

## **I-149 – ESTUDO DOS DISPOSITIVOS COMERCIAIS DISPONÍVEIS PARA MITIGAR TRANSIENTES HIDRÁULICOS EM LINHAS DE RECALQUE DE ESGOTO SANITÁRIO**

**Luís Felipe Leão Pinheiro<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG-RS). Especialista em Engenharia de Saneamento no Curso de Especialização em Engenharia de Saneamento da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). Engenheiro da Companhia Riograndense de Saneamento CORSAN-RS.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Polônia, 255 – São Geraldo – Porto Alegre - RS - CEP: 90230-110 - Brasil - Tel: (51) 99244-0906 - e-mail: [luís.pinheiro@corsan.com.br](mailto:luís.pinheiro@corsan.com.br)

### **RESUMO**

O artigo descreve os dispositivos existentes no mercado que tenham a finalidade de atenuar o transiente hidráulico provocado pelo golpe de aríete em linhas pressurizadas e que possam ser utilizados em recalques de esgoto sanitário. Após a análise do uso e do funcionamento dos equipamentos de proteção de transientes existentes e suas características, foram selecionados aqueles que melhor se adequam às linhas de recalque. Por se tratar de efluente de esgoto sanitário, verificamos algumas peculiaridades dos dispositivos analisados, as quais são resumidas em um quadro, em que também são descritos o uso desses equipamentos e suas vantagens e desvantagens para a finalidade estudada. Em nossa conclusão, verificamos que a combinação dos equipamentos pode ser uma solução para os inúmeros tipos de topografia e os comprimentos característicos das linhas de recalque.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transiente hidráulico, Equipamento para transientes, Elevatória de esgoto sanitário.

### **INTRODUÇÃO**

Um dos assuntos que requer muito a atenção dos projetistas hidráulicos é o fenômeno do transiente hidráulico e de seus resultados na linha de recalque. Esse fenômeno geralmente percorre toda a extensão da linha de recalque, alterando as características físicas do fluido e até mesmo da tubulação.

No transiente hidráulico, ocorrem as envoltórias de máxima e mínima relativas às variações de pressão e de velocidade resultantes da propagação das ondas elásticas – período em que uma linha de recalque de uma elevatória (ou parte dela) está sujeita a riscos de ocorrência de acidentes e de seus respectivos efeitos colaterais. Tais são os motivos principais que nos levam a estudar o transiente em uma linha de recalque das elevatórias e, posteriormente, os seus sistemas de proteção (equipamentos), quando o sistema se encontra em uma situação de regime variável.(MENDES, 2011).

Atualmente, existem várias soluções disponíveis para a projeção desses sistemas de proteção. Portanto, faz-se necessário analisar, para cada caso, um conjunto de soluções de aplicação otimizada (MENDES, 2011, p. 45).

Desse modo, a seleção do mecanismo de proteção deverá considerar aquele que se apresentar como o mais equilibrado em termos de eficiência na proteção contra os extremos da variação de pressão, de investimento econômico e, ainda, de impactos visual e ambiental.

As informações acerca dos equipamentos de proteção que têm por função atenuar os efeitos e até mesmos os acidentes graves do transiente hidráulico estão em sua maioria diluídas em diversos artigos, catálogos e livros de hidráulica e bombeamento, que ora focam em um determinado equipamento, apontando seus prós e contras, ora abordam rápida e superficialmente alguns tipos de equipamentos. Em sendo assim, o presente estudo, sabendo do considerável custo econômico do sistema de proteção para transiente hidráulico e do fato de não existir uma solução universal para a proteção de todos os sistemas de elevatórias, visa a suprir um conhecimento sobre os tipos de equipamentos de proteção ante o golpe de aríete e onde aplicá-los na linha de

recalque, bem como sobre suas vantagens e desvantagens, contribuindo, assim, para a tomada de decisão no momento de elaborar o projeto hidráulico. ( de SOUZA, 2008)

Para tanto, ao advir da necessidade de resumir e simplificar o que se encontra espalhado sobre o assunto, o artigo realiza uma revisão bibliográfica dos equipamentos de proteção existentes no mercado e os compara quanto às suas vantagens e desvantagens na utilização, levando em conta se podem ou não ser empregados na linha de recalque de esgoto sanitário. Trata-se, assim, de um estudo de caso do tipo exploratório, baseando-se na revisão de artigos, catálogos e bibliografia da área com o objetivo de descrever os principais equipamentos de proteção usados na linha de recalque de elevatórias para minimizar os possíveis efeitos danosos advindos do mau dimensionamento ou da escolha errada dos equipamentos de proteção.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

