

Estudo comparativo sobre a eficiência de autolimpeza em reservatórios convencionais e modificados

Ademir Pacelli Barbassa(*)
Fazal Hussain Chaudhry(**)

RESUMO

O reservatório domiciliar é amplamente utilizado para assegurar o suprimento de água no caso de interrupção do fornecimento pela rede pública.

Seu emprego, entretanto, causa deterioração da qualidade da água distribuída, devido à retenção de sólidos sedimentáveis, formando camada de lodo pela falta de manutenção.

O objetivo deste trabalho é abrir perspectivas de uso do reservatório domiciliar sem que ele cause danos tão sérios à qualidade da água. Para tal, avaliou-se a capacidade de autolimpeza de um reservatório circular com o fundo inclinado e dispositivos auxiliares. Submeteu-se o reservatório a cargas de sedimentos, observando-se sua capacidade de autolimpeza através de amostragem na saída durante várias condições de operação. Foram realizados testes semelhantes nos reservatórios de fibrocimento retangulares com o propósito de comparação.

Os resultados obtidos permitiram concluir que o reservatório circular modificado é capaz de evitar a formação de camada de lodo devido à sua alta capacidade de autolimpeza. Verificou-se também que o reservatório convencional retangular reteve em seu interior a quase totalidade do material, sob condições similares de operação.

O emprego do reservatório circular modificado com as alterações estudadas aqui evitará a deterioração da qualidade da água, tendo em vista sua acentuada capacidade de autolimpeza.

1. INTRODUÇÃO

O reservatório domiciliar, habitualmente denominado de caixa d'água, é um dos órgãos constituintes das instalações prediais de água fria de emprego generalizado, conforme pode ser constatado em todo o país. Talvez o único aspecto considerado pela população, quando da aquisição do re-

servatório, seja a sua capacidade de suprir as necessidades domésticas durante as interrupções do fornecimento de água pela rede.

No entanto, entre os profissionais atuantes na área, tem havido muita discussão, seja do ponto de vista sanitário, seja do ponto de vista econômico.

Ao mesmo tempo em que o reservatório domiciliar promove a atenuação dos picos de demanda na rede, porque admite vazões de saída superiores às de entrada pelo consumo do volume reservado, garante o suprimento dos aparelhos sanitários mesmo em situações extremas, quando há interrupções do abastecimento.

Há evidências, no entanto, que o uso de reservatórios domiciliares pode, em grande variedade de situações, alterar as características da água devido, principalmente, à formação de depósitos de lodo no fundo. Isso ocorre quando o material sedimentável tem acesso à caixa, quer pelas aberturas existentes na mesma, quer pela alimentação de água propriamente dita, quando ocorrem distúrbios no sistema de abastecimento, mesmo em reservatórios bem vedados.

Na ausência de reservatórios esse material seria eliminado quase que imediatamente após cessada a causa do distúrbio; na presença desse órgão, o material sedimentável encontra condições excepcionais para sua permanência no sistema e fica depositado no fundo da caixas d'água.

Devido à aceitação pela população e muitas vezes ao cumprimento das exigências dos órgãos responsáveis pelo abastecimento de água, o reservatório domiciliar já faz parte integrada ao sistema de abastecimento. Nesse sentido, órgãos oficiais têm se empenhado em promover campanhas, visando esclarecer os benefícios da manutenção das caixas e como fazê-la. A título de exemplo, cita-se o Programa "Pro-Limp" (I-III) das Secretarias de Saúde, Educação e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (10). Tendo em vista, porém, a frequente falta de manutenção, apesar da consciência de sua importância, há necessidade de investigar aperfeiçoamentos do reservatório, de modo que se eliminem os riscos de casos críticos.

O principal objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de reservatórios domiciliares convencionais e modificados na sua forma, quanto à capacidade de autolimpeza.

2. AÇÃO DO RESERVATÓRIO DOMICILIAR

Vários estudiosos têm-se manifestado a respeito da relevância do reservatório domiciliar na instalação predial e seus efeitos sobre o projeto da rede de distribuição de água.

A maioria dos estudiosos é unânime em se colocar a favor do uso dos reservatórios domiciliares, quando o abastecimento de água pela rede for descontínuo. Na prática, os usuários o utilizam também quando há perspectiva de falta de água, ou seja, na eventualidade de que elas aconteçam, mesmo em sistemas de abastecimento considerados eficientes e seguros.

As normas divergem quanto ao emprego generalizado dos reservatórios, domiciliares. Vários órgãos públicos responsáveis pelo abastecimento obrigam ou recomendam seu uso e mesmo os que se colocam contra seu emprego acabam por admiti-lo.

A razão principal pela qual obrigam ou recomendam seu uso parece ser menos o reconhecimento da precariedade do abastecimento e mais pelos efeitos positivos do emprego dos reservatórios domiciliares para o projeto e a operação da rede. Em relação à operação é interessante notar a desconexão entre a instalação predial e a rede pública. A válvula de bóia permite a entrada de ar na tubulação durante as interrupções, atenuando o efeito da sucção provocada pelo fluxo de água nas regiões de alta pressão.

São diversas as opiniões quanto ao papel do reservatório domiciliar no projeto das redes de distribuição. O efeito do reservatório domiciliar em modificar a vazão de projeto reflete nos coeficientes k_2 e k_3 da equação:

$$Q = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{86400} \cdot p \cdot q$$

onde Q é a vazão de projeto (l/s); p é o número de habitantes e q é o consumo per capita (l/dia). Os coeficientes representam a razão entre: k_1 — vazão diária máxima e vazão mé-

(*) Engenheiro da Cetesb.

(**) Professor titular da Universidade de São Carlos.

dia anual; k_2 — vazão horária máxima e vazão média do dia de maior consumo; k_3 — vazão máxima instantânea e vazão horária máxima.

Alguns autores como Azevedo Neto (2), Teles (11) e Martins (6) ressaltam a economia que se pode alcançar ao lançar mão do recurso do reservatório domiciliar. Esses autores acreditam que o emprego do reservatório domiciliar amortiza as variações instantâneas provenientes da demanda simultânea devido à operação das peças de utilização, e também as variações horárias, forçando os coeficientes k_2 e k_3 a assumirem o valor unitário e, consequentemente, diminuindo a vazão de projeto.

Yassuda (13, 14) expressa certo ceticismo em relação à economia que efetivamente se possa conseguir por meio do reservatório domiciliar. De acordo com o autor, para que a vazão seja uma função apenas de k_1 (coeficiente do dia de maior consumo), é necessário que a pressão na entrada de todos os reservatórios seja a mesma. Se o critério de dimensionamento não proporcionar tal igualdade de pressões ou se não se instalarem dispositivos controladores de vazão, os reservatórios domiciliares não exercerão ação regularizadora sobre variações horárias, regularizando apenas parte das variações instantâneas da demanda. Por outro lado, o autor julga ser o emprego do reservatório domiciliar uma solução condenável, por pressupor a persistência crônica do funcionamento intermitente da rede, razão principal pela qual o usuário recorre a este órgão.

Mais importante que a ação do reservatório domiciliar em atenuar as relações abastecimento-demanda e a segurança de abastecimento, tratados anteriormente, é a possível modificação que ele causa na qualidade da água, conforme detectada por vários autores.

