

Diagnósticos das Perdas de Água: Quantificação das perdas reais no Setor de Abastecimento com a utilização de sensores IoT na execução do STEP TEST

Bruno Borges Gentil⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Presidente da Comissão Técnica de Redução de Perdas de Água e Gestor do Escritório de Gestão de Perdas e Eficiência Energética na Companhia Águas de Joinville

Pedro Ariel⁽²⁾

Engenheiro Civil, CEO da .HYD, StartUp de Soluções para Gestão de Sistemas de Abastecimento de Água

Endereço⁽¹⁾: Rua Lindóia, 400 – apto 201, CEP 89216.300 – Glória – Joinville/SC - Brasil - Tel: +55 (47) 98864.7656 - e-mail: bruno.gentil@aguasdejoinville.com.br.

RESUMO

Segundo Estudo do Trata Brasil, o abastecimento urbano é responsável por cerca de 23,8% do total de água que o País utiliza, porém cerca de 38,92%, segundo o Sistema Nacional de Informações do Saneamento (SNIS), de toda essa água produzida e destinada ao abastecimento das Cidades Brasileiras é perdida, seja por vazamentos nas redes e ramais ou por erros de medição, fraudes e furtos de água. A maior parcela dessa perda é atribuída aos vazamentos, que representam a ineficiência operacional dos Sistemas de Abastecimentos que chegam a representar 75% de todo esse volume perdido. Isso ocorre devido a dificuldade de se agir preventivamente a falta de investimentos no setor de abastecimento que conta com uma infraestrutura defasada e desgastada que possibilita a perda de grandes volumes por falhas na distribuição. A Lei 14.026/2020, Marco Legal do Saneamento, regulamentado pelo Decreto # 490 de 2021, estabelece metas progressivas de redução de perdas até 2033. Os atuais 38,92% devem chegar a 25% ou 216 litros/ligação.dia nos próximos anos. Oliveira et al (2020) cita que existe um potencial de ganhos com a redução de perdas de R\$ 61,8 bilhões até 2033. Considerando ainda os investimentos necessários para a redução de perdas, o benefício gerado pela redução é da ordem de R\$ 30,9 bilhões em 15 anos. Neste contexto, uma ferramenta de especial importância para ajudar a entender e resolver o problema das perdas de água é a técnica chamada “balanço hídrico top down”, destinada a permitir a quantificação e a tipificação das perdas reais e aparentes nos sistemas. Segundo o Guia Prático Volume 6 da AESBE (Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento) esta abordagem é inovadora, pois os sistemas de informação tradicionais, como o SNIS, por exemplo, costumam avaliar os sistemas desde uma perspectiva comercial e financeira e sem separar as perdas reais das perdas aparentes, o que pode levar a estratégias equivocadas de combate às perdas. Neste sentido a Companhia Águas de Joinville realizou o *Step Test* no setor de abastecimento R7 com o apoio e utilização de Sensores com Internet das Coisas para a quantificação das perdas reais num dos maiores setores de abastecimentos da Cidade, com mais de 30 mil ligações ativas, 80 mil habitantes e perdas da ordem de 300.000 m³ por mês. Os resultados da manobra possibilitaram o melhor planejamento das ações, permitindo que a Companhia Águas de Joinville foque esforços na gestão de pressão com ganhos potenciais da ordem de R\$ 35.000,00 /Mês em economia em água produzida.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Perdas, Diagnóstico, Step Test, Perdas Reais.

INTRODUÇÃO

Em 2019, cerca de 38,92%, segundo o Sistema Nacional de Informações do Saneamento (SNIS), de toda essa água produzida e destinada ao abastecimento das Cidades Brasileiras é perdida, seja por vazamentos nas redes e ramais ou por erros de medição, fraudes e furtos de água. A maior parcela dessa perda é atribuída aos vazamentos, que representam a ineficiência operacional dos Sistemas de Abastecimentos, e chegam a representar 75% de todo esse volume perdido. As chamadas perdas reais, que é a água que é perdida no interior do sistema de abastecimento, por meio de vazamentos ou extravasamentos, antes que a água adentre as instalações dos usuários. Deste ponto de vista, as perdas reais representam ineficiência ou falha da infraestrutura de reservatórios, redes, válvulas, conexões e ramais domiciliares do sistema. Isso faz sentido porque o sistema foi projetado para entregar água aos consumidores sem perdê-la. O conceito de perdas reais

contrasta com o de perdas aparentes. Estas possuem outra natureza. Nas perdas aparentes a infraestrutura do sistema cumpriu a função para a qual foi projetada: entregar água aos consumidores. O que ocorre é que a entidade operadora do sistema, por algum motivo, não conseguiu registrar parte da água entregue, e por isso se diz que esta água foi “aparentemente” perdida: de fato o usuário a consumiu, e o propósito da infraestrutura foi concretizado – a água cumpriu a sua função social, ainda que por meios tortos ou imprevistos. Daí decorre a necessidade imperiosa de quantificar adequadamente ambos os tipos de perdas, já que as medidas de combate ensejam habilidades e aparatos de gestão completamente distintos.

