



I-037 – OPERAÇÃO DO SISTEMA TAQUACETUBA PARA A TRANSFERÊNCIA DE ÁGUA DO RESERVATÓRIO BILLINGS PARA REPRESA GUARAPIRANGA – REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

James Shiromoto⁽¹⁾

Engenheiro Mecânico pela Escola Politécnica da USP (1980). Engenheiro do Departamento de Produção Sul da Região Metropolitana de São Paulo da Sabesp.

José Carlos Leitão

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da USP (1975). Pós-graduado em Engenharia Hidráulica pela Escola Politécnica da USP (1986). Gerente do Departamento de Produção Sul da Região Metropolitana de São Paulo da Sabesp.

Milton Tomoyuki Tsutiya

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da USP (1975). Mestre em Engenharia pela Escola Politécnica da USP (1984). Doutor em Engenharia pela Escola Politécnica da USP (1990). Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP. Engenheiro da Sabesp desde 1976, com experiência nas áreas de planejamento, projeto, pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Engenheiro da Assessoria para Desenvolvimento Tecnológico da Sabesp.

Endereço⁽¹⁾: Rua Graham Bell, 647 – Bairro Alto da Boa Vista – São Paulo – SP – CEP: 04737-030 – Brasil – Tel: (11) 5682.2965 – Fax: (11) 5521.5803 - e-mail: jshiromo@sabesp.com.br

RESUMO

O sistema Taquacetuba é responsável pela transferência de 4 m³/s de água bruta do reservatório Billings para a represa Guarapiranga. Essa transferência tem como objetivo reforçar o sistema Guarapiranga, o segundo maior da Sabesp, e que corresponde a 20% da produção de água da Região Metropolitana de São Paulo. O sistema Taquacetuba é possivelmente o mais complexo sistema hidráulico da Sabesp, razão pela qual será objeto deste trabalho, que apresenta a descrição do sistema, os equipamentos e instalações, operação em regime permanente e transitório, e suas condições operacionais. Para o funcionamento adequado das duas elevatórias (flutuante e principal) foi construído uma chaminé de equilíbrio que tem a função de desacoplar os bombeamentos, permitir a partida sequencial das bombas e proteger as tubulações de PEAD da elevatória flutuante. Na linha de recalque da elevatória principal foram necessários ventosas em 24 posições, sendo duplicadas em 7 posições, totalizando 31 posições para que o sistema adutor opere adequadamente. Além disso, foram executadas os seguintes equipamentos de proteção contra os transitórios hidráulicos: RHO, TAU e Stand Pipe. O sistema Taquacetuba encontra-se em operação desde setembro de 1998 e tem funcionado adequadamente, entretanto, vem sofrendo problemas de intermitência decorrentes de oscilações na alimentação elétrica por se tratar de ponta de rede.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema Taquacetuba, Transitórios Hidráulicos, Transferência de Água, Represa Guarapiranga, Reservatório Billings.

INTRODUÇÃO

A Sabesp abastece cerca de 18 milhões de habitantes na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) distribuída em 39 municípios. Destes municípios, 28 são atendidas pelos oito sistemas produtores que formam o sistema integrado, compreendendo 8 estações de tratamento de água, 1.200km de adutoras, 135 reservatórios, cerca de 24.000km de redes de distribuição de água. A vazão total dos sistemas produtores é de aproximadamente 66m³/s.

A grande expansão populacional ocorrida nos últimos anos na RMSP causou um grande impacto nas demandas de água, e a partir de meados do ano de 2000, com a estiagem prolongada, séries históricas de 5% começaram a ocorrer provocando o racionamento de água.

O sistema Guarapiranga, o segundo maior da Sabesp, responsável por 20% da produção de água da RMSP atendendo as zonas, sul, oeste e centro, cujos mananciais regularizam 10,3m³/s, recebeu o reforço do sistema Taquacetuba, responsável pela transferência de 4m³/s de água bruta do reservatório Billings para a represa



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

Guarapiranga. O sistema Taquacetuba é possivelmente o mais complexo sistema hidráulico da Sabesp, razão pela qual, será objeto deste trabalho.

OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é apresentar as condições operacionais do sistema Taquacetuba, considerando o funcionamento do sistema nas seguintes condições:

- Operação em regime permanente;
- Operação em regime transitório.

