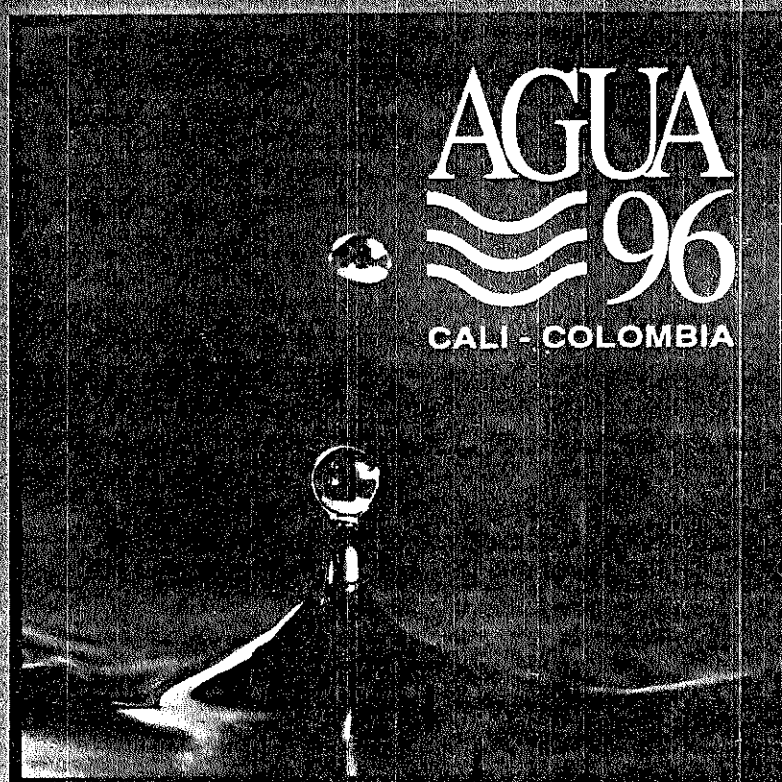
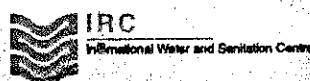


Conferencia Internacional MEJORAMIENTO DE CALIDAD DE AGUA

Abril 30 - Mayo 4



Organizado por:



Este evento se realiza en el marco del Acuerdo de Cooperación Técnica entre los gobiernos de Colombia y los Países Bajos, y cuenta también con el soporte del Consejo Británico y del Swiss Federal Institute.

En el evento participan expositores y docentes de la Universidad de Sao Paulo, la Escuela de Ingeniería de San Carlos (Brasil); de la Universidad de Surrey (Inglaterra); SANDEC - EAWAG (Suiza) y de instituciones nacionales.

Con el apoyo de:

Departamento Nacional de Planeación, COLCIENCIAS, Ministerio de Desarrollo Económico, FINETER, FONADE, FIU, ICFES, SENA, Gobernación del Valle del Cauca, ACUAVALLE, Alcaldía de Santiago de Cali, EMCALI.

TECNOLOGIAS DE FILTRAÇÃO RÁPIDA DE ÁGUA QUÍMICAMENTE COAGULADA - VISÃO GLOBAL, CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E DE PROJETO

D 536 t

LUIZ DI BERNARDO

507 814

Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

Av. Dr. Carlos Botelho, # 1465 ; CEP : 13560-250

São Carlos - Brasil

Email : Bernardo @ VMCISC.CISC.SC.USP.BR

RESUMO

A filtração é um processo imprescindível para a produção contínua e segura de água potável. Pode ser rápida ou lenta, o que depende principalmente de fatores tais como características da água bruta, atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica e medidas proteção e conservação dos mananciais, existência de reagentes químicos, disponibilidade de pessoal qualificado para operação e manutenção adequadas, capacidade da estação, situação geográfica da comunidade em relação aos centros desenvolvidos, padrão de potabilidade, etc. Algumas tecnologias de tratamento que empregam a filtração rápida podem ser as mais apropriadas em alguns casos e em outros não, razão pela qual o projetista deve conhecer suas aplicabilidades. No presente trabalho é apresentada uma visão global das tecnologias de filtração rápida de água químicamente coagulada, empregadas no tratamento de água para consumo humano, e discutidos seus aspectos positivos e suas limitações, critérios de seleção de alternativas e recomendações para projeto.

1 - INTRODUÇÃO

A água potável deve obedecer os critérios de qualidade das normas nacionais ou internacionais. Como muitos países em desenvolvimento não dispõem de recursos financeiros para construir estações de tratamento sofisticadas, é tarefa do projetista converter os conhecimentos teóricos das tecnologias disponíveis em um projeto realista, econômico, confiável e considerar as circunstâncias locais. Na figura 1 é apresentado um esquema no qual são relacionados a qualidade da água bruta, a tecnologia de tratamento e a capacidade de sustentação.

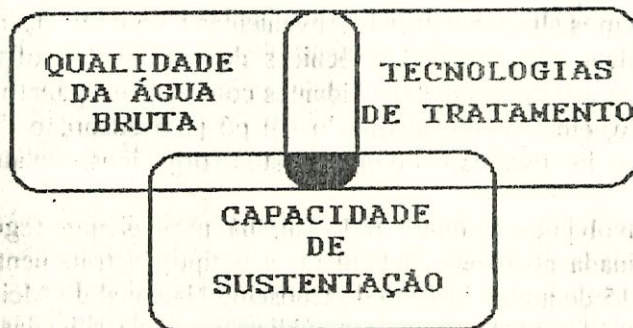


Figura 1. Relação entre Qualidade da Água Bruta, Tecnologias de Tratamento e Capacidade de Sustentação

0913213

A realização de análises e exames em laboratório e a execução de ensaios em instalações de bancada ou em instalações piloto com escoamento fornecem subsídios para que algumas tecnologias sejam consideradas inicialmente e outras descartadas. Em função da capacidade de individuação da comunidade, da existência de mão de obra qualificada, da vazão de água a ser tratada, da confiabilidade na operação e manutenção, fatores que definem a capacidade de sustentação, pode-se selecionar a tecnologia apropriada a cada caso.

Como se pode observar na Figura 1, existe uma região relativamente ampla relacionando qualidade da água bruta e tecnologias de tratamento. Realmente, há muitas tecnologias e variantes destas que podem ser empregadas. No entanto, quando são considerados aspectos da comunidade, condição importantíssima em países em desenvolvimento, observa-se que é restrita a região comum a essas três variáveis, definindo dessa forma, a tecnologia que deverá ser adotada.

O projeto de estações de água quimicamente coagulada deve normalmente se basear em dados de estudos de laboratório, obtidos utilizando-se instalações constituída de reatores estáticos ou, preferivelmente, instalações piloto de escoamento contínuo. Infelizmente, em muitas situações não há disponibilidade de recursos financeiros e tampouco de tempo para execução dos estudos que devem preceder a elaboração de projetos, levando o projetista a assumir parâmetros de qualidade da água bruta para as condições mais desfavoráveis, muitas vezes inviabilizando a implantação da estação de tratamento. Mesmo que a qualidade da água seja conhecida, o projetista pode incorrer em erros graves quando seleciona a tecnologia de tratamento ou quando adota parâmetros de projeto. Tem sido observado em alguns países em desenvolvimento que não existe relação entre a qualidade da água bruta e a tecnologia de tratamento, com comprometimento da operação da estação, tanto em relação ao consumo exagerado de produtos químicos, quanto na qualidade da água produzida.

2 - QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Os parâmetros de qualidade da água bruta e da água potável, e os limites fixados, especialmente daqueles que podem causar dano ao ser humano, deve levar em conta as condições locais, pois a utilização de parâmetros muito exigentes pode limitar o emprego de alguma tecnologia que eventualmente seria a indicada. A conservação da bacia hidrográfica com a conseqüente proteção dos mananciais é sem dúvida o melhor método para assegurar a qualidade da água destinada ao consumo humano. Para impedir sua poluição e contaminação, pelo ser humano ou por animais, devem ser evitados lançamentos de despejos líquidos que contenham organismos patogênicos e disciplinar o desenvolvimento de atividades agrícolas que exigem emprego de agrotóxicos que contêm elementos tóxicos ou de fertilizantes que possuem nutrientes, os quais são carregados para os cursos de água por escoamento superficial ou sub-superficial, causando florescimentos algais e outros inconvenientes para a operação de sistemas de tratamento. Como conseqüência, são exigidas técnicas de tratamento sofisticadas para países em desenvolvimento, com o uso de agentes oxidantes como permanganato de potássio, ozônio, peróxido de hidrogênio, etc, de carvão ativado em pó para adsorção de compostos orgânicos específicos, torres de extração de compostos orgânicos voláteis, aeração mecanizada, etc.

Em alguns países em desenvolvimento, como o Brasil, há normas que regulamentam a qualidade da água bruta destinada ao consumo humano e o tipo de tratamento requerido. Segundo a resolução nº 20 de 15 de junho de 1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (10), as águas destinadas ao abastecimento público foram classificadas em:

- Classe Especial : tratamento efetuado por meio da desinfecção
- Classe 1 : é requerido um tratamento simplificado (sic) e a desinfecção
- Classe 2 : a água bruta deve ser submetida ao tratamento convencional
- Classe 3 : o tratamento é convencional.

Para cada classe são estabelecidos limites dos parâmetros físicos, químicos biológicos e radiológicos, tornando obrigatória a determinação de aproximadamente setenta parâmetros, incluindo compostos orgânicos complexos, muitas vezes inexequível em muitas regiões do Brasil. Há também a limitação de alguns parâmetros sem o menor sentido, como a turbidez máxima igual a 100 uT para águas de classe 2 e de classe 3 e o número de coliformes fecais ser inferior a, respectivamente, 1000 e 4000 ufc/100 ml, para águas de classe 2 e de classe 3.

Ainda no Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT (2), por meio da NB-592, considera os seguintes tipos de águas naturais e respectivos tratamentos:

Tipo A : águas subterrâneas ou superficiais, provenientes de bacias sanitariamente protegidas, com características básicas apresentadas na Tabela 1 e, os demais parâmetros de qualidade, de acordo com o Padrão de Potabilidade.

Tipo B : águas superficiais ou subterrâneas, provenientes de bacias não protegidas, com características básicas apresentadas na Tabela 1 e que possam atender ao Padrão de Potabilidade com tecnologias de tratamento que não exijam a coagulação química.

Tipo C : águas superficiais ou subterrâneas de bacias não protegidas, com características básicas apresentadas na Tabela 1 e que exigem tecnologias de tratamento com coagulação química para atender ao Padrão de Potabilidade.

Tipo D : águas superficiais de bacias não protegidas, sujeitas à poluição ou contaminação, cujas características básicas são apresentadas na Tabela 1 e que requerem tratamentos especiais para atender ao Padrão de Potabilidade.

