

250
87 SE

SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE
LOGIA SIMPLIFICADA PARA POTABILIZAÇÃO
DA ÁGUA

Cali - Colômbia

17 - 21 Agosto 1.987

LIBRARY INTERNATIONAL REFERENCE
CENTRE FOR COMMUNITY WATER SUPPLY
AND SANITATION
P.O. Box 93190, 2509 AD The Hague
Tel. (070) 814911 ext. 141/142

DN: ISN 3966

LO: 250 87 SE

SELEÇÃO E SEQUÊNCIA DE PROCESSOS DE TRATAMENTO PARA DIFERENTES QUALIDADES DE ÁGUA

José Roberto Campos*

1 - INTRODUÇÃO

A análise de uma água revela a presença de gases, de substâncias orgânicas e inorgânicas em suspensão e em solução e organismos vivos. São a qualidade, a quantidade desses diversos "contaminantes" que caracterizam uma água e condicionam sua aptidão aos usos mais diversificados.

A água destinada ao consumo humano deve respeitar uma série de requisitos, de maneira que não venha a causar mal à saúde do Homem, quer ela seja consumida por um certo período de tempo, quer ela seja consumida durante toda uma vida.

Sabe-se que atualmente 80% das doenças que ocorrem na população Humana são de origem hídrica. (22)

Nos países do terceiro mundo, os agentes infecciosos e parasitas, cujo vetor é a água, são responsáveis pela maior parte das doenças. A mortalidade devida a essas doenças é da ordem de 50.000 pessoas por dia, segundo a Organização Mundial da Saúde (apud 51). Nos outros países as principais afecções são as doenças cardio-vasculares e o câncer (20% das mortes, nos Estados Unidos), cujas causas ainda são mal definidas dos pontos de vista epidemiológico e toxicológico. Certos fatores de risco em carcinogênese são estabelecidos a outros são apenas prováveis e não dispõem ainda de provas formais.

Essas considerações iniciais demonstram a responsabilidade e o dever que recaem sobre os dirigentes, pesquisadores e profissionais que se dedicam ao Saneamento, principalmente aqueles que vivem em países do Terceiro Mundo. A eles cabe a obrigação de corrigir esse triste quadro, através do fornecimento de água de qualidade apropriada associado a medidas adicionais, naturalmente.

Por outro lado, a cada dia que passa, maior se torna o número de novos produtos sintéticos que têm acesso aos mananciais disponíveis, obrigando a maiores cuidados com o tratamento de sua água.

Até 1.979 foram registrados cerca de 5 milhões de substâncias químicas diferentes no Chemical Abstract Survey, da Associação Química Americana. Apesar de grandes parcelas desse total serem produzidas apenas em pequena escala, estima-se que, pelo menos, 66.000 produtos distintos são empregados em larga escala, cotidianamente e estão pelo menos potencialmente presentes no

* Professor Assistente Doutor, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo - Brasil

Av. Dr. Carlos Botelho, nº 1465; CEP: 13.560 - São Carlos - S.P. - BRASIL

250-87SE-3966

meio ambiente. (01)

Os países desenvolvidos têm sentido com maior intensidade os problemas associados à presença desses novos produtos no meio ambiente, porém, mesmo os países do Terceiro Mundo acabam por sofrer a agressão de novos contaminantes em regiões específicas, onde ocorre densidade populacional elevada associada a grande concentração de indústrias.

Em países do Terceiro Mundo, na maioria dos casos, os problemas regionais podem ser extremamente distintos, pois, enquanto em um extremo existem comunidades que nem dispõem de água tratada (ou mesmo canalizada), em outro extremo ocorrem comunidades que necessitam ter sua água tratada empregando-se as técnicas mais evoluídas para atingir, inclusive, a remoção de microcontaminantes orgânicos de origem industrial.

Essa amplitude do problema exige que os dirigentes, os pesquisadores e os profissionais que trabalham com tratamento de água tenham não só o conhecimento de sistemas avançados de purificação de água como também, o conhecimento das técnicas mais simples, para que possam sempre optar pela solução mais apropriada para cada caso.

As operações e processos fundamentais utilizados na clarificação de água, não mudaram muito em sua essência (coagulação, floculação, sedimentação e filtração) porém, através de conhecimento mais profundos fundamentados em pesquisa e na prática, houve evolução significativa, relacionada com novas concepções e novos critérios de projeto e operacionais.

Essas evoluções levaram a se conseguir elaborar projetos de execução mais simples associados a maior eficiência na remoção dos contaminantes da água.

Paralelamente a essa evolução foram intensificados o estudo e os casos de aplicação de técnicas mais recentes, que levaram ao melhor conhecimento acerca:

- da ação de oxidantes, tais como dióxido de cloro, ozônio e mesmo, o cloro;
- da ação de adsorventes;
- do emprego de auxiliares de floculação e de filtração;
- do emprego de processos e nitrificação (e de desnitrificação) para eliminação de amônia;
- dos processos específicos para remoção de microcontaminantes, etc;

Deve-se levar em consideração que face às circunstâncias sócio-econômicas diferentes entre os países desenvolvidos e os países em desenvolvimento, a concepção do projeto deve levar em conta que enquanto nos primeiros, devem prevalecer (na maioria dos casos) estações equipadas e automatizadas, no caso dos países em desenvolvimento, deve prevalecer, ainda, o uso mais acentuado possível de operações não automatizadas, desde que isso não venha a prejudicar a qualidade da água produzida.

Naturalmente, em grandes estações de tratamento, pode ocorrer a necessidade de maiores recursos de automação, principalmente aqueles relacionados com o controle da qualidade da água.

Em síntese, o tratamento adotado deve adaptar-se sempre às condições sócio-econômicas da região, porém, nunca a qualidade da água deverá ser relegada a um segundo plano, sob a justificativa de se escolher a solução de menor custo, pois "la salud y bienestar de los habitantes de los países ricos vale tanto como la de los países pobres". (05)

A busca de melhor solução, portanto deve ser fundamentada na concepção de baixo custo, porém apropriada às circunstâncias locais, sempre respeitando a segurança do consumidor.

Já em 1.894, Burton (apud 33) afirmava: "A questão não deveria ser: "Quão barato nós podemos obter um sistema de abastecimento de água?", e sim: "Qual é o melhor sistema de abastecimento de água que nós podemos obter a um custo que é praticável ao nosso país?"

Nesse sentido, nos últimos anos, tem-se observado um avanço considerável na América Latina, onde a evolução do conhecimento e a dedicação de muitos profissionais e pesquisadores conduziram à propagação de técnicas e soluções que, além de serem simplificadas produzem água de boa qualidade.

É importante, no entanto, que o uso dessas soluções simplifi- cadas e das soluções complexas seja associado à qualidade da água do manancial a dotado. Esse elo é importantíssimo e fundamental para que seja escolhida a solu- ção apropriada, que realmente venha a levar à produção de água que respeita a saúde do consumidor.

O presente trabalho tem como objetivo a apresentação de con- siderações acerca da importância da escolha e da proteção do manancial da sele- ção dos processos adequados para a potabilização de sua água. Naturalmente, para complementar o tema, também será feita abordagem acerca da qualidade desejável que deverá ter a água tratada.

2 - QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

A água distribuída para uma comunidade deve respeitar certas condições mínimas para que possa ser ingerida e utilizada para fins de higie- ne, sem provocar danos à saúde do usuário. Naturalmente, é imperioso que essa água não apresente microrganismos patogênicos, nem substâncias tóxicas ou nocivas ao Homem.

Como requisito complementar, é muito desejável, que essa água apresente-se agradável ao consumo, através de suas propriedades estéticas e organolépticas e que não produza danos ao sistema de distribuição nem aos siste- mas privados.

À medida que o conhecimento do Homem vai crescendo a respei- to das propriedades dos mais diversos contaminantes da água, e, paralelamente à evolução das técnicas e dos aparelhos utilizados em análises físico-químicas, vão também ocorrendo modificações das opiniões que os pesquisadores têm acerca das substâncias, ions e partículas que se encontram presentes na água.

Pode-se dizer que nos últimos quinze anos, principalmente, houve um grande salto tecnológico a respeito do conhecimento dos contaminantes de água para abastecimento, que interferiu diretamente na elaboração de recomen- dações, de critérios, de padrões e de normas concernentes com a qualidade da água a ser consumida.

Como normas e padrões estão muito relacionados com o nível tecnológico e com as componentes político, econômico e sociais de uma região, e- xistem disparidades acentuadas entre os níveis estipulados para um mesmo contami- nante, quanto são observados sob os preceitos vigentes em cada país.

A título de exemplo, são apresentadas as Tabelas 2.1 e 2.2.

Na Tabela 2.1, verifica-se diferentes valores para um mesmo contaminante, estabelecidos em diversos países e pela Organização Mundial da Saú- de (14).

Na Tabela 2.2, observa-se fato mais interessante ainda. Os critérios estabelecidos pela EPA (Environmental Protection Agency - USA) e pela U- nião Soviética URSS, resultaram em valores sensivelmente diferentes para os con- taminantes em questão, e, além do mais, os motivos que levaram a estabelecer es- ses limites nem sempre foram os mesmos. Veja-se por exemplo, o contaminante 4 - nitrofenol, para o qual a EPA impõe o limite de 100 µg/l, com o objetivo de "pro- teção à vida aquática", principalmente; e a URSS, impõe 20 µ/l com base em pre- ceitos relacionados com os aspectos "sanitário e toxicológico.

Para os tri-halometanos (THM) ocorre fato semelhante, pois sua concentração limite varia de país para país: 25 µg/l (RFA); 75 µg/l (Países Baixos), 100 µg/l (USA) e 350 µg/l (Canadá).

Dada a heterogeneidade de opiniões e de restrições acerca dos contaminantes encontrados na água, no presente trabalho serão apenas destaca- das as recomendações apresentadas pela Organização Mundial da Saúde (54), em o- bra publicada em 1.984, intitulada "Guidelines for Drinking Water Quality".

Essa obra foi desenvolvida com o objetivo de servir de base para os mais diversos países, na elaboração de padrões adequados que, devidamen- te implementados, irão garantir a segurança dos sistemas de abastecimento de água potável. Os níveis recomendados nessa obra para os "constituintes" e contami- nantes da água não constituem por si sô padrões de potabilidade. Para se estabe- lecer padrões torna-se necessário considerar essas recomendações no contexto das circunstâncias ambientais, sociais, econômicas e culturais que prevalecem na re-

TABELA 2.1 - Alguns exemplos de Níveis Limites de Contaminantes Estabelecidos por Diferentes Países (14)

Parâmetro (mg/ℓ)	1.980 Países do Mercado Comum Europeu Concentração Máxima Admissível	1.978 Canadá Concentração Máxima Aceitável	1.978 U.S.A. Nível Máximo do Contaminante	1.984 WHO Recomendação
Alumínio	0,2	---	---	0,2
Manganês	0,05	0,05	0,05	0,1
Sulfatos	250	500	250	400
Cianetos	0,05	0,2	0,2	0,1
Chumbo	0,05	0,05	0,05	0,05
Mercúrio	0,001	0,001	0,002	0,001

TABELA 2.2 - Comparação entre Alguns Critérios de Qualidade Estabelecidos nos Estados Unidos (EPA e na União Soviética (URSS) (01)

COMPOSTO	BASE	CRITÉRIO (µg/ℓ)
Fenol	Gosto, odor e vida aquática Organoléptica	0,05 (EPA) 1 (URSS)
Diclorofenois	Gosto e odor em animais aquáticos Organoléptica	0,02 (EPA) 2,0 (URSS)
4 - Nitrofenol	Proteção à vida aquática Sanitário e Toxicológica	100 (EPA) 20 (URSS)
3 - Nitrofenol	Proteção à vida aquática Sanitário e Toxicológica	500 (EPA) 60 (URSS)
2, 4 - Dinitrofenol	Proteção à vida aquática Sanitário e Toxicológica	10 (EPA) 30 (URSS)
Pentaclorofenol	Proteção à vida aquática Organoléptica	0,50 (EPA) 300 (URSS)

gião na qual esses padrões serão estabelecidos (cf 54).

A seguir são apresentadas algumas considerações adicionais a respeito dos níveis recomendados pela OMS, emitidas por essa própria entidade (54).

- Um valor recomendado pela OMS representa o nível (concentração ou número) de um constituinte ou contaminante que assegura uma água esteticamente agradável e que não causa qualquer risco significativo à saúde do consumidor;
- Quando um valor recomendado é excedido, isso pode ser uma indicação para: a-) investigar a causa com vistas a se tomar uma ação correta; b-) consultar autoridades responsáveis pela saúde pública para conhecer seu parecer;
- A qualidade da água deve ser mantida nos melhores níveis possíveis;
- Os níveis recomendados foram estabelecidos tendo por fim a resguardar a saúde em termos de consumo, durante toda uma vida. Exposições de curta duração, a níveis mais elevados de constituintes químicos, tais como passíveis de acontecer em eventos de contaminações acidentais, podem ser toleradas, porém necessitam ser consideradas caso a caso;
- Desvios de curta duração dos níveis recomendados não significam necessariamente que a água é inadequada para consumo. A quantidade do contaminante (e a duração do evento) que ultrapassa o nível recomendado, sem afetar a saúde pública depende da substância considerada.

A OMS (1.984), na obra já citada (54) apresenta recomendações sumarizadas em tabelas, abrangendo parâmetros referentes aos constituintes orgânicos relacionados com saúde (Tabela 2.3), com os constituintes inorgânicos, relacionados com a saúde (Tabela 2.4), com a qualidade estética (Tabela 2.6), com os constituintes radioativos (Tabela 2.8) e com a qualidade microbiológica e biológica (Tabela 2.7). Essas tabelas foram incorporadas no presente trabalho apenas a título de orientação inicial, porém é muito importante que o projetista, o pesquisador e o responsável por sistemas de distribuição de água tenham conhecimento do texto completo da obra "Guidelines for Drinking Water Quality", volumes 1 (54) e 2 (55), publicados pela OMS, pois na mesma é apresentada descrição detalhada acerca de cada parâmetro que consta das referidas tabelas.

Nas Tabelas apresentadas existem alguns parâmetros aos quais correspondem as palavras "não há recomendação estabelecida", ao invés de ser fornecido um número correspondente ao nível máximo recomendável. Nesses casos, a OMS continua a coleta e a análise de informações, pois, com os dados disponíveis, seus especialistas ainda julgavam, na ocasião da elaboração do texto, ser prematura a proposição de uma posição perfeitamente fundamentada acerca do parâmetro em questão.

Na realidade, o estabelecimento de um nível máximo recomendável para um determinado parâmetro, é tarefa muito difícil, pois o conhecimento acerca dos contaminantes da água é algo extremamente dinâmico e vem evoluindo continuamente. Assim sendo, as recomendações, as normas, os critérios, etc., devem ser dinâmicos e necessitam acompanhar o conhecimento do Homem, com o decorrer do tempo.

O efeito tóxico de substâncias químicas sobre o Homem é expresso, na maioria dos casos a partir de experiências com animais que receberam exposições muito superiores às quais pode ser exposto o Homem em condições normais. A patogênese química é diferente quando se trata do corpo de um animal ou do corpo do Homem, e, além do mais, se essa diferença relaciona-se com o aspecto quantitativo, não deve ser esquecido o aspecto qualitativo que varia também de indivíduo para indivíduo.

Em vista disso costumam-se introduzir fatores de segurança suplementares arbitrários, a fim de se compensar os aspectos desconhecidos.

A maior parte dos conhecimentos acerca da toxicidade, portanto, advém de observações clínicas (acidentes ou eventos históricos) e de experiências com animais.