Esta modificação já havia sido sentida nas primeiras décadas deste século. Sabia-se que as condições de manutenção e localização do reservatório domiciliar eram insatisfatórias, o que ocasionava insalubridade da água. Isto fez com que sanitistas como Brito (apud Sampaio (8)), se posicionassem contra a instalação das caixas d'água, porém aceitando-a na prática, devido às condições do sistema de distribuição e acumulação serem inadequadas. Entretanto o sistema da época apresentava outras deficiências que contribuíram para a contaminação da água distribuída, tais como pressão negativa na rede devido à intermitência de fornecimento e também por sucção direta da rede. Esta subpressão propicia a penetração no sistema de microrganismos, inclusive patogênicos, por meio de conexões en-

tre rede de distribuição-instalação hidráulica predial e em ponto de canalização em que a vedação não esteja adequada. A infiltração em reservatórios; as entradas de água e os aparelhos sanitários afogados; tanques, reservatórios e os condutos abertos são outros defeitos do sistema, apontados por Baity (3). Wolman et alii (apud Baity (3)), em pesquisa realizada entre 1920 e 1929 associou, a esses defeitos, ocorrências isoladas de doenças transmissíveis. Baity (3) sugeriu para sanar esses problemas uma cloração eficaz, fechamento apropriado dos tanques, dos reservatórios domiciliares e dos condutos para evitar a penetração de organismos estranhos.

Gevaudan e Gay (apud Martins (6)), pesquisaram na periferia de Marselha, França, os aspectos sanitários dos reservatórios domiciliares. Cogitaram, ainda, se deveria admitir-se ou rejeitar-se o sistema de distribuição com reservatório domiciliar, pois suas condições eram de abastecimento contínuo, reservas suficientemente grandes para cobrir os períodos de interrupção e os reservatórios de precária manutenção como os atuais. Examinaram amostras de água de reservatórios internos, externos, fechados e abertos e concluíram que 15% deles apresentavam notável contaminação da água, que se encontrava no estado de "potabilidade bacteriológica" na entrada do reservatório.

Os resultados encontrados por esses autores foram confirmados por Lima Filho (5) em pesquisa realizada em São Carlos, SP. Os casos críticos ocorreram nos reservatórios abertos ou semi-abertos. Segundo o autor os fatores que poderiam acarretar tais condições de precariedade são os reservatórios domiciliares que se encontram sob deficiente manutenção e nas extremidades da rede, "o que faz supor que esta localização provoque um maior carregamento de sólidos suspensos da rede para os reservatórios".

A matéria orgânica depositada no fundo do reservatório causa alterações no pH, cor, turbidez, diminuição dos teores de oxigênio e cloro residual, além de criar condições repugnantes do ponto de vista estético. A redução do teor de cloro é confirma-

da por vários autores como Lima Filho (5), Viana (12), Gevaudan e Gay (apud Martins (6)).

Apesar dos últimos dois trabalhos, Lima Filho (5) e Gevaudan e Gay (apud Martins (6)), terem sido desenvolvidos em condições completamente diversas, observa-se que estes chegaram a resultados experimentais bastante parecidos. A porcentagem de reservatórios domiciliares com contaminação é praticamente a mesma e os fatores relacionados à manutenção também são idênticos. Em vista da diversidade de costumes, de aspectos geográficos e culturais, estes resultados parecem estar relacionados mais ao comodismo dos usuários quanto à manutenção do reservatório domiciliar. Vale ressaltar aqui os dados obtidos por Lima Filho (5), através de entrevistas conduzidas com os domiciliares, objeto de sua pesquisa. Metade dos usuários fazia limpeza periódica nos reservatórios domiciliares e metade não a executava. Entre as razões apresentadas, contrárias às realizações da limpeza encontraram-se, praticamente no mesmo percentual, alegações como dificuldades de acesso e ignorância da necessidade de limpeza. Na maioria dos casos (89%) em que se procedia à limpeza, o período era superior a um ano. Houve usuários que embora sabendo da necessidade de manutenção não a realizavam.

É notório o comodismo por parte das pessoas que reconhecem a importância da manutenção para a própria saúde, e não a fazem ou a praticam em períodos superiores a um ano, demasiados longos.

Seria ideal, então, que não houvesse possibilidade de acumulação de material, qualquer que seja, no reservatório domiciliar. Assim manter-se-ia a água dentro dos padrões de potabilidade. Com o intuito de evitar tal acumulação, Lima Filho (5) propõe modificações na saída da água instalando-a rente ao fundo da caixa, de modo que a matéria sedimentada seja arrastada quando do uso da válvula de descarga ou outro dispositivo.

Os reservatórios domiciliares envolvem uma série de questões seja do ponto de vista hidráulico ou sanitário.

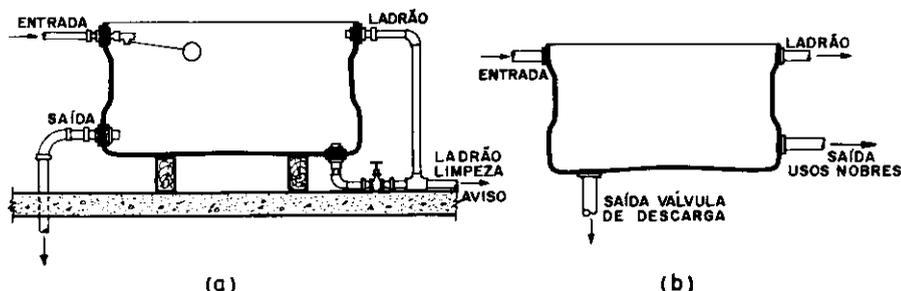


Figura 1 — Esquema do reservatório domiciliar convencional de fibrocimento com especificações para instalação (a), o reservatório domiciliar com as modificações propostas por Lima Filho (5)

Como ressalta Martins (6) "a questão já muito discutida, ainda consumirá muito do precioso tempo de nossos técnicos, no afã de encontrarem a orientação mais conveniente para nossas comunidades".

Dentre os tipos de reservatórios domiciliares existentes cabe levantar algumas alternativas encontradas. Os reservatórios convencionais, fabricados de fibra de cimento-amianto, não trazem entre si diferenças substanciais na forma. Têm fundo plano com algumas ondulações para tornar sua estrutura resistente a esforços. As tomadas de água nestas caixas são feitas acima do fundo, criando uma lâmina permanente, mesmo quando se drena totalmente. Isto propicia a formação de camada de lodo causando todos os problemas apontados. A Figura 1 apresenta o reservatório domiciliar convencional e as modificações propostas por Lima Filho (5).

Somaruga (9) mostra um reservatório domiciliar cujo projeto é mais bem elaborado que os reservatórios domiciliares convencionais. Nota-se isto pelo sistema de vedação por presilhas, ventilação através de tubo próprio, com extremidade protegida por tela, de modo a impedir a penetração de material estranho e fundo inclinado com saída no centro. Esse modelo, porém, não dispõe de extravasor. As principais características desse reservatório são apresentadas nos esquemas da Figura 2.

Pazetti (7) introduziu modificações nos reservatórios domiciliares convencionais. Seu reservatório modificado tem forma cilíndrica, o que permite otimizar o volume armazenado em relação à área de paredes. Admite ainda algumas facilidades no transporte e manuseio, pois se encaixam um ao outro ocupando menor espaço e possuem pequeno peso próprio, em virtude de serem fabricados de fibra de vidro. Propõe fundo inclinado cônico, saída central e abaixo do fundo, o que parece ser bastante desejável, por tender a evitar a formação da camada de lodo. A figura 3 esquematiza as principais características do reservatório domiciliar inventado por Pazetti (?).

