

I-047 – REDUÇÃO DA PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA, EM TUBULAÇÃO ADUTORA DE ÁGUA BRUTA, ATRAVÉS DA SUBSTITUIÇÃO DE VENTOSAS EXISTENTES E DA IMPLANTAÇÃO DE NOVAS VENTOSAS

Romulo Ruiz Gasparini⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Especialista em Gestão e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e em Gestão Empresarial pelo Centro Universitário Unifae (UNIFAE). Mestre em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Atua como Engenheiro de Desenvolvimento Operacional na Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) – Unidade Regional de Pato Branco (URPB).

Marcelo Dalcil Depexe⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Atua na área de Desenvolvimento Operacional da SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná.

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 artigo apresenta o aumento de capacidade de transporte de tubulação adutora através de substituição de 23 ventosas existentes e de implantação de 12 novas ventosas na Adutora de Água Bruta do Sistema de Abastecimento de Água de Pato Branco – AAB Rio Pato Branco, devido a presença de bolsões de ar ao longo da canalização, diagnosticado em monitoramento de pressão e de vazão realizado nesta Unidade Operacional, o que proporcionava a existência de trechos com elevada perda de carga distribuída. Com este trabalho, foi possível operacionalizar o 3º conjunto motor-bomba do Alto Recalque da Captação Rio Pato Branco, Unidade Operacional esta a montante da AAB, para elevar a sua Capacidade de Transporte em 20,6 %, em um curto período de tempo e sem elevação do Consumo Específico de Energia Elétrica, além de ampliar a vida útil de todo Sistema Produtor em 5 anos.

PALAVRAS-CHAVE: Perda de Carga Distribuída, Coeficiente de Rugosidade e Ventosas.

INTRODUÇÃO

Conforme enunciado geral do Teorema de Bernoulli, para um escoamento contínuo permanente, a carga total de energia, sendo esta composta pela parcela de energia interna, de energia cinética e de energia potencial gravitacional, em qualquer ponto de uma linha de corrente de escoamento de um fluido, é igual à carga total em qualquer ponto a jusante desta mesma linha de corrente, mais a perda de carga entre os dois pontos. Esta perda de carga, que é a energia que se dissipa sob a forma de calor, é provocada pela viscosidade do fluido a ser escoado e a rugosidade da parede da tubulação.

Segundo Azevedo Netto (1998), para análise da rugosidade das paredes das tubulações deve ser considerado os seguintes fatores:

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

Conforme Marques e Sousa (2009), a presença de ar nas canalizações é altamente prejudicial, uma vez que provoca perturbações no escoamento e pode dar origem a fenômenos de cavitação. A presença de bolsões de ar nas canalizações também podem aumentar as perdas de carga distribuída nestas tubulações.

Uma ventosa pode ser entendida como uma medida protetora para o funcionamento de uma adutora. A ventosa 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.

Desta forma, este artigo apresenta o resultado referente à substituição de 23 ventosas existentes e de implantação de 12 novas ventosas na Adutora de Água Bruta do Sistema de Abastecimento de Água de Pato Branco – AAB Rio Pato Branco. Havia a necessidade de substituição das ventosas existentes e de implantação de novas ventosas devido à existência de trechos da canalização com elevado perda de carga distribuída, conforme monitoramento de pressão e de vazão realizado nesta Unidade Operacional, o que estava restringindo a capacidade de transporte da referida adutora. Com este trabalho, foi possível operacionalizar o 3º conjunto motor-bomba do Alto Recalque da Captação Rio Pato Branco, Unidade Operacional esta a montante da AAB, para elevar a sua Capacidade de Transporte em 20,6 %, em um curto período de tempo e sem elevação do Consumo Específico de Energia Elétrica, além de ampliar a vida útil de todo Sistema Produtor em 5 anos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi desenvolvido um trabalho de monitoramento da AAB Rio Pato Branco, adutora esta que é dividida em 03 trechos distintos (1º por recalque e demais trechos por gravidade), 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.

Pode ser observado, portanto, que, anterior à melhoria realizada na adutora, a relação entre a extensão de tubulação adutora e quantidade de ventosas, no 1º trecho, era de 389,67 metros/ventosa; no 2º trecho era de

486,67 metros/ventosa; no 3º trecho era de 1.134,00 metros/ventosa. Estas ventosas existentes, anterior à melhoria, em sua grande maioria, apresentavam problemas de funcionamento.

Para o monitoramento da adutora, foram realizadas leituras de pressão junto a 3 ventosas a e 3 estações pitométricas existentes, através da instalação de loggers de pressão. No barrilete dos conjuntos motor-bomba do Alto Recalque, foi instalada 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 distintos 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.

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:

$$\Delta H = 1,60 \cdot \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} \cdot L \quad (\text{Equação 01})$$

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. Segundo Azevedo Netto (1998), a fórmula de Hazen-Williams pode ser satisfatoriamente aplicada para qualquer tipo de conduto e de material. Conforme Baptista e Lara (2003) a fórmula de Hazen-Williams tem sido largamente empregada, sendo aplicável a tubulações de seção circular e com o diâmetro superior a 50 mm, conduzindo somente água. A Tabela 01 apresenta os valores do coeficiente de rugosidade “C” encontrados na prática:

Tabela 01: Coeficiente de rugosidade “C”, de alguns materiais de tubulações, da fórmula de Hazen-Williams.

