

**CURSO: “QUALIDADE DAS
ÁGUAS E POLUIÇÃO:
ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS”**

AULA 9

**A QUÍMICA DO CLORO E DO FLÚOR NAS ÁGUAS DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO**

Prof. Dr. Roque Passos Piveli

AULA 9 - A QUÍMICA DO CLORO E DO FLÚOR NAS ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO

1. O Cloro nas Águas

1.1. Reações do cloro na água e definições das formas residuais

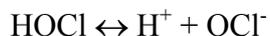
- Dissociação do cloro na água

O cloro puro, o gás Cl_2 , quando adicionado à água, se dissocia, segundo a reação:



Esta reação praticamente se completa em pH acima de 4,0, ou seja, todo cloro é transformado em ácido hipocloroso e ácido clorídrico. O agente desinfetante, isto é, aquele que tem a capacidade de destruir a enzima triosefosfato di-hidrogenase, essencial na oxidação da glicose e portanto ao metabolismo de microrganismos, é o ácido hipocloroso. O ácido clorídrico não tem efeito sobre a desinfecção.

Porém, o ácido hipocloroso também se dissocia, produzindo na água o íon hipoclorito, conforme:



Pode-se observar que este caso é o de um equilíbrio químico dependente do pH. Para valores de pH acima de 7,0 prevalece o íon hipoclorito e, abaixo de 7,0, o ácido hipocloroso não dissociado. Isto é importante porque o ácido hipocloroso é um desinfetante muito superior quando comparado com seu íon. Portanto, deve-se procurar pH inferior a 7,0 para a cloração das águas, porém apenas ligeiramente, pois em pH 6,5 a porcentagem de HOCl é superior a 90%. É importante que não se ultrapasse o valor de 7,0 pois o processo se inverte e a desinfecção perde eficiência. O estudo deste equilíbrio, através dos valores de sua constante em função da temperatura, resulta nas seguintes proporções entre as duas frações, em função do pH (Figura 1):

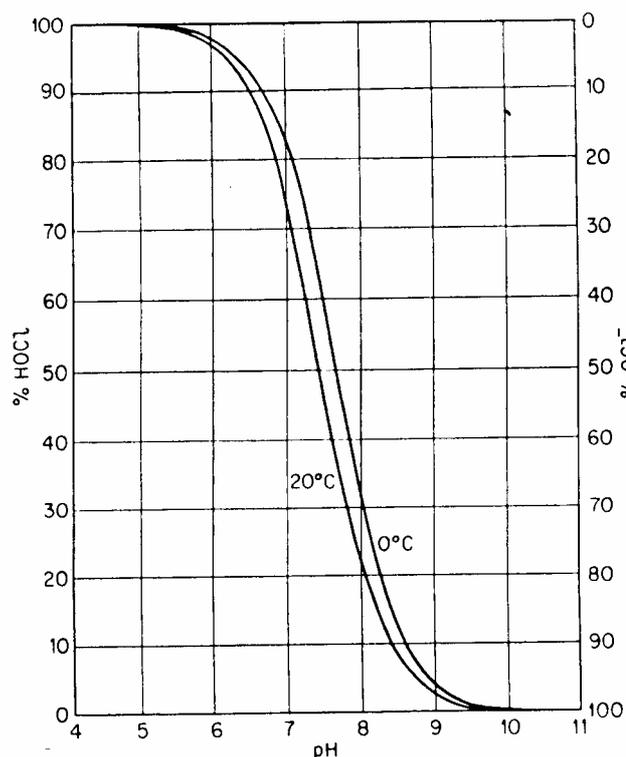
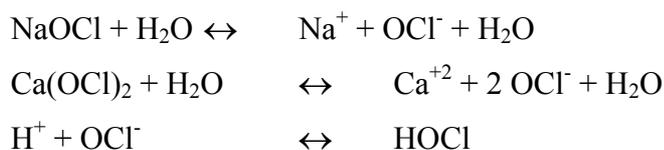


Figura 1: Efeito do pH na distribuição de ácido hipocloroso e íon hipoclorito na água.
 FONTE: CETESB (2)