3. METODOLOGIA

3.1 Arranjo Experimental

O arranjo experimental contou com dois reservatórios, um convencional e outro modificado. O primeiro, fabricado em fibra de cimento-amianto, tem capacidade de 250 l. O reservatório modificado também de 250 l é construído de fibra de vidro de acordo com a patente de seu inventor, Pazetti (?). Instalou-se um terceiro com capacidade de 1 mil l assentado em nível su-

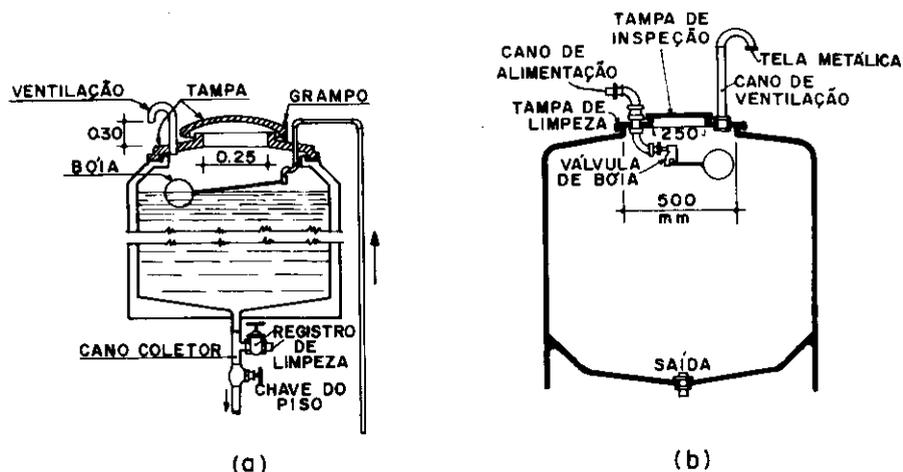


Figura 2 — Características dos reservatórios domiciliares até mil l (a), reservatório domiciliar fabricado com fibrocimento (b), segundo Somaruga (9).

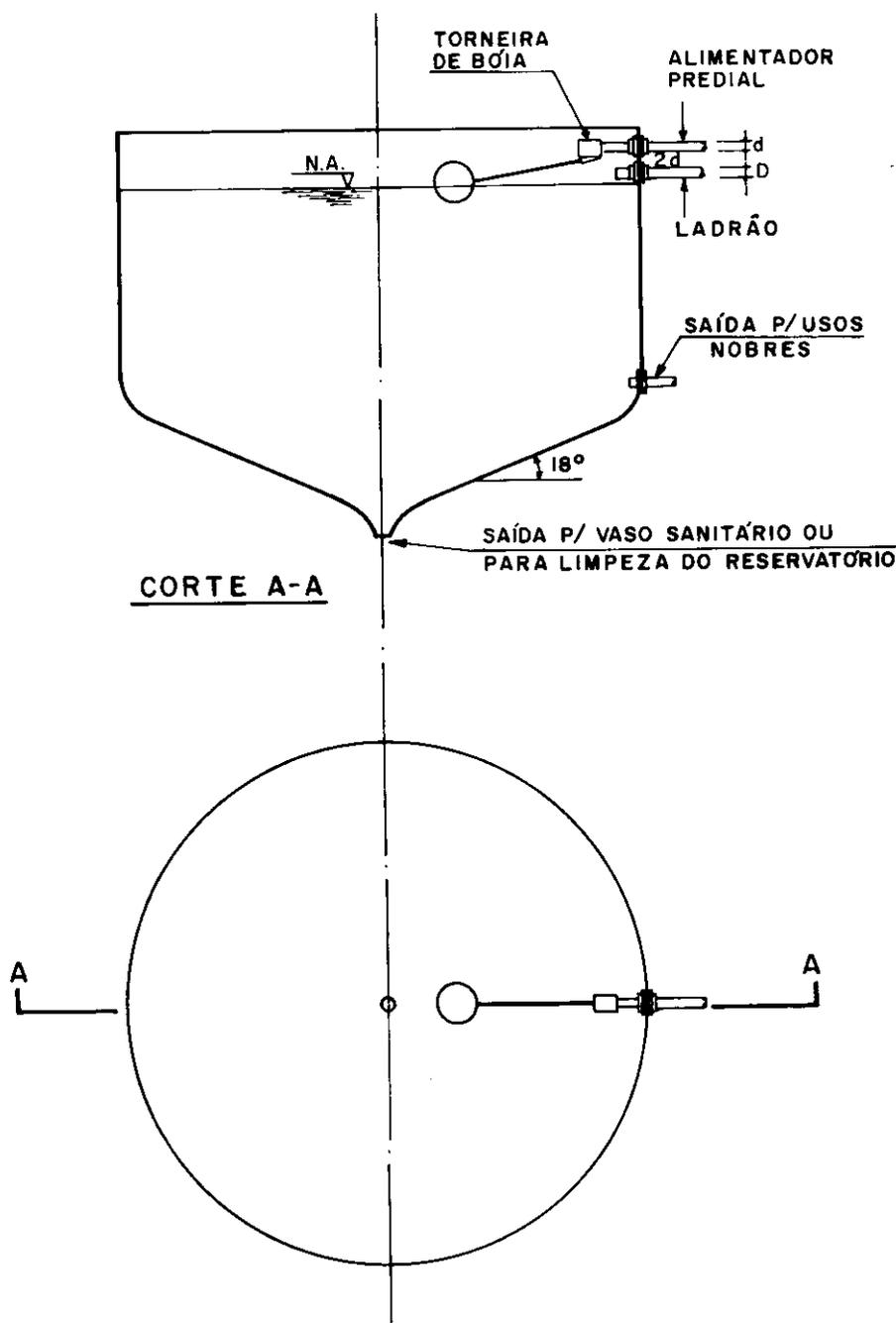


Figura 3 — Esquema do reservatório domiciliar modificado proposto por Pazetti (?) em planta e corte.

perior a ambos. Este prestou-se para a reservação de água da rede de distribuição para os experimentos.

Devido a uma aproximação física entre os vários dispositivos, o desnível entre os reservatórios a serem testados e o de reservação de água para testes foi pequeno. Supriu-se então a deficiência de pressão por uma bomba de recalque para proporcionar, dentro dos limites admissíveis por norma, a altura manométrica desejável. A figura 4 esquematiza a vista de frente da montagem experimental.

3.2 Fixação de Variáveis e Procedimentos Específicos

Embora o funcionamento do reservatório como sedimentador colocado na linha que abastece os aparelhos seja de compreensão quase que imediata, a identificação dos fatores que influem nesse fenômeno e dos parâmetros indispensáveis para verificar o comportamento dinâmico desse órgão com relação à autolimpeza, constituem-se nos pontos cruciais do estudo. Isso porque a qualidade dos resultados depende do estabelecimento de procedimentos experimentais que levem em conta todos os principais parâmetros envolvidos na operação normal de reservatórios, além de outros que permitam a análise das diferentes situações a que são submetidos e as respostas obtidas.

Os seguintes fatores foram considerados relevantes ao presente estudo:

(1) Pressão da água na entrada do reservatório, uma vez que a pressão de água na rede pode variar de 8 a 70 m.c.a., e os reservatórios são submetidos a jatos de intensidades diferentes. Para esse estudo fixaram-se as pressões de ensaio de 5 e 20 m.c.a. como representativas das pressões baixas e médias a que as linhas que alimentam os reservatórios estão submetidas, permitindo a verificação da influência desse fator.

(2) Volume e vazão de saída — que depende do tipo de aparelho alimentado e de outras características da instalação. Fixaram as vazões de 2 l/s, executando-se as retiradas isoladas com válvulas de descarga, e de 0,45 l/s, aproximadamente, executando-se retiradas contínuas através de registro. O volume descarregado através da válvula de descarga depende do tempo em que se mantém aberta a válvula. Geralmente esse valor situa-se entre 15 e 20 l para válvula de descarga e em torno de 15 l para caixa de descarga. Optou-se experimentar com volume de 18,5 l tanto no regime de retiradas contínuas como no de retiradas isoladas.

