

TRATAMENTO DE ÁGUA POR FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE PARA FINS DE REUSO

José Tarcísio Ribeiro*
Emília Akemi Kowata**

Resumo

O laboratório de Hidráulica da FATEC-SP conta com diversas bancadas para fins didáticos, e uma bancada para levantamento de curvas de calibração de medidores de vazão. As águas utilizadas tanto nas aulas práticas como nos ensaios de prestação de serviços a terceiros, percorrem um circuito fechado, constituído de tubulações, canaletas, reservatório enterrado e um elevador. O volume de água deste sistema é mantido constante através de uma alimentação com água proveniente da rede pública de abastecimento. Foi construído um sistema de filtração rápida, direta e ascendente, em escala piloto, com a finalidade de tratar a água desse laboratório para fins de reuso. Os resultados mostraram que o declínio da cor verdadeira e da turbidez não exigiram, alterações na dosagem de coagulante.

Introdução

A recuperação, reciclagem e reuso de águas residuárias tem suas raízes na Grécia antiga. Embora essa prática tenha ocorrido em muitas partes do mundo por séculos, existem vários fatores que contribuíram para o interesse recente por esse assunto. Em muitas nações industrializadas existem problemas crescentes, associados com o desenvolvimento ambientalmente adequado do abastecimento de água. Além disso, os custos da disposição dos esgotos domésticos e industriais estão aumentando. Em países em desenvolvimento, particularmente aqueles localizados em partes áridas do mundo, custo baixo, tecnologia simples são necessários, para se viabilizar novas fontes de abastecimento de água, protegendo da poluição as já existentes. No planejamento e implementação de recuperação e reuso da água, as aplicações pretendidas para a mesma determinam a extensão do tratamento exigido para as águas residuárias. Como tecnologia tem melhorado e os sistemas de reuso tem demonstrado confiabilidade é provável o reuso continuará a expandir no futuro [1].

O tratamento da água, com o emprego de materiais granulares, ou por algum tipo de coador de pano está registrado na história antiga da Índia, China e Grécia. Vários sistemas de filtro foram conhecidos, como clarificadores de águas. Na história moderna, o uso dessa técnica começou na primeira metade do século 19 quando elas, particularmente a filtração lenta em leito de areia, eram as únicas etapas do tratamento. Obviamente, podiam ser conseguidos os requisitos higiênicos, embora a teoria da desinfecção só tenha se

desenvolvido no fim do último século. A aplicação de filtros em tratamento de água potável tem uma longa tradição, e sua operação está baseada em experiências práticas de longa data. Embora na filtração de águas residuárias faça-se uso de tecnologia similar, consideráveis diferenças, especialmente com relação às características da água, levou o desenvolvimento dos projetos a seguirem diferentes critérios [2].

Revisão da Literatura

Evolução do reuso de água

O reuso de águas residuárias tem uma longa história, comprovada pelos elaborados sistema de esgoto associados com antigos palácios e cidades da Civilização de Minoan. As indicações para utilização de águas residuárias para irrigação agrícola nos remete a aproximadamente 5000 anos atrás [3]. Em épocas mais recente, durante o século 19, os métodos de utilização de águas residuárias em larga escala, com descarga nas águas de superfície, liderada pelo uso indireto de esgoto e outro efluentes era feita de forma inadvertida. Este reuso, não planejado, associado com a falta de adequado tratamento das águas residuária, resultou em epidemias catastróficas tais como cólera e febre tifóide asiáticas durante os anos de 1840 a 1850. Porém, quando ficou claro que estas doença tinham veiculação hídrica, foram adotadas soluções de engenharia., como por exemplo, o lançamento de efluentes a jusante da captação, em Londres, e a introdução progressiva de filtração da água durante os anos de 1850 e 1860 [4].

O desenvolvimento de programas para uso planejado de águas residuárias, nos EUA começaram no início século 20. O Estado de Califórnia priorizou esforços para promover recuperação das águas e seu reuso, sendo que e o primeiros regulamentos foram promulgados em 1918. Alguns dos primeiros sistemas com essa finalidade foram desenvolvidos para fornecer água para irrigação, nos estados do Arizona e Califórnia em 1920. Em 1940 águas residuárias cloradas foram usadas no processo de produção de aço, e em 1960 sistemas para reuso urbano foram desenvolvidos no Colorado e Flórida.

Durante os últimos 25 anos do século 20, os benefícios decorrentes do reuso de águas residuárias, como um meio de suplementar as fontes de abastecimento já haviam sido reconhecido pela maioria das unidades federadas dos Estados Unidos e também pela União Européia [5].

Nos anos 90, aumentou o interesse pelo reuso de águas residuárias em muitas partes do mundo, em virtude das crescentes pressões a favor da alta

* Mestre em Eng. Civil pela Unicamp, Doutorando em Eng^a Civil pela Unicamp

** Tecnóloga em Construção Civil – modalidade Edifícios, pela Fatec-SP graduanda em Tecnologia da Construção Civil – modalidade Obras Hidráulicas pela Fatec-SP

qualidade, disponibilidade de água segura para agricultura, indústria e o público; uma situação que é exacerbada em anos de seca. Hoje, está provado que tecnicamente existem processos de tratamento e purificação de águas residuárias, capazes de produzir água de qualquer qualidade desejada [1]. Nas FIG 1 a FIG 3 é apresentada a evolução do controle de poluição, reciclagem e reuso das águas, no período que vai de 3000 AC até hoje.

Ciclo hidrológico e reciclagem de águas residuárias

Os sistemas de distribuição de águas e de coleta de esgotos, associados com a recuperação, reciclagem e reuso de águas residuárias, desempenham um papel importante no ciclo

alimentos e outras com alta taxa de utilização desse bem. Em alguns casos, tem sido desenvolvidos sistemas de reciclagem em circuito-fechado, que tratam a água por um processo simples[1].

