros hidrocarbonetos clorados.   |
| Sulfeto de Hidrogênio                      | Ácido nítrico fumegante, gases oxidantes.   |

Fonte: Manual de Biossegurança – Mario Hiroyuki Hirata; Jorge Mancini Filho.



## 4 Análises de amostras de água

### 4.1 Coletas de amostras de água

A coleta de amostras de água constitui-se um dos elementos de fundamental importância no desenvolvimento de um Programa de Controle da Qualidade da Água. Embora considerada uma atividade simples, alguns critérios técnicos, como a exigência de pessoal treinado, devem ser rigorosamente observados no processo de amostragem, a fim de que as amostras sejam representativas do nível de qualidade que se pretende determinar.

É importante dispor de informações sobre as áreas a serem avaliadas para possibilitar o planejamento das atividades, a preparação do material a ser utilizado na amostragem, bem como a definição da infraestrutura a ser utilizada no deslocamento aos locais de coleta de amostras. Um programa de amostragem é definido após a realização de inspeções em todo o sistema, as quais viabilizam a determinação dos pontos estratégicos de coleta, em conformidade com as determinações e recomendações da Portaria MS nº. 2914/2011.

#### 4.1.1 Requisitos básicos para a coleta de amostras

- a) Planejamento da amostragem com a determinação prévia dos pontos de coleta e respectivo mapeamento em mapas cartográficos;
- b) As amostras coletadas para análises bacteriológicas devem ser feitas antes de qualquer coleta para outro tipo de análise, considerando o risco de contaminação do local de amostragem, devendo ser acondicionadas e transportadas em frascos devidamente esterilizados e identificados;
- c) Não devem ser coletadas amostras compostas para análises bacteriológicas, devido às variações no fluxo e composição de efluentes lançados no corpo d'água ou contaminação do mesmo por substância tóxica ou nutritiva;
- d) As amostras destinadas às análises físico-químicas devem ser acondicionadas em frascos de polietileno, devidamente limpos, secos e identificadas a fim de se evitar erros;
- e) As coletas de amostras devem ser registradas em fichas próprias com as seguintes informações: local do ponto de coleta, tipo de manancial, ocorrência de fenômenos que possam interferir na qualidade da água, data e horário da coleta, volume coletado, determinações efetuadas no momento da coleta (temperatura, condutividade, pH, e cloro residual livre) e nome do responsável pela amostragem;
- f) A amostragem deve ser realizada diretamente do sistema de distribuição e não de caixas, reservatórios, cisternas etc.;
- g) As amostras coletadas para análise bacteriológica devem ser transportadas em caixas térmicas, em temperatura em torno de 10°C e o período de transporte deve ser de 6 (seis) horas, sendo que o tempo para a realização das análises não deve exceder as 24 (vinte e quatro) horas;

- h) A coleta de água bruta deve ser realizada em ponto estratégica do manancial de captação ou, quando não é possível, na chegada da água bruta na Estação de Tratamento de Água – ETA;
- i) A coleta de água tratada deve ser realizada diretamente da torneira, fazendo-se a desinfecção com hipoclorito de sódio a 10%;
- j) Sempre desprezar os 15 (quinze) primeiros segundos de vazão da água da torneira ou bomba escolhida como ponto de coleta.

#### 4.1.2 Técnicas de coletas de amostras

As técnicas de amostragem variam de acordo com o tipo do corpo d'água a ser analisado e a finalidade das análises.

| Coletas para análises físico-químicas   | Coleta para análises bacteriológicas   |
|---|--|
| <p>As coletas para a realização de análises físico-químicas devem ser realizadas em frascos de polietileno, limpos e secos, com capacidade mínima de um litro, devidamente vedados e identificados, tendo-se o cuidado de enxaguá-lo duas a três vezes com a água a ser coletada e completar o volume da amostra.</p> | <p>A amostragem deve ser feita utilizando-se frascos de vidro neutro ou plástico autolavável, não tóxico, boca larga e tampa a prova de vazamento. O período entre a coleta da amostra e o início das análises bacteriológicas não devem ultrapassar o período de 24 horas e a sua conservação é feita em refrigeração a uma temperatura de 4 a 10<sup>o</sup> C. Antes da esterilização do frasco de coleta para amostras tratadas, recomenda-se adicionar ao mesmo 0,1 ml de uma solução de tiosulfato de sódio a 1,8% (agente neutralizador de cloro residual).</p> |

##### 4.1.2.1 Coleta em águas superficiais

Nesse tipo de coleta, procura-se selecionar pontos que sejam representativos do corpo d'água, evitando-se a coleta de amostras próximo às margens, em águas paradas ou da superfície. Deve-se colher, de preferência, mais de uma amostra em pontos diversos.

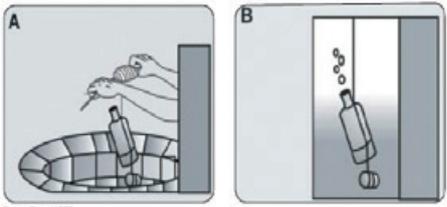


Figura 17 – Coleta de amostra de água em manancial superficial.

Fonte: Urcqa/MG.

##### Coleta manual

- Observando os procedimentos de assepsia, retirar a tampa do frasco com o papel protetor;
- Segurar o frasco pela base, mergulhando-o rapidamente com a boca para baixo, de forma a atingir uma profundidade de 15 a 30 cm;
- Direcionar o frasco em sentido contrário à corrente ou fluxo da água;
- Inclinar o frasco lentamente para cima, a fim de permitir a saída do ar e o enchimento do mesmo;
- Ao retirar o frasco do corpo de água, desprezar uma pequena porção da amostra deixando um espaço vazio para permitir a sua perfeita homogeneização antes do início da análise;
- Fechar o frasco imediatamente, fixando o papel protetor ao redor do gargalo.

|  |   |
|--|---|
| <p>A) Descer lentamente o cordão sem permitir que o frasco toque nos lados do poço.</p> <p>B) Submergir o frasco, permitindo que se obtenha amostra mais profunda.</p>  <p>Fonte: Opas, 1987.</p> | <h3>Coleta com auxílio de equipamentos</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Observando os procedimentos de assepsia, colocar o frasco na estrutura de metal, removendo sua tampa com o papel protetor;</li> <li>• Descer o conjunto no corpo de água a uma profundidade de 15 a 30 cm por meio de um cordel (constituído de material resistente impermeável à água) preso à estrutura metálica;</li> <li>• Movimentar o cordel, voltando a boca do frasco contra a correnteza;</li> <li>• Após enchimento do frasco, retirá-lo do corpo de água, puxando o cordel rapidamente;</li> <li>• Retirar o frasco da estrutura metálica, desprezando uma pequena porção da amostra. Fechar o frasco rapidamente, fixando o papel protetor ao redor do gargalo. O frasco e a ficha de coleta devem estar previamente identificados.</li> </ul> |
|--|---|

*Observação: em casos específicos (pesquisa de matéria orgânica em profundidade), utilizam-se coletas de amostras em profundidade, com o auxílio de alguns equipamentos e acessórios especiais.*

#### 4.1.2.2 Coleta em poços freáticos

##### Poços com bombas:

- Bombear a água durante aproximadamente cinco minutos;
- Fazer a desinfecção da saída da bomba com solução de hipoclorito de sódio a 10%, deixando escorrer a água por mais ou menos cinco minutos;
- Proceder a coleta da amostra, segurando o frasco verticalmente próximo da base e efetuando o seu enchimento;
- Deixar um espaço vazio para possibilitar a homogeneização da amostra;
- Fechar o frasco imediatamente após a coleta. O frasco e a ficha de coleta devem estar previamente identificados.

