



I-051 – AMPLIAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE ADUTORA DE ÁGUA BRUTA

Romulo Ruiz Gasparini⁽¹⁾

Engenheiro de Desenvolvimento Operacional da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) – U. R. Pato Branco. Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Especialista em Gestão e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Especialista em Gestão Empresarial pela Faculdade de Pato Branco (FADEP). Mestre em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR).

Andrea Sartori Jabur⁽²⁾

Professora Adjunta da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Pato Branco. Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Endereço⁽¹⁾: Rua Clarice Soares Cerqueira, nº 185 – Bairro Santa Terezinha – Pato Branco – Paraná – Brasil – CEP: 85501-140 – Telefone: +55 (46) 3902-1838 – Fax: +55 (46) 3902-1824 – E-mail: romulorg@sanepar.com.br.

RESUMO

Este trabalho vem apresentar a experiência vivenciada por equipe da Companhia de Saneamento do Paraná, referente à intervenção no Sistema Adutor Rio Pato Branco, para se elevar a sua Capacidade de Transporte, em função da necessidade de suprir o aumento de demanda do referido sistema, além de recuperar o coeficiente de rugosidade “C” da canalização. Esta intervenção, que consistiu na implantação de 12 novas ventosas, foi realizada com a tubulação em carga para evitar rodízios no abastecimento. Esta experiência vem a consolidar com duas das principais missões das Empresas de Saneamento, que é a não interrupção no fornecimento de água aos clientes externos e o não desperdício de sua matéria-prima, além da otimização de sua infra-estrutura existente. As Empresas de Saneamento, de um modo geral, geralmente realiza este tipo de intervenção realizando a interrupção do funcionamento das tubulações, o que gera uma série de inconvenientes, principalmente o desabastecimento de seus clientes externos e as perdas de água. Com esta intervenção, foi possível elevar a Capacidade de Transporte da referido Sistema Adutor em 20,61% em um curto período de tempo.

PALAVRAS-CHAVE: Ampliação da capacidade de transporte, adutora de água bruta, implantação de ventosas, coeficiente de rugosidade “C”, Pato Branco.

INTRODUÇÃO

Para a realização de intervenções em redes de adução ou de distribuição de água, visando à implantação de novos dispositivos operacionais (descargas, hidrantes e ventosas) e interligações em novas redes, as Empresas de Saneamento geralmente realizam a interrupção do funcionamento de tais tubulações, descarregando a quantidade de água existente em seu interior para possibilitar a execução do serviço. Este tipo de procedimento acarreta nos seguintes inconvenientes:

- Desabastecimento de água, o que gera a insatisfação dos clientes externos;
- Perdas de água, o que acarreta em desperdícios com Energia Elétrica e Insumos Químicos, no caso de tubulações de água tratada, além de elevação dos Indicadores de Controle de Perdas. Outro fator negativo para as perdas de água é o compromisso ambiental que as Empresas de Saneamento devem ter perante todos;
- Insegurança operacional, para o descarregamento e recuperação do volume de água das tubulações, devido a variações de pressão, o que pode vir a provocar novos rompimentos na tubulação e danificação de suas unidades operacionais (descargas, hidrantes, registros em linha, válvulas e ventosas).

Conforme Silva *et al.* (2010), a interrupção do funcionamento de tubulações pode ainda gerar uma série de outros problemas de ordem operacional e de imagem externa, sendo eles:



- Maior número de profissionais envolvidos na atividade;
- Maior demanda por quantidade de horas trabalhadas;
- Faturamento das Empresas de Saneamento afetado;
- Gastos com divulgação da atividade junto à população;
- Condições críticas de trabalho;
- Prejuízo para o abastecimento;
- Imagem das Empresas de Saneamento afetada.

Todos estes fatores contribuem para desgastar a imagem das Empresas de Saneamento perante a sociedade, conforme acima citado. Em função destes problemas apresentados e considerando a necessidade de implantação de 12 novas ventosas na Adutora de Água Bruta Rio Pato Branco, devido à necessidade de otimização da referida Unidade Operacional, a Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar, através da Unidade Regional de Pato Branco – URPB, optou pela utilização de uma tecnologia que permite a furação da parede das tubulações em carga com a utilização de equipamento de pequeno porte, permitindo assim a não paralisação da referida adutora, adutora esta responsável pelo o total abastecimento da cidade de Pato Branco – PR.

A otimização da AAB Rio Pato Branco foi necessária devido a existência, de trechos da canalização, com excesso de perda de carga, devido a ocorrência de admissão de ar no interior do mesmo. Estes trechos estavam comprometendo com a Capacidade de Transporte da referida adutora.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA ADUTOR RIO PATO BRANCO

A cidade de Pato Branco, localizado na Região Sudoeste do Estado do Paraná, está a 437 km de Curitiba. Conforme o Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, realizado no ano de 2010, a população municipal está assim distribuída:

- População Urbana: 68.093 hab.;
- População Rural: 4.280 hab.;
- Total da População: 72.373 hab.

O abastecimento com água tratada e esgotamento sanitário, da população urbana, é realizado pela Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar. Atualmente, os índices de atendimento com água tratada e de atendimento com esgotamento sanitário estão em 100% e 80%, respectivamente.

O Sistema Adutor local é abastecido pelo manancial superficial Rio Pato Branco. A Bacia Hidrográfica de contribuição do manancial possui uma área de 153,81 km² e está compreendida em 03 municípios, sendo eles:

- Mariópolis;
- Pato Branco;
- Vitorino.

A vazão outorgada de utilização manancial é de 658 m³/h, para um período de utilização de 24 h/dia, totalizando um volume diário de 15.792 m³/dia. Conforme análise da Q₉₅ do manancial, a vazão máxima outorgável pode ser elevada para até 830 m³/h, totalizando um volume diário de 19.920 m³/dia.

A Captação Rio Pato Branco é composta por um Baixo Recalque, uma Câmara de Pré-sedimentação e um Alto Recalque. O Baixo Recalque possui uma Câmara de Sucção instalada em nível com manancial, as quais estão instaladas, no interior desta câmara, 03 conjuntos motor-bomba submersível, sendo 01 reserva, com potência de 15 CV/cada, cujo ponto operacional é de 7 m.c.a. e de 326 m³/h.cada. Para controle da vazão, as bombas do Baixo Recalque possuem inversor de frequência. As águas recalçada do Baixo Recalque são encaminhadas para a Câmara de Pré-sedimentação, cujo seu nível de fundo está acima do nível de enchente do manancial para proporcionar a sua descarga de fundo. Após a passagem por esta câmara, as águas são encaminhadas, por gravidade, para a Câmara de Sucção do Alto Recalque. O Alto Recalque é composto por 03 conjuntos motor-bomba centrífugo de eixo horizontal, sendo 01 reserva, com potência de 300 CV/cada, cujo ponto operacional



é de 210 m.c.a. e 262 m³/h.cada. O eixo das bombas está abaixo do nível de entrada de água na câmara de sucção, de modo a evitar problemas com a escorva das bombas.

