

I-319 - GESTÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POR MEIO DE DISTRITO DE MEDIÇÃO E CONTROLE (DMC) E MODELAGEM HIDRÁULICA COMPUTACIONAL: ESTUDO DE CASO DO DMC JOSÉ LAGES EM MACEIÓ-AL

Marcos André Melo Teixeira⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Alagoas - UFAL. Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal de Alagoas (PPGRHS/UFAL). Bacharel em Direito pela Faculdade de Alagoas - FAL. Analista Judiciário - Engenharia Civil do Tribunal Regional Eleitoral de Alagoas - TRE/AL. Professor Adjunto da Faculdade de Tecnologia de Alagoas - FAT/AL dos cursos de Engenharia Civil e Direito.

Marcelo de Melo Ferro⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Faculdade de Tecnologia de Alagoas - FAT/AL. Servidor público da Companhia de Saneamento de Alagoas - CASAL.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Aristeu de Andrade, 377 - Farol - Maceió - AL - CEP: 57.051-090 - Brasil - Tel: (82) 2122-7652 - e-mail: marcos_engenheiro@yahoo.com.br

Endereço⁽²⁾: Avenida Presidente Roosevelt, 1200 - Serraria - Maceió - AL - Brasil - Tel: (82) 2122-7652 - e-mail: marcelodmferro@hotmail.com

RESUMO

O volume de água perdido nos sistemas públicos de abastecimento através de vazamentos e fraudes em ligações é bastante significativo e, sem dúvida, atenderia a populações desprovidas de água potável em regiões de crise hídrica. Todavia, o tratamento dessas perdas se torna algo difícil, considerando a complexidade das redes de distribuição. Uma gestão por meio de distritos de medição e controle (DMC's) permite a divisão de setores de abastecimento em áreas menores, mais gerenciáveis, onde se tem o monitoramento e controle das pressões e vazões de cada distrito. Além disso, a utilização da tecnologia da modelagem hidráulica computacional conduz ao aperfeiçoamento das técnicas de execução dos próprios distritos, bem como proporciona o conhecimento das variáveis de pressão, vazão, velocidade e perda de carga. Com isso, a tomada de decisões e intervenções em campo seguem critérios técnicos e eficientes, distanciando-se do empirismo. Com o objetivo principal de analisar o gerenciamento das perdas de água mediante o estudo de caso do DMC José Lages, situado no bairro da Ponta Verde, em Maceió - AL, foi realizado levantamento de dados operacionais junto à Companhia de Saneamento de Alagoas - CASAL, que detém a concessão do abastecimento de água da capital alagoana. Para tanto, utilizou-se os softwares livres: WB-Easy Calce e o EPANET, com intuito de elaborar o balanço hídrico do DMC e construir a simulação hidráulica computacional, respectivamente. Dessa maneira, as perdas de água foram quantificadas de acordo com sua classificação e com isso, determinou-se os indicadores de performance, essenciais para comparação e avaliação das perdas com outros sistemas. Assim como, definiu-se os parâmetros técnicos de pressões e vazões após a modelagem hidráulica. Por conseguinte, percebeu-se que o nível de perdas de água da área estudada reduziu consideravelmente após a implantação da metodologia dos distritos de medição e controle com suporte da simulação hidráulica.

PALAVRAS-CHAVE: Água, perdas, gestão, modelagem.

INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial à vida humana e encontra-se cada vez mais escassa, principalmente nas regiões de seca do nordeste do Brasil, onde se vivenciam crises hídricas seculares. Em contrapartida, de acordo com o relatório do Banco Mundial, elaborado por Kingdom, Marin e Liemberger (2006), a cada ano, mais de 32 bilhões de m³ de água tratada são perdidos por vazamentos nos sistemas de abastecimento de água de todo o mundo.

Além disso, 16 bilhões de m³ por ano são entregues aos clientes, mas não são faturados, ou seja, são perdidos por fraudes em ligações ou erros de leitura. Uma estimativa do custo total anual para as empresas de saneamento, devido às perdas de água, é da ordem de 14 bilhões de dólares.

Dessa forma, as perdas de água provocam baixas performances à maioria dos sistemas, porém, em alguns países ou cidades com planejamento, recursos e gestão, conseguiu-se baixar e manter os níveis de perdas dos sistemas de abastecimento por meio de tecnologias aplicadas as redes de distribuição.

Em Maceió, como na maioria das cidades de Alagoas (cerca de 80% do estado), o órgão responsável pelo abastecimento de água é a Companhia de Saneamento de Alagoas – CASAL. Os índices de perdas são elevados, em determinados pontos, a valores acima de 50% do que se retira dos mananciais. O caso da eficiência da CASAL influi diretamente na vida do maceioense, pois as despesas sempre refletem na tarifa de água praticada.

Para tanto, existe acervo técnico e experiências práticas no Brasil para minimizar as perdas de água em sistemas públicos de abastecimento. Uma delas trata-se da divisão dos setores em Distritos de Medição e controle, permitindo a gestão eficiente de pressões dinâmicas e vazões disponibilizadas nas redes de distribuição. Um dos desafios para implantação destes distritos é a garantia técnica e operacional da eficácia da setorização.

Para isso, atualmente, existem programas livres de modelagem hidráulica, que reproduzem com fidelidade o comportamento hidráulico das redes de distribuição e facilitam bastante a concepção de novos sistemas de abastecimentos, bem como suas reformulações para melhorias, permitindo a busca iminente da técnica e dos conhecimentos de hidráulica, sobrepondo o empirismo, tanto utilizado por algumas empresas do ramo de saneamento básico.

METODOLOGIA

O desenvolvimento desse trabalho envolveu, além da revisão da literatura como embasamento teórico, a escolha de um distrito de medição e controle na capital Maceió-AL para estudo de caso, o levantamento de dados técnicos e operacionais, a realização do balanço hídrico, com cálculo de indicadores de performance, a modelagem hidráulica utilizando o software EPANET e a calibração do modelo hidráulico.

Escolha de um DMC em Maceió-AL

Foi escolhido o Distrito de Medição e Controle – DMC José Lages para estudo de caso, principalmente pela facilidade de obtenção dos dados cadastrais e técnicos junto à Companhia de Saneamento de Alagoas, uma vez que se trata de um dos menores distritos da Companhia.



Levantamento de Dados Técnicos e Operacionais

Para avaliar e possibilitar um estudo mais aprofundado das perdas de água no DMC José Lages serão levantados os dados comerciais da sua área de abrangência, assim como as informações de vazamentos anuais, o cadastro das redes de distribuição, os dados técnicos da execução dos distritos e do gerenciamento de pressões e vazões junto à Companhia de Saneamento de Alagoas - CASAL. Além disso, serão coletadas as informações de outros sistemas de abastecimentos no SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), para efeito de comparação de dados.

Balanço Hídrico e Indicadores de Performance

Com intuito de quantificar os volumes de perdas de água na área estudada, assim como, calcular os indicadores de performance no Distrito de Medição e Controle em estudo será realizado o Balanço Hídrico através do Software em planilha de Excel denominado WB-EasyCalc, disponibilizado gratuitamente pelo Banco Mundial, através do endereço eletrônico: <<http://www.liemberger.cc>> acesso em 25 de outubro de 2017.

Figura 1. Início do Software WB EasyCalc

WB-EasyCalc  The free water balance software Version 5.15 (16 September 2017)		
Nome da Empresa:	DMC JOSÉ LAGES	Ano: 10/2017
Os volumes usados para este balanço são para um período de:		31 Dias
 by courtesy of Liemberger & Partners ... because the best things in life are free! ...		
check for updates on: www.liemberger.cc		
Dados de entrada	1.)	Iniciando
		Mudar a língua Change Language
	2.)	Volume de Entrada no Sistema
	3.)	Consumo faturado
	4.)	Consumo não faturado
	5.)	Consumo não autorizado
	6.)	Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados
	7.)	Dados da rede
	8.)	Pressão
Resultados	9.)	Abastecimento intermitente
		Informação financeira
	A	Balanço Hídrico em m3/ano
	B	Balanço Hídrico em m3/dia
	C	Balanço Hídrico para o período
	D	Indicadores de Performance
	E	FERRAMENTA "E SE"
	F	Dados históricos

Fonte: world bank (2017)

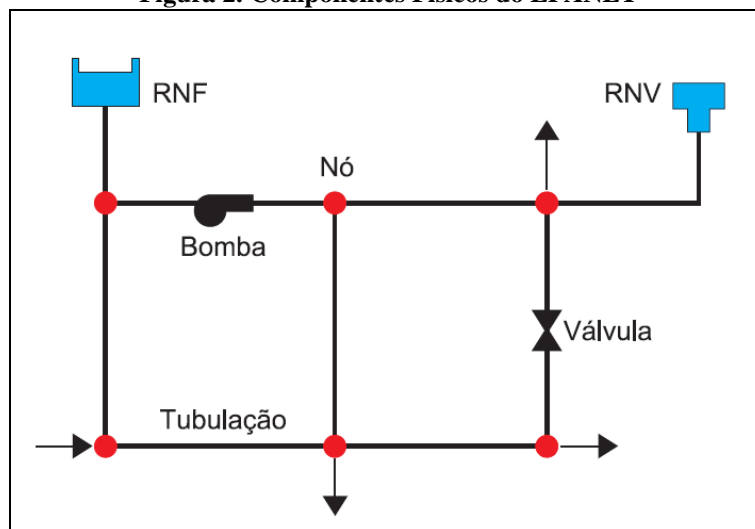
Modelagem Hidráulica utilizando o Software EPANET

A modelagem hidráulica computacional do DMC José Lages ocorrerá através do Software livre EPANET, por se tratar de um software gratuito e de eficácia comprovada no meio acadêmico para estudos de comportamento hidráulico.