Tendências na tecnologia de filtração de água

A heterogênea composição do material particulado, a presença de substâncias orgânicas biodegradáveis e enorme variação diária e as flutuações sazonais de quantidade e da qualidade das águas, exige que os sistemas de filtração sejam cuidadosamente adaptados às características das águas residuárias. Nos últimos anos, o desenvolvimento de muitos tipos de novos filtros e melhorias nos sistemas de retro-lavagem, que são facilmente operados, tem ajudado a reduzir os custos

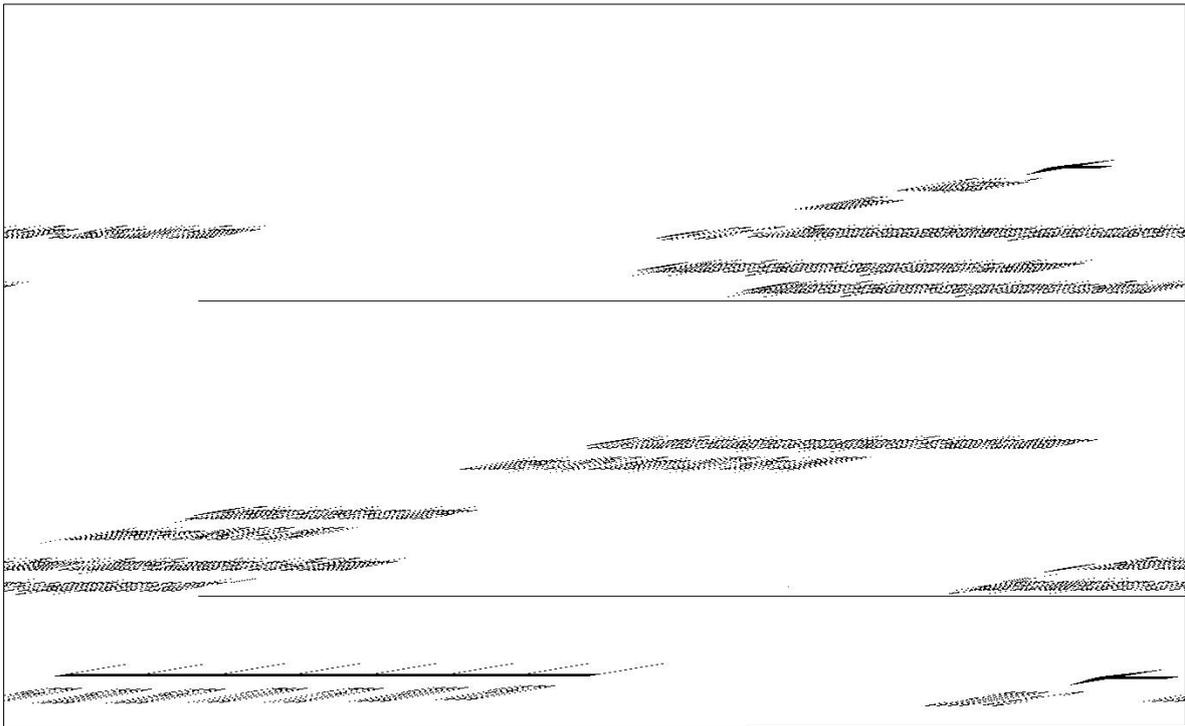


Figura 1 – Primeiros sistemas de água e serviços de saúde pública de 3000 aC a 1850 dC

Fonte: Adaptado de Asano e Levine, 1996

hidrológico natural. Uma avaliação conceitual do ciclo das águas das superficiais e das subterrâneas, para abastecimento público, irrigação, usos municipais, industriais, e para recuperação e reuso é mostrado na FIG 4. As principais vias são mostrados com linhas tracejadas, e incluem a recarga dos mananciais subterrâneos, irrigação, uso industrial, e reabastecimento de mananciais. O reabastecimento das água de superfície e a recarga do aquífero subterrâneo acontecem também naturalmente, através de drenagem, via ciclo hidrológico, e através de infiltração das águas de irrigação não absorvidas pelas plantas. As águas usadas ou reusadas, para irrigações agrícolas e de jardins, incluem as provenientes da agricultura, as de uso residencial, comercial e as de aplicações municipais. As águas para reuso industrial são provenientes de diversos tipos de indústrias, incluindo a geração de energia, processamento de

de instalação, principalmente em pequenas plantas. Vários novos padrões para sólidos em suspensão, parâmetros higiênicos para água potável, e material particulado e fósforo para águas residuárias, resultaram em inovativas fases na tecnologia da filtração, e levaram à aplicação de sistemas compactos de tratamento, adaptados às características das águas residuárias. Nos últimos anos, o desenvolvimento de muitos tipos de novos filtros e melhorias nos sistemas de retro-lavagem, que são facilmente operados, tem ajudado a reduzir os custos de instalação, principalmente em pequenas plantas. Vários novos padrões para sólidos em suspensão, parâmetros higiênicos para água potável, e material particulado e fósforo para águas residuárias, resultaram em inovativas fases na tecnologia da filtração, e levaram à aplicação de sistemas compactos de tratamento, eventualmente incluindo processos bioquímicos [2].