Tabela 1 - Classificação das Águas Segundo a NB-592 da ABNT (2)

CARACTERÍSTICA BÁSICA	TIPO			
	A	B	C	D
DBO ₅ (mg/l)				
- média	< 1,5	1,5 a 2,5	2,5 a 4,0	> 4,0
- máxima (qualquer amostra)	3,0	4,0	6,0	> 6,0
Coliformes Totais (NMP/100 ml)				
- média mensal	50 a 100	100 a 5000	5000 a 20000	> 20000
- máximo	> 100 (*)	> 5000 (**)	> 20000 (***)	-----
pH	5 a 9	5 a 9	5 a 9	3,8 a 10,3
Cloretos (mg/l)	< 50	50 a 250	250 a 600	> 600
Fluoretos (mg/l)	< 1,5	1,5 a 3,0	> 3,0	-----

NMP : número mais provável

(*) em menos de 5 % das amostras examinadas

(**) em menos de 20 % das amostras examinadas

(***) em menos de 5 % das amostras examinadas

As características das tecnologias de tratamento recomendadas para cada tipo de água são :

Tipo A : desinfecção e correção de pH;

Tipo B : desinfecção, correção de pH e:

decantação simples para água contendo sólidos sedimentáveis, de modo a atender ao Padrão de Potabilidade;

filtração, precedida ou não da decantação, quando a turbidez e a cor aparente forem inferiores a, respectivamente, 40 uT e 20 uC;

Tipo C : coagulação, seguida ou não da decantação, filtração rápida, desinfecção e correção de pH;

Tipo D : tratamento mínimo da água Tipo C e tratamento complementar apropriado a cada caso.

Dentre as características das águas que não foram consideradas pelo CONAMA (10) e pela NB-592 (2) destacam-se a concentração de algas e as principais espécies presentes e o número e a distribuição de tamanhos de partículas. As algas podem comprometer seriamente o desempenho de qualquer tipo de tecnologia de tratamento e requerer a redução da vazão afluente ou até mesmo o fechamento da estação de tratamento. O número e a distribuição de tamanho das partículas suspensas influem acentuadamente na tecnologia da filtração direta descendente, uma vez que, dependendo do tamanho delas, pode ou não ser necessária a floculação antes da filtração. Somente com um estudo em instalação piloto é possível saber-se da necessidade da pré-floculação e obter-se os parâmetros que otimizam a tecnologia (3).

3 - RISCOS SANITÁRIOS -SEGURANÇA NO ABASTECIMENTO

3.1 - NECESSIDADE DA DESINFECÇÃO

O emprego de desinfetantes na água bruta, em especial o cloro, pode causar a formação de alguns subprodutos químicos potencialmente prejudiciais ao ser humano, entretanto, os riscos associados a esses subprodutos são significativamente menores quando comparados àqueles decorrentes da desinfecção ineficiente.

Segundo Lykins e colaboradores (9), a USEPA-Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, para que seja assegurada a qualidade microbiológica da água tratada, é necessária a sua desinfecção, de modo que ocorra inativação superior a 99,9 % de cistos de *Giardia lamblia* e de 99,99 % de vírus e que seja detectado residual do desinfetante em pelo menos 95 % das amostras coletadas no sistema de distribuição, embora na atualidade seja sabido que cistos de *Cryptosporidium* sejam mais resistentes que aqueles microrganismos. Tem sido empregado o parâmetro CT, em que C é a concentração (mg/l) do desinfetante que permanece em contato com a água por um período de tempo T (min.) para que sejam alcançados aqueles graus de inativação de microrganismos. Por exemplo, o valor de CT para cloraminas é da ordem de duas vezes o correspondente ao cloro livre. Na Tabela 2 são apresentados valores de CT de diferentes desinfetantes requeridos para inativação de *E. coli*, Poliovírus 1, Rotavírus, cistos de *Giardia lamblia*, *Giardia muris* e *Cryptosporidium Parvum*.

Tabela 2 - Valores de CT de diferentes Desinfetantes - Inativação de Microrganismos (9)

MICROORGANISMO	CLORO LIVRE (pH = 6 a 7)	CLORAMINA (pH = 8 a 9)	DIÓXIDO DE CLORO (pH = 6 a 7)	OZÔNIO (pH = 6 a 7)
<i>E. coli</i>	0,034 - 0,05	95 - 180	0,4 - 0,75	0,02
Poliovírus 1	1,1 - 2,5	768 - 3 740	0,2 - 6,7	0,1 - 0,2
Rotavírus	0,01 - 0,05	3 806 - 6 476	0,2 - 2,1	0,006 - 0,06
Cisto de <i>Giardia lamblia</i>	47 - 150	2 200 ^a	26 ^a	0,5 - 0,6
Cisto de <i>Giardia muris</i>	30 - 630	1 400	7,2 - 18,5	1,8 - 2,0
<i>Cryptosporidium Parvum</i>	7 200 ^b	7 200 ^c	78 ^d	5 - 10 ^e

a - inativação de 99,9 % (pH de 6 a 9) ; b - inativação de 99 % (pH = 7 e temp. = 25 °C) ; c - inativação de 90 % (pH = 7 e temp. = 25°C) ; d - inativação de 90 % (pH = 7 e temp. = 25°C) ; e - inativação de 99 % (pH = 7 e temp. = 25°C)

Pode ser visto na Tabela 2 que o ozônio é mais eficiente que os demais desinfetantes, inativando 99 % de todos os microrganismos listados para valores baixos de CT. As cloraminas apresentam eficiência menor que os demais, enquanto o cloro livre e o dióxido de cloro têm eficiências semelhantes na inativação de poliovírus 1. O cloro livre é mais efetivo que dióxido de cloro na inativação de rotavírus e *E. coli*, enquanto o dióxido de cloro é mais eficiente que o cloro livre em inativar cistos de *Giardia lamblia* e *Giardia muris*. A desinfecção é realmente necessária, devendo-se, em primeiro lugar, garantir a produção de

água com qualidade microbiológica que não afete o ser humano e, posteriormente, eliminar os precursores da formação de subprodutos da desinfecção.

3.2 - SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO

Quando a desinfecção é realizada com cloro livre, a seguinte equação geral pode ser escrita sobre a formação de THM (trihalometanos) e outros SPD (subprodutos da desinfecção) halogenados quando há presença de matéria orgânica natural - MON e brometos (13):



Os principais subprodutos da desinfecção identificados na água tratada são os seguintes:

Trihalometanos (THMs) : clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano, bromofórmio.

Ácidos Haloacéticos (AHAs): ácido monocloraacético, ácido dicloroacético, ácido tricloroacético, ácido monobromoacético, ácido dibromoacético, ácido tribromoacético, ácido bromocloroacético, ácido bromodicloroacético, ácido dibromocloroacético.

Haloacetônitrilas (HANs) : dicloroacetônitrila, tricloroacetônitrila, dibromoacetônitrila, tribromoacetônitrila, bromocloroacetônitrila.

Haletos Cianogênicos (HC) : cloreto cianogênico, brometo cianogênico.

Halopictinas (HP) : cloropictina, bromopictina.

Haloacetonas (HA) : 1,1-dicloropropanona; 1,1,1-tricloropropanona; 1,1-dicloro-2-butanona; 3,3-dicloro-2-butanona; 1,1,1-tricloro-2-butanona.

Haloaldeídos (HAD): dicloroacetaldeído, tricloroacetaldeído.

Halofenóis (HF) : 2-clorofenol; 2,4-diclorofenol; 2,4,6-triclorofenol.

MX [3-cloro-4-(diclorometil)-5-hidroxi-2(5H)-furanona].

Como indicado na equação acima, a matéria orgânica natural (MON) é o principal precursor com a qual os halogênios reagem para formar esses subprodutos. Na ausência de brometos, somente SBD clorados são formados, enquanto na presença destes, o ácido hipocloroso os oxida rapidamente a ácido hipobromoso (HBrO), o qual, juntamente com o residual de ácido hipocloroso, formam os compostos que possuem cloro e bromo. Os principais fatores que influenciam a formação de SPD são : pH, tempo de contato, temperatura, natureza e concentração da matéria orgânica natural, dosagem de cloro aplicada, residual de cloro livre e concentração de brometos. De acordo com Singer (13), tais fatores influem da seguinte forma:

- o aumento do pH concorre para o incremento da concentração de THMs e AHAs; a maior parte dos demais SPDs diminui com o aumento do pH;

- enquanto a concentração de THM e AHA aumenta com o tempo de contato e, consequentemente, continuam sendo formados no sistema de distribuição com a existência de cloro residual livre, alguns SPDs, tais como haloacetônitrilas e haloacetonas, são formados rapidamente durante a desinfecção, porém suas concentrações diminuem devido hidrólise dos compostos e continuidade da reação com cloro residual;

- têm sido observados efeitos sazonais acentuados na taxa de formação de SPDs. Devido a temperaturas maiores no verão, as reações são mais rápidas, e com aumento da demanda de cloro, há aumento concentração de SPDs, enquanto no inverno a concentração de SPDs resulta menor. Há que se considerar também a natureza dos precursores, cuja composição pode variar, e a concentração de brometos, dependentes das condições climáticas;

- MON é o principal precursor de SPDs; a concentração de SPDs é diretamente proporcional à de MON; a natureza do material orgânico depende da vegetação na bacia hidrográfica e das espécies de algas presentes na água; o carbono orgânico total - COT e a absorvância em radiação ultravioleta ($\lambda=254$ nm) têm sido empregados como parâmetros da medida indireta da concentração dos precursores de SPDs;

- altas dosagens de cloro e do teor residual de cloro livre favorecem a formação de AHAs em lugar de THMs, de AHAs tri-halogenados ao invés de AHAs mono e di-halogenados, de THMs e AHAs clorados ao invés de espécies cloro-bromadas; THMs e AHAs param de ser formados quando há diminuição do teor de cloro residual livre, embora alguns SPDs continuem a ser formados por reações de hidrólise;
- a incorporação de bromo em SPDs halogenados aumenta com o aumento da concentração de brometos.

3.3 - CONTROLE DA FORMAÇÃO DE SPDs HALOGENADOS

De acordo com as Normas e Padrão de Potabilidade de Água para Consumo Humano no Brasil (11) e as recomendações da Organização Mundial da Saúde (16), o teor máximo de TTHM é de 100 µg/l. Nos Estados Unidos, a partir de 1979, foi fixado o teor máximo de TTHM de 100 µg/l para comunidades servindo mais de 10 000 habitantes, com a expectativa de, nos anos subseqüentes, com a execução de pesquisas, tal limite pudesse ser reduzido para 10 ou 25 µg/l. Durante a década de oitenta e no início da década de noventa foi observado nesse país que os THMs eram apenas uma parcela dos subprodutos da desinfecção e que os demais SPDs halogenados formados podem causar sérios danos ao ser humano.

Para controlar a formação de SPDs têm sido propostas as seguintes alternativas:

- controle no manancial
- remoção dos precursores : melhorar a coagulação; usar carvão ativado granular; filtração em membrana
- uso de oxidantes e desinfetantes alternativos : monocloramina; ozônio; dióxido de cloro; permanganato de potássio; peróxido de hidrogênio e ozônio; radiação ultravioleta.
- extração por meio de aeração (do inglês air stripping).

3.3.1 - CONTROLE DE FLORESCIMENTOS ALGAIS NO MANANCIAL

Tem sido mostrado por vários pesquisadores que os florescimentos algais contribuem substancialmente para a formação de SPDs. Com monitoramento de nutrientes em um lago e seu controle, seja eliminando parcial ou totalmente o acesso de água pluvial superficial e de água subterrânea contaminadas (recarga de aquíferos) ou lançamentos diretos de despejos líquidos domésticos ou industriais, seja aplicando sulfato de cobre, é evitada ou atenuada a ocorrência de florescimentos algais. O monitoramento e controle de brometos, principalmente por intermédio de águas salinas, são desejáveis tendo em vista que tal halogênio é responsável pela formação de vários SPDs. A captação e tratamento de água durante épocas em que não apresenta níveis elevados de contaminantes e seu armazenamento para uso posterior tem sido recomendada em alguns casos (13). A remoção de nutrientes, em especial o fósforo, tem sido ultimamente obtida ultimamente com a aplicação de coagulante (sulfato de alumínio) no próprio lago, causando a precipitação de fosfatos (6).