O EPANET foi desenvolvido pela EPA – Environmental Protection Agency dos Estados Unidos que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico das redes de abastecimento de água. Este permite obter os valores da vazão em cada tubulação, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação, subdividido em múltiplos intervalos de cálculo. Adicionalmente, além de espécies químicas, o modelo simula o cálculo da idade da água e o rastreamento da origem de água em qualquer ponto da rede (ROSSMAN, 2000).

A versão do programa EPANET para o português, falado e escrito no Brasil, foi realizada pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS), pertencente ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, do Centro de Tecnologia, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). A figura 2 mostra os principais componentes físicos do EPANET.

Figura 2. Componentes Físicos do EPANET



Fonte: manual do Usuário – EPANET 2.0

- Nós: são os pontos da rede onde os trechos se unem. Em cada nó se representa o consumo de uma determinada área de influência dentro de um DMC, por exemplo;
- Tubulação: são trechos que carregam água sob pressão durante a simulação.
- O RNF (Reservatório de Nível Fixo): São nós especiais que representam um volume de armazenamento de água, de capacidade ilimitada e carga hidráulica constante. São utilizados para simular locais de captação de água ou alimentação de DMC's.
- Bomba: São dispositivos que recalcam água de um ponto com cota menor para outro de cota superior;
- RNV (Reservatório de Nível Variado): São também nós especiais da rede, possuindo uma capacidade de armazenamento limitada, podendo variar o volume de água armazenada ao longo da simulação.

Calibração do Modelo Hidráulico

A calibração ocorrerá dentro da plataforma do próprio Software EPANET, por meio da inserção de dados de pressão levantados junto à Companhia de Saneamento de Alagoas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização da área de estudo

O Distrito de Medição e Controle – DMC José Lages está situado no bairro da Ponta Verde, município de Maceió-AL. Planície litorânea, compreendendo a área de menor expressão espacial e de menor altitude, 0 a 10 metros, da capital alagoana, e comportando uma das áreas mais nobres do estado, com grande densidade demográfica e potencial turístico.

O nome José Lages foi motivado pela localização da entrada do DMC, ou seja, do local de instalação do macromedidor e da VRP (Válvula Redutora de Pressão), que fica na Avenida Deputado José Lages. Georreferenciado através de GPS, no Sistema Geodésico brasileiro, com coordenadas Plano Retangulares Relativas sistema UTM Datum WGS84, referente ao meridiano central 33° 00' com coordenadas Este (X) 203400,71m e Sul (Y) 8931369,10m.

A Concessão do abastecimento de água de Maceió-AL é da Companhia de Saneamento de Alagoas - CASAL, que detém a operação de 76 dos 102 municípios alagoanos. Na capital, a CASAL é dividida em três Unidades de Negócio: Unidade Benedito Bentes, Unidade Farol e Unidade Jaraguá. Esta última compreende a parte baixa da cidade, orla lagunar e orla marítima, inclusive o DMC José Lages em estudo.

Figura 3. Localização do DMC JOSÉ LAGES



Fonte: CASAL (2017)

Concepção dos DMC's na parte baixa da Capital Maceió

O abastecimento de água de Maceió provém de 04 sistemas básicos: Catolé/Cardoso, Aviação, Pratagy e Águas Subterrâneas. Estes são compostos por sistema produtor, tratamento, reservação e distribuição. O sistema Pratagy é abastecido pelo rio que dá o nome ao sistema, o rio Pratagy.

A captação do Pratagy e estação elevatória recalcam água para a ETA Josué Palmeira, localizada no bairro Benedito Bentes. A partir do tratamento, a água é destinada aos reservatórios: R1, R2, R6 e R.E.L.UNBB. O reservatório R1 está localizado no bairro Jacintinho na cota altimétrica 52m, possui capacidade para 8.000m³, sendo do tipo apoiado. Esse reservatório abastece a região da parte baixa litorânea da capital (setor R1), compreendendo os bairros de Jaraguá, Poço, Ponta da Terra, Pajuçara, Ponta Verde, Jatiúca, Mangabeiras e Cruz das Almas.

De acordo com o cadastro da CASAL, até o ano de 2009, a cidade de Maceió possuía cerca de 1.200km de redes com diâmetro variando entre 20 e 700mm, interligadas a 154.080 residências, pontos comerciais, indústrias e prédios públicos, entretanto, o setor R1 possuía, na mesma época, cerca de 186 km de tubulação, com diâmetros variando entre 25 e 550 mm, interligadas a residências, pontos comerciais, indústrias e prédios públicos.

Vale salientar que, parte das redes de distribuição são de ferro fundido, as quais foram implantadas, em sua maioria, entre as décadas de 70 e 80, apresentando atualmente grande perda de carga ocasionada por incrustações, o que caracteriza problemas no abastecimento de grande parte do setor.

Em 2009 teve início o programa de controle de perdas através do Contrato de Performance entre a CASAL e a SABESP, onde a companhia de São Paulo trazia tecnologias no sentido de reduzir perdas reais e aparentes. A remuneração desse contrato era condicionada ao aumento de faturamento da capital Maceió.

A tecnologia mais importante utilizada pela SABESP na parte baixa de Maceió foi a implantação de 15 distritos de medição e controle, compreendendo toda área do setor R1, inclusive o DMC José Lages, objeto deste trabalho, conforme a figura 4. A CASAL estima que os gastos para execução de cada distrito foram em torno de R\$ 250.000,00.

Antes dos investimentos do Contrato de Performance, foram implantados os anéis da Pajuçara por meio da Secretaria de Infraestrutura do Estado de Alagoas. Estes Anéis são adutoras de grandes diâmetros oriundas do reservatório R1, ou seja, com pressões de serviços acima de 30 m.c.a, que percorrem algumas ruas do setor de abastecimento, formando uma espécie de reforço na infraestrutura de distribuição, com intuito de garantir um melhor abastecimento. Com isso, todos os DMC's aqui citados derivam desses anéis.

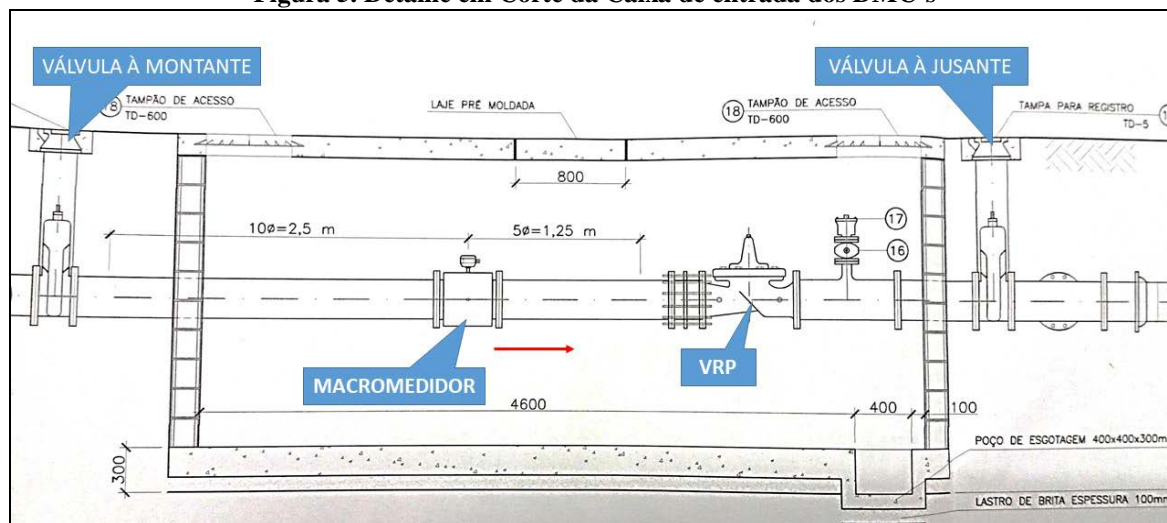
Figura 4.DMC's parte baixa de Maceió



Fonte: CASAL (2017)

Desta forma, cada subsetor (DMC) passou a ter um macromedidor, que é medidor de vazão de grande porte, para monitoramento da quantidade de água que entra no DMC e uma válvula redutora de pressão (VRP), ambos instalados numa caixa subterrânea de alvenaria estrutural e laje de concreto armado, com dimensões médias de 2,00m de largura por 5,00m de comprimento e 2,00m de profundidade, de acordo com o detalhe em corte apresentado na figura 5. Dentro desta caixa também ficam alojados os equipamentos para telemetria, com a finalidade de enviar os dados registrados (pressão e vazão) para o centro de controle da CASAL.

Figura 5. Detalhe em Corte da Caixa de entrada dos DMC's



Fonte: CASAL (2017)

De acordo com o SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), no período anterior à instalação dos DMC's, a capital Maceió contava com um índice de perda na distribuição (IPD) da ordem de 68,0%, ou seja, 68,0% de todo o volume produzido e enviado para o abastecimento dessa região era perdido através de vazamentos nas redes e águas não faturadas (ligações clandestinas, imprecisão de hidrômetros, entre outros).

Informações Operacionais

Os dados apresentados nas tabelas 1, 2 e 3 foram disponibilizados pela Companhia de Saneamento de Alagoas – CASAL, através do sistema comercial GSAN e da base de cadastro de redes, referente ao mês de outubro de 2017.