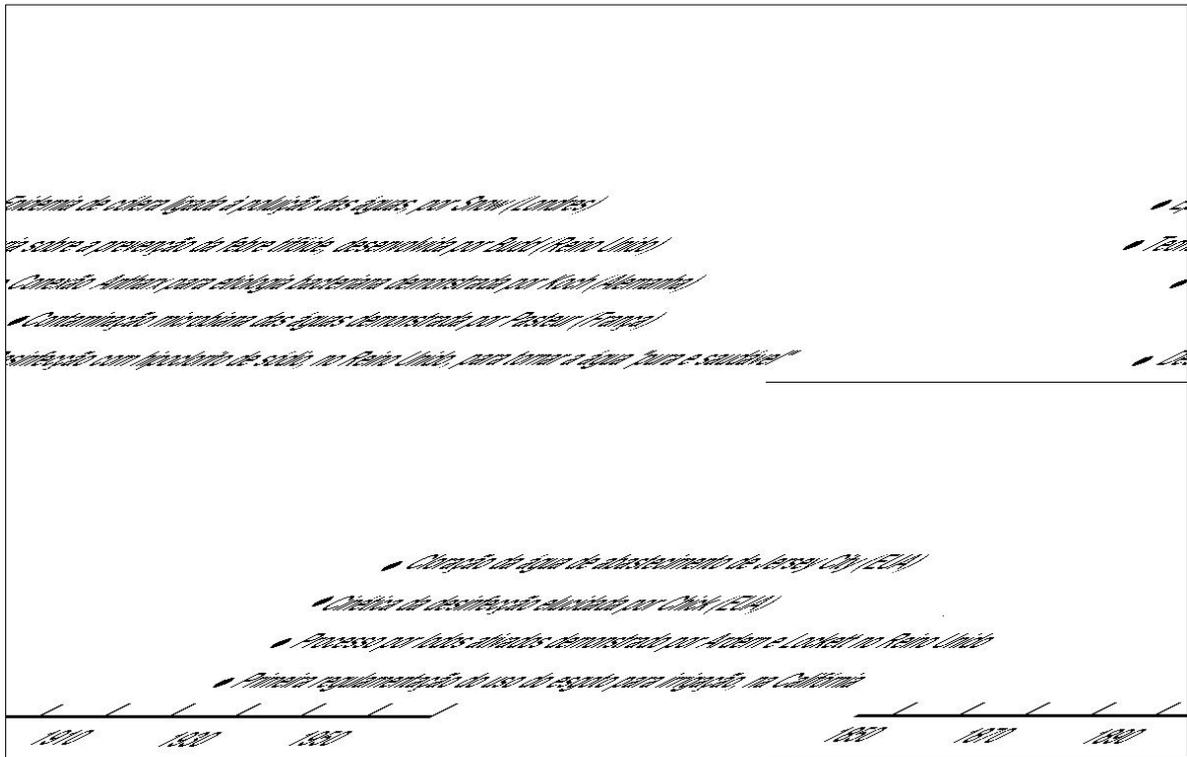


Figura 2 – Grande despertar para o sanitário, de 1850 a 1950
 Fonte: Adaptado de Asano e Levine, 1996

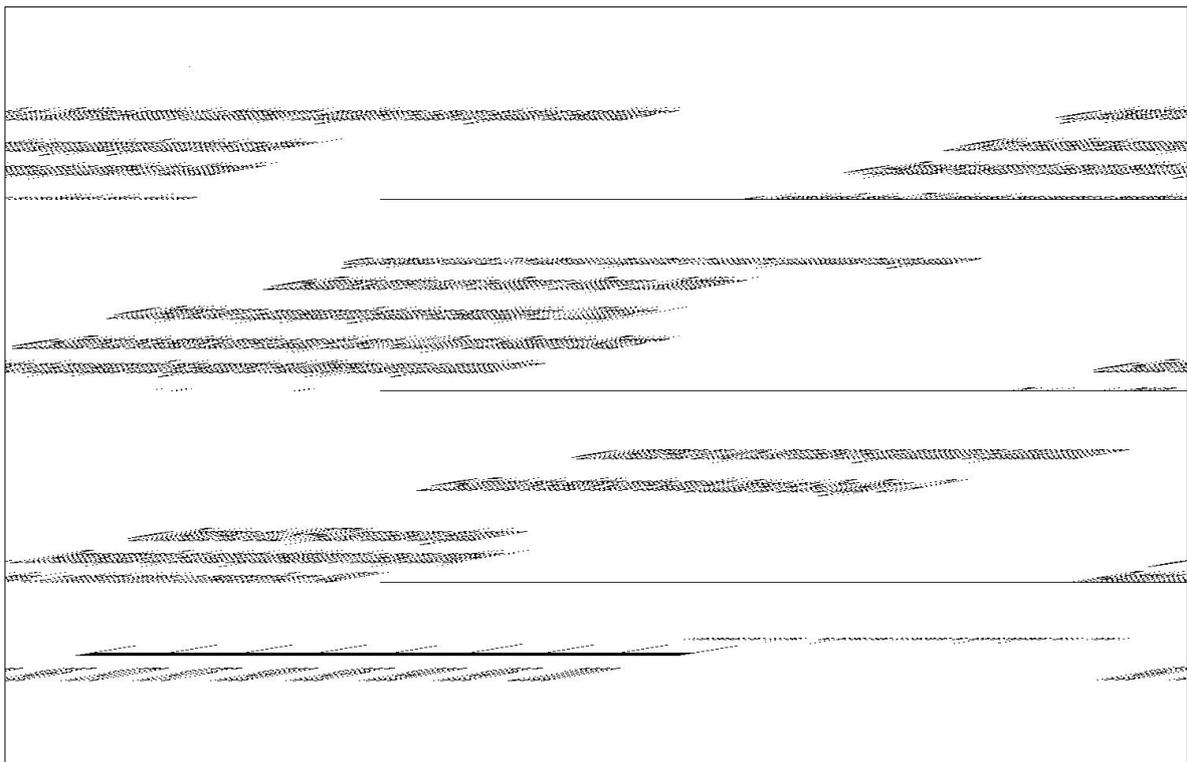


Figura 3 – Era do controle de poluição, reciclagem e reuso das águas residuárias, após 1960
 Fonte: Adaptado de Asano e Levine, 1996

Recentes desenvolvimentos: estado da arte

A performance de um filtro é determinada pela suspensão a ser filtrada, pelas características do material particulado, é influenciada por produtos químicos floculantes, bem como pela construção do filtro, meio filtrante e condições operacionais.

Portanto, os desenvolvimentos recentes na tecnologia da filtração podem ser considerados sob dois diferentes aspectos: condicionamento químico do particulado e, construção, manutenção e operação do filtro [2].

No campo de engenharia sanitária, a coagulação é definida como o desestabilização das cargas elétrica dos colóides e dos sólidos suspensos presentes na água, inclusive bactéria e vírus, por por um coagulante. Quase todas as partículas, com tamanho de alguns μm , tem uma carga elétrica em sua superfície, e a magnitude desta geralmente é expressa como potencial Zeta. Essa característica pode ser calculada, a partir da velocidade de migração do material suspenso, em um campo elétrico acoplado a um microscópio[6].



Figura 4 – O papel das instalações de tratamento, recuperação, e reuso da água no ciclo hidrológico.