OBJETIVO

Apresentar a metodologia e os resultados obtidos com utilização do Step Test no setor de abastecimento R7 com o apoio e utilização de Sensores IoT (Internet das Coisas) para a quantificação das perdas reais num dos maiores setores de abastecimentos da Cidade, com mais de 30 mil ligações ativas, 80 mil habitantes e perdas da ordem de 300.000 m³ por mês.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para cálculo e estimativa das perdas muitas concessionárias do Brasil utilizam para apoio o Balanço Hídrico estabelecida pela IWA Associação Internacional da Água, disposto conforme Quadro 1 a seguir.

 Água que entra no sistema	Consumos Autorizados	Consumos faturados	Consumo faturado medido	Água Faturada	
			Consumo faturado não medido		
		Consumos não faturados	Consumo não faturado medido		
			Consumo não faturado não medido		
	Perdas de Água	Perdas Aparentes	Consumo não autorizado		Água Não Faturada
			Ineficiência dos contadores e manipulação errada de dados		
		Perdas Reais	Ruturas		
			Fugas & extravasamento de reservatórios		
		Perdas nos ramais até ao contador			

Quadro 1 – Balanço Hídrico (APDA, 2017)

Um dos métodos para se avaliar perdas em sistemas de distribuição de água é o da vazão mínima noturna. O método se baseia em determinar os principais componentes das perdas existentes para auxiliar as equipes de detecção, controle e reparo de vazamentos (FARLEY; 2001). Os resultados esperados são a redução de perdas e um melhor gerenciamento dos recursos disponíveis e investimentos. Segundo Farley (2001), a vazão mínima noturna ocorre nos períodos entre a 02h e 04h horas. Neste intervalo ocorrem as maiores perdas no sistema de distribuição e se torna mais fácil de determinar o que as ocasiona. As perdas noturnas são maiores que as ocorridas devidos as mesmas circunstâncias durante o período do dia, pois a pressão na rede de distribuição de um setor ser maior que a pressão diurna. Isso ocorre porque existe menos consumo de água, outro fato que também auxilia na identificação de perdas reais no sistema.

A base deste método está na análise da variação dos consumos no sistema de abastecimento de água ao longo do dia. O pico de consumo geralmente se dá entre 11h e 14h e o mínimo consumo entre 02h e 04h. Nesta faixa de baixo consumo é onde está compreendida a vazão mínima noturna, horário em que a maioria dos usuários de água estão inativos. Dessa forma, a vazão de água medida na entrada do sistema pode ser concebida como predominantemente à vazão de vazamentos. A vazão dos vazamentos (QL) é encontrada a partir do balanço

hídrico no horário de mínima noturna, sendo descrita pela diferença entre a vazão de entrada do setor (QDMC) e a vazão dos consumos legítimos noturnos (QU), mostrada na equação 1 (GARCÍA et al., 2006):

$$Q_L = Q_{DMC} - Q_U$$

Equação 1 – Vazão de vazamentos (Garcia et al, 2006)

Para determinar a vazão de vazamentos, deve-se primeiramente estimar todos os componentes dos consumos legítimos noturnos, que se dividem em residenciais e não residenciais, com exceção aos grandes consumidores, como por exemplo indústrias, escolas e hospitais, que possuem consumos superiores a 500l/h, já que suas demandas podem ser individualmente observadas durante os ensaios.

Para os consumos residenciais utilizam-se hipóteses baseadas em medições específicas de consumo e extrapoladas para a população total da área em análise, ou pode-se utilizar dados da literatura. Um esquema representativo da vazão mínima noturna pode ser observado através da Figura 1 (MORRISON; TOOMS; ROGERS, 2007). Ghidetti (2013) afirma que as vazões de vazamentos representam os valores observados naquela hora do ensaio onde as pressões do sistema atingem o máximo. Como essa vazão possui praticamente uma proporção de linearidade com a pressão, o valor aferido no instante da mínima noturna é a vazão máxima diária dos vazamentos e não pode ser simplesmente multiplicada por 24h, para dimensionar os volumes diários perdidos (FARLEY; 2001).

