

I-162 - AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO MÉTODO DAS VAZÕES MÍNIMAS NOTURNAS PARA DIAGNOSTICAR AS PERDAS DE ÁGUA

Arilton José Ghidetti

Engenheiro Mecânico e de Segurança do Trabalho pela Universidade Mackenzie, MBA em Gestão Ambiental pela FACENS, Higienista Ocupacional pela USP e Mestrando em Saneamento Ambiental – Unicamp, Engenheiro da Sabesp há 13 anos.

Edevar Luvizotto Junior

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (1986), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (1992), doutorado em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (1995) e pós-doutorado pela Universidade Politécnica de Valência (1998). Atualmente é PROFESSOR - NIVEL MS3 da Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia Hidráulica.

Endereço: Rua Antonio Punhagui de Freitas 130 – Vila Natri II - Itapetininga - SP - CEP: 18.200-000 - Brasil
- Tel: +55 (15) 3275-91-28 - Fax: +55 (15) 3275-91-28 - e-mail: aghidetti@sabesp.com.br

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação do emprego do Método das Vazões Mínimas Noturnas quando aplicado a um Setor de Abastecimento utilizando bombeamento direto com variação de rotação. O método de simples concepção é empregado na obtenção das informações para a elaboração de um diagnóstico de perdas de água em sistemas de abastecimento. No caso apresentado nesse trabalho o método foi aperfeiçoado possibilitando sua aplicação prática à realidade do setor investigado. Os resultados obtidos permitiram concluir que o método, após o aperfeiçoamento proposto, é adequado a análise de setores que empregam bombeamento com rotação variável, uma tendência observável nos grandes sistemas de abastecimento e, certamente para os quais o método da vazão mínima noturna pode proporcionar um efetivo suporte nas investigações de perdas.

PALAVRAS-CHAVE: Inversor de Frequência, Método das Vazões Mínimas Noturnas, Perdas de água.

INTRODUÇÃO

Um dos métodos para avaliar as perdas de água em sistemas de distribuição é o da vazão mínima noturna. Com o uso deste método, é possível estimar os principais componentes das perdas existentes contribuindo para que as equipes de detecção, controle e reparo de vazamentos priorizem suas atividades. (U.K. WATER INDUSTRY, 1994).

Para Lambert apud Gonçalves (1998), a vazão mínima noturna ocorre diariamente no horário entre a 01h00min e 05h00min horas. No intervalo entre esses horários é quando ocorrem as maiores perdas e existem maiores facilidades de determinar o que ocasiona estas perdas. As perdas noturnas são maiores que as perdas de mesmas causas ocorridas durante o período do dia. Este fato ocorre em decorrência da pressão noturna da rede de distribuição de um setor ser maior que a pressão diurna.

Segundo Lambert, a vazão mínima noturna (VMN) possui dois componentes principais; a) Vazão noturna de abastecimento (VNA) que é consumida pela população do setor no período em que a vazão mínima noturna é medida. É composta da vazão noturna líquida (VNL) e do consumo noturno excepcional, b) Vazão das Perdas na distribuição na vazão noturna (PDVN), resultado da diferença da vazão mínima noturna e a vazão noturna de abastecimento. As causas da PDVN podem ser: vazamentos, extravasamentos de reservatórios, perdas nas ligações prediais, perdas inerentes, perdas na rede principal e perdas devido às ligações clandestinas.

O método das vazões mínimas noturnas é de grande simplicidade, porem emprega um fator denominado noite/dia que expressa à característica operacional do sistema. O estudo do caso proposto como investigação neste trabalho diferencia-se dos estudos apresentados na literatura que tratam de sistemas convencionais alimentados por reservatórios elevados (gravidade), na forma de obtenção desse fator.

Para o sistema analisado com bombeamento direto as questões que se colocam são:

- Como realizar o fechamento parcial de uma válvula, que controla um recalque por meio de uma bomba acoplada a um motor de 55 CV de potência sem atuador elétrico, de forma manual, não estando a válvula de controle interligada ao Sistema de Supervisão e Controle?
- Qual a manobra de abertura da válvula, sem parar o funcionamento do Sistema ou provocar um golpe de ariete que possa vir causar a ruptura de uma tubulação de 300 mm?
- Qual será a abertura da válvula antes que o ponto crítico de abastecimento do sistema apresente falta d'água e como será realizado esse monitoramento, uma vez que a válvula não é controlada pelo CCO?
- A formação de bolhas de ar resultante de um fechamento inadequado da válvula serão retiradas adequadamente pela ventosa do sistema?
- A válvula de retenção será suficiente para proteger o sistema caso ocorra alguma anomalia resultante da operação?

Esses questionamentos formam os principais motivos para a proposição da pesquisa que se apresenta.

Objetivo e justificativa

O trabalho objetiva propor e avaliar uma metodologia baseada no Método da vazão mínima noturna, investigando a sua adequação na obtenção dos parâmetros que permitem o cálculo do fator noite e dia, empregado pelo método para um sistema com bombeamento direto controlado por inversor de frequência. A ideia é determiná-los por meio da variação de frequência de controle da rotação do sistema de bombeamento.

