

# "Técnicas modernas no processo de filtração rápida das águas de abastecimento"(\*)

**JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO**

Eng. Chefe, Divisão de Tratamento, Departamento de Águas  
e Esgotos, São Paulo. Professor da Faculdade de Higiene e  
Saúde Pública da Universidade de S. Paulo.

Pode-se afirmar que a filtração, rápida das águas constitui uma das mais notáveis conquistas do nosso século, muito embora as experiências que permitiram a implantação e o desenvolvimento da nova técnica remontem às últimas décadas do século passado.

De fato, atribui-se a Patrick Clark a instalação em abastecimento público do primeiro filtro dotado de um dispositivo especial para lavagem, em Rahway, New Jersey, por volta de 1880.

Outras tentativas sucederam-se nos anos seguintes como iniciativas dos irmãos Hyatt e de notáveis engenheiros, entre os quais, E. B. Weston, Allen Hazen e George W. Fuller.

As observações de Fuller, feitas nas instalações especialmente contruídas com objetivos experimentais, em Louisville, Ky. e Cincinnati, Ohio, nos últimos anos do século passado, abriram o caminho para a adoção da nova técnica em instalações públicas.

Data dessa época a designação de "filtros mecânicos", devido ao fato de serem as novas unidades lavadas por meios mecânicos, em contraste com os filtros lentos, cuja limpeza manual requeria vultuosa mão de obra.

Os principais dispositivos mecânicos empregados na lavagem consistiam em jatos superficiais, de água sob pressão, agitadores rotativos e escoamento a contra corrente.

Os primeiros filtros rápidos geralmente eram metálicos, e comparados aos filtros lentos, mostravam um número relativamente grande de canalizações externas, registros e dispositivos de controle. Além disso, eles eram integralmente patentados e apresentavam-se como produtos industriais de diversas companhias, entre as quais a Jewell, a National, a American, a Continental etc..

O fato desse tipo de filtro ter tido a sua origem e evolução na América, explica o qualificativo "americano", também empregado para designá-lo, em contra-posição aos conhecidos filtros "ingleses", até então predominantes.

Dos trabalhos pioneiros de Louisville e Cincinnati resultaram a velocidade convencional de filtração (117 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia, ou 2 g.p.m./pé-quad.), e os dados fundamentais para o projeto da instalação de Little Falls, cujos filtros entraram em funcionamento no segundo semestre de 1902.

Outras instalações municipais de maior importância foram projetadas e executadas no início do século, há cerca de 50 anos, portanto.

Verifica-se, pois, que o processo da filtração rápida das águas de abastecimento de há muito já atingiu a sua maioridade.

Apesar do notável progresso da Engenharia nesse setor de atividades, a ponto de se consolidar definitivamente a Engenharia Sanitária como novo ramo técnico, e não obstante o extraordinário progresso industrial da nossa era, o projeto de filtros rápidos apresentou alterações relativamente pequenas nestes cinquenta anos.

(\*) — Trabalho apresentado no V Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária, Lima, 1956.

Inicialmente, os projetos das novas unidades sofreram, como era de se esperar, uma grande influência dos filtros lentos, que na época já eram bastante evoluídos.

O sistema de fundo de filtro, com o conduto múltiplo ("manifold") e canalizações laterais constituindo drênos, pode ser considerado uma herança da técnica anterior.

Igualmente as características do material graúdo e do meio filtrante, prenderam-se inicialmente às especificações próprias para filtros lentos, fixando-se em torno de 0,35 mm o tamanho efetivo da areia.

Posteriormente, em consequência da melhor preparação da água, e como resultado da experiência adquirida, estabeleceu-se uma acentuada tendência para o emprêgo de areias mais grossas (acima de 0,5 mm). Essa tendência atual decorre em grande parte das pesquisas realizadas por Baylis, em Chicago.

A princípio, imaginava-se que as impurezas juntando-se aos flocos residuais que atingiam os filtros constituíam uma fina camada sôbre a superfície do leito filtrante: era a "película química" correspondente à "schmutzdecke" dos filtros lentos.