### **Transientes hidráulicos**

No projeto hidráulico, o dimensionamento tem como prioridade estabelecer os cálculos hidráulicos no regime permanente. O regime permanente possibilita manter constantes suas variáveis – vazão, pressão, variações dos níveis de reservatórios, demandas de consumos etc. – ao longo de determinado tempo. Para promover uma simulação próxima à que seria obtida na realidade, devemos estabelecer uma segunda verificação dos cálculos, elaborando a simulação com entes dinâmicos que têm origem em diferentes causas involuntárias, como manobras operacionais com válvulas, variações bruscas no consumo, variações nos níveis dos reservatórios, partida ou parada de conjunto motor-bomba, bem como em outras causas inesperadas, sobre as quais não se tem controle, como corte no fornecimento elétrico, rompimento de tubulação e alterações no consumo (a exemplo do combate a incêndios com abertura de hydrante). Em ambos os casos, surge o que chamamos de transientes hidráulicos dentro da tubulação, os quais podem ser lentos ou rápidos, conforme a situação que se apresenta (SILVA, 2006, p. 20).

A alteração brusca no movimento do fluido ou sua paralisação rápida dá origem ao fenômeno transitório que oscila entre as máximas e as mínimas até voltar a um novo estado, que pode ser a parada total do fluido na tubulação ou um novo regime permanente com outros parâmetros de pressão e velocidade (NOBRE, 2015, p. 2). O regime variável, que ocorre durante a passagem de um regime permanente para outro regime permanente, através das situações descritas acima, é característico dos condutos forçados e pode ocorrer em qualquer tipo de escoamento, seja esse por bombeamento ou por gravidade. A pressão exercida pelo líquido sobre a parede da tubulação é diferente da pressão atmosférica, e a água aduzida é dotada de energia cinética e potencial.

Como dissemos, é comum que haja alguma parada brusca e inesperada do bombeamento, sendo que as alterações nas condições de escoamento produzem grandes variações de pressão e de velocidade de escoamento do fluido em função do tempo. Essa interrupção do bombeamento pode causar sérios danos ao sistema adutor, que não foi projetado para suportar subpressões ou sobrepressões, comprometendo a vida útil do sistema.

O golpe de aríete é uma sequência alternada de sobrepressões (pressão acima do regime normal do escoamento) e subpressões (pressão abaixo do regime normal do escoamento), sendo que seus valores são aproximadamente iguais em módulo, porém de efeito contrário (NOBRE, 2015, p. 2). Enquanto a sobrepressão tenta explodir o tubo, expandindo-o de dentro para fora, a subpressão tenta implodi-lo, sucionando-o de fora para dentro. Se as paredes do tubo não estiverem calculadas para resistir a esse fenômeno ou se não houver proteção adequada, ocorrerá o colapso da tubulação.

O estudo desse fenômeno ou golpe é de grande importância para os projetos hidráulicos de tubulações, uma vez que não considerar tal fenômeno como característico dos fluidos pode trazer problemas para a tubulação dimensionada, tais como:

- rompimento da parede do tubo devido aos efeitos de sobrepressões;
- estrangulamento do tubo devido aos efeitos de subpressões ou de separação da coluna líquida;
- queima de motor elétrico devido à rotação reversa da bomba;
- destruição de instalações, podendo ocasionar perda de bens materiais ou até mesmo de vidas humanas.

## **Equipamentos disponíveis**

Existem no mercado diversos tipos de equipamentos para a proteção das tubulações quando expostas ao golpe de aríete. São equipamentos que podem ser concebidos para uso exclusivo na proteção do transiente (como o reservatório hidropneumático – RHO) ou que têm outras funções, mas também cumprem o papel de proteção quando o sistema está sob o efeito do transiente (como as ventosas).

Os equipamentos usados como elementos de proteção da tubulação são dimensionados para a situação simulada na fase de projeto do sistema hidráulico que se quer proteger. Os locais onde esses equipamentos são colocados e suas dimensões variam de acordo com a topografia, os tipos de fluido e as pressões máximas e mínimas obtidas nas simulações.

Os dispositivos de proteção de instalações hidráulicas contra os efeitos dos transitórios mais usados são: chaminé de equilíbrio, tanque alimentador unidirecional, reservatório hidropneumático, válvula antecipadora de onda, válvula de alívio, ventosas, volantes de inércia, entre outros. A seguir, será apresentado um breve resumo de cada dispositivo citado.

### **Chaminé de equilíbrio**

Basicamente, a função da chaminé de equilíbrio é prevenir o golpe de aríete. O equipamento é um reservatório que pode ser de aço ou concreto, com seu volume calculado para atender ao projeto de proteção do transiente. Possui na sua entrada uma válvula de controle e dissipadores de energia do tipo orifício.

Ao contrário dos grandes reservatórios e de outras estruturas hidráulicas que possuem uma alta inércia, agindo como uma grande barreira que reflete a onda quando esta se choca com o elemento hidráulico, as chaminés de equilíbrio têm baixa inércia, o que possibilita interromper as ondas de pressão (ou seja, o golpe de aríete) no seu interior, regularizando e permitindo variações de carga ao dissipar energia.