3.3.2 - REMOÇÃO DE PRECURSORES

A remoção dos precursores é conseguida por meio da coagulação, adsorção em carvão ativado e filtração em membranas. Em função da qualidade e da tecnologia de tratamento empregada, sulfato de alumínio e cloreto férrico (sulfato ferroso clorado) têm sido efetivos na remoção de MON, reconhecidamente o principal precursor de formação de SPDs. Quando a alcalinidade não é elevada (inferior a cerca de 20 mg/l no caso da filtração direta e 30 mg/l no tratamento completo), o sulfato de alumínio tem sido eficiente para que o pH, após aplicação do coagulante, resulte na região efetiva de coagulação, seja por adsorção-neutralização de cargas de partículas coloidais, suspensas e de substâncias húmicas, seja por varredura. O cloreto férrico ou o sulfato ferroso clorado têm sido empregados com sucesso quando a alcalinidade e o pH da água bruta são relativamente altos ou quando se deseja remover metais presentes (por exemplo, ferro e manganês). As espécies hidrolisadas de ferro e responsáveis

pela coagulação eficiente são formadas em ampla faixa de dosagem do coagulante e respectivo pH de coagulação (geralmente de 5 a 10). ao contrário do sulfato de alumínio, cujo pH de coagulação é geralmente inferior a 8. Algumas vezes, na impossibilidade de se conseguir o cloreto férrico ou o sulfato ferroso clorado, águas com alcalinidade elevada podem ser coaguladas com sulfato de alumínio após a introdução de um ácido (sulfúrico ou clorídrico) para que a alcalinidade seja parcialmente consumida. No caso da filtração direta, pode-se estudar a possibilidade do uso de polímero catiônico como coagulante se a cor verdadeira não for elevada. O policloreto de alumínio, quando disponível no mercado a custo razoável, pode ser empregado, já que esse coagulante é efetivo em ampla faixa de pH (5).

O carbono orgânico hidrofóbico, presente em substâncias húmicas, é mais susceptível à coagulação do que o carbono orgânico hidrofílico. A composição da matéria orgânica das águas naturais não é bem definida e varia durante o ano, porém, dados da literatura indicam que a fração hidrofóbica seja de 30 a 70 % do carbono orgânico total-COT. A eficiência de remoção de COT (presente na MON) da maioria das águas naturais depende da concentração de COT, alcalinidade, pH e relação entre a fração hidrofóbica e a hidrofílica da água e do pH de coagulação. Remoção de COT superior a 50 % tem sido alcançada com diminuição considerável dos precursores de AHA's e THMs (5).

A adsorção em carvão ativado granulado - CAG e a filtração em membranas constituem alternativas que têm sido consideradas ultimamente para a remoção de MON. Para evitar regenerações muito frequentes, o CAG tem sido utilizado após a filtração nas estações de tratamento de água. Para se alcançar remoções de COT superiores a 75 % usando membranas, há necessidade do emprego da nanofiltração, com membranas de peso molecular entre 200 e 500 daltons. É requerido pré-tratamento eficiente para evitar obstrução das membranas e os custos são relativamente elevados na atualidade, além das dificuldades no tratamento do material retido nas mesmas (13).

3.3.3 - OXIDANTES E DESINFETANTES ALTERNATIVOS

Qualquer que seja o desinfetante alternativo, deve-se atentar para que:

- a) seja efetivo na inativação de bactérias, vírus, protozoários e outros organismos patogênicos;
- b) sua aplicação seja confiável e feita por meio de equipamentos não complexos, tendo em vista o grau de desenvolvimento da comunidade;
- c) não produza qualquer composto secundário que cause risco à saúde pública;
- d) apresente atributos semelhantes aos do cloro, tais como fornecer residual persistente na água, que tenha sua concentração facilmente medida, que não acarrete sabor e odor na água e seja disponível no mercado a custos razoáveis.

A monocloramina não forma quantidades apreciáveis de SPDs, embora ácido dicloroacético e cloreto cianogênico possam ser formados em concentrações mais elevadas que as decorrentes do uso de cloro livre. O valor de CT para cloraminas é bem maior que para os demais desinfetantes e por isso raramente é utilizada com pré-desinfetante. Por ser um oxidante fraco, não é efetivo para controle de sabor e odor ou para oxidação de ferro e manganês. Entretanto, pela sua persistência na água, torna-se um desinfetante desejável após a filtração, para garantir a presença de residual de cloro no sistema de distribuição. Geralmente a relação cloro/nitrogênio (Cl_2/N em massa) é da ordem de 4 e o pH é maior que 7,5 para que seja formada exclusivamente a monocloramina.

Quando a pré-desinfecção é necessária, seja pela existência de microrganismos patogênicos na água bruta, seja pela presença de algas ou qualquer outro motivo, uma solução que vem sendo adotada no Brasil, quando há precursores de SPDs (6), é a adoção da pré-cloração (com tempo de contato de 5 a 10 min.), seguida da amoniação. Pode ser usada amônia gasosa (ou líquida) ou um sal de amônia (sulfato de amônia, por exemplo).

O dióxido de cloro é um desinfetante eficiente (valores baixos de CT) e um oxidante efetivo para o controle de sabor e odor, oxidação de ferro e manganês, e não é exercida demanda adicional deste composto se a água bruta contiver amônia. O dióxido de cloro não produz quantidades significativas de SPDs, exceto clorito e clorato, pois cerca de 50 a 70 % do dióxido de cloro consumido é reduzido a clorito.

Os SPDs formados com o dióxido de cloro ainda não foram estudados convenientemente, não sendo conhecido o impacto dos mesmos ao ser humano, a menos de clorito e clorato.

O ozônio é o oxidante e desinfetante mais efetivo usado em tratamento de água. Apresenta baixo valor de CT, porém, sua ação desinfetante se dá por meio do residual de oxigênio molecular remanescente, o qual é instável e raramente encontrado na água após alguns minutos do ozônio ter sido aplicado.

A combinação do ozônio como desinfetante primário e monocloramina como desinfetante secundário tem sido recomendada nos Estados Unidos (13). O ozônio produz uma variedade de subprodutos decorrentes da oxidação de MON, quais sejam: aldeídos (formaldeído, acetaldeído, glioxal), ácido pirúvico, ácido oxálico, ácido succínico, ácido fórmico, ácido acético) e peróxido de hidrogênio, dentre outros. Não há informação suficiente até o presente sobre os riscos desses SPDs, embora os aldeídos sejam considerados os mais perigosos. Não obstante o ozônio não produza SPDs halogenados, a existência de brometos na água bruta faz com que sejam formados tais compostos, incluindo bromatos, bromofórmio, ácidos acéticos brominados, bromopicrina, acetonitrilas brominadas, etc.

O permanganato de potássio é um oxidante eficiente para o controle de sabor e odor, e para a oxidação de ferro e manganês, especialmente quando esses metais encontram-se complexados a matéria orgânica natural.

Processos avançados de oxidação envolvem a aplicação conjunta de peróxido de hidrogênio e ozônio, radiação ultravioleta e ozônio e radiação ultravioleta-RUV e peróxido de hidrogênio. O objetivo é produzir espécies com radicais livres de vida curta, que sejam altamente reativos e possam oxidar a variedade de contaminantes presentes nas águas naturais. Esses processos são efetivos na oxidação de sabor e odor e de contaminantes sintéticos orgânicos, tais como tricloroetileno e atrazina. A radiação ultravioleta é um desinfetante eficiente para eliminar vírus e bactérias, porém é preciso que a turbidez da água e a concentração de matéria orgânica absorvida pela RUV sejam baixas (águas com baixa cor verdadeira) para permitir a penetração dos raios da RUV. Como a RUV não produz residuais, o processo pode ser aplicado somente na pré-desinfecção. A sua combinação com monocloramina parece ser uma alternativa altamente promissora para águas subterrâneas. Ressalta-se que a RUV é ineficiente na inativação de cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*, razão pela qual é recomendada somente para água subterrânea ou para água superficial após filtração. Na Tabela 3 são apresentados os valores máximos de SPDs e residuais de desinfetantes propostos nos Estados Unidos (13).

Tabela 3 - Valores Máximos Propostos para SPDs e Desinfetantes (13)

COMPOSTO	VALOR MÁXIMO
Trihalometanos totais (µg/l)	80
Ácidos haloacéticos (µg/l)	60
Bromato (µg/l)	10
Clorito (mg/l)	1,0
Cloro livre (mg/l)	4,0
Cloraminas (mg/l)	4,0
Dióxido de cloro (mg/l)	0,8

Para o controle de THMs e AHAs, Singer (13) recomenda que a coagulação seja eficiente e que se empregue a cloração caso o teor de COT for inferior a 2 mg/l. Para teores de COT superiores a 4 mg/l, o autor sugere a realização de estudos em instalação piloto em coluna de carvão ativado granular e de unidades com membranas visando a remoção de MON. Para valores de COT entre 2 e 4 mg/l, é sugerida a execução de ensaios de coagulação, floculação e sedimentação em reatores estáticos (Jar Test) para otimizar a remoção de COT.

4 - PADRÃO DE POTABILIDADE

No Brasil, a partir de Janeiro de 1992, entrou em vigor a Portaria nº 36/GM de 19/01/1 990 do Ministério da Saúde, intitulada "Normas e Padrões de Potabilidade das Águas Destinadas ao Consumo Humano" (11), cujas características e os limites permitidos são apresentados a seguir. O padrão adotado pela Organização Mundial da Saúde - OMS (16) difere muito pouco das normas brasileiras.

4.1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ORGANOLÉPTICAS

As características físicas e organolépticas e os valores máximos permitidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Características Físicas e Organolépticas (11)

CARACTERÍSTICA	VALOR MÁXIMO PERMITIDO (VMP)
Cor Aparente (uC)	5 (*)
Turbidez (uT)	1 (**)
Odor	Não Objetável
Sabor	Não Objetável

(*) valor máximo permitido para a água entrando no sistema de distribuição; um valor de até 15 uC é permitido em pontos da rede de distribuição;

(**) valor máximo permitido para a água entrando no sistema de distribuição; um valor de até 5 uT é permitido em pontos da rede de distribuição se for comprovado que a desinfecção não será comprometida por esse valor maior.

4.2 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Nas Tabelas 5, 6 e 7 são apresentadas as características químicas e os valores máximos permitidos, tendo sido considerados três grupos: componentes inorgânicos que afetam a saúde do ser humano; componentes orgânicos que afetam a saúde do ser humano; componentes que afetam a qualidade organoléptica.