Para solucionar esse problema é necessário determinar o Fator Noite/Dia (FND), que relaciona a vazão de vazamentos noturnos com as ocorridas durante o dia. Este é um coeficiente 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 (MORRISON; TOOMS; ROGERS, 2007; GHIDETTI, 2013).

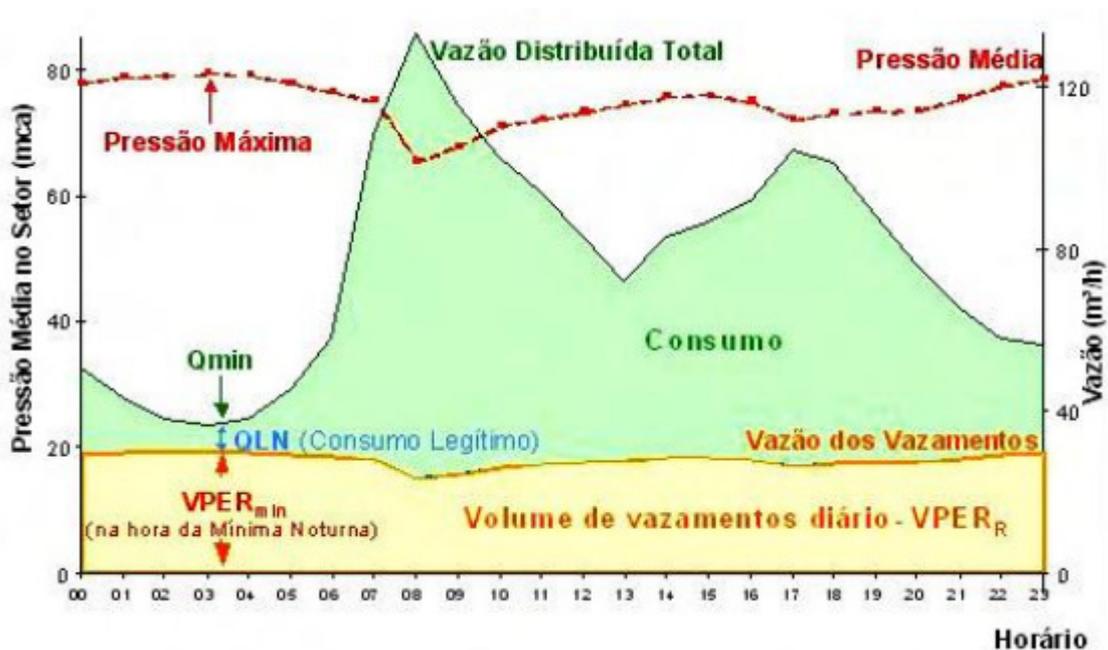


Figura 1 – Representação da vazão mínima noturna, (MORRISON; TOOMS; ROGERS, 2007)

O FND é um claro indicador da quantidade de água que pode ser recuperada ao implementar um gerenciamento de pressões do sistema, sendo um dos pontos chaves para o controle de vazamentos. Quanto menor for o valor do FND, maior será a chance de reduzir a quantidade de vazamentos, e inversamente, quanto mais próximo o valor for de 24QL, extraído da vazão mínima noturna, menor será a probabilidade de reduzir vazamentos com a redução de pressão, pois indica que a pressão no sistema é relativamente constante ao longo do dia (LAMBERT, 1998, tradução nossa; FARLEY; 2001). De forma sucinta, o método da vazão mínima noturna serve para estimar o volume de perdas reais, em uma parte isolada do sistema de abastecimento. E a

partir disso, pode-se determinar o volume de perdas aparentes, subtraindo as perdas reais do total de perdas do sistema. Tendo em vista que as pressões não são constantes ao longo do dia, Lambert (2002) propôs um modelo que relaciona vazamentos com a pressão do sistema, que se baseia no conceito de “Fixed and Variable Areas Discharges” (FAVAD). Este conceito utiliza-se do princípio que as descargas em tubulações pressurizadas variam com a pressão em maior ou menor grau, demonstradas pela equação 2:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1}$$

Equação 2 – Fixed and Variable Areas Discharges (Lambert, 2002)

onde:

- Q_0 = 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 (m³/h);
- Q_1 = Igualmente quando a pressão média é P_0 (m³/h);
- P_1 = Pressão média horária do setor ou sistema, na hora 1 (m.c.a);
- P_0 = Pressão média horária do setor ou sistema, na hora 0 (m.c.a);
- $N1$ = Expoente de vazamentos.