METODOLOGIA

- Descrição do sistema;
- Equipamentos e instalações;
- Funcionamento do sistema em regime permanente;
- Operação em regime transitório;
- Equipamentos de proteção contra os transitórios hidráulicos;
- Condições operacionais do sistema Taquacetuba.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A Figura 1 mostra a transferência de $4\text{m}^3/\text{s}$ de água bruta da Represa Billings (captação Taquacetuba) para a Represa Guarapiranga.

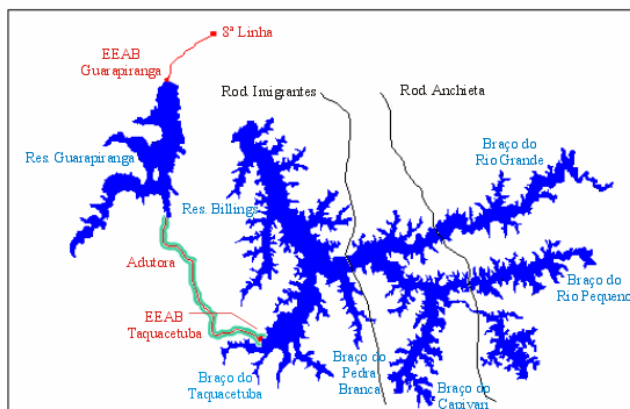


Figura 1: Transferência de água do reservatório Billings para a represa Guarapiranga.

A captação do sistema Taquacetuba é composta por duas elevatórias (flutuante e principal) associadas em série, tubulações de recalque, dispositivos de controle e segurança, e equipamentos elétricos. A elevatória flutuante foi instalada sobre uma plataforma flutuante no braço Taquacetuba do reservatório Billings, de modo a permitir a captação de água em local apropriado e acompanhar a variação do nível d'água. A passarela flutuante foi executada para permitir a passagem de pessoas e da cablagem elétrica.

A elevatória principal, denominada elevatória de água bruta foi construída em terra, com suas respectivas tubulações de sucção e de descarga, válvulas, juntas e instrumentação. Junto a essa elevatória foi construída uma sala elétrica abrigando os painéis elétricos de alta e baixa tensão. A ligação entre as duas elevatórias foi realizada através de tubulações flexíveis e flutuantes e de um chaminé de equilíbrio.

A tubulação que interliga a elevatória de água bruta e a represa Guarapiranga é de aço, com extensão de 13.789m, sendo trecho por recalque de 5.530m e trecho por gravidade de 8.259m, e nessa tubulação foram instaladas vários equipamentos de proteção contra os transitórios hidráulicos, ventosas e descargas, conforme se observa na Figura 2.

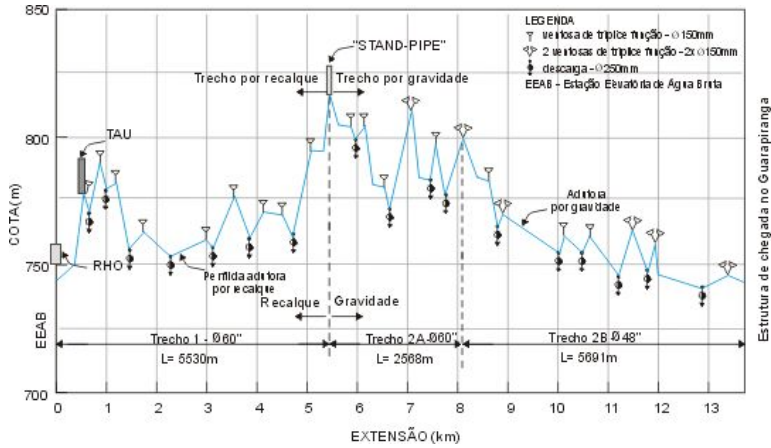


Figura 2: Perfil da tubulação que interliga a estação elevatória de água e a represa Guarapiranga, com equipamentos de proteção e órgãos acessórios.

Portanto, as principais instalações do sistema Taquacetuba (Figura 3) são:

- Elevatória flutuante localizada junto ao reservatório Billings;
- Tubulações de PEAD interligando a elevatória flutuante à Chaminé de Equilíbrio;
- Elevatória principal que recalca a água até a represa Guarapiranga;
- Adutora de aço com extensão de 14.015m;
- Caixa de dissipação de energia junto à represa Guarapiranga.