Tabela 5 - Componentes Químicos Inorgânicos que Afetam a Saúde do Ser Humano (11)

CARACTERÍSTICA	VALOR MÁXIMO PERMITIDO (VMP) OU FAIXA DE VALORES
Arsênio (mg/l)	0,05
Bário (mg/l)	1,0
Cádmio (mg/l)	0,005
Chumbo (mg/l)	0,05
Cianetos (mg/l)	0,1
Cromo Total (mg/l)	0,05
Fluoretos (mg/l F)	
t = 10,0 a 12,1 °C	0,9 a 1,7 (1,2)
t = 12,2 a 14,6 °C	0,8 a 1,5 (1,1)
t = 14,7 a 17,7 °C	0,8 a 1,3 (1,0)
t = 17,8 a 21,4 °C	0,7 a 1,2 (0,9)
t = 21,5 a 26,3 °C	0,7 a 1,0 (0,8)
	0,6 a 0,8 (0,7)
Merúrio (mg/l)	0,001
Nitratos (mg/l N)	10,0
Prata (mg/l)	0,05
Selênio (mg/l)	0,01

t : média anual das temperaturas máximas diárias do ar
valor de F entre parênteses : desejável

Tabela 6 - Componentes Químicos Orgânicos que Afetam a Saúde do Ser Humano (11)

CARACTERÍSTICA	VALOR MÁXIMO PERMITIDO -VMP (µg/l)
Aldrin e Dieldrin	0,03
Benzeno	10
Benzo-a-pireno	0,01
Clordano (total de isômeros)	0,03
DDT (total)	1,0
Endrin	0,2
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	0,1
Hexaclorobenzeno	0,01
Lindano (gama HCH)	3,0
Metoxicloro	30
Pentaclorofenol	10
Tetraclorcto de Carbono	3,0
Tetracloroeteno	10
Toxafeno	5,0
Tricloroetano	30
Trihalometanos	100 (*)
1,1 Dicloroetano	0,3
1,2 Dicloroetano	10
2,4 D	100
2,4,6 Triclorofenol	100 (**)

(*) sujeito a revisão em função de estudos toxicológicos em andamento; a remoção ou prevenção não deverá prejudicar a eficiência da desinfecção

(**) concentração limiar de odor igual a 0,1 µg/

Tabela 7 - Componentes Químicos que Afetam a Qualidade Organoléptica (11)

CARACTERÍSTICA	VALOR MÁXIMO PERMITIDO
Alumínio (mg/l Al)	0,2
Agentes Tenso-ativos (mg/l)	0,2
Cloretos (mg/l)	250
Cobre (mg/l)	1
Dureza Total (mg/l CaCO ₃)	500
Ferro Total (mg/l Fe)	0,3
Manganês (mg/l)	0,1
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/l)	1 000
Sulfatos (mg/l SO ₄ ⁻)	400
Zinco (mg/l)	5,0

Na Portaria 36/GM é recomendado que:

- a) o valor do pH da água potável deva se situar no intervalo de 6,5 a 8,5;
- b) a concentração mínima de cloro residual livre em qualquer ponto da rede de distribuição deva ser de 0,2 mg/l;
- c) a água potável não deva apresentar qualquer das substâncias relacionadas na Tabela 8, em teores que lhe confirmam odor característico;

Tabela 8 - Limites de Substâncias que Conferem Odor à Água Potável (11)

SUBSTÂNCIA	VALOR MÁXIMO PERMITIDO
Clorobenzenos (mg/l)	0,1 a 0,3
Clorofenóis e Fenóis (µg/l)	0,1
Sulfeto de Hidrogênio (µg/l S) (não ionizável)	0,025 a 0,050

Muitas substâncias orgânicas que causam odor e sabor às águas destinadas ao consumo humano não foram consideradas na Tabela 8, tais como a geosmina (*trans*-1,10-dimetil-*trans*-9 decalol) cuja presença é atribuída ao florescimento de algumas espécies de algas, o MIB (2-metil-isoborneol) que é decorrente da presença de actinomicetos na água.

Outras substâncias orgânicas que naturalmente podem estar presentes e causar odor e sabor às águas e que não constam da Tabela 6 são o TCA (2,3,6-tricloro-anisole), o IPMP (2-isopropil-3-metoxi pirazina) e o IBMP (2-isobutil-3-metoxi pirazina). Em geral todos os compostos mencionados conferem odor característicos de terra e de mofo.

- d) O número mínimo de amostras e a frequência mínima de amostragem para análise das características físicas, organolépticas e químicas da água distribuída à população, na saída da estação de tratamento e na rede de distribuição, em função da população abastecida, sejam aquelas da Tabela 9.

Tabela 9 - Frequência Mínima de Amostragem da Água Tratada (11)

DISCRIMINAÇÃO	SAÍDA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO	REDE DE DISTRIBUIÇÃO POPULAÇÃO ABASTECIDA (hab)		
		<50 000 1 amostra	50 000 a 250 000 1 amostra cada 50 000 hab	> 250 000 4 amostras + 1 cada 50 000 hab
Características Físicas e Organolépticas	1 amostra diária	mensal	mensal	mensal
Componentes Inorgânicos que afetam a saúde (*)	1 amostra semestral	semestral	semestral	semestral
Componentes Orgânicos que afetam a saúde (**)	1 amostra semestral	semestral	semestral	semestral
Componentes que afetam a qualidade organoléptica (***)	1 amostra semestral	semestral	semestral	semestral

(*) diária para cloro residual e íon fluoreto na saída da estação de tratamento; mensal para o íon fluoreto e cloro residual e obrigatoriedade da coleta semestral somente para cádmio, chumbo e cromo total na rede de distribuição;

(**) mensal para trihalometanos na saída da estação de tratamento; obrigatoriedade da coleta semestral na rede de distribuição somente para os trihalometanos;

(***) mensal para alumínio e ferro total na saída da estação de tratamento; obrigatoriedade semestral somente para alumínio e ferro total na rede de distribuição.

4.3 - CARACTERÍSTICAS BACTERIOLÓGICAS

As principais exigências com relação à qualidade bacteriológica são as seguintes:

- ausência de coliformes fecais em 100 ml de amostra;
- ausência de bactéria do grupo coliformes totais em 100 ml quando a amostra for coletada na entrada da rede de distribuição;
- nas amostras procedentes da rede de distribuição, 95 % não deverão conter coliformes totais em 100 ml; nos 5 % restantes, serão tolerados até 3 coliformes totais em 100 ml, desde que isso não ocorra em duas amostras consecutivas, coletadas sucessivamente no mesmo ponto;
- o volume mínimo da amostra é de 100 ml; no caso da técnica dos tubos múltiplos, quando não houver possibilidade de examinar 100 ml, permite-se o exame de 5 porções de 10 ml;
- quando forem obtidos resultados desfavoráveis, pelo teste A/P (presença/ausência), duas novas amostras deverão ser coletadas nos mesmos pontos, em dias imediatamente consecutivos, para serem examinadas;
- para avaliar as condições sanitárias dos sistemas de abastecimento público de água, é recomendado que, em 20 % das amostras examinadas por mês, semestre ou ano, seja efetuada a contagem de bactérias heterotróficas, que não poderão exceder a 500 UFC (unidade formadora de colônia) por ml;
- a amostragem deverá obedecer o disposto na Tabela 10.

Tabela 10 - Número Mínimo de Amostras e Frequência Mínima de Amostragem para Verificação das Características Bacteriológicas da Água Tratada (11)

POPULAÇÃO TOTAL ABASTECIDA (hab)	NÚMERO MÍNIMO DE AMOSTRAS (*)	
	FREQUÊNCIA	AMOSTRAS MENSAIS
< 5 000	semanal	5
5 000 a 20 000	semanal	1 para cada 5 000 hab
20 001 a 100 000	2 vezes/semana	1 para cada 1 000 hab
> 100 000	diária	90 + 1 para cada 1 000 hab

(*) as amostras devem ser representativas da rede de distribuição, independentemente de quantas unidades de produção a alimentam, distribuídas uniformemente ao longo do mês.

4.4 - CARACTERÍSTICAS RADIOLÓGICAS

As principais exigências com relação às características radioativas são:

- o valor de referência para a radioatividade alfa total (incluindo o rádio 226) é de 0,1 Bq/l (um décimo de bequerel por litro);
- o valor de referência para a radioatividade beta total é de 1 Bq/l;
- se os valores encontrados na água forem superiores àqueles de referência, deverá ser feita a identificação dos radionuclídeos presentes e a medida das concentrações respectivas e verificados os valores estabelecidos pela Norma Experimental da Comissão Nacional de energia Nuclear - Diretrizes Básicas de Radioproteção (CNEN - NE 3.01);
- a frequência mínima de amostragem, para a verificação das características da qualidade radiológica da água nos sistemas de abastecimento público, dependerá da existência de causas de radiação artificial ou natural, decorrentes ou não de atividades humanas.

5 - TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO SEM PRÉ-TRATAMENTO

As tecnologias de tratamento de água quimicamente coagulada sem o emprego de pré-tratamento são mostradas, na forma de diagrama de blocos, na Figura 2.

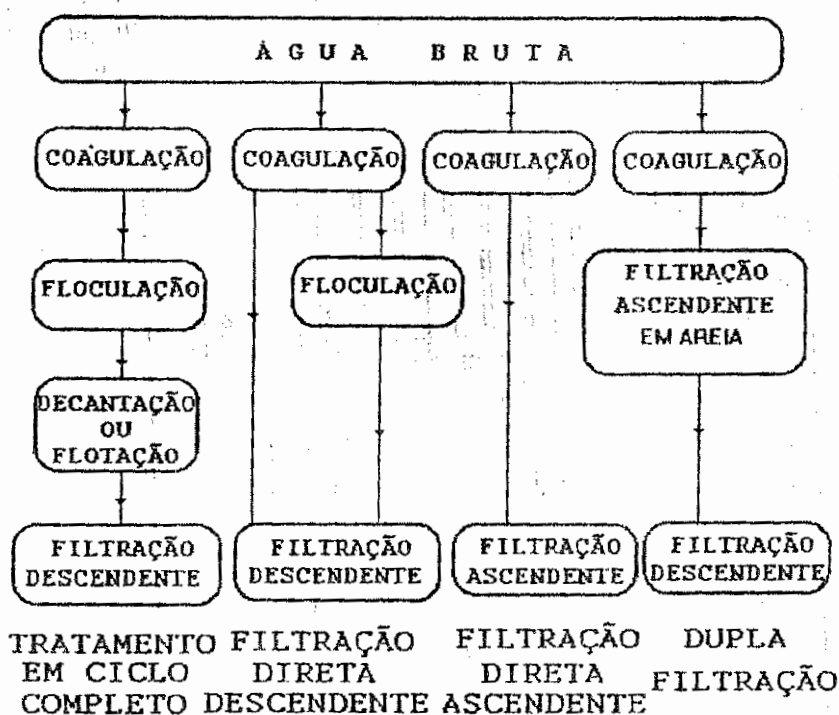


Figura 2. Tecnologias de Tratamento de Água Quimicamente Coagulada sem Pré-Tratamento (5)

Observa-se na Figura 2 que não são consideradas tecnologias reconhecidamente sofisticadas para países em desenvolvimento, tais como aquelas em que são empregadas membranas, oxidantes alternativos ou carvão ativado. É evidente que, embora não sejam mostradas na Figura 2, a desinfecção, a fluoretação (se necessária) e a estabilização final, após a filtração, fazem parte do tratamento. A água quimicamente coagulada pode seguir vários caminhos até chegar aos filtros, uma vez que a qualidade da água bruta deve ser o fator decisivo na escolha da tecnologia de tratamento. Em função da qualidade da água bruta, são descritas, de forma sucinta, as tecnologias e suas características principais.