Hoje, sabe-se que os flocos não ficam retidos apenas na superfície dos filtros, mas que aderem e penetram na areia, até uma certa profundidade, preenchendo vazios e constituindo, juntamente com a areia, uma camada filtrante de extraordinária capacidade purificadora.

As investigações feitas há vários anos sôbre êsse aspecto do problema permitiram estabelecer uma formulação que relaciona a penetração de partículas que causam turbidez, à temperatura, tamanho de areia e a um coeficiente empírico que depende das características da água a ser filtrada e presumivelmente da velocidade de filtração e da perda de carga tolerada.

A equação proposta pelo Prof. Fair mostra que a penetração de partículas que causam a turbidez varia com a potência 5/3 do "diâmetro" dos grãos de areia:

$$L = \frac{K}{t + 10} \cdot 60 \cdot d^{5/3}.$$

L = profundidade de penetração, em polegadas.

t = temperatura de água, em °F.

d = "diâmetro" dos grãos de areia uniforme.

K = coeficiente de penetração.

O fator  $\frac{60}{t + 10}$  corresponde na realidade a uma relação de viscosidades cinemáticas.

As experiências mais recentes confirmaram que a penetração está estreitamente relacionada ao tamanho da areia, parecendo indicar que a profundidade de penetração varia diretamente com a concentração de impurezas expressa por unidade de área do filtro.

A tendência já mencionada, para o emprêgo de areias de tamanho efetivo maior deve ser encarada pelo engenheiro com certas restrições ou limitações. Se de um lado as areias mais grossas permitem velocidades mais elevadas com períodos mais longos de funcionamento, de outro lado elas possibilitam penetrações mais profundas e portanto mais perigosas.

Além disso, há ainda a considerar que durante a operação de lavagem deve-se ter uma contra corrente capaz de suspender os grãos de areia e provocar o desprendimento dos flocos e impurezas. A velocidade ascensional da água de lavagem e, consequentemente, a sua vazão, aumenta com o tamanho das areias, para a mesma porcentagem de expansão.

Nos Estados Unidos o tamanho efetivo para as areias destinadas à maioria das instalações municipais mais recentes, não ultrapassa 0,70 mm, com um promedio inferior a 0,60 mm.

Na Europa esse valor tem sido excedido, limitando-se, contudo, a perda de carga e elevando-se a velocidade da corrente de lavagem.

Devido à grande influência da temperatura da água durante a lavagem (efeito da viscosidade), costuma-se especificar a porcentagem desejável de expansão, ao invés de se estabelecer as velocidades da água durante a lavagem. Expansões superiores a 30%, e preferivelmente da ordem de 50%, devem ser previstas nas instalações modernas.

Com tal expansão os grãos de areia ficarão suficientemente espaçados para possibilitar o afastamento dos maiores agregados de impurezas.

Os processos modernos de lavagem superficial ou o emprêgo de ar comprimido, como meio auxiliar, têm sido recomendados e adotados nas instalações mais recentes, principalmente quando a água bruta é turva, sujeita ao desenvolvimento de algas ou à formação de bolas de lodo ("mud balls").

Com esses recursos a porcentagem de expansão poderá ser reduzida. Em consequência, o seu emprêgo traz uma sensível redução na vazão e no volume de água para lavagem a contra corrente.

E' curioso observar o que ocorreu com os dispositivos auxiliares de lavagem dos filtros rápidos. Inicialmente, estas unidades foram denominadas "filtros mecânicos" justamente devido ao fato de incluírem agitadores de superfície. Posteriormente, com a evolução natural da técnica, tais dispositivos foram relegados a plano secundário, ou até mesmo chegaram a ser abandonados.

Seguiu-se um período intermediário durante o qual acreditava-se que a superfície de um filtro deveria merecer o mais cuidadoso tratamento.

Mais recentemente, contudo, reconheceu-se a importância da suplementação dos recursos de limpeza, mediante o emprêgo dos dispositivos de agitação, retornando-se, portanto, à idéia inicial de se dar aos grãos de areia um tratamento mais grosseiro.