O expoente $N1$ que relaciona a pressão média do sistema com as vazões de vazamentos, e deve ser calculado como primeiro passo para determinar o FND. Os valores de $N1$ são calculados a partir de um ensaio realizado em um DMC OU SETOR chamado “step- test”, que consiste em manobrar o registro de entrada do setor, de forma a reduzir a sua vazão, e monitorar com o auxílio de um data-logger o comportamento da variação de pressões do ponto médio do sistema (GONÇALVES; ALVIM, 2007; GHIDETTI, 2013). Caso o step-test não possa ser realizado, utiliza-se valores da literatura, tendo como valores usuais (LAMBERT, 2002, tradução nossa; GONÇALVES; ALVIM, 2007):

- $N1 = 0,5$ para tubulações de ferro fundido e aço;
- $N1 = 1,00$ para uma avaliação simplificada. Pode-se dizer que na redução de 1% no valor da pressão de um sistema, haverá uma redução de 1% nos vazamentos;
- $N1 = 1,15$ para redes de distribuição que possuam trechos com diferentes tipos de materiais como: Policloreto de Vinila (PVC), aço, Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e ferro fundido;
- $N1 = 1,5$ para tubulações onde a predominância sejam materiais flexíveis como PVC e PEAD.

O diferencial nesse projeto foi a utilização de sensores com tecnologia da indústria 4.0 para auxiliar no controle e operação da manobra. Ao invés de utilizar os data loggers comerciais, que possibilitam a visualização do resultado após a remoção do equipamento e coleta dos dados, os Sensores desenvolvidos pela Companhia e utilizados para auxílio na manobra possibilitam o acompanhamento as intervenções em tempo real, com a comunicação via rádio frequência (LoRa Wan), Internet ou GPRS para em envio dos dados.

O teste foi realizado no período da madrugada, entre 03h e 04h horário em que a pressão do sistema atinge seu valor máximo e o consumo de água por parte da população é praticamente nulo, ou seja, a vazão de entrada do Setor pode ser extrapolada como muito próxima a vazão de vazamentos. O procedimento consistiu em variar manualmente a vazão de entrada do Setor através de uma válvula de manobra, e monitorar o comportamento de pressões no PPMS (Ponto Médio do Setor), com a finalidade de se obter o parâmetro $N1$. O procedimento foi realizado em 3 etapas, executados da seguinte forma:

1. Reduzir a passagem de água na entrada do setor;
2. Monitorar a variação de pressão no PPMS e nos pontos críticos, aguardar aproximadamente 15 minutos até o momento de estabilização;
3. Repetir o procedimento.

ÁREA DE ESTUDO

O Setor de abastecimento R7 foi caracterizado conforme Tabela 1 e figura 2 a seguir:

R7	jan/21	fev/21	mar/21
Ciclo de Leitura	30	32	29
Volume Disponibilizado(m ³)	663.958	732.934	679.471
Data de Leitura - Micromedido	22/01/2021	23/02/2021	24/03/2021
Volume Micromedido(m ³)	446.930	473.495	460.946
Volume Faturado(m ³)	497.366	516.704	506.117
Ligações Ativas	25.564	25.396	25.407
Ligações Totais	26.699	26.743	26.846
Economias Ativas	33.784	33.652	33.663
Economias Totais	35.103	35.194	35.333
Volume Micromedido/Economias Ativas	13,23	14,07	13,69
Volume Faturado/Economias Ativas	14,72	15,35	15,03
Perdas - Volume m³/mês	217.028	259.439	218.525
Perdas - l/lig. dia	283,0	319,2	296,6
Perdas Média- l/lig. dia	319	325	321
Perdas - Faturamento (%)	25,1%	29,5%	25,5%
Perdas Média - Faturamento (%)	28,9%	29,4%	28,8%
Perdas - Total (%)	32,7%	35,4%	32,2%
Perdas Média - Total (%)	35,9%	36,4%	35,8%

Tabela 1. Dados do Setor R7 (Companhia Águas de Joinville, 2021)

