UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

NÚCLEO DE TECNOLOGIA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MODELAGEM DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA COM ÊNFASE NO CONTROLE DE PERDAS: UM ESTUDO DE CASO NO AGRESTE PERNAMBUCANO

ANDREIA AZEVEDO ABRANTES DE OLIVEIRA

Caruaru, 2018.

ANDREIA AZEVEDO ABRANTES DE OLIVEIRA

MODELAGEM DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA COM ÊNFASE NO CONTROLE DE PERDAS: UM ESTUDO DE CASO NO AGRESTE PERNAMBUCANO

Proposta de trabalho a ser apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para a disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II.

Área de concentração: Recursos Hídricos
Orientador: Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra

Caruaru, 2018.

Catalogação na fonte:
Bibliotecária – Marcela Porfírio CRB/4 - 1878

O48m Oliveira, Andreia Azevedo Abrantes de.
Modelagem de rede de distribuição de água com ênfase no controle de perdas : um estudo de caso no agreste pernambucano. / Andreia Azevedo Abrantes de Oliveira. – 2018.
53f.; il. : 30 cm.

Orientador: Saulo de Tarso Marques Bezerra.
Coorientador: Edevaldo Miguel Alves.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018.
Inclui Referências.

1. Água – Desperdício. 2. Abastecimento de água. 3. Hidráulica. I. Bezerra, Saulo de Tarso Marques (Orientador). II. Alves, Edevaldo Miguel (Coorientador). III. Título.

620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2018-002)

ANDREIA AZEVEDO ABRANTES DE OLIVEIRA

MODELAGEM DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA COM ÊNFASE NO CONTROLE DE PERDAS: UM ESTUDO DE CASO NO AGRESTE PERNAMBUCANO

Proposta de trabalho a ser apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para a disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Saulo de Tarso M. Bezerra

Aprovada em: 01 de fevereiro de 2018.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Examinador Interno)

Prof. Dr. Edevaldo Miguel Alves _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Examinador Interno)

Profª. Drª. Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello_____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenadora do curso de Engenharia Civil)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, pela sua enorme bondade e pelos seus braços zelosos que nunca desistiram de me reerguer nos momentos de dificuldade. Neste fechamento de ciclo minha inteira gratidão a Ele.

Aos meu pais, Robson e Dalva, entrego este trabalho como prova da gratidão por todo esforço que fizeram para me trazer até aqui, por todo apoio e compreensão. Vocês são meus exemplos. À minha irmã, Rafaela, por ser suporte e conselheira quando mais precisei, e por ser esse exemplo de dedicação que me faz querer ser melhor a cada dia. Aos meus irmãos, Pedro e Arthur, pela presença fundamental na minha vida. Vocês são tudo para mim, amo vocês.

Ao meu namorado, melhor amigo, companheiro de faculdade e conselheiro, José Venâncio, também dedico este trabalho. Agradeço pela compreensão, paciência, desprendimento, ajuda indispensável e amor para que este ciclo chegasse ao fim. Só nós sabemos o que passamos para chegarmos até aqui, que essa parceria seja para toda vida. Amo você.

Aos meus amigos Rayssa, Marcos, Vanessa, Fernanda e Taísa por todo apoio, incentivos, compartilhamento de experiências e torcida para a conclusão deste trabalho e para o fechamento deste ciclo. À Sílvia e Mariana, por tornarem a faculdade mais leve, e por terem suportado comigo todas as dificuldades. Vocês são essenciais para mim.

Aos meus companheiros de trabalho da Compesa, não agradeço apenas pelo suporte, e ajuda nos dados para construção deste trabalho, agradeço pela amizade que criei com cada um e que nosso vinculo seja para sempre. Meu muito obrigada, em particular, à engenheira Andrea Lemos, por ser esse exemplo de engenheira para mim, e por estar sempre aberta a ensinar e aconselhar. Aos funcionários e engenheiro, Djailton, Delson e Linaldo, pela paciência e pelo suporte, vocês colaboraram muito com o conteúdo apresentado, obrigada. E à minha eterna amiga Sofia, cuja amorosidade, amizade e alegria fizeram meus dias melhores.