Com o uso desse equipamento, as amplitudes das oscilações de pressão no conduto forçado são dissipadas por meio de reflexões de ondas de massa no seu interior, em função da entrada e saída de água (ANDRZEJEWSKI, 2009, p. 40).

Silva (2006, p. 59) acrescenta que os dissipadores de energia são construídos de forma tal que provoquem grande perda de carga na entrada e pequena perda de carga na saída para a rede hidráulica, permitindo, dessa forma, um enchimento lento e uma descarga rápida com flutuação do nível em função da variação de pressão na rede. Sua função é absorver ou suprir vazões e pressões nas fases de regime transitório das redes.

Ao absorver o transiente quando a onda de baixa pressão estiver atuando, o reservatório proporcionará uma descarga rápida do seu fluido interno para a tubulação, preenchendo os espaços da tubulação para evitar os espaços vazios (vácuo) e um possível colapso. Já quando estiverem atuando no sistema, as ondas de alta pressão da chaminé de equilíbrio irão proporcionar, como dito anteriormente, uma perda de carga no sentido de evitar o rápido enchimento do reservatório.

Tais condições são relevantes quando da definição do ponto para instalar a chaminé e determinar sua altura.

Depois de simulado o transitório da rede, podemos apontar com mais precisão o local ideal, pois o comportamento das ondas máximas e mínimas determinará a proximidade do equipamento em relação ao plano de carga efetivo do reservatório mais alto ou à linha piezométrica da estação de bombeamento. Essa condição é utilizada como referência de flutuação para mais e para menos nas fases de transitórios hidráulicos, por isso as fases são instaladas nos pontos altos do trecho da rede hidráulica, de modo a conseguir a altura de chaminé mais baixa possível e, assim, evitar custos adicionais na construção (SILVA, 2006, p. 60).

### **Tanque alimentador unidirecional (TAU)**

Assim como a chaminé de equilíbrio, o TAU também é um reservatório que pode ser construído com aço ou concreto. Tem baixa altura e contém em seu interior água em quantidade suficiente para suprir a rede em casos de desligamento de bombas ou rompimentos de redes que causem pressões inferiores ao seu nível máximo de funcionamento.

A descarga do TAU é ligada à tubulação por uma válvula de retenção, podendo ser dotado de um barrilete, que impede a passagem da água da adutora ou da linha de recalque para o reservatório. A alimentação do reservatório do TAU é feita por tubulação que, se comparada à tubulação da saída do reservatório, é bem menor e controlada por válvula de altitude para controle do nível de água e válvula tipo borboleta ou gaveta para isolamento e manutenção. Como o tubo que alimenta o reservatório é pequeno em comparação ao diâmetro da saída, a alimentação do TAU, para evitar entupimento em caso de esgoto sanitário, deve estar ligada a uma fonte de água bruta ou tratada.

O TAU alimenta a linha quando a pressão atinge valores inferiores à sua cota piezométrica, ou seja, levanta a envoltória das pressões mínimas até seu nível mínimo. Em adutoras de grande extensão, o TAU funciona como complemento de outros dispositivos de proteção (TSUTIYA, 2006 apud ANDRADE; ARAÚJO, 2015, p. 3), não atuando em trechos convexos, e sim em trechos de ponto de máxima cota.

Trata-se de um dispositivo capaz de absorver o golpe de aríete, permitindo a oscilação da água. É adotado em condições topográficas favoráveis e alturas geométricas pequenas. Deve ser localizado tão próximo quanto possível das máquinas (NETTO, 1998 apud ANDRADE; ARAÚJO, 2015, p. 3). Esse sistema não é utilizado para atuar na faixa de pressão máxima do transiente.

### **Reservatório hidropneumático (RHO)**

Como os demais equipamentos apresentados, o reservatório (ou tanque) hidropneumático é um dispositivo de controle de transiente hidráulico, operando de forma automática, visando ao equilíbrio dos sistemas adutores.

Consiste em uma câmara estanque, que pode ser construída em concreto ou aço e armazena ar e água em seu interior. O suprimento de água (esgoto, água bruta) provém de tubulação ou linha de recalque, por meio da qual se pode controlar o transiente. A tubulação se liga ao equipamento através de um barrilete, por exemplo, havendo nessa ligação uma placa de orifício diferencial destinada a gerar perda de carga quando ocorre sobrepressão (onda com alta pressão) do transiente. O equipamento possui, ainda, válvula tipo borboleta ou gaveta para isolamento e manutenção do RHO.

Existem dois sistemas usados para a alimentação ou para a manutenção do volume de ar comprimido dentro do RHO. Um deles é o tradicional sistema de ar comprimido mantido por compressores elétricos ou por motores à combustão. O outro é o sistema de bexiga (uma ou mais) que tem a função de manter um determinado volume de ar sobrepressão dentro do RHO. Ambos os sistemas são dimensionados para manter a pressão interna de ar igual à da rede hidráulica no regime permanente.