TABELA 2.3 - Constituintes Orgânicos Relacionados com a Saúde (54)

CONSTITUINTE	UNIDADE	VALOR RECOMENDADO	OBSERVAÇÕES
Aldrin e Dieldrin	µg/ℓ	0,03	
Benzeno	µg/ℓ	10 ^(a)	
Benzo (a) pireno	µg/ℓ	0,01 ^(a)	
Tetracloroeto de Carbono	µg/ℓ	3 ^(a)	valor tentativo ^(b)
Chlordane	µg/ℓ	0,3	
Chlorobenzenos	µg/ℓ	não foi estabelecida recomendação relacionada com a saúde	limiar do odor entre 0,1 e 3 µg/ℓ
Clorofórmio	µg/ℓ	30 ^(a)	a desinfecção não deve ser comprometida com o controle do conteúdo de clorofórmio
Clorofenois	µg/ℓ	não foi estabelecida recomendação relacionada com a saúde	limiar do odor: 0,1 µg/ℓ
2, 4 - D	µg/ℓ	100 ^(c)	
DDT	µg/ℓ	1	
1, 2 - dicloroetano	µg/ℓ	10 ^(a)	
1, 1 - dicloroetano	µg/ℓ	0,3 ^(a)	
Heptachlor e Heptachlor epóxido	µg/ℓ	0,1	
Hexaclorobenzeno	µg/ℓ	0,01 ^(a)	
Gamma - HCH (lindano)	µg/ℓ	3	
Methoxychlor	µg/ℓ	30	
Pentaclorofenol	µg/ℓ	10	
Tetracloroetano	µg/ℓ	10 ^(a)	valor tentativo ^(b)
Tricloroetano ^(d)	µg/ℓ	30 ^(a)	valor tentativo ^(b)
2; 4; 6 Triclorofenol	µg/ℓ	10 ^(a) ^(c)	limiar do odor: 0,1 µg/ℓ ^(e)
Trihalometanos (THM)	--	não há recomendação estabelecida	

OBSERVAÇÕES:

- (a) Esse valor recomendado foi estabelecido em função de modelo matemático hipotético conservador que não pode ser confirmado experimentalmente. A incerteza envolvida pode ser de cerca de duas ordens de magnitude (isto é: de 0,1 a 10 vezes o número);
- (b) Quando os dados acerca de carcinogenicidade não permitem o estabelecimento de um valor para recomendação porêem os compostos são considerados de importância em água de consumo humano e a orientação é considerada essencial, um valor recomendado tentativo é estabelecido em função de dados disponíveis;
- (c) Pode ser detectado em baixas concentrações através do sabor e odor;
- (d) Esses compostos eram conhecidos como 1,1 dicloroetileno, tetracloroetileno e tricloroetileno, respectivamente.
- (e) Ver observação para clorofórmio

TABELA 2.4 - Constituintes Inorgânicos Relacionados com a Saúde (54)

CONSTITUINTE	UNIDADE	VALOR RECOMENDADO	OBSERVAÇÕES
arsênico	mg/l	0,05	
asbestos	--	não há recomendação estabelecida	
bario	--	não há recomendação estabelecida	
berílio	--	não há recomendação estabelecida	
cadmio	mg/l	0,005	
chromo	mg/l	0,05	
chumbo	mg/l	0,1	
flúor	mg/l	1,5	natural ou deliberadamente adicionado. Condições climáticas locais podem exigir adaptações
glicose	--	não há recomendação relacionada com a saúde	
zinco	mg/l	0,05	
mercúrio	mg/l	0,001	
nitrogênio	--	não há recomendação estabelecida	
nitrito	mg/l (N)	1,0	
nitrato	--	não há recomendação estabelecida	
selênio	mg/l	0,01	
estanho	--	não há recomendação estabelecida	
sódio	--	não há recomendação estabelecida	

TABELA 2.5 - Constituintes Radioativos (54)

CONSTITUINTE	UNIDADE	VALOR RECOMENDADO	OBSERVAÇÕES
atividade Alfa	Bq/l	0,1	a-) se o nível for ultrapassado são necessárias análises mais detalhadas acerca dos radionuclídeos b-) Níveis mais elevados não implicam necessariamente que a água não é adequada para o consumo humano
atividade Beta	Bq/l	1	

TABELA 2.6 - Qualidade Estética (54)

CONSTITUINTE OU CARACTERÍSTICA	UNIDADE	VALOR RECOMENDADO	OBSERVAÇÕES
Alumínio	mg/l	0,2	
Cloreto		2 50	
Clorobenzeno e Clorofenais	---	não há recomendação estabelecida	Esses compostos podem afetar gosto e odor
Cor	unidade de cor verdadeira	15	
Cobre	mg/l	1,0	
Detergentes	---	não há recomendação estabelecida	não deve haver problemas de formação de espuma ou de sabor e odor
Dureza	mg/l em CaCO ₃	500	
Sulfeto de Hidrogênio	---	nível não detectável pelos consumidores	
Ferro	mg/l	0,3	
Manganês	mg/l	0,1	
Oxigênio Dissolvido	---	não há recomendação estabelecida	
pH	---	6,5 - 8,5	
Sódio	mg/l	200	
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/l	1.000	
Sulfato	mg/l	400	
Sabor e odor	---	nível inofensivo à maioria dos consumidores	
Temperatura	---	não há recomendação estabelecida	
Turbidez	unidade nefelométrica de turbidez (NTU)	5,0	preferivelmente menor do que NTU, para garantir eficiência de desinfecção
Zinco	mg/l	5,0	

TABELA 2.7--Qualidade Microbiológica e Biológica (54)

ORGANISMO	UNIDADE	VALOR RECOMENDADO	OBSERVAÇÕES
I - QUALIDADE MICROBIOLÓGICA			
A - Abastecimento com água distribuída em canalizações			
A 1 - Água tratada, na entrada do sistema de distribuição			
coliformes fecais	nº/100 mL	0	turbidez < 1 NTU; para de sinfecção com cloro, pH preferivelmente < 8,0; clo ro livre residual: 0,2 a 0,5 mg/l após 30 min (mi nimo) de contato
coliformes totais	nº/100 mL	0	
A 2 - Água não tratada, na entrada do sistema de distribuição			
coliformes fecais	nº/100 mL	0	----- em 98% das amostras exami nadas durante o ano, nos grandes sistemas de abas tecimento, quando número adequado de amostras é e xaminado
coliformes totais	nº/100 mL	0	
coliformes totais	nº/100 mL	3	em amostras ocasionais, porém não em amostras con secutivas
A 3 - Água no sistema de distribuição			
coliformes fecais	nº/100 mL	0	----- em 95% das amostras exami nadas durante o ano, no caso de grandes sistemas de distribuição onde nº a dequado de amostras é exa minado
coliformes totais	nº/100 mL	0	
coliformes totais	nº/100 mL	3	em amostras ocasionais, porém não em amostras con secutivas
B - Abastecimento de Água não distribuída em canalizações			
coliformes fecais	nº/100 mL	0	----- não deve ocorrer repetida mente. Se ocorrer frequen temente e se não se pode melhorar a proteção sani tária deve-se buscar ou tra fonte de abastecimen to, se possível
coliformes totais	nº/100 mL	10	
C - Água Engarrafada			
coliformes fecais	nº/100 mL	0	a fonte deve ser isenta de contaminação fecal
coliformes totais	nº/100 mL	0	
D - Abastecimento de água de emergência			
coliformes fecais	nº/100 mL	0	avisar o público para fer ver a água em caso de fa lha no valor recomendado
coliformes totais	nº/100 mL	0	
enterovirus		não há recomendação estabelecida	

II - QUALIDADE BIOLÓGICA

protozoários (patogênicos)	-	não há recomendação estabelecida
helmintos (patogênicos)	-	não há recomendação estabelecida
organismos livres (algas, etc)	-	não há recomendação estabelecida

Para verificar se uma água é passível de ser utilizada para fins alimentares são necessárias observações acerca dos aspectos qualitativos e quantitativos relacionados com a presença de contaminantes químicos tóxicos ou microbiológicos.

O metabolismo da água no organismo é associado com substâncias minerais solúveis e a sua fisiopatologia não pode ser separada daquela do Cloro, do Sódio e do Potássio, etc.. Todos esses ions interferem no balanço hídrico e na regulação da pressão osmótica do corpo.

Com o que concerne a "elementos" não tóxicos, as restrições ficam mais relacionadas com as qualidades organolépticas, porém a situação é mais delicada quando se refere aos limites para elementos considerados tóxicos.

Se em princípio todo produto químico pode ser considerado como eventualmente tóxico, sua ação perigosa sobre o indivíduo só se manifesta sob certas situações de exposição que necessitam ser muito bem definidas e quantificadas. A toxicidade de um produto refere-se à rapidez da aparição da lesão, e sua gravidade é função da quantidade absorvida e da distribuição da dose ao longo do tempo. (45)

É do campo da toxicologia a responsabilidade de se definir as ações nefastas das substâncias sobre o Homem e seus descendentes, e também de precisar os efeitos agudos, crônicos e retardados.

Devem-se efetuar restrições qualitativas e quantitativas relacionadas com a presença de contaminantes, sob o ponto de vista de "risco aceitável". A vida humana se desenvolve em meio a riscos de toda a espécie. Naturalmente, as normas de potabilidade não conduzem à segurança absoluta. É impossível levar-se em conta todo o universo de substâncias e microrganismos existentes. (45)

É acerca do nível aceitável, portanto, e não sobre a total supressão do risco que deve ser efetuada a discussão. Essas palavras, contudo, "nível aceitável", são difíceis de serem admitidas para o caso. (45)

A fixação do nível aceitável de risco sanitário se compara a um estudo do tipo "custo/benefício".

As normas refletem não só os aspectos sanitários, mas também os aspectos políticos e administrativos, pois a opinião pública não tem sensibilidade idêntica em todos os países e mesmo em regiões particulares de um país.

Apesar de toda infundável discussão que pode ser estabelecida sobre os critérios, normas, padrões e recomendações acerca da qualidade da água para consumo humano, o ponto de convergência se situa na obrigação dos homens responsáveis pelo abastecimento de uma comunidade em fornecer a melhor água possível, sob todos os aspectos, e à custa de todos os esforços humanos e materiais, pois na relação custo/benefício, a palavra custo não só abrange o fator econômico, como também as VIDAS que podem ser eliminadas ou degradadas em consequência dos contaminantes que a água pode conduzir.

3 - QUALIDADE DA ÁGUA DOS MANANCIAIS

Entendendo-se a estação de tratamento como um sistema destinado a receber uma matéria-prima e transformá-la em um produto de boa qualidade, é muito importante que essa matéria-prima apresente uma série de requisitos que permitam efetuar a sua purificação dentro dos melhores princípios de segurança e através da maneira mais simples e econômica possível.

Como afirmado anteriormente, qualquer série de recomendações ou de critérios não consegue impor segurança absoluta ao consumidor e, da mesma forma, pode-se afirmar que não existe sistema de tratamento absolutamente infalível, pois, mesmo uma estação de tratamento muito complexa pode estar sujeita a acidentes e pode ser submetida a problemas imprevistos de contaminações acidentais no manancial utilizado.

Isso faz com que a escolha do manancial e a sua proteção sejam de importância extrema em um sistema de abastecimento de água.

Há necessidade de se procurar efetuar escolha de manancial mais apropriado com base em critérios técnicos e econômicos, levando-se em conta o conhecimento em nível adequado da capacidade e qualidade dos lençóis subterrâneos, rios, lagos, etc., considerando-se dados seguros que permitam inferir as condições do manancial escolhido para períodos, pelo menos de médio alcance.

A despeito do grande progresso das técnicas de tratamento de água superficial, sempre que possível, deve haver preferência pela água de lençol subterrâneo, pois esta, apesar de não ser quimicamente pura, de maneira geral elas não apresenta problemas relacionados com agentes patogênicos biológicos.

A Tabela 3.1 mostra alguns dados acerca da origem de águas distribuídas em diversos países da Europa (10). Note-se a preferência por água de lençol subterrâneo.

Na Tabela 3.2, são apresentadas resumidamente algumas considerações acerca da qualidade da água de mananciais superficiais e de mananciais subterrâneos.

Mesmo em países, como a França, em que a maior parcela da água distribuída provem de mananciais superficiais, constata-se que, em termos de número de comunidades, a porcentagem relativa a abastecimento com água subterrânea é significativamente superior.

Considerando-se um levantamento de 8.700 comunidades francesas, constata-se que, 7.800 (mais de 90%) são abastecidas unicamente com água subterrânea, através de cerca de 8.000 poços. A maior parte dessas águas é submetida à desinfecção e, em cerca de 26% dos casos também é efetuado tratamento corretivo (remoção de ferro e/ou neutralização (17)).

A possibilidade de ocorrência de contaminação de longa duração ou de contaminações acidentais de alta intensidade é muito menor no caso de se utilizar mananciais subterrâneos.

A bibliografia relata casos de contaminação de águas subterrâneas por metais pesados, pesticidas, hidrocarbonetos, alguns sais (KOH, Na₂SO₄), nitratos, etc., geralmente em decorrência de atividades agrícolas, industriais e de disposição de esgotos no solo, (27) porém essas situações são muito menos frequentes do que aquelas associadas a mananciais superficiais.

Estudos efetuados na França (02) demonstram que as contaminações acidentais à montante de estações de tratamento de água exigem a tomada de uma série de medidas preventivas e corretivas para atenuar a gravidade do problema.

De maneira geral, naquele país, as indústrias são responsáveis por cerca de 54% dos casos de contaminação acidental, as atividades de particulares, por sua vez causam 30% dos eventos e as atividades urbanas e atividades agrícolas, 5% e 11%, respectivamente. O dado mais impressionante é que em 69% dos casos, os eventos foram causados por atos voluntários e em 20% por atos involuntários. O restante foi causado por acidentes em estradas (1,4%), por acidentes de navegação (1%) e por causas imprecisas.

Em 361 casos reportados, uma centena provocou efeitos sobre as estações de tratamento de maneira a exigir atitudes como: modificação do fluxograma, abandono das instalações (38%), inclusão de tratamentos extras, etc..

Entre as medidas preventivas, destacam-se:

- organização de programa geral de educação, pois mais de 50% dos casos ocorrem de atos voluntários (agir com pessoal que manuseia, transporta, armazena produtos perigosos e também com a população em geral);
- desenvolvimento de serviços de coleta e de destruição controlada de produtos perigosos;
- normalização de métodos de produção, armazenamento e transporte de produtos perigosos;
- regulamentação de itinerários para transporte de produtos perigosos na bacia do manancial;
- impedir ou impor restrições para instalação de indústrias ou de outras atividades perigosas à montante da tomada de água;
- inspeção regular às instalações perigosas existentes à montante da captação;
- estabelecimento de lista de substâncias perigosas usadas ou produzidas na bacia, e obtenção de bibliografia para conhecer suas propriedades e meios de análise;

TABELA 3.1 - Porcentagem de Água Subterrânea e de Superfície Consumidas em Alguns Países (10)

PAÍS	ÁGUA SUBTERRÂNEA			ÁGUA DE SUPERFÍCIE
	CAPTAÇÃO COM BOMBEAMENTO	MINAS	TOTAL	
Áustria	47	52	99	1
Alemanha (oriental)	75	17	92	8
Luxemburgo	0	90	90	10
Itália	55,4	33,3	88,7	11,3
Hungria	--	--	88	12
Países Baixos	80	0	80	20
Alemanha (ocidental)	--	--	80	20
Bulgária	--	--	80	20
Suiça	44	31	75	25
Bélgica	73	0	73	27
URSS	--	--	70	30
Tchecoslováquia	--	--	58	42
Polônia	--	--	50	50
França	30	16	46	54
Suiça	44	0	44	56
Grã-Bretanha	--	--	34	60
Finlândia	--	--	30	70
Espanha	27	2	29	71
Noruega	--	--	5	95

TABELA 3.2 - Principais Características de Águas Superficiais e Subterrâneas (09)

CARACTERÍSTICA	ÁGUA SUPERFICIAL	ÁGUA SUBTERRÂNEA (profunda)
temperatura	variável	relativamente constante
turbidez e matéria em suspensão	variável, às vezes elevadas	baixas ou quase nulas
mineralização	variável em função do solo, chuvas, lançamentos de despejos, etc	sensivelmente constante, geralmente mais elevada que a das águas de superfície da mesma região
ferro e Manganês (solúveis)	geralmente ausente, salvo em corpos d'água em estado de eutrofização	geralmente presentes
O ₂ agressivo dissolvido	geralmente ausente presente	frequentemente presente ausência total na maior parte do tempo
amônia	somente presente em águas poluídas	presença frequente
S	ausente, somente presente em casos de água estagnadas e ricas em matéria orgânica	frequentemente presente
nitrita	concentração moderada	concentração frequente elevada
nutrientes	pouco abundantes em geral	algumas vezes as concentrações são elevadas. Riscos de Metahemoglobinemia
patógenos	bactérias, vírus, plancton, etc.	ferrobactérias
poluentes e Micropoluentes Orgânicos e minerais relacionados com as atividades humanas	riscos importantes	riscos pequenos
fluoretos	concentração bastante baixa	às vezes ocorrem concentrações muito elevadas e perigosas

- levantamento de dados acerca de eventuais acidentes ocorridos com estes produtos em outros locais.

Partindo-se da hipótese de que podem existir falhas (mesmo que de curta duração) em estações de tratamento ou deficiências crônicas de projeto ou operacionais, é desejável que a água bruta apresente características mais próximas possíveis às desejáveis para a água que será distribuída. Além do mais, as estações de tratamento convencionais ou simplificadas apresentam certas limitações em relação a remoção de alguns contaminantes que exigem a inclusão de produtos, processos ou operações adicionais ou substitutivos para que realmente se consiga atingir a qualidade desejável da água tratada.

Existem estudos que apresentam critérios que foram estabelecidos com base na experiência de grupos de especialistas e em ocorrências históricas, que sugerem a imposição de determinadas restrições fundamentadas em fatos anteriores, através dos quais foi tomado conhecimento do perigo potencial ou efetivo da presença, acima de determinados níveis, de eventuais compostos ou microrganismos.

Um desses estudos, encontra-se apresentado na obra "REPORT OF THE COMMITTEE ON WATER QUALITY CRITERIA", re-impressa pela Environmental Protection Agency EPA - 1972, e elaborado sob a assistência técnica da Federal Water Pollution Control Administration - USA.

Um resumo desses critérios referentes a alguns parâmetros que caracterizam a qualidade da água bruta destinada para tratamento convencional é apresentado na Tabela 3.3.

Entenda-se nesse caso, por tratamento convencional, o tratamento através de coagulação - floculação com sulfato de alumínio, sulfato férrico, com ou sem adição de alcali, floculação, sedimentação (6 h ou menos), filtração rápida e desinfecção com cloro.

Nessas considerações não se incluem nem mesmo os usos de carvão ativado nem o de auxiliares de coagulação e/ou floculação.