Revisão bibliográfica

A Base do Método das Vazões Mínimas Noturnas é a variação de consumo nos sistemas de abastecimento de água ao longo do dia. (TSUTIYA, 2006). Normalmente, o pico diário da curva de consumo está compreendido entre 12 e 14 horas. Esse pico vai caindo até atingir o consumo mínimo entre 3 e 4 horas da madrugada. (GONÇALVES; ALVIN, 2007).

A vazão correspondente a esse consumo mínimo é denominada “Vazão Mínima Noturna”, que pode ser medida através do uso de equipamentos de medição de vazão e pressão, desde que adotados procedimentos adequados de fechamento dos registros limítrofes do setor ou subsetor em análise. (TSUTIYA, 2006).

A utilização da Vazão Mínima Noturna para a determinação das Perdas Reais é vantajosa devido ao fato de que, no momento de sua ocorrência há pouco consumo e as vazões são estáveis (as caixas d'água domiciliares estão cheias), e uma parcela significativa do seu valor refere-se às vazões dos vazamentos. (VIEIRA; CAROZZI, 2006)

Segundo Gonçalves e Alvin (2007) a vazão mínima noturna também é o principal indicador do nível de perdas reais que estão ocorrendo em um sistema. Normalmente, o consumo noturno é reduzido, principalmente em áreas residenciais. Qualquer alteração na vazão mínima de uma unidade de abastecimento pode significar ocorrência de vazamentos.

Para se chegar à vazão dos vazamentos é necessário estimar praticamente todos os componentes dos consumos noturnos, a menos dos grandes consumidores, onde é possível medir os seus consumos individuais observados durante os ensaios. Para os consumos residenciais costuma-se assumir hipóteses baseadas em medições específicas de consumo e extrapoladas para o conjunto de consumidores da área envolvida ou utilizar dados da literatura.

As vazões de vazamentos assim determinadas representam os valores observados naquela hora do ensaio onde as pressões do sistema atingem o máximo. Como a vazão nos vazamentos é bastante influenciada pela pressão o valor observado na hora da mínima noturna é a vazão máxima diária dos vazamentos que, se simplesmente multiplicada por 24h, estaria supervalorizando os volumes diários perdidos.

Para solucionar esse problema foi criado o “Fator Noite/Dia”, que é um número dado em horas por dia, que multiplicado pela vazão dos vazamentos (extraída da Vazão Mínima Noturna), resulta no Volume Médio Diário dos Vazamentos, ou seja, nas Perdas Reais médias do ensaio. O FND ou Fator Noite-Dia também pode ser entendido como o parâmetro que corrige o valor da perda real ocorrida no horário da mínima noturna,

permitindo obter o valor médio diário da perda real. O FND com unidades de horas/dia é influenciado por um parâmetro N1 e pela variação das pressões médias horárias no setor de abastecimento.

Assim a vazão média das perdas reais diárias é obtida com base na vazão Mínima Noturna através da equação (1):

$$Q_{\text{PERDAS}} = (Q_{\text{MIN NOT}} - Q_L) \times \text{FND} \quad \text{equação (1)}$$

Sendo,

Q_{PERDAS} = Vazão Média das Perdas Reais Diárias, em m³/dia;

$Q_{\text{MIN NOT}}$ = Vazão Mínima Noturna Média do Período Amostrado, em m³/hora;

Q_L = Vazão de Usos ou Consumos Legítimos Médios no horário da mínima noturna (m³/hora);

FND = Fator de Correção, ou Fator Noite Dia, que depende das pressões médias do setor e do parâmetro N1.

A determinação do FND é precedida da determinação do parâmetro N1 e das Pressões Médias Horárias do Setor.

O coeficiente N1 relaciona a pressão Média do Sistema por meio da equação (2):

$$N_1 = \frac{\log\left(\frac{Q_1}{Q_0}\right)}{\log\left(\frac{P_1}{P_0}\right)} \quad \text{equação (2)}$$

Sendo

Q_1 = Vazão total de perdas por vazamentos em m³/hora na hora 1, quando a pressão média desse sistema ou setor na hora 1 é P_1 (mca)

Q_0 = Idem quando a pressão média é P_0 (mca)

P_1 = Pressão média horária do setor ou sistema, na hora 1;

P_0 = Pressão média horária do setor ou sistema, na hora 0.

O valor de N1, é característico de cada sistema e pode ser obtido a partir de ensaio (teste de campo, denominado de “step-test”). Tradicionalmente o ensaio consiste em variar a vazão de entrada e a pressão média do setor no horário de consumo mínimo do sistema. Esta variação é obtida manobrando-se (fechando-se parcialmente) o registro de água na entrada do setor (geralmente localizado na saída do reservatório de distribuição).

O teste deve ser feito no horário de ocorrência da vazão mínima noturna, quando as caixas d’água dos consumidores estão cheias. Nessa hora, a vazão de entrada e a pressão média do sistema são estáveis ou pouco variáveis, e a vazão média de entrada corresponde à soma entre a vazão total de vazamentos do setor e a vazão de consumos legítimos, ambas referidas a esse horário.