Quanto à operação, é prioritário se certificar de que as bexigas ou o compressor foram executados de acordo com os dados fornecidos pela análise do transiente, para evitar danos ao equipamento.

O tanque deve ser pré-carregado, permitindo a entrada de uma pequena quantidade de líquido que pressurize o tanque de acordo com a análise do transiente. Logo após, deve ser ligado o bombeamento e liberada a entrada do líquido do sistema no interior do RHO. Com isso, o ar vai sendo comprimido até atingir a pressão de operação preestabelecida e, enfim, a estabilização do sistema como um todo. Essa fase de pré-carga e colocação do RHO em operação varia conforme o tipo de equipamento e as instruções do fabricante.

Com o golpe de aríete, em função da parada do sistema, o líquido continua a ser transportado pela sua própria energia cinética, gerando as ondas de alta pressão e logo em seguida uma onda de baixa pressão. Nesse momento, com a onda negativa, a pressão de ar dentro do tanque pneumático se torna muito maior do que a pressão do líquido na linha (tubulação), o que faz com que, devido à energia elástica, o líquido seja descarregado do RHO para a linha, diminuindo as quedas de pressão ao longo da tubulação.

Todo líquido armazenado no tanque, excluído o volume tampão em torno de 10% a 20%, é descarregado na tubulação, até o momento de retorno da onda de pressão positiva.

Com a fase de pressão positiva atuando novamente na tubulação, o fluxo dentro do RHO se inverte, voltando a ser preenchido novamente de líquido o volume interno do reservatório, absorvendo, assim, a sobrepressão que está atuando no sistema.

O processo se torna cíclico, até decrescer com as perdas de energia causadas principalmente pela fricção na tubulação. Com a parada total do sistema, o nível estático é alcançado. E, ao religar o sistema de bombeamento novamente, o volume de ar retorna à condição preestabelecida<sup>1</sup>.

### **Tanque hidropneumático com membrana (bexiga)**

Nos tanques hidropneumáticos convencionais (sem bexiga), o ar comprimido que está em contato com a água se dissolve e o volume de ar diminui. Desse modo, o compressor deve partir periodicamente para introduzir ar comprimido e compensar o ar perdido pela dissolução.

Já os tanques hidropneumáticos com membrana diferenciam-se dos tanques hidropneumáticos convencionais por terem uma câmara separada por uma membrana com o formato de bexiga, que tem por matéria o butil e deve ser montada dentro do reservatório. A função da membrana é isolar o líquido do ar comprimido, permitindo, assim, dispensar a utilização de compressores para a reposição contínua do ar comprimido que se dissolve na água.

No tanque com membrana, a carga do ar comprimido se faz uma única vez, quando o tanque é instalado na adutora. O volume de ar comprimido permanece inalterado por anos. O objetivo dessa solução é a simplificação do método de regulação e de operação do tanque, e os resultados disso são a minimização dos custos do projeto pela eliminação dos compressores de ar comprimido e a redução dos custos de manutenção e operação, tornando o projeto mais amigável para o meio ambiente. Ademais, o sistema tem uma maior segurança e confiabilidade na proteção da adutora.

A bexiga é fabricada sob medida para cada tanque, de maneira que durante a expansão máxima ela não trabalhe estirada ou expandida, proporcionando-lhe uma longa vida útil. A expectativa de vida útil da bexiga é de 10 a 15 anos<sup>2</sup>.

### **Volante de inércia para conjunto motor-bomba**

Havendo saída brusca de operação do conjunto motor-bomba de uma linha de recalque, um dos possíveis meios de redução dos efeitos do transiente hidráulico pode ser conseguido quando se garante a continuidade da rotação do conjunto, com o aumento do momento de inércia da bomba centrífuga e do motor por mais alguns instantes. Para conseguir o aumento do momento de inércia do grupo motor-bomba e, conseqüentemente, o aumento do seu tempo de paragem, pode-se instalar um sistema com massa adicional ao equipamento – o volante de inércia.

O volante de inércia, que consiste em um disco construído em aço e instalado através de acoplamentos elásticos inseridos entre o motor e a bomba, é dimensionado para aumentar o momento de inércia do conjunto motor-bomba e diminuir a taxa de variação de rotação do conjunto por ocasião de desligamento programado ou falta de energia elétrica (SILVA, 2006, p. 10).

Portanto, tem por função atuar como um prolongador do período de rotação do conjunto motor-bomba, provocando uma limitação na taxa de queda de rotação do conjunto girante em caso de desligamento e provocando partidas suaves por lentidão no início da rotação do conjunto motor-bomba. Esse efeito retardador do tempo de manobra permite prosseguir com o fornecimento de líquido à linha de recalque da elevatória, atenuando o efeito de desaceleração da coluna líquida a jusante e, com isso, prevenindo a ocorrência de situações de vácuo na extensão inicial da conduta.