Em pequenos sistemas de abastecimento de água é preferível o uso do cloro em solução do que o cloro puro, evitando-se o manuseio dos cilindros contendo o gás sob pressão e os riscos de acidentes nos sistemas de dosagem. O hipoclorito de sódio e o de cálcio são utilizados produzindo as seguintes reações:



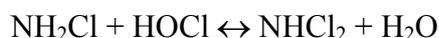
Do cloro aplicado, ou cloro dosado na água, parte é consumida satisfazendo a sua ação oxidante, o que é chamado cloro consumido ou demanda de cloro, e parte permanece como residual. Define-se cloro residual livre como sendo o cloro presente na água nas formas do ácido hipocloroso ou do íon hipoclorito.

- Reações do cloro com a amônia

Se a amônia estiver presente na água, poderão ocorrer reações sequenciais de formação de cloraminas. Inicialmente, o cloro reage com a amônia formando a monocloramina, conforme a reação:



Prosseguindo-se a adição de cloro, a monocloramina se converte em dicloramina, conforme a reação:



Adicionando-se mais cloro, a dicloramina converte-se em tricloramina ou tricloreto de nitrogênio, conforme a reação:



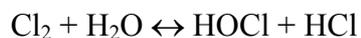
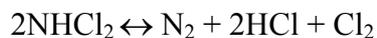
Em valores de pH superiores a 8,5 prevalece praticamente só monocloramina. Abaixo deste valor, ocorrem mono e dicloramina, sendo que a dicloramina prevalece quase exclusivamente na faixa de pH entre 4,5 e 5,5. Em pH abaixo de 4,5 prevalece somente tricloramina.

Define-se cloro residual combinado como sendo o cloro presente na água nas formas de mono, di e tricloramina. Na cloração com cloro combinado, deve-se procurar otimizar a formação de dicloraminas que são melhores desinfetantes. Em uma escala mais ampla de poder de desinfecção, tem-se, em ordem decrescente: Bióxido de cloro (ClO_2), ácido hipocloroso, íon hipoclorito, dicloramina, monocloramina e tricloreto de nitrogênio cujo poder desinfetante é praticamente nulo.

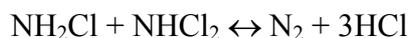
Continuando-se a marcha de aplicação de dosagens crescentes de cloro em águas contendo amônia, a monocloramina decompõe-se na presença de excesso de cloro, segundo a reação:



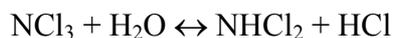
Quando existe apenas dicloramina, esta tende a se decompor, formando HOCl, conforme:



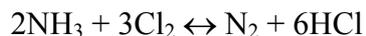
Quando existe mono e dicloramina, ocorre também decomposição, havendo tendência de desaparecimento da forma que estiver presente inicialmente em menor quantidade:



Quando existe em solução quantidades apreciáveis de monocloramina, o NCl_3 se decompõe, segundo a reação:



De uma maneira global, pode-se representar a destruição das cloraminas pelo excesso de cloro, através da reação simplificada:



Os fenômenos acima descritos podem ser representados graficamente, conforme a figura 2:

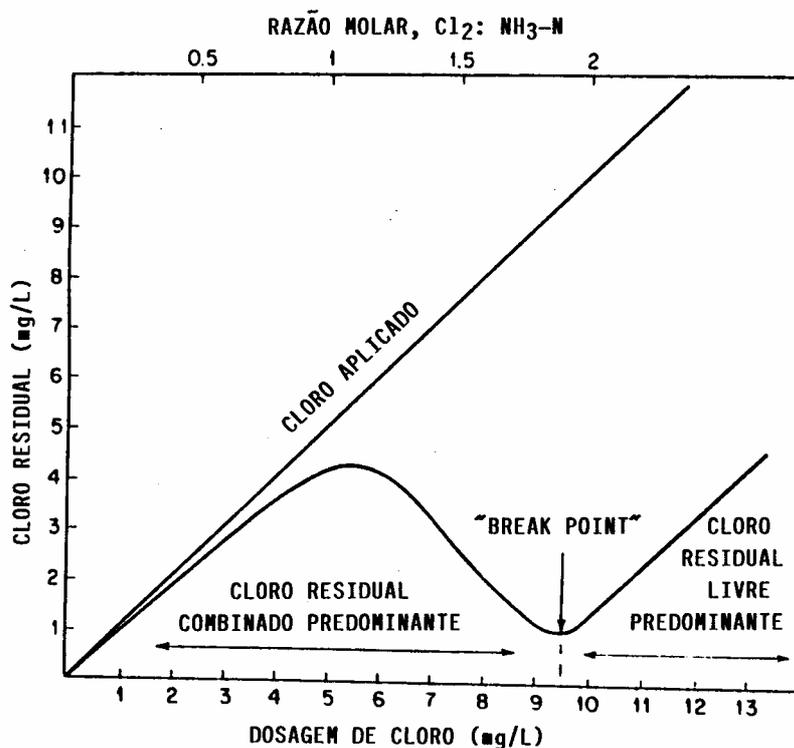


Figura 2: Curva de cloro residual mostrando um "break point" típico.

Conteúdo de nitrogênio amoniacal na água, 1,0 mg/L. FONTE: CETESB (2)

Nesta figura, o ramo ascendente da curva de cloração indica que as cloraminas estão sendo formadas e o trecho descendente mostra suas destruição, ou seja, a transformação em compostos inertes sob o ponto de vista da desinfecção.

Há situações em que se pode desejar clorar uma água com cloro residual combinado. São os casos onde a rede de distribuição é longa, e o cloro livre, por ser mais instável, é consumido antes de chegar aos pontos de consumo mais desfavoráveis, ou o caso de águas contendo fenóis, cresóis ou tanino pois, após a cloração, os clorofenóis formados desenvolvem sabor e odor na água tratada. Nestes casos, deve-se dosar cloro até o ponto de formação máxima das cloraminas.

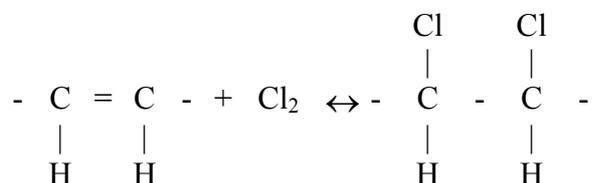
Por outro lado, nos casos em que, embora a água contenha amônia se deseja clorar com cloro residual livre, deve-se dosar cloro até o ponto de inflexão correspondente à destruição total das cloraminas. Esta técnica é denominada cloração ao break-point.

- Reações do cloro com outros compostos

O cloro reage com outros compostos orgânicos e inorgânicos, em decorrência de sua ação oxidante, oxidando ferro, manganês, nitrito e sulfeto, estes últimos conforme a reação:



Oxida também compostos orgânicos, conforme o exemplo:



1.2. Importância nos estudos de controle de qualidade das águas

O cloro é um agente desinfetante largamente utilizado no Brasil, onde desinfecção praticamente confunde-se com cloração. Pode ser aplicado em diversos pontos do sistema de tratamento de águas, com diferentes finalidades. Assim, na etapa de coagulação e floculação, recorre-se à sua ação oxidante para melhorar a formação dos flocos, por exemplo, em águas contendo ferro e, conseqüentemente, cor elevada, e que apresentem turbidez baixa; mas, esta chamada pré-cloração é a aplicação mais discutível do cloro, por possibilitar reações com compostos orgânicos que estiverem presentes (principalmente os ácidos húmico e fúlvico), dando origem aos chamados trihalometanos (THMs), cujos indícios de serem carcinogênicos são muito fortes. O clorofórmio, HCCl_3 , é o principal exemplo de THM. O padrão de potabilidade para THMs é de $100 \mu\text{g/L}$, com forte tendência a ser reduzido nas próximas revisões da legislação vigente. Estudos epidemiológicos realizados nos EUA têm conduzido à necessidade de se reduzir esse padrão para $10 \mu\text{g/L}$. Assim, sistemas de abastecimento de água que atendem aos padrões atuais poderiam ter sérias dificuldades para atender a este padrão mais restritivo.