A AAB Rio Pato Branco possui uma extensão total de 12.458 metros, estando dividida em 03 trechos distintos, conforme a seguir:

1º Trecho

- Unidade Operacional de Montante: Alto Recalque da Captação Rio Pato Branco;
- Cota da Unidade Operacional de Montante: 687 metros;
- Unidade Operacional de Jusante: 1º Stand-pipe;
- Cota da Unidade Operacional de Jusante: 877 metros;
- Desnível Geométrico do Trecho: - 190 metros (Escoamento por Recalque);
- Extensão do Trecho: 4.676 metros;
- Material e Diâmetro da Tubulação do Trecho: Ferro Dúctil (FD) DN 450;
- Dispositivos Operacionais Existentes no Trecho: 03 descargas, 12 ventosas e 02 estações pitométricas.

2º Trecho

- Unidade Operacional de Montante: 1º Stand-pipe;
- Cota da Unidade Operacional de Montante: 877 metros;
- Unidade Operacional de Jusante: 2º Stand-pipe;
- Cota da Unidade Operacional de Jusante: 858 metros;
- Desnível Geométrico do Trecho: 19 metros (Escoamento por Gravidade);
- Extensão do Trecho: 4.380 metros;
- Material e Diâmetro da Tubulação do Trecho: FD DN 450;
- Dispositivos Operacionais Existentes no Trecho: 07 descargas, 09 ventosas e 03 estações pitométricas.

3º Trecho

- Unidade Operacional de Montante: 2º Stand-pipe;
- Cota da Unidade Operacional de Montante: 858 metros;
- Unidade Operacional de Jusante: ETA Rio Pato Branco;
- Cota da Unidade Operacional de Jusante: 814 metros;
- Desnível Geométrico do Trecho: 44 metros (Escoamento por Gravidade);
- Extensão do Trecho: 3.402 metros;
- Material e Diâmetro da Tubulação do Trecho: FD DN 350;
- Dispositivos Operacionais Existentes no Trecho: 03 descargas, 03 ventosas e 01 estação pitométrica.

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

No ano de 2009, a Capacidade Real de Produção do SAA Pato Branco, ou seja, o volume de água tratada máximo disponibilizado ao sistema era de 12.576 m³/dia (524 m³/h), limitada, principalmente, pela Capacidade de Transporte da Adutora de Água Bruta. A Figura 01 mostra as demandas médias e máximas diárias, juntamente com a Capacidade Real de Produção, ocorrida nos meses do ano de 2009.

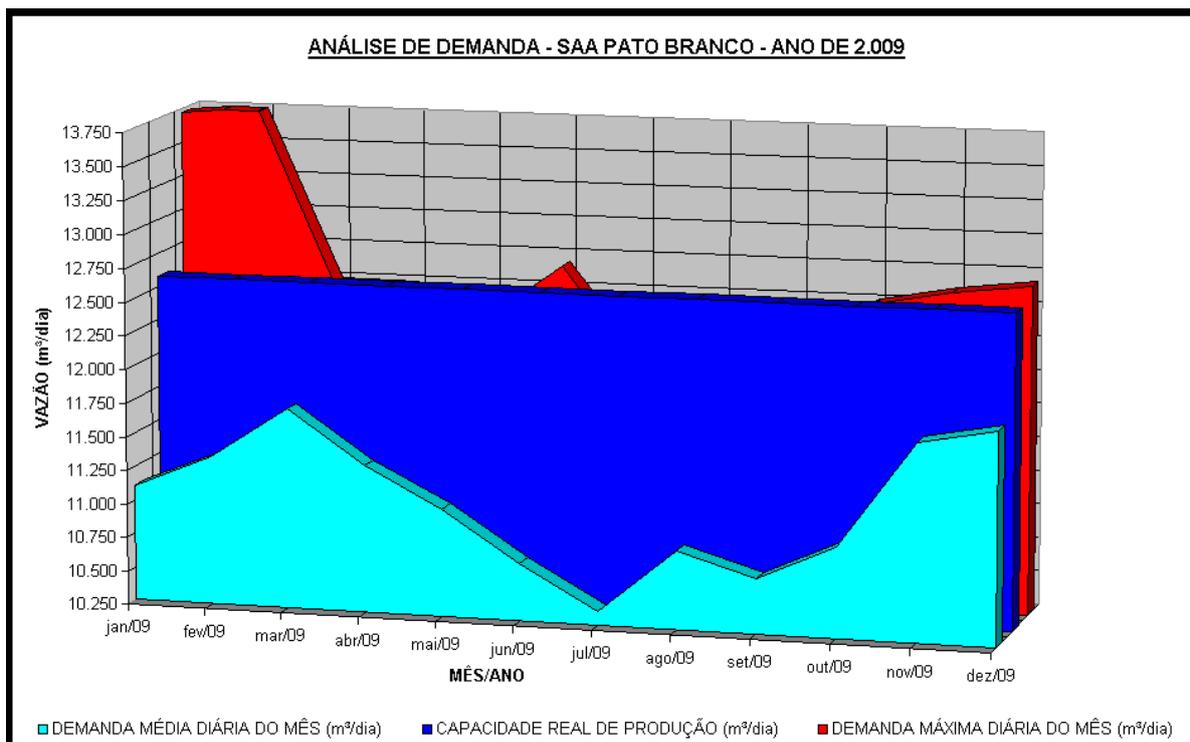


Figura 01: Demandas Médias e Máximas Diárias x Capacidade Real de Produção do SAA Pato Branco, para o ano de 2009.

Conforme pode ser observado na Figura 01, houve um déficit de produção, nos dias de maior consumo, nos meses de janeiro, de fevereiro, de junho, de novembro e de dezembro, sendo estes déficits, respectivamente, de 1.140 m³/dia, de 1.203 m³/dia, 109 m³/dia, de 34 m³/dia e de 105 m³/dia, o que era compensado pelo excedente de reservação do sistema. Esta situação exigia atenção para a operação do Sistema Adutor, pois era necessário que os reservatórios permanecessem com o nível de água no máximo. Este cenário gerava uma situação de risco permanente de desabastecimento, em função da possibilidade de ocorrência de dias seguidos de alta demanda, o que não permitiria a manutenção dos níveis de reservação.

No verão do ano de 2010, em função de dias seguidos de alta demanda, houve a necessidade de realização de rodízio no abastecimento em dois momentos distintos, o que gerou a insatisfação dos clientes de toda a cidade e região. Em função desta situação, a Sanepar desenvolveu melhorias no Sistema Adutor para ampliar a Capacidade de Transporte da AAB Rio Pato Branco em 30 l/s, totalizando assim em 15.168 m³/dia a Capacidade Real de Produção Diária, capacidade esta suficiente para atendimento do crescimento da demanda para os próximos 04 anos, tempo este suficiente para desenvolvimento de projeto e obra para ampliação global do sistema.