Tratamento em Ciclo Completo : erroneamente denominado tratamento convencional, a água bruta é coagulada geralmente com um sal de alumínio ou de ferro no mecanismo da varredura, no qual ocorre formação predominantemente de precipitados do metal do coagulante, nos quais são aprisionadas as impurezas. Esse fenômeno ocorre na unidade de mistura rápida, a qual pode ser hidráulica ou mecanizada, dependendo da vazão a ser tratada, da variação da qualidade da água bruta e, principalmente, das condições disponíveis para operação e manutenção. Em seguida, a água coagulada é submetida a agitação lenta durante um período de tempo até que os flocos alcancem tamanho e massa específica suficientes para que sejam removidos por sedimentação nos decantadores ou por flotação nos flotadores. A floculação pode ser realizada em unidades mecanizadas ou hidráulicas. A necessidade da variação da intensidade de agitação, o que é função da qualidade da água bruta, indica a adoção de unidades mecanizadas. Entretanto, sempre que possível, deve-se empregar a floculação hidráulica. Os decantadores podem ser convencionais ou de alta taxa; os primeiros são grandes tanques, de escoamento horizontal ou vertical, enquanto nos últimos, são empregados módulos de plástico ou placas planas paralelas. A água clarificada, produzida nos decantadores ou flotadores é finalmente filtrada em unidades com escoamento descendente, contendo materiais granulares com granulometria apropriada, geralmente areia ou antracito e areia. Dependendo da vazão de água a ser tratada e do número de unidades filtrantes, deve-se optar pela filtração com taxa declinante variável, evitando-se o uso de equipamentos de controle de nível ou de taxa. A lavagem do meio filtrante é geralmente realizada com água ou com ar e água. Na Figura 3 é mostrado, em planta, o esquema de uma estação desse tipo.

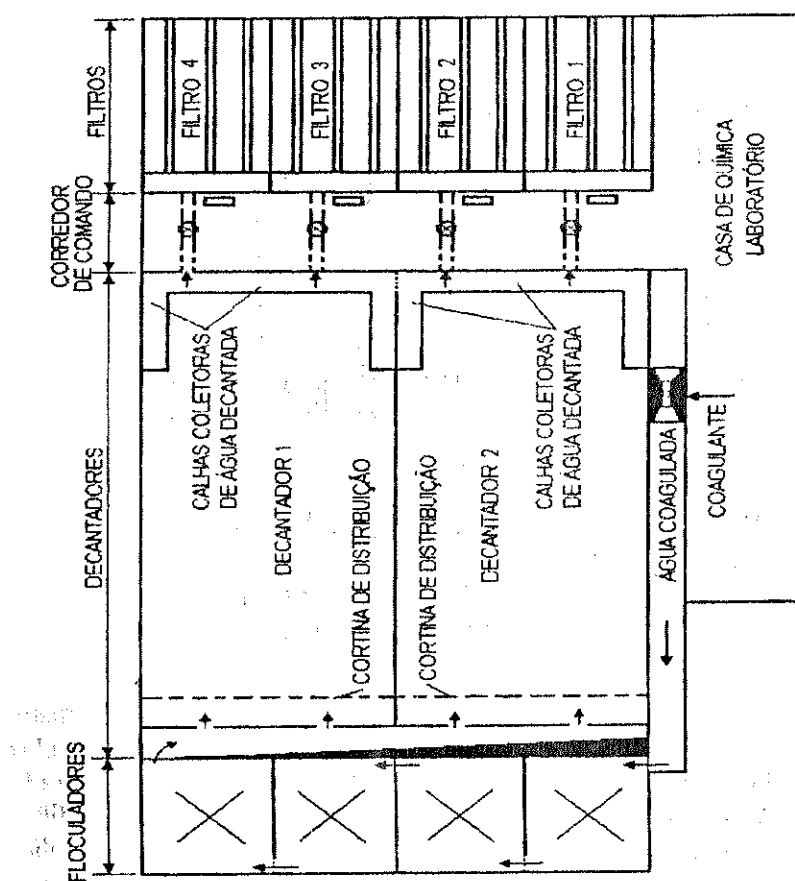


Figura 3 - Esquema de uma Estação de Tratamento de Água em Ciclo Completo (planta)

Filtração Direta Descendente : a água bruta pode ser coagulada com sais de alumínio ou de ferro e receber um polímero como auxiliar de floculação ou de filtração, ou ser coagulada com polímero catiônico, no mecanismo de coagulação de neutralização de cargas. Em comparação à varredura, são empregadas dosagens menores de coagulante e geralmente o pH de coagulação é menor. A unidade de mistura rápida nesta tecnologia deve permitir que sejam produzidos pequenos flocos com grande resistência às forças de cisalhamento durante a filtração. Em função do tamanho e distribuição de tamanhos das partículas presentes na água bruta, das características do meio filtrante e da taxa de filtração, a floculação pode ou não ser necessária antes da filtração. A filtração com taxa declinante variável, em contraposição à de taxa constante, deve ser adotada. O meio filtrante é geralmente constituído de antracito e areia ou somente areia praticamente uniforme, para garantir que haja penetração de impurezas ao longo do material granular, resultando carreiras de filtração com duração razoável. Como essa condição é fundamental para o funcionamento satisfatório da estação de tratamento, a lavagem do meio filtrante deve ser efetuada com ar e água. Devido ao grande número de variáveis envolvidas na tecnologia, dificilmente o projetista poderá adotar parâmetros de projeto. No caso de estações de tratamento em ciclo completo, tem sido prevista a possibilidade de desviar a água coagulada ou a pré-floculada, encaminhando-as aos filtros por ocasião de estiagem, quando a turbidez e a cor são relativamente baixas. Na Figura 4 é mostrado, em planta, o esquema de uma estação de tratamento de água desse tipo.

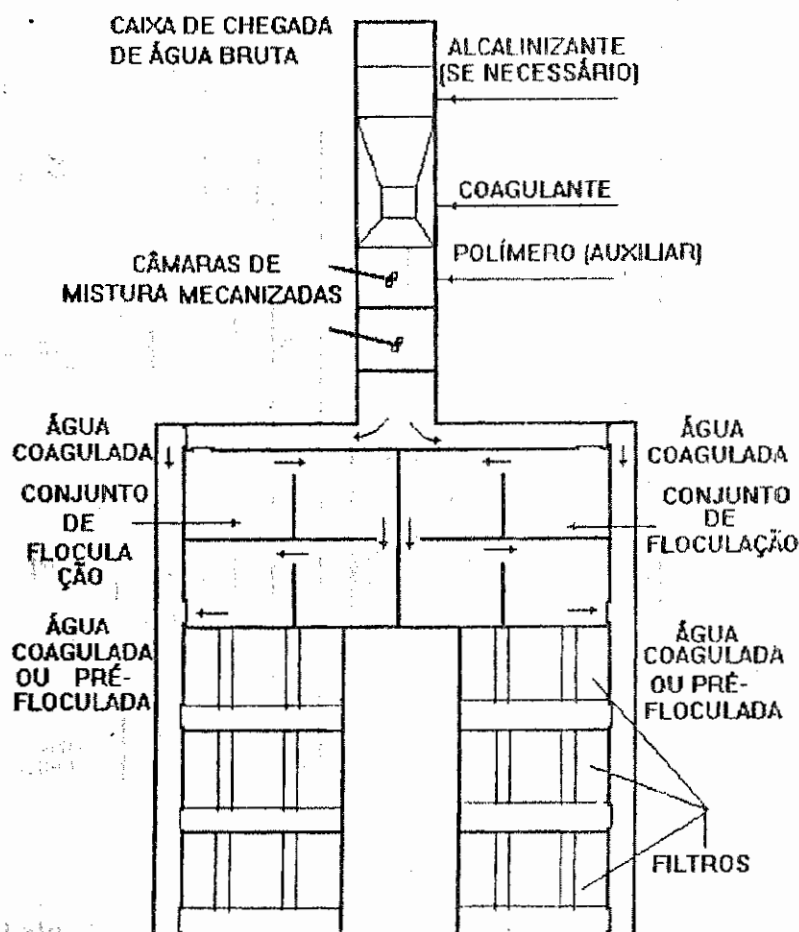


Figura 4 - Esquema de uma Estação de Filtração Direta Descendente (planta)

Filtração Direta Ascendente : a água bruta é coagulada no mecanismo de neutralização de cargas e introduzida na parte inferior da unidade filtrante, a qual deve possuir fundo e sistema de drenagem apropriados, camada de pedregulho adequada e meio filtrante constituído unicamente de areia. Na camada de pedregulho ocorre formação intensa de flocos e é responsável pela remoção de pelo menos 50 % das impurezas. Devido as dificuldades na retirada das impurezas do interior da camada de pedregulho, torna-se imperiosa a execução de descarga de fundo antes da lavagem. Os filtros de uma estação podem ser operados com taxa constante e com ou sem a execução de descargas de fundo intermediárias. Atualmente, considera-se imprescindível que o sistema de drenagem e o fundo sejam adequados para que as descargas de fundo intermediárias sejam eficientes, com recuperação efetiva de carga hidráulica, propiciando carreiras de filtração com duração mais longa. A introdução de água na interface pedregulho-areia grossa deve ser efetuada sempre que for prevista a operação dos filtros com descargas de fundo intermediárias para evitar a formação de vácuo naquela região, o que causa prejuízo considerável à qualidade da água filtrada após o reinício da filtração. A operação de estações de filtração direta com taxa declinante variável somente é recomendada quando a água bruta apresenta-se com turbidez (sólidos suspensos) e cor verdadeira relativamente baixas. Na figura 5 é mostrado, em corte, o esquema de um filtro desse tipo.

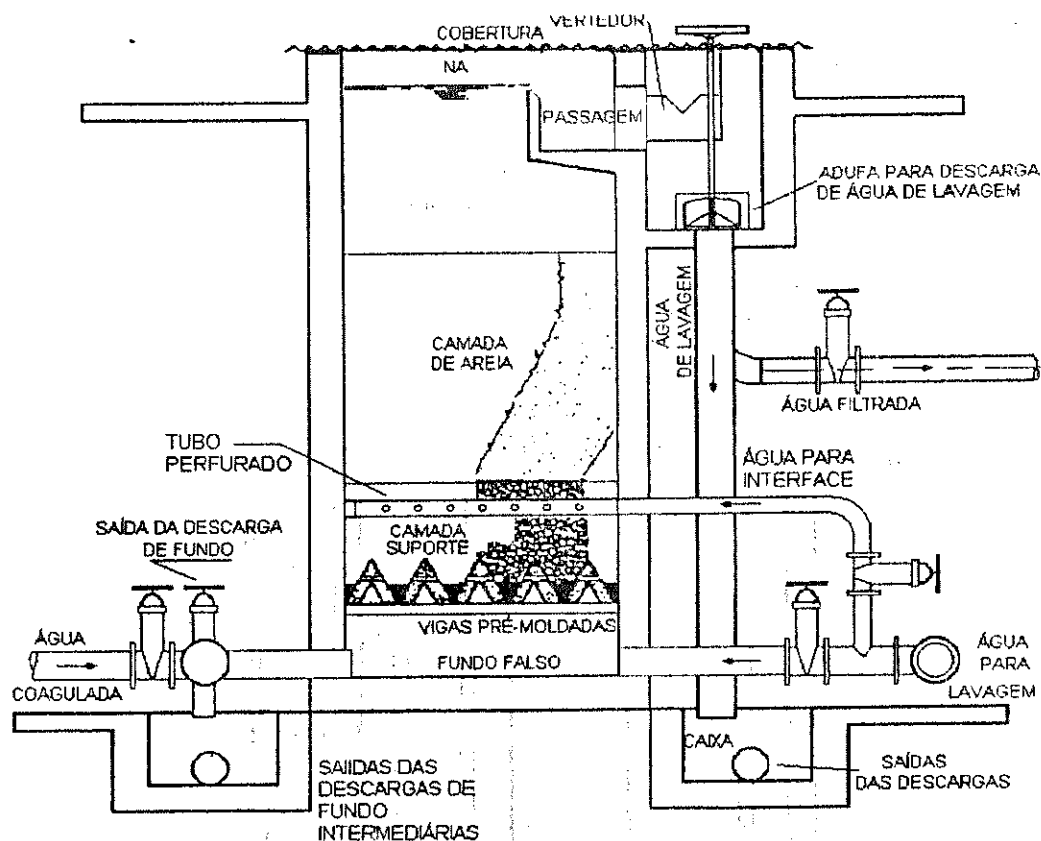


Figura 5 - Esquema de uma Estação de Filtração Direta Ascendente (corte)