Uma das desvantagens do volante de inércia é percebida no caso de linhas de recalque muito extensas. Nessas, o peso do volante de inércia é incompatível, acrescentando uma exagerada potência no motor da bomba para vencer a inércia de partida do conjunto.

---

<sup>1</sup> Informação colhida no catálogo impresso da Bermad, documento que carece de dados bibliográficos para referência.

<sup>2</sup> Informação colhida no catálogo impresso da Charlante, documento que carece de dados bibliográficos para referência.



Apesar da limitação referida acima, o equipamento, ao proporcionar o aumento da inércia do grupo motor-bomba eventualmente obtido pelo volante de inércia, pode constituir uma solução simples para alguns casos de elevatórias mais simples, com linha de recalque de curta extensão e altura de elevação reduzida. Além disso, quando aplicado em estações de bombeamento, pode limitar as pressões negativas e proteger contra a separação da coluna líquida (MENDES, 2011, p. 58).

Já em relação às sobrepressões, não há diferenças significativas em condições variadas de simulação.

### **Válvula de controle antecipadora de onda**

A válvula de controle antecipadora de onda é uma válvula instalada fora da linha de operação hidráulica e ativada por diafragma.

Para exemplificar o funcionamento desse equipamento, podemos relembrar que a súbita parada das bombas de um sistema hidráulico é seguida de uma queda de pressão, enquanto a coluna de fluido segue viajando pela linha. Uma vez que a coluna do fluido regressa, a válvula se abre em reação à queda de pressão e, mediante a pré-abertura da válvula, o fluido da tubulação se dissipa na onda de alta pressão que retorna (liberando na atmosfera o conteúdo da tubulação). Se não fosse por esse sistema de proteção, a coluna iria golpear a válvula de retenção, instalada logo depois da válvula, que se fecha e protege o sistema de bombeamento, refletindo a onda de alta pressão, a qual retorna em sentido contrário. Essa onda pode chegar a altas velocidades, de até 4 Mach. A eliminação dessa onda requer antecipá-la e atuar de antemão.

O equipamento é colocado em derivação no encanamento de recalque e se abre automaticamente quando a pressão atinge um valor predeterminado, descarregando a água para um reservatório ou um poço. Também estão disponíveis modelos que possuem um orifício que elimina para a atmosfera um certo volume de água, gerando desse modo uma redução de pressão que contrabalança a sobrepressão. A válvula se comporta como uma válvula de alívio, ou seja, aguarda a ocorrência da sobrepressão para então se abrir para a atmosfera, proporcionando a vazão de alívio necessária. Já quando abre instantaneamente após a ocorrência do transiente, opera como válvula supressora (MACINTYRE, 1997, p. 719).

### **Válvula de admissão e expulsão de ar (ventosas)**

A válvula de admissão e expulsão de ar é um dispositivo hidromecânico muito usado em condutos forçados de água tratada, água bruta ou esgoto sanitário. Opera para permitir a entrada de ar quando há a redução de pressão em pontos mais altos da tubulação ou quando é feita a manutenção da rede e seu esvaziamento. Também serve para eliminar a saída de ar que tenha ficado ou entrado na adutora ou na linha de recalque, principalmente se o traçado do perfil da tubulação for do tipo sifão ou tender a um formato de “v” invertido. Outra função das ventosas no sistema hidráulico (rede de distribuição, adutoras e linhas de recalque) se relaciona à proteção quando há a separação da coluna de água decorrente de um golpe de aríete.

O dispositivo é aplicado prioritariamente nos pontos mais elevados da tubulação, topograficamente falando, sendo determinada sua instalação a partir de um perfil da rede hidráulica, pois a sua principal função é expulsar e admitir o ar atmosférico da tubulação, quando necessário.

Dentre os tipos de ventosas existentes no mercado, podemos destacar a ventosa automática de simples efeito (ventosa simples) e a ventosa automática de duplo efeito (e tríplece função). Também existem atualmente as ventosas de alto desempenho (quadrifunção), voltadas para esgoto bruto e tratado.

As ventosas automáticas de simples efeito possuem uma única função, a de trabalhar expulsando o ar acumulado na tubulação. Porém, sempre convém que as válvulas de expulsão também admitam ar para a tubulação, permitindo a entrada do ar atmosférico para evitar o esmagamento da tubulação quando esta está sob efeito de pressão negativa, mesmo que em pouca quantidade.

O modo de funcionamento da ventosa de simples efeito que se destina à expulsão do ar acumulado na tubulação consiste em pressionar o orifício da válvula, que se abre quando atinge certo limite de projeto, possibilitando, então, a expulsão do ar acumulado.

A ventosa automática de duplo efeito, por sua vez, é projetada para executar a dupla função de admitir o ar quando a pressão cai abaixo da pressão atmosférica e expulsar o ar que é arrastado pela água até os pontos mais elevados da tubulação.