Inicialmente, para a ampliação da Capacidade de Transporte, foi realizado um cadastramento georreferenciado da AAB Rio Pato Branco, em planta e perfil, no final do ano de 2009. Esta adutora foi executada no início da década de 1980 e não havia um cadastro confiável. Neste cadastramento, foram realizadas em torno de 30 sondagens, para a identificação do material, diâmetro e recobrimento da tubulação do trecho. Ainda durante o cadastramento, foram identificados todos os dispositivos operacionais da adutora (ventosas, descargas e estações pitométricas).

Após o trabalho de cadastramento, foi realizado um trabalho de monitoramento da adutora, monitoramento este realizado em março de 2010. Neste monitoramento, foram realizadas leituras de pressão junto às ventosas, através da instalação de loggers de pressão. No barrilete dos conjuntos motor-bomba do Alto Recalque, foi instalado um manômetro para o monitoramento da pressão de recalque. Ainda foi acompanhado, visualmente, o nível de água junto à Câmara de Sucção do Alto Recalque, junto ao 1º e ao 2º Stand-pipes e junto à câmara de início do processo de tratamento. Em cada um dos 03 trechos da adutora, foram realizados trabalhos de

pitometria, para uma mesma condição de vazão. Todo este trabalho foi realizado para as 03 combinações possíveis dos conjuntos motor-bomba existentes no Alto Recalque da Captação Rio Pato Branco. Em paralelo a este trabalho, foram realizadas medições dos parâmetros elétricos dos referidos conjuntos. A Figura 02 apresenta o perfil da adutora, com base no trabalho de cadastramento da mesma e a linha de pressão, com base do levantamento de campo.

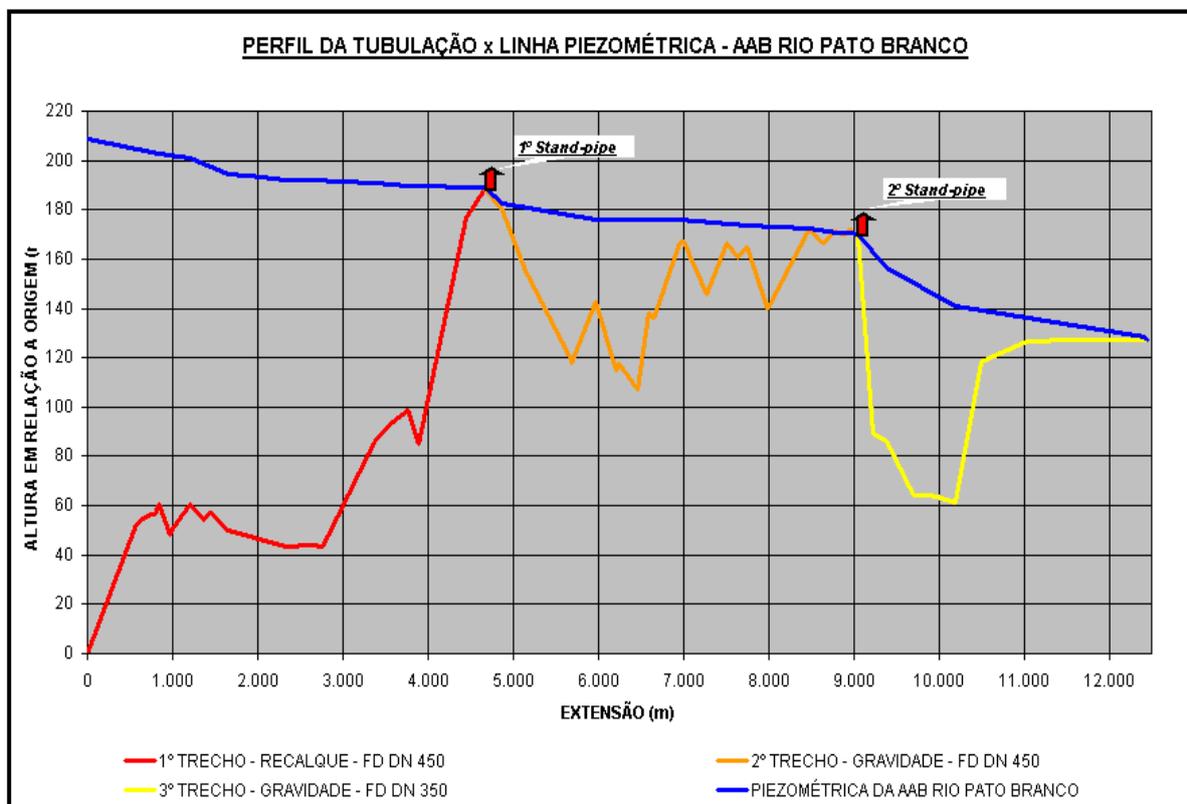


Figura 02: Perfil da tubulação x linha piezométrica, com base no levantamento de campo, da AAB Rio Pato Branco.

Pode ser observado que, no primeiro trecho de tubulação a jusante dos 02 Stand-pipes, há uma significativa redução de pressão, em função da admissão de ar nestes dispositivos operacionais. Conforme Gasparini, Favaro e Depexe (2011), em função da ineficiência das ventosas existentes na linha, ventosas estas que são de simples função, o ar admitido no 2º Stand-pipe estava dificultando o Processo de Tratamento, nas etapas de floculação e de decantação, já que o ar admitido estava provocando a aeração da água bruta, o que dificultava a formação dos flocos e a sua respectiva sedimentação. Este fato era comprovado em função da necessidade de lavagem freqüente dos filtros. Durante os levantamentos de dados, foi observado que no primeiro trecho a jusante do 1º Stand-pipe e no último trecho a montante e no primeiro trecho a jusante do 2º Stand-pipe, a adutora funciona com um canal livre, sendo que, nestes trechos, a adutora trabalhava em meia seção. Pode ser observado também que o 3º Trecho da adutora, em função de sua redução de seção, apresenta a maior perda de energia.

Conforme Azevedo Netto (1998), para a análise da rugosidade das paredes das tubulações, que é a grandeza que provoca a perda de carga nas tubulações, deve ser considerado as seguintes situações:

- o material empregado na fabricação dos tubos;
- o processo de fabricação dos tubos;
- o comprimento de cada tubo e o número de juntas na tubulação;
- a técnica de assentamento;
- o estado de conservação das paredes do tubo;
- a existência de revestimentos especiais;
- o emprego de medidas protetoras durante o funcionamento.

Uma ventosa pode ser entendida como uma medida protetora para o funcionamento de uma adutora. A ventosa, que além de atenuar os efeitos de subpressão e de sobrepressão durante a interrupção do fornecimento de energia elétrica do conjunto elevatório de montante à adutora, proporciona a expulsão de bolsões de ar formado durante o regime operacional, sendo que, estes bolsões, reduzem a Capacidade de Transporte da tubulação.