Dupla Filtração : na dupla filtração tem-se a associação da filtração direta ascendente com a filtração descendente. Nos dois filtros é usado meio filtrante constituído unicamente de areia, com a diferença de que a areia no filtro ascendente possui grãos maiores que aquela usada quando se tem somente a filtração direta ascendente. A coagulação da água bruta é realizada no mecanismo de neutralização de cargas e, geralmente, a filtração ascendente é operada com descargas de fundo intermediárias, introduzindo-se água na interface. Em estações maiores os dois tipos de filtros são construídos em baterias separadas, podendo a filtração ascendente funcionar com taxa constante e a descendente com taxa declinante. No entanto, para instalações menores, é conveniente projetar os filtros em uma só unidade, reduzindo o número de válvulas e de peças especiais, e facilitando a operação. Na Figura 6 é mostrado, em corte, o esquema de uma estação de dupla filtração.

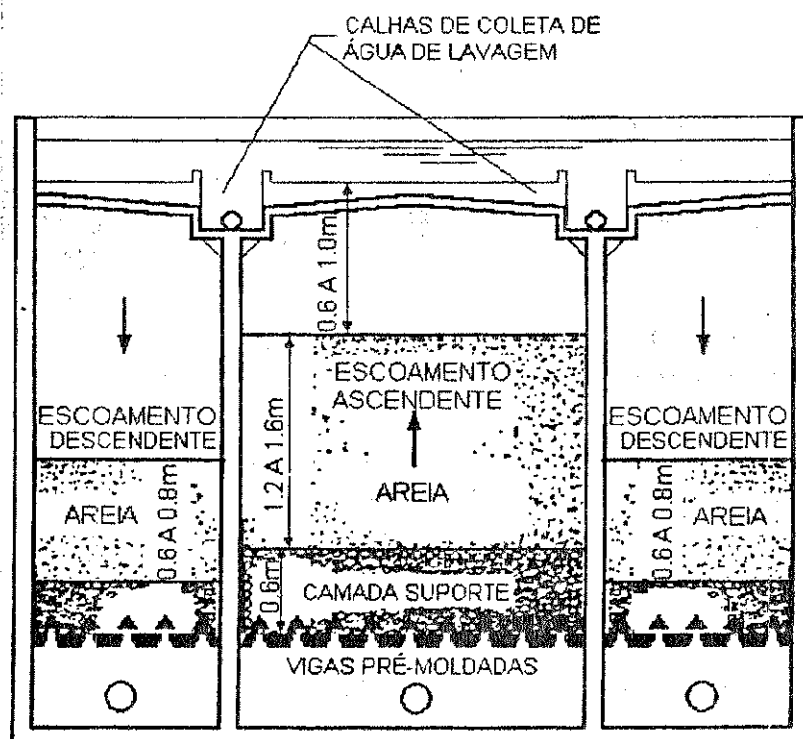


Figura 6 - Esquema de uma Estação de Dupla Filtração (corte)

6 - TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO COM PRÉ-TRATAMENTO

Na Figura 7 são mostradas, na forma de diagrama de blocos, as principais tecnologias de tratamento de água quimicamente coagulada com o emprego de pré-tratamento. Uma vez é ressaltada a não utilização de oxidantes alternativos e de membranas especiais. Como se pode notar, há várias variantes para o uso das diferentes tecnologias de tratamento quando se tem o pré-tratamento, o qual, no presente caso pode ser a decantação, pré-filtração dinâmica e pré-filtração em pedregulho com escoamento vertical (ascendente ou descendente) ou horizontal ou a combinação de alguns dessas unidades de pré-tratamento. Na Figura 8 são mostrados esquemas dos diferentes tipos de pré-filtros.

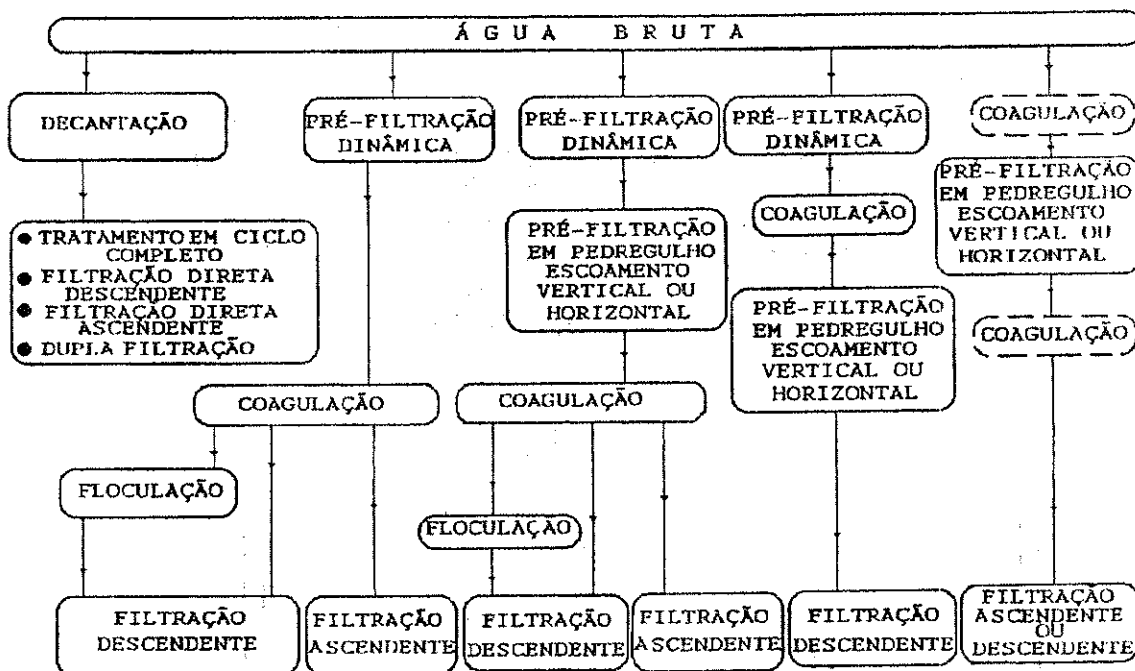


Figura 7. Tecnologias de Tratamento de Água Quimicamente Coagulada com Pré-Tratamento

Pré-Tratamento - Decantação : A decantação tem sido empregada principalmente quando se têm mananciais superficiais cujas nascentes são próximo a montanhas, como no caso dos países andinos. Nas épocas chuvosas, são elevadíssimos os picos de sólidos suspensos e de turbidez, impossibilitando o funcionamento da estação de tratamento sem a existência de unidades de pré-tratamento, como a decantação. A água captada no rio é conduzida a um lago com tempo de detenção geralmente superior a 2 meses a a decatadores convencionais ou decatadores de alta taxa.

Na estação de tratamento de água La Atarjea (Lima-Peru), parte da água captada é conduzida a um lago e a parcela restante, encaminhada para decantadores de escoamento horizontal, unidades que precedem a estação. No sistema de tratamento de água Las Vizcachas, que recebe água do rio Maipo (Santiago-Chile) a vazão total captada no rio passa por decantadores de alta taxa, com placas planas paralelas antes de chegar na estação, pois a turbidez alcança valores de até 4 000 uT.

Nos dois casos citados, a tecnologia de tratamento é em ciclo completo, isto é, tem-se a coagulação, floculação e decantação antes da filtração descendente. É evidente que esse tipo de pré-tratamento também pode ser empregado precedendo as tecnologias da filtração direta ascendente ou descendente ou da dupla filtração, desde que a qualidade do efluente do pré-tratamento fosse compatível com as exigências das tecnologias. No caso de lagos, ocorre remoção considerável de bactérias, protozoários, fungos, vírus, protozoários e outros organismos, fato relacionado ao tempo médio de detenção. Por outro lado, com a clarificação da água e a penetração da luz solar, poderão surgir florescimentos algais se a água contiver os nutrientes necessários, especialmente o fósforo, e dificultar a operação da estação de tratamento (4).

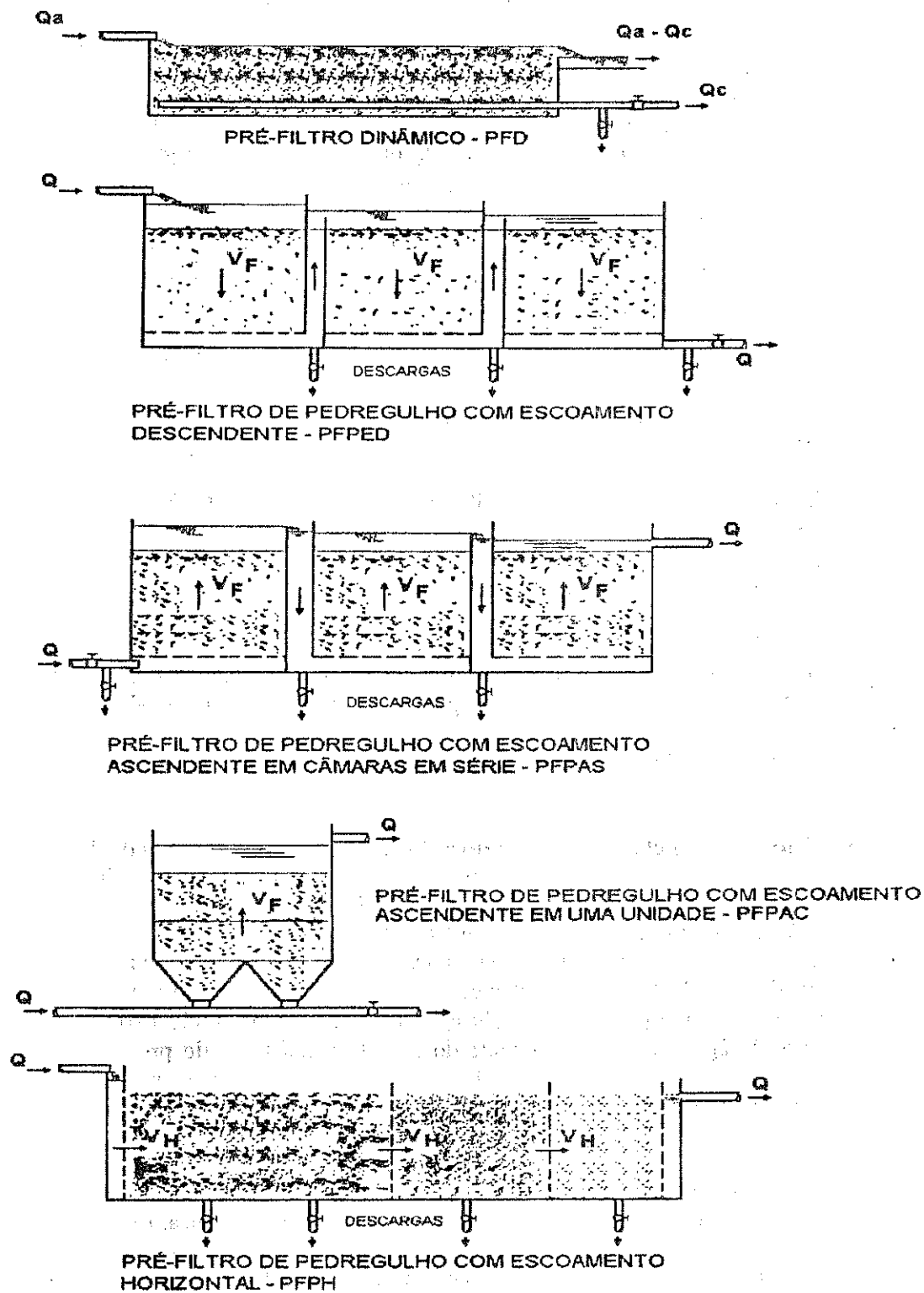


Figura 8 - Esquemas de Pré-Filtros Dinâmico e Pré-Filtros de Escoamento Horizontal e Vertical Ascendente ou Descendente (7)