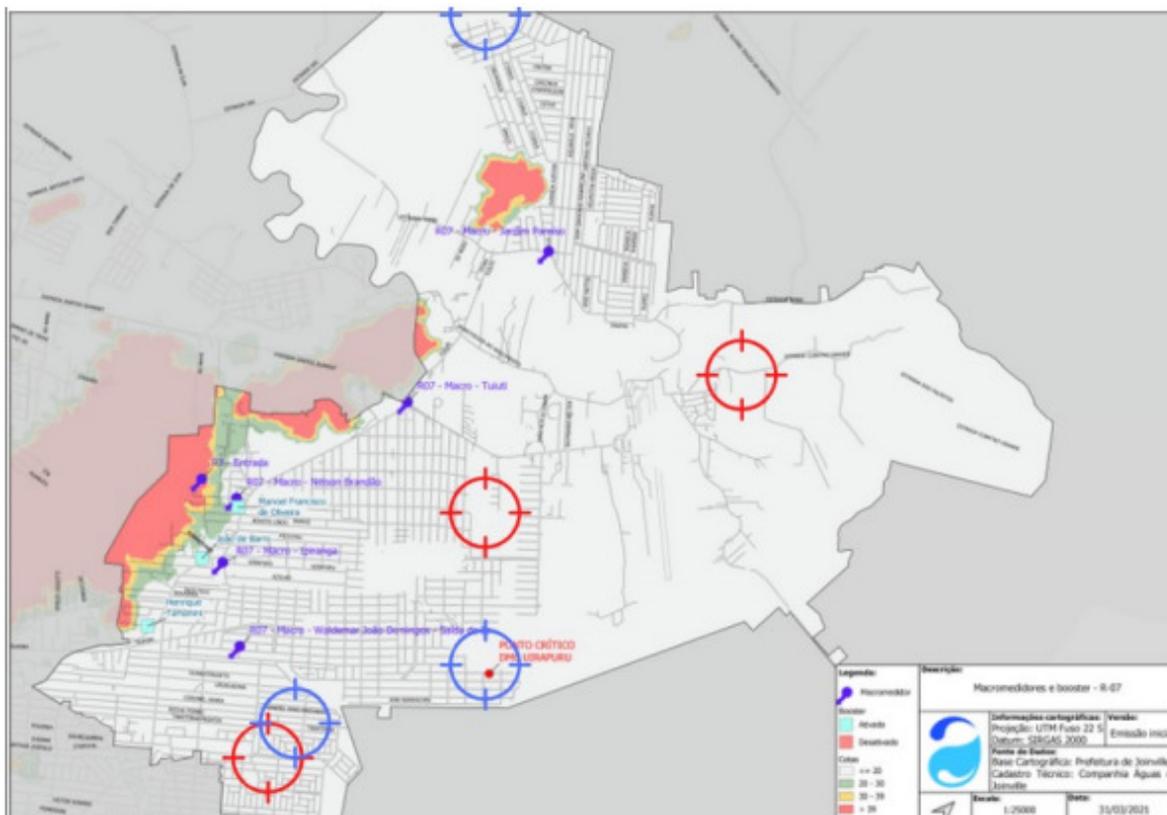


Figura 2. Mapa setor R7 com Pontos de Controle do Step Test – Ponto Crítico e Pontos Médios. (Companhia Águas de Joinville, 2021)



Foto 1 – Sensor IoT (.HYD) instalado na Caixa Padrão do ponto Crítico para Monitoramento do Step test (Companhia Águas de Joinville, 2021)



Foto 2 – Interface com os Sensores IoT durante o Step Test (Companhia Águas de Joinville, 2021)



Foto 3 – Execução das Manobras de regulagem da Vazão de Entrada no Setor R7 – Step Test (Companhia Águas de Joinville, 2021)

RESULTADOS OBTIDOS

Aqui são apresentados os resultados obtidos através da metodologia da vazão mínima noturna para obtenção do volume de perdas do Setor R7 para o mês de abril de 21, assim como discutido propostas de melhorias para a rede de distribuição de água de Joinville/SC.