TABELA 3.3 - Critérios Relativos a Alguns Parâmetros Característicos de Qualidade da Água Bruta (Water Quality Criteria - EPA)

CONSTITUINTE ou CARACTERÍSTICA	QUANTIDADES PERMISSÍVEIS
Coliformes	10.000/100 ml
Coliformes fecais	2.000/100 ml
Amônia	0,5 (como N) mg/l
Arsênico*	0,05 mg/l
Bário*	1,0 mg/l
Boro*	1,0 mg/l
Cádmio*	0,01 mg/l
Cloretos*	250 mg/l
Cromo* hexavalente	0,05 mg/l
Cobre*	1,0 mg/l
Oxigênio dissolvido	≥ 4 (média mensal) e ≥ 3 (amostra individual)
Ferro (filtrável)	0,3 mg/l
Chumbo*	0,05 mg/l
Manganês* (filtrável)	0,05 mg/l
Nitratos + Nitritos*	1,0 (como N) mg/l
pH	6,0 a 8,5
Selênio*	0,01 mg/l
Prata*	0,05 mg/l
Sulfatos*	250 mg/l
Sólidos Totais Dissolvidos*	500 mg/l
Zinco*	5,0 mg/l
CCE*	0,15 mg/l
Cianetos*	0,20 mg/l
Óleos e Graxas*	virtualmente ausentes
<u>Pesticidas*</u>	
Aldrin	0,017 mg/l

CONSTITUINTE ou CARACTERÍSTICA	QUANTIDADES PERMISSÍVEIS
Chlordane	0,003 mg/l
DDT	0,042 mg/l
Dieldrin	0,017 mg/l
Endrin	0,001 mg/l
Heptachlor	0,018 mg/l
Heptachlor epoxi	0,018 mg/l
Lindane	0,056 mg/l
Methoxychlor	0,035 mg/l
Organofosforados	
Carbonatos	0,1 mg/l
Toxaphene	0,005 mg/l
<u>Herbicidas*</u>	
2,4 - D +	
2,4,5-T +	
2,4,5-TP	0,1 mg/l
Fenois	0,001 mg/l
<u>Radioatividade*</u>	
Beta	1.000 pc/l
Radio 226	3 pc/l
Estrôncio 90	10 pc/l

OBS:- Os itens marcados (*) sofrem apenas pequenas reduções através do tratamento de água convencional, segundo a EPA (1.972).

É muito comum o fato de se classificar as águas superficiais, no sentido de estabelecer seu controle e de definir orientação inicial para o nível de seu tratamento necessário.

Na Europa, por exemplo, as águas superficiais, de maneira geral são classificadas em três níveis de qualidade decrescente em função de valores obtidos para cerca de 50 parâmetros (I, II e III), correspondendo a valores limites de concentração A1, A2 e A3. Para a classe 3 exige-se tratamento mais complexo, como tratamento físico químico, pré-cloração, adsorção em carvão ativado e desinfecção final. As águas que não respeitam os níveis recomendados para a classe 3, não podem ser utilizadas para fins alimentares, a não ser em casos excepcionais. (18)

Nas Tabelas 3.4 e 3.5 são mostradas, respectivamente, a frequência e as análises recomendadas para cada categoria referida anteriormente.

TABELA 3.4 - Frequência Mínima Anual de Amostragem (18)

POPULAÇÃO	A1 ^x			A2 ^x			A3 ^x		
	I ^{xx}	II ^{xx}	III ^{xx}	I ^{xx}	II ^{xx}	III ^{xx}	I ^{xx}	II ^{xx}	III ^{xx}
≤ 10.000	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	2	1	xxx
> 10.000	1	1	xxx	2	1	xxx	3	1	1
≤ 30.000	2	1	xxx	4	2	1	6	2	1
> 30.000	3	2	xxx	8	4	1	12	4	1

x Qualidade de águas superficiais

xx Classificação dos parâmetros com base na frequência

xxx Frequência estabelecida por autoridades nacionais

TABELA 3.5 - Categoria das Análises (18)

I PARÂMETROS	II PARÂMETROS	III PARÂMETROS
pH	Ferro Dissolvido	Fluoretos
Cor	Manganês	Boro
Material em Suspensão	Cobre	Arsênio
Temperatura	Zinco	Cádmio
Condutividade	Sulfatos	Cromo Total
Odor	Tensoativos	Chumbo
Nitratos	Fenóis	Selênio
Cloratos	N. Kjeldahl	Mercúrio
Fosfatos	Coliformes Totais	Bário
DQO	Coliformes Fecais	Cianeto
DBO ₅		Hidrocarbonetos
Amônia		Pesticidas
Taxa de Saturação de O ₂		Substâncias Extratíveis com Cloro- fórmio
		Salmonellas
		Streptococcus Fecais
		Compostos Aromáticos Policíclicos

É impossível uma abordagem completa acerca do problema relacionado com a escolha do manancial, porém através dos dados apresentados fica evidente que essa etapa dos trabalhos, que precede e/ou acompanha a concepção de uma estação de tratamento é extremamente importante para que se alcance a solução mais segura e mais econômica.

Não há dúvida que a boa qualidade da matéria-prima é um elemento decisivo para que se alcance um produto de boa qualidade.

4 - CONSIDERAÇÕES SOBRE CAUSAS DE DANOS A SAÚDE DO CONSUMIDOR

O número de comunidades que recebe água com características que não respeitam as recomendações acerca da qualidade da água para consumo humano, ainda é bastante elevado, mesmo em países desenvolvidos. Essa situação prevalece em comunidades de tamanho modesto, porém também ocorre em outras que já possuem população significativa.

Na maior parte dos casos, o desrespeito mais comum refere-se à qualidade bacteriológica e biológica da água que chega às residências.

Esses problemas são dramaticamente mais acentuados em países do terceiro mundo, porém nesses países existem poucos dados compilados a respeito do assunto. Por isso, no presente trabalho serão apresentados apenas dados referentes a países desenvolvidos, que possuem levantamentos mais detalhados acerca de falhas que levam a ocorrência de danos ao consumidor.

Durante 1.983 e 1.984, foi feito um estudo epidemiológico (56) envolvendo 50 pequenas comunidades francesas, com o objetivo de avaliar o risco relacionado com o consumo de água que não respeita os padrões bacteriológicos. A amostra populacional constituiu-se de 30.000 habitantes, incluindo 2.100 crianças de 7 a 11 anos.

A frequência de problemas intestinais foi significativamente

maior nas crianças e na população como um todo, nas comunidades cuja água desrespeitava os padrões regularmente (pelo menos 46% das amostras de água continham pelo menos um coliforme ou um streptococcus fecal por 100 ml) do que nas comunidades cuja água se encontrava mais enquadrada nesses padrões (menos que 29% das amostras encontravam-se contaminadas). Verificou-se que o risco cresce com a magnitude da contaminação da água, principalmente quando essa contaminação é medida em termos de contagem de streptococcus fecais.

Nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3, são mostrados dados levantados nos Estados Unidos (03) acerca da etiologia de ocorrências de origem hídrica e das deficiências que levaram dano ao consumidor.

Note-se que a grande maioria ocorreu em função de infecções por microrganismos transportados pela água e apenas parcela reduzida foi consequência da contaminação com compostos químicos. Verifica-se também que a incidência de Giardíase foi bastante acentuada, seguindo imediatamente após a de doenças intestinais agudas.

Teoricamente um cisto de Giardia pode iniciar uma infecção, e existem estudos que provam que na prática cerca de 10 cistos já podem iniciar a infecção.

TABELA 4.1 - Etiologia de Ocorrências de Origem Hídrica nos Estados Unidos - 1.972 - 1.981

ETIOLOGIA	NÚMERO DE INCIDENTES EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO QUE CAUSAM A INFECÇÃO	Nº DE CASOS
Doenças Intestinais agudas	183	37.069
Giardíase	50	19.863
Envenamento (químico)	41	3.717
Shigelose	22	5.105
Hepatite	10	282
Salmonelose	11	1.150
Gastroenterite (virus)	11	4.908
Febre Tifóide	4	222
Gastroenterite (Campylobacter)	4	3.902
Gastroenterite (E. coli)	1	100
Cólera	1	17
TOTAL	335	77.235

FONTE (03)

TABELA 4.2 - Deficiências em Sistemas de Abastecimento dos Estados Unidos que Causaram infecções de origem hídrica (1.946 - 1.980)

CLASSIFICAÇÃO	DEFICIÊNCIA DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO	PORCENTAGEM DE CASOS
1	Água Subterrânea não tratada e contaminada	35,3
2	Tratamento inadequado ou interrompido	27,2
3	Problemas na rede de distribuição	20,8
4	Água Superficial não tratada, Contaminada	8,3
5	Miscelânea	8,3

FONTE (03)

TABELA 4.3 - Deficiências do Sistema de Abastecimento que Causaram a Ocorrência de Giardíase nos Estados Unidos (1.965 - 1.980)

DEFICIÊNCIA	Nº DE INCIDENTES	Nº DE CASOS
Água Superficial sô Clorada	18	10.045
Água Superficial não Tratada	10	312
Filtração Ineficiente	5	6.981
Água Subterrânea não Tratada	2	19
Água Subterrânea sô Clorada	1	123
Interconexão	3	2.209
Reservatório Contaminado	1	5
Desconhecida	1	19
Desinfecção Interrompida de Fonte	1	15
TOTAL	42	19.728

FONTE (03)

Outro fato interessante pode ser constatado através de observação da Tabela 4.2. As deficiências de sistemas de abastecimento que predominaram como causas de infecções de origem hídrica, recaíram, em ordem decrescente, respectivamente a: água subterrânea não tratada e contaminada, tratamento inadequado ou interrompido e problemas na rede de distribuição.

Por sua vez, as deficiências que levaram a ocorrência de Giardíase, recaíram principalmente sobre: água superficial sô clorada, filtração deficiente e interconexões.

Na Tabela 4.4, são apresentados dados acerca da ocorrência de hepatite em diversas cidades dos Estados Unidos, em 1.953, (apud 24), assim como dados acerca de turbidez, contagem de bactérias e cloração.

TABELA 4.4 - Qualidade da Água Filtrada, incidência de hepatite (1.953) em diversas cidades dos Estados Unidos. (24)

CIDADE	TURBIDEZ MÉDIA (ntu)	CONTAGEM DE BACTÉRIAS PORÇÕES POSITIVAS (%)		mg/ℓ CLORAÇÃO		CASOS DE HEPATITE EM 100.000 PESSOAS
		Presuntiva	Confirmada	pré	pós	
E			0,05	4,0	0,2	0
F		0,8	0,14	8,5	0,5	2,4
G	0,15	0,15	0,08	6,0	0,1	3,0
C	0,10		0	1,0	0,3	4,7
H	0,25	12	0,01	7,0	0,3	4,9
I		16	0	2,4	1,5	5,1
B	0,2	15	0	1,6 ^a		8,6
J		0	0	0,75	1,0	11,5
K		1,0	0,03	4 ; 9	0,4	12,5
L		4,5	1,25	0	0,3	17,3
M	0,3			4,3	0,4	31,0
A	1,0	7,1	0,05	3,6	0,7	130

a: Não esclarecido se é feita pós ou pré-cloração

O Comitê da AWWA (06) de estudos acerca de ocorrências de doenças através de água de abastecimento nos Estados Unidos e no Canadá, em 1.981, elaborou relatório, cujos principais resultados destacam-se a seguir:

- A desinfecção simples como único tratamento de água de manancial é ineficiente para evitar a transmissão de Giardia. Toda água da superfície deve receber pré-tratamento e filtração, além da desinfecção;
- Filtros de pressão e de gravidade com leito de areia provaram ser ineficientes na remoção dos cistos de Giardia, quando a operação não é boa. Esse fato ocorreu principalmente onde a turbidez da água era baixa e em que não era usado coagulante;
- A remoção dos cistos de Giardia é conseguida em filtros de gravidade, mas a água precisa efetivamente passar por pré-tratamento antes da filtração. Por pré-tratamento efetivo entende-se coagulação, floculação e sedimentação, antes da filtração ou, se não for usada decantação, há necessidade de se usar produtos apropriados para o condicionamento da água ou do meio filtrante;
- Ocorreram casos de Giardia, mesmo em instalações em que a turbidez respeitava limites recomendados;
- A água de superfície só pode ter sua qualidade assegurada pela existência de instalação de filtração bem projetada e bem operada, empregando coagulantes ou auxiliares de filtração, além da desinfecção;
- Ocorreram infecções em consequência de microrganismos na água, mesmo em casos em que ficou comprovada a ausência de coliformes;
- É mais importante conhecer a fonte da água e as fontes potenciais de contaminação, para se promover a proteção do manancial e o devido tratamento, do que se basear apenas em resultados de NMP de coliformes;
- Em alguns casos, indicadores indiretos dos padrões microbiológicos como a análise de cloro residual, podem ser mais importantes para evitar "oritbreaks" do que o controle de coliformes;
- Infecções por vírus ocorreram por causa de contaminação dos sistemas de distribuição, desinfecção inadequada ou interrompida ou pelo não tratamento da água de mananciais contaminados;
- Os sistemas de abastecimento de água devem ter condições para ter água não agressiva em todas as partes que o compõem.

5 - CONTAMINANTES DA ÁGUA: CARACTERÍSTICAS E REMOÇÃO

5.1 - GENERALIDADES

É impossível reunir-se em um só artigo, dados acerca dos principais contaminantes passíveis de serem encontrados em águas para abastecimento.

No presente trabalho, portanto, será feita apenas uma abordagem geral, acerca dos parâmetros de qualidade da água mais importantes.

Serão apresentados comentários acerca de alguns parâmetros relacionados com a qualidade estática e organoléptica da água, qualidade microbiológica e biológica da água e com contaminantes orgânicos e contaminantes inorgânicos.

5.2 - QUALIDADE ESTÉTICA E ORGANOLÉPTICA

Apesar de ser considerada em segundo plano, a qualidade estética e organoléptica de uma água pode ter uma influência muito importante na aceitação de uma água pelo consumidor, pois a primeira análise que esse faz da mesma, relaciona-se justamente com o seu aspecto, o seu sabor e o seu odor. Esse fato pode fazer, inclusive, que o consumidor venha a abandonar o uso de uma água

segura, porém de estética desagradável, por uma água contaminada que apresente-se mais atraente aos seus sentidos.

Por outro lado na quase totalidade dos casos, para uma água tratada (incluindo desinfecção) a "ausência" de cor, de turbidez e de odor pode significar, em termos relativos, a potencialidade extremamente baixa de ocorrência de microrganismos patogênicos. Veja-se por exemplo, a Tabela 4.4, na qual vê-se claramente a relação entre a turbidez da água filtrada e a ocorrência de hepatite.

Por isso, é sempre desejável que uma água distribuída apresente os mínimos níveis possíveis de cor e de turbidez.

Naturalmente, existem outros parâmetros, além de turbidez, cor, odor e sabor, que interferem na qualidade organoléptica e/ou estética da água, tais como: residual de Alumínio (pós-precipitação no sistema), cloretos, Cobre, detergentes, Dureza, H_2S , Ferro, Manganês, Oxigênio dissolvido, pH Sódio, Sólidos Dissolvidos. Sulfatos, temperatura, Zinco, etc..

A pós-precipitação em sistemas de distribuição é fator que deteriora sensivelmente a qualidade da água que, sai da estação de tratamento.

A água não deve ser corrosiva nem encrustante (nesse caso há precipitação de $CaCO_3$), nem deixar depósitos nas tubulações, reservatórios, etc. que sejam do sistema público quer seja em instalações domiciliares.

Há um número enorme de "reações" que provocam pós-precipitação no sistema de distribuição entre as quais destacam-se aquelas relacionadas com: Carbonato de Cálcio, Alumínio, Ferro, Chumbo, Zinco, Magnésio, Manganês, polielitrolitos e também a produção eventual de lodo contendo elevadas densidades de microrganismos que se adaptam ao meio. (16)

O alumínio tem acesso ao sistema de distribuição em função da coagulação-floculação pobre ou superdosagem de sulfato de alumínio, filtração deficiente, pós-cloração, ou pelo ajuste final do pH visando a estabilização da água (ao se elevar o pH pode-se reduzir a salubridade do alumínio, provocando a formação de compostos que precipitam).

Os complexos de alumínio podem depositar-se nas paredes dos tubos dos mais diferentes materiais, provocando a redução de sua seção de escoamento.

Esse tipo de problema ocorre principalmente em sistemas que visam a remoção de cor, que, em muitos casos exigem elevadas dosagens de sulfato de alumínio, em pH ácido.

Como nos casos em que a água apresenta cor elevada, a sedimentação pode eventualmente apresentar-se deficiente, existe a possibilidade de arraste acentuado de minúsculos flocos até os filtros. Esses flocos sendo pobres podem "atravessar" os filtros, quando a operação e/ou o projeto dos mesmos não são adequados à situação.

Ensaio efetuados com animais expostos à ingestão de alumínio demonstraram que nesses casos houve correlação entre essa ingestão e a ocorrência de distúrbios neuropatológicos (apud 16). Evidências recentes, estimulam as especulações sobre a adversidade do alumínio, e concluem que há relações entre alumínio e certos tipos de encefalopatias (apud 16).

Davison (apud 16) observou problemas em pacientes submetidos à diálise, quando o fluido continha 80 μg de alumínio por litro. A remoção de alumínio, antes de diálise reduziu os sintomas observados.