Uma tubulação de PVC é mais lisa e oferece condições mais favoráveis ao escoamento, ou seja, uma melhor Capacidade de Transporte para uma tubulação de mesmo diâmetro, em comparação a uma tubulação de FD. Por outro lado, os tubos de FD, quando novos, oferecem resistência menor ao escoamento que quando usados.

Segundo Porto (1999), para se calcular as perdas de carga nas tubulações, pode-se utilizar a fórmula empírica de Hazen-Williams, conforme a Equação 01 a seguir:

$$\Delta H = 10,65 \cdot \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \cdot L \quad \text{equação (01)}$$

Onde o ΔH (m) é a perda de carga entre os pontos de montante e de jusante do trecho a ser avaliado; o Q (m³/s) é a vazão de operação do sistema; o D (m) é o diâmetro da tubulação do trecho a ser avaliado; o L (m) é a extensão do trecho a ser avaliado; o C é o coeficiente de rugosidade que depende da natureza e estado das paredes do tubo. O coeficiente “C” é um número adimensional. Ainda segundo Azevedo Netto (1998), a fórmula de Hazen-Williams pode ser satisfatoriamente aplicada para qualquer tipo de conduto e de material.

Para tubulações em FD, que é o caso da AAB Rio Pato Branco, o coeficiente “C” pode possuir os seguintes valores:

- tubos novos: $C = 130$;
- tubos usados (aproximadamente 10 anos de idade): $C = 120$;
- tubos usados (aproximadamente 20 anos de idade): $C = 105$.

Para o cálculo do coeficiente “C” de tubulações existentes, basta apenas o levantamento de dados em campo (vazão, pressão e diâmetro da tubulação) e aplicar na fórmula de Hazen-Williams ajustada conforme a Equação 02 a seguir:

$$C = \sqrt[1,85]{\frac{10,65 \cdot L}{\Delta H \cdot D^{4,87}}} \cdot Q \quad \text{equação (02)}$$

A Tabela 01 apresenta os dados do monitoramento de pressão e de vazão realizado em 11 diferentes pontos da AAB Rio Pato Branco, como forma de se calcular o seu coeficiente “C” ao longo da tubulação.

Tabela 01: Trabalho de monitoramento de pressão e de vazão realizado na AAB Rio Pato Branco.

| TRABALHO DE MONITORAMENTO REALIZADO NA AAB RIO PATO BRANCO | | | | | | | | | | | |
|---|---|-------------------|------------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|----------------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|---|
| <u>IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO DA ADUTORA</u> | <u>IDENTIFICAÇÃO DO PONTO DE MONITORAMENTO</u> | | | | <u>DETERMINAÇÃO DOS DADOS NECESSÁRIOS</u> | | | | | | |
| | Dispositivo operacional | Cota no ponto (m) | Distância em relação ao origem (m) | Diâmetro nominal do trecho (mm) | Pressão média no ponto (m.c.a.) | Piezométrica média no ponto (m) | Vazão medida (m ³ /h) | | Cálculo do coeficiente "C" do trecho | | Cálculo da perda de carga unitária do trecho (m/km) |
| | | | | | | | Pitometria | Macro medição | Pitometria | Macro medição | |
| TRECHO 01 | Câmara de sucção do Alto Recalque | 688 | 0 | 450 | 0 | 688 | - | 518 | 99 | 97 | 3,05 |
| | EEB-02 – Alto Recalque da Captação | 687 | 0 | | 209 | 895 | - | | | | |
| | Ventosa nº 10 | 773 | 3.361 | | 112 | 885 | - | | | | |
| | TAP nº 02 | 865 | 4.460 | | 12 | 877 | 528 | | | | |
| TRECHO 02 | Stand-pipe 01 | 876 | 4.676 | 450 | 1 | 877 | - | 518 | 82 | 80 | 4,30 |
| | TAP nº 03 | 806 | 5.685 | | 60 | 866 | 511 | | 50 | 50 | 10,18 |
| | Ventosa nº 15 | 831 | 5.966 | | 34 | 865 | - | | 65 | 66 | 6,19 |
| TRECHO 03 | Stand-pipe 02 | 857 | 9.057 | 350 | 1 | 857 | - | 518 | 111 | 112 | 2,33 |
| | Ventosa nº 24 | 782 | 10.201 | | 47 | 829 | - | | 61 | 60 | 25,03 |
| | TAP nº 06 | 811 | 12.418 | | 7 | 818 | 525 | | 130 | 129 | 6,14 |
| | Chegada a ETA | 815 | 12.458 | | 0 | 815 | - | | | | |

Considerando as vazões medidas pelo macromedidor de vazão da linha e pela pitometria, o 1º trecho apresentou um baixo valor do coeficiente "C", o que indica que há uma excessiva perda de carga no trecho, ficando abaixo de 100. Neste mesmo trecho, entre as distâncias acumuladas de 3.361 metros e 4.460 metros, o coeficiente "C" ficou abaixo de 65. O 2º trecho apresentou um coeficiente "C", na sua maior parte, em torno de 111. Porém neste mesmo trecho, nos primeiros 1.009 metros de tubulação a jusante do 1º Stand-pipe, o coeficiente de rugosidade "C" ficou em 50, reflexo da admissão de ar através referido dispositivo operacional. O 3º trecho apresentou um coeficiente "C", na sua maior parte, em torno de 130. Porém neste mesmo trecho, nos primeiros 1.144 metros de tubulação a jusante do 2º Stand-pipe, o coeficiente de rugosidade "C" ficou em 60, em função também da admissão de ar. Para se elevar a Capacidade de Transporte da referida adutora, era necessário primeiramente, recuperar os trechos com altos índices de perda de carga distribuída. Portanto, havia a necessidade de recuperação do coeficiente de rugosidade "C" da adutora. Em função desta situação, foi decidido por se implantar 12 novas ventosas ao longo da tubulação nas regiões da AAB Rio Pato Branco onde

o coeficiente de rugosidade “C” era baixo, sendo decidido a implantação de 03 novas ventosas no 1º Trecho, 03 novas ventosas no 2º Trecho e 06 novas ventosas no 3º Trecho.

Para também auxiliar na expulsão do ar admitido nos stand-pipes e com isso diminuir o alto índice de perda de carga, técnicos da URPB executaram uma tubulação, em maio de 2010, a jusante dos stand-pipes, com a função de realizar a purga do ar admitido no referido dispositivo operacional, conforme mostra a Figura 3:



Figura 03: Purgador de ar instalado na região dos stand-pipes da AAB Rio Pato Branco.

Este purgador consiste em um tubulação PVC DN 50, instalada nos primeiros 96 metros a jusante dos 02 stand-pipes, assentada sobre a geratriz externa superior da adutora, tendo contato com a tubulação da adutora através de 8 furos de 1”, a uma distância de 12 metros cada furo, sendo que, a ponta deste purgador, foi direcionado para o ponto de nível de água máximo dos stand-pipes. Após a implantação destes purgadores, a Capacidade de Transporte da AAB Rio Pato Branco, considerando a operação de 02 conjuntos motor-bomba no Alto Recalque, ampliou para 530 m³/h, conforme medições realizadas.