Alguns fabricantes chamam suas válvulas de expulsão de ar de “ventosas de duplo efeito” e as ventosas com um orifício grande e um orifício pequeno de “ventosas de duplo efeito e tríplice função”. Nessas últimas, ocorre que, no orifício maior, o ar entra e sai (duplo efeito) em grandes quantidades e, no orifício menor, saem as pequenas bolhas de ar que se formam durante a operação normal do sistema, tendo essa válvula, portanto, a tríplice função de encher, esvaziar e operar. Segundo Rodrigues, Castro e Aquino (2009, p. 2):

As ventosas automáticas de duplo efeito são constituídas por um corpo dividido em dois compartimentos – o principal e o auxiliar – contendo cada um, em seu interior, um flutuador esférico ou cilíndrico. Os flutuadores de aço inoxidável permitem o seu funcionamento em altas pressões sem que haja colapso. O funcionamento do flutuador é facilitado por meio de guias de seção circular.

As ventosas automáticas de duplo efeito têm por finalidade específica:

- a) Expelir adequadamente o ar deslocado pela água durante o enchimento de uma adutora;
- b) Admitir quantidade suficiente de ar, durante o esvaziamento de uma adutora, a fim de evitar a formação de sifões e manter a pressão de esvaziamento dentro dos limites;
- c) Expelir automaticamente o ar que venha a formar-se com a adutora já em operação.

As ventosas de tríplice função, além de combinarem as funções de expulsão e admissão de ar (também executadas pelas ventosas cinéticas), têm por característica possibilitar a expulsão de ar, assim como fazem as ventosas automáticas. O dispositivo cinético elimina grandes volumes de ar durante a operação de enchimento da tubulação e admite grandes quantidades de ar durante a operação de esvaziamento, bem como, quando há a separação da coluna de água, abre e alivia as pressões negativas, evitando o vácuo com a admissão de ar. Já o dispositivo automático da ventosa foi projetado para expelir pequenas bolhas de ar para a atmosfera quando a tubulação está totalmente preenchida e operando sob pressão.

As ventosas cinéticas de alto desempenho – também chamadas de quadrifunção –, que atuam na eliminação do transiente gerado por um golpe, constituem o lançamento mais recente em termos de ventosa e possuem a característica de terem um único cilindro tronco onde executam as funções e possuem assessorios de fácil troca e manutenção.

O componente cinético da ventosa, que se encontra no orifício de grande passagem, expulsa elevadas vazões de ar durante o enchimento do sistema e admite grandes vazões de ar durante o esvaziamento ou quando ocorre separação de coluna de água.

O ar em alta velocidade não provoca o fechamento prematuro do flutuador. O fechamento da ventosa só ocorre quando a água preenche o corpo da ventosa e eleva o flutuador até a sede de vedação. A qualquer momento durante o funcionamento do sistema a pressão interna da tubulação pode cair abaixo da pressão atmosférica, fazendo com que o ar seja admitido.

A expulsão do ar de forma suave reduz a ocorrência de surtos de alta pressão e outros fenômenos destrutivos. A admissão de ar em resposta à pressão negativa protege o sistema de condições destrutivas do vácuo, prevenindo danos causados pela separação da coluna de água – o que é essencial para drenar eficientemente a tubulação. O componente automático de expulsão de ar da ventosa libera o ar aprisionado quando o sistema está pressurizado<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Informação colhida no catálogo impresso da A.R.I., documento que carece de dados bibliográficos para referência.

Essa ventosa elimina e repõe instantaneamente o ar em tubulações e condutos forçados, minimizando e evitando as sobrepressões e as subpressões que ocorrem durante a operação dos sistemas hidráulicos. Além disso, ela elimina automática e instantaneamente as bolhas de ar que se formam naturalmente durante a operação dos sistemas hidráulicos, bem como possibilita a função de fechamento lento (*slow closing*), voltada para o amortecimento e a atenuação dos transientes durante a fase de parada dos sistemas hidráulicos. Esse dispositivo proporciona, ainda, estabilização e melhora do fluxo ao longo de tubulações e condutos, por conseguinte minimizando e eliminando o golpe de aríete<sup>4</sup>.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Faz parte dos resultados desse trabalho a exposição de um resumo dos equipamentos usados na proteção do transiente hidráulico, a partir da revisão bibliográfica realizada no capítulo anterior. Tal resumo consta em um quadro (Quadro 1), no qual são inseridas propriedades dos equipamentos e suas funções nas linhas de recalque de esgoto. Assim, para cada dispositivo anti-golpe citado na revisão bibliográfica desse artigo, que coincidem com os modelos disponíveis no mercado mais utilizados, o quadro a seguir traz informações relativas a características, usos, vantagens, desvantagens peculiaridades, cuidados, etc.