Cada operação de fechamento parcial do registro de entrada corresponde a um par de valores de pressão média do setor (P) e de vazão de vazamentos (Q) estabilizados. No estágio inicial, antes do ensaio, tem-se o par de valores Q_0 e P_0 , estáveis. Após a primeira redução, e após alguns minutos, tem-se o novo par de valores estáveis Q_1 e P_1 , e com isso já é possível obter o primeiro valor de N1. Lambert e Thornton (2002) recomendam, entretanto, realizar no mínimo 2 (duas) reduções de pressão média e vazão de entrada do sistema para obter mais valores de N1 entre os estágios do teste, sendo ideal realizar 3 (três) reduções. Entre as reduções, deve ser aguardada a estabilização do sistema, o que pode durar alguns minutos. Lambert e Thornton (2002) exemplificam os passos básicos para o teste de N1 da seguinte forma:

- Abastecer o setor através de um único ponto de entrada com VRP;
- Medir as pressões no PPMS;
- À noite, aguardar até a estabilização das pressões (todas as caixas d’água cheias);
- Reduzir gradualmente a pressão no ponto de entrada;
- Medir a diminuição da vazão noturna e as mudanças de pressão no PPMS.

Durante o ensaio, deve-se ter o cuidado especial de não fechar o registro de modo a criar trechos de tubulação sem água, ou parcialmente cheios, o que tornaria o teste não representativo de todo o sistema de tubulações abrangidas pelo setor. Portanto, a operação de fechamento deve ser executada gradual e lentamente.

Os testes de N1 devem ser realizados em períodos de cerca de 1 hora, coincidindo com o horário habitual de ocorrência da vazão mínima noturna no local, previamente estudado sobre os valores históricos de vazões mínimas em cada local.

Para a determinação dos valores de N1 entre os passos do ensaio, utilizam-se somente os valores de pressão e de vazão relativos aos períodos estáveis do sistema durante o ensaio. Nem sempre, entretanto, é possível a realização do ensaio com 3 reduções de pressão e vazão.

A pressão média do setor (PMS) é obtida por meio da instalação de um registrador (data-logger) em local o mais próximo possível do ponto com cota igual a Cota Média do Setor e definido como o Ponto de Pressão Média do Setor (PPMS).

De posse das pressões médias horárias e do valor de N1, o valor de FND é obtido por meio da equação (3):

$$FND = \sum_{i=1}^{24} (P_i / P_{3-4})^{N1} \quad \text{equação(3)}$$

Sendo:

P_i= Pressão média horária, durante o período de dias de amostragem, da hora i do dia;

P₃₋₄= Pressão média de referência, obtida no horário da Vazão Mínima Noturna.

2. METODOLOGIA

O setor a ser estudado é abastecido pelo reservatório da Vila Natri que possui capacidade atual de cinco milhões de litros conforme (figura 1) resultante da conclusão em Setembro de 2011 das obras de expansão e melhorias do abastecimento aumentando a sua reservação em dois milhões e meio de litros de água dividida em dois módulos iguais.



Figura 1 – Reservatório após a conclusão das obras

O reservatório da Vila Natri abastece aproximadamente 33% do Município através de 138 km de redes de água sendo deste total 28 km de redes primárias, atendendo os setores: Chapadinha, Zona Baixa, Presídio do Município de Guareí através de caminhões tanque e o Setor Jardim Atenas do Sul objeto do presente trabalho.

O Setor de abastecimento Jardim Atenas do Sul era um sistema totalmente pressurizado, porém após a conclusão das obras de expansão e melhorias do sistema de abastecimento, sua reservação foi aumentada em dois milhões e meio de litros de água, em dois módulos iguais. Após a conclusão dessa obra de expansão do reservatório aproximadamente menos de cinco por cento de seu volume de água passou a ser distribuído por gravidade.

O setor possui atualmente uma área aproximada de 5.618.067 m² e 6331 ligações, sendo um dos setores que apresentou o maior crescimento em número de novas ligações, principalmente devido a um novo bairro chamado Cambui.

A aplicação do Método das Vazões Mínimas Noturnas ao Setor em estudo (Jardim Atenas do Sul – Itapetininga) é descrito na sequência de passos.

Passo 1 - Determinação do PPMS.

Levantamento das pressões e cotas piezométricas do Setor foram realizados através de estudo topográfico elaborado pela consultoria Alphaplan (2009) e do Cadastro técnico da unidade.

Passo 2 – Conhecimento do Sistema e definição da Estratégia de Amostragem.

A estratégia empregada pelo step – test que usualmente é obtida por manobra de válvula foi aperfeiçoada para o emprego variação de rotação através de inversor de frequência.

A principal diferença entre o método tradicional e o proposto empregando inversor de frequência esta na forma de modulação da vazão que pode ser observada nos gráficos da figura (2).