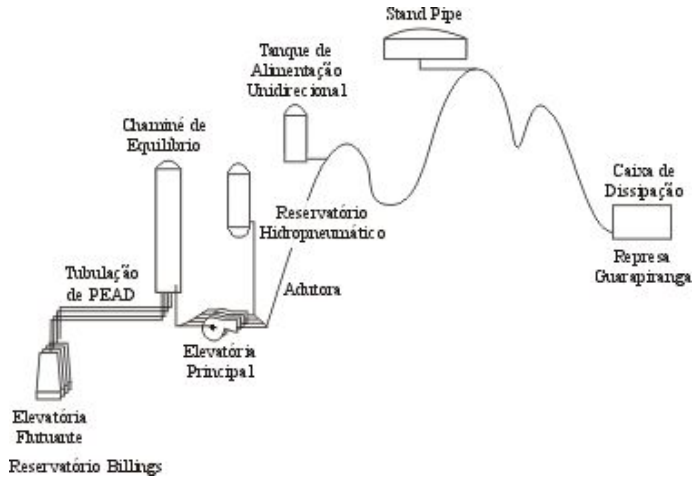


Figura 3: Esquema do sistema Taquacetuba.

Os níveis operacionais do sistema Taquacetuba são:

- Nível d'água máximo maximorum: 746,50 m;
- Nível d'água mínimo: 742,00 m;
- Nível do fundo no local da captação flutuante: 737,00 m;
- Nível da estação elevatória de água bruta: 749,00 m;
- Nível d'água no Stand Pipe: 823,00 m;
- Nível d'água na Caixa de Dissipação: 746,00 m.



EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES DO SISTEMA TAQUACETUBA

Elevatória Flutuante

A elevatória flutuante é composta por cinco bombas submersíveis, sendo uma de reserva, com plataformas modulares suportes das moto-bombas e acessórios, plataforma de atracação dos módulos de bombeamento, tubulações flexíveis e passarela (Figura 4).

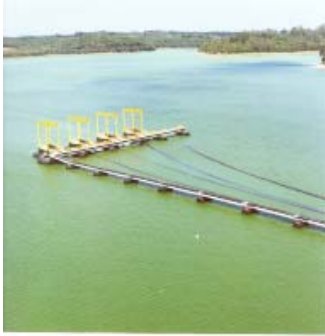


Figura 4: Elevatória flutuante, onde se observa as plataformas suporte das moto-bombas, passarela de acesso e tubulações de PEAD.

Cada bomba submersível tem vazão nominal de $1,0\text{m}^3/\text{s}$, altura manométrica de 20mca e 350HP, instaladas em plataformas metálicas sustentadas por flutuadores. Esta estação está fundeada no braço do rio Taquacetuba do reservatório Billings, a 400m da margem, e recalca diretamente para um tanque metálico instalado na sucção de outra estação de bombeamento situada em terra, através de tubulações de PEAD (Polietileno de Alta Densidade). O recalque de cada grupo é provido de uma válvula de retenção de fechamento rápido, com obturador de deslocamento axial, com vistas a minimizar o retorno do fluxo quando do seu desligamento e, conseqüentemente, reduzir o golpe de ariete.

Tubulações de PEAD

Cinco tubulações de PEAD (Figura 5) de 800mm de diâmetro nominal e, aproximadamente, 390m de comprimento, interliga cada bomba submersível da Elevatória Flutuante a um tanque metálico, denominado Chaminé de Equilíbrio. O diâmetro interno dessas tubulações é 725mm e, segundo seu fabricante, o coeficiente C de Hazen-Williams desse material, quando novo, é 150.



Figura 5: Tubulações de PEAD de 800mm de diâmetro e 390m de extensão.

Elevatória de Água Bruta

A estação elevatória de água bruta (Figura 6) está localizada na margem do reservatório Billings, composta por cinco grupos moto-bombas horizontais, sendo uma de reserva, com bombas centrífugas bipartidas de vazão nominal de $3.600\text{m}^3/\text{h}$ ($1,0\text{m}^3/\text{s}$) e altura manométrica de 83,3mca, acionados por motores de 1.400cv, 890rpm e 3,8kV. As bombas dessa elevatória succiona diretamente da Chaminé de Equilíbrio e possui válvulas de retenção de fechamento rápido na descarga das bombas.



Figura 6: Estação elevatória de água bruta.

Adutora que interliga a Billings ao Guarapiranga

Uma adutora de aço enterrada de 14.015m de extensão, composta por 8.135m em 1.500mm de diâmetro nominal e 5.880m em 1.200mm, interligando a elevatória flutuante a uma estrutura de concreto, chamada de caixa de dissipação, localizada às margens do reservatório Guarapiranga.