A aplicação do cloro à entrada dos filtros é denominada cloração intermediária e tem por objetivo evitar desenvolvimentos biológicos que possam obstruir o leito filtrante.

É a cloração da água final tratada, ou pós-cloração, que garante a presença do cloro na água até os pontos de consumo, garantindo a sua qualidade biológica. Aliás, esta é uma das vantagens do uso do cloro com relação a outros processos de desinfecção que não tenham ação residual.

Embora a desinfecção pelo cloro não deva ser entendida como esterilização, uma vez que algumas espécies (como as amebas, por exemplo) resistem à sua ação, garante-se com a cloração boa proteção contra os agentes das chamadas doenças de veiculação hídrica, tais como: disenterias, cólera, esquistossomose, febres tifóide e paratifóide, hepatite, etc.

A cloração não é um processo muito recomendável para a desinfecção de esgotos, devendo ser indicada apenas em situações de emergência. Especialmente os esgotos brutos ou “in natura” e até mesmo os esgotos tratados em nível secundário, são muito ricos em partículas com dimensões suficientes para incorporar os microrganismos em suas estruturas, protegendo-os, por conseguinte, da ação do cloro. Além disso, o excesso de cloro provoca efeitos adversos aos ecossistemas aquáticos dos corpos receptores, trazendo prejuízos inclusive para a fauna ictiológica. Apesar das elevadas concentrações de matéria orgânica, os compostos precursores da formação de THMs não estão presentes em quantidades significativas nos esgotos.

Uma aplicação interessante de cloro é no controle de intumescimento dos lodos ativados devido ao desenvolvimento excessivo de organismos filamentosos, o que provoca a flutuação do lodo nos decantadores secundários e a perda acentuada de sólidos biológicos com o efluente final. A aplicação de dosagem correta de cloro no tanque de aeração resulta na oxidação de filamentos sem que ocorra destruição celular. Assim, melhora-se a floculação sem perda de atividade biológica. Todavia, esta adição química tem que ser muito bem controlada, pois do contrário pode-se até mesmo levar o sistema ao colapso.

1.3. Determinação de cloro residual em águas

Na maior parte das aplicações práticas, o cloro residual é determinado através de processos colorimétricos de comparação visual. Existe o método da

ortotolidina que reage com o cloro formando um complexo de coloração amarela. O uso em conjunto de arsenito de sódio permite a distinção entre os residuais livre e combinado. O método apresenta a dificuldade de ter-se que trabalhar com compostos tóxicos. O método de comparação visual atualmente mais empregado é o do DPD, que reage com o cloro formando complexo de coloração roxa.

O cloro pode ser determinado também através de titulação com tiosulfato de sódio (titulação de óxido-redução: iodometria): adiciona-se iodeto de potássio ao meio, que também deve ser acidificado com ácido acético, e o indicador é o amido (viragem de azul para incolor).

Através de procedimento semelhante pode-se obter uma solução caseira indicadora de cloro. Basta misturar cristais de iodeto de potássio (disponível em farmácias), amido (goma, maizena, etc) e vinagre. Adicionando-se gotas desta solução à amostra de água, se ela contiver cloro deverá se tornar azulada, do contrário, deverá permanecer incolor. Este procedimento pode ser utilizado para a realização de precários testes de demanda de cloro, adicionando-se quantidades crescentes de cloro em diversos frascos com volumes iguais da amostra de água, observando-se após meia hora de contato a presença e a intensidade da coloração azulada. Água incolor significa todo cloro consumido e, por outro lado, azul muito intenso pode significar residual muito alto de cloro.

1.4. Remoção de cloro

O cloro residual pode ser removido por processo de adsorção, empregando-se carvão ativado, ou por processos de oxi-redução empregando-se por exemplo o tiosulfato de sódio que reage com o cloro, segundo:



2. Fluoreto em Águas

2.1. Fontes de fluoreto nas águas

O flúor é o mais eletronegativo de todos os elementos químicos, tão reativo que nunca é encontrado em sua forma elementar na natureza, sendo normalmente encontrado na sua forma combinada como fluoreto. O flúor é o 17º elemento em abundância na crosta terrestre, representando de 0,06 a 0,9 % e ocorrendo

principalmente na forma de fluorita (CaF_2), fluoroapatita ($\text{C}_{10}(\text{PO}_4)_6$) e criolita (Na_3AlF_6). Porém, para que haja disponibilidade de fluoreto livre, ou seja, disponível biologicamente, são necessárias condições ideais de solo, presença de outros minerais ou outros componentes químicos e água.