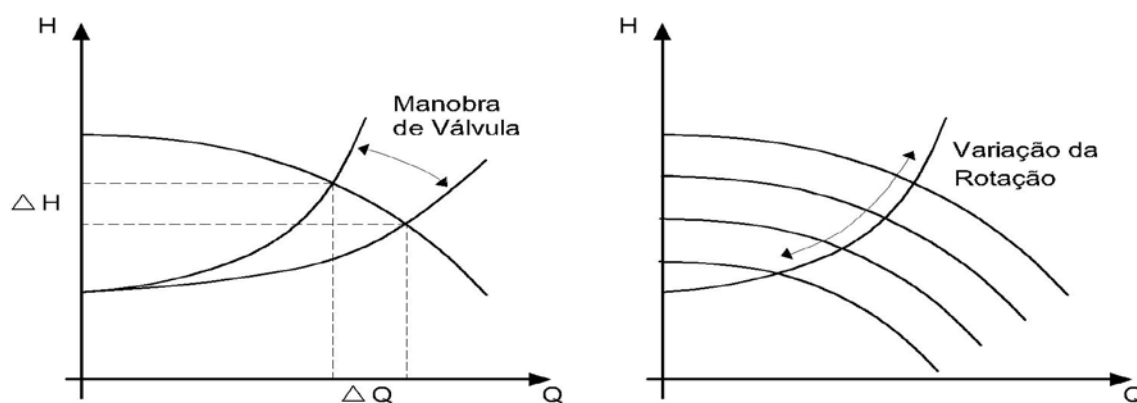


Figura 2 – Step- Test por válvula (a) e por inversor (b).

As leis de semelhança aplicadas à máquinas hidráulicas permitem avaliar as variações de carga e vazão produzidas por uma variação de rotação (N) em uma condição 1 para uma condição 2 na forma:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}, \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2, \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{f_1}{f_2} \quad \text{equação (4)}$$

Sendo F_1 a freqüência na condição (1) e F_2 a freqüência na condição (2).

A variação de carga (transitória) pode ser estimada para a passagem brusca da rotação N_1 para N_2 pela equação:

$$\Delta H = \frac{\alpha}{gA} Q_1 \left(\frac{f_2}{f_1} - 1 \right) \quad \text{equação (5)}$$

Sendo a celeridade de propagação de uma onda de pressão de área de Seção transversal A, que conduzia a vazão Q_1 na frequência de rotação F_1 .

Como o inversor de frequência é programado para uma mudança lenta de rotação a variação de carga gerada será inferior a expressa pela equação tão quanto se deseja. O tempo de estabilização do transitório hidráulico (golpe de aríete) relaciona-se com a intensidade do pulso gerado e interligações do sistema.

Teste 1 – O primeiro teste com o objetivo de avaliar o sistema foi realizado no dia 26/06/2012 apresentando resultados conforme tabela 1 que indicam que o sistema possui capacidade de operar em rotações superiores a 30 Hz (Valor Mínimo que garante a Ventilação do motor), sem provocar o desabastecimento do Setor. Os testes com variação de rotação efetuados nesta etapa não evidenciaram efeitos danosos de golpe de aríete e/ou formação de bolhas de ar.

Os dados foram obtidos por meio do programa Vector 2006 versão 2.0 (2006) o programa coletou dados de vazão no período de 26/06/2012 das 24h00min até as 06h00min em intervalos sequenciais de 10 segundos.

A Estratégia de amostragem para a determinação das pressões e vazões para a obtenção do coeficiente N1 foram realizadas após a etapa de teste 1, seguindo a ordem:

- Início dos testes as 03h00min.
- Aumentar a Frequencia do inversor via Sistema de Supervisão e Controle através do CCO de 35Hz para 40 Hz, aguardar a estabilização durante aproximadamente 15 min verificando a pressão no ponto crítico de abastecimento.
- Diminuir a Frequencia de 40Hz para 35 Hz, aguardar a estabilização durante aproximadamente 15 min verificando a pressão no ponto crítico de abastecimento.
- Diminuir a Frequencia de 35Hz para 30Hz, aguardar a estabilização durante aproximadamente 15 min verificando a pressão no ponto crítico de abastecimento. Caso ocorra uma queda de pressão muito acentuada no ponto crítico, deve-se parar o teste e aumentar a frequência de Rotação do Motor.
- Aumentar a Frequencia de 30Hz para 32Hz, aguardar a estabilização durante aproximadamente 15 min.

Os resultados dessa investigação estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Definição da Estratégia de amostragem

Hora	Nivel_Reservatório m3	Pressão_Recalque mca	Vazão_Entrada l/s	Vazão_Recalque l/s	Frequência Hz	Pressão_Distante mca
00:00:08	79,3	42,3	91,7	33,1	38,00625	14,4
03:26:30	92,2	41,2	3	25,2	35,00625	12,6
03:26:40	92,3	41,2	3,1	25,2	35,00625	13,2
03:26:50	92,2	41	3	25,2	35,00625	13,2
03:52:43	89,4	41	2,9	24,8	35,00625	13,2
03:52:53	89,5	41	3	24,7	35,00625	13,2
03:53:04	89,5	40,9	2,9	24,9	35,00625	13,2
03:53:13	89,3	40,9	3	25	35,00625	13,2
03:53:23	89,4	41,2	3	24,6	35,00625	13,2
03:53:33	89,4	41,1	3	24,9	30	13,2
03:53:43	89,5	36,9	3	20,5	30	13,2
03:53:53	89,4	35,3	3	9,2	30	13,2
03:54:03	89,4	35,2	3	6,9	30	13,2
03:54:14	89,4	34,3	3	10,1	30	8,4
03:54:23	89,4	34	3	13,4	30	8,4
03:54:33	89,4	33,9	3	15,1	30	8,4
03:54:44	89,5	33,7	3,1	16	30	8,4
03:54:53	89,2	33,4	3	17,9	30	8,4
03:55:03	89,3	33,3	3,1	19,1	30	8,4
03:59:15	89,2	33,2	3,1	20,3	30	8,4
03:59:24	89	32,9	3	22	30	8,4
03:59:34	88,9	33,2	3	22,7	30	8,4
03:59:44	88,9	33	3,1	22,6	30	7,8
03:59:55	88,9	33,1	3,1	22,1	30	7,8
04:00:05	88,9	33	3	22	30	7,8
04:00:15	88,7	33	3	22,1	30	7,8
04:00:25	89,1	33	3,1	21,9	32,00625	7,8
04:00:35	88,9	33,1	3	24	32,00625	7,8
04:00:50	88,9	33,1	3	26,9	32,00625	7,8
04:01:19	88,8	33,1	3	24,9	32,00625	9
04:01:21	88,8	33,1	3	24,9	32,00625	9
04:01:30	88,7	33,2	3	23,7	32,00625	9
04:01:40	88,9	33,1	3	23,3	32,00625	9