Ao consultor do COM + ÁGUA, o engenheiro Jean Morillas, meu eterno agradecimento pela colaboração com o conteúdo apresentado e pela confiança em meu trabalho. O mesmo não estaria concluído se não fosse por sua incrível vontade de ensinar e transferir conhecimentos e experiências.

Ao professor, Saulo de Tarso, meu orientador, pela orientação deste trabalho, por sua dedicação e exemplo de profissional.

E por fim, à Universidade Federal de Pernambuco, pelos meus primeiros passos, amadurecimento, medos e vitórias. A todos os demais envolvidos neste processo, meu muito obrigada.

RESUMO

A redução das perdas de água e o controle do uso dos recursos hídricos são de vital importância para a sociedade. As perdas acontecem nos sistemas de abastecimento de água da captação até a sua distribuição, causando uma operação do sistema bastante onerosa às entidades gestoras de abastecimento. O presente trabalho tem por objetivo a modelagem hidráulica do distrito Boa Vista 1, em Caruaru – PE, com o intuito de ser a base para implantação para um programa de controle de perdas de água. A aplicação do programa criado pelo governo federal, o COM+ÁGUA que tem como principal intuito auxiliar a COMPESA no combate as perdas de água, motivou o desenvolvimento de uma simulação hidráulica com o objetivo de simular a operação do sistema sob diversas condições, agregando todas as informações necessárias para o conhecimento detalhado, e o melhor diagnostico das perdas. Houve muitas dificuldades na simulação da rede escolhida, devido à insuficiência ou falha de dados, ocasionados por intermitências no abastecimento e problemas no reservatório do distrito, obstando com isso a intepretação e análise do modelo hidráulico. Conclui-se, portanto, que a modelagem hidráulica para um sistema de abastecimento de água, é bastante complexa devido à multiplicidade de variáveis envolvidas.

Palavras–chave: EPANET. Perdas de água. Simulação hidráulica.

ABSTRACT

The water loss reduction and control of water resources' usage are of a vital importance to society. Losses happen in water distribution networks from catchment to its distribution, yielding to a very onerous operation to water supply companies. This paper aims to assemble a hydraulic modeling of Boa Vista 1 district, in Caruaru – Pernambuco, Brazil, targeting to make a foundation for the implantation of a water losses control program. The application of the program created by federal government, COM + ÁGUA, which presents as main goal to assist COMPESA to reduce water losses, motivated the development of a hydraulic simulation aiming to reproduce the operation of the system under several conditions, aggregating all useful data for a more detailed knowledge and a better loss diagnosis. There were some difficulties regarding the simulation of the chosen network due to data fail or insufficiency, occasioned by water supply intermittence and issues in the district reservoir, disturbing the analysis and interpretation of the hydraulic model. In conclusion, the hydraulic modeling for a water distribution system aiming water losses reduction is very complex due to the multiplicity of given variables.

Keywords: EPANET. Water losses. Hydraulic simulation.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIAÇÕES

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DEM	District Elevation Model
DMC	Distrito de Medição e Controle
GNR	Gerência de Unidade de Negócios Regional
IWA	Internacional Water Association
LENHS	Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento
PMS	Ponto Médio do Sistema
PMSS	Programa de Modernização do Setor de Saneamento
REL	Reservatório Elevado
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SRC	Sistema de Referência de Coordenadas
USEPA	United States Evironmental Protection Agency
VRP	Válvula Redutora de Pressão