Ao longo dessa adutora há ventosas para a expulsar o ar acumulado na adutora, válvulas de abertura rápida e fechamento lento para evitar o vácuo, bem como um túnel na travessia de uma estrada de ferro.

Caixa de Dissipação

A caixa de dissipação (Figura 7) localizada na várzea do córrego Parelheiros, construída em concreto armado com aproximadamente 8,25m de altura, 10,75m de largura e 8,00m de comprimento, é dividida longitudinalmente em duas câmaras por um septo intermediário. A água proveniente da adutora divide-se em dois ramais onde se encontram instaladas válvulas tipo multijato de 800mm de diâmetro, que promovem a variação da vazão, e que devem fechar em seqüência após o desligamento das bombas, comandadas por telemetria em tempos não inferiores a 5 minutos. Já dentro da caixa, o fluxo dividido passa por um dissipador estático constituído por um cilindro de aço inoxidável perfurado e, finalmente, por um vertedor na cota 746,60m, sendo descarregado através de duas saídas de 1,5m de diâmetro em um canal construído com rachões (Figura 8). Esta estrutura promove a dissipação da energia (correspondente a 2.080 cv) relativa à diferença de cotas, em torno de 84m, existente entre o ponto mais alto da adutora e o reservatório Guarapiranga.



Figura 7: Caixa de dissipação.



Figura 8: Canal de chegada na várzea do reservatório Guarapiranga, onde é despejada a água proveniente da Billings.

OPERAÇÃO EM REGIME PERMANENTE

Considerações Gerais

A operação de adução exige a conjugação operacional das elevatórias, flutuante e principal, recalcando para o Stand Pipe (Figuras 9 e 10) através da tubulação de recalque de ϕ 60". No trecho por gravidade, a jusante do Stand Pipe há duas possibilidades de controle da adução:

- Operação sem controle à jusante;
- Operação com controle à jusante.

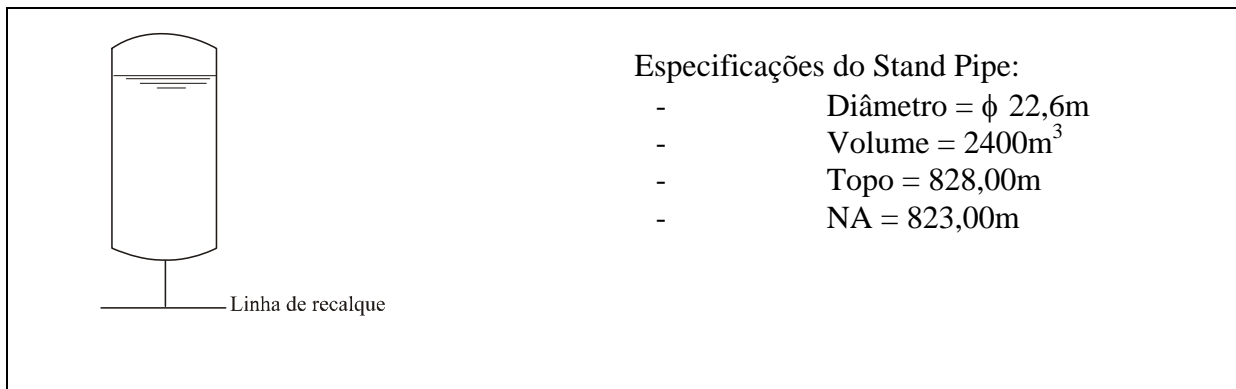


Figura 9: Especificações do Stand Pipe.



Figura 10: Stand Pipe.

Em qualquer caso, as estruturas de controle com válvulas dispersoras de energia são mantidas, pois será necessária para facilitar a operação para permitir o controle de expulsão de ar eliminando o escoamento livre em alguns trechos. No caso de não haver controle à jusante, com o fechamento das válvulas em caso de



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

interrupção do bombeamento, ocorrerá o esvaziamento de alguns trechos da adutora à jusante de pontos altos. Para otimizar a operação e evitar o bombeamento nos horários de pico de energia (17:00 às 20:30 h), o bombeamento poderá ser interrompido, pois o sistema visa a transferência de volumes de água e não a adução de uma dada vazão, portanto, é necessário o domínio e o controle da adução intermitente.

Operação sem controle à jusante

Nesse caso a vazão das bombas em operação escoará no trecho por gravidade à jusante do Stand Pipe em um escoamento misto, parcialmente em conduto livre e em condutos forçados. Na extensão de aproximadamente 100m próximo ao Stand Pipe ocorrerá entrada de ar. No trecho total de 1521m a carga disponível será de 10m e a vazão máxima seria de $6,6\text{m}^3/\text{s}$ para o escoamento forçado. Assim sendo, deverá haver franca entrada de ar no Stand Pipe para permitir a expulsão de ar e a obtenção do regime permanente livre, à montante com transição para o escoamento forçado.