Passo 3 – Realização do Step –Test definido na Estratégia.

Após a investigação da “resposta “ dinâmica do setor, decorrentes das alterações de rotações investigadas no passo anterior “executou-se” o procedimento do Step-Test, baseado na variação de rotação, sendo que os resultados são apresentados na tabela (2):

Tabela 2 - Resultados do emprego do Step-test

DataHora	Nível_Reservatório m3	Pressão_Recalque mca	Vazão_Entrada l/s	Vazão_Recalque l/s	Frequência HZ	Pressão_Distante (Ponto Crítico)mca
12/7/12 2:45	81,7	36,3	96,7	25,8	35,00625	13,2
12/7/12 2:45	81,6	36,2	97,7	26,2	35,00625	13,2
12/7/12 2:59	82,6	36,3	92,6	27,1	35,00625	13,2
12/7/12 2:59	82,7	36,4	92,9	27,3	35,00625	13,2
12/7/12 3:00	82,7	36,4	93,7	26,4	35,00625	13,2
12/7/12 3:00	82,6	36,3	94,2	26,6	35,00625	13,2
12/7/12 3:00	82,7	36,3	95,2	25,8	35,00625	13,2
12/7/12 3:00	82,8	36,4	97,4	26,4	35,00625	13,2
12/7/12 3:00	82,6	36,4	96,2	26,6	35,00625	13,2
12/7/12 3:00	82,7	36,4	94	26,2	40,0125	13,2
12/7/12 3:01	82,8	36,5	93,9	27,7	40,0125	13,8
12/7/12 3:01	82,7	36,6	94	34,7	40,0125	13,8
12/7/12 3:01	82,8	40,2	93,6	38	40,0125	13,8
12/7/12 3:02	82,8	42,9	94,6	31,9	40,0125	18
12/7/12 3:02	82,8	42,8	93,7	31,9	40,0125	18
12/7/12 3:12	83,2	42,9	96,7	31,1	40,0125	19,2
12/7/12 3:12	83,1	43	97,2	31,4	40,0125	19,2
12/7/12 3:12	83,2	42,9	96,2	31,3	40,0125	19,2
12/7/12 3:15	83,3	43	95,3	31,8	40,0125	19,2
12/7/12 3:15	83,2	43,1	95,5	31,9	40,0125	18,6
12/7/12 3:16	83,3	42,9	96,3	30,9	35,00625	18,6
12/7/12 3:16	83,3	42,8	97,6	23,5	35,00625	18,6
12/7/12 3:16	83,3	42,7	96,6	14,8	35,00625	18,6
12/7/12 3:19	83,4	42,8	94,5	26	35,00625	12
12/7/12 3:22	83,5	42,6	95,8	26,8	35,00625	13,2
12/7/12 3:22	83,5	42,7	95,2	27,3	35,00625	13,2
12/7/12 3:24	83,6	36,6	93,8	25,3	35,00625	13,2
12/7/12 3:24	83,6	36,4	93,2	24,9	35,00625	13,2
12/7/12 3:26	83,7	36,3	95,5	24,8	35,00625	13,8
12/7/12 3:26	83,7	36,3	93,7	24,7	35,00625	13,8
12/7/12 3:29	83,9	36,3	93,4	26,4	35,00625	13,8
12/7/12 3:30	83,9	36,4	94,5	25,4	35,00625	13,2
12/7/12 3:30	83,9	36,4	94,2	25,1	35,00625	13,2
12/7/12 3:30	84	36,2	93,9	25	30	13,2
12/7/12 3:31	83,9	36,3	93,9	21,4	30	13,2
12/7/12 3:31	84	36,2	94,8	12,5	30	12
12/7/12 3:31	84	36,2	95,1	10,9	30	12
12/7/12 3:32	84,1	36,3	96,3	22,1	30	7,2
12/7/12 3:32	84,1	36,2	96,6	22,4	30	7,2
12/7/12 3:37	84,3	36,3	95,1	24	30	7,8
12/7/12 3:37	84,2	36,1	93,8	23,7	30	7,8
12/7/12 3:45	84,7	36,1	94,7	23,9	30	7,8
12/7/12 3:45	84,7	36,2	94,7	24,1	30	7,8
12/7/12 3:46	84,7	36,3	94,3	24,3	32,00625	8,4
12/7/12 3:46	84,8	36,4	95,1	26,4	32,00625	8,4
12/7/12 3:46	84,9	36,2	95,9	28,6	32,00625	8,4
12/7/12 3:46	84,8	36,2	96,8	28,4	32,00625	8,4
12/7/12 3:47	84,8	36,4	96,7	25,6	32,00625	10,2
12/7/12 3:47	84,9	36,3	96,2	25,4	32,00625	10,2
12/7/12 3:47	84,9	36,3	93,8	25,3	32,00625	10,2
12/7/12 3:47	84,9	36,3	93,9	25	32,00625	10,2
12/7/12 3:48	84,9	36,3	93,6	24,6	32,00625	10,2
12/7/12 3:48	84,8	36,3	94,8	24,8	32,00625	10,2
12/7/12 3:48	84,9	36,4	95,9	25,1	32,00625	10,2
12/7/12 3:48	84,9	36,3	96,6	24,6	32,00625	10,2
12/7/12 3:48	84,9	36,3	96,7	24,6	32,00625	10,2
12/7/12 3:48	84,9	36,3	95,8	24,6	32,00625	10,2
12/7/12 3:59	85,5	31,9	95,1	24,1	32,00625	9,6
12/7/12 3:59	85,5	32	95,3	24,3	32,00625	9,6
12/7/12 3:59	85,5	32	94,8	24,3	32,00625	9,6