(3) Regime de uso do reservatório — imaginou-se que a capacidade de

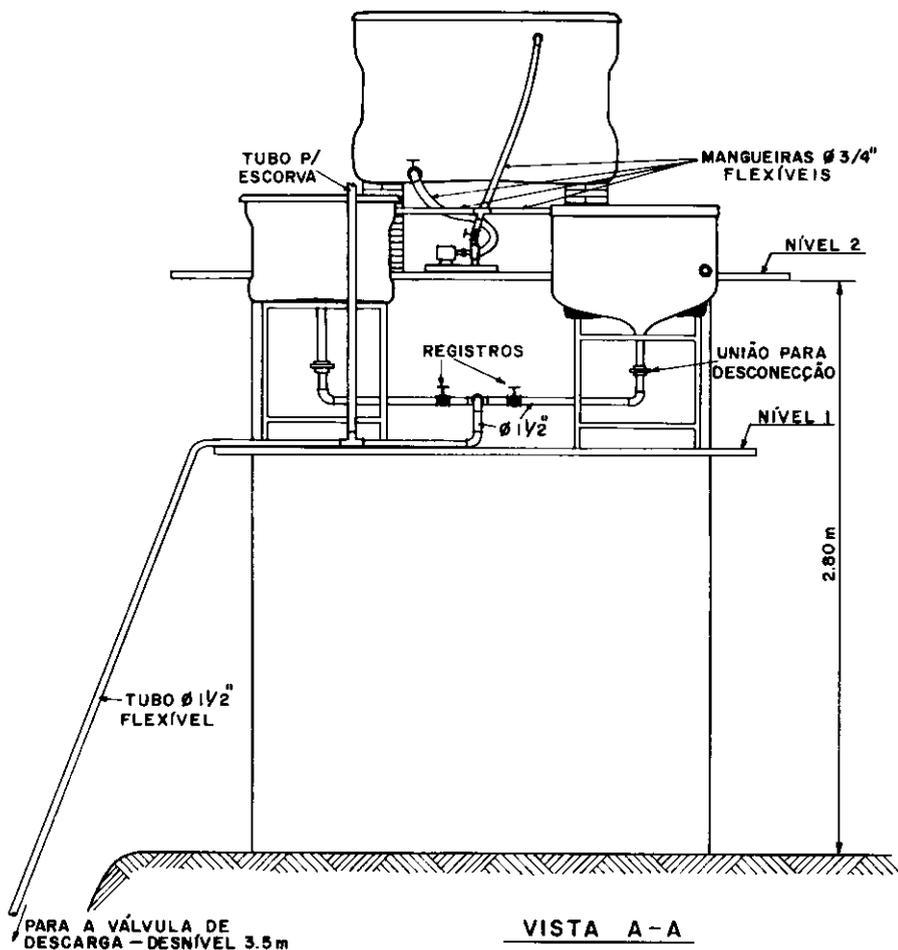


Figura 4 — Vista de frente da montagem experimental.

autolimpeza dependesse, entre outros fatores, da lâmina d'água sobre o fundo e que seria necessário determinar se a autolimpeza dependia ou não de operações de esvaziamento completo. Fixaram-se dois regimes de esvaziamento. O regime de esvaziamento completo em que o reenchimento se fez após esvaziar totalmente a caixa, e o regime de esvaziamento parcial em que há sempre uma lâmina de água, sendo o reenchimento simultâneo às retiradas. No primeiro caso, o jato impinge diretamente no fundo, já no esvaziamento parcial a lâmina impede que isso ocorra.

(4) Pontos de saída do reservatório. Estão implicados diretamente na avaliação da autolimpeza, pois sua escolha adequada permite reduzir o número de amostras coletadas. Admitiu-se como mais significativo para o estudo o ponto de saída para os aparelhos de descarga.

(5) Tipo de material em suspensão e sua concentração. Escolheram-se para esse estudo três materiais como representativos dos materiais que têm acesso aos reservatórios domiciliares. O material particulado pesado — denso e de granulometria fina, o material particulado — leve bastante "fofo" e o material floculento cuja den-

sidade está próxima à da água. Vários aspectos intervêm na determinação da quantidade de material a ser lançado, isto é, no valor da concentração inicial C_0 . Ela não pode ser excessiva, a ponto de causar entupimento nos registros e tubulações, nem exigir um número muito elevado de descargas que crie empecilhos à realização dos testes. Deve ser de tal ordem que permita visualizar a camada de sedimento formada. Por outro lado, ao trabalhar-se com concentração baixíssima também há problemas, pois qualquer porção que por acaso tenha ficado retida no interior da tubulação, ao sair por uma descarga, poderá camuflar o arrasto promovido pela descarga em questão. Além disso, surgem dificuldades de medida em termos de sua precisão. A partir dos testes-piloto obteve-se a ordem de concentração em que estes critérios apontados anteriormente seriam satisfeitos, encontrando-se experimentalmente para material particulado pesado de 1 g/l a 2 g/l, para material particulado leve 0,3 g/l a 0,5 g/l e para material floculento de 0,035 g/l a 0,070 g/l.

(6) Dispositivos auxiliares. Utilizaram-se como dispositivos auxiliares os bocais da válvula de bóia, porque se imaginava que poderiam influir signifi-

cativamente no processo de autolimpeza. Pazetti (7) sugeriu modificar a saída da válvula de bóia de modo a orientar o jato tangencialmente à caixa para provocar a circulação da água. Esse dispositivo permitiria pela circulação concentrar o material que teve acesso ao reservatório domiciliar na saída central, facilitando seu arrasto. A Figura 5 esquematiza essas modificações no bocal da válvula de bóia.

(7) Procedimento para lançamento do material sedimentável. Fixou-se o lançamento utilizando-se os seguintes critérios: que fosse possível controlar a quantidade de material que alcançasse o reservatório e que o mesmo fosse misturado e dispersado pelo jato da válvula de bóia. Esse procedimento será descrito no item 3.2.3.

3.2 Rotelro dos testes

Cada teste era composto por ciclos em que as operações de repouso, descarga e reenchimento eram repetidas até se verificar, visualmente, que não havia alterações do sedimento depositado nos reservatórios, nem modificações sensíveis nas características da água descarregada.

3.2.1 Ajustes preliminares

Para se conseguir condição apropriada para a operação fez-se calibragem dos reservatórios em testes. Ambos tiveram seus volumes graduados com escala variando de 5 l em 5 l.

Os registros de saída, tanto da válvula de descarga quanto aquele utilizado para descarga contínua, foram ajustados de modo a introduzir perda de carga necessária no sentido de limitar as vazões aos valores desejados. Os ramais de descarga, tubulações que ligam os reservatórios domiciliares à válvula de descarga ou registro de saída, são iguais para ambas as caixas, e portanto produzem a mesma perda de carga. Excetuam-se, porém, os bocais. No reservatório convencional, a saída é de borda e no reservatório modificado arredondada. Apesar de o bocal de borda causar perdas bem maiores do que o bocal com saída arredondada, essa diferença em relação à perda total, ou seja, perdas localizadas mais perdas nas tubulações, relativamente pequena (5%), não afetando a vazão de modo significativo.