Pré-Filtração Dinâmica : a pré-filtração dinâmica pode ser empregada de duas formas como pré-tratamento: a) para remover impurezas; b) para amortecer picos de turbidez ou de sólidos suspensos. Quando se tem a filtração direta ascendente ou a descendente, deve-se projetar a pré-filtração dinâmica para amortecer picos de turbidez ou de sólidos suspensos, de modo que ocorra colmatação rápida da subcamada superior de pedregulho, evitando-se dessa forma que água afluyente com turbidez elevada atinja as instalações de filtração direta descendente (com ou sem pré-floculação) ou ascendente. As subcamadas nesse caso apresentam pedregulho de menor tamanho, a velocidade de escoamento do excesso (que não é captada) é relativamente pequena e é maior a taxa de filtração quando este tipo de pré-filtro dinâmico é comparado àquele projetado para remover impurezas. A remoção de organismos é substancial, tendo sido reportadas eficiência da ordem de 80 a 90 % de remoção de coliformes totais e fecais nas unidades de pré-filtração dinâmica, o que assegura o funcionamento adequado e seguro da tecnologia de tratamento posterior com coagulação química. Como ocorrerá alteração considerável no número e distribuição de tamanhos de partículas presentes na água a ser coagulada, há necessidade da execução de ensaios com o fim de se obter as condições apropriadas no processo (7).

Pré-Filtração Dinâmica em Série com a Pré-Filtração com Escoamento Vertical ou Horizontal : quando se tem a pré-filtração em pedregulho com escoamento vertical (ascendente ou descendente) ou horizontal, a pré-filtração dinâmica pode ser projetada tanto para remover impurezas quanto para amortecer picos de turbidez ou de sólidos suspensos, o que dependerá essencialmente da qualidade da água bruta. Há dados na literatura de remoção substancial de algas, coliformes, protozoários, metazoários e rotíferos em pré-filtros de escoamento vertical ascendente, de modo que, precedidos por pré-filtros dinâmicos, esse tipo de pré-tratamento pode resultar muito seguro do ponto de vista sanitário e altamente recomendável para comunidades de pequeno e médio porte. Neste caso também irão ocorrer alterações no número e tamanho de partículas presentes no afluyente com possíveis alterações na coagulação.

Pré-Filtração Dinâmica, Coagulação e Pré-Filtração com Escoamento Vertical ou Horizontal: há estações funcionando satisfatoriamente na Colômbia empregando esse tipo de pré-tratamento precedendo a filtração rápida descendente. Uma vez mais salienta-se a necessidade da execução de ensaios de coagulação em laboratório visando obter as condições que otimizam a coagulação. Como grande parte das impurezas serão retidas nos pré-filtros com escoamento vertical (ascendente ou descendente) ou horizontal, é conveniente que estas unidades possuam dispositivos que permitam a realização de descargas de fundo periódicas. Em função da qualidade da água bruta e do efluente do pré-filtro dinâmico, do processo de coagulação e da taxa de crescimento de perda de carga no meio granular, poderá ser programado o número de descargas de fundo durante o dia para que a tecnologia seja otimizada.

Pré-Filtração com Escoamento Vertical ou Horizontal : em função da qualidade da água bruta e das características da captação, pode-se prescindir da pré-filtração dinâmica, tendo-se a pré-filtração com escoamento vertical (ascendente ou descendente) ou a horizontal com pré-tratamento. Em seguida, tem-se a filtração direta ascendente ou descendente, podendo haver vantagens da ascendente sobre a descendente pelo fato da primeira ser projetada de forma que sejam realizadas descargas de fundo intermediárias, prolongando a duração da carreira de filtração. Outra opção seria ter-se a coagulação primeiramente e depois a pré-filtração com escoamento vertical ou horizontal, seguida da filtração descendente. Segundo Ahsan (1) a coagulação prévia de água com turbidez de até 400 uT e posteriormente submetida à pré-filtração horizontal é suficiente para a produção de água com turbidez inferior a 5 uT.

7 - SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO - PARÂMETROS DE PROJETO

7.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O critério preponderante para a seleção da tecnologia de tratamento é a qualidade da água bruta. É desejável se ter dados da qualidade em pelo menos duas épocas distintas, especialmente nos países tropicais, nos quais se observa usualmente a época de chuvas e a de estiagem. Dentre os parâmetros de qualidade que devem ser conhecidos, consideram-se prioritários os indicados a seguir, segundo sua ordem de importância para a seleção da tecnologia de tratamento: coliformes fecais e totais (e outros microrganismos, tais como vírus, protozoários, metazoários, rotíferos, etc), gêneros predominantes de algas, cor verdadeira, carbono orgânico total, DBO, DQO, número e distribuição de tamanhos de partículas, turbidez, sólidos suspensos, alcalinidade, pH, temperatura, metais (principalmente ferro e manganês), potencial zeta, condutividade elétrica, fósforo e nitrogênio. Somente após o projetista estar ciente da qualidade da água é que os dados da comunidade devem ser considerados, os quais poderão favorecer o emprego de algumas tecnologias em detrimento de outras. A seguir são apresentados os principais critérios de projeto para o uso das diferentes tecnologias de tratamento.

7.2 - TRATAMENTO EM CICLO COMPLETO

No tratamento em ciclo completo são utilizadas unidades de mistura rápida, floculação, decantação ou flotação e filtração. Na Tabela 11 são apresentados os valores máximos de alguns parâmetros de qualidade que limitam o uso da tecnologia.

**Tabela 11 - Valores Máximos dos Parâmetros de Qualidade
Tratamento em Ciclo Completo**

CARACTERÍSTICA DA ÁGUA BRUTA OU PARÂMETRO DE PROJETO	SEM PRÉ-TRATAMENTO	COM DECANTAÇÃO
NMP de coliformes fecais (UFC/100 ml)	5 000	20 000
NMP de coliformes totais (UFC/100 ml)	20 000	200 000
Densidade algal (UPA/ml)	5 000	-----
Cor verdadeira (uH)	250	250
Carbono orgânico total (mg/l C)	10	10
DBO ₅ (mg/l)	10	10
DQO (mg/l)	50	100
Turbidez (uT)	500	3 000
Sólidos suspensos (mg/l)	250	2 000

Sempre que o NMP de coliformes totais superar 1000 UFC/100 ml, é recomendável a pré-desinfecção do afluente à estação de tratamento de água, independentemente da existência da decantação. A opção pelo tipo de desinfetante (oxidante) dependerá das características da comunidade, especialmente da qualificação do pessoal para operação e manutenção. Dependendo da existência de compostos orgânicos clorados ou fosforados, o carvão ativado poderá ser empregado.

A coagulação poderá ser realizada com sulfato de alumínio, cloreto férrico, policloreto de alumínio, sulfato ferroso clorado, etc, dependendo da existência do produto no mercado a custos razoáveis e da alcalinidade e pH do afluente à estação. Como se trata de tratamento em ciclo completo, há necessidade da produção de flocos que sedimentem, razão pela qual a coagulação deve ser realizada no mecanismo da varredura. Se a cor verdadeira for relativamente alta e se houver possibilidade da ocorrência de florescimentos algais em alguma época do ano, convém utilizar a flotação em lugar da decantação.

Mistura Rápida e Floculação

As unidades de mistura rápida e de floculação poderão ser mecanizadas ou hidráulicas, função da qualidade da água e sua variação, e das características da comunidade. No caso da mistura rápida hidráulica, podem ser utilizados injetores, malhas, dispositivos nos quais é produzido o ressalto hidráulico, enquanto a mistura rápida mecanizada é geralmente efetuada por meio de agitadores tipo turbina que produzem escoamento radial ou hélices especiais, fazendo com que ocorra escoamento axial. A floculação hidráulica pode ser realizada em canais contendo malhas ou chicanas, reatores com meio granular (pedregulho), câmaras com escoamento helicoidal, e a mecanizada em câmaras com agitadores do tipo turbina, de paletas giratórias paralelas ou perpendiculares ao eixo vertical ou horizontal. Na Tabela 12 são apresentados critérios genéricos para pré-dimensionamento, pois os parâmetros devem ser determinados executando-se ensaios de tratabilidade.

Tabela 12 - Parâmetros de Projeto de Unidades de Mistura Rápida e de Floculação

PARÂMETRO	MISTURA RÁPIDA		FLOCULAÇÃO	
	HIDRÁULICA	MECANIZADA	HIDRÁULICA	MECANIZADA
Gradiente de velocidade (s^{-1})	300 a 1200	300 a 1200	10 a 70	20 a 70
Tempo de agitação (s)	1 a 60	1 a 60	300 a 1800	1200 a 2400
Produto GT	2000 a 10000	10000 a 30000	6000 a 40000	15000 a 80000
Número de câmaras ou canais em série	-----	≥ 2	≥ 3	≥ 3

Decantação ou Flotação

Os decantadores podem ser do tipo convencional ou de alta taxa (módulos de plástico ou placas planas paralelas). Na Tabela 13 são apresentados critérios gerais de projeto de decantadores e na Tabela 14, o de flotadores.