Fonte: adaptado de ASANO e LEVINE, 1996

Nas últimas duas décadas, as vantagens da filtração direta tiveram extenso reconhecimento, como técnica de tratamento de águas de abastecimento, e muitas plantas existentes foram equipadas com instalações que permitem a dosagem de substâncias químicas, sem desperdício. Na Suíça, Escandinávia e Alemanha, filtração de água e águas residuárias é freqüentemente combinada com remoção avançada de fósforo, que exige a adição de sais hidrolisados, de alumínio ou de ferro. Nestes casos a dosagem desse compostos, de metal, é normalmente mais alta que a necessária para desestabilização de partícula. O complexo metal-hidroxo-fosfato altera as propriedades do material particulado, ocasionando sua precipitação. Comparada à operação de filtros convencionais, a perda de carga é maior, a densidades dos flocos é menor, e as forças que provocam o cisalhamento destes são significativas. A remoção de particulados, através de filtros, aumenta indubitavelmente quando o processo é precedido por coagulação e floculação. A separação de suspensões coloidais em particular, pode ser substancialmente melhorada quando precedida de floculação, levando

à formação de flocos macroscópicos no afluente ao filtro, no caso de filtração direta [2].

Faixa de valores do pH para uma ótima coagulação

Os coagulantes mais comuns e econômicos são sulfato de alumínio, o cloreto férrico e polímeros catiônicos. Destes, o primeiro é o mais extensamente usado na indústria de tratamento da água. Presentemente, não existe nenhuma fórmula confiável para determinar a dosagem efetiva desses produtos. O método mais confiável para

determinação do coagulante e sua dosagem é o “Jar test”. Um valor de pH entre 6 e 7 é efetivo para floculação com sulfato de alumínio, mas sais de ferro, como cloreto férrico e sulfato férrico proporcionam uma faixa mais larga de valores desse parâmetro, para formação de flocos [6].

A coagulação com sais de alumínio ou ferro, para a filtração direta deve ser realizada no mecanismo de neutralização de carga, na região denominada corona, que depende fundamentalmente do valor do pH resultante. Se o coagulante for o sulfato de alumínio, o valor de pH ideal resultará da ordem de 5,5 a 6,5 na maioria dos casos, o que exigirá dosagem elevada deste produto, uma vez que em geral as águas bruta apresentam-se alcalinas[7]. Deve-se observar, no entanto, que valores ótimos do pH dependem dos tipos de sólidos em suspensão e da temperatura, especialmente para floculação com sulfato de alumínio [8].

Sob valor de pH igual a 5,5 geralmente atinge-se ponto isoeletrico, ou seja, o ponto em que a carga elétrica do sistema coloidal é nula. Este conceito é aplicável para a maioria dos colóides do tipo hidrófilicos, tais como aqueles encontrados em águas contendo um alto nível de compostos

orgânicos e altamente coloridas. Porém, um valor de pH de 5,5 não é ponto do mágico, visto que o ponto isoelétrico, varia dependendo da natureza do colóide e das características da água bruta[9]. Vários ensaios, em escala de bancada, demonstraram que um valor de pH entre 6,0 e 6,5 são satisfatórios para a remoção de Carbono Orgânico Total (COT) para vários tipos da água bruta. Além disso, a água coagulada sob valor de pH 5,5 pode causar severa corrosão na superfície do concreto e de metais submersos e, um alto nível de alumínio na água sedimentada[6].

Mistura rápida

O sistema de mistura rápida é uma parte importante para a etapa de coagulação. Seu propósito é dispersar rápida e uniformemente o coagulante por toda a massa de água bruta. Apesar de certos aspectos questionáveis, o gradiente hidráulico, que é expressos como valor “G”, é extensamente usado como um dos critérios de projeto, na faixa de 350 s^{-1} a 750 s^{-1} . O tempo de mistura, especificado pela maioria dos guias para projeto, emitidos pelos Departamento de Saúde de cada Estado (EUA) ou livros didáticos, não deve ser inferior a 30 segundos. O autor recomenda valores de “G” entre 500 s^{-1} e 1500 s^{-1} , com um tempo de dispersão do coagulante entre 1 e 2 segundos [6].

As reações de hidrólise do coagulante, que precedem o mecanismos de adsorção-desestabilização são extremamente rápidas, na casa de microsegundos. No de varredura, a formação do hidróxido de alumínio é lenta e ocorre na faixa de 1 a 7 segundos. Os autores estudaram 3 dispositivos de mistura rápida, em pontos específicos do diagrama,

agitação podem proporcionar aumento de floculação apenas quando é predominante o mecanismo de adsorção-desestabilização. Os principais resultados da investigação experimental desses autores estão representados na FIG 5, onde fica evidente que a influência das condições de mistura rápida são marcantes no caso da coagulação no mecanismos de adsorção-neutralização de cargas [10].

Tendências nas tecnologias de filtração

A fim de classificar os sistemas de filtração, com respeito aos novos desenvolvimentos, a aplicação de filtro foi dividida em quatro diferentes grupos: (i) pré-filtro ou filtros rudimentares, (ii) filtros rápidos e tipos similares, (iii) filtros lentos de areia, e (iv) membranas filtrantes.

Filtração rudimentar

O pré-filtro ou filtro rudimentar normalmente é o primeiro, em uma série de pelo menos dois filtros, usado para remover quantidades maiores de particulados, deste modo, evitando o entupimento dos seguintes. Quando construídos na forma de leito de pedregulho, são mais eficiente que sedimentação convencional e menos efetivos que filtros de areia rápidos ou lentos. Em países em desenvolvimento, onde floculantes químicos não podem ser aplicados, o uso dese tipo de pré-tratamento foi reconhecido como perfeitamente adaptados para os processos tratamento da água potável [11].