McDougal (apud 16) incorporou literatura acerca da síndrome de alumínio relacionada com anemia do alumínio, encefalopatia, osteomalacia e cardiotoxicidade. Observou-se que dosagem de alumínio livre de 10 a 100 mg/l em dietas provocaram mais problemas adversos em pessoas com disfunções metabólicas. (apud 16)

Residuais de polímeros que alcançam a rede pública podem continuar suas ações provocando floculação de partículas que se encontram no meio. O produto dessa ação se agrega às paredes dos tubos aumentando sua rugosidade ou se deposita em locais em que ocorre baixa velocidade. Em alguns casos, utiliza-se os polímeros com o objetivo inverso, ou seja introduz-se polímeros (anionicos ou catiônicos) na rede visando a redução da rugosidade das paredes, pelo menos temporariamente. (16)

QURESHI et al (36), através de estudo em estação-piloto em estação de tratamento de água de Minneapolis - USA, observaram que a forma mais promissora para diminuir a concentração de alumínio na água tratada é a substituição parcial da dosagem de sulfato de alumínio por cloreto férrico.

A substituição de pelos menos metade da dosagem de sulfato de alumínio, por cloreto fêrrico reduziu o residual de alumínio e aumentou a capacidade de filtração.

A dureza elevada além de provocar os problemas já conhecidos, também pode fornecer à água, propriedades organolépticas que passam a ser sentidas pelo consumidor. Portanto, acima de certos níveis, já se exige sua remoção através de um dos métodos que a bibliografia sobre o assunto apresenta de maneira bastante detalhada.

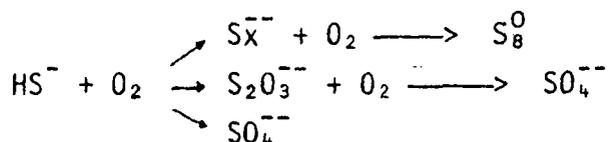
Os cloretos podem ser removidos passando-se a água através de colunas de zeólitos para permuta de Hidrogênio por todos os cátions (desmineralização) e em seguida passando-se a água em coluna com material de troca fracamente básico para retirada de ânions.

Para dessalinização da água, pode-se ainda, utilizar as seguintes alternativas: evaporação, destilação solar, congelamento, e eletrodialíse.

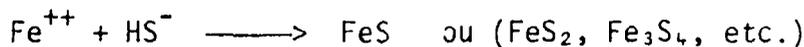
O H_2S , além de ter seu limiar de odor em torno de concentrações de 0,004 mg/l apresenta propriedades relacionadas com corrosão e toxicidade em concentrações muito elevadas.

Sua remoção pode ser efetuada empregando-se uma ou mais alternativas mostradas a seguir. (19)

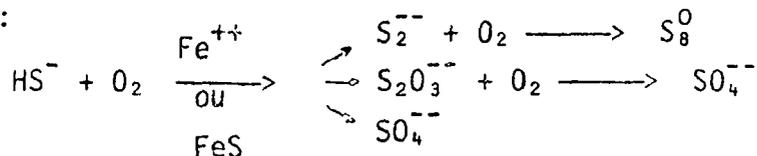
oxidação com ar:



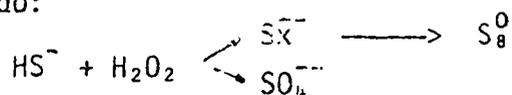
precipitação:



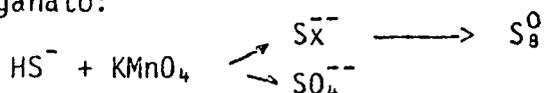
oxidação catalítica:



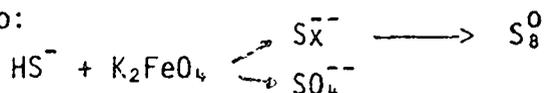
oxidação com peróxido:



oxidação com permanganato:



oxidação com ferrato:



DOHNALEK et al (19) estudaram a remoção de H_2S de águas subterrâneas empregando-se diversos catalizadores e oxidantes (ozônio, cloro, H_2O_2 e $KMnO_4$) em ensaios de laboratório.

O uso de sulfato ferroso mostrou ser a solução mais econômica, em relação ao uso de peróxido, permanganato e ferrato.

Com excesso de Ferro e de Manganês, os outros metais que provocam deterioração da qualidade estética são introduzidos na água como consequência da corrosão no sistema de distribuição e nos sistemas internos das edificações. Neste caso basta que na estação de tratamento de água sejam introduzidos meios para o condicionamento adequado da água tornando-o estável e não corrosiva.

Para a remoção de Ferro e de Manganês, são conhecidos muitos processos, detalhados precisamente na bibliografia técnica. Nas Tabelas 5.1 e 5.2, são apresentadas algumas sugestões de operações e processos usuais para esse fim.

TABELA 5.1 - Remoção de Ferro e Manganês para Águas Subterrâneas. FONTE (13)

CONCENTRAÇÃO APROXIMADA (Fe + Mn) (mg/L)	FLUXOGRAMA TRADICIONAL PARA TRATAMENTO
> 10	Aeração, adição de produtos químicos + mistura + sedimentação + filtração (usualmente com pH elevado ≈ 9)
2 - 10	Aeração + adição de produtos químicos + detenção + filtração
< 2	Aeração + adição de produtos químicos + floculação (em alguns casos, filtração direta sem floculação)
< 1	Adição de polifosfato para inibir deposição
< 0,5	Concomitantemente com abrandamento por resina trocadora

TABELA 5.2 - Processos para Remoção de Ferro e Manganês de Água. FONTE (07)

Tipo da água	Processo de tratamento ^b	Equipamentos ^b	pH	Coagulantes	Oxidação	Observações
Sólido ferro. Matéria orgânica não apreciável	A Sd SF	A SB SF	acima 6,5	nenhum	sim	Fácilmente operado
Ferro e manganês fracamente ligados a matéria orgânica. Matéria orgânica ou ácidos orgânicos não explosivos	A CO Sd SF	Aerador de contato ou pirolusita moída SB SF	acima 6,5	nenhum	sim	Bombeamento duplo, facilmente controlado.
Ferro e manganês ligados a matéria orgânica. Matéria orgânica não excessiva.	A CF	A e leito de areia revestida de manganês "Birm", calcáreo-pulverizado ou zeólito de manganês	acima 6,5 ±	nenhum	sim	c
Ferro e manganês ligados a matéria orgânica. Dióxido de carbono ou ácido orgânico não excessivo.	CF	Leito filtrante de areia revestida de manganês, "Birm" calcáreo pulverizado ou zeólito de manganês	acima 6,5	nenhum ^d	*	Bombeamento único, desnecessária aeração.
Ferro e manganês fracamente ligados a matéria orgânica	A L Sd SF	Aefiaz. Dosador de cal e tanque de mistura. SB SF	8,5-9,6	Cal	sim	Necessário controle do pH
Água de superfície, turba, colorida, mais ferro e manganês com matéria orgânica	A Co L Sd SF	Estação convencional de filtro rápido	8,5-9,6	f	sim	Necessário controle completo de laboratório
Água de poço isenta de oxigênio, com menos de 1,5 e 2,0 ppm de ferro e manganês	Z	Unidade convencional de zeólito de sódio, com zeólito de manganês ou equivalente para tratar a água desviada	acima 6,5 ±	s	não	h
Água branda de poço isenta de oxigênio com ferro como bicarbonato ferroso	L Sd SF	Dosador de cal tanques de mistura e decantação, e filtro de pressão	8,0-8,5	cal	não	i

* -- Condensado segundo C.R. Cox. Water Supply Control, N. Y. State Dept. Health, Bull. 22.

b -- A = aeração; Sd = sedimentação; SF = Filtração em areia; CO = oxidação por contato; CG = filtração por contato; C = cloração; J = tratamento pela cal; Co = coagulação; Z = zeólito ou troca de base; SB = tanque de decantação.

c -- Necessário bombeamento duplo a menos que seja usado compressor de ar ou "válvula de aspiração" para forçar ar dentro da água. Adequado suprimento de ar. Facilmente controlado.

d -- Leito filtrante reativado ou oxidado a intervalos com cloro ou permanganato de sódio.

e -- Sim porém não por aeração.

f -- Cal e clorato férrico ou sulfato férrico ou caparrosa clorada, ou cal e caparrosa.

g -- Nada é adicionado continuamente, porém o leito é regenerado a intervalos com solução salina.

h -- Apenas compostos ferroso e manganoso solúveis podem ser removidos por troca de base; assim, não é necessário aeração ou bombeamento duplo.

i -- A precipitação do ferro na ausência do ar ocorre a pH mais baixo que no uso contrário. A carência de oxigênio minimiza ou evita a corrosão. Não é necessário bombeamento duplo.

5.3 - QUALIDADE MICROBIOLÓGICA E BIOLÓGICA DA ÁGUA

A qualidade microbiológica da água distribuída geralmente é controlada indiretamente através da detecção de organismos coliformes, porém a qualidade biológica (protozoários, helmintos, algas, etc.) é muito mais difícil de ser controlada, pois exige, principalmente especialistas capazes de detectar, classificar e contar esses organismos através de técnica de microscopia e de muita paciência.

Para a qualidade biológica, a OMS ainda não apresentou níveis recomendados dada a dificuldade de se estabelecê-los e dada a necessidade de se obterem ainda mais informações a respeito do assunto.

A presença de coliformes em número elevado indica perigo potencial ao consumidor e é exigido tratamento mais complexo que o convencional quando esse número ultrapassa 20.000 a 30.000 por 100 ml. Por outro lado, a densidade baixa de coliformes, mesmo em água de valores pequenos de turbidez (menor que 1 UT) não asseguram totalmente a qualidade microbiológica e biológica (principalmente) da água.

REILLY e KIPPIN (39) estudando as relações entre contagem total de bactérias, coliformes, turbidez e cloro residual concluíram que uma flora microbiológica estava estabelecida ao longo dos sistemas de distribuição pesquisados. Nesses casos não foi possível definir-se relações entre o número total de bactérias (contado em placas), número de coliformes e cloro residual.

Constatou-se que mesmo em situações em que a água recebe dosagens elevadas de cloro, pode ocorrer a existência de "habitats" estabelecidos em locais espalhados pelo sistema de distribuição. Assim sendo, apesar de a água ter recebido desinfecção aceitável nas estações de tratamento, podem ser isolados diferentes tipos de microrganismos incluindo-se coliformes.

Vale destacar que os coliformes isolados nessa pesquisa encontravam-se encapsulados em camada de polissacarídeos. Essa capacidade de encapsulamento não é exclusiva de coliformes, sendo que muitos microrganismos de solo e de água desfrutam dessa possibilidade.

Além disso, sabe-se que basta um microrganismo encapsulado se fixe em um local, para que se forme uma microcolônia com a eventual possibilidade de haver a proteção de outros microrganismos diferentes.

O cloro apresenta baixa eficiência contra helmintos, protozoários, Giardia, etc., o que acaba por exigir a inclusão de pelo menos a filtração rápida (precedida por pré-tratamento, com coagulantes e/ou auxiliares) no fluxograma de uma estação de tratamento de água de manancial superficial.

O filtro lento é capaz de reter esses organismos; se bem projetado e bem operado.

Os protozoários podem ser eliminados mediante o tratamento convencional de água, porém são resistentes à cloração. Através de cloração ao "break point" eles morrem em residual de cloro livre de 2,0 mg/l, com tempo de detenção da 30 minutos. (47)

CULP (apud 24) sugere que para se efetuar a inativação dos vírus com pré-cloração é necessário respeitar as seguintes condições:

- Turbidez de água menor que 1,0 UJ, e preferivelmente, menos que 0,1 UJ;
- pH deve estar próximo a 7,5 se a água contém amônia e menor que 7,0 se a água não contém amônia;
- A mistura do cloro na água deve ser rápida;
- Concentração de 0,5 a 1,0 mg/l de HOCl deve ser mantida pelo menos durante 30 min.

Felizmente o tratamento convencional de água (coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção) e o uso de filtração lenta podem ser eficazes em sua remoção, desde que o sistema tenha sido bem projetado e que seja bem operado. (30)

Naturalmente, a Giardíase pode ser transmitida por outros vetores, porém nos anos mais recentes a ocorrência de Giardíase através da água tem sido acentuada nos Estados Unidos, fazendo com que as entidades sanitárias

dedicassem muitas pesquisas a esse respeito.

A cloração (0,5 mg/l) como forma de tratamento de uma água, mesmo que ela seja esteticamente muito atrativa, é totalmente ineficiente.

Radiação Ultravioleta, para promover a desinfecção tem demonstrado eficiência adequada na remoção de Giardia e de seus cistos.

Afirma-se que a boa coagulação é a chave da remoção de Giardia. (30)

Foi observado com certa frequência, a ocorrência de giardíase em sistemas em que a turbidez obedecia ao mínimo adequado para a desinfecção, e até mesmo em casos em que o padrão bacteriológico, em termos de coliformes era respeitado. (06)

Em certos casos é mais importante o controle de residual de cloro do que o controle do padrão bacteriológico.

BRAIDECH et alii (12), estudando casos de Giardíase provocados por falhas de um sistema de abastecimento de água concluíram, que deve-se promover "multi-barreiras" no sistema de tratamento de água e que o emprego de pré-tratamento adequado (coagulação-floculação) é fundamental para se obter boa segurança.

Na Tabela 5.3, são apresentados alguns dados acerca da remoção de microrganismos patogênicos através de diferentes processos e operações. (03)

Note-se que sempre que possível o armazenamento temporário (mais de 5 dias) de água antes de encaminhá-la a uma estação de tratamento deve ser adotado, pois além do efeito mostrado na Tabela 5.3, não deve ser esquecido o fato de se ter certa quantidade de água armazenada caso ocorram contaminações acidentais a montante da captação da água.

TABELA 5.3 - Eficiência Esperada para Operações Utilizadas em Tratamento de Água, na Remoção de Microrganismos Patogênicos (apud 03)

OPERAÇÃO E/OU PROCESSO	REMOÇÃO DE BACTÉRIA (%)	REMOÇÃO DE VIRUS (%)	REMOÇÃO DE PROTOZOÁRIOS (%)	REMOÇÃO DE HELMINTOS (%)
Reservatórios de armazenamento	80 - 90	80 - 90	*	*
Aeração	*	*	*	*
Coagulação + floculação + decantação	90 - 99	90 - 99	> 90	> 90
Abrandamento (bastante cal)	90 - 99,9	90 - 99,9	*	*
Abrandamento (baixa dosagem de cal)	90 - 99	90 - 99	*	*
Filtração rápida				
- com coagulação + floculação + decantação	90 - 99,9	90 - 99,9	90 - 99,9	*
- sem coagulação + floculação + decantação	0 - 90	0 - 50	0 - 90	*
- com coagulação e floculação	90 - 99	90 - 99	90 - 99	*
Filtração lenta	90 - 99,9	90 - 99,9	90 - 99,9	*
Filtração em terra diatomácea, com pré-tratamento e com a formação de pré-capa	90 - 99	95	99	*
Carvão ativado	*	10 - 99	*	*

* dado não conhecido

Dados obtidos de 55 referências

O abrandamento da água é bastante eficiente na remoção de microrganismos, porém não deve ser usado, face ao seu custo, quando necessário, objetivando a remoção de dureza.

Observa-se que a filtração rápida não é eficiente caso seja precedida de coagulação e floculação, e, preferencialmente, também com decantação.

5.4 - CONTAMINANTES ORGÂNICOS E INORGÂNICOS

Atualmente, é muito comum a ocorrência da necessidade de se efetuar a remoção de um ou mais contaminantes da água que será distribuída a uma comunidade. Em grande parte dos casos, de menor gravidade, o tratamento convencional (coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção com cloro), pode-se mostrar suficiente, mediante a execução de uma estação bem projetada e muito bem operada. Porém, podem existir casos em que operações, processos ou produtos adicionais ou substituídos sejam necessários para que se alcance a remoção em nível desejável.

O problema associado com essa questão é muito ampla e as vezes controversa, porém tentar-se-á apresentar neste trabalho alguns aspectos relacionados com os contaminantes mais comuns presentes em águas destinadas a consumo humano.

Para se ter uma idéia da dificuldade em se escolher o processo ou operação adequada para remoção de um metal, por exemplo, é apresentada a Figura 5.1, na qual são mostradas as formas em que um mesmo metal pode apresentar-se em uma água. Naturalmente, em função da(s) forma(s) presente(s) é que deverá ser escolhido o processo ou operação mais apropriado para a remoção de metal da água.

Os microcontaminantes minerais podem apresentar-se na água sob diferentes formas: solúveis, insolúveis, complexadas ou não complexadas, complexadas com minerais ou com ligantes orgânicos.

A solubilidade depende da valência e da complexação, entre outros fatores.

Sabe-se que em função da forma em que se encontra o metal, o mesmo poderá ser ou não ser eliminado em uma estação de tratamento. Pode-se citar o exemplo do cromo, que em seu estado de valência seis pode "atravessar" uma estação de tratamento de água convencional sem sofrer remoções sensíveis, ao passo que, na forma trivalente, a situação é completamente diferente. (52)

Também a toxicidade é muito variável em função da forma em que o metal se encontra na água. Sabe-se, por exemplo que os complexos orgânicos de Mercúrio são cerca de 100 vezes mais perigosos que o Mercúrio mineral, e que o Cobre é muito mais tóxico às algas em seu estado mineral do que nas formas orgânicas.