Tabela 1.Dados Comerciais

ANÁLISE DE CONSUMO DE ÁGUA - DMC JOSÉ LAGES				
Mês: Outubro 2017				
QTD. Ligações Ativas de Água	QTD. Economias Ativas de Água	QTD. Ligações Ativas de Água Micromedidas	QTD. Ligacoes Totais de Água	Índice de Ligações Inativas (Cortadas e Suprimidas)
785	5.675	684	973	19,32%
Índice de Micromedicação (lig. Ativas)	VOL. Água Micromedido (m³)	VOL. Água Estimado (m³)	VOL. Água Consumido (m³)	
87,13%	58.788	10.444	69.232	

Fonte: GSAN CASAL (2017)

Tabela 2. Cadastro das redes de distribuição

LEVANTAMENTO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO					
DMC JOSÉ LAGES					
LOGRADOURO	FºFº - EXTENSÃO (m)				PVC - EXTENSÃO (m)
	DIÂMETRO (mm)				DIÂMETRO (mm)
	50	75	150	250	75
Av. Prof. Sandoval Arrochelas	761				
Avenida Senador Rui Palmeira		732			
Rua Hélio Pradines		708			
Rua Deputado José Lages			594	136	
Rua Prof. Abdon Arrochelas		715			
Rua São Francisco de Assis		716			
Rua Santa Fernanda		541			
Rua Hamilton de Barros Soutinho		691			
Avenida Dr. Júlio Marques Luz					688
Rua Manoel Ribeiro da Rocha		592			
Rua Deputado Eliseu Teixeira		589			
Rua Odilon Vasconcelos		588			
Rua Lourenço Moreira da Silva		585			
Rua Doutor Noel Nutels		578			
Avenida Álvaro Otacílio			586		
SUBTOTAL	761	7035	1180	136	688
	7,77%	71,79%	12,04%	1,39%	7,02%
TOTAL GERAL	FERRO FUNDIDO (FºFº)			PVC	
	(m)		(%)	(m)	(%)
	9112,00		92,98%	688,00	7,02%
(m)	9800,00				

Fonte: CASAL (2017)

Tabela 3. Histórico Anual de Vazamentos

HISTÓRICO DE VAZAMENTOS DE ÁGUA DMC JOSÉ LAGES	
ANO 2016	
LOGRADOURO	QUANTIDADE
Av. Prof. Sandoval Arrochelas	8
Avenida Senador Rui Palmeira	7
Rua Hélio Pradines	8
Rua Deputado José Lages	7
Rua Prof. Abdon Arrochelas	11
Rua São Francisco de Assis	20
Rua Santa Fernanda	8
Rua Hamilton de Barros Soutinho	14
Avenida Dr. Júlio Marques Luz	0
Rua Manoel Ribeiro da Rocha	2
Rua Deputado Eliseu Teixeira	0
Rua Odilon Vasconcelos	2
Rua Lourenço Moreira da Silva	1
Rua Doutor Noel Nutels	2
Avenida Álvaro Otacílio	5
TOTAL	95

Fonte: CASAL (2017)

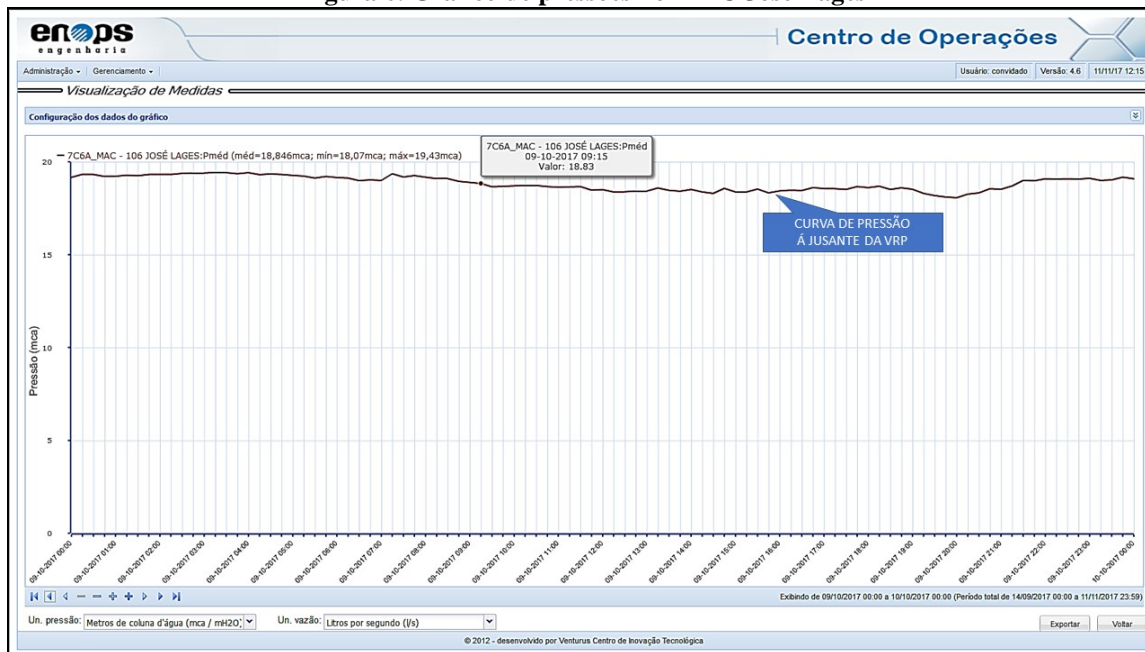
Gerenciamento das pressões

A pressão nas redes de distribuição é diretamente proporcional a quantidade de vazamentos que possa existir, ou seja, quanto maior a pressão, maior será a probabilidade de se ter vazamentos. Para tanto, a concepção do DMC José Lages permitiu a instalação de uma válvula redutora de Pressão (VRP) na entrada do distrito. Esta válvula ajusta a pressão de jusante (saída), conforme definição do operador. Com isso, reduziu-se esta variável de uma média de 35 mca à montante para 19 mca à jusante.

A gestão da pressão é realizada por telemetria, no sentido de visualizar as informações em tempo real. Para isso, foi instalado um sistema de envio de dados via GPRS, que são gerenciados por meio do Centro de Controle e Processos Operacionais e da empresa ENOPS Engenharia, terceirizada pela CASAL para realizar manutenção nos sistemas e equipamentos dos DMC's.

Todos esses dados são armazenados a cada 15 minutos e visualizados através do sistema VENTURUS centro de Operações, conforme figura 6.

Figura 6. Gráfico de pressões no DMC José Lages



Fonte: CASAL (2017)

Dessa forma, é notável que se tem um controle efetivo sob a pressão de entrada do distrito, podendo agilizar a tomada de decisões ou intervenções para evitar desperdícios de água por pressões elevadas. Além disso, para se chegar a pressão média de entrada de 18,85 mca, de acordo com o gráfico da figura 6, foi realizado uma série de estudos na área, inclusive com campanhas de medições nos pontos críticos da malha de distribuição. Estes pontos críticos podem ser definidos como os pontos mais desfavoráveis ao abastecimento de água, ou seja, são imóveis que estão em cota de nível mais alta, bem como os mais distantes da alimentação do distrito, com potencial perda de carga. O conhecimento e monitoramento desses pontos é de fundamental importância no gerenciamento das pressões do DMC, haja vista que, com a instalação da VRP, pode ocorrer desabastecimento em algumas áreas.

Gerenciamento das Vazões

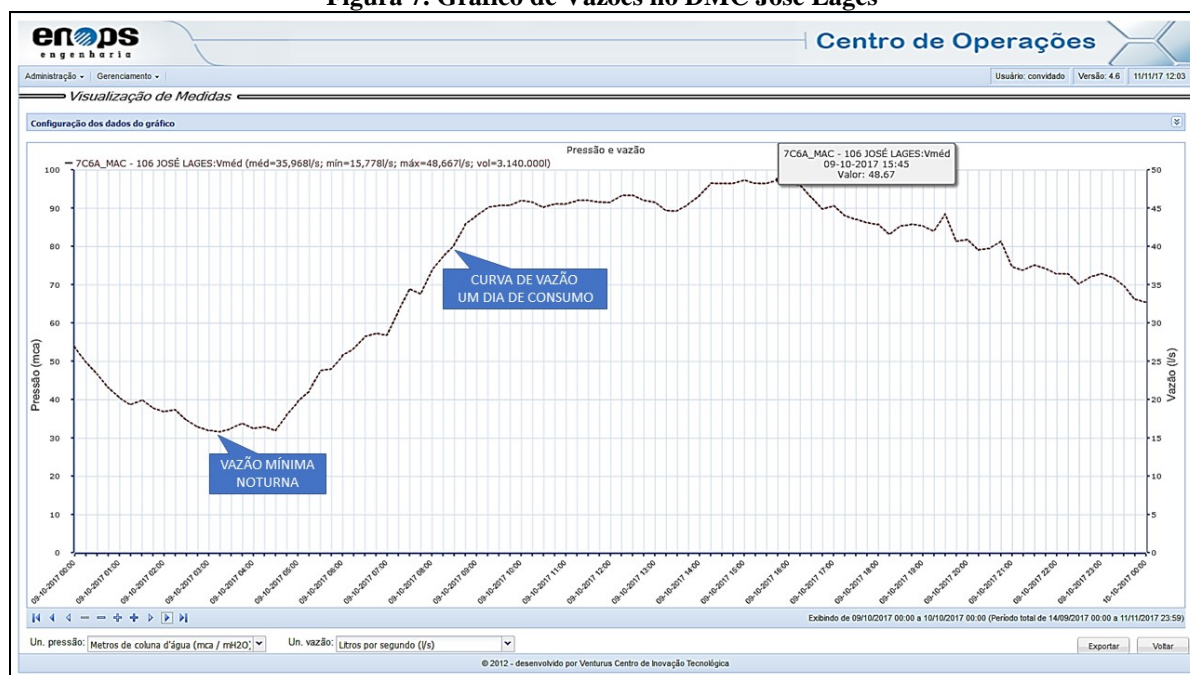
As vazões de entrada do distrito de medição e controle alvo deste estudo são medidas através de macromedidores eletromagnéticos instalados junto a VRP na caixa subterrânea, localizada na alimentação do DMC, conforme figura 14. Assim como os dados de pressão, os valores de vazão horária são computados de 15 em 15 minutos. A partir disso, estes dados são enviados por telemetria e são gerenciados no sistema Venturus pelo Centro de Controle e Processos Operacionais da CASAL e pela ENOPS engenharia.

Conhecendo as vazões do DMC é possível realizar um monitoramento eficaz da água distribuída, permitindo conhecer, quantificar e mitigar as perdas de forma mais precisa.