		NI ADOPTADO:	1,81
ORDEN	HORARIO	Pressões médias	
		mca	FND = $(P/P_{1,0})^2 \cdot NI$
1	00:00 - 01:00	32,36	0,91
2	01:00 - 02:00	33,40	0,96
3	02:00 - 03:00	34,00	0,99
4	03:00 - 04:00	34,15	1,00
5	04:00 - 05:00	34,33	1,01
6	05:00 - 06:00	33,79	0,98
7	06:00 - 07:00	32,35	0,91
8	07:00 - 08:00	29,96	0,79
9	08:00 - 09:00	27,37	0,67
10	09:00 - 10:00	24,75	0,56
11	10:00 - 11:00	27,15	0,66
12	11:00 - 12:00	26,51	0,63
13	12:00 - 13:00	26,15	0,62
14	13:00 - 14:00	27,43	0,67
15	14:00 - 15:00	28,96	0,74
16	15:00 - 16:00	23,71	0,52
17	16:00 - 17:00	28,50	0,72
18	17:00 - 18:00	28,09	0,70
19	18:00 - 19:00	25,76	0,60
20	19:00 - 20:00	24,73	0,56
21	20:00 - 21:00	25,11	0,57
22	21:00 - 22:00	21,55	0,43
23	22:00 - 23:00	26,80	0,64
24	23:00 - 00:00	30,46	0,81
PMS - TOTAIS:		28,64	
		FND	17,66

Tabela 2 – Tabela de Calculo FND (Companhia Águas de Joinville, 2021)



MODELAGEM DE VAZAMENTOS EM DISTRITO DE MEDIÇÃO E CONTROLE (DMC)							
SETOR: R-07							
Entrar com valores somente nos campos em branco (apagar os dados de exemplo sem apagar a formatação)							
		Habitantes:	97.961	hab			
		Ext rede:	288,7	km			
		Qtd Ramais:	28.812	pressurizados			
		FCI:	3	adimensional			
NI ADOTADO:			1,81	PARÂMETROS CALCULADOS			
ORDEN	HORÁRIO	Pressões médias	Volume de entrada	Volumes horários de vazamentos	Consumo Autorizado + Perdas Aparentes	Perdas Inerentes IWA	Perdas Inerentes do DMC
		mca	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h
1	00:00 - 01:00	32,36	882,90	598,96	283,33	21,24	63,72
2	01:00 - 02:00	33,40	790,09	634,11	155,98	22,27	66,80
3	02:00 - 03:00	34,00	729,19	654,85	74,34	22,87	68,61
4	03:00 - 04:00	34,15	710,85	660,14	50,71	23,02	69,07
5	04:00 - 05:00	34,33	713,13	666,62	46,52	23,21	69,63
6	05:00 - 06:00	33,79	741,21	647,53	93,68	22,66	67,97
7	06:00 - 07:00	32,95	855,95	598,66	257,29	21,23	63,69
8	07:00 - 08:00	29,96	994,56	520,81	473,75	18,92	56,75
9	08:00 - 09:00	27,37	1129,70	442,28	687,43	16,52	49,56
10	09:00 - 10:00	24,75	1240,49	368,54	871,95	14,20	42,61
11	10:00 - 11:00	27,15	1299,60	435,88	863,72	16,32	48,97
12	11:00 - 12:00	26,51	1322,80	417,38	905,42	15,75	47,24
13	12:00 - 13:00	26,15	1318,03	407,23	910,80	15,43	46,28
14	13:00 - 14:00	27,43	1272,24	444,00	828,24	16,57	49,72
15	14:00 - 15:00	28,96	1183,79	489,05	693,83	17,98	53,95
16	15:00 - 16:00	25,71	1162,56	341,06	821,51	13,32	39,96
17	16:00 - 17:00	28,50	1139,06	475,96	663,10	17,56	52,67
18	17:00 - 18:00	28,09	1153,99	463,66	690,33	17,18	51,54
19	18:00 - 19:00	25,76	1175,48	396,17	779,31	15,08	45,24
20	19:00 - 20:00	24,73	1128,01	368,08	759,93	14,19	42,56
21	20:00 - 21:00	25,11	1065,87	378,45	687,42	14,52	43,56
22	21:00 - 22:00	21,55	1017,83	287,01	730,84	11,54	34,63
23	22:00 - 23:00	26,80	996,44	425,74	570,70	16,01	48,02
24	23:00 - 00:00	30,46	962,48	516,78	445,69	19,40	58,19
TOTALIS:		28,6	24.984	11.660	13.324	427	1.281

Tabela 3 – Quantificação horária do Volume de Perdas Reais (Companhia Águ de Joinville, 2021)