Traços de fluoreto são normalmente encontrados em águas naturais e concentrações elevadas geralmente estão associadas com fontes subterrâneas. Em locais onde existem minerais ricos em flúor, tais como próximos a montanhas altas ou áreas com depósitos geológicos de origem marinha, concentrações de até 10 mg/L ou mais são encontradas. A maior concentração de flúor registrada em águas naturais é de 2.800 mg/L, no Quênia.

Na tabela 1 são apresentadas concentrações de fluoreto em águas subterrâneas do Estado de São Paulo.

Tabela 1: Concentrações de Fluoreto em Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo

Município	Número do Poço	F⁻ (mg/L)
Riolândia	6/03	8,20
Santa Albertina	13/14	4,40
Barretos	58/21	2,50
Coroados	91/11	5,00
Itápolis	140/05	2,20
Santo Expedito	153/04	4,40
Queiroz	158/07	4,40
Arealva	163/07	3,00
Presidente Prudente	177/82	11,60
Presidente Prudente	177/82	10,50
Presidente Prudente	177/82	13,30
Presidente Prudente	177/82	9,80
Leme	193/02	7,10
Leme	193/16	3,50
Teodoro Sampaio	200/06	9,20
Rio Claro	247/07	6,60
Rio Claro	218/04	2,10
Araras	220/22	2,68
Piracicaba	246/10	3,60
Piracicaba	247/21	4,90
Cosmópolis	249/11	5,60
Jaguariúna	249/36	6,40
Anhembi	273/03	10,40
Conchas	274/05	8,57
Campinas	277/60	3,90
Bofete	297/06	17,60
Pereiras	298/02	8,00
Pereiras	298/02	3,20

Município	Número do Poço	F⁻ (mg/L)
Pereiras	298/12	5,14
Pereiras	298/13	6,80
Campo Limpo	302/278	2,50
Taubaté	307/01	2,50
São Paulo	343/2541	8,90
São Paulo	343/3046	4,40
São Paulo	343/2659	2,60
Carapicuíba	342/921	2,10
Cubatão	363/10	2,20
Colômbia	371/03	2,40

FONTE: Berenhauer(2000)

Nos rios e represas que são utilizados como fonte de água bruta para água de abastecimento público, não são encontradas quantidades significativas de fluoreto para atender às exigências em termos de saúde pública e, portanto, é necessário adicionar, no final do processo de tratamento da água, quantidade suficiente para suprir esta deficiência. Assim, as águas tratadas contêm fluoreto, adicionados artificialmente com o objetivo de combate à cárie dentária. Quatro principais compostos contendo fluoreto podem ser utilizados nas estações de tratamento de água, cujas características são:

Compostos ⇒ Características ↓	Fluossilicato de Sódio (Na₂SiF₆)	Fluoreto de Sódio (NaF)	Fluoreto de Cálcio (CaF₂)	Ácido Fluossilícico H₂SiF₆
Forma	pó	pó	pó	líquido
Peso Molecular (g)	188,05	42,00	78,08	144,08
% Pureza (comercial)	98,5	90-98	85-98	22-30
% Fluoreto (composto 100% puro)	60,7	45,25	48,8	79,02
Densidade (Kg/m ³)	881-1153	1041-1442	1618	1,25(Kg/L)
Solubilidade a 25°C (g/100gH ₂ O)	0,762	4,05	0,0016	infinita
pH solução saturada	3,5	7,6	6,7	1,2 (sol. 1%)

O fluossilicato de sódio era o composto mais utilizado, tendo sido substituído pelo ácido fluossilícico em diversas estações de tratamento de água. Apesar

da corrosividade do ácido, pelo fato de se apresentar na forma líquida facilita sua aplicação e o controle seguro das dosagens é condição fundamental para a fluoretação. O fluoreto de sódio é muito caro e o fluoreto de cálcio, pouco solúvel.