Torna-se necessário, portanto, enfatizar o rigor nas especificações das ventosas de tríplex função, e em alguns casos, devem ser duplicadas e com diâmetros de ϕ 150mm, nesses pontos altos para operar com pressões mínimas de fechamento com estanqueidade e pressões máximas de 8 bar. De fato, esta situação de escoamento misto irá ocorrer, mesmo na opção para o controle à jusante quando ocorre o enchimento da adutora (início da operação) por falha de fechamento à jusante.

A possibilidade de operação sem controle à jusante é viabilizada com as ventosas duplicadas, mas haverá franca entrada de ar na adutora o que não é recomendável, embora possível.

Operação com controle à jusante

Nessa operação deverá ocorrer o fechamento parcial das válvulas dispersoras à jusante para eliminar o escoamento livre em trechos da adutora. Para cada condição operacional, a vazão é definida pelo sistema de bombeamento (flutuante e principal) com diferentes números de bombas operando e as válvulas deverão ter a abertura compatível com esta vazão.

O Stand Pipe deverá operar com a cota 823,00m para manter afogado o conduto de ϕ 60" à jusante, evitando-se a sucção de ar. Todo o trecho de gravidade operará como conduto forçado e as válvulas dissipadoras deverão operar com fechamentos parciais para introduzir perdas de carga.

A capacidade máxima da adutora a partir do Stand Pipe é de $5\text{m}^3/\text{s}$, podendo ser operado com e sem controle à jusante. Em qualquer caso, no entanto, as válvulas dissipadoras deverão ser instaladas para flexibilizar a operação de transporte de volumes de água, com interrupção de bombeamento nos horários de pico de energia, quando poderá ocorrer o esvaziamento parcial da adutora. Também, neste caso, recomenda-se duplicar as ventosas de tríplex função de ϕ 150mm e pressão de 8 bar e deverão ser especificadas e garantidas para plena estanqueidade com pressões mínimas da ordem de 0,2 bar.

Dimensionamento das ventosas e descargas

A operação com uma bomba proporcionará a adução da vazão igual a 1198 L/s o que corresponderá nos tubos as seguintes velocidades:

- ϕ 60" $V = 0,68\text{m/s}$
- ϕ 48" $V = 1,06\text{m/s}$

As velocidades acima deverão ser suficientes para o arraste hidráulico do ar nos pontos altos cuja declividade a jusante satisfaça a condição recomendado pela equação de Kent:

$$V \geq 1,36 (g D \sin \theta)^{1/2} \quad (1)$$

Onde: V = velocidade para arraste de ar, m/s;
 g = aceleração da gravidade, m/s^2 ;
 D = diâmetro da tubulação, m;
 θ = ângulo que o conduto forma com a horizontal a jusante do ponto alto, graus.

Aplicando-se a equação (1) obtêm-se os valores de θ :



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

- $\theta = 60''$ $\text{sen } \theta \leq 0,017$ $\theta \leq 1^\circ$
 $\text{tg } \theta \leq 0,017 = 17 \text{ m/km}$, de modo que, nos pontos altos para os quais $\theta \geq 17 \text{ m/km}$ será necessário ventosa.
- $\theta = 48''$ $\text{sen } \theta \leq 0,0516$ $\theta \leq 3^\circ$
 $\text{tg } \theta \leq 0,052 = 52 \text{ m/km}$, de modo que, nos pontos altos para os quais $\theta \geq 52 \text{ m/km}$ será necessário ventosa.

Assim, examinando o perfil da adutora (Figura 2) para todos os trechos foi determinado a necessidade ou não de ventosas para expulsão de ar. Nos trechos em que há necessidade de franca admissão de ar, como a jusante do Stand Pipe foi necessário duplicar as ventosas. As ventosas foram padronizadas para diâmetro de 150mm e pressão nominal de 6 bar. Foram necessárias ventosas do tipo fechamento lento, em 24 posições sendo duplicadas em 7 posições, totalizando 31 ventosas, para que o sistema adutor opere adequadamente.

Foram instaladas descargas nos pontos baixos para o esvaziamento rápido da adutora, com diâmetro de 300mm.