Material da Tubulação	Coeficiente “C”
Aço rebitado novo	110
Aço rebitado em uso	85
Aço soldado novo	130
Aço soldado em uso	90
Cobre	130
Ferro dúctil novo	130
Ferro dúctil de 15 a 20 anos de uso	100
Ferro dúctil usado	90
Ferro dúctil revestido de cimento	130
Ferro Galvanizado	125
PVC	150

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:

$$C = 1,8 \sqrt{\frac{1,60 \cdot Q}{\Delta H \cdot D^{4,87}}} \quad (\text{Equação 02})$$

A Tabela 02 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 02: Trabalho de monitoramento de pressão e de vazão realizado na AAB Rio Pato Branco.

IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO DA ADUTORA	IDENTIFICAÇÃO DO PONTO DE MONITORAMENTO				DETERMINAÇÃO DOS DADOS NECESSÁRIOS						
	Dispositivo operacional	Cota no ponto (m)	Distância em relação à origem (m)	Diâmetro nominal do trecho (mm)	Pressão média no ponto (mca)	Piezométrica média no ponto (m)	Vazão medida (m³/h)		Cálculo do coeficiente "C" do trecho		Cálculo da perda de carga unitária do trecho (m/km)
							Pitometria	Macromedição	Pitometria	Macromedição	
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	-				
	Vento sa nº 10	773	3.361		112	885	-				
	TAP nº 02	865	4.460		12	877	528		64	62	6,87
	Stand-pipe 01	876	4.676		1	877	-		82	80	4,30
TRECHO 02	TAP nº 03	806	5.685	350	60	866	511		50	50	10,18
	Vento sa nº 15	831	5.966		34	865	-		65	66	6,19
	Stand-pipe 02	857	9.057		1	857	-		111	112	2,33
	Vento sa nº 24	782	10.201		47	829	-		61	60	25,03
TRECHO 03	TAP nº 06	811	12.418	350	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 substituir 11 ventosas no 1º trecho da adutora, por substituir 09 ventosas no 2º trecho da adutora, por substituir 03 ventosas no 3º trecho da adutora e por se implantar 12 novas ventosas ao longo da tubulação nas regiões onde o coeficiente de rugosidade “C” era baixo, sendo decidida a implantação de 03 novas ventosas no 1º Trecho, 03 novas ventosas no 2º Trecho e 06 novas ventosas no 3º Trecho, para que, desta forma, houvesse a redução de bolsões de ar no interior da tubulação, conforme observado no monitoramento realizado na adutora.

Para também auxiliar na expulsão do ar admitido nos stand-pipes e com isso diminuir o alto índice de perda de carga, foi executada uma tubulação, a jusante dos stand-pipes, com a função de realizar a purga do ar admitido no referido dispositivo operacional, conforme mostra a Figura 01:



Figura 01: 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.

Para a implantação das 12 novas ventosas, era necessário que a implantação das mesmas 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. O mecanismo desenvolvido para a furação consistia em uma furadeira industrial elétrica 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 imã para o resgate de parte da parede cortada.

Desta forma, a extensão de tubulação adutora x quantidade de ventosas, que no 1º trecho era de 389,67 metros/ventosa, atualmente é de 311,76 metros/ventosa; no 2º trecho era de 665,00 metros/ventosa, atualmente é de 486,67 metros/ventosa; e no 3º trecho era de 1.134,00 metros/ventosa, atualmente é de 378,00 metros/ventosa.

RESULTADOS

Anterior à melhoria de substituição de 23 ventosas existentes e de implantação de 12 novas ventosas na AAB Rio Pato Branco, o coeficiente global “C” dos 03 trechos distintos da tubulação adutora, calculado com base nos dados de vazão e pressão expressas na Tabela 01, com o auxílio da Equação 01, 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 distribuída ao longo da adutora, ou seja, recuperação do coeficiente de rugosidade “C”.

Com isso, segundo Gasparini, Favaro e Depexe, foi possível incrementar a Capacidade de Transporte da AAB Rio Pato Branco de 12.577 m³/dia para 15.168 m³/dia, ou seja, um incremento de 20,6%, sem um incremento do Consumo Específico de Energia Elétrica do Alto Recalque da Captação Rio Pato Branco. 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

Após monitoramento da AAB Rio Pato Branco, ficou evidente a necessidade de substituição das ventosas existentes e de implantação de novas ventosas, para recuperação dos trechos com alto índice de perdas de carga, devido à existência de bolsões de ar, ao longo da canalização, que reduziam a sua Capacidade de Transporte. Estas novas ventosas foram implantadas com a tubulação em carga, para se evitar a paralisação do abastecimento de água.

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.

Desta forma, 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 20,6%, 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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de Hidráulica**. José Martiniano de Azevedo Netto; coordenação Roberto de Araújo; co-autores Miguel Fernandes y Fernandes, Acácio Eiji. 8ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.
2. BAPTISTA, M.; LARA, M. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 2 edição. Belo Horizonte: Editora UFMG/Escola de Engenharia da UFMG, 2003.
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. **Anais do XXII Encontro Técnico da Associação dos Engenheiros da Sabesp – Aesabesp**. São Paulo, 2011.
4. MARQUES, J. A. S.; SOUSA, J. J. O. **Hidráulica Urbana – Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais**. 2ª edição. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2009.
5. PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. Rodrigo de Melo Porto. 2ª edição. São Carlos: EESC-USP, 1999.