Valor médio das perdas inevitáveis (PI) em m³/h:	32,63	PMS (mca): 28,6
Vazão mínima noturna - m³/h:	710,85	
Consumo mínimo noturno - % de Q min:	7,13%	
Consumo mínimo noturno - critério SABESP m³/h:	50,71	
Vazão de vazamentos na hora de mínima noturna - m³/h:	660,14	
INDICADORES DO DMC		
PERDAS REAIS ANUAIS CORRENTES:	11.660	m³/dia
PERDAS REAIS ANUAIS INEVITÁVEIS _{max} :	783	m³/dia
IWI:	15	adimensional
PERDAS REAIS EM L / ramal / dia:	405	L/ramal/dia
PERDAS REAIS EM m³/h - km rede:	2,04	(m³/h)/km rede
Menor Perda Real Alcançável no DMC:	104,08	m³/hora
PR % DO VE:	46,67%	%
Dens ligações:	120,70	lig/km rede

Tabela 4 – Tabela resumo com Indicadores do Setor R7 (Companhia Águas de Joinville, 2021)

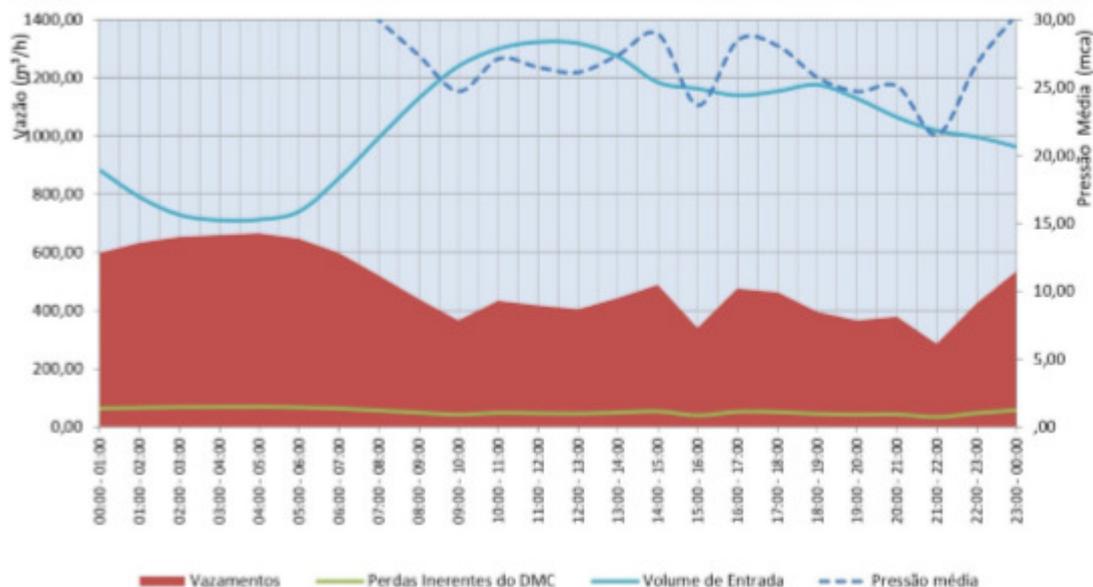


Figura 3 – Modelagem hidráulica do Setor R7 (Companhia Águas de Joinville)

CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo analisar o volume de perdas em uma região hidráulicamente isolada na cidade de Joinville/SC, com apoio e utilização de sensores com IoT. O Setor R7 foi o escolhido por ser um dos maiores da Cidade e contar com um abastecimento regular após as obras de melhoras de infraestruturas realizadas nos últimos três anos.

O setor R7 é delimitado por válvulas e registros, e conta apenas com uma entrada monitorada por macro medidor de forma a atender os requisitos impostos pela IWA. Além disso, este Setor demonstrou um elevado volume de Perdas de água, da ordem de 300.000 m³ por mês, sendo das maiores perdas entre os setores do Município.

O expoente de vazamentos de 1,81 obtido através do step-test necessário para o cálculo do volume de perdas teve seu valor condizente com os previamente estabelecidos pela literatura para tubulações de PVC.

Pode se concluir que o método de vazão mínima noturna foi eficaz na quantificação de perdas para o Setor R7, e foi possível demonstrar que seria possível, apenas com manobras de registros economizar mensalmente um volume de 40.500 m³/mês economizando cerca de R\$ 35.250,00 /mês.

O método se mostrou um grande aliado ao setor de saneamento pois serve de auxílio aos gestores no planejamento estratégico para redução de perdas.