OPERAÇÃO EM REGIME TRANSITÓRIO

O regime transitório gerado pela interrupção não programada do bombeamento, as variações das cargas nos condutos (flutuante e adutora de recalque) foram limitadas para atender às especificações do projeto e, assim sendo, proteções foram instaladas quando as simulações mostraram a ocorrência de pressões incompatíveis com os valores extremos assumidos nas especificações.

Análise do escoamento transitório

O escoamento transitório foi analisado considerando o desligamento acidental do sistema de bombeamento operando com a vazão máxima (5 bombas). Os momentos de inércia dos conjuntos elevatórios são:

- Elevatória principal: 163 kg.m^2 ;
- Elevatória flutuante: 41 kg.m^2 .

As simulações em regime transitório foram realizadas pelo Prof. Edmundo Koelle, cujos principais resultados são apresentadas a seguir.

Simulação com o sistema sem proteção

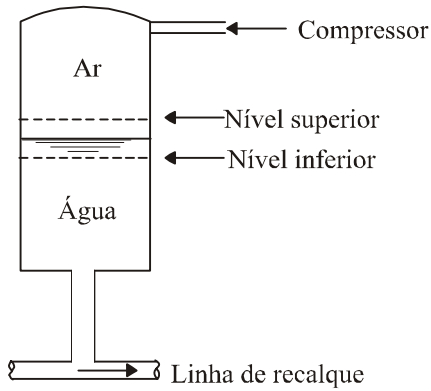
A simulação foi efetuada para um tempo total de 100 segundos para se verificar a evolução das cargas transitórias. Para o desligamento acidental de quatro bombas simultaneamente ocasionado por falha no fornecimento de energia foram verificados:

- O sistema de recalque da elevatória principal ficará sujeito a vácuo com separação das colunas líquidas e, portanto, as proteções RHO e TAU são necessárias devido o perfil do recalque. O tubo de PEAD ficará sujeito a vácuo junto ao barrilete de sucção do bombeamento principal e a oscilação das cargas no tubo é intensa variando entre 750m ($p = 5\text{mca}$) e 770m ($p = 25\text{mca}$) na frequência de 0,4 Hz;
- Será necessário avaliar se, em tais condições, com a intermitência operacional, o tubo de PEAD poderá romper por fadiga, após um curto período de operação. Os tubos plásticos tem limitada resistência às solicitações cíclicas, e por esta razão devem operar com cargas controladas.

Simulação com sistema de proteção

Os estudos de transientes hidráulicos indicam a necessidade de RHO (Figuras 11 e 12) e TAU (Figuras 13 e 14), para a proteção da adutora, cujas características são apresentadas a seguir:

- RHO - Reservatório Hidropneumático



Especificações do RHO:

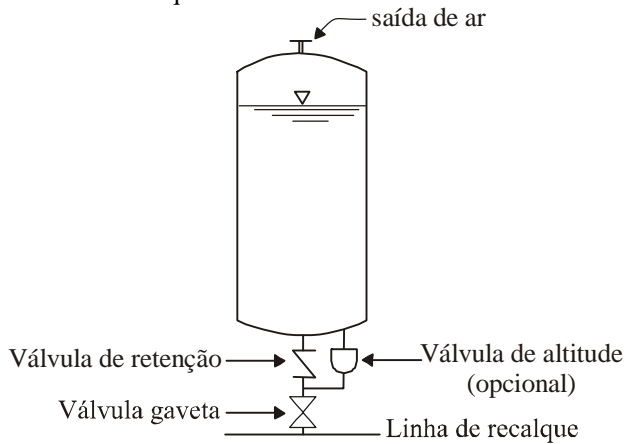
- Diâmetro:= ϕ 2800mm
- H = 10.000mm
- Co = 25m³ (volume inicial de ar)
- Ramal = ϕ 800mm, L = 10m
- p_N = 10 bar (testado a 15 bar)

Figura 11: Especificações do RHO.



Figura 12: Vista da elevatória principal, com RHO à direita e Chaminé de Equilíbrio à esquerda.

- TAU – Tanque de Amortecimento Unidirecional



Especificações do TAU:

- Diâmetro = ϕ_{TAU} 5,0m
- Ramal = ϕ 800mm
- p_N = 6 bar

Figura 13: Especificações do TAU.



Figura 14: Tanque de Amortecimento Unidirecional.

As simulações realizadas consideraram que as bombas são desligadas em 10 segundos e os resultados são apresentados por um tempo total de simulações de 300 segundos (Figura 15). O RHO evitará a depressão a montante do TAU que, por sua vez, controlará a depressão à jusante, até o Stand Pipe. O controle da depressão implicará em controle da sobrepressão e na proteção plena da instalação.