Esses dispositivos auxiliares compreendem três tipos principais:

- 1 — Agitadores mecânicos rotativos (sistema primitivo).
- 2 — Emprêgo de ar comprimido (lavagem com ar e com água).
- 3 — Aplicação de jatos de água sob pressão (lavagem superficial).

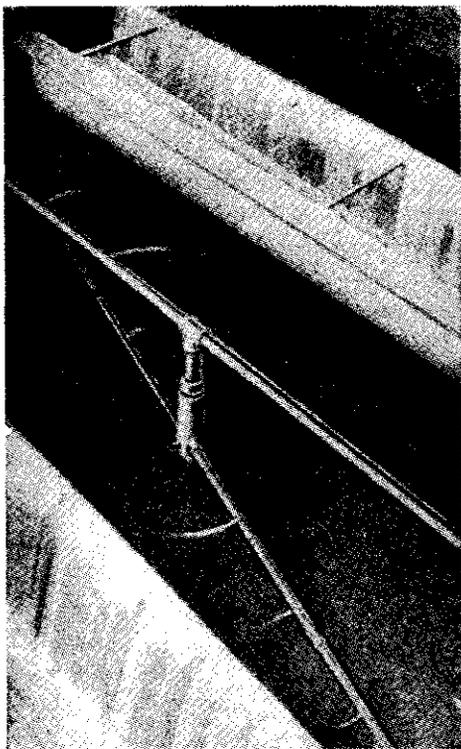
A origem de tais recursos remonta aos primórdios da técnica de filtração das águas.

Por uma grande coincidência completa-se no ano corrente o centenário de uma patente requerida e obtida pelo notável hidráulico francês, Henry Darcy.

Essa patente, concedida em 1856, na França e na Inglaterra, pode ser considerada o protótipo dos sistemas modernos de lavagem superficial.

O emprêgo de rastelos mecânicos, que já constituiu prática corrente, principalmente, no caso de pequenos filtros de secção circular, há muitos anos cedeu lugar aos processos mais modernos de lavagem auxiliar.

A aplicação de ar comprimido para agitação prévia da areia, preparando-a para uma lavagem mais perfeita, apresenta como contraste o fato de ser uma técnica praticamente abandonada nos Estados Unidos, muito embora seja extensivamente utilizada em instalações européias.



De acôrdo com a experiência de muitos anos pode-se concluir que o ar comprimido, como meio auxiliar de lavagem, alia as vantagens de uma bôa agitação a uma sensível economia de volume de água de lavagem.

A introdução de ar comprimido na parte inferior dos filtros, em condições uniformes, estabelece algumas imposições para o tipo de fundo a ser adotado.

Essas pequenas dificuldades, juntamente com o aumento do número de canalizações, de registros e de contrôles, além da necessidade de compressores especiais, talvez tenham influído na prática americana a favor dos processos de lavagem superficial, praticamente padronizados nos Estados Unidos.

Resultados excelentes têm sido obtidos em inúmeras instalações com cêrca de 1,0 m<sup>3</sup>/minuto de ar, por metro quadrado de área filtrante.

A pressão necessária usualmente está incluída entre 2,50 e 7,00 m de coluna de água.

Após a aplicação de ar nessas condições, a velocidade de elevação da água de lavagem na caixa do filtro pode ser limitada ao valor moderado de 0,45 m/minuto.

Como alternativa para os processos auxiliares já mencionados, a lavagem superficial dos filtros rápidos apresenta grande tendência para generalização.

Os sistemas de lavagem superficial atualmente em uso são de dois tipos:

a — *Sistema fixo* — que compreende um conjunto de canalizações dotadas de bocais especiais ou orifícios uniformemente espaçados e bem distribuídos sôbre tôda a superfície dos filtros.

No sistema idealizado por Baylis, e aplicado em Chicago, os bocais são espaçados de 0,60 a 0,75 m e ficam de 0,05 a 0,10 m acima da superfície da areia em repouso.

Os bocais são de uma polegada e apresentam 5 furos de 1/4 polegada, convenientemente dispostos, de maneira a dirigir os jatos de água nas direções mais convenientes.