Restava ainda realizar avaliações na Captação Rio Pato Branco. Com relação à captação, inicialmente foi realizada uma avaliação sobre a Capacidade de Transporte dos conjuntos do Baixo Recalque. Até então, não se conhecia o verdadeiro ponto de trabalho destes conjuntos, sendo que, sabia-se apenas que os conjuntos do Baixo Recalque tinham uma capacidade de vazão superior a capacidade de vazão dos conjuntos do Alto Recalque, em função da necessidade de utilização de Inversor de Frequência na Unidade de Montante. Como não há medição de vazão entre o Baixo Recalque e o Alto Recalque, foi realizado um Balanço de Massa na Câmara de Sucção do Alto Recalque.

Para a realização deste Balanço de Massa, foram ajustados os conjuntos motor-bomba do Baixo Recalque, de modo que o Inversor de Frequência não atuasse, para proporcionar o extravasamento de água através do extravasor retangular existente na Câmara de Sucção do Alto Recalque. Para a medição de vazão extravasada,

foram utilizadas 02 técnicas, sendo a primeira a medição através de bombona de 200 litros e cronômetro e a segunda a utilização do método das coordenadas para determinação de vazão em extremidades abertas, formulação esta apresentada por Porto (1999), conforme a Equação 03 a seguir:

$$\bar{v} = \frac{x}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{H \cdot y}} \quad \text{equação (03)}$$

Onde o v é a velocidade de escoamento através da extremidade (m/s); o H (m) é a altura da lâmina de água sobre a extremidade de saída ou carga hidráulica; o x (m) é a componente horizontal de velocidade ou a distância do eixo da abscissa em relação a saída; e o y (m) é a distância do eixo da ordenada em relação a saída. Após vários testes, concluiu-se que, a operação com 02 conjuntos motor-bomba no Baixo Recalque tem vazão superior em, pelo menos 128 m³/h a mais do que a operação com 02 conjuntos no Alto Recalque, ou seja, possui uma vazão operacional de, pelo menos, 652 m³/h. A Figura 04 mostra o trabalho de medição de vazão, do extravasor do Alto Recalque, utilizando bombona e cronômetro.



Figura 04: Medição de vazão, utilizando bombona, do extravasor da câmara de sucção do Alto Recalque da Captação Rio Pato Branco.

Acionando o 3º conjunto motor-bomba, a vazão operacional do Baixo Recalque seria de até 978 m³/h, valor este superior a Capacidade de Transporte da AAB Rio Pato Branco dos 03 conjuntos motor-bomba do Alto Recalque em operação. Portanto decidiu-se estagiar a ampliação da Capacidade de Transporte da AAB Rio Pato Branco em 02 etapas, sendo que, na primeira, com incremento de 108 m³/h, não haveria a necessidade de intervenção no Baixo Recalque e na segunda, com incremento de mais 108 m³/h, haveria a necessidade de redimensionamento dos conjuntos do Baixo Recalque.

Para o estagiamento da ampliação da Capacidade de Transporte, foi analisada a implantação de um inversor de frequência no 3º conjunto motor-bomba do Alto Recalque, para o acionamento do mesmo, já que a vazão de operação dos 03 conjuntos era maior do que a vazão necessária em primeira etapa. De acordo com Azevedo Neto e Alvarez (1973), uma variação na frequência do motor provoca uma variação na rotação, que provoca variações na altura manométrica e na vazão, conforme as Equações 04, 05 e 06 a seguir:

$$rpm = 120 \cdot \frac{frequencia}{n^\circ \text{ pólos}} \quad \text{equação (04)}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{(rpm_1)^2}{(rpm_2)^2} \quad \text{equação (05)}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{rpm_1}{rpm_2} \quad \text{equação (06)}$$

Onde H_1 e H_2 (m.c.a.) é a altura manométrica inicial e final; rpm_1 e rpm_2 (rpm) é o número de rotações por minuto da bomba inicial e final; Q_1 e Q_2 (m³/s) é a vazão inicial e final. Trabalhando em 60 Hz, obtém-se 3.600 rpm com um motor de 2 pólos, 1.800 rpm com 4 pólos, 1.200 rpm com 6 pólos e 900 rpm com 8 pólos. No caso específico do Alto Recalque, os conjuntos motor-bomba são de 4 pólos. Os inversores de frequência têm sido amplamente utilizados pelas Empresas de Saneamento, para melhorar a eficiência operacional e energética. Alguns exemplos de aplicação são relatados por Barbosa (2009), Lima, Nakagawa e Nascimento (2009) e Marques, Takayama e Souza (2010).

Para a implantação da primeira etapa de ampliação da Capacidade Transporte, a vazão de operação dos 03 conjuntos motor-bomba do Alto Recalque calculada é de 632 m³/h. Para esta vazão, conforme demonstra a Figura 05, o inversor de frequência do 3º conjunto deverá ficar entre 52 Hz e 54 Hz. Esta mesma figura apresenta diversas curvas características do 1º trecho da AAB Rio Pato Branco, trecho este por recalque, para diversos coeficientes de rugosidade. São apresentadas também as curvas dos conjuntos motor-bomba instalados, para um, dois e três equipamentos associados em série. Além disso, são apresentadas as curvas resultantes da associação de dois conjuntos com a terceira bomba funcionando com frequência variável, de 52 a 54 Hz. Para a implantação da melhoria em segunda etapa, o inversor de frequência do 3º conjunto motor-bomba do Alto Recalque deverá ficar ajustado em 60 Hz, ou seja, não haverá mais função.