*Observação: em poços sem bomba, a amostra deve ser coletada diretamente do poço, com frasco esterilizado, evitando-se retirar amostras da camada superficial e junto às paredes.*

##### Coleta em sistemas de abastecimento de água para consumo humano

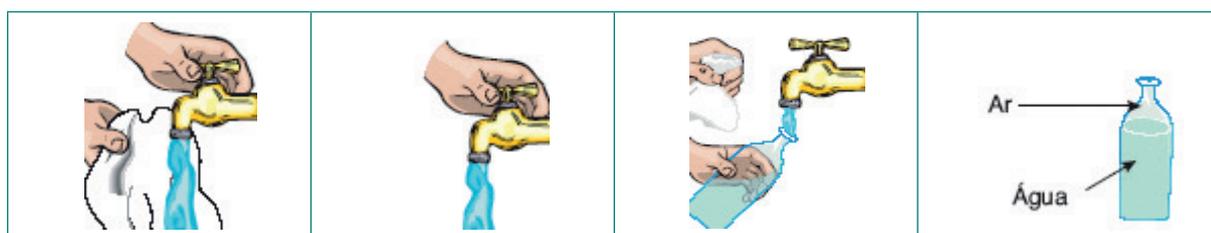


Figura 19 – Coleta de amostra de água tratada na torneira.

Fonte: Manual de Saneamento – Funasa, 2007.

- a) Limpar a torneira;
- b) Deixar escorrer por dois a três minutos;
- c) Coletar a amostra;
- d) Deixar pequeno espaço vazio;
- e) Colocar a tampa, homogeneizar e identificar.

*Observação: recomenda-se não efetuar a desinfecção por flambagem pois, além de causar danos às torneiras e válvulas, há evidências de que este procedimento não tem efeito letal sobre as bactérias.*

#### 4.1.2.3 Critérios básicos para utilização de vidrarias e equipamentos no laboratório

Alguns critérios básicos devem ser observados em relação aos cuidados necessários para a utilização de equipamentos e vidrarias no Laboratório de Controle da Qualidade da Água, cujos procedimentos, de modo geral, requerem alto nível de precisão:

- a) As instalações físicas devem ser adequadas às atividades e ao volume de trabalho executado, mantidas limpas e organizadas, com a distribuição dos equipamentos em lugares adequados;
- b) Os equipamentos, vidrarias e utensílios devem ser distribuídos de forma ordenada em armários, gavetas e prateleiras. As substâncias químicas devem ser acondicionadas em frascos adequados, com rotulagem visível e armazenadas em locais apropriados, protegidos da umidade, luz e temperaturas elevadas;
- c) Os equipamentos devem estar livres de poeiras, umidade e gases nocivos;
- d) Devem ser observados cuidados em relação a utilização de equipamentos especiais tais como balança analítica e de alta complexidade, como espectrofotômetro de absorção atômica e cromatógrafo a gás;
- e) Para a obtenção de resultados precisos, são necessários cuidados quanto a lavagem, secagem e esterilização das vidrarias;
- f) A fim de se evitar interferências nas determinações analíticas, deve-se fazer uso de detergentes de boa qualidade na lavagem de vidraria volumétrica e, de modo geral, para a secagem das vidrarias, devem ser utilizadas estantes ou escorredores de madeira;
- g) Pipetas e buretas devem ser lavadas com água potável após utilização e, a seguir, com água destilada. Este tipo de vidraria deve estar sempre limpo e seco para uso, a fim de se evitar erros nas determinações;
- h) Os recipientes e vidrarias devem ser devidamente marcados para a identificação das amostras neles contidas.

## 4.2 Análises físico-químicas

### 4.2.1 Determinação do pH

O pH representa a concentração de íons hidrogênio em uma solução e corresponde ao logaritmo do inverso da concentração de íons H<sup>+</sup> na solução. É fator primordial nos processos de coagulação, desinfecção e abrandamento das águas, no controle da corrosão e no tratamento dos esgotos e despejos industriais. A desinfecção das águas se processa melhor em pH ácido do que em pH alcalino. Geralmente em águas alcalinas o consumo de cloro é maior.

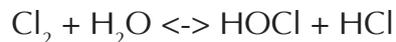
#### **Determinação por método eletrométrico:**

Utiliza-se o medidor de pH (potenciômetro) com eletrodo específico e soluções tampões (pH 4.0; pH 7.0 e pH 10,0).

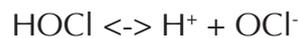
- Checar o aparelho com solução tampão de pH conhecido;
- Colocar em um *becker* a amostra e mergulhar os eletrodos. Realizar a leitura.

### 4.2.2 Determinação do cloro residual

Quando o cloro se dissolve na água, são formados ácido hipocloroso e ácido clorídrico com a reação:



Como o ácido hipocloroso formado é um ácido fraco, sua tendência à dissociação acarreta a formação de íon hipoclorito:



Devido a sua polaridade, o ácido hipocloroso tem facilidade de penetrar na membrana celular, provocando a inativação das enzimas por reação de oxidação com o grupo sulfidrila tendo, por isso, ação bacteriana bem mais forte que o íon hipoclorito.

Essa reação é reversível, sendo o grau de dissociação dependente do pH e da temperatura.

Quadro 9 – Reação  $\text{hoCl}/\text{ocl}^-$  para diferentes valores de pH e temperatura de 20° C.

|          |  |
|----------|--|
| pH = 1   | Cl <sub>2</sub> : 15%<br>HOCl: 85%           |
| pH = 2   | Cl <sub>2</sub> : muito pouco<br>HOCl: muito |
| pH = 5   | Praticamente apenas HOCl                     |
| pH = 6,4 | HOCl: 92,5%<br>OCl <sup>-</sup> : 7,5%       |
| pH = 7,2 | HOCl: 6%<br>OCl <sup>-</sup> : 33%           |

|          |   |
|----------|---|
| pH = 8,4 | HOCl: 14,5%<br>OCl <sup>-</sup> : 85,5% |
| pH = 9   | HOCl: 4,2<br>OCl <sup>-</sup> : 95,8%   |

A quantidade de cloro na água como  $Cl_2$  (cloro elementar), HOCl (ácido hipocloroso) e  $OCl^-$  (íon hipoclorito) é denominada de cloro residual livre e é de extrema importância na inibição do crescimento bacteriano.

O cloro presente na água, ao combinar-se com compostos nitrogenados, forma o cloro combinado. A soma das concentrações do cloro livre e do cloro combinado representa o valor do cloro total.

A determinação da concentração (mg/L) de cloro residual livre pode ser efetuada por meio de visualização colorimétrica (disco comparador) comumente usado, ou por espectrofotometria. Neste capítulo será descrito o método por visualização.

### Princípio do método:

Oxidação da N, N - dietil - p - fenilendiamina (DPD) em presença de cloro ( $Cl_2$ ), ácido hipocloroso (HClO) e íons hipoclorito ( $OCl^-$ ), resultando num produto de reação vermelho violeta.

### Aparelhagem:

- Comparador Colorimétrico;
- Cubetas de vidro ou de acrílico.

### Reagentes:

- Solução ou liofilizado de DPD.

### Técnica:

- Encher uma cubeta com a amostra de água até a marca de 5,0 ml;
- Colocá-la na abertura do lado esquerdo do aparelho;
- Encher outra cubeta com a amostra a ser testada até a marca de 5,0 ml;
- Adicionar a solução ou liofilizado de DPD na segunda amostra e homogeneizar;
- Colocar a cubeta com a amostra e DPD no compartimento localizado à direita do aparelho;
- Após três minutos, e não mais que seis minutos, proceder a leitura.

Observação: ao fazer a leitura, posicionar o comparador contra uma fonte de luz, rotacionando o disco do aparelho até que se obtenha a mesma tonalidade nos dois tubos.

Resultado: o resultado é expresso em mg/L de cloro residual livre.

### 4.2.3 Determinação da cor

A presença de cor na água pode ser resultado de resíduos de origem mineral ou vegetal, causada por substâncias como ferro ou manganês, matérias húmicas, taninos, algas, plantas aquáticas e protozoários, ou por resíduos orgânicos ou inorgânicos de indústria, tais como produtos de mineração, polpa, papel etc. Uma fonte importante de cor na água potável procede da dissolução do material das tubulações de ferro que conduzem a água. Em determinadas circunstâncias, as tubulações são obstruídas por ação das chamadas “ferro-bactérias”. A importância da sua determinação na água potável é de ordem estética.

#### 4.2.3.1 Cor verdadeira

É o resultado da presença de substâncias minerais e orgânicas dissolvidas. A cor verdadeira é obtida no laboratório fazendo-se uma centrifugação ou filtração da amostra.

#### 4.2.3.2 Cor aparente

É causada por matéria em suspensão.