Monitoramento das vazões mínimas noturnas

O acompanhamento diário das vazões mínimas noturnas possibilita identificar de forma rápida potenciais vazamentos, que contribuem para o aumento das perdas. Uma vez que estas vazões são compostas por consumos noturnos e pelos vazamentos visíveis e não visíveis. Com isso, é realizado diariamente seu monitoramento através dos gráficos de curva de vazão, conforme figura 7. Ao se identificar qualquer tipo de alteração, como picos de consumos nos horários de 0h às 5h da manhã, as evidências são fortes para perdas por vazamentos em redes ou ramais de distribuição, principalmente por este horário se ter pressões mais elevadas.

Figura 7. Gráfico de Vazões no DMC José Lages



Fonte: CASAL (2017)

Pesquisa de vazamentos não visíveis

O controle ativo de vazamentos é uma das premissas de extrema importância na redução das perdas reais. É muito comum as companhias de abastecimento de água do país dispor de equipes estruturadas para retirar os vazamentos visíveis, que muitas vezes a empresa só tem conhecimento através de reclamações da população ou pela imprensa.

No entanto, não se dá o devido valor para a sondagem dos vazamentos não visíveis, principalmente pela dificuldade operacional e altos custos para este tipo de serviço. De acordo com a CASAL, com a implantação dos DMC's, inclusive o José Lages, foram realizadas "varreduras" na malha de distribuição com a finalidade de identificar possíveis vazamentos não visíveis, através da tecnologia do geofone eletrônico, que permite realizar escutas de ruídos provocados pela água ao sair de furos e rompimentos das tubulações. Com isso, conseguiu-se recuperar volumes de água que se perdiam a muito tempo.

Figura 8. Pesquisa de vazamentos com Geofone Eletrônico



Fonte: CASAL (2017)

Na área de abrangência do DMC José Lages existem grandes possibilidades de se ter vazamentos não visíveis, principalmente por se tratar de uma região com solos superficiais arenosos, facilitando o fluxo da água, sem aflorar aos pavimentos das ruas. Sem dúvida, esse tipo de vazamento soma peso significativo nos percentuais de perdas de água.

Para se ter noção se há viabilidade econômica de procurar vazamentos não visíveis, principalmente pelos custos elevados, estuda-se a vazão mínima noturna. De acordo com Fávero e Dib (1981), relacionando a vazão mínima noturna com a vazão média diária, obtemos o fator de pesquisa. O DMC é considerado viável para se investir em pesquisa de vazamentos não visíveis quando ultrapassa 0,30, ou seja, quando a vazão mínima noturna é superior a 30% da vazão média diária.

Considerando o gráfico da curva de vazões, na figura 16, podemos calcular o fator de pesquisa do DMC José Lages no dia 09/10/2017.

- Vazão mínima noturna = 15,778 l/s
- Vazão média diária = 35,968 l/s
- Fator de Pesquisa = $15,778 / 35,968 = 0,44$

Balanco Hídrico do DMC

O início do balanço se dá preenchendo a planilha inicial com o nome do DMC e mês de referência. Neste caso, adotou-se o mês de outubro de 2017 e todos os dados a serem preenchidos foram informados pela CASAL.

Na sequência, informou-se o volume de entrada no sistema, que corresponde a quantidade de água que foi disponibilizada para o distrito, sendo computada por meio do macromedidor instalado na entrada do DMC. No mês de outubro de 2017 foi registrado um volume de 94.582 m³ com margem de erro de 0,5%, conforme mostra a figura 9.

Figura 9. Volume de Entrada no Sistema

Volume de Entrada no Sistema		
Fonte de água	[m3]	Margem de erro [+/- %]
Volume distribuído no DMC	94.582	0,5%

Fonte: software WB-EasyCalc

Em seguida, inseriu-se os dados de consumo dos imóveis pertencentes à área do distrito de medição e controle, ou seja, os volumes utilizados. Estes Consumos são divididos em:

- Consumo medido faturado – trata-se dos volumes que foram micromedidos, através dos hidrômetros instalados em cada imóvel pela companhia.
- Consumo não medido faturado – são os volumes estimados, ou seja, naqueles imóveis onde não se tem hidrômetro ou não foi possível realizar a leitura. Neste caso a companhia fatura pela média de consumo.
- Consumo medido não faturado – pode ser considerado como os usos de água para estabelecimentos da própria companhia de saneamento.
- Consumo não medido e não faturado – são os volumes de usos operacionais como de hidrantes pelo corpo de bombeiros, descarga de redes, entre outros.

Considerando a área de influência do DMC José Lages, no mês de outubro de 2017 só se teve consumos faturados, sendo o total de 58.788 m³ de volume micromedido e 10.444 m³ de volume estimado, conforme tabela 1 - Dados Comerciais e figura 10 abaixo.

Figura 10. Volumes Utilizados

Consumo medido faturado		Consumo não medido faturado	
Descrição	[m3]	Descrição	[m3]
Venda de água por atacado (exportação)		Venda de água por atacado (exportação)	
Volume Micromedido	58.788	Volume Estimado	10.444

Fonte: software WB-EasyCalc

O próximo passo é estimar os consumos não autorizados, que na prática, são as irregularidades, fraudes e ligações clandestinas de água. Para esse estudo de caso foram adotados os valores com base no histórico de fiscalizações realizadas pelo setor de combate às fraudes da CASAL, considerando uma margem de erro de 20%.

Figura 11. Consumos não autorizados

Consumo não autorizado					
Descrição	Número estimado	Margem de erro [+/- %]	Pessoas por residência	Consumo [litros/pessoa/dia]	Total [m3]
Ligações clandestinas - residenciais	25	20%	5,0	300	1.163
				consumo [litros/ligação/dia]	
Ligações clandestinas - outras	10	20%		1.500	465
				Consumo [litros/cliente/dia]	
Hidrômetros violados, bypasses, etc em clientes registrados	60	20%		300	558

Fonte: software WB-EasyCalc

Logo após, inseriu-se na planilha do software, os valores de extensão de rede de distribuição que compreende todo o distrito, bem como o número de ligações ativas e inativas, ou seja, com situação real ligada e cortada/suprimida, respectivamente, conforme figura 12. Essas informações foram obtidas no levantamento de dados operacionais e estão dispostas nas tabelas 1 -Dados comerciais e 2 - Cadastro das redes de distribuição.

Figura 12. Redes e ramais de distribuição

Redes de distribuição e adutoras		Ramais prediais		
Descrição	Comprimento [km]	Descrição	Número	Margem de erro [+/- %]
Extensão total das redes de distribuição	9,8	Número de Clientes (Ativos)	785	
		Número de ligações de clientes registrados	785	
		Nota: este número é geralmente (ligeiramente) menor que o número de clientes		
		Número de contas inativas com ligação existente	188	
		Número estimado de ligações clandestinas	35	20,0%

Fonte: software WB-EasyCalc

Posteriormente, incluiu-se na planilha a pressão média do distrito, obtida através de campanhas de medição realizadas pela Supervisão de Operação e Controle da CASAL, de acordo com a figura 13.

Figura 13. Pressão Média

Pressão média [m]		
Área	Número de ligações aproximado	Pressão média diária [m]
DMC JOSÉ LAGES	785	12,0

Fonte: software WB-EasyCalc

Por fim, inseriu-se as informações financeiras, como tarifa média e o custo de produção, ambos são cobrados a partir do m³ de água. Os valores informados abaixo na figura 14 foram obtidos através do relatório gerencial da CASAL.

Figura 14. Informações Financeiras

Informação financeira		
	por m³	moeda
Tarifa média	5,26	R\$
Custo variável de produção e distribuição (custo marginal da água)	4,03	R\$

Fonte: software WB-EasyCalc

A partir de todos os dados computados, o software gera o balanço hídrico referente ao mês em foco, neste caso o mês de outubro de 2017, conforme figura 15.

Figura 15. Balanço hídrico

Balanço Hídrico em m³ para um período de 31 Dias				
Volume de Entrada no 94.582 m³ Margem de erro [+/-] 0,5%	Consumo autorizado 69.232 m³ Margem de erro [+/-] 0,0%	Consumo autorizado faturado 69.232 m³	Consumo medido faturado 58.788 m³	Água faturada 69.232 m³
			Consumo não medido faturado 10.444 m³	
		Consumo autorizado não faturado 0 m³ Margem de erro [+/-] 0,0%	Consumo medido não faturado 0 m³	Água não faturada 25.350 m³ Margem de erro [+/-] 1,9%
			Consumo não medido não faturado 0 m³ Margem de erro [+/-] 0,0%	
	Perdas de água 25.350 m³ Margem de erro [+/-] 1,9%	Perdas Aparentes 2.186 m³ Margem de erro [+/-] 12,5%	Consumo não autorizado 2.186 m³ Margem de erro [+/-] 12,5%	
			Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados 0 m³ Margem de erro [+/-] 0,0%	
		Perdas Reais 23.165 m³ Margem de erro [+/-] 2,4%		

Fonte: software WB-EasyCalc

Além disso, também são gerados os indicadores de performance das perdas como um todo, assim como das perdas divididas em reais e aparentes. Com os dados apresentados nas figuras 16, 17 e 18, é possível realizar gestão mais eficiente do distrito de medição e controle.