De maneira geral, a remoção de contaminantes inorgânicos mais comuns, através de tratamentos convencionais com coagulação-floculação e abrandamento, mostra-se bastante dependente do pH da água tratada, tipo e dosagem do coagulante inicial do contaminante.

Os metais podem ser removidos pela precipitação com cal que converte formas solúveis em formas insolúveis que podem ser removidas através da sedimentação ou sedimentação e filtração. A dosagem ideal de cal deve ser determinada empregando-se curvas de titulação associadas à eficiência de remoção do metal estudado em função do pH.

Após a remoção do metal, a água apresentará características completamente diferentes daquelas iniciais e, certamente necessitará de tratamentos complementares para sua estabilização.

O uso de polímeros pode ser benéfico para o aumento da eficiência na remoção de metais por precipitação com cal.

A Tabela 5.4 a seguir mostra resultados obtidos na remoção de metais em uma água de poço contaminada com metais e com compostos orgânicos.

Os resultados mostrados na Tabela 5.5, foram apresentados por SORG (48), e resumem algumas conclusões obtidas de pesquisas efetuadas pela EPA.

Normalmente as pesquisas sobre a remoção de contaminantes, dão maior ênfase ao tratamento convencional e ao abrandamento. Quando os resulta

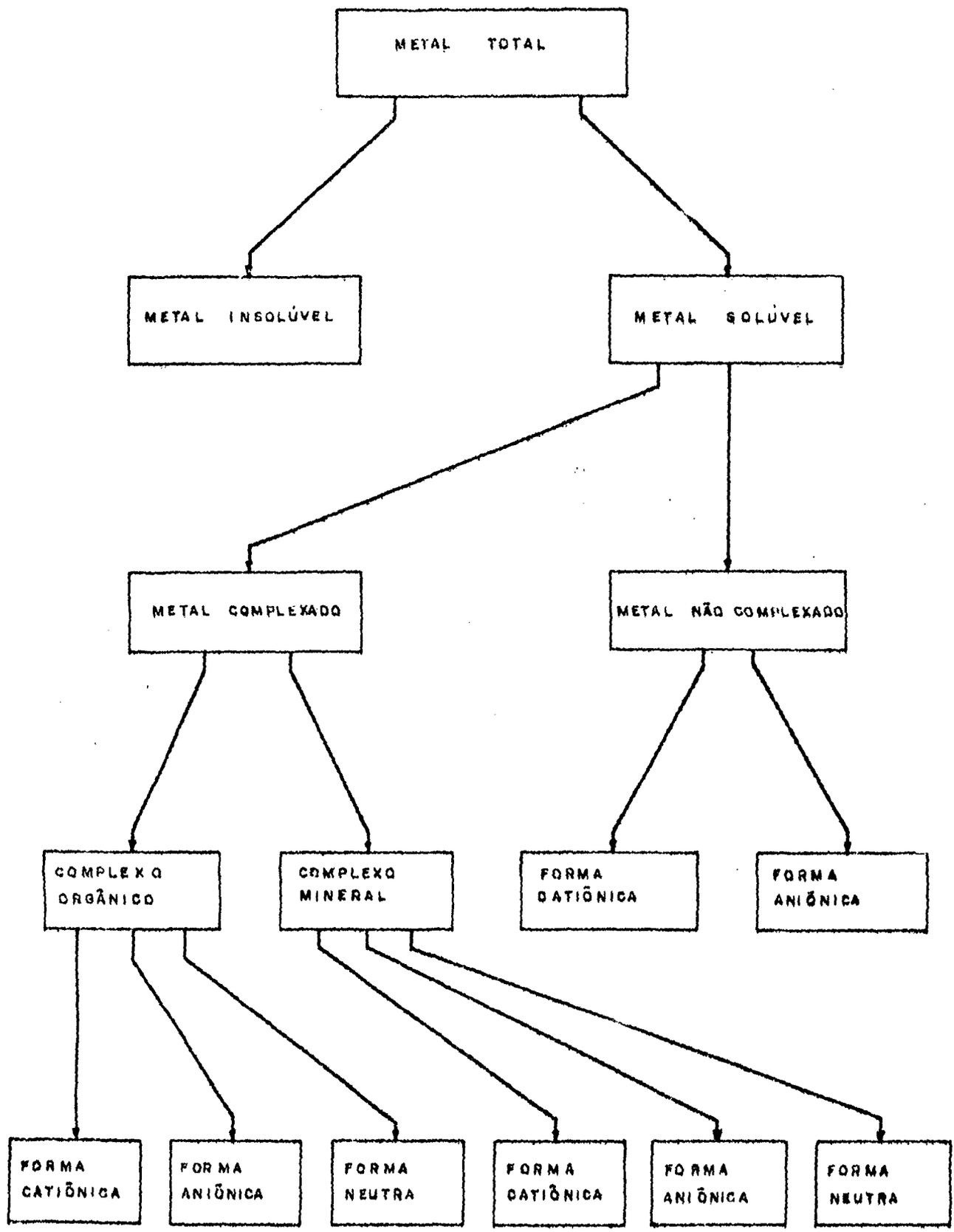


FIGURA 5.1 - Diferentes Formas em que Podem ser Encontrados os Micropoluentes Minerais. FONTE (52)

TABELA 5.4 - Remoção de Metais com Cal (condições de ensaio: mistura: 1 min; floculação: 30 min; sedimentação: 120 min) FONTE (49)

COMPOSTO	CONCENTRAÇÃO (mg/l)			
	ÁGUA BRUTA	ÁGUA TRATADA		
		pH = 9,1	pH = 9,9	pH = 11,3
Arsênio	0,12	0,03	0,03	0,03
Bário	0,24	0,17	0,15	0,19
Cádmio	0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cromo Total	0,09	0,006	0,006	0,006
Chumbo	0,03	0,006	0,006	0,006
Mercúrio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Selênio	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Prata	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Ferro	352	0,07	0,07	1,05
Manganes	90	0	0	0
Zinco	0,69	0,36	0,09	0,61

dos com esses processos são ineficientes, são estudados outros mais onerosos tais como osmose reversa e troca iônica.

De maneira geral, osmose reversa, troca iônica, destilação e eletrodialise são igualmente eficientes, porém em casos práticos para tratamento de água de sistemas de abastecimento, normalmente só se utiliza o processo de troca iônica.

TABELA 5.5 - Métodos de Tratamento para Remoção de Contaminantes Inorgânicos (48)

CONTAMINANTE	MÉTODOS EFICIENTES
Arsênio As^{3+}	<ul style="list-style-type: none"> - coagulação com sulfato fêrrico, pH: 6 - 8 - coagulação com sulfato de alumínio, pH: 6 - 7 - abrandamento com cal em excesso - oxidação antes do tratamento
As^{5+}	<ul style="list-style-type: none"> - coagulação com sulfato fêrrico, pH: 6 - 8 - coagulação com sulfato de alumínio, pH: 6 - 7 - abrandamento com cal em excesso
Bário	<ul style="list-style-type: none"> - abrandamento com cal em excesso, pH: 10 - 11 - troca iônica
Cádmio	<ul style="list-style-type: none"> - coagulação com sulfato fêrrico, pH > 8 - abrandamento com cal - abrandamento com cal em excesso
Cromo Cr^{3+}	<ul style="list-style-type: none"> - coagulação com sulfato fêrrico, pH: 6 - 9 - coagulação com sulfato de alumínio, pH: 6 - 9 - abrandamento com cal em excesso

(continuação)

CONTAMINANTE	MÉTODOS EFICIENTES
Cr ⁶⁺	- troca iônica com alumina ativada ou carvão animal
Chumbo	- coagulação com sulfato fêrrico, pH: 6 - 9 - coagulação com sulfato de alumínio, pH: 6 - 9 - abrandamento com cal - Abrandamento com cal em excesso
Mercúrio Inorgânico orgânico	- coagulação com sulfato fêrrico, pH: 7 - 8 - carvão ativado granulado
Nitrato	- troca iônica
Selênio Se ⁴⁺	- coagulação com sulfato fêrrico, pH: 6 - 7 - troca iônica - osmose reversa
Se ⁶⁺	- troca iônica - osmose reversa
Prata	- coagulação com sulfato fêrrico, pH: 7 - 9 - coagulação com sulfato de alumínio, pH: 6 - 8 - abrandamento com cal - abrandamento com cal em excesso

A seguir serão apresentadas algumas considerações sobre a remoção de contaminantes radioativos.

Os níveis máximos de contaminação (EPA) para emissores alfa são de 5 pCi/l para o Rádio 226 e Rádio 228 e 15 pCi/l para outras atividades alfa, incluindo Rádio 226, porém excluindo-se Radônio e Urânio.

O Rádio geralmente aparece na água naturalmente, principalmente em águas subterrâneas. A EPA estimou que em cerca de 500 abastecimentos públicos, nos ESTADOS UNIDOS, a concentração de Rádio poderia exceder 5 pCi/l. (3T)

O Rádio encontra-se na água na forma solúvel bivalente e os métodos de remoção de dureza tem-se mostrado adequados para remover de 70 a 99% desse contaminante.

A dessalinização através de membranas (osmose reversa) também mostra eficiências semelhantes.

A coagulação em abrandamento pode remover até 25% do Rádio, porém os resultados com esse processo são bastante variados. O uso da osmose reversa é limitado principalmente, pelo seu custo e pela necessidade de se fazer pré-tratamento. (46)

Com relação aos núcleídeos artificiais e emissores de fótons e de raios Beta (Tritio, Estrôncio 90, etc.), deve ser levado em consideração o fato de que os elementos radioativos, comportam-se no tratamento de água do mesmo modo que os elementos estáveis ou não radioativos.

Assim sendo cada radioisótopo deve ser estudado separadamente, para a escolha da melhor forma de tratamento, porém, geralmente as técnicas de tratamento mais eficientes para a remoção desses elementos (no estudo efetuado pela EPA (46)) foram o abrandamento com cal e a troca iônica, e também a osmose reversa.

O abrandamento com cal em excesso, precedendo a filtração alcançou eficiência na remoção de Estrôncio, de 87 a 96%. A troca iônica com Zeólito conseguiu 75% de remoção de Tritio 91, e mais 96% de Escândio 46, Estrôncio 89 e uma mistura de Bário 40 e Lantânio 140.

WHITE et al (53) estudaram a remoção de Urânio em 20 estações de tratamento de água e concluíram que os processos convencionais não são efetivos para remover esse elemento de águas brutas quando sua concentração está na faixa de 0,1 a 1,6 µg/l.

Em laboratório, o Urânio é removido através de precipitação, extração em solvente e troca iônica. A precipitação pode ser efetivada, por exemplo, na presença de carbonatos, com concentração suficiente de hidróxido de sódio ou de potássio.

Com base nos dados obtidos, os autores concluíram que a elevação do pH para valor igual ou superior a 9,5 provoca a precipitação de Urânio,

porém a eficiência desse processo é bastante variável, em função da amostra.

O sulfato de alumínio pareceu ser eficiente na remoção de Urânio, porém a dosagem mais conveniente varia em função da concentração de carbonato e do valor do pH.

O Fluor é um elemento que normalmente é adicionado na água e que em alguns casos necessita ser removido face a concentrações excessivas.

Em função de opiniões acerca da possibilidade de o Fluor poder provocar outros problemas mais graves à saúde, além de fluorose, em dosagem relativamente baixas, diversos países começam a proibir a sua aplicação em águas para abastecimento, podendo-se citar a Suíça (proibiu-se a adição de Fluor em 1.971) e Holanda (a aplicação de Fluor foi banida em 1.976).

Face ao aparecimento dessas novas opiniões, os países que se utilizam dessa técnica (fluoretação) deveriam ser mais cautelosos na continuidade de seu emprego e deveriam intensificar pesquisas para alcançar resultados que realmente permitam avaliar com rigor não só as vantagens (já bem conhecidas) mas também as desvantagens (que ainda parecem ser apenas parcialmente conhecidas).

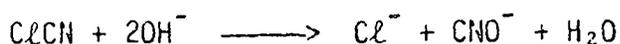
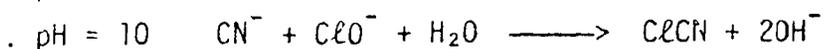
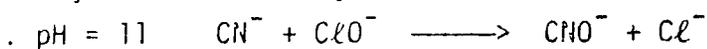
BELLE e JERSALE (08), compararam resultados técnicos e econômicos para a remoção de Fluor em águas destinadas ao consumo humano, através da floculação (seguida por decantação) com sais de Alumínio (sulfato de Alumínio e policloreto de Alumínio) e com "filtração" em coluna de alumina ativada.

No primeiro caso, foi possível efetuar a redução da concentração de Fluor a 1,2 mg/l, empregando-se dosagem de 650 mg/l e, no segundo caso foi possível a obtenção de concentrações inferiores a 0,7 mg/l.

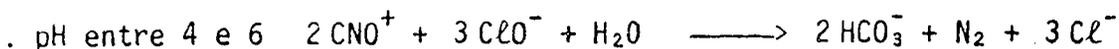
A concentração de Fluor na amostra inicial variava entre 2,2 e 4,5 mg/l. Para uma concentração inicial de Fluor de 4,5 mg/l, a duração útil de um ciclo variava entre 25 a 20 horas com um volume de água tratada, por ciclo, de 85 a 68 vezes o volume de coluna. Após cada ciclo de adsorção e troca, a coluna era regenerada pela extração do fluor fixado. Em essência, a regeneração constituiu-se de: a-) extração do Fluor com volume de solução de NaOH (1%) igual ao volume da coluna; b-) primeira lavagem com água a tratar; c-) segunda lavagem com ácido sulfúrico 0,05 N, com volume igual a 1,8 vezes o volume da coluna; e d-) lavagem final com água a tratar.

Os tratamentos usuais de clarificação e adsorção não apresentam efeito adequado acerca da remoção de cianetos. Somente são viáveis, com os conhecimentos atuais, os tratamentos que envolvem a oxidação desses compostos ou os tratamentos biológicos (34). No caso do emprego de microrganismos para esse fim, deve-se levar em conta a influência da toxicidade dos cianetos sobre os mesmos.

O cloro e hipocloritos, em meio alcalino, oferecem uma boa redução na concentração de cianetos:

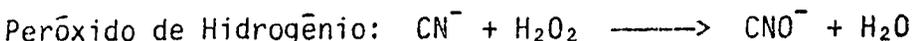
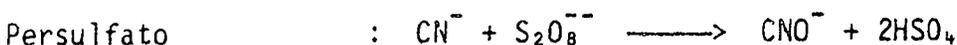
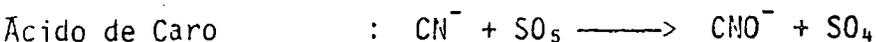
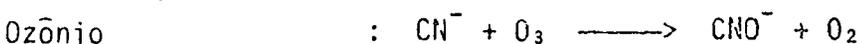


Deve-se levar em conta que o cloreto de cianogênio é mais tóxico do que os cianetos.



Nesse caso para completar-se essa reação deve-se ter excesso de ClO^- .

O ozônio e os peróxidos também são frequentemente usados na distribuição dos cianetos:



Também pode ser usado o permanganato, com bons resultados.

Em todas as reações mostradas o valor do pH é muito importante para a cinética do processo, o que faz com que, quando se desejar efetuar a

remoção de cianetos se façam necessários vários testes e ensaios em laboratório para ser possível a escolha da melhor alternativa técnica e econômica. MONTIEL et al concluíram que o cloro é um bom agente para efetuar essa remoção e que o zônio oferece velocidade de reação relativamente lenta, não adequada a casos práticos. (34)

A presença acentuada de cianetos não é comum em mananciais superficiais, porém existem casos em que ela ocorre e casos em que existe o perigo potencial de ocorrer uma contaminação acidental, e portanto o conhecimento dos meios de remoção pode ser necessário em ocasiões especiais. (34)

Nitritos e nitratos (23) podem levar à ocorrência de metemoglobinemia. As Nitrosaminas e nitrosamidas parecem ser tóxicas e portadoras de poder carcinogênico, e mutagênico a diversas espécies de animais, embora os dados disponíveis não permitam extrapolar esses efeitos para o homem.

Outra consequência grave da presença de Nitrogênio na água tratada refere-se aos riscos de proliferação de bactérias autotróficas na rede de distribuição. Nesse caso, os maiores responsáveis são a amônia e o Nitrogênio orgânico (que se transforma em amônia ao longo da rede).

A oxidação biológica do amoníaco pode criar zonas anaeróbias na rede, resultando em corrosão e na produção de sabor desagradável.

A eliminação da amônia pode ser efetuada através do emprego de colunas de resinas trocadoras, oxidação por cloro (pode haver formação de organoclorados e nitrificação biológica).

Os nitratos podem ser eliminados através de tratamentos físico-químicos (ainda não aplicados em grande escala, mesmo em países ricos, como a França, pelo seu elevado custo) e tratamentos biológicos.

Os nitrogênio orgânico (29) em água engloba diversos grupos de compostos. Os mais evidentes, de uma parte são os ácidos aminados, as aminas, os herbicidas, os derivados nitrogenados, e de outra parte são as macromoléculas, como as proteínas, os peptídeos, as clorofilas e as substâncias húmicas.