#### 4.2.3.3 Unidade de cor

É representada por 1 mg de platina em 1 litro de água, na forma de cloroplatina de cobalto (1 ppm de Pt), denominada unidade de “HAZEN”.

A determinação da cor é realizada utilizando-se os seguintes métodos:

#### **Determinação por disco comparador calorimétrico**

Técnica:

- a) Comparar a amostra através de discos de vidro que são calibrados com as cores da escala Platino-Cobalto;
- b) Encher a cubeta do aparelho com a amostra;
- c) Realizar a leitura.

#### **Espectrofotometria**

Técnica:

- a) Utilizar o equipamento espectrofotômetro, previamente calibrado com uma solução padrão de platino cobalto;
- b) Realizar leitura de uma amostra com cor verdadeira, utilizando comprimento de onda na faixa de 465 nm;
- c) Filtrar 200 ml da amostra para se obter a cor verdadeira e ajustar o pH para 7.6 com uma solução de HCl 1N ou NaOH 1N;
- d) Encher a cubeta do equipamento com 25ml da amostra filtrada;
- e) Zerar o equipamento e realizar a leitura.

#### 4.2.4 Determinação da turbidez

A turbidez da água é atribuída principalmente às partículas sólidas em suspensão que diminuem a sua transparência e reduzem a transmissão da luz no meio. Pode ser provocada por plâncton, algas, detritos orgânicos e outras substâncias, como zinco, ferro, compostos de manganês e areia, resultantes do processo natural de erosão ou adição de despejos domésticos ou industriais.

A unidade que representa a turbidez é denominada **UT** (Unidade de Turbidez). Deve-se ressaltar que a turbidez, ao representar um requisito estético de qualidade na rede de distribuição, pode ter seu valor com variação de até cinco unidades em fim de rede. Entretanto, estudos mais recentes têm reportado a presença da turbidez em mananciais que recebem despejos de esgotos domésticos com a presença de organismos patogênicos. Neste caso, a turbidez, até então vista exclusivamente sob o enfoque estético, torna-se um requisito sanitário, portanto a Portaria MS nº. 2914/2011, que trata a turbidez como parâmetro sanitário e determina valores diferentes para situações diferentes.

A turbidez pode reduzir a eficiência da cloração pela proteção física conferida aos micro-organismos ao contato direto com os desinfetantes. Além disso, as partículas de turbidez transportam matéria orgânica absorvida que podem provocar sabor e odor. A turbidez é mais frequente em águas correntes devido ao carreamento de areia e argila pelas mesmas.

A determinação da turbidez é realizada por meio do método nefelométrico. O princípio do método é baseado na comparação da luz que atravessa uma amostra sob condições definidas, com a intensidade da luz atravessada por um padrão de referência sob as mesmas condições. O padrão é a formazina. Existem várias marcas de equipamentos para determinação de turbidez; o técnico deve desenvolver o Procedimento Operacional Adequado.

#### 4.2.5 Alcalinidade total

A alcalinidade é causada por sais alcalinos, principalmente de sódio e cálcio, e mede a capacidade da água em neutralizar os ácidos. Os diversos tipos de alcalinidade dependem do valor do pH, composição mineral, temperatura e força iônica. O sistema químico predominante na água natural é o equilíbrio dos íons de bicarbonato, carbonato e ácido carbônico, tendo usualmente maior prevalência o íon de pH e vice-versa. Isoladamente, a alcalinidade pode não ter maior importância como indicador da qualidade da água, mas é essencial no controle do processo de operação do tratamento da água. Não se deve permitir grandes variações que possam interferir com a operação do sistema. Baixos valores de alcalinidade podem dificultar a saturação da água pelo carbonato de cálcio –  $\text{CaCO}_3$ , o qual previne a corrosão nas partes metálicas do sistema de abastecimento. Numa água, a alcalinidade raramente excede a 400 ou 500 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . Na água de consumo humano, a alcalinidade, em concentrações moderadas, não possui nenhum significado sanitário. Contudo, em níveis elevados, pode ocasionar sabor desagradável.

##### 4.2.5.1 Determinação da alcalinidade total

**Método:** Titulométrico.

**Reagentes:**

- Ácido Sulfúrico 0,02 N;
- Solução de Tiosulfato de sódio 0,1 N.

**Indicadores:**

- Metilorange;
- Fenolftaleína.

**Aparelhagem:**

- Pipeta volumétrica de 100 ml;
- Frasco Erlenmeyer de 250 ml;
- Bureta.

**Técnica:**

- Medir 100 ml da amostra com uma pipeta volumétrica;
- Transferir para um erlenmeyer de 250 ml;
- Remover o cloro residual pela adição de 2 gotas de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (tiosulfato de sódio pentahidratado) a 0,1 N para amostras de água tratada;
- Fazer uma prova em branco, colocando em outro erlenmeyer 100 ml de água destilada;
- Adicionar 3 gotas de fenolftaleína em ambos erlenmeyer;
- Titular com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 0,02N, caso a amostra se torne rosa, até descoramento do indicador;
- Anotar o volume gasto do  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 0,02N com indicador fenolftaleína;
- Adicionar na amostra 3 gotas de metilorange e, à prova em branco, 1 gota de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 0,02N, que irá adquirir uma cor vermelho alaranjada, servindo como branco;
- Prosseguir a titulação com ácido, caso a amostra se torne amarela, até que a cor se iguale a do branco;
- Anotar o volume gasto.

**Observação:**

- *O ponto de equivalência que se estabelece para a titulação na determinação da alcalinidade total é em torno de pH 4,5;*
- *Também pode ser utilizado mistura de verde de bromocresol – vermelho de metila (indicador misto) para determinar alcalinidade total.*

**Fórmula geral:**

$$\text{Alcalinidade total em mg/L de CaCO}_3 = \frac{\text{volume gasto de H}_2\text{SO}_4 \text{ 0,02N} \times \text{fc} \times 1000}{\text{mL da amostra}}$$

O volume de  $H_2SO_4$  a 0,02N gasto na titulação, é a soma do volume gasto na viragem da fenolftaleína mais o volume gasto na viragem do metilorange e/ou a mistura dos indicadores.

#### Exemplo I:

Uma amostra tornou-se rosa com a adição da fenolftaleína, consumiu 2 ml na titulação ( $H_2SO_4$  0,02N com  $f_c = 1,0500$ ) e 5 ml quando da adição do indicador metilorange.

$$\text{Alcalinidade total em mg/L de } CaCO_3 = \frac{(2+5) \times 1,05 \times 1000}{100} = 73,50$$

#### Exemplo II:

Uma amostra continuou incolor após a adição da fenolftaleína e, na adição do metilorange, consumiu 5ml do  $H_2SO_4$  a 0,02N com  $f_c = 1,050$ .

$$\text{Alcalinidade total em mg/L de } CaCO_3 = \frac{(0+5) \times 1,05 \times 1000}{100} = 52,50$$

#### Preparo de reagentes e ou soluções:

- **$H_2SO_4$  a 0,1N:**

Em um balão volumétrico de 1000 ml, colocar 2,8ml de ácido sulfúrico concentrado e completar com água destilada.

- **$H_2SO_4$  a 0,02N:**

Em um balão volumétrico de 1000 ml, colocar 200 ml da solução  $H_2SO_4$  a 0,1N e completar com água destilada.

- **$Na_2CO_3$  a 0,1N:**

Secar aproximadamente 6,0 gramas de  $Na_2CO_3$  a 200°C. Diluir em 100 ml de água destilada. Essa solução tem validade de 1 (uma) semana.

- **$Na_2CO_3$  0,02N:**

Em um balão volumétrico de 100 ml colocar 20 ml da solução  $Na_2CO_3$  a 0,1N e completar com água destilada.

- **Solução de fenolftaleína:**

Pesar 0,5 gramas de fenolftaleína e dissolver em 1000 ml de álcool etílico.

- **Solução de Tiosulfato de Sódio a 0,1N:**

Dissolver 25 gramas de Tiosulfato de sódio em 1000 ml de água destilada.

- **Solução de Metil Orange:**

Dissolver 0,5 gramas de Metil Orange em água destilada quente e, em um balão volumétrico de 1000 ml, completar com água destilada.

- **Solução Vermelho de Metila:**

Dissolver 0,2 gramas de Vermelho de Metila em 60 ml de álcool absoluto e, em um balão volumétrico de 1000 ml, completar com água destilada.