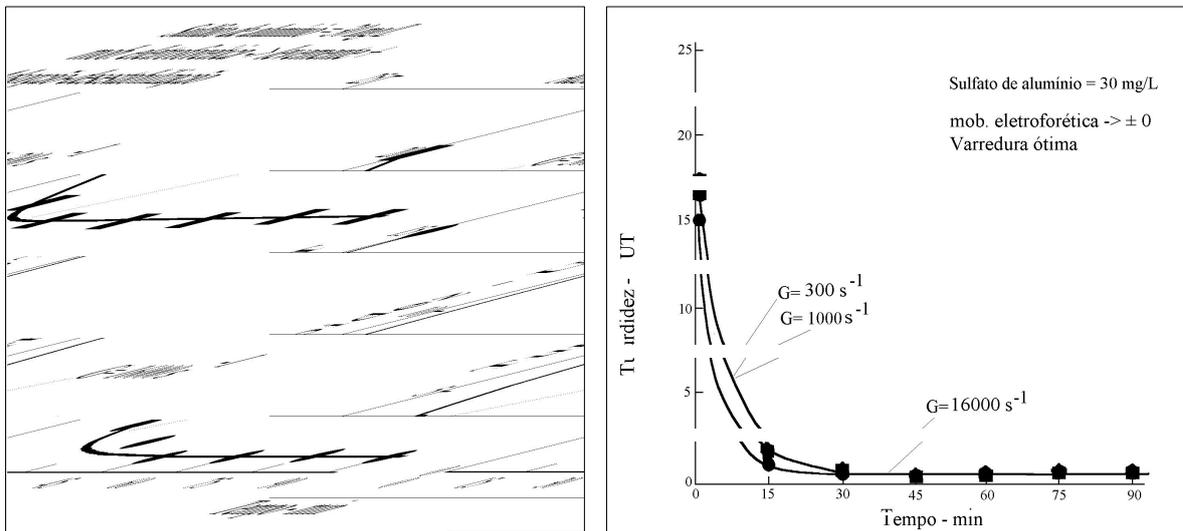


Figura 5 -Influência da intensidade da mistura rápida sobre a coagulação Fonte: adaptado de AMIRTHARAJAH e MILLS, 1982

com a intenção de verificar se a cinética do processo é influenciada pelo grau de transporte do coagulante, necessário para a hidrólise, e para ocorrer a precipitação do $\text{Al}(\text{OH})_3$. A análise teórica feita em um ensaio prévio mostrou, que altas intensidades de

O uso de pré-filtro, especialmente para a separação de algas, mostrou que tamanho dos poros e a forma e o tamanho destas, são as principais variáveis que afetam o desempenho da filtração. A fim de melhorar a eficiência da separação de sólidos, a

porosidade foi diminuída. Novos materiais, permitindo aberturas de até 5 µm já estão disponíveis. Porém, eles são limitados pelo rápido aumento da perda de carga e maior consumo de energia durante a etapa de retro-lavagem.

Filtros rápidos

Em uso há muitas décadas, a filtração rápida se tornou um processo de tratamento da água potável extensamente reconhecida. Recentemente, ganhou novo interesse, especialmente, no tratamento de águas residuárias.

Problemas encontrados com a inativação de patogênicos resistentes, tais como os cistos de *Giardia*, podem ser resolvidos por separação física em filtros. Além disso, os processos convencionais para remoção de sólidos em suspensão, com floculação-sedimentação-filtração podem, em muitos casos, serem substituídos por um sistema de filtro duplo, mais eficiente, onde o espaço destinado à sedimentação pode ser omitida. Dois filtros de contato, em série, com um meio filtrante selecionado, mostraram ser possível a remoção de sólidos em suspensão, em concentrações de até 400 g/m³.

Filtros lentos de areia

A Filtração lenta em areia é uma tecnologia simples e confiável, capaz de produzir água potável. Em vista disso, já tinha sido adotada no último século, porque a água bruta ao atravessar um bom meio granular, em velocidades baixas, alcança uma qualidade aceitável. Porém, devido ao grande espaço físico, exigido por este processo, os filtros desse tipo foram preteridos, em favor dos novos métodos de tratamento. Hoje, muitos dos velhos filtros lentos de areia ainda estão em operação, às vezes sob algumas condições operacionais modificadas. A substituição de parte da camada de areia por carvão ativado, e operação em taxas de filtração mais altas, foram as principais modificações que se fizeram no sistema de tratamento de água de Zurich [12].

Semelhantes a filtros lentos de areia, as bacias artificiais de recarga podem ser consideradas uma mais recente aplicação dessa tecnologia. Taxas de filtração semelhantes e os mesmos processos bioquímicos de remoção de substâncias, podem acontecer em uma camada de areia precedendo a infiltração subterrânea.

A filtração lenta em areia pode ganhar importância, visto que uma série de desvantagens são observadas quando se usa desinfetantes químicos tais como Cl₂, ClO₂ e O₃. A formação de subprodutos indesejável (trihalometanos, aldeídos, bromatos) só pode ser evitada quando os precursores desses produtos forem removidos ou quando dosagens baixas ou nenhuma substância química for aplicada. Em ambos os casos, a filtração lenta em areia e recargas artificiais, são processos alternativos baseados em

mecanismos de remoção natural, que podem ser mais freqüentemente usados no futuro.

Filtração através de membranas

A filtração através de membrana, uma alternativa promissora aos processos de tratamento da água convencional, certamente será uma técnica de importância crescente. Dependendo das aberturas da membrana, estas podem remover turbidez, bactéria e outro microrganismos, até do tamanho de vírus, compostos orgânicos e até íon inorgânicos dissolvidos. Os filtros de membrana são divididos em ultrafiltros, nanofiltros e osmose reversa, de acordo com sua abertura.

A TAB 1 mostra as faixas de tamanho de partícula removidas por esses três tipos de filtro de membrana.

Tabela 1 – Processos de separação por membranas e suas faixas de aplicação, em função do tamanho das partículas

Processo	Tamanho das partículas (µm)	Partículas
Ultrafiltração	0,003 a >10	Bactérias, vírus, ácidos húmicos, colóides
Nanofiltração	0,0005 – 0,007	Vírus, ácidos húmicos, moléculas orgânicas, Ca ²⁺ , Mg ²⁺
Osmose reversa	0,0001-0,003	Sais aquosos, íons metálicos

Fonte: adaptado de Boller, 1994

Avanços na teoria da filtração.