3.2.2 Preparação do material

Para se obter material floculento em alta concentração a água de lavagem de filtro da ETA de São Carlos foi submetida à sedimentação por uma hora. Descartou-se em seguida o sobrenadante desta água, sendo aproveitada somente a camada de flocos no fun-

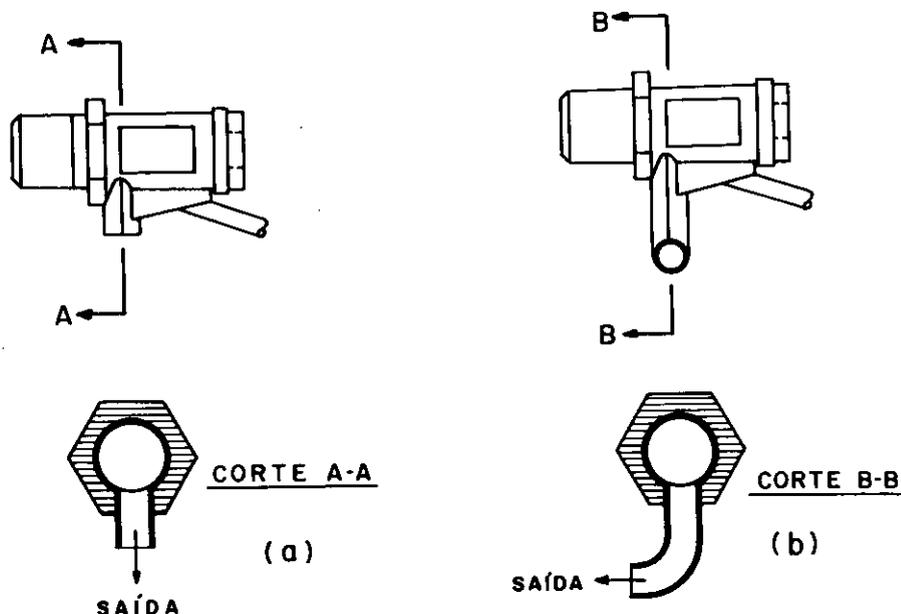


Figura 5 — Esquema da válvula de bóia com bocal convencional (a) e com bocal modificado (b).

do do recipiente utilizado. Mediu-se então a turbidez da suspensão, que foi transformada para concentração pela equação seguinte, desenvolvida por Canelas (4), para a água em questão.

$$Y = -0,62 + 1,02 x$$

onde Y é a concentração de sólidos em suspensão (mg/l) e x turbidez em UJT. Tomou-se então o volume necessário para atingir a concentração inicial pretendida. No caso dos materiais particulados, foram secados na estufa a 105°C. A secagem permitiu que os materiais fossem pesados sob as mesmas condições de umidade. Para evitar entupimentos da mangueira utilizada para transporte da mistura do balde para o reservatório em teste, trituraram-se os grãos maiores do material particulado pesado; com o material particulado leve procedeu-se ainda ao peneiramento para selecionar os grãos por tamanho.

3.2.3 Lançamento

Usaram-se dois baldes, um para cada reservatório em teste, colocados em nível superior. A suspensão chega, por sifonagem, até eles através de uma mangueira plástica, cuja extremidade é fixada ao bocal da válvula de bóia, propiciando mistura e espalhamento pelo jato de água. Cada teste contou com apenas um lançamento de material no seu início.

3.2.4 Sedimentação

Para que o material em suspensão sedimentasse, aguardou-se após lançamento e entre os esvaziamentos, chamados de ciclos de descarga, repouso durante duas horas e meia para o material particulado pesado, 10 mi-

nutos para o material particulado leve e 45 minutos para o material floculento.

3.2.5 Descargas

Antes de executar-se o ciclo de descarga a tubulação precisava ser previamente escurvada para evitar que o ar contido no seu interior subisse e causasse turbulência. Descarregava-se o reservatório domiciliar até verificar visualmente que não havia mais alterações do sedimento no fundo, nem modificação na cor e nos sólidos carregados pelas descargas.

3.2.6 Amostragem

O volume da descarga era armazenado e homogeneizado, coletando-se posteriormente 1 l para análise de laboratório, conforme item a seguir. No caso de descarga contínua, a operação de amostragem era feita utilizando-se dois baldes alternadamente para coleta do volume das descargas. As amostras eram coletadas após homogeneização do conteúdo dos baldes.

3.2.7 Reenchimento

O abastecimento dos reservatórios testados foi feito com a água potável da rede de distribuição, armazenada no reservatório de mil l. No regime de esvaziamento completo o reenchimento foi após o ciclo de descargas, no regime de esvaziamento parcial, simultâneo.

3.2.8 Avaliação do remanescente

O remanescente foi avaliado para os materiais particulado, leve e pesado, medindo-se separadamente o seu conteúdo no sobrenadante e naquela

parte sedimentada. Fez-se amostragem do sobrenadante para medida de concentração através do processo de determinação de sólidos totais. Descartou-se o sobrenadante sem causar agitação do material sedimentado, o qual então é recolhido e levado à estufa de 105°C. O método empregado para os materiais particulados não se aplica bem ao material floculento. Este último é facilmente homogeneizável, o que permite obter uma amostra representativa para a medida da concentração, mesmo sendo grande o volume original.

3.3 Análises das amostras

As amostras coletadas foram analisadas utilizando-se os equipamentos do Laboratório de Saneamento do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC — USP, segundo métodos estabelecidos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1).

3.4 Testes efetuados

O esquema apresentado na Tabela 1 mostra a variedade e sequência dos testes efetuados com o objetivo de verificar a influência na autolimpeza, das seguintes variáveis: tipo de reservatório, vazão, natureza do material sedimentável, pressão de trabalho, regime de trabalho e tipo de bocal da válvula de bóia.

A sequência dos testes foi fixada de maneira a avaliar, inicialmente, todas as principais variáveis de estudo para uma dada vazão de descarga. Após obtidos os resultados da primeira sequência de testes, os demais só foram realizados quando as condições de contorno indicavam a possibilidade de obtenção de informações importantes e não evidentes a respeito da autolimpeza.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Foram consideradas na fase experimental as principais variáveis capazes de influir nas condições reais de funcionamento dos reservatórios domiciliares. As variáveis estudadas são: tipo de material, pressão, regime de utilização de água armazenada, tipos de saída e dispositivo auxiliar de autolimpeza. A Tabela 1 mostra as combinações destas variáveis estudadas durante os 24 testes realizados.

O comportamento do reservatório domiciliar aos vários arranjos foi avaliado graficamente para todos os testes, plotando-se cor, turbidez e concentração do material em suspensão nas descargas em função do número de descarga, ilustram-se tais gráficos pelas figuras 6, 7 e 8, relativas apenas

Tabela 1 — Condições gerais e ordem sequencial dos testes.

Saída e vazão do reservatório domiciliar.	Material	Regime de esvaziamento	Pressão	Reservatório Domiciliar	Bocal	Nº do teste
Válvula descarga 2 1/s	Part. pesado	Completo	Baixa	Modif.	Modif.	(1)
					Conv.	(2)
			Média	Conv.	(3)	
				Modif.	(4)	
		Parcial	Baixa	Conv.	(5)	
				Modif.	(6)	
			Média	Conv.	(7)	
				Modif.	(8)	
	Part. leve	Completo	Baixa	Modif.	(9)	
				Conv.	(10)	
			Parcial	Baixa	Modif.	(11)
		Conv.			(12)	
		Média		Modif.	(13)	
		Floculento	Completo	Baixa	Modif.	(15)
Conv.	(16)					
Parcial	Baixa			Modif.	(17)	
				Conv.	(18)	
Média	Modif.		(19)			
	Conv.		(20)			
	Saída 3/4 " ≈ 0,45 l/s		Part. leve	Parcial	Baixa	Modif.
Conv.		(22)				
Floculento		Parcial	Baixa	Modif.	(23)	
				Conv.	(24)	

aos testes no regime de esvaziamento completo, respectivamente com material particulado pesado, leve e material floculento. Está indicado também o tempo dispendido nas várias etapas dos testes. A concentração de partículas nas descargas, simbolizada por C, foi adimensionalizada dividindo-a pela concentração inicial C_0 (massa do sedimento dividido por volume do reservatório domiciliar). Avaliou-se a eficiência de autolimpeza, entendida como a capacidade de um dado arranjo em remover o material introduzido durante a operação. A eficiência de autolimpeza é definida como:

Um exame das figuras, típicas dos testes realizados, mostra que o desprendimento do material do fundo dá-se de forma bastante acentuada nas primeiras três descargas em todos os ciclos após enchimento, sendo a primeira de cada ciclo a mais eficiente. Apresentam-se na Figura 6 os resultados dos testes com material particulado pesado. Verifica-se que o reservatório domiciliar convencional apresentou características do efluente sempre superiores ao reservatório domiciliar modificado. As características superiores do efluente equivale dizer que o material introduzido ficou retido em

$$Ef (\%) = \frac{\text{Mat. lançado (g)} - \text{Mat. remanescente (g)}}{\text{Mat. lançado (g)}} \cdot 100$$

seu interior, ou que o seu arrasto foi menor. Isto é comprovado pela medida independente da eficiência de autolimpeza do reservatório domiciliar convencional de apenas 3%, enquanto para a caixa modificada é de 90%. A autolimpeza do reservatório domiciliar modificado se deu de forma predominante na primeira descarga do segundo ciclo.