- **Solução da mistura de verde de bromocresol – vermelho de metila (indicador misto):**

Dissolver 100 mg de verde de bromocresol e 20 mg de vermelho de metila em 100 mL de álcool etílico 95% (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) ou álcool isopropílico (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O). Estoque a solução de indicador em frasco âmbar de vidro borossilicato de 250mL.

- **Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a 0,02N:**

- Pesar de 6,5 a 7,5 g de carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> P.A.) anidro. Secar em estufa a 110°C e resfriar em dessecador. Após a secagem, pesar com exatidão 5,300 g do carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> P.A.) anidro;
- Transferir para um béquer de 400 mL e dissolver em água destilada;
- Transferir a solução para um balão volumétrico de 1000 mL, completando o volume até a marca e homogeneizar a solução obtida.

### **Padronização:**

- **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0,02N pela Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a 0,02N:**

- Adicionar 25 ml de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a 0,02N em um erlenmeyer de 125 ml, e algumas gotas de vermelho de metila;
- Titular com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0,02N até a viragem de amarelo para rosa;
- Fazer triplicata inserindo a média aritmética.

- **Cálculo do Fator de Correção:**

$$F_c \text{ da solução de H}_2\text{SO}_4 \text{ a 0,02N} = \frac{VT}{VP}$$

$$VT \rightarrow \text{Volume teórico de Na}_2\text{CO}_3 \text{ a 0,02N} = 25 \text{ mL}$$

$$VP \rightarrow \text{Volume prático} = \text{Volume de H}_2\text{SO}_4 \text{ 0,02N gasto na titulação}$$

- **Exemplo:**

Na padronização da solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0,02N, foram gastos 24,7ml da solução. Seu fator de correção será:

$$F_c = \frac{25}{24,7} = 1,0121$$

**Observação:** a literatura recomenda que o fator de correção deve estar no intervalo de 0,95 a 1,05.

Caso o resultado apresente valor fora do intervalo recomendado, deverá ser corrigida a solução, diluindo ou concentrando e, em seguida, deve ser realizada nova padronização

do ácido. Caso persista valores fora da faixa recomendada, rastrear as não conformidades, verificando as incertezas.

#### 4.2.6 Acidez

Pode-se classificar a acidez das águas em acidez carbônica, mineral e orgânica. O conceito de acidez pode ser interpretado como sendo a capacidade da água em resistir às mudanças de pH causada pelas bases. A acidez carbônica presente na água é devido a absorção superficial da atmosfera e pode também ser de origem biológica (metabolismo). A acidez mineral é proveniente de resíduos industriais e a acidez orgânica é, geralmente, proveniente de resíduos industriais que contém ácidos orgânicos. A acidez devida ao CO<sub>2</sub>, não apresenta inconveniente do ponto de vista sanitário. Tanto a acidez carbônica quanto a acidez mineral apresentam o inconveniente de provocar corrosão nas tubulações.

##### **Determinação da Acidez (gás carbônico livre):**

- **Método:** Titulométrico.
- **Aparelhagem:**
  - Bureta de 50 ml;
  - Frasco Erlenmeyer de 250 ml;
  - Pipeta volumétrica de 100 ml.
- **Reagentes:**
  - Solução de Hidróxido de sódio 0,02 N.
- **Indicador:**
  - Fenolftaleína.
- **Técnica:**
  - Colocar 100 ml da amostra tendo o cuidado de não agitar em frasco de Erlenmeyer de 250 ml;
  - Pingar 10 gotas da solução de fenolftaleína. Havendo coloração, significa que não existe CO<sub>2</sub>; caso contrário, prosseguir;
  - Titular, com uma solução de NaOH a 0,02N até surgir uma leve coloração rósea, devendo persistir por 30 segundos;
  - Anotar o volume gasto da solução tituladora.

##### **Fórmula geral:**

$$\text{Acidez em mg/L de CO}_2 = \frac{\text{volume gasto de NaOH 0,02N} \times \text{fc} \times 1000}{\text{mL da amostra}}$$

### Exemplo:

Durante uma titulação para determinação de acidez, foi anotado, na viragem do indicador, um gasto da solução titulante de 12 ml, cujo fator da solução é 1,031, sabendo que foi utilizado 100mL da amostra, calcular a acidez:

$$\text{Acidez em mg/L de CO}_2 = \frac{\text{volume gasto de NaOH 0,02N} \times \text{fc} \times 1000}{\text{mL da amostra}} = \frac{12 \times 1,031 \times 1000}{100} = 123,72$$

### Preparo de reagentes e/ou soluções:

- **Solução de hidróxido de sódio 0,02N:**

Pesar 0,91g de NaOH, completar com água destilada em balão volumétrico de 100ml. O NaOH é uma base higroscópica, que absorve umidade impossível de ser pesada com exatidão. Utilizar água destilada recentemente fervida e fria.

- **Solução de Metil Orange:**

Dissolver 0,5 gramas de Metil Orange em água destilada quente e em um balão volumétrico de 1000 ml completar com água destilada.

- **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0,1N:**

Em um balão volumétrico de 1000 ml, colocar 2,8ml de ácido sulfúrico concentrado e completar com água destilada.

- **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0,02N:**

Em um balão volumétrico de 1000 ml, colocar 200 ml da solução H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0,1N e completar com água destilada.

### Padronização da solução de NaOH 0,02N:

- Colocar 25ml do H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,02N NaOH 0,02N e transferir para um frasco Erlenmeyer de 250ml;
- Diluir para 100 ml com água destilada e juntar 3 a 4 gotas de Metil Orange;
- Titular com NaOH 0,02N até coloração vermelho alaranjada (rosa);
- Fazer a análise em triplicata e tirar uma média das três titulações;
- Anotar o volume gasto de ácido sulfúrico 0,02N;
- Calcular o fator de correção;
- Anotar o fator correção do NaOH 0,02N no rótulo do frasco.

### Cálculo do Fator de Correção:

$$\text{Fc da solução de NaOH a 0,02N} = \frac{\text{VT}}{\text{VP}}$$

VT -> Volume teórico de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0,02N = 25 mL

VP -> Volume prático = Volume de gasto na titulação

**Observação:** o indicador Metil Orange, em meio alcalino, possui coloração amarelo claro e vermelho alaranjado em meio ácido.

#### 4.2.7 Cloretos

Os cloretos estão distribuídos na natureza geralmente na forma de sais de sódio (NaCl), de potássio (KCl), e sais de cálcio (CaCl<sub>2</sub>). A maior quantidade desses sais está presente nos oceanos. A presença do íon cloreto nas águas pode ser atribuída a:

- Dissolução dos depósitos de sal;
- Descargas de efluentes das indústrias químicas;
- Exploração de poços petrolíferos;
- Infiltração das águas marinhas em águas costeiras.

Altas concentrações do íon cloreto na água podem ocasionar restrições ao seu uso pelo sabor que confere à mesma e pelo efeito laxativo que causam naqueles indivíduos que estavam acostumados a baixas concentrações. Os métodos convencionais para o tratamento da água não removem o íon cloreto, podendo ser removidos por osmose reversa e eletrodialise.

#### Determinação de cloretos:

Os cloretos são determinados pelo Método de Mohr.

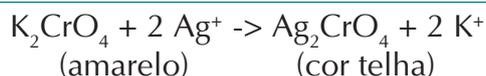
#### Princípio do método:

O íon cloreto é precipitado quantitativamente pelo nitrato de prata (AgNO<sub>3</sub>) na presença de cromato de potássio (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>)

#### Reação:



A adição de um excesso de AgNO<sub>3</sub> proporciona um precipitado cor de telha (Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>), marcando o final da dosagem uma vez que o meio reacional possui cor amarela.



#### Observações:

- 1ml de AgNO<sub>3</sub> equivale a 0,5mg de Cl<sup>-</sup>;
- Influência do pH: deve ser entre 7 e 8;
- Caso o pH seja alto, os íons Ag<sup>+</sup> precipitam como Ag(OH) e não como Ag<sub>2</sub>Cr;

- Caso o pH seja baixo, os íons  $\text{CrO}_4$  são convertidos a  $\text{Cr}_2\text{O}_7$ , impossibilitando o ponto de viragem.