Alguns efluentes industriais também descarregam fluoreto nas águas naturais. São os casos das indústrias de vidro e de fios condutores de eletricidade.

No ar, a presença de fluoreto deve-se principalmente a emissões industriais e sua concentração varia com o tipo de atividade. Estima-se um valor de exposição abaixo de $1\mu\text{g/L}$, pouco significativo em relação à quantidade ingerida através da água e de alimentos. Todos os alimentos possuem ao menos traços de fluoreto. Os vegetais possuem concentrações maiores principalmente devido à absorção da água e do solo. Alguns alimentos tais como peixes, certos vegetais e chá, possuem altas concentrações de fluoreto. O uso da água fluoretada na preparação de alimentos pode dobrar a quantidade de fluoreto presente. Estima-se uma quantidade diária ingerida de 0,2 a 3,1 mg para adultos e 0,5 mg para crianças de 1 a 3 anos.

Outras fontes de fluoreto são as pastas de dente, gomas de mascar, vitaminas e remédios. O uso tópico de fluoreto contribui para uma absorção maior. O fluoreto ingerido através da água é quase completamente absorvido pelo corpo humano, enquanto que o flúor presente nos alimentos não é totalmente absorvido; em alguns casos, como através de peixes e outras carnes, chega apenas a 25%. Uma vez absorvido, o fluoreto é distribuído rapidamente pelo corpo humano, grande parte é retida nos ossos, enquanto que uma pequena parte é retida nos dentes. O fluoreto pode ser excretado pela urina e sua excreção é influenciada por uma série de fatores tais como o estado de saúde da pessoa e seu grau de exposição a esta substância.

2.2. Importância nos estudos de controle de qualidade das águas

O fluoreto é adicionado às águas de abastecimento público para conferir-lhes proteção à cárie dentária. O fluoreto reduz a solubilidade da parte mineralizada do dente, tornando-o mais resistente à ação de bactérias e inibe processos enzimáticos que dissolvem a substância orgânica protéica e o material calcificante do dente. Constitui-se também em meio impróprio ao desenvolvimento de *Lactobacillus acidophilus*.

Por outro lado, acima de certas dosagens o fluoreto provoca a fluorose dentária, ou seja, o mosqueamento do esmalte dos dentes. O assunto até hoje ainda é polêmico entre os especialistas, sendo que os odontólogos sanitaristas contrários à

fluoretação em águas de abastecimento alertam para a possibilidade de ocorrência de outros problemas como a descalcificação de ossos de idosos, a chamada fluorose óssea. Frequentemente ocorrem novas propostas para a administração alternativa de fluoreto.

Nesse sentido, a fluoretação das águas deve ser executada sob controle rigoroso, utilizando-se bons equipamentos de dosagem e implantando-se programas efetivos de controle de residual de fluoreto na rede de abastecimento de água, o que nem sempre tem acontecido.

Os benefícios da aplicação de fluoreto em águas para a prevenção da cárie dentária são inquestionáveis. Estudos desenvolvidos nos Estados Unidos demonstram que, para as condições lá existentes, os seguintes resultados podem ser esperados: o índice utilizado é o “c.p.o.”, ou seja, número de dentes cariados, perdidos e obturados por cem crianças. Os estudos são conclusivos de que, para concentrações de fluoreto acima de 1,5 mg/L, ocorre aumento na incidência da fluorose dentária; para concentrações de fluoreto da ordem de 1,0 mg/L, ocorre redução do c.p.o. da ordem de 60% sem ocorrer fluorose; para concentrações de fluoreto menores que 1,0 mg/L, ocorrem menores reduções percentuais na redução da cárie.