Figura 16. Performance das perdas em Geral

Indicadores de Performance de Perdas				
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior
Volume de água não faturada expressa em % do volume de entrada no sistema	27%	2%	26%	27%
Valor da água não faturada expressa em % do custo operacional anual	0%	2%	0%	0%
Litros por ligação por dia (q.s.p.) q.s.p.: quando o sistema está pressurizado - isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no abastecimento	811	2%	796	826

Fonte: software WB-EasyCalc

Figura 17. Performance das perdas reais

Indicadores de Performance de perdas reais				
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior
Índice Infra-estrutural de Perdas (IIE)	63	2%	61	64
Litros por ligação por dia (q.s.p.) q.s.p.: quando o sistema está pressurizado - isto significa que o valor já está corrigido no caso de intermitência no abastecimento	741	2%	723	760
Litros por ligação por dia por metro de pressão (q.s.p.)	62	2%	60	63
m3/km rede por hora (q.s.p.)	3,18	2%	3,10	3,25

Fonte: software WB-EasyCalc

Figura 18. Performance das perdas aparentes

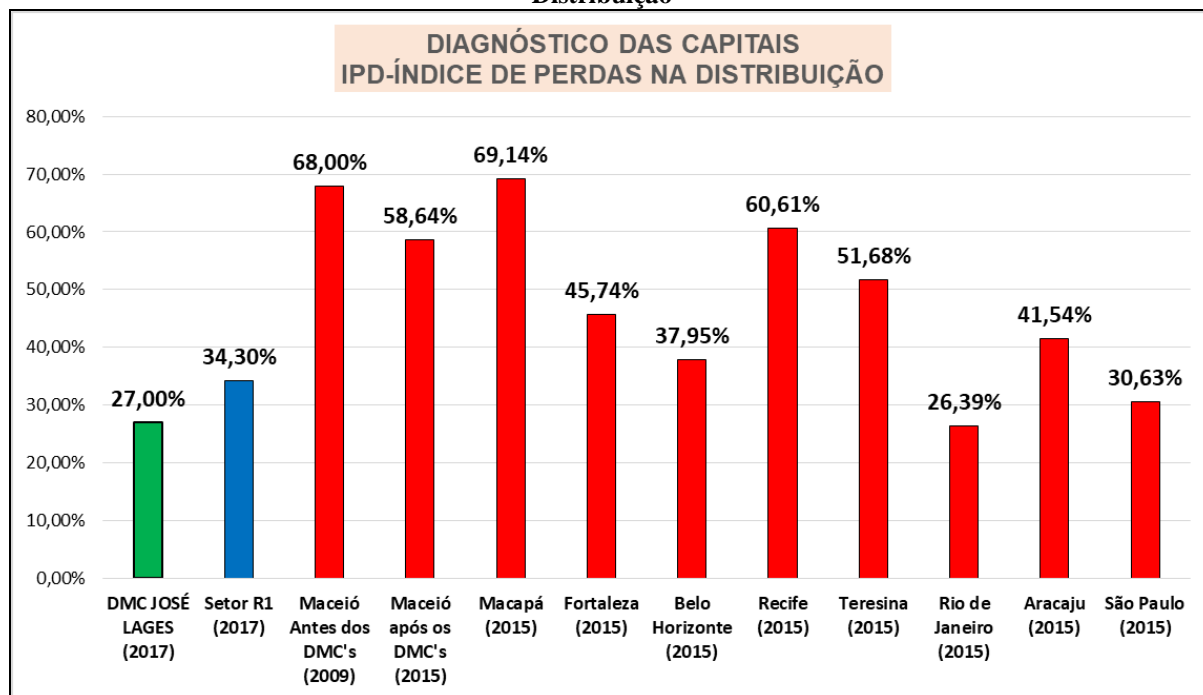
Indicadores de Performance de perdas aparentes				
	Melhor estimativa	Margem de erro [+/- %]	Limite inferior	Limite superior
Perdas Comerciais expressa em % do Consumo Autorizado	3%	13%	3%	4%
litros/ligação/dia	70	13%	61	79
litros/cliente/dia	90	13%	79	101

Fonte: software WB-EasyCalc

Analisando o balanço hídrico do DMC José Lages referente ao mês de outubro de 2017 (figura 15), pode-se observar que dos 94.582 m³ de água disponibilizados para esta região, 25.530 m³ foram contabilizados como perdas, ou seja, 27% da quantidade de água que entrou no sistema foi extraviada, seja por vazamentos nas redes e ramais de distribuição ou por perdas comerciais, como ligações clandestinas, fraudes ou erros de micromedição.

A figura 19 abaixo apresenta um comparativo do índice de perdas de água na distribuição do DMC José Lages, com a situação do próprio setor R1 (compreende os bairros de Jaraguá, Poço, Ponta da Terra, Pajuçara, Ponta Verde, Jatiúca, Mangabeiras e Cruz das Almas), da capital alagoana e de outras capitais do Brasil. Os dados obtidos para confecção deste gráfico são do SNIS (Sistema Nacional de Informações de Saneamento), que só disponibilizou dados até o ano de referência 2015 em sua plataforma de informações, e da CASAL, que só detém dados de perdas do setor R1 e do DMC José Lages do ano de 2017. Já a figura 20 apresenta um quadro com o panorama de classificação dos sistemas em relação aos índices de perdas na distribuição.

Figura 19. Comparativo do Índice de Perdas na Distribuição



Fonte: SNIS (2015) e CASAL (2017)

Figura 20. Classificação dos Sistemas em Relação as Perdas

Índice Total de Perdas (%)	Classificação do Sistema
Menor do que 25	Bom
Entre 25 e 40	Regular
Maior do que 40	Ruim

Fonte: adaptado de WEIMER (2001)

Considerando o gráfico da figura 19, percebe-se que houve uma redução significativa no nível de perdas do setor R1 e consequentemente da área de abrangência do DMC José Lages após a implantação dos distritos de medição e controle. Comprovando assim, a eficácia desta metodologia no combate as perdas de água. Além disso, comparando-se com capitais como Recife, Belo Horizonte, Rio de Janeiro e São Paulo, que possuem capacidade de investimento bem superiores a capital Maceió, observa-se que o DMC José Lages se encontra num patamar aceitável de perdas. Vale ressaltar ainda que, de acordo com o SNIS, a média nacional de perdas é de 37%.

Levando em conta o quadro de classificação dos sistemas em relação as perdas, proposto por WEIMER (2001) na figura 20, o DMC José Lages e o setor R1 estão qualificados como regular, no intervalo de 25 a 40% de perdas.

Todavia, é inegável que ainda há necessidade de diminuir o índice de perda do DMC em questão. Para isso, a divisão concebida em distrito de medição e controle proporciona um melhor gerenciamento. Os indicadores de performance expressos nas figuras 16, 17 e 18, nos permite avaliar detalhadamente as perdas de água no distrito, de acordo com sua classificação, propiciando ao gestor a condição de direcionar os trabalhos de combate as perdas com mais enfoque nas situações mais críticas.

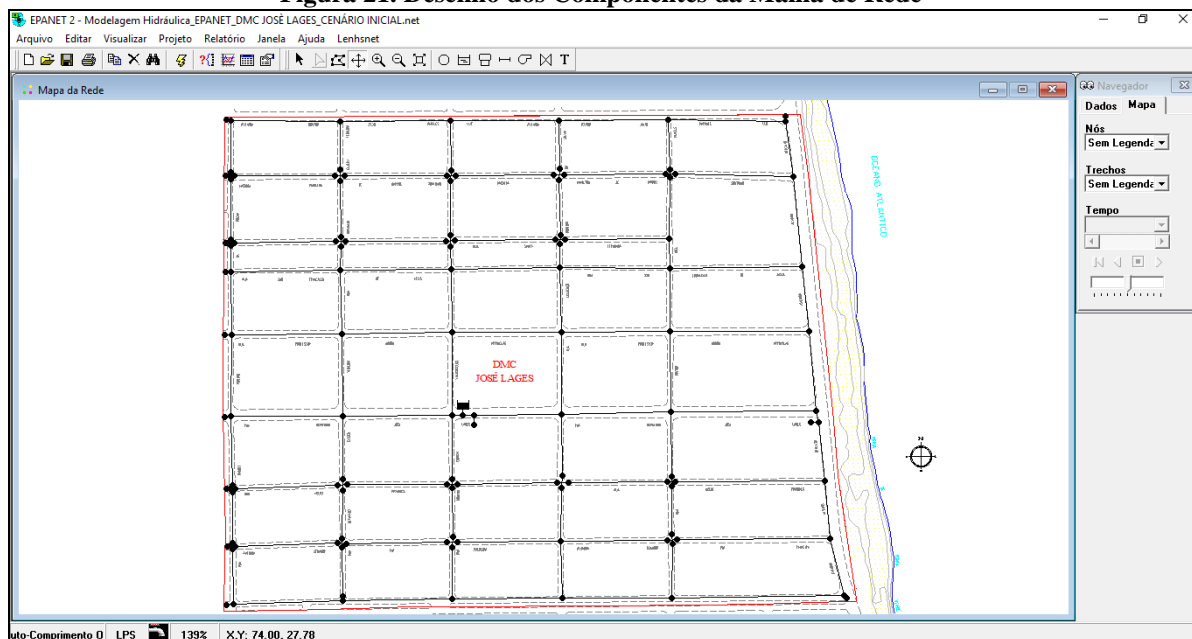
No caso das perdas reais, verificando o indicador Índice Infra Estrutural de Perdas (figura 17), obteve-se um valor admissível de 63, ou seja, o volume de perdas por vazamentos no DMC José Lages é 63 vezes superior ao volume de perdas inevitáveis, calculados a partir dos dados inseridos no software WB-EasyCalc. Essa situação é reconhecida também no cálculo do fator de pesquisa, que pressupõe um valor de 0,44 para este fator, isto é, a vazão mínima noturna representa 44% da vazão média diária. Diante disso, fica evidenciado a ocorrência de vazamentos não visíveis na área de abrangência do DMC.

Dessa forma, os trabalhos de combate às perdas neste DMC devem ter enfoque no controle ativo de vazamentos, garantindo agilidade nos reparos e qualidade dos materiais e serviços. Obviamente, não deixando de lado os serviços rotineiros para mitigação das perdas aparentes, como a fiscalização de clandestinas e fraudes, atualização cadastral e substituições de hidrômetros.

Construção do Modelo Hidráulico

O primeiro passo para sua realização constituiu-se em desenhar os componentes referentes ao cadastro das redes de distribuição, incluindo nós, trechos, válvulas e reservatórios, na plataforma do software. Para melhor visualização, inseriu-se uma imagem de fundo do arruamento envolvendo a área de abrangência do distrito, conforme a figura 21. Todos os dados inseridos no programa foram disponibilizados pela CASAL.