#### **Aparelhagem:**

- Bureta de 50 ml;
- Frasco Erlenmeyer de 250 ml;
- Becker de 250ml;
- Medidor de pH;
- Proveta de 100 ml.

#### **Reagentes:**

- Solução padrão de Nitrato de Prata 0,0141 N;
- Solução indicadora de Cromato de Potássio  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ;
- Hidróxido de Sódio 1,0 N;
- Ácido Sulfúrico 1,0 N;
- Cloreto de Sódio 0,0141 N.

#### **Técnica:**

- Transferir 100 mL de amostra ou uma porção diluída para 100 mL com uma proveta para erlenmeyer de 250 mL;
- Caso a amostra esteja muito colorida, adicionar 3 mL de suspensão de hidróxido de alumínio,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , com pipeta graduada;
- Misturar, deixar assentar e filtrar. Caso haja sulfetos, sulfitos ou tiosulfatos presentes na amostra, adicionar 1 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (peróxido de hidrogênio) com pipeta graduada e agitar por 1 minuto;
- Caso necessário, ajustar o pH da amostra para 7 a 10 com ácido sulfúrico 1N ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ou hidróxido de sódio 1N ( $\text{NaOH}$ ), usando pipetas graduadas;
- Adicionar 1 mL de solução indicadora de cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) com pipeta graduada. A solução apresentará uma coloração amarelada;
- Titular com nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) 0,0141 N padronizado até que ocorra mudança da cor para alaranjado (firme). Anotar o volume gasto na titulação.

**Observação:** fazer triplicata – média aritmética (A) e branco (B), como forma de boas práticas.

#### **Fórmula geral:**

$$\text{Cloretos mg/L Cl}^- = \frac{(\text{volume gasto de AgNO}_3 \times \text{N}) \times \text{fc} \times 35.450}{\text{mL da amostra}} \quad \text{volume gasto} \times 0,0141 \times \text{fc} \times 354,5$$

$$(\text{volume gasto de AgNO}_3 \times N \text{ a } 0,0141N) = A - B$$

A = média dos volumes de nitrato de prata gastos na titulação da amostra;

B = volume gasto na titulação da prova em branco;

Fc= Fator de correção;

N = 0,0141.

### Preparo de Reagentes:

- **Padrão de NaCl 0,0141N:**

Dissolver 0,8240 g de NaCl (seco a 140°C por 1 hora) em água destilada ou deionizada e diluir para 1000 ml em balão volumétrico (1,0 ml = 500mg Cl<sub>2</sub>).

- **Padrão de AgNO<sub>3</sub> 0,0141N:**

Dissolver 2,392 g de AgNO<sub>3</sub> em água destilada e diluir para 1000 ml em balão volumétrico. Estocar em frasco âmbar após padronização.

- **Cromato de potássio (Solução Indicadora):**

Dissolver 50g de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> em água destilada. Adicionar solução de AgNO<sub>3</sub> 0,0141N até formar um precipitado vermelho.

Deixar em repouso por 12 horas, filtrar e diluir para 1000 ml com água destilada.

### Padronização do AgNO<sub>3</sub> 0,0141N:

- Adicionar 25ml de NaCl 0,0141N em um frasco Erlenmeyer de 250ml. Em outro Erlenmeyer, adicionar 100 ml de água destilada (branco);
- Acertar o pH na faixa de 7 a 10, com NaOH 1N ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N;
- Adicionar 1,0ml de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>;
- Titular com AgNO<sub>3</sub> 0,0141N até aparecimento da cor amarelo alaranjado. Anotar o volume de AgNO<sub>3</sub> gasto. Titular em triplicata e fazer a média das titulações.

### Cálculo do Fator de Correção:

$$Fc \text{ da solução de AgNO}_3 \text{ 0,0141N} = \frac{VT}{VP}$$

$$VT \rightarrow \text{Volume teórico de NaCl 0,014N} = 25 \text{ mL}$$

$$VP \rightarrow \text{Volume prático} = \text{Volume de gasto na titulação de AgNO}_3 \text{ 0,0141N}$$

## 4.2.8 Dureza total

A dureza se define como a resistência oposta à ação do sabão. Esse fenômeno se deve à presença de determinados cátions na água, principalmente os cátions de cálcio e magnésio. Existem dois tipos de dureza:

- **Dureza Temporária ou de Carbonatos:** é a dureza proporcionada pelos bicarbonatos de cálcio e magnésio. São durezas que, além de resistir à ação do sabão, produzem também incrustações. Pela ação do calor, os bicarbonatos se decompõem em gás carbônico, água e carbonatos insolúveis que se precipitam. Por isso a denominação de Dureza Temporária.



- **Dureza Permanente ou de Não Carbonatos:** é a dureza devida à presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio dissolvidos na água. São durezas que também resistem à ação do sabão, mas não produzem incrustações por serem seus sais muito solúveis na água. Não se decompõem frente à ação do calor, daí a denominação de Dureza Permanente. A dureza é expressa em termos de  $\text{CaCO}_3$  em mg/l.

Quadro 13 – Classificação das águas quanto ao grau de dureza.

| mg/L em termos de $\text{CaCO}_3$ | Classificação       |
|-----------------------------------|---------------------|
| 0 - 75                            | Leves               |
| 75 - 100                          | Moderadamente duras |
| 150 – 300                         | Duras               |
| 300 para cima                     | Muito duras         |

#### Determinação da Dureza:

A determinação da dureza é feita por Método Titulométrico.

#### Aparelhagem:

- Bureta de 50 ml;
- Pipeta volumétrica de 25 ml;
- Balão volumétrico de 50 ml;
- Becker de 100 ml;
- Frasco Erlenmeyer de 250 ml.

#### Reagentes:

- Solução padrão de EDTA 0,01 M;
- Solução tampão;
- Indicador Eriochrome Black T;
- Inibidor I (Cianeto de Sódio P.A em pó);
- Inibidor II (Sulfeto de Sódio).

#### Técnica:

- Colocar 100mL da amostra em um frasco Erlenmyer de 250mL;

- Adicionar 1 a 2 ml da solução tampão para elevar o pH a  $10 \pm 0,1$ ;
- Adicionar aproximadamente 0,05 g do Indicador Eriochrome Black T;
- Titular com EDTA 0,01 M, agitando continuamente até o desaparecimento da cor avermelhada e o aparecimento da cor azul, ponto final da titulação;
- Anotar o volume de EDTA gasto;
- Caso haja necessidade, usar 20 gotas do Inibidor II.

#### Observações:

- 1) A ausência de um ponto de viragem definido, geralmente, indica a necessidade de adição de um inibidor ou a deterioração do indicador;
- 2) Não levar mais do que cinco minutos para a titulação, medidos após a adição da solução tampão;
- 3) Caso a dureza da água seja muito baixa, usar uma maior quantidade de amostra, superior a 100mL, adicionando proporcionalmente maior quantidade de solução tampão, do Inibidor e Indicador;
- 4) Fazer sempre um branco com água destilada.

#### Fórmula geral:

$$\text{Dureza total em mg/L de CaCO}_2 = \frac{\text{volume gasto de EDTA 0,01M, x fc x 1000}}{\text{mL da amostra}}$$

#### Dureza de Cálcio e Magnésio:

##### • Procedimento

- Transferir 100 mL da amostra em um erlenmeyer de 250 mL. Sendo a alcalinidade maior que 300mg/L, realizar as diluições necessárias ou neutralizar com ácido, aguardando 1 minuto e resfriar antes de começar a titulação;
- Adicionar 2,0 mL de hidróxido de sódio 1N (NaOH), com pipeta graduada, ou um volume suficiente para elevar o pH a 12,0 - 13,0;
- Agitar e adicionar 0,1 a 0,2 g (ponta da espátula) da mistura do indicador de murexida, note que a solução ficará rósea;
- Titular com EDTA padronizado até o surgimento de cor púrpura. Anotar o volume gasto do EDTA.