Os dados obtidos foram com o programa Vector 2006 versão 2.0 (2006) o programa coletou dados de vazão no período de 12/07/2012 das 02h30min até as 04h30min em intervalos sequenciais de 10 segundos.

Passo 4 – Obtenção do PPMS.

Foram realizadas duas pesquisas de pressão no PPMS, os dados foram obtidos empregando o programa Maxxi Reader versão 2.32 (2011), o equipamento coletou dados de pressão no período de 30/06/2012 das 12h: 45min até o dia 07/07/2012 às 13h: 00 min em intervalos sequenciais de 15 minutos conforme (figura 3) e no dia 12/07/2012 onde foram coletados dados de pressão das 02h30min às 04h30min conforme (figura 4), step - test.

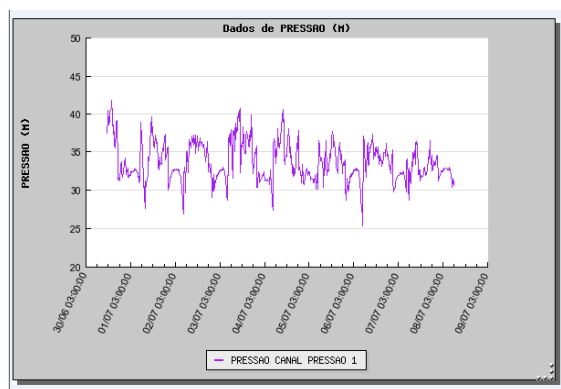


Figura 3 - Obtenção de dados referentes à pressão obtidos no PPMS para calculo do FND inverno.

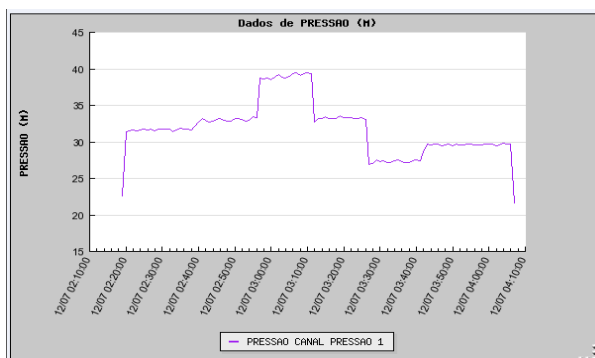


Figura 4.- Dados de pressão obtidos no PPMS durante a realização do Step-Test.

Passo 5 – Os valores obtidos foram aplicados à planilha de cálculo desenvolvida por “Lambert e Thornton” para a Sabesp. (2002) e permitiu a determinação do valor N1.

Tabela 3 - Cálculo dos valores médios para cálculo do N1.

MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DO FATOR N1

1) CÁLCULO A PARTIR DE ENSAIO EM CAMPO

LEGENDA:	Dado de Entrada	Valor Padrão	Valor Calculado
----------	-----------------	--------------	-----------------

Número de Pessoas/Economia Residencial	3,40								
Número de Economias Residenciais (1)	6331	a (6)	0,50	litros/econ. resid./hora	3,17	m³/h	Perdas		
Consumo Noturno da População	21525,4	a (7)	0,34	litros/pessoa/hora	7,32	m³/h	Uso		
Numero de Economias Não Residenciais (2)		a (8)	8,00	litros/econ.não resid./hora	0,00	m³/h	Uso + Perdas		
Consumo Noturno Total após as caixas d'água (não dependentes da pressão)					10,48	m³/h	Usos + Perdas		
Usos excepcionais > 0,5 m³/h até as caixas d'água (3)	0,00	m³/h com N1	0,50	(dependentes da pressão)	0,00	m³/h	Usos		
Sector (ou subsector) (4)	VILA NASTRI	Data Teste (5)	12/jul/12						