São mostrados na Figura 7 resultados do teste com material particulado leve. As curvas tracejadas, referentes à caixa convencional, indicam que a concentração de sedimento nas descargas foi novamente, muito pequena. Por outro lado, no caso da caixa modificada, obteve-se concentração acentuada na primeira descarga. Com este material, bastaram dois para que ocorresse limpeza do fundo, porém, somente para a caixa modificada cuja eficiência foi de 99%. Tal resultado foi esperado, pois após o período de repouso visualizou-se que o material havia se concentrado em torno do cen-

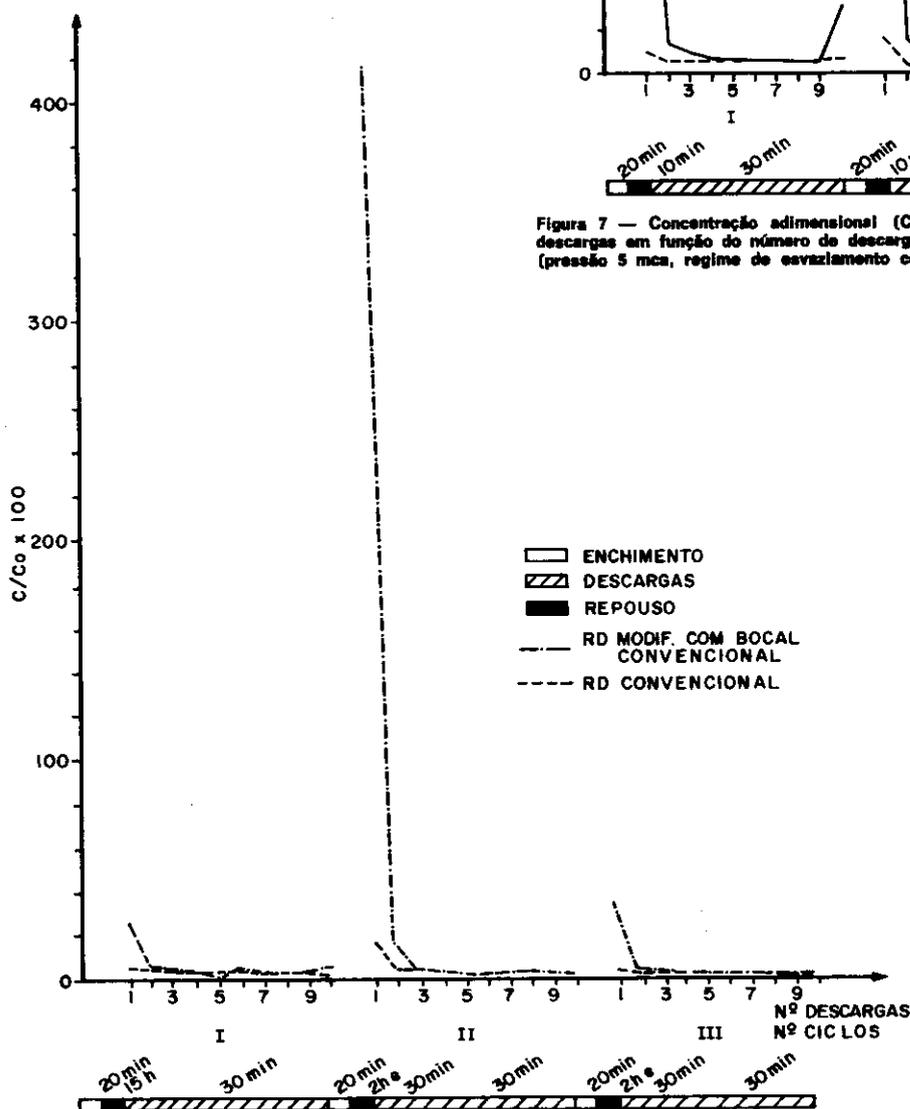


Figura 6 — Concentração adimensional ($C/C_o \times 100$) de material particulado pesado nas descargas em função do número de descargas e tempo despendido em cada fase (pressão 5 mca, regime de esvaziamento completo).

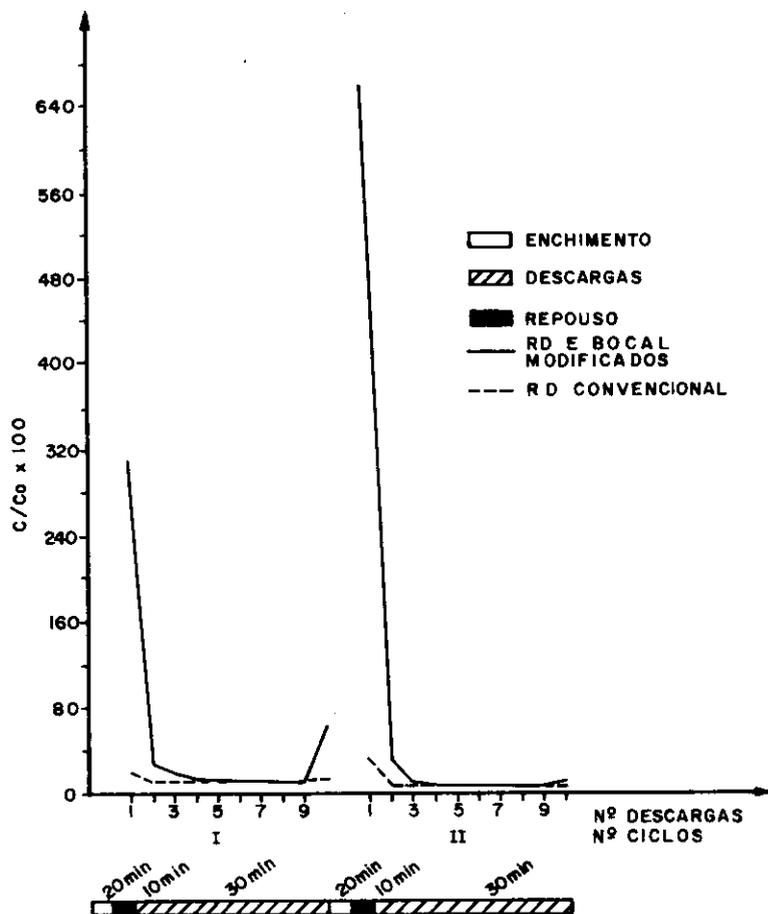


Figura 7 — Concentração adimensional ($C/C_o \times 100$) de material particulado leve nas descargas em função do número de descargas e tempo despendido em cada fase (pressão 5 mca, regime de esvaziamento completo).

tro num raio de mais ou menos 22 cm, sendo que o diâmetro da caixa modificada é de 80 cm. Desta maneira, parte do material assim distribuído deslizou para dentro do tubo de saída. Após o primeiro ciclo e durante o enchimento observou-se que mal se formou uma lâmina no fundo, todo o depósito foi direcionado pela circulação da água e evidentemente graças à forma da caixa modificada, ao bocal modificado e à localização central da saída. A caixa convencional apresentou 11% de eficiência, uma diferença acentuada em relação à caixa modificada. Também aqui esperava-se um baixo rendimento, pois após o primeiro ciclo observou-se apenas uma acomodação do material particulado leve no fundo.