##### • Cálculo:

A dureza de cálcio é expressa em termos de mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de cálcio):

$$\text{Dureza de Cálcio em mg/L de CaCO}_2 = \frac{\text{volume gasto de EDTA 0,01M, x fc x 1000}}{\text{mL da amostra}} \times 0,4008$$

A dureza de Magnésio é determinada pela diferença entre o valor da Dureza Total e do valor da Dureza de Cálcio:

$$\text{Dureza de Magnésio em mg/L de CaCO}_2 = \text{Dureza de Cálcio} \times 0,244$$

#### Padronização da solução de EDTA 0,01M:

- Pipetar 10 mL de solução padrão de cálcio, transferir para um balão volumétrico de 100 mL e completar com água ultra pura até a marca da aferição. Em seguida transferir para um erlenmeyer de 250 mL;
- Adicionar 1 a 2 mL de solução tampão;
- Adicionar 1 mL de solução inibidora II (sulfeto de sódio);
- Adicionar uma quantidade apropriada (ponta de espátula) do indicador em pó Eriochrome Black – T, note que a solução ficará vermelho violeta;
- Titular com EDTA até que a viragem entre último traço vermelho violeta e cor azul. Anotar o volume gasto.

#### Cálculo do Fator de Correção:

$$F_c \text{ da solução de NaOH a } 0,02N = \frac{VT}{VP}$$

$$VT \rightarrow \text{Volume teórico} = V_{CaCO_3} = 10 \text{ mL}$$

$$VP \rightarrow \text{Volume prático} = \text{Volume de gasto na titulação} = V_{EDTA}$$

$V_{CaCO_3}$  = volume de carbonato de cálcio tomado para a titulação (10 mL);

$V_{EDTA}$  = volume de EDTA gasto na titulação;

$F_c$  = fator de correção;

$CaCO_3$  = carbonato de cálcio.

#### Preparo de Reagentes:

##### • Inibidor II - Sulfeto de Sódio:

Dissolver 5,0 g de  $Na_2S \cdot 9H_2O$  ou 3,7g de  $Na_2S \cdot 5H_2O$  em 100 ml de água destilada. Fechar bem com rolha de borracha para impedir a oxidação pelo ar.

##### • Solução de Cálcio Padrão:

Pesar 1,0 g de  $CaCO_3$  anidro em pó, padrão primário e transferir para um frasco Erlenmeyer de 250 ml. Adicionar aos poucos, com o auxílio de um funil, ácido clorídrico - HCl 1:1, até dissolver todo o  $CaCO_3$ . Adicionar 200 ml de água destilada e ferver por alguns minutos para eliminar o  $CO_2$ . Deixar esfriar e adicionar algumas gotas de vermelho de metila até o aparecimento da cor laranja com a adição de  $NH_4OH$  3N ou HCl 1:1. Transferir toda a mistura para um balão de 1000 ml e completar até a marca com água destilada.

**Observação:** 1,0 mL da solução equivale a 1,00mg de  $\text{CaCO}_3$ .

- **Eriochrome Black T:**

Pesar 1g de Eriochrome Black T e adicionar a 99g de NaCl em um gral e triturar, armazenar em frasco âmbar.

- **Solução de EDTA 0,01M:**

Pesar 3,723g de sal de sódio de EDTA,  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{H}_{12}\text{O}_8\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  p.a., dissolver em água destilada e elevar a 1000ml em balão volumétrico. A seguir, determinar o Fator de Correção.

- **Solução Tampão (pH 10 +/- 0,1):**

- Dissolver 1,179g de EDTA-sal dissódico dihidratado p.a. e 780mg de sulfato de magnésio heptahidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) ou 644 mg de cloreto de magnésio hexahidratado ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) em 50 mL de água destilada;
- Adicione esta solução a 16,9 g de cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) e 143 mL de hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) concentrado com agitação e diluir para 250 mL com água destilada. Para atingir a mais alta exatidão, ajustar para a equivalência exata através da adição de pequenas quantidades de EDTA ou sulfato de magnésio ou cloreto de magnésio;
- Estocar em recipiente de plástico ou vidro borosilicato por não mais de um mês, fechar fortemente para prevenir a perda de amônia e a entrada de gás carbônico. Distribuir a solução tampão por meio de uma pipeta com pera. Descartar a solução tampão quando adicionado 1 ou 2 mL à amostra, falhar a produção de pH de  $10 \pm 0,1$  no ponto final da titulação.

### **Inibidores:**

- **Inibidor I – Cianeto de Sódio (NaCN):**

Ajustar o pH da amostra para 6 ou mais alto com solução tampão ou NaOH 0,1N. Adicionar 250 mg de cianeto de sódio (NaCN) na forma de pó. Adicione tampão suficiente para ajustar o pH para  $10,0 \pm 0,1$ . Estocar em frasco de polietileno.

Observações:

- Manter cuidados especiais pois *NaCN é muito tóxico*;
- Faça soluções que contenham este inibidor colocando-o em grandes quantidades de água, depois de assegurar que **nenhum ácido** está presente, porque pode liberar HCN (cianeto de hidrogênio) que é volátil e tóxico.

- **Inibidor II - Sulfeto de Sódio:**

Dissolver 5.0 g de sulfeto de sódio nonohidratado ( $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) ou 3.7 g de sulfeto de sódio pentahidratado ( $\text{Na}_2\text{S} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) em 100 mL de água destilada. Expulsar o ar com uma rolha de borracha de calibre apropriado. Este inibidor deteriora por intermédio da oxidação pelo ar. Ele produz um precipitado de sulfeto ( $\text{S}^{2-}$ ) que obscurece o ponto final quando apreciáveis concentrações de metais pesados estão presentes. Use 1 mL. Estocar em frasco escuro de vidro borosilicato.

## Indicadores:

- **Murexida (ou Eriochrome Blue Black R):**

Pesar 0,2 g de murexida ou eriochrome blue black-R, misturar com 100g de NaCl. Pulverizar a 40-50 mesh. Estocar em um frasco de polietileno devidamente fechado.

- **Eriochrome Black T:**

Pesar 0,5g de Eriochrome Black T e adicionar 100 g de cloreto de sódio (NaCl) em um gal, estocar em frasco de polietileno.

- **Solução de EDTA 0.01 M:**

Pesar 3,723 g de sal dissódico EDTA p.a., dissolver em água destilada e diluir para 1000 mL em balão volumétrico. Padronize com Solução Padrão de Cálcio. Estocar em recipiente de polietileno ou borosilicato. Devido à deterioração gradual, é necessário padronizar periodicamente e usar um fator de correção.

- **Solução Padrão de Cálcio 0,01M:**

Pesar 1,000 g de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) anidro, em pó, padrão primário, e transferir para um frasco erlenmeyer de 500 mL. Adicionar aos poucos, com auxílio de um funil, ácido clorídrico (HCl) 1:1 até dissolver todo o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Adicionar 200 mL de água destilada e ferver por alguns minutos para eliminar o gás carbônico. Esfriar, adicionar algumas gotas de vermelho de metila e ajustar a cor laranja intermediária pela adição de hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) 3N ou ácido clorídrico (HCl) 1:1 se necessário.

Transferir toda a mistura para um balão de 1000 mL e completar até a marca com água destilada. 1,00 mL da solução equivale a 1,00 mg de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Estocar em frasco de vidro borosilicato.

- **Solução de Hidróxido De Sódio (NaOH) 0,1N:**

Pesar 4 g de hidróxido de sódio (NaOH), dissolver e diluir para 1000 mL de água destilada. Estocar em frasco de polietileno.

- **Solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) 1N:**

Pesar 40 g de hidróxido de sódio (NaOH), dissolver e diluir para 1000 mL de água destilada. Estocar em frasco de polietileno.