Para melhoria de operação do Setor R7 foi sugerida uma pesquisa de vazamentos ocultos com auxílio de equipamentos de detecção acústica e ação de conserto de redes e ramais danificados, aliada a metodologia de vazão mínima noturna com intuito de verificar a redução efetiva do volume de vazamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água. [S.l.], 2015. 99 p. Disponível em: < http://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf >. Acesso em: 10 mar. 2020.
2. APDA - Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas, Ficha de Boas Práticas – Consumo Não Autorizado, 20147 – Disponível em: < https://www.apda.pt/site/ficheiros_eventos/201710231450-fichaconsumos_ao_autorizados.pdf >. Acesso em 10 de abril de 2021.
3. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. 3. ed. rev. Brasília: FUNASA, 2004.
4. COMPANHIA ÁGUAS DE JOINVILLE – CAJ – Câmara Técnica de Redução das Perdas de Água. Joinville, 2019.
5. FARLEY, M. Leakage Management and Control - A best Practice Training Manual. Geneva: World Health Organization. 2001. 163p. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/66893/WHO_SDE_WSH_01.1_eng.pdf?sequence=1&isAllo wed=y >. Acesso em: 22 abr. 2020.
6. FREIRE, M. R. Modelo para setorização de redes de distribuição de água. 2017. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-13042017090319/publico/Dissertacao_MarianaRiveraFreire_corrigida.pdf >. Acesso em: 10 abr. 2020.
7. GARCÍA, V. J. et al. The minimum night flow method revisited. In: ANNUAL WATER DISTRIBUTION SYSTEMS ANALYSIS SYMPOSIUM, 8, 2006, Cincinnati, 2012, p. 1–18. Disponível em: <[https://doi.org/10.1061/40941\(247\)35](https://doi.org/10.1061/40941(247)35) >. Acesso em: 10 abr. 2020.
8. GENTIL, B. B.; PRETTO, L. S.; ZSCHORNACK, T. Priorização das Pesquisas de Vazamentos através da gestão das vazões mínimas noturnas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30, 2019, Natal. Atas. Natal. Abes, 2019. p. 1-13. Disponível em: < <http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento45/TrabalhosCompleto sPDF/XI-045.pdf> >. Acesso em: 12 abr. 2020.
9. GHIDETTI, F. J. Eficácia do método das vazões mínimas noturnas para diagnosticar as perdas de água. 2013. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas. Departamento de pós-graduação da faculdade de engenharia e arquitetura. Campinas. 2013. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/257817/1/Ghidetti_AriltonJose_M.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2020.
10. 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 – PNCDA, Secretária Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretária de Política Urbana, 89 p. Brasília, 2007.
11. LAMBERT, A. O. Managing Water Leakage: Economic and Technical Issues. Londres: Financial Time Energy Magazine. 1998. 162p.
12. LAMBERT, A. O. International report: water losses management and techniques. Water Science and Technology Water Supply. Llanos, v. 2, n. 4, p. 1-20. Setembro. 2002. Disponível em: < <https://doi.org/10.2166/ws.2002.0115> >. Acesso em: 03 abr. 2020.
13. MELATO, D. S. Discussão para Metodologia e Ações para Redução de Perdas de Água: Aplicação no Sistema de Água da Região Metropolitana de São Paulo. 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: < https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-17082010092608/publico/Dissertacao_Debora_S_Melato.pdf >. Acesso em: 10 abr. 2020.
14. MORRISON, J; TOOMS, S; ROGERS, D. DMA Management Guidance Notes. IWA publishing. 2007. 100 p. Disponível em: < https://iwa-network.org/learn_resources/district-metered-areas-guidance-notes/ >. Acesso em: 02 mar. 2020.

15. MOTTA, R. G. Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público. 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-18082010171334/publico/Dissertacao_Renato_Goncalves_Motta.pdf>. Acesso em: 01 maio. 2020.
16. SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 190 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-eesgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019>>. Acesso em 05 abr. 2020.
17. SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2014. Brasília, 2014.
18. TARDELLI FILHO, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas de abastecimento de água. Revista Dae, São Paulo, v. 201, n. 1622, p. 6-20. 2016. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_201_n_1622.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2020
19. TROJAN, F. Desenvolvimento de um Sistema de monitoramento especializado integrando-o aos processos de gestão de uma empresa de abastecimento público de água visando a redução de perdas do produto. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campos Ponta Grossa. Departamento de Pós-Graduação. Ponta Grossa, 2006. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3501>>. Acesso em: 02 mar. 2020.
20. TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. 4. ed. São Paulo: Departamento de Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/20730460/abastecimento-de-agua-tsutiya>>. Acesso em: 02 mar. 2020.