Na verdade, o que é necessária é a ingestão de 1,5 mg/dia de fluoreto, o que para um consumo de água de 1,2 a 1,6 litros por dia, resulta em concentrações da ordem de 1,0 mg/L. A Organização Mundial de Saúde considera 1,5 mg/L o valor máximo permissível. A rigor, o consumo de água varia com a temperatura do local, devendo ser recomendadas as seguintes dosagens de fluoreto:

TEMPERATURA MÉDIA ANUAL DAS MÁXIMAS DIÁRIAS (°C)	LIMITES RECOMENDADOS DE FLUORETO (ppm)		
	INFERIOR	ÓTIMO	SUPERIOR
10 - 12,1	0,9	1,2	1,7
12,2 - 14,6	0,8	1,1	1,5
14,7 - 17,7	0,8	1,0	1,3
17,8 - 21,4	0,7	0,9	1,2
21,5 - 26,3	0,7	0,8	1,0
26,4 - 32,5	0,6	0,7	0,8

Para o Brasil, que apresenta temperaturas elevadas, a dosagem recomendada é de 0,7 ppm.

2.3. Determinação da concentração de fluoreto em águas

Para a determinação de fluoreto, podem ser utilizados métodos colorimétricos. Existe o método de comparação visual empregando-se a alizarina, que forma complexo amarelo na presença de fluoreto. Pode-se também recorrer ao método do reagente SPADNS que, na presença de fluoreto, forma um complexo avermelhado que pode ser determinado por espectrofotometria. Existe ainda o método eletrométrico com eletrodo de íon seletivo para a determinação direta de fluoreto.

2.4. Remoção de fluoreto

Podem ocorrer águas naturais com níveis de fluoreto acima dos valores desejados para abastecimento público, bem como os efluentes industriais que os contém devem ser tratados antes do lançamento nas águas naturais. São disponíveis, para a remoção de fluoreto, processos à base de adsorção, empregando-se alumina ativada. Existe também o método da adsorção em farinha de osso, que pode produzir bons resultados com vantagens econômicas. A precipitação com cálcio pode resolver apenas parcialmente o problema, sendo usado geralmente associada a outros processos. Recentemente, tem-se recomendado o emprego da osmose reversa que, além de eficiente, permite a recuperação do fluoreto para uso em outros sistemas de abastecimento de água.

3. Questionário

- 1) Definir: a) demanda de cloro; b) cloro residual; c) cloro residual livre e d) cloro residual combinado.
- 2) Com base no equilíbrio do ácido hipocloroso na água, o que pode ser dito sobre a influência do pH no processo de desinfecção com cloro residual livre?

- 3) Explicar a evolução do processo de cloração de uma água contendo nitrogênio amoniacal.
- 4) Dê exemplo de aplicações em saneamento que podem decorrer da ação oxidante do cloro.
- 5) Em que casos típicos a pré-cloração de águas para abastecimento público é necessária e por que ela deve ser evitada?
- 6) Que dificuldades podem ser esperadas na aplicação de cloro na desinfecção de esgotos sanitários?
- 7) Por que a fluoretação de águas para abastecimento público deve ser um processo bem controlado?

4. Referências bibliográficas

1. APHA, AWWA, WEF, “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. 18th ed. Washington. 1992.
2. BERENHAUSER, A.H., “Remoção de fluoreto de águas para abastecimento público através do processo de osmose reversa”. Projeto de Qualificação para o Mestrado. Faculdade de Saúde Pública da USP, 2000.
3. CETESB, “Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Águas – Volume II”. CETESB/ASCETESB. 2^a ed. 1988.
4. KATO, M.T., “Cloro Residual”. Roteiro de aula da disciplina Qualidade da Água, do Ar e do Solo. Escola de Engenharia Mauá. São Caetano do Sul/SP, 1983.
5. KATO, M.T., “Fluoretos”. Roteiro de aula da disciplina Qualidade da Água, do Ar e do Solo. Escola de Engenharia Mauá. São Caetano do Sul/SP, 1983.
6. MINISTÉRIO DA SAÚDE, “Portaria 36: Padrões de Potabilidade”. 1990.
7. POVINELLI, J., Notas de aula da disciplina “Técnicas Experimentais em Saneamento Ambiental”, do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1979.
8. ROCHA, A.A., “Efeitos dos poluentes encontrados nos efluentes de uma galvanoplastia”. REVISTA DAE nº 130 (42): 89-93, 1982.
9. SAWYER, C.N. & McCARTY, P.L., “Chemistry for Environmental Engineers”. 4th ed. New York. Mc Graw-Hill Book Company, 1994.