Ainda hoje, as unidades de filtração estão sendo projetadas com base em regras puramente empíricas. Os intensos e numerosos trabalho de pesquisa das últimas décadas tiveram pequeno impacto em projeto de filtro. A revelação de novas técnicas e sistemas normalmente são baseadas em testes pilotos ou em escala real.

As principais discrepâncias entre estudos teóricos e sistemas de filtro reais são encontradas nas concepção dos modelos, no que concerne ao material particulado (esférico, monodisperso, monodenso) e ao meio filtrante (esférico, limpo, liso). Novos modelos de filtro estão ainda em desenvolvimento. As simulação recentemente estabelecida, do processo de filtração, levam em conta a natureza heterogênea dos poros e exigem testes em escala piloto e real [13].

Tendências em projetos de filtros

Visto que a área de um filtro é diretamente determinada pela taxa de filtração, altas velocidades de projeto indicam uma redução nos custos de construção. As altas taxas de filtração, como as observadas durante as últimas três décadas, estavam freqüentemente acompanhadas por uma diminuição da qualidade do filtrado, que era compensada pelo uso de auxiliares de filtração tais como sais de Fe, Al e polieletrólitos. Porém, a tendência para aplicar

altas velocidades ou taxa, de até 40 rn/h não eram práticas por causa das curtas carreiras de filtração.

Novas aplicações para os filtro

Novos parâmetros dos mecanismos de separação de sólidos, e processos adicionais que acontecem no meio filtrante estão sendo atualmente estudados e desenvolvidos em unidades piloto ou em escala real.

Notavelmente esses novos parâmetros estão contidos em separadores magnéticos, onde os materiais particulados são aglomerados por magnetita, ou floculantes com propriedades magnéticas, e separados em coletores, constituídos de malhas cercadas por um alto campo magnético artificial. As partículas da ordem de 1 µm são rapidamente transportadas sob a ação das atrativas, para a malha [14][15]. As principais vantagens da filtração magnética são sua ocupação de pequeno espaço e sua conveniência para o tratamento de pequenas vazões. Os filtros magnéticos são limpos em intervalos regulares (15-30 min) interrompendo-se o fluxo e o campo eletromagnético, aplicando-se em seguida a retrolavagem.

Materiais e Métodos

Considerações iniciais

A instalação de filtração direta ascendente foi montada no Laboratório de Hidráulica da

interno 0,60 m, espessura de parede de 8,7 mm e altura útil de 0,85 m. O reservatório de coagulante tem seção quadrada, medindo 0,28 x 0,28 m e altura útil de 0,28 m. Na confecção desses elementos foi empregado o acrílico. Uma mangueira utilizada em aplicações de soro e medicamentos por via venosa, com o respectivo controlador de gotejamento, foi empregada como dosador de coagulante. A câmara de mistura rápida foi construída com um recipiente de Polietileno de alta densidade, com capacidade de 5 litros, fabricado pela Incepi do Brasil, normalmente empregado na comercialização de produtos químicos para limpeza.

As tubulações do afluente e do efluente da lavagem do filtro foram montadas com tubos de PVC rosqueável, de diâmetro nominal 1 ½". Na tubulação de água filtrada foi empregado tubos de PVC soldável = ½".

Equipamentos utilizados para determinação dos parâmetros das amostras de águas bruta e tratada

Os aparelhos utilizados para medidas dos parâmetros de controle e preparação das amostras foram um potenciômetro fabricado pela Quimis, modelo Q400A, leitura digital com precisão decimal e compensação de temperatura, para medição do valor do pH; termômetro de mercúrio com a faixa de medição compreendida entre -10 a 150 °C, com escala de 1 grau; turbidímetro fabricado pela Hach Company (Loveland, Colorado/EUA), modelo 2100P; espectrofotômetro também da Hach

Tabela 2 – Parâmetros hidráulicos e geométricos do filtro piloto

Item	Unidades	Valores
Área em planta	m ²	0,053
Taxa de filtração	m ³ /m ² /dia	120
Altura da lâmina d'água acima da camada de areia	m	0,6
Altura da camada de areia	m	1,0
Altura da camada suporte	m	0,4
Caracterização da camada de areia		
0,59 mm a 0,84 mm	% em peso	10,0
0,84 mm a 1,19 mm	% em peso	40,0
1,19 mm a 2,00 mm	% em peso	50,0
Diâmetro efetivo da camada de areia (De)	mm	0,85
Coefficiente de não uniformidade (C _{nu})		1,60
Caracterização da camada suporte		
2,4 mm a 4,8 mm	m	0,100
4,8 mm a 6,3 mm	m	0,100
9,5 mm a 12,5 mm	m	0,075
19,0 mm a 25,0 mm	m	0,075
25,0 mm a 32,0 mm	m	0,050

FATEC-SP. Na FIG 6 é mostrada a vista geral da instalação, enquanto que na TAB 2 são mostrados os parâmetros hidráulicos de operação, e os geométricos do filtro e do leito filtrante, bem como da camada suporte.

A caixa do filtro possui seção circular, com diâmetro interno de 0,260 m e espessura de parede de 6,5 mm. A câmara de carga foi construída também com seção circular, sendo seu diâmetro

Company, modelo DR-2010; Centrífuga Excelsa Baby II, modelo 206/R, produzida pela Fanem.

Equipamentos para ensaios de coagulação

Foi empregado um aparelho de "jar-test" fabricado pela Policontrol, modelo turbofloc junior, com 3 reatores em acrílico, com volume individual de 2,0 litros e, dotado de dispositivo de controle das

rotações aplicadas, variando de 10 a 120 rpm, proporcionando gradientes de velocidade “G” variando de 7 s^{-1} a 114 s^{-1} .