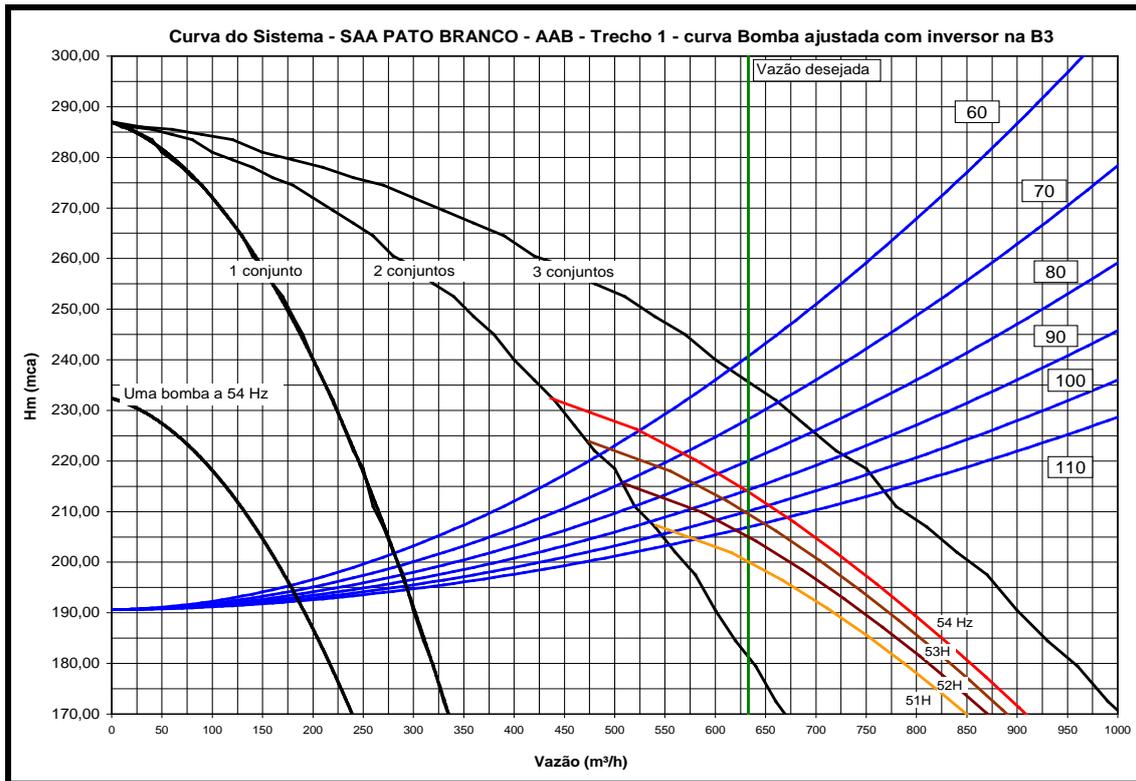


Figura 05: Avaliação do acionamento do 3º conjunto motor-bomba do Alto Recalque, com a atuação de inversor de frequência, para vários coeficientes de rugosidade “C”, no 1º trecho da AAB Rio Pato Branco.

Para a implantação destas 12 novas ventosas na adutora, era necessário que sua forma de implantação ocorresse com a tubulação em carga, para que, assim, fosse evitada a necessidade de novos rodízios de abastecimento de água da cidade em função da paralisação da adutora. Como este tipo de atividade, até então, era novidade para os colaboradores da Sanepar de Pato Branco, uma equipe da URPB se deslocou a Curitiba, em junho de 2010, para o acompanhamento de implantação de um hidrante em tubulação em carga, conforme mostra a Figura 06.



Figura 06: Acompanhamento de furação de tubulação em carga para implantação de hidrante.

A Tabela 02 a seguir, apresenta os dados operacionais da tubulação e técnicos da furação realizada para a implantação de hidrante, acompanhada pela equipe da URPB.

Tabela 02: Dados operacionais da tubulação e técnicos da furação acompanhada por equipe da URPB.

| Fluido do Processo | Água Tratada |
|-------------------------------------|--|
| Diâmetro Nominal da Tubulação | 400 mm |
| Material e Classe da Tubulação | FD K7 |
| Disposição da Furação | Direção Horizontal |
| Acessórios Implantados para Furação | Abraçadeira Especial Bi-partida, Registro Flangeado DN 100 e Mecanismo de Furação Adaptado com Serra Copo na Ponta |
| Acionamento do Mecanismo de Furação | Pneumático |
| Dados da Abraçadeira | Tê bi-partido DN 400 com Derivação Flangeada 4" |
| Tempo para Furação | Aproximadamente 5 Minutos |
| Quantidade de Furação Acompanhada | 01 Unidade |

Em Curitiba, este tipo de atividade estava em seu primeiro de desenvolvimento, em função da demanda, junto ao Corpo de Bombeiros, para ajuste da área de cobertura dos hidrantes existentes. Foi acompanhada a realização de uma furação, sendo que, para a realização da atividade, foi utilizado um mecanismo de furação pneumático com uma serra copo em sua ponta, acoplado ao registro flangeado DN 100, que por sua vez estava acoplado a uma abraçadeira especial bi-partida com derivação flangeada. Nesta atividade, foram verificadas as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens

- Velocidade na execução do serviço, pois o tempo de furação foi próximo a 5 minutos;
- Não necessidade de utilização de serviços complementares, como a necessidade de Energia Elétrica.

Desvantagens

- Necessidade de sistema de compressor para o acionamento do mecanismo de furação. Este sistema de compressor não era portátil;
- Em função da necessidade de compressor, era necessário um veículo de médio porte para sua movimentação, o que pode prejudicar o desenvolvimento desta atividade em locais de difícil acesso;
- Em função da velocidade de furação da parede da tubulação, a serra copo utilizada apresentou rápido desgaste, sendo necessária a utilização de outros, se houve mais furos para serem realizados.

DESCRIÇÃO DO TRABALHO DESENVOLVIDO

Com base no trabalho acompanhado em Curitiba, a URPB realizou processo de contratação para a implantação das 12 ventosas na AAB Rio Pato Branco com a tubulação em carga. Coube a Empresa Contratada a confecção das abraçadeiras especiais bi-partida, conforme ilustra a Figura 07, e o desenvolvimento de mecanismo para furação da tubulação.



Figura 07: Imagem da abraçadeira especial bi-partida utilizada para a implantação das ventosas na AAB Rio Pato Branco.

O mecanismo desenvolvido para a furação consistia em uma furadeira industrial adaptada a uma conexão flangeada, para ser acoplada junto ao registro, podendo ser utilizada para furação nas bitolas DN 50, DN 75 e DN 100. Por isso, as 12 abraçadeiras especiais bi-partida possuíam a sua derivação com junta flange. Na ponta desta furadeira, foi adaptada a serra copo, podendo ser utilizado para diversos diâmetros, conforme as bitolas acima mencionadas, para a realização da furação. Junto a serra copo era inserido um ímã para o resgate de parte da parede cortada.

Após a realização de limpeza do entorno da tubulação, no ponto a ser furado pelo equipamento, era realizado a montagem da abraçadeira especial bi-partida, que foi confeccionada em aço. Após esta montagem, era acoplado o registro flangeado a mesma, registro este fornecido pela Sanepar. Na seqüência, era realizada a montagem da furadeira adaptada, conforme já mencionado. A Figura 08 mostra o processo de furação utilizada na AAB Rio Pato Branco.



Figura 08: Execução de furação de tubulação em carga para implantação de 12 ventosas na AAB Rio Pato Branco.

A Figura 08 ainda demonstra que o sistema de acionamento da furadeira era um gerador elétrico de pequeno porte, a qual poderia ser deslocada por duas pessoas, o que facilitou na acessibilidade dos locais de realização de implantação das ventosas, pois em alguns casos estavam localizados em Zona Rural. No caso da AAB Rio Pato Branco, foram implantadas as ventosas nas bitolas DN 50 e DN 100. Para as ventosas implantadas na bitola DN 50, o diâmetro da serra copo acoplada na ponta da furadeira industrial adaptada era de 44 mm, o que gerou um diâmetro real do furo de 40 mm. Já para a ventosa implantada na bitola DN 100, o diâmetro da serra copo acoplada na ponta da furadeira era de 76 mm, o que gerou um diâmetro real do furo de 70 mm.