A tabulação dessas informações obedece uma ordem qualitativa e reúne os dados empíricos relativos aos equipamentos analisados, tais como: proteção contra envoltória de alta pressão, proteção contra envoltória de mínima pressão, demandas especiais e avaliação de custos.

Salientamos que nem todos os equipamentos estudados puderam ser avaliados de acordo com todos os quesitos, pois não possuem características e princípios de funcionamento semelhantes.

Ressaltamos, ainda, que na segunda coluna da tabela, logo após a coluna com a nomenclatura de cada equipamento, constam as situações ideais em que poderão ser utilizados os dispositivos, segundo instruções dos fabricantes e da literatura encontrada. Essa coluna também dá ênfase às linhas de recalque de esgotamento sanitário, pois normalmente a tubulação de esgoto exige o emprego de equipamentos específicos, com determinadas características que variam dentre os diferentes fabricantes e modelos do dispositivo. Por isso, recomenda-se sempre a consulta ao fabricante, visto que muitas vezes as diferenças existentes entre o equipamento destinado para água tratada e o equipamento destinado para esgoto sanitário são segredos industriais.

## RESULTADOS

Segue a planilha com o resumo dos equipamentos, levando em conta três itens importantes para tomada de decisão do projetista hidráulico que são: quando usar, vantagens e desvantagens dos equipamentos.

A coluna - Quando usar - nos dá uma noção das possibilidade de uso do equipamento em diferentes situações e possibilidade .

As vantagens e desvantagens dos equipamentos estão resumidas nas colunas seguintes para que se possa fazer uma comparação simples entre os equipamentos.

---

<sup>4</sup> Informação colhida no catálogo impresso da Valloy, documento que carece de dados bibliográficos para referência.



**Tabela 1 – Quadro comparativo dos equipamentos de proteção e suas características**

<b>Equipamento</b>	<b>Quando usar</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Chaminé de equilíbrio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubulações e túnel longo;</li> <li>- Não é recomendado para a linha de recalque de esgotamento sanitário, por ser aberto e ter contato com a atmosfera (liberação de odores);</li> <li>- Se houver alguma alteração brusca e não prevista na simulação do TH na envoltória de máxima, haverá o transbordamento do líquido – o que não é aconselhável para a linha de recalque de esgoto sanitário.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução das envoltórias máximas e mínimas de pressão;</li> <li>- Não consumir energia elétrica;</li> <li>- Ter baixa manutenção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo de construção elevado, sendo que a viabilidade econômica depende da proximidade da linha piezométrica com o perfil topográfico da rede;</li> <li>- Liberação de odores.</li> </ul>
Tanque alimentador unidirecional (TAU)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubulações e túnel longo;</li> <li>- Trechos extensos e de pouca declividade;</li> <li>- Pontos de cota máxima;</li> <li>- Recomendado o uso próximo de bombeamento ou do reservatório;</li> <li>- Usar fonte de abastecimento (água bruta ou tratada) quando se tratar de linha de recalque de esgoto sanitário.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Controle da envoltória mínima de pressão, para evitar colapso na rede;</li> <li>- Não consumir energia elétrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo elevado de construção;</li> <li>- Controle apenas da envoltória de mínima pressão;</li> <li>- Proteção apenas de trechos específicos da rede;</li> <li>- Manutenção de boia ou válvula controladora de nível, com restrições para o esgoto, como a válvula agulha.</li> </ul>
Reservatório hidropneumático (RHO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubulações e túnel longo;</li> <li>- Usar equipamento próprio para esgoto sanitário, conforme orientação do fabricante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Controle das envoltórias máximas e mínimas de pressão;</li> <li>- Não dependência do perfil topográfico da rede.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo elevado de construção;</li> <li>- Consumo de energia elétrica quando usado em equipamentos elétricos de ar comprimido;</li> <li>- Custo de manutenção do dispositivo.</li> </ul>
Volante de inércia para conjunto motor-bomba	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubulações e túnel mais eficiente para distâncias curtas e médias;</li> <li>- Uso em elevatórias de esgoto sanitário de médio e grande porte e com poço seco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Controle apropriado da envoltória mínima de pressão;</li> <li>- Custo relativamente baixo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não controla suficientemente a envoltória de máxima pressão;</li> <li>- Aplica-se no controle das mínimas pressões;</li> <li>- Consome mais energia elétrica do que o sistema sem o volante de inércia, devido ao aumento da inércia do conjunto</li> </ul>