## 4.3 Análises microbiológicas

### Introdução

A detecção e quantificação de todos os micro-organismos patogênicos potencialmente presentes na água é trabalhoso, demanda tempo, os custos são elevados e nem sempre se obtém resultados positivos ou que confirmem a presença dos micro-organismos. O objetivo do exame microbiológico da água é fornecer subsídio a respeito da sua

portabilidade, isto é, ausência de risco de ingestão de micro-organismos causadores de doenças, geralmente provenientes da contaminação pelas fezes humanas e outros animais de sangue quente. Vale ressaltar que os micro-organismos presentes nas águas naturais são, em sua maioria, inofensivos à saúde humana. Porém, à contaminação por esgoto sanitário estão presentes micro-organismos que poderão ser prejudiciais à saúde humana. Os micro-organismos patogênicos incluem vírus, bactérias, protozoários e helmintos. Como indicadores de contaminação fecal, são eleitas como bactérias de referência as do grupo coliforme, por reunirem as seguintes características:

- a) São encontrados nas fezes de animais de sangue quente, entre eles os homens;
- b) São facilmente detectáveis por técnicas simples e economicamente viáveis, em qualquer tipo de água, de forma quantitativa;
- c) Sua concentração na água contaminada possui uma relação direta com o grau de contaminação fecal desta;
- d) Tem maior tempo de sobrevivência na água que os organismos patogênicos intestinais, por serem menos exigentes em termos nutricionais, além de serem incapazes de se multiplicar no ambiente aquático ou se multiplicar menos que as bactérias entéricas;
- e) São mais resistentes aos agentes tensoativos e agentes desinfetantes do que os germes patogênicos.

Historicamente a literatura reporta que, em 1855, Theodor Escherich isolou uma bactéria em fezes de crianças, a qual recebeu a denominação original de *Bacterium coli* e mais tarde foi confirmada como habitante do trato intestinal de seres humanos e animais de sangue quente (Hofstra e Huisin't Veld, 1988). Subsequentes tentativas de diferenciar *Bacterium coli* de outras bactérias da família Enterobacteriaceae (Jones, 1988), entre estas, aquelas mais nitidamente associadas à contaminação de natureza fecal, deram origem à subclassificação do grupo coli – aerogenes, ou “coliformes”, e a definição de sua composição pelos gêneros *Escherichia*, *Klebsiella* e *Citrobacter* (1956), posteriormente complementado pela inclusão do gênero *Enterobacter* (Müller e Mossel, 1982; Hofstra e Huisin't Veld, 1988).

No desenvolvimento do conceito de organismos indicadores de contaminação e de sua aplicação na avaliação da qualidade sanitária de ambientes e produtos de consumo humano, por muito tempo prevaleceu o emprego da *Escherichia coli* (*E. coli*). Entretanto, a busca por agilidade e simplicidade deu lugar à utilização disseminada dos “coliformes” e, mais tarde, dos “coliformes fecais”, diferenciados pelo teste de termo tolerância, introduzido por Eijkman ainda em 1904 (Cabelli, 1982; Hofstra e Huisin't Veld, 1988).

As bactérias do grupo coliforme são definidas na Portaria MS nº. 2914/2011, como:

- **Coliformes totais** (bactérias do grupo coliforme) – bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a  $35,0 \pm 0,5$ o C em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima  $\beta$  – galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*,

*Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo;

- **Coliformes termotolerantes** – subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a  $44,5\text{ °C} \pm 0,2\text{°C}$  em 24 horas; tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal;
- ***Escherichia coli*** – bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a  $44,5\text{ °C} \pm 0,2\text{°C}$  em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidroliza a ureia e apresenta atividade das enzimas  $\beta$  galactosidase e  $\beta$  glucuronidase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos.

### Coliformes totais

As bactérias do grupo coliforme estão presentes no intestino humano e de animais de sangue quente e são eliminadas nas fezes em números elevados (106/g – 108/g). Entretanto, a partir da definição acima, o grupo dos coliformes inclui bactérias não exclusivamente de origem fecal, podendo ocorrer naturalmente no solo, na água e em plantas. Além disso, principalmente em climas tropicais, os coliformes apresentam capacidade de se multiplicar na água (OMS, 1995).

Tradicionalmente, considerava-se que o grupo coliforme incluía bactérias dos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* e *Klebsiella*. Entretanto, a classificação taxonômica mais recente revela que o grupo é mais heterogêneo. Compreende, por exemplo, espécies como *Enterobacter cloacae* e *Citrobacter freundii*, encontradas tanto em fezes, quanto em águas ricas em nutrientes, solos e matéria orgânica em decomposição; ou ainda espécies como *Serratia fonticola*, *Rahnella aquatilis* e *Buttiauxella agrestis*, raramente encontradas em fezes, porém capazes de multiplicar-se em águas tratadas de qualidade razoável (OMS, 1995).

Por isso, na avaliação da qualidade de águas naturais, os coliformes totais têm valor sanitário limitado. Sua aplicação restringe-se praticamente à avaliação da qualidade da água tratada, na qual sua presença pode indicar falhas no tratamento, uma possível contaminação após o tratamento ou ainda a presença de nutrientes em excesso, por exemplo, nos reservatórios ou nas redes de distribuição.

### Coliformes fecais

O grupo dos coliformes fecais compreende o gênero *Escherichia* e, em menor extensão, espécies de *Klebsiella*, *Citrobacter* e *Enterobacter*. Apesar da denominação, o grupo acaba também por incluir bactérias de origem não exclusivamente fecal, embora em proporção bem menor que o grupo dos coliformes totais. Algumas espécies são encontradas em águas ricas em matéria orgânica, efluentes industriais – por exemplo, *Klebsiella pneumoniae* – (Bagley e Seidler, 1977) ou em material vegetal e solos em decomposição (Duncan e Hazell, 1972). Além disso, principalmente em climas tropicais,

mesmo que originalmente introduzidas na água por poluição fecal, podem adaptar-se ao meio aquático (Lopez Torrez et al., 1987).

Portanto, a utilização dos coliformes fecais na avaliação da qualidade de águas naturais, principalmente em países de clima tropical, também tem sido questionada e a tendência atual é de se referir ao grupo como Coliformes termotolerantes (DHSS, 1982; OMS, 1995). Apesar disso e com base no fato de que entre os cerca de 106-108 Coliformes fecais/100 mL, usualmente presentes nos esgotos sanitários predomina a *Escherichia coli*, que é uma bactéria de origem fecal, estes organismos ainda têm sido largamente utilizados como indicadores de poluição de águas naturais.

É pouco provável que os Coliformes fecais se desenvolvam em sistemas de distribuição, a menos que exista abundância de nutrientes, ocorra pós-contaminação, que a temperatura da água tratada seja inferior a 13° C e não exista cloro residual livre (OMS, 1995) e, por isto, ainda guardam certa credibilidade como indicadores da qualidade da água tratada e distribuída.

### *Escherichia coli*

É diferente dos demais coliformes por possuir as enzimas  $\beta$  galactosidase e  $\beta$  glucoronidase; fermentam a lactose e manitol com produção de ácido e gás e produzem indol a partir de triptofano a 44°C-45°C em 24 horas; são oxidase-negativas e não hidrolisam a ureia (DHSS, 1982; OMS, 1995). Algumas cepas crescem a 37° C, mas não a 44°C-45°C, outras não fermentam a lactose (cerca de 10%) ou são indol-negativas (cerca de 3%-5%) (DHSS, 1982; Hofstra e Huisin't Veld, 1988; OMS, 1995). A origem fecal da *E. coli* é inquestionável e sua natureza ubíqua pouco provável, o que valida se o papel mais preciso de organismo indicador de contaminação tanto em águas naturais quanto tratadas.

### Exames microbiológicos

A opção da metodologia para a realização dos exames bacteriológicos da água recai naquele procedimento que melhor se adequa às condições do laboratório, devendo-se, no entanto, adotar como padrão às metodologias, frequências e interpretação de resultados estabelecidos e recomendadas pela legislação em vigor – Portaria MS nº. 2914/201, que utiliza como parâmetro as determinações do *STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER*.

#### **Técnicas recomendadas para determinação de Coliformes Totais, Termotolerantes e *E. coli*:**

- a) Método de fermentação em tubos múltiplos – TM;
- b) Método de filtração em membranas – MF;
- c) Método do Substrato Cromogênico Definido ONPG-MUG, com resultados confirmativos para presença de Coliformes Totais e *E. coli* em 24 horas.

## Método do Substrato Cromogênico Definido ONPG-MUG

Neste capítulo será apenas descrito o método do Substrato Cromogênico Definido, embora os métodos de TM e MF sejam largamente ainda utilizados. Porém, dado a facilidade de manuseio e relativo custo/benefício proporcionado pelo método do Substrato, foi eleito para ser descrito, recomendando-se a consulta em outras literaturas. O método baseia-se nas atividades enzimáticas específicas dos coliformes ( $\beta$  galactosidade) e *E. coli* ( $\beta$  glucoronidase).