A Figura 09 mostra a parede da tubulação perfurada, denominada de “bolacha”, a qual era aprisionada no interior da serra copo em função da utilização de imã, para que a mesma não entrasse no fluxo de água.



Figura 09: Imagem das paredes das tubulações perfuradas para implantação de ventosa em rede em carga.

A Tabela 03 a seguir, apresenta os dados operacionais das tubulações e técnicos das furações realizadas para a implantação 12 ventosas na AAB Rio Pato Branco.

Tabela 03: Dados operacionais das tubulações e técnicas das furações realizadas para a implantação de 12 ventosas na AAB Rio Pato Branco com a tubulação em carga

| | | | |
|--|---|--|---|
| Fluido do Processo | Água Bruta | | |
| Diâmetro Nominal da Tubulação | 450 mm | | 350 mm |
| Material e Classe da Tubulação | FD K7 | | |
| Disposição da Furação | Direção Vertical | | |
| Acessórios Implantados para Furação | Abraçadeira Especial Bi-partida, Registro Flangeado DN 50 e Furadeira Industrial Adaptada com Serra Copo na Ponta | Abraçadeira Especial Bi-partida, Registro Flangeado DN 100 e Furadeira Industrial Adaptada com Serra Copo na Ponta | Abraçadeira Especial Bi-partida, Registro Flangeado DN 50 e Furadeira Industrial Adaptada com Serra Copo na Ponta |
| Acionamento Furadeira Industrial | Elétrico | | |
| Dados da Abraçadeira Implantada | Tê bi-partido DN 450 com Derivação Flangeada 2" para Implantação de Ventosa DN 50 | Tê bi-partido DN 450 com Derivação Flangeada 4" para Implantação de Ventosa DN 100 | Tê bi-partido DN 350 com Derivação Flangeada 2" para Implantação de Ventosa DN 50 |
| Tempo para Furação | 10 minutos a 1 hora | | |
| Quantidade de Furação Realizada | 05 Unidades | 01 Unidade | 06 Unidades |
| Pressão Operacional da Tubulação no Ponto de Furação | 15 a 80 m.c.a. | | |

Para a implantação das 12 novas ventosas, primeiramente foi implantada uma abraçadeira piloto, em um ponto pré-definido pela Sanepar, cuja pressão operacional, neste ponto, é de 20 m.c.a., juntamente com a ventosa, para acompanhamento, no mês de julho/2010. Após a verificação da inexistência de problemas ocasionados pela implantação da abraçadeira piloto, a Sanepar solicitou à Empresa Contratada a implantação das 11 demais abraçadeiras, juntamente com as ventosas, no mês de dezembro/2010.

Em relação ao trabalho acompanhado em Curitiba, o método utilizado para a implantação das 12 novas ventosas teve as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens

- Acessibilidade aos locais de implantação das novas ventosas com os equipamentos para a furação, pois, além da abraçadeira bi-partida, furadeira industrial adaptada e ferramentas, era também necessário um grupo gerador elétrico de pequeno porte, podendo ser facilmente deslocado por 02 pessoas. Em alguns casos na AAB Rio Pato Branco, o ponto de implantação de novas ventosas estava em locais de difícil acesso a veículos como lavouras de soja e mata, o que impossibilitaria o acesso para um caminhão transportando um sistema compressor, caso o sistema pneumático fosse o utilizado;
- Em função da baixa velocidade de rotação da furadeira industrial adaptada, era possível utilizar uma mesma serra copo para diferentes pontos de implantação da abraçadeira especial bi-partida.

Desvantagens

- Velocidade na execução do serviço, pois o mecanismo de furação pneumático apresentou tempo de furação de 5 minutos, enquanto a furadeira elétrica apresentou um tempo de até 1 hora, em função da velocidade de rotação de ambos os métodos.

Independente da metodologia de furação, seja ela pneumática ou elétrica, o grande aprendizado para a URPB foi verificar, na prática, um sistema de trabalho eficiente e condizente com a missão das Empresas de Saneamento, que é a não interrupção no fornecimento de água aos clientes externos e o não desperdício da



matéria-prima, além de outros benefícios já mencionados. Outra questão foi de ordem econômica, pois o custo per capita de confecção e instalação das abraçadeiras especiais bi-partida foi, neste caso, semelhante ao custo de aquisição das peças utilizados no sistema convencional (luva de correr, tê de redução e redução). Portanto, em relação ao método tradicional, houve a economia com os serviços de corte da tubulação e montagens das peças, além dos benefícios já elencados. A intenção da URPB é utilizar esta metodologia em futuras demandas.

Anterior a melhoria de implantação das 12 novas ventosas na AAB Rio Pato Branco, o coeficiente “C” dos 03 trechos distintos, calculado com base nos dados de vazão e pressão expressas na Tabela 01, com o auxílio da Equação 02, eram os seguintes:

- 1º trecho: $C = 86$;
- 2º trecho: $C = 79$;
- 3º trecho: $C = 89$.

Com a implantação das 12 novas ventosas e considerando a nova Capacidade de Transporte, o coeficiente “C” dos 03 trechos distintos da ficaram o seguinte:

- 1º trecho: $C = 89$;
- 2º trecho: $C = 95$;
- 3º trecho: $C = 107$.

Pode ser observado que o 3º trecho foi o que teve melhor recuperação do coeficiente “C”, em função da implantação do maior número de novas ventosas. Portanto, com o trabalho realizado, pode-se afirmar que houve redução das perdas de carga ao longo da adutora, ou seja, recuperação do coeficiente de rugosidade “C”.

Após a implantação das 12 novas ventosas com a tubulação em carga, foi realizado o “start-up” da ampliação da Capacidade de Transporte da Adutora de Água Bruta, com o acionamento do 3º conjunto motor-bomba, com inversor de frequência, do Alto Recalque da Captação, inversor este que ficou modulado para uma frequência de 54 Hz. Assim, segundo Gasparini, Favaro e Depexe (2011), foi possível elevar a Capacidade Real de Produção do SAA Pato Branco de 12.576 m³/dia para 15.168 m³/dia, ou seja, um incremento de 20,61%. Conforme estudo de crescimento de demanda, este incremento será suficiente até 2015. Como este horizonte é extremamente curto, a Companhia de Saneamento responsável pela produção de água continua trabalhando para a viabilização da 2ª etapa da ampliação da Capacidade de Produção, conforme já mencionado, o que ampliará a saturação do sistema para 2019.