22/02/00	8,0	5,77	32,0	NA
25/02/00	8,0	5,81	30,3	4,0
25/02/00	7,9	7,19	32,0	1,0
02/03/00	7,6	0,08	48,2	NA



Figura 6 – Vista do sistema de filtração mostrando o leito filtrante e as tubulações de alimentação com água coagulada e de coleta de água filtrada

+ SILVA e RIBEIRO, 1998

Produtos químicos utilizados para o tratamento da água bruta

Uma solução de cloreto férrico comercial, na concentração de 10 % em peso, foi o único produto químico utilizado no processo de tratamento da água bruta. A dosagem ótima de coagulante foi de $13,0 \text{ mg/L}$, determinada através de ensaios de coagulação e filtração em filtro de papel Watman 40.

Caracterização da água bruta

As amostras de águas bruta foram coletadas na saída da canalização afluente ao filtro, e os valores observados, para os parâmetros de interesse desta pesquisa, são mostrados na TAB 3.

Tabela 3 – Caracterização da água do circuito fechado do laboratório de hidráulica

Data	Parâmetro			
	pH	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	Cor verdadeira (uH)
Out/98 ⁺	7,8	7,70	NA	NA
18/02/00	8,0	7,88	52,8	NA
21/02/00	8,0	7,33	39,2	NA

Resultados e Discussão

Os valores do pH, cor aparente e turbidez da água filtrada bem como da água bruta são apresentados na TAB 4. No caso da água bruta, é observado uma redução na cor aparente, na turbidez e no valor do pH, em virtude da recirculação, ou seja, a água filtrada é encaminhada para o reservatório de água bruta, proporcionando assim uma diluição.

Conforme pode ser observado na TAB 4, os declínios da turbidez e da cor aparente da água bruta foram progressivos, exceto após 2,33 horas de operação, quando a cor elevou-se para $81,0 \text{ uH}$ e após 28,58 horas quando esta elevou-se de $34,0 \text{ uH}$ para $85,0 \text{ uH}$, a turbidez de $3,28 \text{ uT}$ para $7,09 \text{ uT}$ e o valor do pH para 8,9. Esses picos de cor, turbidez e valor, do pH são, provavelmente, decorrentes da utilização das bancadas de ensaios hidráulicos.

A remoção da cor aparente e da turbidez da água bruta, no intervalo de tempo $T=0 \text{ h}$ até $T=100 \text{ h}$ foram de respectivamente 69,23 % e 81,73 %. Nesse período a taxa de filtração foi de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, com operação intermitente, ou seja, com paralizações nos períodos noturnos e nos fins de semana.

Tabela 4 – Características da água bruta após o início de operação do filtro, com recirculação da água filtrada

Tempo acumulado de operação do filtro (h)	pH	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	Tempo acumulado de operação do filtro (h)	pH	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)
0,0	8,1	15,00	65,0	55,00	8,1	5,72	53,0
2,33	8,0	9,72	81,0	55,17	8,7	4,50	45,0
7,33	8,4	5,33	32,0	64,67	8,2	3,76	41,0
11,17	8,9	2,84	21,0	70,42	8,2	3,24	35,0
14,17	8,6	4,66	29,0	74,42	8,0	4,63	38,0
20,92	8,2	3,33	27,0	79,92	8,1	3,41	33,0
22,67	8,2	3,28	34,0	84,92	8,1	3,05	27,0
28,58	8,9	7,09	85,0	90,83	8,2	3,23	27,0
37,25	8,6	5,65	75,0	95,33	8,1	2,92	28,0
43,50	8,6	6,21	68,0	100,00	8,1	2,74	20,0

A eficiência do filtro, na remoção de cor aparente e turbidez pode ser observada nas FIG 7 e FIG 8. A cor aparente média da água tratada foi de 3,0 uH, enquanto que a turbidez média foi de 0,19 uT.

Nesse intervalo de 100 horas de funcionamento, considerando-se a taxa de filtração aplicada e a área do filtro piloto, foram tratados 26,4 m³, o que representa 1,78 vezes o volume de água armazenada no laboratório de Hidráulica.

Nas FIG 7 e FIG 8 as linhas horizontais,

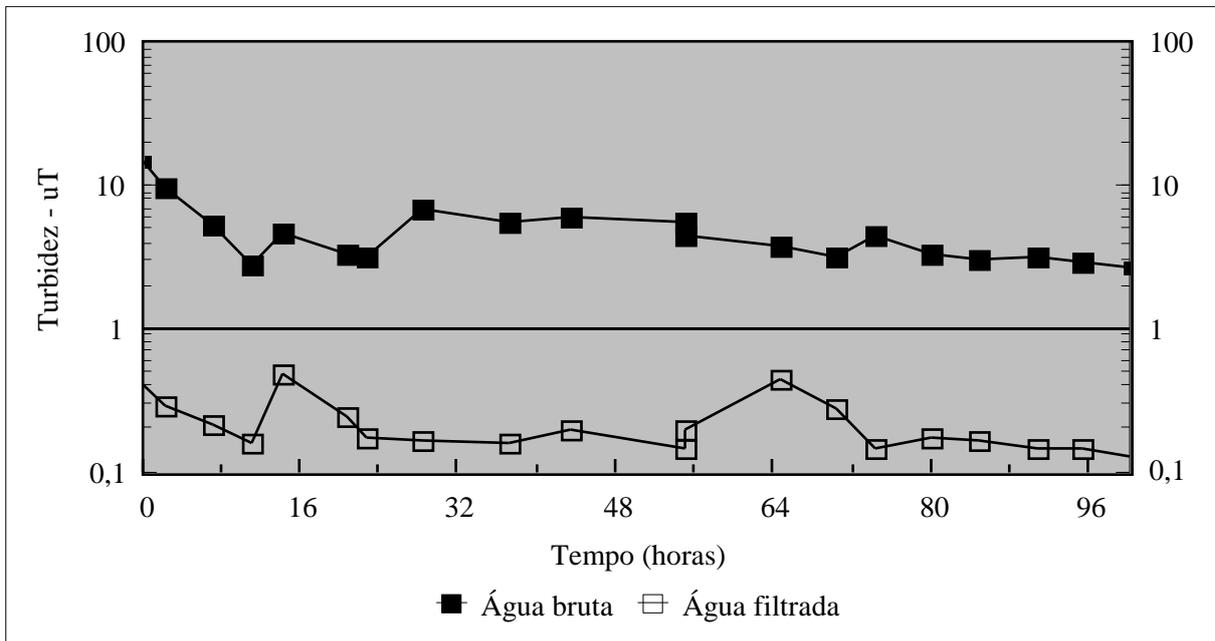


Figura 7 – Declínio da Turbidez da água bruta e turbidez da água filtrada ao longo do tempo de operação do filtro