Questões de múltipla escolha – Aula 9

- 1) Entende-se por cloro residual livre
 - a) O cloro presente na água na forma do ácido hipocloroso ou do íon hipoclorito
 - b) O cloro que permanece na água, após satisfeita a demanda devido à sua ação oxidante
 - c) O cloro que é adicionado à água para recorrer-se à sua ação oxidante
 - d) O cloro que permanece na forma de Cl_2 gasoso, após sua dissolução e parcial decomposição na água
 - e) O cloro que reage com a amônia e efetivamente se disponibiliza para a destruição de organismos patogênicos presentes na água

- 2) Entende-se por cloração ao "break - point":
 - a) Fenômeno em que se adiciona cloro e amônia à água para desinfetá-la através da formação de compostos chamados cloraminas
 - b) Fenômeno em que se adiciona cloro à água para, após reações com a amônia presente, promover a desinfecção através de cloro residual combinado
 - c) Fenômeno decorrente da adição simultânea de cloro e flúor à água
 - d) Fenômeno decorrente da reação do cloro com matéria orgânica presente na água, possibilitando a formação de compostos prejudiciais à saúde
 - e) Processo de cloração com cloro residual livre de águas contendo nitrogênio amoniacal

- 3) Com relação à dosagem de cloro a ser aplicada em uma água para abastecimento público:
 - a) Deve ser constante, da ordem de 0,5 mg/L
 - b) Depende da espécie de organismo a ser destruído
 - c) Depende da presença de matéria redutora que exerce demanda de cloro
 - d) É estabelecida em função da turbidez da água
 - e) Depende do consumo "per capita" da região

- 4) As dosagens de fluoreto em águas para abastecimento público são estabelecidas em função do (a):
 - a) pH da água
 - b) Cor da água
 - c) Turbidez da água
 - d) Dureza da água
 - e) Temperatura local

- 5) Para a determinação do cloro residual em águas pode-se recorrer à:
 - a) Método colorimétrico de comparação visual e titulométrico (iodometria)
 - b) Método colorimétrico de comparação visual e titulométrico (EDTA)
 - c) Método potenciométrico ou espectrofotométrico
 - d) Método potenciométrico ou titulométrico (iodometria)
 - e) Método espectrofotométrico ou titulométrico(EDTA)

- 6) O controle do residual de fluoreto em águas para abastecimento público deve ser rigoroso por que:

- a) Dosagens inferiores aos valores recomendados levam à perdas de eficiência no combate à cárie dentária e dosagens excessivas podem levar à fluorose dentária e fluorose óssea
 - b) Dosagens inferiores aos valores recomendados causam a fluorose dentária e dosagens superiores levam à fluorose óssea
 - c) Dosagens inferiores aos valores recomendados levam à fluorose óssea e dosagens superiores podem levar à fluorose dentária
 - d) Tanto as dosagens inferiores aos valores recomendados quanto as superiores podem levar a uma perda da eficiência no combate à cárie dentária
 - e) Tanto as dosagens inferiores aos valores recomendados quanto as superiores podem levar à fluorose dentária ou óssea
- 7) Para a determinação da concentração de fluoreto em águas para abastecimento público podem ser usados:
- a) Cromatografia de íons e titulometria de óxido-redução
 - b) Eletrodo de íon seletivo e método colorimétrico com alizarina
 - c) Titulometria de óxido-redução e método colorimétrico com aminoantipirina
 - d) Espectrofotometria de absorção atômica e eletrodo de íon seletivo
 - e) Colorimetria com azul de metileno e cromatografia de íons
- 8) Para a remoção de excesso de fluoreto em águas para abastecimento público pode-se recorrer à:
- a) Troca-iônica com alumina ativada e oxidação com cloro
 - b) Aeração e adsorção em farinha de osso
 - c) Adsorção em farinha de osso e coagulação/floculação
 - d) Osmose reversa e decantação
 - e) Osmose reversa e coluna com alumina ativada