Os meios de cultura contêm nutrientes indicadores (substrato cromogênico) que, hidrolisados pelas enzimas específicas dos coliformes e, ou, *E. coli*, provocam uma mudança de cor no meio – amarelo, no caso de coliformes, ou produzem fluorescência quando a amostra é exposta à luz ultravioleta, no caso de *E. coli*.

### Fundamentos da técnica de detecção de coliformes pelo Método do Substrato Cromogênico

O método pode ser aplicado tanto em análises qualitativas (P/A), como quantitativas (TM). Além da maior precisão, outra grande vantagem é o tempo de resposta, já que a determinação simultânea de coliformes (totais) e *E. coli* é efetuada após incubação das amostras a 35° C por 24 horas, não havendo necessidade de ensaios confirmativos.

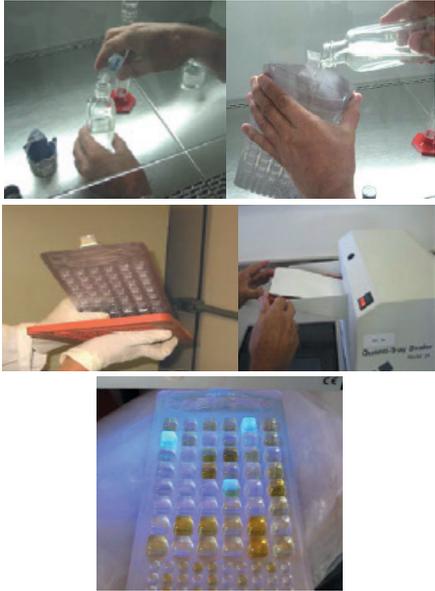
O Substrato Cromogênico Definido ONPG-MUG, confere resultados confirmativos para presença de Coliformes Totais e *E. coli* em 24 horas face desenvolvimento de coloração amarela e observação de fluorescência, sem necessidade da adição de outros reagentes para confirmação. Este método é aprovado pelo *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*.

### Procedimento de análise bacteriológica: qualitativo – presença/ausência ( P/A)

|   |  |
|---|--|
|  <p>Fonte: Indexx.</p> | <ol style="list-style-type: none"><li>1) Coletar 100 ml da amostra em frasco ou bolsa estéril, com ou sem tiosulfato de sódio e adicionar todo o conteúdo do frascote de Colilert. Fechar o frasco e agitar levemente para dissolver o reagente;</li><li>2) Incubar o frasco contendo a amostra e o Colilert por 24 horas a 35°C;</li><li>3) Após a incubação, observar visualmente os frascos para a leitura dos resultados. Caso a amostra se apresentar incolor, o resultado é negativo;</li><li>4) Entretanto havendo desenvolvimento de coloração amarela, o resultado é positivo para Coliformes Totais;</li><li>5) E se a amostra se apresentar amarela e fluorescente com luz UV-365 nm, o resultado é positivo para <i>E. coli</i>.</li></ol> |
|---|--|

Figura 20 – Protocolo: exames bacteriológicos p/a.

## Procedimento de análise bacteriológica: quantitativa – Número Mais Provável (NMP)



Fonte: Indexx.

- 1) Coletar 100 ml da amostra em frasco ou bolsa estéril, com ou sem tiosulfato de sódio e adicionar todo o conteúdo do frascote de Colilert;
- 2) Fechar o frasco e agitar levemente para dissolver o reagente;
- 3) Adicione todo o conteúdo do frasco (amostra com o Colilert) dentro da cartela Quanti-Tray® (contagem de 1 a 200 NMP) ou Quanti-Tray 2000 (contagem de 1 a 2419 NMP);
- 4) Acomode a cartela com a amostra na Borracha da Seladora, conforme o tipo de cartela a ser utilizada;
- 5) Ligue a seladora e deixe-a pré-aquecida por 10 minutos;
- 6) Introduza a cartela no compartimento da seladora. A seladora simultaneamente promoverá a distribuição e selagem da cartela contendo a amostra com o Colilert. Incube a cartela por 24 horas a 35 °C;
- 7) Após a incubação efetuar a leitura dos resultados. Contar o número de cavidades que apresentarem coloração amarela e utilizar a tabela NMP que acompanha para obter o resultado para Coliformes Totais;
- 8) Em seguida, contar as cavidades amarelas que apresentarem fluorescência sob luz UV-365 nm e utilizar a tabela NMP para obter o resultado para *E. coli*.

Figura 21 – Exames bacteriológicos quantitativo (NMP).

## Referências Bibliográficas

- ABICALIL, M. T. Uma nova agenda para o saneamento. In: **O pensamento do setor saneamento no Brasil: perspectivas futuras**. PMSS (Programa de Modernização do Setor Saneamento). Brasília, DF, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano – SEDU/PR, 2002.
- BARROS, R. T. V. et al. **Saneamento**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995.
- BARROS, R. T. V.; CHERNICHARO, C. A. L.; HELLER, L.; von SPERLING, M. **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios**. Saneamento – Capítulo 4, v. 2, DESA/UFMG, 1995. 221p.
- BRASIL. **Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano**. – Brasília: Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde, 2003.
- \_\_\_\_\_. Conama. **Resolução 357/2005**. Estabelece classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional.
- \_\_\_\_\_. Fundação Nacional de Saúde. **Monitorização das doenças diarreicas agudas**. Brasília, 1994.
- \_\_\_\_\_. **Lei nº. 6.050**, de 24 de maio de 1974. Dispõe sobre a fluoretação da água em sistema de abastecimento quando existir estação de tratamento. Legislação Federal, Brasília, p. 760, 1974.
- \_\_\_\_\_. **Lei nº. 6938/1981**. Estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente e dá outras providências.
- \_\_\_\_\_. **Portaria nº 635**, de 26 de dezembro de 1975. Aprova normas e padrões sobre fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento, destinada ao consumo humano. Diário Oficial da União. Brasília, 26 dez. 1975b.
- \_\_\_\_\_. **Portaria nº. 2914/2011**. Estabelece as responsabilidades e procedimentos relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.
- BUENDIA, Osvaldo Carro. **Fluoretação de Águas: Manual de Orientação Prática**. 1. ed. São Paulo: *American Med*, 1996.
- CARVALHO, D. F. **Instalações elevatórias: bombas**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Civil: IPUC, 1977. 355 p. il.
- CARVALHO, J. R. **Fluoretação de águas de abastecimento público: utilização do Fluossilicato de Sódio**. Passos, MG: Coordenação Regional de Minas Gerais da Fundação Nacional de Saúde, 1994.
- CLEASBY, J. L. *Filtration*. In: **Water quality and treatment: a handbook of community water supplies**. 4. ed. AWWA. McGraw-Hill, 1990.
- DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993.

\_\_\_\_\_. **Métodos e técnicas de tratamento e água.** Vol. 2. Rio de Janeiro: ABES, 1993. Cap. 15.

Guias para la Calidad del Agua Potable. Vol. 1 – **Recomendaciones** – OMS, Ginebra – 1995, *Segunda edición.*

\_\_\_\_\_. Vol.2 – **Criterios relativos a la salud y otra información de base,** OPAS – 1987.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.** Departamento de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria Nacional de Programas Especiais de Saúde. Divisão Nacional de Saúde Bucal. **Levantamento Epidemiológico em Saúde Bucal:** Brasil, zona urbana, 1986. Brasília, 1988.

MINISTÉRIO DA SAÚDE/DIVISÃO NACIONAL DE SAÚDE BUCAL. **Política Nacional de Saúde Bucal:** Princípios, Objetivos, Prioridades. Brasília, 1989.

**Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** – 18<sup>o</sup> edição – 1998.



# FUNASA

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE

## Missão

Promover a saúde pública e a inclusão social por meio de ações de saneamento e saúde ambiental.

## Visão de Futuro

Até 2030, a Funasa, integrante do SUS, será uma instituição de referência nacional e internacional nas ações de saneamento e saúde ambiental, contribuindo com as metas de universalização de saneamento no Brasil.

## Valores

- Ética;
- Eqüidade;
- Transparência;
- Eficiência, Eficácia e Efetividade;
- Valorização dos servidores;
- Compromisso socioambiental.



Fundação  
Nacional  
de Saúde



Ministério da  
Saúde