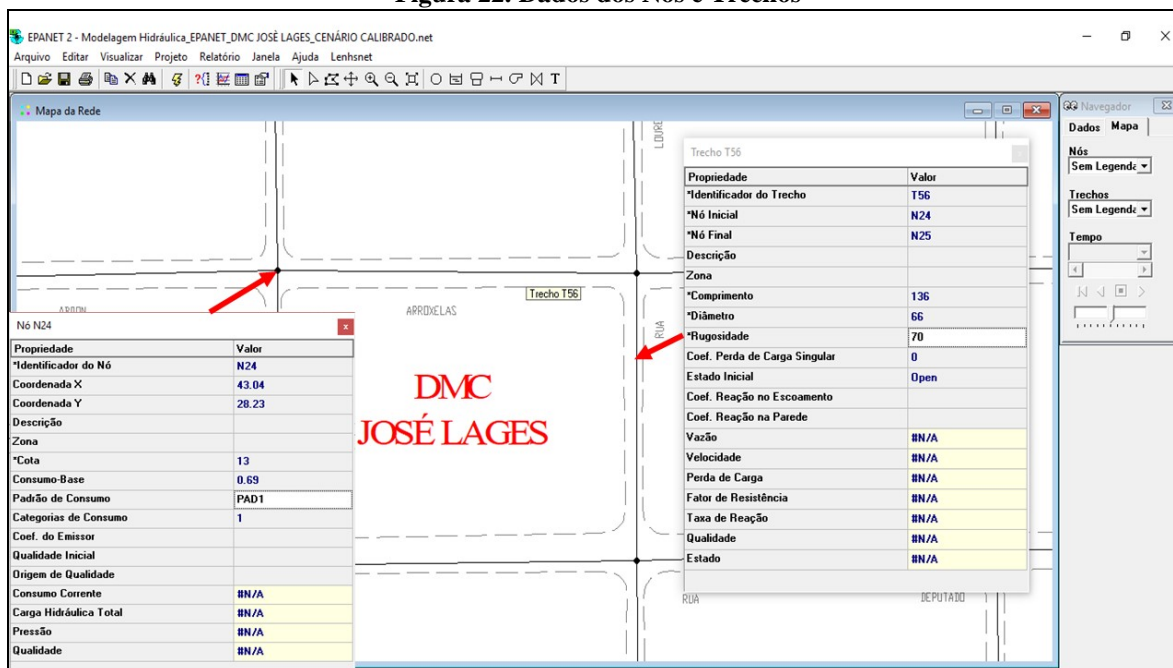
Figura 21. Desenho dos Componentes da Malha de Rede



Fonte: EPANET 2.0

Após a construção do desenho de todos os constituintes hidráulicos do distrito, acrescentou-se os dados de cada componente, nos nós: as cotas de nível, obtidas no Google Earth, os consumos bases, em litros por segundo, extraídos do sistema comercial da CASAL, sendo correspondente aos volumes consumidos médios de cada quadra do distrito e o padrão de consumo, a ser tratado mais a frente neste trabalho. Já nos trechos: os comprimentos, diâmetros e rugosidade. Estes dois últimos estão correlacionados com o material da tubulação. No caso do diâmetro foi adotada uma redução de 12% para as redes de ferro fundido, em virtude das incrustações encontradas pelos técnicos da CASAL, sendo um diâmetro de 75mm, foi adotado 66mm. Com relação a rugosidade considerou-se as indicações de Azevedo Netto (1998) para formulação de Hazen Williams, que adota coeficiente de rugosidade de 70 para tubulações em ferro fundido até DN 100 e acima de 35 anos de implantação, 75 e 78 para a mesma condição anterior constando diâmetros de 150mm e 250mm, respectivamente, e 135 para redes de PVC acima de 10 anos.

Figura 22. Dados dos Nós e Trechos

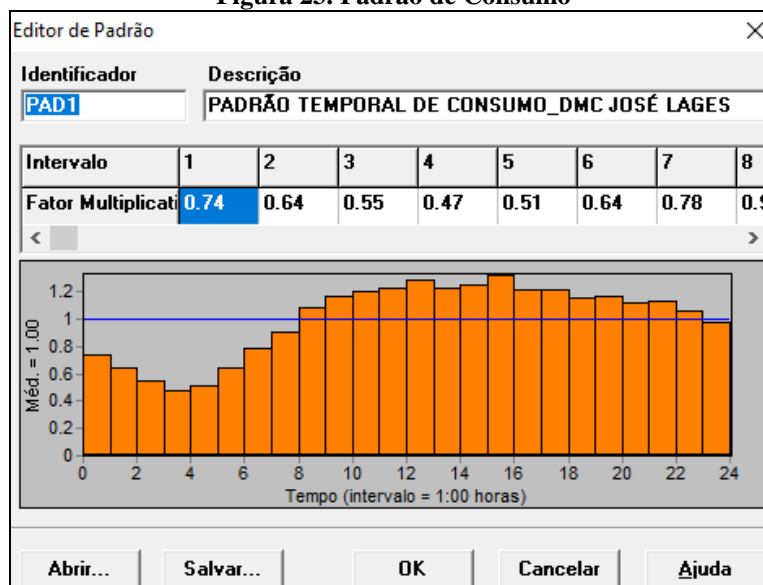


Fonte: EPANET 2.0

Na sequência, definiu-se os padrões de consumo e de nível, ambos são essenciais para se ter uma simulação dinâmica, ou seja, variações horárias de consumo, que oscilam os valores de pressão e vazão nos nós.

O padrão de consumo foi imposto a partir da curva de vazão computada pelo macromedidor instalado na entrada no DMC José Lages e enviada por telemetria ao sistema de controle da CASAL e Enops Engenharia, este foi denominado PAD1. A plataforma do Software EPANET define o padrão, através de fatores multiplicativos em função das 24 horas do dia. Estes fatores são calculados dividindo-se a vazão corresponde a cada hora pela vazão média do dia, conforme figura 23.

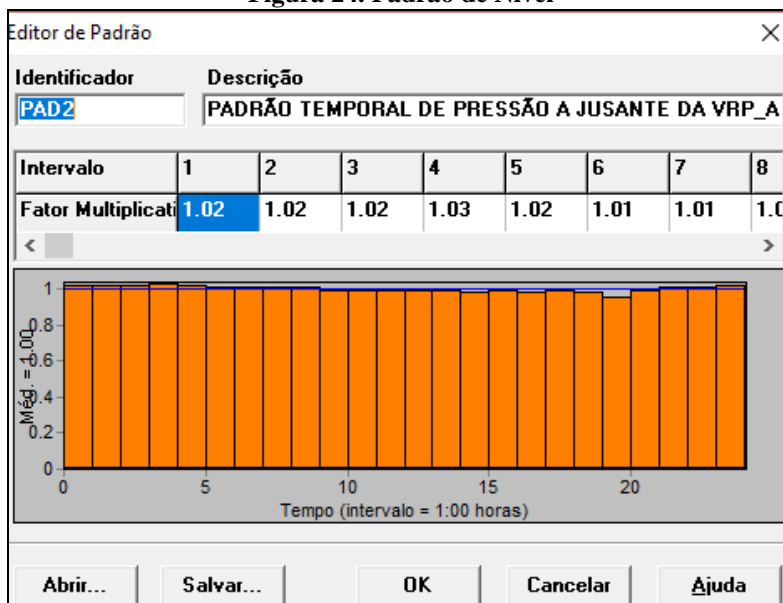
Figura 23. Padrão de Consumo



Fonte: EPANET 2.0

Do mesmo modo, o padrão de nível foi construído com os dados da curva de pressão à jusante da VRP instalada na entrada do DMC, conforme figura 24.

Figura 24. Padrão de Nível



Fonte: EPANET 2.0

Em seguida, definiu-se as configurações para simulação, como as formulações e unidades de vazão. O software EPANET permite realizar os cálculos das perdas de cargas nas simulações hidráulicas por meio das formulações de Hazen-Williams, Darcy-Weisbac e Chezy-Manning. Neste estudo de caso adotou-se a formulação de Hazen-Williams, indicada para tubulações com diâmetros acima de 50mm e reconhecida como uma das mais utilizadas para esta finalidade. A unidade de vazão adotada foi litros por segundo. As outras configurações são automáticas do software, de acordo com a figura 25.

Figura 25. Configurações de Hidráulica

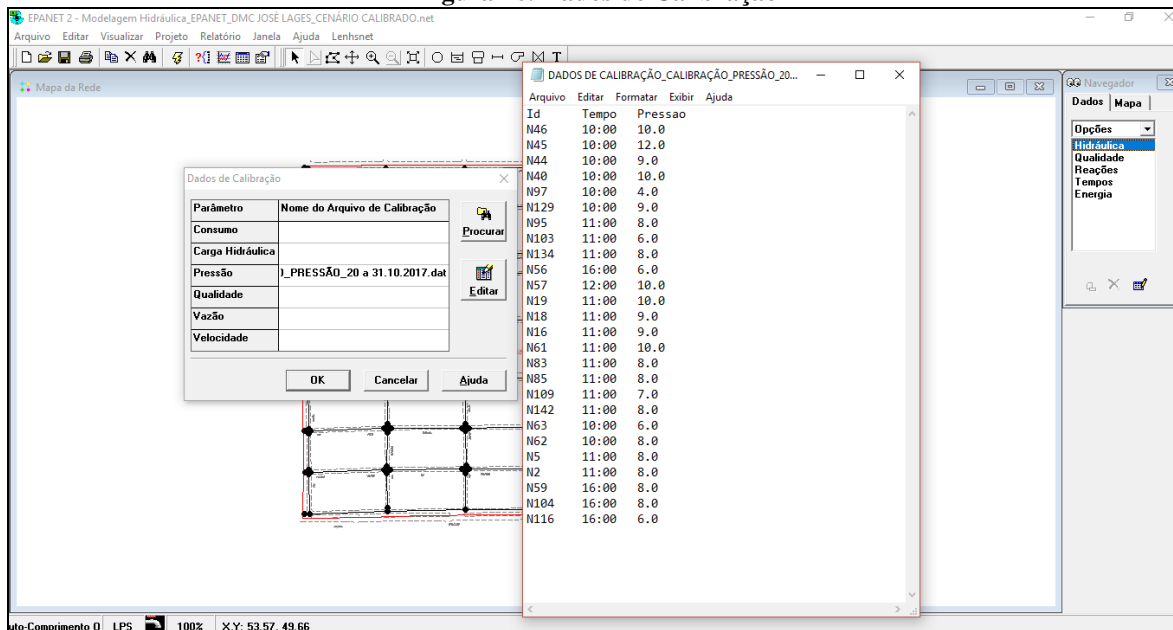
Hidráulica Opções	
Propriedade	Valor
Unidades de Vazão	LPS
Fórmula de Perda de Carga	H-W
Densidade	1
Viscosidade Relativa	1
No. Máximo de Iterações	40
Erro Máximo de Convergência	0.001
Se Não Convergir	Continue
Padrão	PAD1
Fator de Consumo	1.0
Expoente p/ Fórmula do Emissor	0.5
Relatório de Estado	No
CHECKFREQ	2
MAXCHECK	10
DAMPLIMIT	0