Tabela 13 - Critérios Gerais de Projeto de Decantadores

PARÂMETRO	DECANTADOR CONVENCIONAL	DECANTADOR DE ALTA TAXA
Taxa de escoamento superficial (m^3/m^2d)	15 a 60 (*)	80 a 240 (*) (**)
Tempo médio de detenção (h)	2 a 4	1 a 2
Profundidade útil total (m)	3 a 5	4 a 5
Extração de lodo hidráulica	periódica (1 a 4 meses)	periódica (diária)
Extração de lodo mecanizada	semi-contínua	semi-contínua

Tabel 14 - Critérios Gerais de Projeto de Flotadores

PARÂMETRO	VALOR USUAL
Relação ar/sólidos	não influi para teor de SS < 500 mg/l
Relação ar/volume de água (g ar/m ³ água tratada)	7 a 10
Câmara de saturação ar/água	
- pressão (Kpa)	250 a 500
- taxa de aplicação superficial (m ³ /m ² d)	1000 a 2000
- tempo médio de detenção (min)	2 a 5
- vazão de recirculação (% da vazão afluyente)	5 a 15
Câmara de Flotação	
- taxa de escoamento superficial (m ³ /m ² d)	100 a 300
- tempo médio de detenção (min)	10 a 20

Filtração

A filtração pode ser realizada com taxa constante ou taxa declinante variável. No caso de taxa constante, pode ser adotado o método de distribuição equitativa de vazões, de forma que a vazão total de água decantada ou flotada é dividida igualmente entre os filtros por meio de vertedores na entrada das unidades. O nível de água no interior dos filtros irá variar desde um valor mínimo, no início da carreira de filtração, até um valor máximo pré-fixado. Esse tipo de controle dos filtros é recomendado somente para pequenas estações e quando se tem duas ou três unidades filtrantes. Quando se tem a filtração com taxa declinante variável, o número mínimo de filtros é igual a quatro. Os filtros funcionam como vasos comunicantes, com entradas submersas, de forma que o filtro mais limpo da bateria funciona com a maior taxa de filtração e o mais sujo, com a menor taxa de filtração. Em ambos tipos de controle, deve-se dispor de vertedor na saída dos filtros para evitar que os o nível mínimo de operação se situe acima do topo do meio filtrante. Para países em desenvolvimento, deve-se sempre evitar o uso de equipamentos de controle de nível ou de vazão, usualmente empregados nos países desenvolvidos.

O meio filtrante pode ser constituído de areia somente, antracito e areia ou antracito, areia e granada. Quando a lavagem é efetuada com ar e água, deve-se dispor de sistemas de drenagem especiais, como bocais ou blocos, para que tanto ar quanto água sejam distribuídos uniformemente durante a lavagem.

A taxa de filtração pode variar desde 120 m³/m²d para meios filtrantes constituídos unicamente de areia convencional, até 600 m³/m²d quando se tem meio filtrante com antracito e areia.

7.3 - FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE

Na Figura 2 foram vistas duas alternativas para a filtração direta descendente, enquanto, na Figura 7, há diversas possibilidades para o uso da filtração direta ascendente precedida de pré-tratamento. Tendo em vista a grande influência que a qualidade da água exerce sobre os parâmetros de projeto que otimizam a tecnologia, torna-se extremamente difícil a fixação dos mesmos, motivo pelo qual é sempre recomendável a execução de ensaios em laboratório ou em instalações piloto. Dependendo do meio filtrante e a taxa de filtração, o uso de polímeros como auxiliares de filtração nem sempre são requeridos. Para que o leitor tenha uma idéia, são apresentados a seguir os principais parâmetros de qualidade da água para o emprego da filtração direta descendente sem pré-tratamento.

Tabela 15 - Valores Máximos dos Parâmetros Gerais de Qualidade da Água Bruta para o Emprego da Filtração Direta Descendente sem Pré-Tratamento e Parâmetros de Projeto

DISCRIMINAÇÃO	SEM PRÉ-FLOCULAÇÃO	COM PRÉ-FLOCULAÇÃO
Características da Água Bruta		
- Turbidez (uT)	25	50
- Cor verdadeira (uH)	25	50
- DBO ₅ (mg/l)	5	5
- NMP coliformes totais (UFC/100 ml)	2500	5000
- NMP de coliformes fecais (UFC/100 ml)	500	1000
- Carbono orgânico total (mg/l)	1	2,5
- Densidade algal (UPA/ml)	500	1000
Parâmetros de Projeto		
- Taxa de filtração (m ³ /m ² d)	200 a 600	200 a 600
- Gradiente de velocidade na pré-floculação (s ⁻¹)		50 a 200
- Tempo de agitação na pré-floculação (min)		5 a 15
- Mecanismo de coagulação	neutralização de cargas	neutralização de cargas

Quando se considera o pré-tratamento, as seguintes alternativas podem ser consideradas:

- * Pré-filtração dinâmica, seguida da coagulação e filtração ou da coagulação, pré-floculação e filtração;
- * Pré-filtração dinâmica, pré-filtração em pedregulho com escoamento vertical ou horizontal, coagulação e filtração ou coagulação, pré-floculação e filtração;
- * Pré-filtração dinâmica, coagulação, pré-filtração em pedregulho com escoamento vertical ou horizontal e filtração;
- * Pré-filtração em pedregulho com escoamento vertical ou horizontal, coagulação e filtração ou coagulação, pré-floculação e filtração;
- * Coagulação, pré-filtração em pedregulho com escoamento vertical ou horizontal e filtração;

Quando é empregada a pré-filtração dinâmica com ou sem pré-filtração em pedregulho com escoamento vertical ou horizontal, há alteração substancial nas características da água bruta, com conseqüências na coagulação. Embora haja pesquisas em andamento em diferentes países sobre a matéria em questão, é difícil, no presente estabelecer as características da água bruta sem a execução de ensaios em laboratório. Em princípio, pode-se afirmar que turbidez da água bruta da ordem de 200 uT pode ser reduzida a valores inferiores a 20 uT, compatíveis com aqueles exigidos para a filtração direta descendente. No entanto, quando a coagulação é realizada antes da pré-filtração em pedregulho, como mostrado por Ahsan (1) em pesquisas realizadas com água preparada em laboratório (utilizando caulinita e ácido húmico) com pré-filtros de escoamento horizontal constituído de duas câmaras em série, indicando a possibilidade de se reduzir a turbidez de 100 a 400 uT para cerca de 2 a 4 uT para taxas não superiores a 24 m³/m²d. A cor verdadeira inicial de 80 uH não foi removida satisfatoriamente e o autor sugere o uso de velocidades altíssimas para a remoção de sólidos retidos nas vazios intergranulares por ocasião da limpeza.

FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE E DUPLA FILTRAÇÃO

Como visto na Figura 2 pode-se ter somente a filtração direta ascendente ou a dupla filtração, de forma que na segunda, a filtração direta ascendente funciona como pré-tratamento. Na

Tabela 16 são apresentados parâmetros gerais de qualidade e de projeto quando não se tem pré-tratamento com pré-filtração dinâmica ou pré-filtração em pedregulho com escoamento vertical ou horizontal.

Tabela 16 - Valores Máximos dos Parâmetros de Qualidade da Água Bruta para o Emprego da Filtração Direta Ascendente e a Dupla Filtração sem Pré-Tratamento e Parâmetros de Projeto

DISCRIMINAÇÃO	FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE	DUPLA FILTRAÇÃO
Características da Água Bruta		
- Turbidez (uT)	25	100
- Cor verdadeira (uH)	50	200
- DBO ₅ (mg/l)	5	10
- NMP coliformes totais (UFC/100 ml)	2500	10000
- NMP de coliformes fecais (UFC/100 ml)	500	2000
- Carbono orgânico total (mg/l)	1	5,0
- Densidade algal (UPA/ml)	500	5000
Parâmetros de Projeto		
- Taxa de filtração no filtro ascendente (m ³ /m ² d)	120 a 280	180 a 280
- Taxa de filtração no filtro descendente (m ³ /m ² d)	-----	200 a 400
- Número de descargas de fundo intermediárias no filtro ascendente durante a carreira de filtração	≥ 1	5 a 15
- Taxa de aplicação no filtro ascendente (m ³ /m ² d)	600 a 1000	≥ 4
- Mecanismo de coagulação	neutralização de cargas	600 a 1000 neutralização de cargas

Como na filtração direta ascendente ou na dupla filtração ocorre floculação intensa na camada de pedregulho, a qual desempenha papel importantíssimo nessas tecnologias, não faz sentido utilizar a coagulação antes de pré-filtros de pedregulho de escoamento vertical ou horizontal, devendo-se, quando possível, empregar a pré-filtração dinâmica e a pré-filtração em pedregulho com escoamento vertical ou horizontal antes da coagulação, visando a redução da turbidez, sólidos suspensos, coliformes, algas, etc, a valores compatíveis com aqueles apresentados na Tabela 16. Há necessidade da realização de pesquisas para se obter os parâmetros de projeto quando o pré-tratamento é empregado.

BIBLIOGRAFIA.

- 1 - Ahsan, T. Process Analysis and Optimization of Direct Horizontal-Flow Roughing Filters - PhD Thesis A.A. Balkema/ Rotterdam 1995, The Netherlands
- 2 - Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT NB-592 "Projeto de Estação de Tratamento de Água" 1989, Rio de Janeiro, Brasil
- 3 - Di Bernardo, L. Water Supply Problems and Treatment Technologies in Developing Countries in South America JWATER SRT Aqua Vol. 40, n. 3, Jun. 1990, England.
- 4 - Di Bernardo, L., Rocha, O. & Aggio, C. E. G. Estudo Qualitativo e Quantitativo da Comunidade Biótica presente em um Sistema de Pré-filtro e Filtro Lento para Tratamento de

Águas de Abastecimento. 16º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1991, Goiânia, Brasil.

5 - Di Bernardo, L. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água - Volumes I e II Luiz Di Bernardo & Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental 1993, Rio de Janeiro, Brasil.

6 - Di Bernardo, L. Algas e suas Influências na Qualidade das Águas e nas Tecnologias de Tratamento Luiz Di Bernardo & Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental 1995, Rio de Janeiro, Brasil.

7 - Galvis, G., Visscher, J. T., Fernandes J. & Berón, F. Pre-treatment Alternatives for Drinking Water Supply Systems - Selection, Design, Operation and Maintenance IRC International Water and Sanitation Centre, 1993, The Hague, The Netherlands.

8 - Ingallinella, A. M., Bachur, J. A., Rodriguez, J. & Stecca, L. M. Clarificación del Agua en mantos de Grava de Flujo Ascendente XXIII Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Vol. 1, Parte 2, p: 693 - 703, Nov. 1992, La Habana, Cuba.

9 - Lykins Jr., B. W., Koffskey, W. E. & Patterson, K. S. Alternative Disinfectants for Drinking Water Treatment JEE-ASCE, vol. 120, n. 4, p: 745-758, Aug. 1994, USA.

10 - Ministério de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente Classificação das Águas Doces, Salobras e Salinas no Território nacional - Resolução nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente 1986, Brasília, Brazil.

11 - Ministério da Saúde Normas e Padrão de Potabilidade das Águas Destinadas ao Consumo Humano Portaria 36/GM 1990, Brasília, Brasil.

12 - Pardon, M. Research, Developmente and Implementation of Roughing Filtration Technology in Peru Roughing Filters Workshop for Water Treatment, 1992, Zurich, Switzerland.

13 - Singer, P. C. Control of Disinfection By-products in Drinking Water JEE-ASCE, vol. 120, n.4, p: 727-744, Aug. 1994, USA.

14 - Wegelin, M., Schertenleib, R. & Boller, M. Development of a Rural Water Treatment Process for Developing Countries JWATER SRT - Aqua, Vol. 40, n.5, p: 304-316, 1991, England

15 - Wegelin, M. Roughing Filtration for Surface Water Pretreatment Slow Sand Filtration Workshop - AWWA Oct. 1991, Durham, N. H., USA.

16 - World Health Organization Guidelines for Drinking Water Quality V.1 - Recommendations 2nd Ed., 1993, Geneve, Switzerland