O Consumo Específico de Energia Elétrica, referente ao mês de janeiro de 2010, foi de 0,86 kWh/m³ de água aduzida. Já para o mês de janeiro de 2011, ou seja, após a operacionalização do 3º conjunto motor-bomba do Alto Recalque, o Consumo Específico de Energia foi de 0,85 kWh/m³ de água aduzida. Portanto o consumo específico se manteve em um mesmo patamar, mesmo com a operação de um novo conjunto motor-bomba.

CONCLUSÕES

Ao longo do ano de 2009, o SAA Pato Branco registrou uma Demanda Máxima Diária dos meses de janeiro, de fevereiro, de junho, de novembro e de dezembro superior a Capacidade Real de Produção do Sistema. Esta situação exigia atenção para a operação do Sistema Adutor, pois era necessário que os reservatórios permanecessem com o nível de água no máximo, para compensar da deficiência na produção. Este cenário gerava uma situação de risco permanente de desabastecimento, em função da possibilidade de ocorrência de dias seguidos de alta demanda, o que não permitiria a manutenção dos níveis de reservação. No verão do ano de 2010, em função de dias seguidos de alta demanda, não foi possível a manutenção dos níveis de reservação, o que implicou na necessidade de realização de rodízio no abastecimento, de modo a assegurar o abastecimento das regiões menos favorecidas do Sistema Distribuidor, o que gerou a insatisfação dos clientes externos.

Após monitoramento da AAB Rio Pato Branco, ficou evidente a necessidade de implantação de novas ventosas, para recuperação dos trechos com alto índice de perdas de carga. Estas novas ventosas foram



implantadas com a tubulação em carga, para se evitar a paralisação do abastecimento de água. Com relação ao Alto Recalque, foi necessária a operacionalização do 3º conjunto motor-bomba, com o inversor de frequência modulado em 54 Hz.

Segundo Silva *et al.* (2010), este novo processo de intervenção em tubulações, que realiza o processo com a mesma em carga, apresenta as seguintes vantagens e ganhos para as Empresas de Saneamento:

- Elimina perda de água por descarregamento e sua decorrente perda de faturamento;
- Evita a reclamação dos clientes;
- Garante o abastecimento a população em tempo integral;
- Elimina custos referentes ao processo convencional de intervenção em tubulações, sendo eles: planejamento de parada, equipes de manobra, divulgação, etc.;
- Melhoria das condições de trabalho;
- Elimina problemas referentes às paradas em tubulações, sendo eles: quebra de válvulas durante as manobras e falta de estanqueidade dos registros de manobra, o que acarreta em aumento da área a ser descarregada.

Há ainda os benefícios na otimização das despesas com Energia Elétrica. Para se ter uma idéia da importância de execução de novos dispositivos operacionais com as tubulações em carga, para se encher com Água Bruta toda a AAB Rio Pato Branco, cujo volume total é de 1.768 m³, seria necessário utilizar o montante de 1.646 kWh, a um importe de R\$ 560,00 para Sanepar, podendo chegar a um importe de R\$ 653,00, dependendo da condição de operação dos conjuntos motor-bomba do Alto Recalque da Captação Rio Pato Branco.

Há de se destacar ainda que a implantação de novas ventosas permite a recuperação do coeficiente de rugosidade “C” da adutora, o que reduz as perdas de carga ao longo da tubulação adutora, promovendo, assim, a ampliação da Capacidade de Transporte da tubulação, sendo que, no caso específico da AAB Rio Pato Branco, o trecho da adutora que teve melhor recuperação do coeficiente de rugosidade “C” foi justo aquele que teve a maior quantidade de novas ventosas implantadas.

Este tipo de intervenção, com as tubulações em carga, vem a consolidar com duas das principais missões das Empresas de Saneamento, que é a não interrupção no fornecimento de água aos clientes externos e o não desperdício de sua matéria-prima. Há de se mencionar também que houve economia de recursos financeiros com o desenvolvimento desta atividade, em comparação ao método de intervenção convencional, no caso específico da implantação das 12 ventosas na AAB Rio Pato Branco.

Portanto, desta forma, a Capacidade Real de Produção do SAA Pato Branco foi elevada de 12.576 m³/dia para 15.168 m³/dia, ou seja, um incremento de 20,61%, em um curto período de tempo, o que será suficiente para o atendimento da demanda até 2015, sem um incremento do Consumo Específico de Energia Elétrica do Sistema Adutor. Como este horizonte é curto, está sendo desenvolvidos estudos para a realização de um novo incremento de produção, o que ampliará a saturação do sistema para 2019. Em paralelo as estas melhorias, está sendo desenvolvido o Projeto de Engenharia para a Ampliação Global do SAA Pato Branco, de modo a aumentar o horizonte do sistema para os próximos 20 anos.

Com esta experiência, ficaram evidentes as vantagens da intervenção em redes de adução ou de distribuição de água com a tubulação em carga, em comparação ao método de intervenção convencional, em função de todos os benefícios mencionados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de Hidráulica**. José Martiniano de Azevedo Netto; coordenação Roberto de Araujo; co-autores Miguel Fernandes y Fernandes, Acácio Eiji. 8ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.
2. BARBOSA, A. C. Benefícios com a implantação de conversor de frequência em poço no sistema de abastecimento de água. In: XX Encontro Técnico da Associação dos Engenheiros da Sabesp – Aesabesp. **Anais**. São Paulo, 2009. 7p.



3. GASPARINI, R. R., FAVARO, M. A. e DEPEXE, M. D. Ampliação da Capacidade Real de Produção do Sistema de Abastecimento de Água de Pato Branco – PR. In: XXII Encontro Técnico da Associação dos Engenheiros da Sabesp – Aesabesp. **Anais**. São Paulo, 2011.
4. LIMA, E. R., NAKAGAWA, N. K; NASCIMENTO, J. Benefícios na implantação de conversores de frequência nos boosters com controle por faixas de pressão: eficiência energética e redução de perdas. In: XX Encontro Técnico da Associação dos Engenheiros da Sabesp – Aesabesp. **Anais**. São Paulo, 2009. 4p.
5. MARQUES, A. D.; TAKAYAMA, R. Y.; SOUZA, M. A. M. Parametrização de conversores de frequência em estações elevatórias para combate às perdas reais. In: XXI Encontro Técnico da Associação dos Engenheiros da Sabesp – Aesabesp. **Anais**. São Paulo, 2010. 5p.
6. PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. Rodrigo de Melo Porto. 2ª edição. São Carlos: EESC-USP, 1999.
7. SILVA, J. M., SANTOS, C. E. A., COSTA, F. S., SIMÕES NETO, A. A., TABASCO, D. P. e MARCONI, R. G. Furação e Interligação de Redes de Distribuição em Carga: Processo que Elimina Paradas no Abastecimento de Água para a Execução de Ampliação, Melhoria e Manutenção do Sistema de Distribuição. In: XXI Encontro Técnico da Associação dos Engenheiros da Sabesp – Aesabesp. **Anais**. São Paulo, 2010.
8. www.ibge.gov.br – Site Oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.