			girante.
Válvula de controle antecipadora de onda	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quando se trata de linha de recalque de esgoto sanitário, a descarga da vazão excedente deve ter um destino final que não seja a liberação para a atmosfera.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Controle da envoltória de máximas pressões;</li> <li>- Não consumo de energia elétrica;</li> <li>- Custo relativamente baixo;</li> <li>- Há a opção de formar barrilete com mais de uma válvula.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não controla envoltória de mínima pressão (está limitada à capacidade de resposta da válvula ao tempo característico da rede);</li> <li>- Aplica-se com boa performance até o diâmetro 200 mm;</li> <li>- Descarrega a vazão para a atmosfera ou para um destino preestabelecido (retorno ao sistema do fluido);</li> <li>- Precisa ser usado com outro equipamento de proteção para o controle da envoltória de mínima.</li> </ul>
Válvula de admissão e expulsão de ar (ventosas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pode ser usada em linha de recalque de esgoto, mas somente os modelos específicos para esgotamento sanitário.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simplicidade de aplicação;</li> <li>- Baixo custo de aquisição, operação e manutenção quando aplicada com a função de introduzir a pressão barométrica local no interior da tubulação, evitando, dessa forma, o colapso ou a deformação da seção transversal da rede hidráulica;</li> <li>- De grande utilidade na fase de enchimento da rede;</li> <li>- Permite a remoção de ar em condições controladas, para evitar o rejuntamento de colunas líquidas no interior da tubulação;</li> <li>- Muito útil nas fases de operação da rede;</li> <li>- Evita a formação de bolsões de ar no interior da tubulação, viabilizando a plena capacidade de adução da rede hidráulica;</li> <li>- Quando bem projetada, quase não existem desvantagens.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limita a ação no sentido de proporcionar proteção contra os transitórios hidráulicos, isto é, só atinge valores de pressão iguais aos da pressão atmosférica do local no interior da tubulação, estabelecendo o equilíbrio da pressão interna com a pressão local;</li> <li>- Se não expulsar o ar no TH de maneira controlada, pode gerar um TH chamado de secundário;</li> <li>- Fundamental a utilização de um <i>software</i> para determinar a posição da ventosa em locais onde há pressão negativa, para evitar o TH secundário.</li> </ul>

## CONCLUSÕES

Na revisão bibliográfica realizada acerca dos equipamentos de proteção voltados para minimizar os efeitos do golpe de aríete, a maior dificuldade foi encontrar textos acadêmicos que tratassem especificamente de equipamentos de proteção para condutos forçados (tubulação) para esgoto sanitário. A coleta de informações sobre esses produtos tomou como base os catálogos dos fabricantes que são mais conhecidos no mercado – Bernad, Valloy e outros.

No que diz respeito aos equipamentos, a ventosa é a mais difundida e utilizada. Isso se deve à variedade de funções desse equipamento, mesmo que não tenha por função principal atuar na proteção de transiente. Depois, é recorrente o emprego do RHO com bexiga, que proporciona grandes vantagens na sua aplicação. Contudo, devido ao tipo de perfil topográfico da tubulação em análise, o mais comum é que seja usado mais de um equipamento de proteção.

A combinação de equipamentos depende do perfil da tubulação, bem como das suas envoltórias de máxima e mínima. Com isso, torna-se possível aproveitar as características de cada equipamento que em conjunto visam a atenuar os efeitos indesejáveis que podem ocorrer na linha de recalque, alcançando, assim, um melhor resultado no sistema de esgotamento sanitário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, Paula Nobre de; ARAÚJO, John Kenedy de. **Aplicação do tanque de alimentação unidirecional como dispositivo atenuador do golpe de aríete em adutoras**. 2015. Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – Brasília/DF. Disponível em: <[http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-844\\_aplicacao-do-tanque-de-alimentacao-unidirecional-como-dispositivo-atenuador-do-golpe-de-ariete-em-adutoras](http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-844_aplicacao-do-tanque-de-alimentacao-unidirecional-como-dispositivo-atenuador-do-golpe-de-ariete-em-adutoras)>. Acesso em: 15 jun. 2017.
2. ANDRZEJEWSKI, Edgar Alberti. **Avaliações numéricas de chaminés de equilíbrio: subsídios para projetos de circuitos de geração**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
3. MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1997.
4. MENDES, Luís Filipe Martins. **Métodos clássicos de proteção de sistemas elevatórios contra o Golpe de Aríete**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Engenharia do Ambiente, perfil Engenharia Sanitária – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.
5. RODRIGUES, Marcus Vinícius Sousa; CASTRO, Marco Aurélio Holanda de; AQUINO, Marisete Dantas de. **Modelagem computacional de ventosas automática de duplo efeito com abertura e fechamento não instantâneos**. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22 a 26 de novembro de 2009, Campo Grande/MS. Disponível em: <[http://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_194\\_n\\_1509.pdf](http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_194_n_1509.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2017.
6. SILVA, Pedro Alves. **Amortecimento da celeridade de onda em condutos forçados**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Engenharia Hidráulica, área de concentração Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
7. de Souza, Edson Victor. **Uma Contribuição para o pré-dimensionamento de reservatório hidropneumático para atenuação de transitórios hidráulicos**. 2008. Dissertação - Universidade Estadual de Campinas, Campinas - 2008.