E, por último, a Figura 8 mostra, em gráfico, resultados do teste com material flocculento, também no regime de esvaziamento completo. O reservatório modificado atingiu uma eficiência de 99%, necessitando para isso apenas um ciclo de descargas. Os máximos de concentração no efluente situaram-se na primeira e última descar-

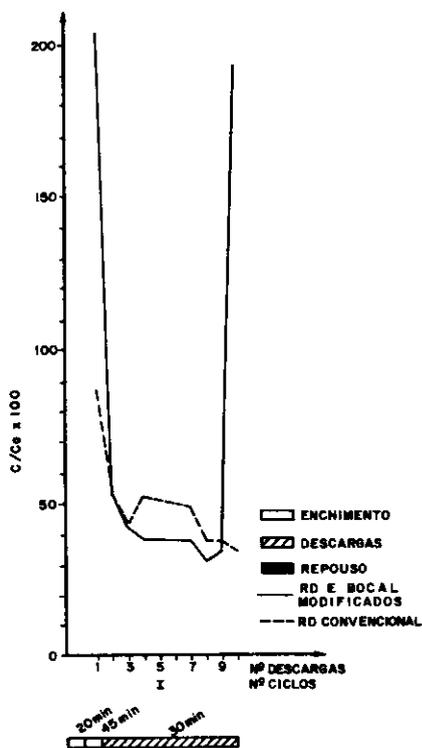


Figura 8 — Concentração adimensional ($C/C_o \times 100$) na suspensão de material flocculento nas descargas em função do número de descargas e tempo despendido em cada fase (pressão 5 mca, regime de esvaziamento completo)

ga, dando a forma de U à curva da Figura 8. Como já foi exposto, o arrasto elevado da primeira descarga é devido à forma da caixa modificada e bocal, enquanto o último pico se deve também às características dos flocos, facilmente arrastáveis quando a velocidade no fundo aumenta à medida que diminui a lâmina d'água. O reservató-

rio convencional — ver linha tracejada da Figura 8 — não admite esse comportamento. Apesar de se ter feito a montagem mais favorável possível à não acumulação, quando da colocação da saída no fundo, houve retenção elevada deste material de densidade neutra, apresentando eficiência de autolimpeza de apenas 24%. A saída foi localizada no centro da caixa sem deixar toco de cano interno, tão somente o adaptador. A pequena lâmina do fundo abriga os sedimentos de tal forma que mesmo se esvaziando completamente não há arrasto, nem para material com estas características propícias.

Em vista da variedade de situações, organizaram-se em três tabelas resumidas os resultados principais em termos de concentração C/C_o , que permitem ilustrar o desempenho dos reservatórios domiciliares e dos bocais experimentados. A Tabela 2 apresenta os resultados dos testes realizados sob a mesma pressão, permitindo concluir-se a respeito do efeito do regime de esvaziamento e do tipo de material sobre o desempenho das caixas.

Sob a pressão de 5 mca e regime de esvaziamento completo, a caixa modificada apresentou eficiência de autolimpeza acima de 98% com os três materiais, enquanto o convencional apresentou eficiência de 3, 12 e 24%, respectivamente, para material particulado pesado, leve e material flocculento. Verifica-se decréscimo no número de descargas necessárias para maior limpeza, sendo este número 30 para o material pesado, 20 para o leve e 10 para o material flocculento.

A caixa convencional foi testada no regime de esvaziamento parcial, com o material particulado pesado, apresentando eficiência de 2%, apesar de executar-se 40 descargas, cerca de 1/4 da eficiência apresentada pela caixa modificada. Por outro lado, nem o regime de esvaziamento completo, neste caso, apresentou eficiência razoável apesar de este regime implicar maior facilidade de autolimpeza. Portanto, a caixa convencional mostra-se incapaz de autolimpar-se, qualquer que seja o regime de esvaziamento. A caixa modificada, no regime parcial de esvaziamento com os outros dois materiais, atingiu com 20 descargas 85% e com 15 descargas 93% de eficiência de autolimpeza, respectivamente, para o material particulado leve e o material flocculento.

Confirma-se assim, ser o regime de esvaziamento completo, bem mais favorável à autolimpeza que o regime de esvaziamento parcial e que a ordem de facilidade de autolimpeza aumenta do material particulado pesado para o particulado leve e material flocculento.

A Tabela 3 ilustra o efeito da pressão na entrada sobre o desempenho de ambos os reservatórios domiciliares ou isoladamente do reservatório domiciliar modificado, com os três tipos de materiais. Nos testes com material particulado o reservatório convencional mostrou-se insensível à variação da pressão pois apresentou 3% de eficiência de autolimpeza para a pressão baixa e 4% para a pressão média. Sob as mesmas condições, o reservatório modificado apresentou concentrações do material par-

Tabela 2 — Resultados principais dos testes para avaliação da autolimpeza dos reservatórios domiciliares à pressão de 5 mca.

CONCENTRAÇÃO ADMENSIONAL ($C/C_o \times 100$) DOS MATERIAIS NAS DESCARGAS										
nº descarga e nº ciclos de teste	Material Particulado Pesado				Material Particulado Leve			Material Flocculento		
	Regime esv. completo		Regime esv. parcial		Regime esv. completo		Regime esv. parcial	Regime esv. completo		Regime esv. parcial
	RD conv. (3)**	RD modif. (2)	RD conv. (8)	RD modif.* (7)	RD conv. (9)	RD modif.* (10)	RD modif.* (11)	RD conv. (15)	RD modif. (16)	RD modif.* (22)
1a. 1o.	6	150	6	11	20	310	436	87	210	612
1a. 2o.	11	217	4	11	38	630	320	-	-	68
1a. 3o.	3	55	4	6	-	-	120	-	-	16
nº de desc.	30	30	40	40	20	20	20	10	10	15
Ef (%)	3	98	2	9	12	99	85	24	99	93

* RD (reservatório domiciliar) equipado com bocal modificado.

** Ordem sequencial dos testes.

Tabela 3 — Resultados principais dos testes com descargas isoladas para avaliação de autolimpeza dos reservatórios domiciliares.

CONCENTRAÇÃO ADMENSIONAL (C/Co x 100) DOS MATERIAIS NAS DESCARGAS								
nº descarga e nº ciclo condições de teste	Material Particulado Pesado				Material Part. Leve		Material Floculento	
	Regime de esvaziamento Completo				Regime Esv. Parcial		Regime esv. Parcial	
	RD Convencional		RD modificado		RD modificado		RD modificado	
	Pressão baixa (3)**	pressão média (6)	pressão baixa* (1)	pressão média* (4)	pressão baixa* (11)	pressão média* (13)	pressão baixa* (17)	pressão média* (19)
1a. lo.	6	15	15	56	436	730	612	416
1a. 2o.	11	4	338	360	320	40	68	240
1a. 3o.	3	11	167	11	120	-	16	56
nº de desc.	30	30	30	30	20	10	15	15
Ef (%)	3	4	-	99	85	86	93	88

* RD equipado com bocal modificado.

** Ordem sequencial dos testes.

Tabela 4 — Resultados principais dos testes para avaliação dos bocais da válvula de bóia na autolimpeza do RD modificado.