A degradação das macromoléculas pode levar às moléculas do primeiro tipo.

Em análise de águas de diversos mananciais, LEROY e ERESSON-NET (51) apresentam a seguinte variação de porcentagem dos principais agentes que contêm nitrogênio orgânico:

- substâncias húmicas : 25 - 60%
- clorofilas (a; b e c) : 1 - 3%
- ácidos aminados livres : 1 - 5%
- ácidos aminados obtidos: 20 - 30%
- produtos nitrogenados responsáveis através de extração com diclorometano: 0,2 - 1,5%

As substâncias húmicas são a causa de sérias dificuldades para o tratamento de águas no domínio da cor e de seu poder de complexação com metais pesados e compostos orgânicos. Além disso essas substâncias representam compostos ditos precursores que podem formar produtos indesejáveis após a desinfecção com hologênio.

A remoção de nitrogênio em TKN atinge valores entre 50 a 70% ao longo das unidades de uma estação de tratamento de água convencional.

Os tratamentos específicos abrangem:

- a-) tratamento do humus
 - floculação-decantação
 - mineralização por oxidantes ou radiação ultravioleta
 - filtração em areia
- b-) precipitação com sulfato de alumínio, argila ou cloreto férrico

Apesar de se terem obtido eficiências relativamente baixas com o uso de sulfato de alumínio e de cloreto férrico, separadamente, o uso em conjunto de ambos os sais apresentou resultados excelentes, principalmente no caso de remoção de macromoléculas;

- c-) adsorção em carvão ativado;
- d-) resinas trocadoras de íons
- e-) tratamento biológico

f-) uso de oxidantes, tais como cloro e permanganato de Potássio e ozônio. O ozônio tem sido estudado intensamente, dispondo-se de algumas informações; destacando-se:

* sobre as substâncias húmicas, o ozônio produz os seguintes resultados:

- desaparecimento da cor;
- oxidação progressiva de compostos orgânicos sem alcançar contudo a mineralização total. Para 100 mg/l de substância húmica necessita-se 75 mg/l de ozônio para alcançar-se 75% de redução de DQO;
- liberação de metais pesados;

* sobre as aminas, ocorrem vários tipos de reações, tais como: perda de Oxigênio molecular com a formação de óxidos aminados, oxidação intra-molecular, dissociação em radicais cátion-anion ou formação de um radical nitroxila, principalmente no que se refere às aminas secundárias. A reação não se completa;

* sobre os ácidos aminados, a degradação aumenta com o pH. A degradação completa se estende por período bastante longo, sendo o amoníaco, o principal produto da ozonização;

* sobre diversos tipos de compostos, entre os quais o fenol (quebra do ciclo aromático) os resultados são prometedores.

Antes de se passar à discussão dos contaminantes orgânicos mais comuns é apresentada a Tabela 5.6, na qual é fornecida a eficiência de diversos processos e operações na remoção de alguns contaminantes.

A preocupação com a presença de "precursores" de trihalometanos (THM) na água e de compostos orgânicos sintéticos tem sido evidenciada nos últimos anos.

Os trihalometanos englobam os seguintes compostos: Clorofórmio (CHCl_3), bromofórmio (CHBr_3), bromodiclorometano (CHBrCl_2), dibromoclorometano (CHBr_2Cl) e dicloroiodometano (CHICl_2).

Além das substâncias orgânicas voláteis também aquelas não voláteis de pequena cadeia também começam a despertar a atenção dos pesquisadores, pela hipótese de apresentarem atividade mutagênica e por serem mais abrangentes que as substâncias voláteis.

No presente item serão feitas apenas algumas considerações sobre os orgânicos. Os mesmos serão abordados com maior especificidade, quando forem tratados processos relacionados com a sua remoção, no item 6.

A coagulação-floculação já provou ser um meio relativamente eficaz para remover compostos orgânicos de origem húmica durante o processo global de tratamento, reduzindo a formação do trihalometanos, face à redução dos precursores porém até o presente poucos são os trabalhos que analisam a eficiência desse processo na remoção de compostos orgânicos sintéticos.

Os casos disponíveis tem demonstrado que a coagulação-floculação é eficiente na remoção de compostos orgânicos sintéticos de massa molecular relativamente grande, porém o mesmo não se observou na remoção de compostos orgânicos voláteis.

Provavelmente a aeração-coagulação-floculação com o uso de carvão ativado em pó (ou com bentonita) possa vir a se comprovar como uma das alternativas para esse fim. (50)

RANDTKE (37) efetuou estudo com amostras de águas contendo diferentes compostos orgânicos, fundamentado na realização de ensaios de floculação com sulfato férrico e sulfato de alumínio, seguidos por adsorção em carvão ativado. Os resultados são apresentados na Tabela 5.7, a seguir.

TABELA 5.6 - Remoção de Alguns Contaminantes Inorgânicos (11)

CONTAMINANTE	FLOCULAÇÃO		ABRANDAMENTO		ADSORÇÃO EM ALUMINA	CARVÃO ATIVADO GRANULAR	TROCA IÔNICA	ELETRÓDIALISE	OSMOSE REVERSA	FILTRAÇÃO EM DIATOMITA	AERATAÇÃO
	SULFATO FÉRRICO	SULFATO DE ALUMÍNIO	CAL	EXCESSO DE CAL							
Ársenico	90-99 (pH: 6-8)	90 (pH: 6-7)	60-90	95	99	---	55-9	80	90-97	---	---
Bário	---	---	88-95 (pH: 10-11)	90	---	---	95	80	90-97	---	---
Cálcio (formas solúveis)	---	---	---	98	---	---	95-99	80	90-98	---	---
Cálcio (formas insolúveis)	90 (pH > 8)	---	---	---	---	---	---	80	90-97	---	---
Cromo (formas solúveis)	---	---	---	---	---	---	---	80	---	---	---
Cromo (3+) (formas insolúveis)	98 (pH: 6-9)	90-98 (pH: 7-9)	70-98	98	---	---	95	80	---	---	---
Cromo (6+) (formas insolúveis)	98-99 (pH: 7-9)	---	---	---	---	---	---	80	---	---	---
Fluor	---	90	---	30-70	95	---	95	80	90-97	---	---
Chumbo (formas solúveis)	---	---	---	---	---	---	95	80	90-99	---	---
Chumbo (formas insolúveis)	95-97 (pH: 6-9)	80-97 (pH: 6-9)	98	98	---	---	95	80	---	---	---
Manganês (formas inorgânicas)	66-97 (pH: 7-8)	---	60-80 (pH: 10-11)	---	---	---	95-98	80	90-97	99	---
Manganês (formas orgânicas)	85	---	---	---	---	---	95-98	80	90-97	---	---
Níquel	---	---	---	---	---	---	97-99	80	90-97	---	---
Níquel (4+)	85-90 (pH: 6-7)	---	---	---	---	---	95-97	80	90-97	---	---
Níquel (6+)	70-90 (pH: 7-9)	70-90 (pH: 6-8)	---	70-90	---	---	95	80	90-97	---	---
Prata	---	---	80-90 (pH > 10)	---	---	---	95	80	95	---	---
Sódio	---	---	---	87-96	---	---	95-98	80	90-99	---	---
Enxofres (Beta e Foton)	---	---	---	---	---	---	75-95	80	90-97	---	---
Cobre	---	---	---	---	---	---	95	80	90-99	---	90
Ferro	---	90-97 (pH: 9,4)	---	---	---	---	95	80	90-99	---	90
Manganes	---	90-99 (pH: 9,4)	---	---	---	---	95	80	90-99	---	90
Sulfatos	---	---	---	---	---	---	95	80	90-99	---	---
Sólidos Dissolvidos Totais	---	---	---	---	---	---	97	80	99	---	---
Zinco	---	---	---	---	---	---	>99	50-90	80-99	---	---
Cor	95 (pH: 4-6)	95 (pH: 4-6)	---	---	---	100	95	80	90-99	50-95	---

FONTE: BLACK AND VEATH, INC - 1.977 - USEPA 1.977; VOLITERT - 1.974 OBS: * RAZOÁVEL A BOM

TABELA 5.7 - Remoção de Precursores de THM em Ensaio de Flocculação FONTE (37)

TIPO DE ÁGUA	COAGULANTE	DOSAGEM mM	CARBONO ORGÂNICO TOTAL INICIAL (mg/ℓ) TOC	TOC REMOVIDO (%)	PRECURSORES NO INÍCIO (mg/ℓ)	PORCENTAGEM DE PRE-CURSORES REMOVIDA
contendo ácido fúlvico subterrânea	sulf. de Alumínio	0,075	4,77	94,4	334	93,4
	sulf. Férrio	0,135	4,82	92,0	354	93,0
contendo ácido húmico	sulf. de Alumínio	0,150	3,95	57,1	200	60,5
	sulf. Férrio	0,150	3,82	57,1	192	57,2
contendo ácido fúlvico	sulf. de Alumínio	0,045	3,66	96,5	387	97,8
	sulf. Férrio	0,225	3,66	91,5	387	99,2
	sulf. de Alumínio	0,090	6,31	90,4	663	94,2

O pré-tratamento com coagulação aumentou significativamente a capacidade de adsorção do carvão ativado em relação a concentração de carbono total (TOC), exceto nos casos em que a remoção de TOC foi muito pobre, através de coagulação. O autor acredita que esse aumento de eficiência de adsorção se deve ao resultado da interação entre os complexos de alumínio e as moléculas orgânicas.

Segundo MACEDO (32), o controle de trihalometanos pode ser efetuado de três maneiras, principais, a saber:

- a-) tratamento para remover os precursores antes da cloração;
- b-) tratamento para remover trihalometanos após sua formação ; e
- c-) uso de desinfetantes que não produzem trihalometanos.

Em São Paulo foram testadas diversas alternativas para desinfecção e as conclusões são transcritas no presente texto.

Alternativas testadas:

- A - Cloração ao "break-point" no início do tratamento;
- B - Cloração ao "break-point" no início do tratamento e aplicação de cloramina na água decantada;
- C - Cloração ao "break-point" no início do tratamento e aplicação de cloramina na água filtrada;
- D - Cloração ao "break-point" e carvão ativado, ambos no início do tratamento, e aplicação de cloramina na água filtrada;
- E - Aplicação de dióxido de cloro no início do tratamento e cloramina na água filtrada;
- F - Aplicação de dióxido de cloro no início do tratamento e "break-point" na água filtrada.

As conclusões foram as seguintes:

- todos os processos levaram à ausência de Salmonella Typhimurium, Poliovirus e coliformes, na água tratada;
- os tratamentos que levaram às maiores produções de trihalometanos foram aqueles em que houve a cloração ao "break-point". A concentração do THM aumenta com o decorrer do tempo (alternativa B);
- o tratamento utilizando cloração ao "break-point" e aplicando amônia na água final mostra que a formação de THM é interrompida. Após a aplicação de amônia, a concentração de THM tende a decrescer;
- carvão ativado em pó mostrou baixa eficiência na remoção de THM;
- na água testada, usando-se 1 mg/l de dióxido de cloro, não se conseguiu obter residual desse desinfetante na água filtrada, devido à alta demanda na água bruta. O residual de íon clorito na água final permaneceu acima de 0,5 mg/l quando o dióxido de Cloro foi usado sozinho ou com amônia no tratamento. Quando foi utilizado o "break-point", o residual de cloro permaneceu abaixo de 0,5 mg/l;
- sob o ponto de vista de controle de THM, o tratamento com dióxido de cloro no início do tratamento e com cloramina na água filtrada é bastante eficiente. O mesmo ocorre quando a aplicação da cloramina se faz no início do tratamento;
- o coagulante cloreto fêrrico é pouco mais eficiente que o sulfato de alumínio, na remoção de THM;
- a cloroaminação, na pesquisa efetuada, demonstrou ser o processo mais adequado, do ponto de vista técnico e econômico para o controle de THM nas águas de abastecimento.

Nesse ítem serão apresentadas resumidamente, considerações a cerca de alguns processos e operações destinados ao tratamento de água.

Naturalmente, o processo convencional, que envolve coagulação, floculação, sedimentação e desinfecção com cloro, já é bastante conhecido e a sua aplicabilidade abrange uma gama extremamente grande de águas brutas com contaminantes extremamente diferentes. Além do mais, no presente artigo já foram apresentados muitos dados acerca de sua eficiência na remoção de contaminantes. Assim sendo, nesse artigo apenas serão destacados alguns processos e operações mais específicas, iniciando-se pela operação de aeração.

A aeração da água (15) pode ser praticada com os seguintes objetivos principais:

a-) arraste para atmosfera de gases que provocam odor e sabor, entre os quais pode ser citado o H_2S ;

b-) arraste para a atmosfera de substâncias orgânicas voláteis que contaminam a água;

c-) arraste de CO_2 para a atmosfera (a concentração de CO_2 não pode ser reduzido abaixo de 4,5 mg/l);

d-) Absorção de oxigênio do ar para oxidação de Ferro e de Manganês.

Sedimentação (15) simples, sem a utilização de coagulante é empregada quando a água apresenta turbidez muito elevada e se deseja reduzir o consumo de coagulante para tratamento em estação convencional ou quando se deseja reduzir a turbidez para valor inferior a 30 UT, precedendo a filtração lenta.

As principais vantagens dos filtros lentos (37) são:

- Não necessitam de instalações para coagulação-floculação;
- Não exigem instalação de equipamentos;
- A supervisão é simples;
- O efluente é menos corrosivo do que de instalações em que a água é tratada através de adição de produtos químicos;

A principais desvantagens são:

- Grandes áreas são necessárias, assim como há necessidade de grandes volumes de areia; tornando o custo de implantação nem sempre atrativo;
- Pouca flexibilidade de operação;
- Não são adequados para águas com turbidez acima de valor da ordem de 30 a 50 UT (por longos períodos), a não ser que seja previsto um sistema à montante para redução da turbidez até o valor necessário (pré-filtros ou sedimentadores simples);
- Baixa eficiência na remoção de cor;
- São obtidos resultados ruins com água que contém elevado teor de algas, a não ser que seja efetuado pré-tratamento.

A filtração lenta é bastante eficiente na redução de bactérias, por um fator de 1.000 a 10.000 e de E. Coli, por um fator de 100 a 1.000.

Para água muito límpidas essa unidade pode ser empregada como único tratamento, desde que a bacia do manancial seja perfeitamente protegida (25).

Embora os filtros lentos possam suportar turbidez de 100 a 200 mg/l em SiO_2 , a turbidez não deve ultrapassar 50 mg/l em SiO_2 , em períodos mais longos.

Bons resultados são sempre possíveis, quando a turbidez média é menor que 10 mg/l em SiO_3 .

Quando a turbidez é mais elevada do que o necessário, podem-se optar por pré-tratamento, tais como:

- sedimentação simples;
- reservação, se necessário com emprego de "micro-straining";

- sedimentação simples e filtração rápida;
- filtração rápida;
- reservação e filtração rápida;
- sedimentação, coagulação e filtração;
- coagulação, floculação, sedimentação, filtração rápida;
- pré-filtros grosseiros.

Os filtros de pressão não são recomendados para sistemas públicos de tratamento em que a água é previamente coagulada e floculada para a remoção de cor, turbidez e microrganismos, contudo eles são satisfatórios para o branqueamento com zeólitos ou para a remoção de ferro e de manganês, não se esperando contudo remoção elevada de microrganismos.

A filtração direta vem tendo seu uso cada vez mais intensificado na América Latina. Por esse motivo serão apresentadas opiniões de diversos pesquisadores acerca de sua aplicabilidade:

O uso de filtração direta para águas de baixa turbidez tem trazido excelentes resultados, porém é muito importante que seja considerada, em cada caso, a qualidade da água bruta, pois MALEK et alii constataram que existe relação direta entre a dosagem de coagulante e a remoção de vírus na clarificação. A redução da dosagem de coagulante é acompanhada do aumento da densidade de vírus que atravessa o sistema.

Por exemplo, uma dosagem de sulfato de alumínio de 5 a 10 mg/l mostrou-se ineficiente para a remoção do bacteriófago MS2, ao passo que uma dosagem de 50 mg/l provocou uma redução de 98%, em ensaios de floculação (Jar-Test).

O uso de polieletrólito catiônico mostrou melhores resultados que o uso de polímeros aniônicos e não iônicos na remoção de vírus.

Pode-se considerar que uma água é, em princípio, passível de ser clarificada através de filtração direta se:

- turbidez e cor forem ambas inferiores a 25 UT, segundo Culp (apud 44);
- a cor for praticamente inexistente e a turbidez máxima não ultrapassar 200 UT, segundo Culp (apud 44);
- a presença de fibras de papel ou de diatomáceas não exceder a 1.000 UPA/ml, segundo Culp (apud 44);
- o número mais provável de coliformes não ultrapassa 90 NMP/100 ml, segundo Culp (apud 44);
- concentrações de ferro e manganês menores que 0,3 a 0,05 mg/l, respectivamente, segundo Richter (44);
- dosagem de coagulante inferior a 20 mg/l, segundo Wagner e Hudson (apud 44);

No caso de filtração direta descendente é interessante que se tenha tempo de detenção para floculação precedendo os filtros, da ordem de 3 a 6 minutos (44).