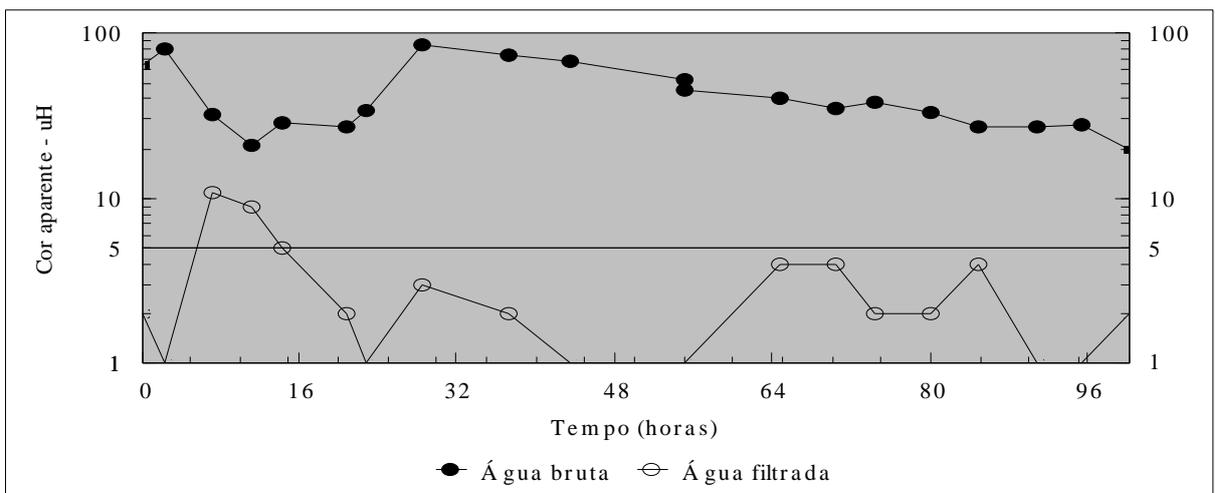


Figura 8 – Declínio da cor aparente da água bruta e cor aparente da água filtrada ao longo do tempo de operação do filtro

correspondentes respectivamente a 1,0 uT e 5,0 uH representam os limites de turbidez e de cor aparente

para água potável, saindo da estação de tratamento, segundo a Portaria 36/90 – GM do Ministério da Saúde.

Conclusões

A filtração direta ascendente, mostrou-se eficaz na remoção de turbidez e cor, para águas do Laboratório de Hidráulica da Fatec-SP, podendo-se assim evitar, ao final de cada semestre, o lançamento das mesmas na rede coletora de esgoto, o que implica no reabastecimento do reservatório com água potável.

Agradecimentos

Os nossos agradecimentos ao Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza” CEETEPS, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP, ao Laboratório de Solos, Laboratório de Materiais de Construção Civil e Depto de Mecânica da Faculdade de Tecnologia de São Paulo.

Bibliografia

- 1 ASANO, T.; Levine, A. D. – Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future – Water Science Technology. v. 33, n. 10-11, pp. 1-14, 1996.
- 2 BOLLER, M.- Trends in water filtration technology. AQUA vol. 43, no. 2, pp. 65-75, 1994
- 3 ANGELASKIS, A. N.; Spyridakis, S. – The status of water resources in Minoan times: a preliminary study. Angelaskis, A. N. and A. Issar, Editors, Diachronic Climatic Impacts on Water Resources in Mediterranean Region. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 1996.
- 4 BARTY-KING, H. – Water The Book, na Illustrated History of Water Supply and Wastewater in the United Kingdom. Quillier Press Limited, London, U.K. 1992
- 5 ECCD – European Communities Commission Directive. Council directive regarding the treatment of urban wastewater (91/271/EEC). Official Journal of the European Communities, n. L 135, of the 91.5.30, 40-50, 1991.
- 6 KAWAMURA, S. - Optimization of basic water-treatment processes design and operation: Coagulation and flocculation. Aqua v. 45, n. 1, pp. 35-47, 1996.
- 7 DI BERNARDO, L. – Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2 volumes, 1ª edição, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 1994.

- 8 HANSON, A. T.; Cleasby, J. L. – Effects of temperature on turbulent flocculation: fluid dynamics and chemistry. Journal of American Water Works Association, v. 82 n. 11, pp 56-73, 1990.
- 9 DEMPSEY, B. A.; Granho, R. M.; Singer, P. C. – The coagulation of humic substances by means of aluminum salts. Journal of American Water Works Association, v. 76, n. 4 , pp 141-150, 1984.
- 10 AMIRTHARAJAH, A. and MILLS, K. M. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. Journal American Water Works Association, v. 74, n. 4, 1982
- 11 WEGELIN M.; Schertenleib, R.; Boller, M. The decade of roughing filters- development of a rural water treatment process for developing countries. Journal Water SRT – Aqua, v. 40 pp 304-316, 1991.
- 12 SCHALEKAMP, M. - Die Wirksamkeit schnell betriebener Langsamfilter I und II. Gas-Wasser-Abwasser, 51:152-163, 199-205, 1971
- 13 BURGANOS, V. N.; Paraskeva, C. A.; Payatakes, A. C. Three-dimensional trajectory analysis and network simulation of deep bed filtration. J. Colloid Interf. Sci, 148: 167-181, 1991.
- 14 ODER, R. R.; Horst, B. I. – Waste water processing with HGMS. Filter Separation, jul/ago: 363-369, 1976
- 15 DRAPEAU, A. J.; Laurence, R. A. – Champ magnétique et traitement des eaux. Technique l'eau l'assainissement, 410: 43-47, 1981
- 16 SILVA, A. X. N.; RIBEIRO, J. T. – Estudo do tempo de floculação para remoção de turbidez das águas de abastecimento público. Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, n. 5, 1998.