Fonte: EPANET 2.0

Calibração dos Cenários e Simulação

A calibração do cenário consiste em tornar o modelo hidráulico construído o mais próximo possível da realidade. O EPANET permite que seja inserido dados levantados em campo para comparação com os dados simulados. Neste trabalho, foi levantado junto à CASAL os dados de pressão do DMC José Lages, que foram associados aos nós de cada quadra pesquisada *in loco*, conforme apresentado na figura 26.

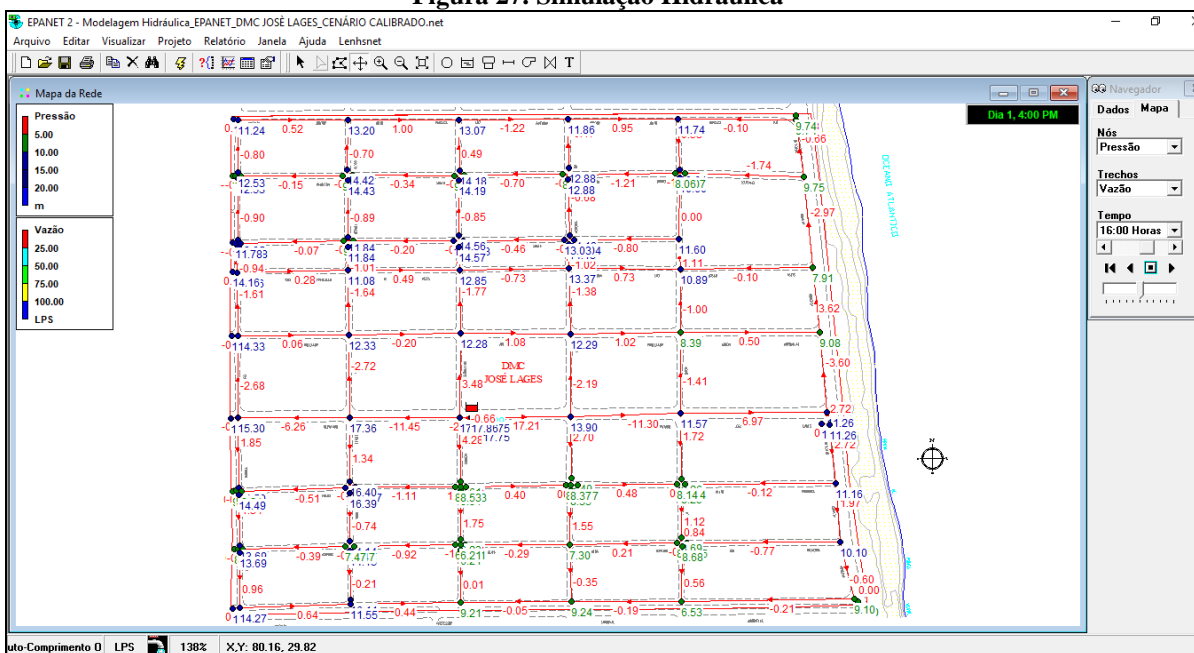
Figura 26. Dados de Calibração



Fonte: EPANET 2.0

A partir dos dados inseridos e configurações definidas executou-se a simulação hidráulica dinâmica, ou seja, a cada hora do dia, possibilitando a visualização dos valores de pressão nos nós e de vazão, velocidade e perda de carga nos trechos ou tubulações, de acordo com a figura 27.

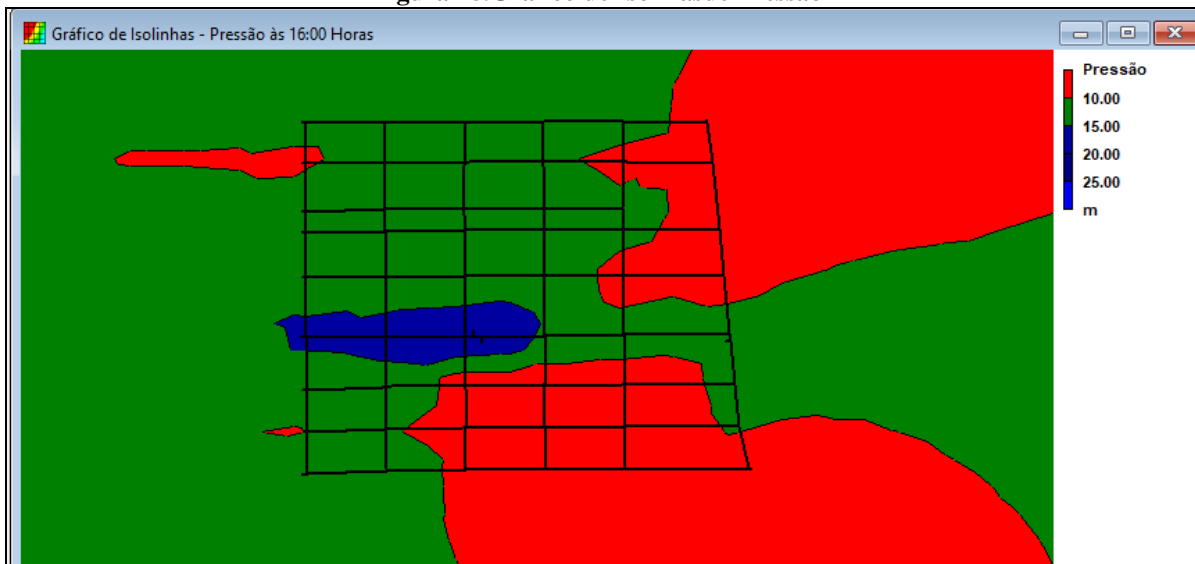
Figura 27. Simulação Hidráulica



Fonte: EPANET 2.0

Com a simulação executada com sucesso, o software EPANET permite gerar relatórios de estado, calibração, energia, tabela e gráficos, que proporcionam uma análise mais profunda de todos os dados simulados, bem como facilita a tomada de decisões, no sentido de propor alguma intervenção na malha de rede para melhoria do abastecimento e redução de perdas. A figura 28 apresenta o gráfico de isolinhas de pressão, a figura 29 a tabela de redes e a figura 30 o relatório de calibração, extraídos do EPANET.

Figura 28. Gráfico de Isolinhas de Pressão



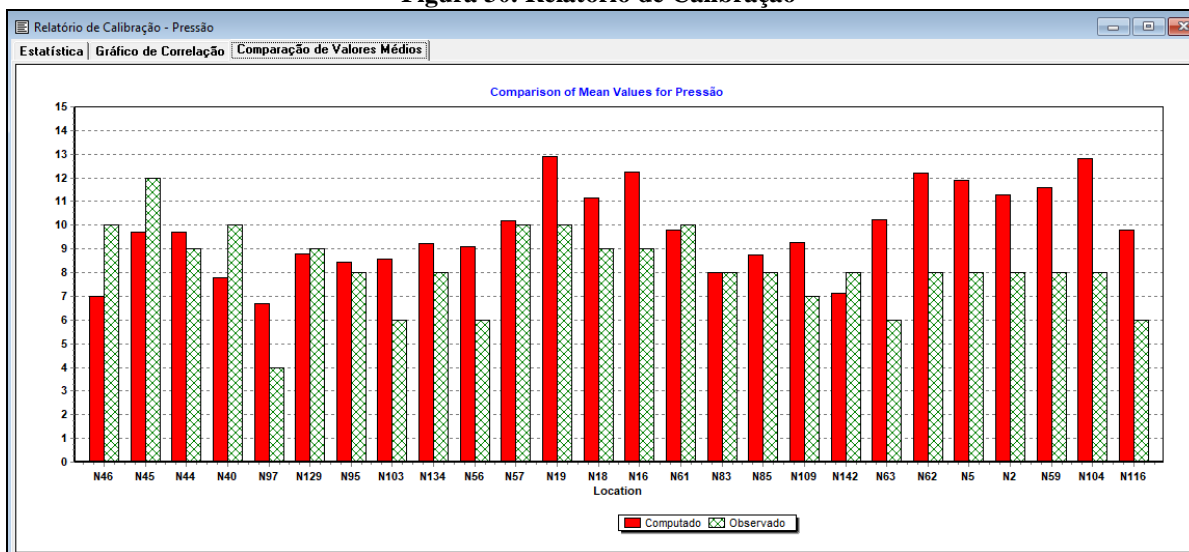
Fonte: EPANET 2.0

Figura 29. Tabela de Redes

Tabela da Rede - Trechos às 16:00 Horas						
Identificador do Trecho	Comprimento m	Diâmetro mm	Rugosidade	Vazão LPS	Velocidade m/s	Perda de Carga m/km
Tubulação T12	136	132	75	-11.30	0.83	17.13
Tubulação T26	134	132	75	-11.45	0.84	17.55
Tubulação T44	100	66	70	-2.68	0.78	39.69
Tubulação T53	99	66	70	-2.72	0.80	40.74
Tubulação T54	100	66	70	3.48	1.02	64.28
Tubulação T57	96	66	70	-2.19	0.64	27.17
Tubulação T58	76	66	70	-1.61	0.47	15.43
Tubulação T63	78	66	70	-1.64	0.48	16.04
Tubulação T65	78	66	70	-1.77	0.52	18.39
Tubulação T73	80	66	70	-1.38	0.40	11.58
Tubulação T107	98	66	70	-1.41	0.41	12.02
Tubulação T113	130	132	75	17.21	1.26	37.30
Tubulação T116	150	66	70	-1.74	0.51	17.85
34 itens com Perda de Carga Above 10						