CALISE et al (apud 35) atestaram que a filtração direta ascendente era inadequada quando a água possuía mais de 150 mg/l em sólidos suspensos e que os gastos de água com lavagem chegam a alcançar 28% ou mais do total produzido.

AZEVEDO Netto (apud 35) considera que os filtros de fluxo ascendente podem ser empregados para águas de baixa turbidez (geralmente inferior a 50 UT, teor de sólidos suspensos menor que 150 mg/l e sem variações rápidas de qualidade).

DI BERNARDO (apud 35) vem pesquisando intensivamente a filtração direta ascendente e, através de melhorias no leito filtrante, na concepção geral do filtro e nos critérios de operação (descargas de fundo), têm sido obtidos resultados que permitem inferir que esse tipo de unidade pode alcançar horizontes de utilização mais amplos que aqueles utilizados até o presente.

ARBOLEDA (apud 35) apresenta alguns requisitos predominantes

para uma água pode ser submetida à filtração direta ascendente:

- Cor: 90% do tempo inferior a 40 UC, com possibilidade de em período curtos chegar a 60 UC;
- Turbidez: 90% do tempo inferior a 100 UT e 80% inferior a 50 VT, com período curtos podendo chegar a 250 UT,
- Pouca variação na qualidade da água ou variações lentas.

DI BERNARDO (20) afirma que com as inovações como descargas de fundo, adequação de dosagem de coagulantes, melhorias na camada suporte e adequação da areia utilizada consegue-se resultados satisfatórios na remoção de cor e de turbidez, e até de microrganismos, no tratamento de água com turbidez da ordem de 130 UT e cor aparente de 70 UC, acreditando-se que a filtração ascendente passa ser empregada com sucesso para águas com turbidez até 200 UT e cor aparente de 100 UC.

Na Inglaterra e na Escandinávia existem diversas instalações de tratamento de água que utilizam a flotação por ar dissolvido em substituição à operação de decantação convencional. Pesquisas realizadas por REALI e CAMPOS (38) também confirmam a aplicabilidade dessa técnica, que pode ser muito útil, principalmente em casos em que a água apresenta concentrações elevadas de algas.

Estudos já desenvolvidos mostram que o processo de flotação por ar dissolvido é viável para qualquer tipo de água, porém, antes de optar por seu emprego deve-se efetuar estudo com estação piloto e estudo econômico comparativo com a sedimentação.

RICHARD (40) descreve a utilização de reatores aerados com leito de biolita L (tamanho efetivo: 1,7 mm) de 2,0 de espessura, que oferecem condições de remoção de 5 g de amônia, por metro cúbico de leito. O fluxo da água é descendente e o fluxo do ar é ascendente, sendo a taxa de "filtração" da água da ordem de 600 m³/m².dia. Eventualmente ocorre a necessidade de se adicionar ácido fosfórico para viabilizar as bactérias nitrificantes, com dosagem da ordem de 0,2 g/m³.

Há muitos estudos acerca da atuação do carvão ativado (adsorção e/ou suporte para bactérias) em tratamento de água, entre as conclusões de diversos trabalhos podem ser citadas (segundo ELKARA, (apud 28)).

Uso de carvão no tratamento físico-químico:

- Os compostos orgânicos alifáticos como o etanol se adsorvem pouco;
- Os produtos aromáticos, particularmente o fenol e os benzenos com substituição, são absorvidos relativamente bem,
- As substâncias húmicas são mais efetivamente adsorvidas em carvões macroporosos e que contêm funções oxigenadas de superfície (28);
- Os haloformes e os derivados organohalogenios não voláteis são eliminados por filtração em carvão ativo granulado. Entretanto a saturação do leito ocorre relativamente rápido (28);
- Os tensoativos (laurilsulfato de sódio, dodecilbenzeno sulfonato de sódio, etc.) se adsorvem muito bem em carvão e, portanto se consegue a eliminação desses compostos em água;
- Pode-se alcançar remoção de 99% de hidrocarbonetos quando esses compostos são aromáticos polinucleares;
- Pode-se alcançar remoção de certos metais (prata, cádmio e cromo) de 95%, porém, a adsorção é bastante influenciada pelo pH da superfície do carvão utilizado;
- O cobre tem pouca afinidade com carvão ativado.

As propriedades de adsorção do carvão ativado varia em função da saturação progressiva de sua superfície, o que exige uma regeneração onerosa do material. Recentemente, tem-se utilizado o carvão como suporte para microrganismos, principalmente em filtros, de sorte que nos últimos 15 anos têm sido obtidos resultados interessantes para a purificação da água (28).

O uso de carvão como suporte bacteriano tem sido objeto de pesquisa, e entre as conclusões, citam-se as seguintes:

- eliminação de diferentes clorobenzenos e hidrocarbonetos, McCARTY (apud 28);
- adsorção e biodegradação de compostos orgânicos, medidos em termos de remoção de Carbono Orgânico Total, DQO e densidade ótica no campo de radiação ultra violeta, SONTHEIMER, TEKER, GAID e CLOIRET, apud (28);
- redução de 50% da concentração de substâncias húmicas medida em termos de remoção de DQO, TOPALLIAM (apud 28);
- remoção de 60 a 70% da matéria orgânica eliminada por degradação bacteriana, McCARTY, (apud 28);
- degradação de moléculas biodegradáveis, que se absorvem ou não;
- fenol, etanol, metanol, são degradados biologicamente em filtros aerados, GAID, LE CLOIREC, SUFFET, ZOGORSKI, (apud 28)

Empregando dosagem de 21,6 mg/l de carvão ativado em pó, ANDERSON et (04) conseguiram reduzir cerca de 56,3% no nível de precursores presentes em uma estação de tratamento de água. Os melhores resultados foram conseguidos quando o carvão foi adicionado antes da pré-cloração, e mantido em contato em câmara com tempo de detenção adequado.

A utilização de ozônio tem sido intensificada nos países desenvolvidos, não só para a desinfecção como para outros usos, que serão descritos resumidamente, a seguir. Essa técnica sem dúvida, apresenta muitas vantagens, porém seu emprego ainda é muito limitado nos países em desenvolvimento face ao seu custo ser muito elevado.

Utilizações Clássicas de Ozônio (42):

- desinfecção (con residual de 0,4 mg/l, durante 4 min, elimina-se vírus);
- tratamento das águas subterrâneas (remoção de ferro e manganês e promoção de nitrificação);
- remoção de cor e de matéria orgânica (dosagens mais elevadas que para desinfecção: 2 a 6 mg/l);
- eliminação de micropoluentes (detergentes, produtos que causam mau sabor, etc.);

Deve-se levar em conta que existem reações de ozônio que são incompletas e outras nas quais ocorre a formação de sub-produtos. A Figura 6.1 mostra como exemplo a ação do ozônio sobre Parathion, produzindo Paraoxon e ácido fosfórico. Destaca-se o fato de que o Paraoxon é muito mais tóxico do que o Parathion.

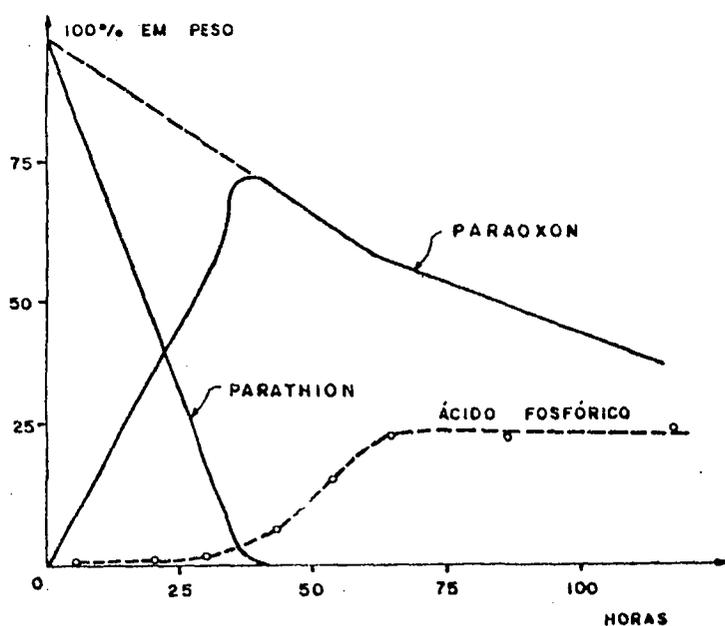


FIGURA 6.1 - Cinética da Remoção de Parathion por Ozonização (42)

Novas Aplicações de Ozônio (65):

- emprego de ozônio sobre a água bruta (dosagens baixas produzindo uma espécie de "floculação" que auxilia o tratamento convencional posterior);
- emprego de ozônio (dosagem da ordem de 0,2 mg/l) juntamente com o coagulante, reduzindo a dosagem de coagulante e melhorando a floculação;
- efeito biológico secundário (o ozônio pode transformar compostos biodegradáveis em compostos mais facilmente biodegradáveis). Em combinação com carvão ativado tem-se conseguido excelentes resultados na eliminação de matéria orgânica.

O excesso de ozônio pode ser removido empregando-se bissulfeto de sódio.

O uso de cloro ou de dióxido de cloro em estações que também empregam ozônio pode provocar problemas associados com a estabilidade relativa desses oxidantes, tanto no nível de desinfecção como no caso de se ter a formação de compostos secundários (43). Isso faz com que, na prática, se o dióxido de cloro é utilizado na pré-oxidação, formam-se os cloritos que deverão ser oxidados a cloratos, consumindo mais O_3 na 1ª câmara de oxidação, se se deseja manter residual estável de ozônio, da ordem de 0,4 mg/l durante tempo da ordem de 4 min, na segunda câmara, para se efetuar a eliminação de vírus.

Por outro lado, se o dióxido de cloro é introduzindo como agente de segurança (residual), após a ozonização, deve-se adicioná-lo o mais distante possível da unidade de ozonização e deve-se estar certo da ausência de O_3 na água para evitar a interferência do ozônio no dióxido de cloro.

Naturalmente, a qualidade microbiológica e biológica de uma água é a principal prioridade de qualquer tratamento de águas destinadas ao consumo humano. Assim sendo nas páginas seguintes são apresentadas considerações sobre esse assunto, inclusive abrangendo alguns aspectos secundários, decorrentes da adição de cloro na água, que ainda é o desinfectante mais utilizado no mundo.

Frequentemente águas de poços e de nascentes não são cloradas e portanto exigem-se nesses casos, especial cuidado com a proteção do manancial principalmente no que se refere as contaminações de origem fecal. (54)

Deve ser dado ao controle bacteriológico (coliformes) da água que tem acesso as casas de consumidores, um cuidado de extrema importância, porém, como sob condições normais, os exames bacteriológicos só têm seus resultados evidenciados após 24 h, pelo menos, a determinação do cloro residual passa a assumir papel de importância fundamental para se conhecer indiretamente a qualidade microbiológica da água. O residual de cloro também oferecerá certa segurança para contaminações posteriores que possam ocorrer no sistemas de distribuição ou nos sistemas privados.

A qualidade bacteriológica da água é muito mais fácil de ser obtida do que a qualidade virulógica.

Para se obter uma água de boa qualidade em relação a presença de vírus, deve-se escolher um manancial que não receba qualquer lançamento de esgotos e que seja protegido contra contaminação fecal, ou que se disponha de um sistema de tratamento adequado para purificar água que contenha contaminação fecal.

É praticamente impossível a existência de um sistema de tratamento 100% seguro que apresente certeza de nunca permitir a possibilidade de ocorrência de vírus na água tratada, por menor que seja o número considerado.

Porém existem algumas recomendações que devem ser seguidas, sempre que possível, para que a situação real se aproxime ao máximo daquela considerada ideal. Assim sendo, quando a desinfecção é efetuada com cloro recomenda-se (para a eliminação de vírus) (54):

- turbidez menor que 1 NTU;
- um residual livre de cloro maior ou igual a 0,5 mg/l deve ser mantido após 30 minutos de contato e um pH inferior a 8,0.

Quando se usar ozônio, com água de turbidez baixa, recomenda-se residual de 0,2 a 0,4 mg/l mantido durante 4 minutos.

Quando houver possibilidade de presença de protozoários e de parasitas metazoários (Ameba, Giardia, Helminthos, etc.) a desinfecção deve ser completada com processos bem operados de floculação e de filtração para a remoção de cistos, vermes e seus ovos.

Não existe indicador prático para demonstrar a presença de protozoários patogênicos na água, e nesse caso a ausência de coliformes não permite conclusões acerca da ausência desses organismos. (54)

De maneira geral esses organismos não resistentes ao cloro e devem ser removidos através de filtração lenta ou de filtros rápidos porém, nesse caso deve-se prever a coagulação-floculação, e, se possível, decantação.

Por exemplo, um simples chistosoma é suficiente para provocar a infecção, e por esse motivo deve haver sua ausência perene na água distribuída.

A vida livre da cercária é menor do que 48 h e assim uma reservação por esse período é muito conveniente para sua eliminação. Filtros lentos bem operados tem condições de remover cercárias assim como a cloração no qual é mantido cloro residual livre de 0,5 mg/l por período de uma hora. (54)

GOSHKO et alii (21) desenvolveram pesquisa em sete pequenas comunidades, com o objetivo de verificar relações entre a ocorrência de coliformes no sistema de distribuição e o residual de cloro verificado no local de coleta.

Eles concluíram que em sistemas onde a dosagem de cloro varia consideravelmente, não há associação entre densidade de coliformes e residual livre de cloro menor que 0,2 mg/l. Em amostras com residual livre de cloro maior que 0,2 mg/l, foram encontrados Enterobacter cloacal e Enterobacter agglomerans, contudo Escherichia coli só foi encontrada em amostras sem cloro residual.

O autor sugere, com base em dados levantados que Enterobacter e Klebsiella poderiam estar adaptados ao meio (foram encontrados em locais com residual livre de cloro da ordem de 0,45 mg/l) e, dessa forma outros coliformes poderiam incorporar-se na camada de "lodo" que eles produzem.

A pré-cloração só deve ser usada quando existe baixo potencial para a formação de THM, ou quando o sistema de tratamento possui recursos para remoção de precursores e de compostos produzidos pela adição do cloro. Quando possível, a pré-cloração pode fornecer bons resultados tais como: a-) ocorre maior tempo de contato para desinfecção que no caso da pré-cloração; b-) reduz a produção de algas nas unidades descobertas; e c-) mantém o meio filtrante em melhores condições.

Em estações que tem problemas de algas nos filtros pode-se por exemplo, utilizar-se de água de lavagem fortemente clorada, suprimindo-se em muitos casos a necessidade da pré-cloração para esse fim.

KACHEL DOS SANTOS (26) sugere que a escolha do ponto de cloração em local intermediário do processo global de tratamento, onde os precursores de THM tenham sido previamente removidos, de tal forma a não haver possibilidade de formação de THM em concentração superior a 100 mg/l (pela adição do cloro), parece ser alternativa viável a ser tentada em estudos ou na prática, em que é envolvido o controle de trihalometanos. Se essa alternativa não for possível, face à qualidade da água bruta em termos de contaminação microbiológica, esse autor recomenda o uso de ClO_2 .

Na estação de Charlotte, Flórida (46) a alteração do ponto de cloração para a água decantada ao invés de se aplicar na água bruta, e a utilização de carvão ativado empô levaram a remoção de THM para porcentagem superior a 85% (para dosagens de carvão ativado de 10; 15 e 20 mg/l, foram obtidas remoções de THM de, 85%; 89% e 88%, respectivamente).

A pré-cloração de uma água que contenha amônia e matéria orgânica só deve ser efetuada sem a produção de compostos halogênicos, com muito cuidado e controle, de forma que a quantidade de cloro adicionada só corresponda à formação de monocloraminas, ou seja, a primeira parcela da curva do "break-point". (49)

Quando o dióxido de cloro é bem preparado (máximo de ClO_2 e mínimo de Cl_2 em excesso), sua utilização na desinfecção não leva à formação de compostos halogenados. (41)

Finalizando o presente item, são apresentadas as descrições sucintas de três estações de tratamento de águas convencionais:

La Chapelle - França

A água bruta utilizada para alimentação dessa estação é proveniente de 3 poços (profundidade: 35 m) e apresenta micropoluentes orgânicos, amônia e manganês.

O projeto do sistema de tratamento foi efetuado após operação de estação piloto. A capacidade total dessa estação é da ordem de 50.000 m³/dia (580 l/s, vazão média).

Iniciando o tratamento, é efetuada pré-ozonização em uma câmara de contato com alguns minutos de detenção, que tem finalidade de precipitar o manganês na forma de hidróxidos (que ficarão retirados em filtros), de destruir moléculas de certos micropoluentes orgânicos (entre eles, fenóis) e de, pelo menos, romper moléculas, como ocorre no caso de detergentes.

Os hidróxidos de manganês são retidos em leito de areia e os resíduos de moléculas orgânicas são retidos em leito de carvão ativado granular.

Os filtros são constituídos de dois leitos sobrepostos separados, o primeiro deles de areia de quartzo (espessura do leito: 1,00 m; taxa de filtração: 116 m³/m².dia) e o segundo, de carvão ativado (espessura do leito: 0,75 m).

No leito de areia e no leito de carvão ativado também ocorre a nitrificação de amônia, de modo que esses leitos se comportam como reatores biológicos.