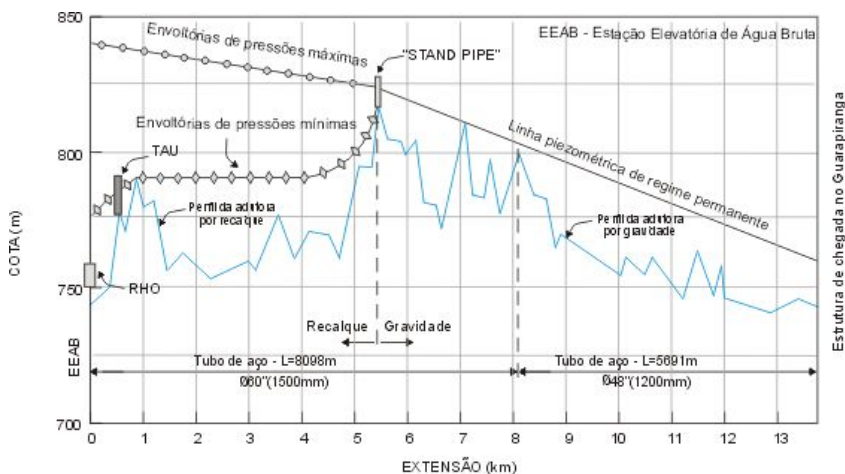


Figura 15: Envoltórias das pressões com os equipamentos de proteção contra os transitórios hidráulicos.

Durante o escoamento transitório o RHO passa a alimentar a adutora, imediatamente após o desligamento das bombas promovendo rápido fechamento da válvula de retenção, que devem ser de fechamento rápido. Com a ação do RHO, ocorre a súbita elevação da carga no barrilete de sucção, e essa elevação propaga-se para os tubos de PEAD que, sendo elásticos se dilatam e se contraem em toda a extensão com uma amplitude de aproximadamente 20mca, sendo que o número de ciclos é excessivo em cada desligamento. A ação do RHO é instantânea após o desligamento e são drenados cerca de $28,3\text{m}^3$. O corpo paralelo do RHO deverá ter, no mínimo 10m e o volume inicial de ar aproximadamente 25m^3 e o RHO deve ser dimensionado para uma pressão nominal de 10 bar.

O TAU complementa a ação do RHO fornecendo água para jusante. O volume drenado de cerca de 40m^3 ocorre em um intervalo de tempo da ordem de 35 segundos.

O tubo de PEAD ficará submetido a oscilação de carga elevada com amplitude extrema à jusante da ordem de 50mca. Para tubo com pressão nominal de 6 bar a oscilação de carga é excessiva (riscos de fadiga).



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

As tubulações do recalque ficam submetidas a cargas controladas e rapidamente amortecidas para a condição estática. As linhas piezométricas extremas indicam que não ocorre vácuo e a carga máxima não supera 837m ($p_{\max} \cong 10\text{bar}$). Portanto, o sistema está adequadamente protegido no recalque principal com o RHO e TAU. Entretanto, no recalque flutuante que fica submetido a oscilações de carga excessivas, poderá provocar a fadiga dos tubos de PEAD.

Chaminé de equilíbrio na sucção da elevatória principal

Para desacoplar o bombeamento flutuante do bombeamento principal, foi instalada uma Chaminé de Equilíbrio (CEQ) no barrilete de sucção do bombeamento principal. O principal objetivo do CEQ é desacoplar os bombeamentos para permitir a partida sequencial das bombas (flutuante e principal) com intervalo de tempo adequado do ponto de vista elétrico e, também proporcionar o controle das cargas transitórias nos tubos de PEAD junto ao bombeamento principal.

As especificações da chaminé de equilíbrio são as seguintes:

- ϕ 5,0m;
- Altura: 16m.

Os resultados da simulação mostram a eficácia da CEQ limitando as cargas junto ao barrilete de sucção do bombeamento principal. Assim sendo, considerando as limitações do PEAD (efeitos térmicos e sujeição à fadiga) e, também, a necessidade de se limitar a corrente de partida dos grupos (principal e flutuante), os grupos elevatórios poderão partir em seqüência com intervalos de tempo adequados, com a instalação do CEQ.

CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO SISTEMA TAQUACETUBA

O sistema Taquacetuba entrou em funcionamento em setembro de 1998, e vem operando adequadamente, no entanto, esse sistema vem sofrendo problemas de intermitência decorrentes de oscilações na alimentação elétrica por se tratar de ponta de rede.