Fonte: EPANET 2.0

Figura 30. Relatório de Calibração



Fonte: EPANET 2.0

Explorando os relatórios da modelagem hidráulica computacional realizada por meio do software EPANET, é factível as seguintes ponderações:

- Na figura 28 - Gráfico de isolinhas de pressão, nota-se que no horário de maior consumo estabelecido pela curva de vazão do DMC, às 16h, as pressões de serviço, visualizadas na cor vermelha, são inferiores a 10 mca, principalmente nas regiões mais distantes da alimentação do distrito. Com isso, descumpra a norma da ABNT, NBR 12218, que estabelece o mínimo de 10 mca para as pressões de serviço. Desse modo, pode haver algum imóvel desabastecido, principalmente naqueles que não possuem reservatório inferior.
- Na figura 29 – Tabela de Redes, entende-se que 34 trechos de redes de distribuição dentro da área do DMC José Lages apresentam perdas de carga superiores a 10m/km no horário de pico de consumo. Esta ocorrência pode ser justificada através dos dados da Tabela 2 – Cadastro das redes de distribuição, demonstrando que 92,98% das redes compreendidas no DMC em foco, são de ferro fundido e de acordo com a CASAL foram implantadas há mais de 35 anos. Logo, a incidência de incrustações é incontestável, contribuindo fortemente para as elevadas perdas de carga encontradas na simulação. Além de tudo, a ocorrência de vazamentos visíveis e não visíveis, principalmente pelo possível desgaste das tubulações em ferro fundido antigas, também somam peso nas perdas de carga. Vale salientar que esta região não possui diferenças de cota de nível expressivas.
- Na figura 30 – Relatório de Calibração, constata-se que, através das campanhas de medição de pressão realizadas em campo pela CASAL, atingiu-se um estágio satisfatório de calibração, permitindo a construção de um modelo hidráulico mais próximo das condições reais. No entanto, o software EPANET tem abertura para calibração de outras variáveis, como vazão, velocidade, consumo, qualidade e carga hidráulica, que contribuem para refinar a modelagem. Dessa maneira, quanto mais dados de campo, mais segurança e confiabilidade terá a simulação hidráulica.

Assim sendo, a maior contribuição da modelagem hidráulica do DMC José Lages no estágio de calibração atingido foi no sentido de identificar pontos críticos de baixa pressão dinâmica e caracterizar as perdas de carga. Desse modo, pode-se apontar como solução para o problema, que influencia diretamente nas perdas de água, a substituição gradativa das redes de distribuição em ferro fundido antigas, através das indicações dos trechos mais problemáticos da modelagem hidráulica. Esta solução vem sanar possíveis vazamentos, clandestinas e fraudes nas extensões de redes trabalhadas. Logo, se obteria ganhos significativos na redução das perdas de água.

CONCLUSÕES

O gerenciamento das perdas de água não é um processo tão simples para as companhias de abastecimento, principalmente porque requer altos investimentos e profissionais qualificados. Na visão tradicional, sem dúvida, é mais fácil investir na ampliação dos sistemas de abastecimento, para beneficiar populações desprovidas de água tratada, do que mitigar as perdas dos sistemas existentes, visando a redistribuição dessa água.

Entretanto, percebe-se que nos últimos anos, a preocupação com as perdas tem sido mais incisiva, sobretudo pelo viés ambiental, social, econômico e sustentável. As crises hídricas no país, também têm contribuído para a valorização desse conteúdo nas companhias. Não há como se conceber uma situação de escassez de água numa determinada região, onde os índices de perdas são elevados.

Dessa forma, o combate às perdas deve ser um exercício contínuo na rotina das empresas de saneamento. Não adianta só reduzir o nível das perdas, é necessário mantê-lo. Para tanto, todos os profissionais da companhia, incluindo a diretoria, setor financeiro, recursos humanos, supervisores, encanadores e serventes, devem ser envolvidos, conscientizados e comprometidos com esse trabalho. Por isso, é importante o conhecimento, através de treinamentos e reuniões sobre a problemática das perdas de água presente em todas empresas de saneamento.

A gestão das perdas com a implantação do DMC trouxe resultados expressivos para CASAL, com reduções de 30 a 40% do total de perdas da área estudada. O retorno financeiro é evidente, especialmente pelo fato das melhorias no abastecimento de água, com o aumento da oferta. De acordo com a CASAL, antes dos DMC's, era comum o abastecimento de imóveis prediais por fontes alternativas, como poços particulares e caminhões pipas. Contudo, após a implantação dos distritos estes clientes passaram a ser atendidos pela Companhia de Saneamento de Alagoas.

A ferramenta do balanço hídrico com a utilização do software WB-EasyCal também se mostrou eficiente, pois possibilitou de maneira prática, o entendimento das parcelas de perdas de água no sistema, bem como dos indicadores de performance. Além disso, a modelagem hidráulica computacional por meio do EPANET garantiu o aprofundamento dos estudos das perdas do DMC, determinando variáveis como perda de carga, pressão e vazão. Desse modo, as ações são direcionadas com embasamento técnico e as intervenções são mais eficazes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (Brasil) (Org.). **PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA:** diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate. Disponível em: <<http://www.abes-sp.org.br/arquivos/perdas.pdf>>. Acesso em: 28 março de 2017.
2. ANTUNES, C.; BISPO, M.; GUINDEIRA, P. Descobrir a Terra 8: Ciências Naturais. Areal Editores, 2007.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12218: Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, 1994.
4. AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. Manual de hidráulica. 8ª edição. São Paulo: Blucher, 1998.
5. CASAL - COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS. Dados gerenciais, 2017.
6. FARLEY et al. The Manager's Non-Revenue Water Handbook a Guide to Understanding Water Losses. Ranhil Utilities Berhad and the United States Agency for International Development (USAID). 110p. Malaysia, 2008.

7. FÀVERO J.A; DIB, M.E.M. Pesquisa e controle de perdas em sistemas de abastecimento de água. Revista DAE, n. 126, 1981.
8. GONÇALVES, E. Metodologias para controle de perdas em sistemas de distribuição de água: estudo de caso da CAESB. Brasília, 1998. Dissertação (Mestrado) Universidade de Brasília. Brasília – DF, 1998.
9. HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de (Org.). Abastecimento de Água para Consumo Humano. v. 2. 2ª edição. Belo Horizonte: UFMG, 2010.
10. HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de (Org.). Abastecimento de Água para Consumo Humano. v. 1. 2ª edição. Belo Horizonte: UFMG, 2010.
11. INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. Water Management - Industry as a Partner for Sustainable Development. IWA, UNEP, United Kingdom, 60 p, 2002.
12. KINGDOM, B.; MARIN, P.; LIEMBERGER R. The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries. How the Private Sector Can Help: A Look at Performance-Based Service Contracting. In: World Bank Discussion Paper Number 8. 52p. Washington D.C., 2006.
13. LENHS UFPB. PROGRAMA EPANET 2.0 BRASIL INCLUINDO O LENHSNET Disponível em: <<http://www.lenhs.ct.ufpb.br/>>. Acesso em 24 de outubro de 2017.
14. MORRISON, J.; TOOMS, S.; ROGERS, D. District Metered Areas Guidance Notes. DMA Team of the Water Loss Task Force. International Water Association (IWA). 100p. London, 2007.
15. MOTTA; Renato Gonçalves. Importância da Setorização Adequada para Combate às Perdas Reais de Água de Abastecimento Público. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 176p. São Paulo, 2010.
16. ORSINI, E. Q. Sistemas de abastecimento de água. Apostila da disciplina Saneamento II. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, SP, 1996.
17. ROSSMAN, L. EPANET 2 users manual. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000.
18. SABESP. Distrito de Medição e Controle – DMC, Distrito de Manobra – DM. Subprograma Implantação de Distritos de Manobra e Distritos de Medição e Controle. Superintendência de Planejamento e Desenvolvimento da Metropolitana. 78p. São Paulo, 2008.
19. SAVEH. A disponibilidade de água no mundo e no Brasil. Disponível em: <<https://saveh.com.br/artigos/a-disponibilidade-de-agua-no-mundo-e-no-brasil/>>. Acesso em: 16 outubro de 2017.
20. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. (Org.). **SNIS - Série Histórica**. Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Disponível em: <<http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em: 18 outubro de 2017.
21. TARDELLI FILHO, J. Controle e redução de perdas. In: TSUTIYA, M. T. (Ed.). Abastecimento de água. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
22. THORNTON, J. Water Loss Control Manual, McGraw Hill, New York, 2002.
23. TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Abastecimento de Água. 3ª edição. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 643p. São Paulo, 2006.
24. WEIMER, D. Water Loss Management and Techniques. German national Report, Berlin, 2001.
25. WORLD BANK. WB-EasyCalc, The Free Water Balance Software, version 5.15, 2017. Disponível em: <<http://www.liemberger.cc>>. Acesso em 25 de outubro de 2017.
26. ZAMBON, Renato Carlos; CONTRERA, Ronan Cleber; SOUZA, Theo Syrto Octavio. Apresentação de Aula: Redes de Distribuição de Água. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Disponível em: <www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=22545>. Acesso em: 14 outubro de 2017.