A pressão necessária geralmente está compreendida entre 6 e 20 metros de coluna de água, e o consumo de água pode ser estimado entre 2 e 6 litros/seg. por metro quadrado de superfície filtrante.

b — *Sistema móvel* — Consiste em agitadores hidráulicos do tipo de reação, fornecidos por diversas firmas, com a designação original de Palmer.

As canalizações (braços) são feitas de latão especial e apresentam bocais de 1/8 e 3/16", convenientemente espaçados.

Eles giram com 7 a 15 rotações por minuto, quando sujeitos à pressão especificada e nessas condições devem aplicar de 0,35 litros/seg. de água, ou mais, por metro quadrado de superfície filtrante.

A pressão necessária no aparelho depende do seu tamanho e deve estar compreendida entre 20 e 100 metros de coluna d'água, com valores mais comuns entre 30 e 50 m.c.a..

A adoção dêste sistema de lavagem superficial em instalações novas, condiciona de certo modo as dimensões dos filtros, devendo-se ter em conta que os maiores agitadores são de 15 pés (4,57 m).

A folga entre dois aparelhos não deve ultrapassar 0,10 m, para que sejam evitadas áreas de agitação insuficiente. Entre a extremidade de um braço e a parede lateral dos filtros retangulares não se deve ter mais de 0,05 m.

Os agitadores são instalados pouco acima da superfície da areia em repouso (cêrca de 0,05 m), obtendo-se uma grande efeito durante a expansão do leito.

O emprêgo dos dispositivos Palmer em algumas instalações tem possibilitado uma redução na quantidade de água de lavagem, da ordem de 20 a 40%.

Os dois sistemas descritos apresentam vantagens e inconvenientes, cabendo ao projetista a decisão final para a sua adoção. Costuma-se indicar, por exemplo, que os dispositivos do tipo Palmer são mais simples, porém não permitem uma lavagem uniforme nos cantos das unidades, apesar dos jatos adicionais previstos para êsse fim.

As instalações de tratamento de água recentemente projetadas nos Estados Unidos geralmente incluem a lavagem superficial, justificada pelas seguintes vantagens:

- a — Obtêm-se uma lavagem completa e mais perfeita;
- b — Impede-se a formação de fendas e de bolas de lodos ("mud-balls" nos filtros.

Fazendo-se uma exceção para os casos especiais de águas de qualidade favorável, deve-se recomendar a adoção de sistemas de lavagem superficial ou da lavagem com ar e água em tôdas as instalações modernas de certa importância.

Essa recomendação deve ser fortalecida nos casos em que a presença de algas possa constituir algum problema, ou sempre que as condições locais forem favoráveis à formação de bolas de lodo ("mud balls"), ou ainda, quando forem previstas taxas elevadas de filtração.

Neste ponto cabe citar, a título de curiosidade apenas, que em um dos anúncios dos filtros "National", publicado em 1887, a lavagem superficial era apontada como um "novo princípio no processo de filtração".

Nos últimos anos um dos assuntos que têm despertado grande atenção, não somente de engenheiros e projetistas, mas também de operadores, é indiscutivelmente o que diz respeito à filtração de água com velocidades elevadas.

Os trabalhos realizados por Baylis, em Chicago, vieram mostrar que os filtros rápidos podem funcionar satisfatoriamente com taxas de filtração tão elevadas quanto 300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia, no caso de águas convenientemente preparadas e desde que não prevaleçam condições desfavoráveis, tais como, a presença pronunciada de algas.

A princípio, julgou-se haver um certo exagero nas conclusões daquele notável profissional Americano. Posteriormente, contudo, a lembrança de que a velocidade "normal" de filtração havia sido estabelecida há mais de 50 anos, numa época em que eram precaríssimos os conhecimentos relativos à preparação e condicionamento da água, por si só indicava a conveniência, senão necessidade, de novas investigações a respeito de tão importante assunto.

As observações e experiências sucederam-se, e à indicação singular de Baylis juntaram-se outras vozes no sentido de confirmar a possibilidade prevista.