TABELA DE CÁLCULO DO FATOR N1										
Horário (h) (9)	Pressão Noturna Registrada na:			Vazão Noturna medida na entrada		Consumo noturno e excepcionais (m3/h)	Perdas até a caixa d'água (m3/h)	Valores de N1 entre os passos :		
	Entrada (mca) (10)	Ponto médio (PPMS) (mca) (11)	Ponto Crítico (mca) (12)					Passo A	Passo B	Passo C
				(L/s) (13)	(m³/h)					
Início	3:02-3:15	42,89	37,56	18,57	32,08	115,49	10,48	105,00		
Passo A	3:16-3:30	39,68	31,64	13,19	25,85	93,06	10,48	82,58	1,40	
Passo B	3:46-3:59	33,13	29,58	9,70	24,43	87,95	10,48	77,46	1,27	0,95
Passo C	3:30-3:45	36,22	27,87	8,11	22,90	82,44	10,48	71,96	1,27	1,09
										1,24

	Passo A	Passo A+B	Passos A,B,C	
Melhor estimativa para N1 =	1,40	1,21	1,20	Inserir na Planilha FND
Desvio Padrão de N1			0,16	
Lim.Conf. Superiores a 95%			1,52	Inserir na Planilha FND
Lim.Conf. Inferiores a 95%			0,89	Inserir na Planilha FND

3 - RESULTADOS

Para a aplicação da Metodologia das Vazões Mínimas Noturnas em um Sistema pressurizado via Booster com inversor de frequência, a operação de fechamento da válvula foi substituída pelo aumento e diminuição da frequência do Inversor, via Sistema de Supervisão e Controle, operado pelo Centro de Controle Operacional (CCO).

A realização de um acompanhamento para a definição do step test (definição da estratégia) é importante para evitar possíveis erros na aplicação do teste, bem como não comprometer o abastecimento do setor.

O primeiro acompanhamento do sistema iniciou-se no dia 26 de Junho as 2h00min, com medições moduladas em intervalos de 10 segundos.

Durante o acompanhamento da operação no sistema de abastecimento, apurou-se que o período de menor valor da Vazão Mínima Noturna, iniciou-se as 3h26min, quando a pressão no ponto crítico de abastecimento chegou a 13,2 mca e a vazão de recalque foi de 25,2 litros por segundo, para a Frequência do Inversor de 35 Hz.

As 3h53min houve uma redução de 25 l/s para 24,6 l/s, iniciando-se o primeiro (Step Test), com a primeira redução da Frequência de Rotação do Motor de 35 Hz para 30 Hz. As 4h00min aumentamos a Frequência de Rotação do Motor de 30 Hz para 32Hz, conforme tabela 1.

O ponto de abastecimento crítico comportou-se de forma satisfatória não comprometendo o abastecimento, e a segurança do sistema. Não é possível operar o sistema com uma rotação inferior a 30 Hz, pois rotações menores poderiam queimar o motor por falta de uma ventilação adequada.

A estratégia de realização do step test levou em consideração a utilização de uma Frequência mínima de Rotação do Motor de 30 Hz as 3h30min no período de menor valor da Vazão Mínima Noturna, e uma pressão no ponto crítico de abastecimento que não comprometia o abastecimento e a segurança do sistema.

Foi usada na definição da Estratégia o artifício de elevar a Frequência de Rotação do Motor de 35Hz para 40Hz, seguida de reduções consecutivas para a realização dos diversos testes, levando em consideração principalmente a segurança do Sistema. Para o cálculo do FND, foi necessário um novo acompanhamento das pressões durante uma semana, devido ao fato deste novo cálculo ser realizado no inverno e o anterior no verão.

A realização do ensaio transcorreu de forma normal exatamente conforme estabelecido na Estratégia gerando resultados muito bons, com exceção das 03h00min às 03h01min onde os dados não foram utilizados devido à dificuldade de estabilização da pressão.

Os resultados decorrentes da aplicação da metodologia, se comparadas à perda calculada do setor com a perda total do Município inteiro, que hoje situa-se em torno de 277 L /ramal dia obtido via Método do Balanço Hídrico, demonstra que o Setor esta com perdas superiores ao restante da cidade merecendo uma atenção especial na redução de perdas.

O resultado obtido foi Perdas Reais por ramal: 305,3 L/Ramal dia. Os componentes da Vazão Mínima Noturna são detalhados na tabela 4.

4 – CONCLUSÕES

Com base nos objetivos propostos, as principais conclusões do trabalho apresentado são:

- O comportamento do Método das Vazões Mínimas Noturnas em um sistema de abastecimento do tipo bombeamento direto com inversor de frequência, apresentou resultados que demonstraram a eficiência do método sendo possível o emprego do aperfeiçoamento proposto a metodologia existente.

- As pesquisas desenvolvidas neste trabalho evidenciaram a necessidade da redução da pressão na estação de bombeamento, pois não é necessário manter às 3h26min no sistema de abastecimento Natri, durante o período de menor valor da Vazão Mínima Noturna, uma pressão no ponto crítico de 13,2 mca e uma vazão de recalque de 25,2 litros por segundo, salientando o fato que o controle de pressão é o elemento mais importante na estratégia de controle de perdas físicas e que a redução de pressão é o caminho mais simples e de resultados mais imediatos.