O bombeamento em série da elevatória flutuante com a elevatória principal envolve problemas operacionais em regime permanente e transitório. Para que tais problemas não ocorram, foi fundamental a utilização de um reservatório (ou chaminé de equilíbrio) intermediário de elevada inércia ($1\text{m}^3/\text{sx}10\text{min}=600\text{m}^3$), de modo a desacoplar os bombeamentos. Além disso, para essa operação são necessários:

- Condutos flutuantes escorvados e eliminação de todo o ar nessas tubulações – para isso foi necessária válvula de retenção de fechamento rápido à jusante de cada uma das bombas flutuantes;
- Ligação das bombas em seqüência rápida – foi previsto o intervalo de aproximadamente 2 segundos da ligação da bomba flutuante e a bomba fixa, para se evitar a condição de shut-off das bombas flutuantes;
- Desligamento de um conjunto motor-bomba da elevatória flutuante implica em desligamento do conjunto correspondente na elevatória principal.

Para a operação em regime transitório gerado pela interrupção não programada do bombeamento foram necessários vários equipamentos de proteção para eliminar a ocorrência de pressões incompatíveis com as especificações das tubulações. O funcionamento dos principais equipamentos de proteção é apresentado a seguir:

- Chaminé de Equilíbrio (CEQ) – tem a função de desacoplar os bombeamentos para permitir a partida sequencial das bombas (flutuante e principal) com intervalo de tempo adequado do ponto de vista elétrico e proporcionar o controle de cargas transitórias nos tubos de PEAD junto ao bombeamento principal;
- Reservatório Hidropneumático (RHO) - sua função é atenuar os efeitos do golpe de ariete na tubulação de recalque decorrente do desligamento geral da estação de bombeamento, que gera tanto vácuo como sobrepensões na adutora, e apresentam, como conseqüências maiores, respectivamente, o colapso e a ruptura da tubulação;
- Tanque de Alimentação Unidirecional (TAU) - este tanque é aberto à atmosfera e alimentado através de uma válvula de altitude automática de 200 mm de diâmetro que garante o volume de água suficiente para não permitir a ocorrência de vácuo nesse ponto da tubulação;



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

- Stand Pipe (SP) - sua função é regularizar a pressão do trecho da adutora a jusante e, principalmente, evitar a separação das colunas líquidas no ponto mais alto da adutora através da injeção de um volume de água por meio um de um ramal de 1.500 mm de diâmetro.

CONCLUSÕES

As principais conclusões deste trabalho são:

- Para dois recalques em série é recomendável a utilização de um reservatório (chaminé de equilíbrio) para desacoplar os bombeamentos e permitir a partida sequencial das bombas.
- A chaminé de equilíbrio, além de aliviar o transitório hidráulico na tubulação de PEAD, permitirá flexibilizar a operação de liga/desliga das estações de bombeamento, pois introduz inércia suficiente para permitir o acionamento não simultâneo dos dois bombeamentos.
- Para diminuir os custos de energia elétrica é adequado o bombeamento fora do horário de ponta, e para isso, foram necessárias as instalações de todos os conjuntos motobomba previstas no projeto.
- A concessionária de energia elétrica deve eliminar os problemas decorrentes de oscilação na alimentação elétrica do sistema Taquacetuba.
- As tubulações de PEAD merecem cuidados especiais pois são susceptíveis à redução de resistência por efeitos térmicos e dinâmicos (fadigas).
- O RHO, TAU e Stand Pipe utilizados para a proteção contra os efeitos dos transitórios hidráulicos do trecho de recalque da elevatória principal são eficientes.
- Foram necessárias ventosas em 24 posições da linha de recalque, sendo duplicadas em 7 posições, totalizando 31 ventosas, para que o sistema adutor opere adequadamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FIGUEREDO FERRAZ Conceção do sistema Taquacetuba. RT-01-AS 01 – 003. Fevereiro de 1997.
2. KOELLE, E. Análise operacional do sistema de bombeamento Taquacetuba. Parecer Técnico no 3/98. Fevereiro de 1998.
3. KANASHIRO, W. H. Transitórios hidráulicos em estações elevatórias. Capítulo 7. In: Abastecimento de Água. EPUSP. São Paulo, 2004.
4. WYLIE, E. B.; STREETER, V. L. Fluid transients in systems . Prentice Hall. New Jersey, 1993.