Atualmente consideram-se velocidades elevadas de filtração aquelas que ultrapassam a taxa convencional de 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia, aproximadamente, ou sejam, 2 g.p.m./pé quadrado.

Examinando-se as condições de operação de muitas instalações de tratamento projetadas para a velocidade normal de filtração, verifica-se que a maioria delas tem funcionado com taxas de filtração bem superiores à convencional, o que não constitui novidade.

Assim, por exemplo, uma pequena estação de tratamento que tenha sido projetada com três filtros para a velocidade convencional de filtração, passará a trabalhar com uma taxa de cerca de 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia (3 g.p.m./pé quadrado), sempre que uma das unidades ficar fora de serviço, o que não é raro.

Por outro lado, a sobrecarga inevitável em muitas instalações, tem exigido o funcionamento dos filtros com valores muito acima dos dados de projeto.

Nas experiências conduzidas em Chicago, desde 1949, vários filtros passaram a ser operados com velocidades de 2 a 2,5 vezes a taxa convencional (até cerca de 300 m<sup>3</sup>/2. 24 horas), produzindo durante vários anos uma água de excelente qualidade.

Em face dessa constatação prática, Baylis afirmou que a operação dos filtros com velocidades mais elevadas poderia proporcionar uma sensível redução no custo da instalação, sem sacrifício para a qualidade da água tratada. Para o caso de Chicago estimou-se que uma elevação de 50% na taxa de filtração traria reduções da ordem de 5% no custo de construção e de 2 a 5% nas despesas de operação e manutenção.

Essa economia decorre unicamente da redução de área filtrante, pois as canalizações e os controladores deverão ser projetados com maior liberalidade.

Nas instalações existentes as sobrecargas geralmente ficam limitadas pela capacidade das canalizações, e principalmente dos controladores de vazão, a valores que raramente excedem 50%. Se as canalizações imediatas dos filtros não forem projetadas para as taxas de filtração elevadas, elas poderão causar uma perda de carga excessiva, obrigando a lavagens mais frequentes.

Em uma série de artigos publicados por Baylis, sobre essa questão, encontram-se as seguintes conclusões:

- 1 — Uma elevação de 50% na velocidade de filtração pode ser admitida na maioria dos casos.
- 2 — Os novos filtros deveriam ser equipados com canalizações e acessórios projetados para possibilitar, ainda que eventualmente, taxas de filtração da ordem de 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia, sem perdas de carga excessivas.
- 3 — As condições de preparação da água para a filtração deverão ser melhoradas, com instalações mais perfeitas e melhor controladas.

Experiências semelhantes às de Chicago, realizadas em outras instalações, inclusive em Washington (Dalecarlia) e Dunham, confirmaram os resultados anteriormente obtidos.

Um exame dos dados divulgados, relativos às estações de tratamento projetadas mais recentemente, mostra que velocidades elevadas de filtração foram previstas ou adotadas em algumas instalações, particularmente nas de maior capacidade.

No Congresso levado a efeito em Amsterdam, em 1949, pela Associação Internacional de Abastecimento de Água (I.W.S.A.), verificou-se que as velocidades usuais em diversos países estavam compreendidas entre 4 e 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> por hora (96 a 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia). O relatório geral daquele Congresso menciona textualmente: "É fora de dúvida que a velocidade de filtração a ser adotada depende essencialmente da natureza da água a tratar e do grau de purificação que se têm em vista: ela não constitui um dado fixo".

No Brasil, há alguns anos, uma grande instalação de tratamento passou a funcionar com taxas de filtração bem superiores ao valor clássico.

Trata-se da antiga Estação de Tratamento de Água de Santo Amaro, cujos filtros Reisert, inaugurados em 1929, foram completamente remodelados para trabalhar com uma velocidade de filtração de cerca de duas vezes maior do que a primitiva.

Esta instalação, que tinha capacidade nominal para purificar 1 m<sup>3</sup>/seg. atualmente está fornecendo à cidade de São Paulo 2 m<sup>3</sup>/seg., com o mesmo número de filtros.