A lavagem dos leitos é efetuada com fluxo ascendente, porém o carvão ativado é removido periodicamente com auxílio de fluxo de água e é aerado, durante certo tempo, para sua recuperação.

Após a filtração, a água é submetida à desinfecção final com ozônio, visando a completar a eliminação de vírus e a melhorar as suas qualidades organolépticas.

Villejean - França

A água bruta que alimenta essa estação é proveniente do rio Meu e seus efluentes.

A água bruta apresenta cor elevada, baixo teor de matéria em suspensão e concentração relativamente alta de matéria orgânica, micropoluentes e manganês.

A capacidade de instalação de tratamento é de 150.000 m³/dia (1.736 l/s).

Basicamente essa estação apresenta os seguintes processos e operações:

- . Pré-oxidação - Essa etapa é efetuada utilização de cloro gasoso que é aplicado no ponto de captação;
- . Pré-tratamento - o pré-tratamento é efetuado mediante a adição de permanganato de potássio e de cal para permitir a precipitação de manganês. Ainda nessa fase é adicionado carvão ativado em pó visando a adsorver quantidade apreciável de matéria orgânica e de micropoluentes;
- . Floculação e Decantação - A floculação é efetuada utilizando sulfato de alumínio e polímero natural, e, em seguida, é efetuada a decantação da água;
- . Filtração - A filtração é realizada utilizando-se leito de quartzita;
- . Desinfecção com Ozônio - A desinfecção é assegurada através da utilização de ozônio, porém essa estação dispõe de sistema adicional para cloração, funcionando apenas em caráter de emergência;
- . Mineralização - Antes de ser enviada aos reservatórios a água recebe a adição de anidrido carbônico e água de cal saturada.

Gouverneur - NY - USA

Essa estação foi colocada em operação em 1.965, e provou ter condições de funcionar até com 100% de sobrecarga, sem apresentar deterioração sensível da qualidade da água tratada.

Porém, é importante lembrar que a operação dessa instalação é efetuada de maneira rigorosa, por pessoal altamente qualificado. A título de esclarecimento do nível dessa operação, basta citar que todo controle relativo à floculação é efetuado com base em medições de Potencial Zeta.

A primeira instalação é um tanque de aeração (com tempo de detenção de 3 minutos) no qual é efetuada a adição de carvão ativado com dosagem variando entre 1 e 2 mg/l.

Foi verificado que esse reator fornece bons resultados em termos de adsorção, porém, na opinião de La Mer, os resultados poderiam ser melhores, caso esse tempo de detenção fosse aumentado.

A seguir a água passa por três câmaras de mistura, cada uma com tempo de detenção de 1 minuto. Na primeira delas é adicionado bicarbonato de sódio; na segunda sílica ativada e sulfato de alumínio e na terceira, um auxiliar de floculação.

A floculação é efetuada em três câmaras cada uma com tempo de detenção de 12 minutos. Na terceira câmara é efetuada a adição de um polímero de grande cadeia molecular.

Antes da água ter acesso aos filtros são adicionados (separadamente) 1 a 2 mg/l de carvão ativado e 1 mg/l de cloro.

Finalmente, antes da água ser encaminhada aos reservatórios, é efetuada a desinfecção completa, mediante a adição de cloro, e é feita a correção do pH com alcali.

Apesar de terem sido apresentadas apenas três estações, é possível notar a grande diferença entre as soluções que podem ser escolhidas para completar um sistema de tratamento de água dito convencional.

De modo que o projetista dispõe de um amplo campo para concepção do sistema, tomando como referência um extenso elenco de técnicas que hoje se dispõe.

7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de tratamento convencional é bastante flexível e pode ser melhorado sensivelmente, através da introdução de novos recursos, sem a necessidade de grandes e onerosas alterações técnicas.

Os sistemas de tratamento simplificado, por sua vez tiveram uma evolução magnífica nos últimos anos e que permitiu sua utilização com maior intensidade, principalmente nos países em desenvolvimento.

Qualquer que seja a solução adotada, toda a equipe que participa de sua escolha e da operação, deve estar consciente das qualidades e das deficiências envolvidas.

Finalizando o presente trabalho, serão enumerados alguns que sites importantes que devem ser respeitados ao se escolher o tipo de tratamento adequado a uma água e as operações e processos envolvidos na concepção.

Entre os fundamentos que um projetista ou que uma equipe de projeto deve levar em consideração para a concepção de uma estação de tratamento de água, destacam-se:

- conhecimento de critérios, normas e recomendações nacionais e internacionais relacionadas com a água destinada ao consumo humano (e industrial);
- conhecimento de critérios, normas e recomendações nacionais e internacionais relacionados com a água de mananciais;
- conhecimento das circunstâncias política, econômica e social da região onde será implantada a estação de tratamento;
- conhecimento da qualidade da água de manancial a ser utilizado;
- conhecimento de todas as atividades que ocorrem na bacia (cidades, indústrias, agricultura, pecuária, etc.), para se ter informações acerca dos produtos orgânicos, substâncias tóxicas ou organismos que podem contaminar o manancial;
- conhecimento dos agentes que podem eventualmente provocar uma contaminação acidental em função das atividades na bacia;

- conhecimento das propriedades dos agentes que posteriormente podem o correr em contaminações acidentais e dos meios para removê-los da á-gua;
- conhecimento de estações de tratamento de água que operam na região ou em outros locais, recebendo água bruta com características seme-lhantes;
- conhecimento acerca de todos os processos e operações (antigos e res-centes, simples e complexos, manuais ou mecânicos) utilizados para tratamento de água ou disposição de consultor que disponha desse co-nhecimento;
- conhecimento e experiência próprios relacionados com a operação de estações de tratamento de água;
- conhecimento de resultados de ensaios efetuados em laboratório com a água do manancial a ser considerado;
- conhecimento de resultados de estação-piloto, se possível projetada com base nos resultados de ensaios de laboratório.

Naturalmente, esses tópicos apresentados abrangem recursos que nem sempre são disponíveis, como, por exemplo, a construção de uma estação piloto e sua operação, porém quando isso é viável, certamente o projeto será elaborado de maneira a se obter uma solução técnica e econômica que se aproxima bastante do que se poderia chamar de solução ideal.

Também devem ser levados em consideração os casos frequentes em que já se dispõe de uma estação de tratamento de água e se deseja aumentar sua capacidade, ou melhorar a qualidade da água tratada ou mesmo, reduzir custos operacionais.

Nessas situações, além de serem necessários os conhecimentos enumerados anteriormente, para o caso de se desejar conhecer uma estação de tratamento de água, também necessita-se efetuar o levantamento minucioso das instalações físicas existentes e do desempenho de todas as unidades que fazem parte da estação em operação.

Isso permitirá a avaliação das potencialidades e falhas de cada unidade e permitirá ao projetista aproveitar ao máximo as obras civis e equipamentos existentes.

Antes de efetuar o projeto ou estudo com os fins mencionados, o projetista deverá levantar todos os dados históricos acerca da qualidade da á-gua bruta e da tratada, se possível desde o início da operação das instalações. Além disso deverá acompanhar a operação da estação de tratamento (e entrar em contato com os operadores) pelo menos por período de um mês.

Nesse período, além de acompanhar as atividades de rotina, o projetista deverá efetuar testes com traçadores, testes através de modificações possíveis de unidades em operação, etc..

O projetista, por exemplo, poderá retirar de operação uma câmara de floculação ou um decantador ou um filtro, sobrecarregando outras unidades correspondentes para verificar o efeito do aumento de solicitação nessas unidades, obtendo assim dados para parâmetros que podem ser úteis na concepção ou reforma de componentes do sistema.

O projetista poderá, também, como exemplo, testar diferentes concentrações e dosagens dos produtos utilizados rotineiramente na clarificação e na desinfecção, utilizar produtos adicionais ou substitutivos àqueles empregados rotineiramente, etc..

Enfim, no período em que o projetista permanecer na operação, ele deverá retirar o máximo proveito para conhecer tudo o possível acerca do sistema de tratamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (01) AMARAL, R. - Critérios para Interpretação de Análises Físico-químicas de Águas. 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Camboriu, SC, Novembro 1980, 10 p.
- (02) AMEZAL, A. et alii - Historique des pollutions accidentelles survenues dans le monde. Techniques et Sciences Municipales, mai, 1981, 293-300 p.
- (03) AMIRTHARAJAH, A. - Variance Analyses and Criteria for Treatment Regulations. Journal American Water Works Association, march 1986, 34-49 p.
- (04) ANDERSON, M.C. et alii - Controlling trihalometanes with powdered Activated Carbons. Journal AWWA. August 1971, 432-439 p.
- (05) ARBOLEDA, J. - Vinculación del tratamiento de água a la evaluación técnica y a las realidades de los países pobres. 9º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Belo Horizonte, 1977, 143-155 p.
- (06) AWWA - Waterborne diseases in the United States and Canada. Committee Report. Journal American Water Works Association. October, 1981, -528-529 p.
- (07) BABBIT et alii - Abastecimento de água. Trad. Zadin Castelo Branco, Ed. Edgard Blücher, 1962, 592 p.
- (08) BELLE, J.P. e JERSALE, C. - Elimination des Fluorures par Adsorption - Échange sur Alumine Activée. Techniques et Science Municipales, Févr, 1984, 87-93 p.
- (09) BESNIER, G. - Production et Traitement. Eaux Profondes et eaux superficielles. Techniques et Sciences Municipales, mars, 1981, 20-27 p.
- (10) BESNIER, G. - Ressources en eau (France). Techniques et Sciences Municipales, mai, 1981, 12-19 p.
- (11) BLACK AND VEATCH INC - Effectiveness of Treatment Methods for Removing Inorganic Contaminants. Water & Sewage Works, reference number 1980, 62 p.
- (12) BRAIDECH, J.E. et alii - Causes of a Waterborne Giardiasis Outbreak. Journal AWWA, February, 1985, 48-51 p.
- (13) CLEASBY, J.L. - Iron and Manganese Removal. Iowa State University, Notas de Aula, 1983, 7p.
- (14) CUMMINS, B.T. - Drinking Water Quality, Criteria, Surveillance and Control with Particular Reference to the Developing World. Hong-Kong, 1985, 10p.
- (15) COX, C.R. - Guides to the design of water treatment plants. USA, Agosto 1960.
- (16) COSTELLO, J. J. - Postprecipitation in Distribution Systems. J.American Water Works Association. November, 1984, 46-49 p.
- (17) DARGENT, M. - Les prélèvements publics d'eau souterraine dans un grand bassin hydrographique. Bilan et Recomendations. Techniques et Sciences Municipales, Juillet, 1981, 384-387 p.

- (18) D'ARRAS, D. et alii - Connaissance de la Qualité de l'eau de rivière utilisée à des fins alimentaires. Techniques et Science Municipales. Novembre, 1981, 567-571 p.
- (19) DOHNALEK, D.A. e FITZ PATRICK, J.A. - The Chemistry of Reduced Sulfur Species and their Removal from Groundwater Supplies. Journal American Water Works Association, July 1983, 298-308 p.
- (20) BERNARDO, L. - Considerações hidráulicas sobre o funcionamento de sistemas de filtração direta ascendente. Boletim de Hidráulica e Saneamento nº 10, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1985.
- (21) GUSHKO, M. A. et alii - Coliform Occurrence and Chlorine Residual in Small Water Distribution System. Journal American Water Works Association, 75, July, 1983, 371-376 p.
- (22) HAMON, J. L. - Nouvelles normes européennes relatives aux alimentaires. Techniques et Sciences Municipales, Juin 1982, 301-310 p.
- (23) HOUEL, N. et alii - Elimination des Formes Azotées dans les Eaux Alimentaires. Techniques et Sciences Municipales, Juin 1982, 292-300p
- (24) HUDSON, Jr., H.E. - Water Clarification Processes. Practical Design and Evaluation. Van Nostrand Reinhold Co., N.York, 1981, 353 p.
- (25) HUISMAN, I. L. - Slow Sand Filtration. Delft University of Technology Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Panamá, 1982.
- (26) KACHEL DOS SANTOS - Alternativas para controle de trihalometanos em águas de abastecimento público. 13º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Alagoas, Brasil, 1985, 10 p.
- (27) LANDREAU, A. et MONITION, L. - Eaux Souterraines - Qualité et Pollution Techniques et Sciences Municipales, Juillet, 1981, 388-392 p.
- (28) LE CROIREC, P. e MARTIN, G. - Le Charbon actif - Le Matériau et son Utilization dans le Traitement d'eau. Techniques et Sciences Municipales. Avril, 1984, 176-181 p.
- (29) LEROY, J.B. et FRESSONNET - Traitement de l'azote Organique dans les Eaux Potables. Techniques et Sciences Municipales, Février, 1985, 79-92 p.
- (30) LIN, S.D. - Giardia Lamblia and Water Supply. Journal American Water Works Association, February, 1985, 40-47 p.
- (31) LONGSDOW, G.S. - Controle da Qualidade da Água Potável - Engenharia Sanitária. Tradução Froylan Motta, Rev.DAE, Out./Nov., 1980, 482-486p.
- (32) MACEDO, L.H.H. et alii - Estudos dos trihalometanos. Revista DAE, setembro, 1983, 42-47 p.
- (33) McCARTY, P.L. - Organics in Water - An engineering challenge. Journal of the Environmental Engineering Division - ASCE, February, 1980, - 17 p.
- (34) MONTIEL et OUVRARD, J. - Elimination Spécifique des Cyanures ver Pilote de Potabilization d'eau. Techniques et Sciences Municipales, Janvier, 1985, 51-55p.
- (35) PATERNIANI, J.E.S. - Estudo da eficiência de descarga de fundo na eficiência de remoção de microrganismos em sistemas de filtração direta ascendente. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de S. Carlos - USP, 1986, 135 p.
- (36) QURESHI, N. et al - Reducing Aluminum Residuals in Finished Water. J. AWWA, October, 1985, 101-108 p.

- (37) RAWDTKE, S. et al - Chemical Pretreatment for Activated Carbon Adsorption. Journal American Water Works Association, August 1981, 411-419 p.
- (38) REALI, M.A.P. e CAMPOS, J.R. - Emprego de Flotação por ar dissolvido na clarificação de águas para abastecimento. Boletim de Hidráulica e Saneamento nº 5, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1985, 51p.
- (39) REILLY, J.K. e KIPPIN, J.S. - Relationship of Bacterial Counts with Turbidity and Free Chlorine in Two Distribution System. Journal American Water Works Association, June 1983, 309-318 p.
- (40) RICHARD, Y. - La Nitrification des Eaux Potables. Exemple de l'Installations de Louveciennes. Techniques et Sciences Municipales, Janvier, 1985, 35-44 p.
- (41) RICHARD, Y. - Nouveaux Developpements dans le Traitement des Eaux de Surface destinées a le consommation. Societé Degremont, 1979.
- (42) RICHARD, Y. - Les Nouvelles Applications de l'Ozone en Traitement d'Eau de Consommation. Techniques et Sciences Municipales, Janvier, 1982, 3-10 p.
- (43) RICHARD, Y. e BRENER, L. - Interférence Dioxyde de Chlore-Ozone en Traitement d'Eau de Consommation. Techniques et Sciences Municipales, Decembre, 1981, 627-636 p.
- (44) RICHTER, C.A. - Variáveis Envolvidas no Processo de Filtração Direta. Companhia de Saneamento do Paraná. Paraná, 18 p., 1985.
- (45) RODIER, J. e VIAL, J. - Considérations sur l'etablissement des normes de qualité des eaux potables. Techniques et Sciences Municipales, - Juillet, 1982, 371-376 p.
- (46) SINGLEY, J.E. - El uso del Carbon activado pulverizado la remoción de compuestos orgánicos especificos. Revista da Division Purificacion del Agua - AIDIS, Junho 1982, 3-20 p.
- (47) STELL, E. W. - Abastecimento de Água. Sistemas de Esgotos. McGraw-Hill Book Co., 1ª ed. em português, 1966, 866 p.
- (48) SORG, J.T. - Técnicas de tratamento para remoção de poluentes inorgânicos na água de bebida. Tradução Froylan Moetta. Revista DAE, Abril Junho, 1979, 212-217 p.
- (49) STOVER, E.L. e KINCANNON, D.F. - Contaminated Groundwater Treatability- A Case Study. Journal American Water Works Association, June 1983, 292-298 p.
- (50) TRUSSEL, R.R. et al - Evaluation and Treatment of Synthetic Organics in Drinking Water Supplies. Journal AWWA. August 1981, 458-489 p.
- (51) VIAL, J. - Eau potable et cancer. Techniques et Sciences Municipales, Février, 1985, 97-100 p.
- (52) WELTE, B. e MONTIEL, a. - Méthode de Determination des Formes sous Lesquelles se Trouvent les Micropolluants Minéraux. Techniques et Sciences Municipales, Mars, 1980, 100-104 p.
- (53) WAME, S.K. e BONDIETTI, E. A. - Removing Uranium by Current Municipal Water Treatment Processes. Journal American Water Works Association July, 1983, 374-380 p.
- (54) WORLD HEALTH ORGANIZATION - Guidelines for Drinking Water Quality, vol. 1, Recommendations, Genebra, 1984, 130 p.
- (55) WORLD HEALTH ORGANIZATION - Guidelines for Drinking Water Quality, vol. 2, Health Criteria and Other Supporting Information, Genebra, 1984 335 p.