CONCENTRAÇÃO ADMENSIONAL (C/Co x 100) DOS MATERIAIS NAS DESCARGAS												
nº descarga e nº ciclo condições de testes	Descargas Isoladas (2 l/s)								Descargas Contínuas (0,45 l/s)			
	Regime esv. parcial				Regime esv. parcial				Reg.esv.parcial		Reg.esv.Parcial	
	Material part. leve				Material Floculento				Mat.part.leve		Mat.Floculento	
	Pressão baixa		Pressão média		Pressão baixa		Pressão média		Pressão baixa		Pressão baixa	
	Bocal conv. (12)*	Bocal modif. (11)	Bocal conv. (14)	Bocal modif. (13)	Bocal conv. (18)	Bocal modif. (17)	Bocal conv. (20)	Bocal modif. (19)	Bocal conv. (22)	Bocal modif. (21)	Bocal conv. (24)	Bocal modif. (23)
1a. lo.	280	436	176	730	272	612	472	416	80	450	190	850
1a. 2o.	64	320	124	40	110	68	92	240	20	100	83	60
1a. 3o.	28	120	52	-	50	16	92	56	16	50	30	20
nº de desc.	20	20	20	10	15	15	15	15	32	32	36	12
Ef (%)	52	86	86	86	83	93	84	88	22	86	92	98

* Ordem sequencial dos testes

ticulado pesado maiores para a pressão média nas primeiras descargas do primeiro e segundo ciclos, 56% e 360% contra 15% e 338% para a pressão baixa, efetuando a limpeza mais rapidamente. O efeito do regime de esvaziamento sob pressão alta é semelhante àquele discutido anteriormente. Entretanto, a pressão elevada facilitou a autolimpeza, no caso do material leve, de forma acentuada, isto é evidenciado pelo fato de que a pressão média exigiu 2/3 do número de descargas que o teste realizado à pressão baixa, para alcançar a mesma eficiência.

O efeito dos bocais sobre a autolimpeza do reservatório modificado é estudado na Tabela 4, a qual permite comparar o desempenho dos bocais sob pressões, materiais testados, descargas contínuas e isoladas durante o regime de esvaziamento parcial, sendo este o regime mais exigente em termos de autolimpeza. No regime de esvaziamento parcial o bocal modificado com material particulado leve e em ambas as pressões apresentou desempenho significativamente melhor, pois a baixa pressão atingiu eficiência de 86% contra 52% para o bocal convencional. Além disso, verifica-se da Tabela 4 que à pressão média, necessitou-se da metade do número das descargas do bocal convencional para atingir a mesma eficiência.

Para o material floculento, o reservatório domiciliar modificado conseguiu boa eficiência com os dois dispositivos, já que atingiu valores acima de 83%, porém, à baixa pressão as concentrações de material floculento nas descargas são superiores para o reservatório domiciliar com bocal modificado, indicando que a autolimpeza se fez mais rapidamente. Cita-se, como exemplo, que na primeira descarga C/Co foi igual a 612% para o bocal modificado e C/Co igual a 272% para o bocal convencional.

O bocal modificado mostrou-se indispensável ao se testar o reservatório domiciliar modificado com descargas contínuas de 0,45 l/s. Com material particulado leve o bocal convencional reduziu a eficiência de 86% atingida pelo reservatório domiciliar com bocal modificado, a 1/4. O efeito do bocal modificado com material floculento foi também significativo, pois com 1/3 das descargas no experimento com bocal modificado atingiu-se eficiência de 98%, superior à do bocal convencional.

5. CONCLUSÕES

Os testes realizados com os reservatórios convencional e modificado por Pazetti evidenciaram comportamento distinto de ambos com relação à autolimpeza.

A saída no fundo do reservatório convencional mostrou-se insuficiente para a autolimpeza em relação aos materiais leves (partículas floculentas), mesmo em regime de esvaziamento completo.

O reservatório domiciliar com a geometria modificada, especialmente quanto ao afunilamento do fundo, mostrou-se excelente no aspecto de autolimpeza. Comparando-se a eficiência de autolimpeza do reservatório modificado à do reservatório convencional sob as mesmas condições de esvaziamento, em relação aos materiais leves e pesados, vê-se que no primeiro caso a razão de eficiência de autolimpeza foi de 24%/99%, ou seja, aproximadamente 1:4, enquanto que para o segundo foi de 4%/99%, ou seja, cerca de 1:25.

Dos testes realizados com o reservatório modificado para avaliar a influência da velocidade do jato, durante a operação com vários tipos de suspensões, pode-se tirar várias conclusões. A velocidade do jato dirigido tangencialmente a paredes do reservatório se apresentou como um recurso bastante eficaz em desalojar os sedimentos depositados no fundo e, portanto, eficiente durante a utilização e esvaziamento do reservatório. O reservatório modificado impede completamente o alojamento dos materiais leves como flocos e impurezas orgânicas estranhas. Apesar de os sedimentos densos apresentarem maior tendência de sedimentação no fundo deste reservatório, pode-se promover seu arrasto pela ação do jato através do esvaziamento completo do mesmo.

Em razão do exposto, afirma-se, com certa propriedade, que o emprego do reservatório, modificado com os devidos acessórios e retiradas de fundo, apresenta melhores condições de autolimpeza. Podem-se fazer tais retiradas para alimentar bacias sanitárias com válvula de descarga, caixas de descarga, torneiras em lavanderia ou outros pontos que demandem maiores vazões.

O reservatório modificado pode apresentar condições muito mais satisfatórias se, periodicamente, sujeito ao esvaziamento completo. Tal esgotamento da água pode ser feito pelo uso normal, evitando, desta forma, o desperdício.

Há de se ressaltar que a existência de maior capacidade de autolimpeza tem a finalidade de diminuir os riscos associados à ausência de manutenção e não objetiva substituir a manutenção periódica da caixa.

BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN Public Health Association — Standard method, for the examination of water and wastewater. 13.a ed. Washington 1971, 874 p.

2. AZEVEDO NETTO, José M. — *Água - Redes de distribuição de baixo custo* — Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro, vol. 17, n.º 2, págs. 215-218, abr/jun. 1978.
3. BAITY, H. G. — *Os perigos à saúde nas redes de distribuição d'água* — Boletim da Repartição de Águas e Esgotos.
4. CANELAS, Angela M. S. — *Estudo comparativo sobre sedimentação floculenta* — São Carlos, 1983, dissert. (mestr. hidr. san.) EESC - USP.
5. LIMA FILHO, Raimundo A. — *Reservatório domiciliar* — Aspectos de sua influência na qualidade da água — São Carlos, 1978, dissert. (mestr. hidr. san.) EESC-USP.
6. MARTINS, José A. — *Contribuição para o estudo de canalizações secundárias das redes de distribuição de água potável* — Escola Politécnica da USP, 1963, pág. 147.
7. PAZETTI, Arnaldo — autor da invenção nome: *Caixa d'água*, n.º 004319, data do registro: 30/07/81, no Instituto Nacional da Propriedade Industrial, MU n.º 610104-9.
8. SAMPAIO, Geraldo F. — *Saneamento de uma cidade* — Oficinas Gráficas do S.G.E., Rio de Janeiro, 1947.
9. SOMARUGA, Mário — *Curso prático de obras sanitárias domiciliares*, 5.a ed. Buenos Aires, out/1971.
10. SÃO PAULO (Estado), Secretaria de Obras e do Meio Ambiente de São Paulo — *Programa "Pro-Limp" (I-III)*, São Paulo, 1984.
11. TELES, Enio G. — *Por que k_2 igual a 1 (Estudo sobre a eliminação do coeficiente de hora de maior demanda no cálculo da rede de distribuição de água)*. Anais do IV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, São Paulo, 1971, págs. 124-135.
12. VIANA, Marcelo D. B. — *Contribuição ao estudo da cloração da água potável* — São Carlos, 1976 dissert. (mestr. hidr. san.) EESC - USP.
13. YASSUDA, Eduardo R. — *Finalidades, localização e tipos de reservatórios de distribuição de água* — Anais do I Simpósio de Eng. Sanit., São Paulo, págs. 125-140, abr/1966.
14. YASSUDA, Eduardo R. — *Contribuição para o estudo das vazões de distribuição em rede de água potável* — São Paulo, Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 1960, pág. 241.

OBS.: Este trabalho está baseado na dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da EESC-USP, na área de Hidráulica e Saneamento, pelo primeiro autor sob orientação do segundo.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à colaboração do prof. Eugênio Foresti na preparação do material na forma aqui exposta.