Adotou-se o tipo de fundo falso, constituído por uma câmara inferior a uma lage de concreto com distribuidores de porcelana uniformemente espaçados. O material filtrante foi inteiramente substituído, tendo sido especificada areia com tamanho efetivo compreendido entre 0,50 e 0,55 mm.

As câmaras de mistura e floculação foram ampliadas e alguns melhoramentos foram introduzidos nos tanques de decantação. Além disso, os filtros foram equipados com um sistema de lavagem superficial.

Nessa instalação os filtros já têm sido operados com uma taxa de filtração de 196 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia (3,3 g.p.m./pé quadrado), com resultados excelentes.

Apesar dos exemplos apontados e dos sucessos conseguidos, a técnica da filtração com velocidade elevada não deve ser admitida como tendência generalizada, não sendo recomendável a sua adoção indiscriminada.

Com essa orientação, Charles Cox qualificou como infeliz qualquer tendência, no sentido de considerar as taxas elevadas como prática "standard" para projetos.

De acôrdo com a opinião manifestada pelo próprio Baylis e por Richard Hazen, Norman E. Jackson, Wade G. Brown, além de outros profissionais, pode-se

resumir, como segue, as condições relativas à adoção de taxas elevadas de filtração:

- 1 — A água bruta deve apresentar características normais. A nova técnica deve ser desaconselhada para as instalações que vão tratar águas relativamente poluídas, sujeitas ao desenvolvimento excessivo de algas ou às alterações bruscas de qualidade.
- 2 — As estações de tratamento deverão ser projetadas para assegurar uma floculação perfeita e uma sedimentação eficiente.
- 3 — Os filtros deverão ser dotados de dispositivos auxiliares de lavagem, para garantir melhores condições de funcionamento e manutenção.
- 4 — São indispensáveis maior vigilância e melhor controle do tratamento químico e da qualidade da água decantada. A fiscalização permanente desses serviços deverá ser confiada a pessoal competente e experiente. Se uma comunidade não estiver preparada para assegurar esse controle, deverão ser evitadas as velocidades elevadas de filtração.
- 5 — As Estações de Tratamento de grande capacidade geralmente apresentam condições mais favoráveis para a nova técnica: Maiores recursos e melhor supervisão. Além disso, dispondo de um grande número de filtros, elas não ocasionam sobrecargas elevadas quando se retiram de funcionamento unidades para lavagem ou reparos.

A tendência para simplificação e barateamento das instalações filtrantes também vêm se manifestando com maior interesse nos últimos anos. Uma notável evolução pode ser observada na parte relativa ao fundo dos filtros, com uma crescente aceitação dos tipos de lage falsa.

A eliminação da camada suporte de pedregulho e seixos tem sido objeto de estudos e experiências.

Como se sabe, essa camada têm funções específicas: Além de constituir o suporte necessário para a areia, durante a operação de lavagem ela promove uma distribuição mais uniforme da água para lavagem. Nos filtros que são operados com "cargas negativas" pronunciadas, a camada suporte contribui com uma carga geométrica apreciável.

Com exceção feita para as instalações com placas porosas, a eliminação da camada suporte somente têm sido conseguida mediante o emprêgo de areias mais graúdas.

Na Europa, encontram-se atualmente filtros de fundo falso com bocais distribuidores que impedem a passagem de grãos de areia.

No Brasil procedem-se, no momento, a experiências com um novo tipo de bocal distribuidor idealizado com êsse objetivo.

As canalizações imediatas dos filtros admitem ainda grandes simplificações.

Em um trabalho recentemente publicado por Thomas Riddick, encontra-se a descrição de uma instalação em que o uso de válvulas de borboleta possibilitou grandes simplificações na galeria de canalizações.

O controle da vazão na entrada dos filtros em substituição aos reguladores mais dispendiosos de saída, assim como o controle de nível, sob o comando de uma válvula simples instalada na canalização efluente, coincidem com uma prática estabelecida há vários anos, no Brasil.

Sob o ponto de vista industrial e de economia das instalações, têm-se a impressão de ser êste um daqueles setores que estão a merecer maior atenção e investigação contínua. A aplicação de conhecimentos atualizados e de novos recursos de pesquisa hidráulica, bem como o emprêgo de materiais atualmente disponíveis poderão concorrer para resultados surpreendentes.