- A utilização do método das vazões mínimas noturnas utilizada nesta pesquisa se mostrou adequada, permitindo um diagnóstico das perdas reais, através do cálculo do N1 via Step – Test, por variação de frequência, podendo inclusive ser utilizada em outros sistemas de abastecimento, com características diversas, lembrando que sistemas pressurizados com inversor de frequência é a atual tendência do saneamento e sistemas como esse aumentam em número de forma muito rápida.

Tabela 4 – Componentes da Vazão Mínima Noturna - programa de Lambert e Thornton (2002).

COMPONENTES DETALHADOS DA VAZÃO MÍNIMA NOTURNA							
			Erro máximo estimado com confiança = 95%, em %	Menor estimativa	Maior estimativa	Desvio padrão	Desvio padrão ao quadrado
Consumo Noturno Estimado em Economias Residenciais	7,0	m3/hora	50,0%	3	10	1,8	3,2
Consumo Noturno Estimado em Economias Não Residenciais	4,7	m3/hora	50,0%	2	7	1,2	1,5
Consumo Noturno Normal Estimado	11,7	m3/hora	36,0%	7	16	2,1	4,6
Consumo Noturno Residencial Excepcional	0,0	m3/hora	0,0%	0	0	0,0	0,0
Consumo Noturno Não Residencial Excepcional	0,0	m3/hora	0,0%	0	0	0,0	0,0
Consumo Noturno Total (normal e excepcional)	11,7	m3/hora	36,0%	7	16	2,1	4,6
Vazamentos nos encanamentos internos, Economias Residenciais,	3,0	m3/hora	50,0%	2	5	0,8	0,6
Vazamentos nos encanamentos internos, Econ.não Residenciais,	1,2	m3/hora	50,0%	1	2	0,3	0,1
Vazamentos em bôias de caixas-d'água	0,8	m3/hora	50,0%	0	1	0,2	0,0
Vazamentos nas tubulações internas, do hidrômetro à caixa d'água	1,6	m3/hora	50,0%	1	2	0,4	0,2
Vazamentos Noturnos internos (após o hidrômetro)	6,6	m3/hora	28,1%	5	8	0,9	0,9
Consumo Noturno (consumo total + vazamentos após hidrômetro)	18,3	m3/hora	23,4%	14	23	2,19	4,79
Vazamentos Inerentes na Rede	0,0	m3/hora	50,0%	0	0	0,00	0,00
Vazamentos Inerentes nos Ramais	0,0	m3/hora	50,0%	0	0	0,00	0,00

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALPHAPLAN, Consultoria e Projetos Ltda. **Prestação de Serviços de Engenharia para elaboração de Estudo de Concepção, Projeto de Setorização de Redes de Distribuição e Licenciamento Ambiental do Sistema de Abastecimento de Água de Itapetininga.** São Paulo, 2009. 3000p. Elaboração de estudo técnico via contrato CONTRATO Nº 8.034/08, apresentado a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo em dezembro de 2009.
2. GONÇALVES, E. **Metodologias para controle de perdas em sistemas de distribuição de água – Estudo de casos da CAESB.** UNB. Departamento de Engenharia Civil, Dissertação de mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Brasília, 1998.
3. GONÇALVES, E.; ALVIM, P.R.A. **Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água – Pesquisa e Combate a Vazamentos não Visíveis** Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCD, Secretária Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretária de Política Urbana, 89 p. Brasília, 2007.
4. LAMBERT, A; THORNTON, J. **Avaliação de Perdas Reais – Documento Traduzido dos Workshops da Consultoria e Treinamento realizados para a Sabesp.** São Paulo: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2002. 274p.
5. LAMBERT, A; THORNTON, J. **Programa Avançado para a determinação das perdas reais anuais – SABESP. Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, Versão 1A.** São Paulo: Fevereiro de 2002. Software específico para cálculo de perdas da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.
6. LAMBERT A.; MYERS, S.; TROW, S.: Managing Water Leakage. In: **London Financial Time Energy Magazine**, 1998. 3p.
7. Maxxi Logger Compuway, ENOPS. **Maxxi Reader.** versão 2.32. São Paulo: Junho de 2011. Software específico para os equipamento Maxxi Logger.
8. SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Perdas. Nível Técnico Gerencial.** São Paulo, 2005. 71p.
9. THORNTON, J. **Water Loss Control Manual.** New York: McGraw-Hill, 2002. 240p
10. TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de Água.** 3ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.643p.
11. U.K. WATER INDUSTRY MANAGING LEAKAGE. **Interpreting Measured Night Flows. Report E.** Reino Unido, 1994. 63p.
12. VIEIRA, A. C. C; CAROZZI, E. C **Resultados da aplicação de metodologia de campo para quantificação das perdas reais (físicas) e aparentes (não físicas) em sistemas de abastecimento de água da Sabesp, como ferramenta de gestão do controle de perdas. In: XVII ENCONTRO TÉCNICO DA AESABESP, 17, 2006, São Paulo. Resumos.** São Paulo: AESABESP, 2006. Res.23.