Oxalá um dia seja possível a realização daquele sonho que há anos acalenta a mente dos investigadores mais avançados: o estabelecimento de um filtro simples, econômico, seguro e automático...

## SUMÁRIO

O processo de filtração rápida das águas, considerado uma das mais notáveis conquistas do nosso século, há muitos anos atingiu a sua maioridade.

Apesar disso, e não obstante os notáveis progressos técnicos e industriais já alcançados, o projeto de filtros rápidos tem apresentado alterações relativamente pequenas.

Neste trabalho são indicadas e comentadas as principais alterações ocorridas, e apontadas as tendências técnicas modernas relativas ao processo de filtração rápida das águas destinadas ao abastecimento público.

A tendência para o uso de areias mais grossas, é apreciada à luz dos conhecimentos mais recentes.

Os processos auxiliares para a lavagem dos filtros merecem atenção particular e são examinados com certos detalhes fundamentais, tendo em vista a sua aplicação.

Especial consideração foi dada também à questão relativa à adoção de velocidades elevadas de filtração em instalações públicas.

O emprêgo dessa nova prática com objetivos econômicos deve ser condicionado a determinadas imposições de ordem técnica para segurança dos serviços.

As tentativas para simplificação e economia das instalações são abordadas ligeiramente. Ao finalizar esta parte do trabalho o Autor indica a conveniência de pesquisas neste setor, e faz votos para a realização do desejo de tantos investigadores: Um filtro simples, econômico, seguro e automático...

## REFERÊNCIAS

- 1 — HOWSON, L. R., "Water Treatment reaches high stage of development", Civil Engineering, Oct. 1955.
- 2 — BAYLIS, JOHN R., "Are we ready for high-rate filtration of water?" Water and Sewage Works, Nov. 1950, p. 456.
- 3 — BROWN, WADE G., "High-rate filtration experience at Durham", Journal of the American Water Works Assoc., March 1955, vol. 47, pg. 243.
- 4 — JACKSON, NORMAN E., "Study of high-rate at the Dalecarlia Plant, Washington", Journal of the American Water Works Assoc., February 1955, vol. 47, p. 129.
- 5 — DICKEY, G. D., C. L. BRYDEN, "Theory and practice of filtration", Reinhold Publ. Corp., New York, 1946.
- 6 — ELLMS, J. W., "Water Purification", McGraw-Hill Book Co., New York, 1928.
- 7 — HAZEN, RICHARD, "Elements of filter design", Journal of the American Water Works Assoc., March 1951, Vol. 43, p. 208.
- 8 — COX, CHARLES R., "High-rate filtration of water in Rapid sand filters", Water & Sewage Works, 1953, vol. 100, p. 400.
- 9 — FAIR, GORDON M., "The hydraulics of rapid sand filters", Journal of the Institution of Water Engineers, March 1951, Vol. 5, p. 171.
- 10 — BOUCHER, P. L., "A new Measure of filtrability of fluids with Applications to Water Engineering", Journal of the Institution of Civil Engineers, February 1947, Vol. 32, p. 415.
- 11 — International Water Supply Association, Proceedings of the First Congress, Amsterdam, 1949.
- 12 — BAKER, M. N., "The Quest for pure water", The American Water Works Assoc., 1949.
- 13 — BAYLIS, JOHN R., "Chicago South District Filtration Plant", Journal of the American Water Works Assoc., July 1949, Vol. 41, p. 599.
- 14 — BAYLIS, JOHN R., "Experience with high-rate filtration", Journal of the American Water Works Assoc., July 1950, Vol. 42, p. 687.
- 15 — RIDDICK, THOMAS M., "An improved design for Rapid sand filters", Journal of the American Water Works Assoc., August 1953, vol. 44, p. 733.
- 16 — CUNHA, ÁLVARO, "Reforma e Ampliação da Estação de Tratamento de Água de Santo Amaro", Revista do D.A.E., São Paulo, n.º 26, set. 1955.