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Setorização clássica em redes de distribuição de água.....10
Figura 2 - Principais componentes para o combate às Perdas Reais.....12
Figura 3 - Tipos de vazamentos.....15
Figura 4 - Principais ações para o combate às Perdas Aparentes.....15
Figura 5 - Imagem com os limites do distrito Boa Vista 1.....21
Figura 6 – Rede de distribuição de água com os pontos monitorados.....22
Figura 7 – *Datalogger* de pressão e vazão.....24
Figura 8 – Macromedidor e *datalogger* instalados no nó 6 do DMC Boa Vista 1.....25
Figura 9 – Curvas de nível do terreno com o modelo numérico do terreno.....28
Figura 10 – Resumo das etapas do processo de modelagem hidráulica.....28
Figura 11 – Fluxograma da construção do modelo hidráulico.....29
Figura 12 – Passo a passo da abordagem 1 para o cálculo das demandas.....30
Figura 13 – Passo a passo da abordagem 2 para o cálculo das demandas.....30
Figura 14 – Passo a passo da abordagem 3 para o cálculo das demandas.....30
Figura 15 – Padrões de demanda dos nós de entrada do DMC (à esquerda) e de saída do DMC Boa Vista 1 para a rede de distribuição do Boa Vista 2 (à direita) 31
Figura 16 – Isolinhas referentes às cotas topográficas.....36
Figura 17 – Pressões na rede do DMC Boa Vista 1.....36
Figura 18 – Vazão na entrada do DMC e da pressão no ponto médio da rede.....38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Detalhamento da medição de vazão e pressão em DMC’s.....12

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diâmetro interno das tubulações de acordo com o material da rede.....26
Tabela 2 – Dados da rede de distribuição do DMC Boa Vista 1.....27
Tabela 3 – Fatores multiplicativos dos padrões de demanda.....32
Tabela 4 – Demanda dos trechos.....33
Tabela 5 – Demanda dos nós.....34
Tabela 6 – Vazão de entrada do DMC.....37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

2. MOTIVAÇÃO 17

3. OBJETIVOS 18

3.1 Objetivo Geral 18

3.2 Objetivos Específicos 18

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 19

4.1 Perdas de Água 19

4.2 Controle de Perdas Reais 21

4.2.1 Gerenciamento de Pressões 24

4.2.2 Controle Ativo dos Vazamentos 24

4.2.3 Agilidade e Qualidade dos Reparos 25

4.2.4 Gerenciamento da Infraestrutura 25

4.3 Controle de Perdas Aparentes 26

4.3.1 Redução dos Erros de Medição 27

4.3.2 Controle de Uso Não Autorizado 27

4.3.3 Sistema Comercial Adequado 28

4.3.4 Qualificação da Mão de Obra 28

4.4 Modelagem Hidráulica 28

5. METODOLOGIA 32

5.1 Área de Estudo 32

5.2 Estudos Preliminares 34

5.2.1 Coleta de Dados em Campo 35

5.2.2 Construção do Modelo Hidráulico 36

5.2.3 Demandas Nodais 40

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES 44

6.1 Variáveis Monitoradas 46

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 50

REFERÊNCIAS 51

APÊNDICE A – DADOS COLETADOS 53

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de recursos hídricos é, atualmente, objeto de preocupação do poder público e da população. A distribuição demográfica irregular, a poluição das águas e a pouca disponibilidade de recursos nas áreas de maior necessidade aumentam as pressões sobre os mananciais existentes (ALMEIDA, 2015). Segundo informações do Ministério das Cidades (ZANTA *et al*. *apud* SANTOS, 2013), mais de 90% do território brasileiro recebe chuvas entre 1.000 e 3.000 mm/ano; em contrapartida, no semiárido do Nordeste, as chuvas são mais escassas, entre 400 e 800 mm/ano.

O controle do uso dos recursos hídricos e a redução das perdas de água são de fundamental importância para a sociedade, assegurando assim sustentabilidade ambiental e social. Um dos grandes desafios das companhias de abastecimento de água é a adoção de tecnologias e práticas para controlar as perdas de água nos sistemas de distribuição.

Conforme Cardoso *et al*. (2013), as perdas de água nas redes de abastecimento são inerentes a todos os sistemas de abastecimento de água, diferindo apenas no volume de água perdido. Este último depende das características da rede de abastecimento, de fatores locais como a topografia do terreno, bem como das práticas operacionais adotadas e do nível de tecnologia e conhecimento aplicado no seu controle.

As perdas acontecem desde a captação da água até a sua distribuição aos consumidores, causando uma operação do sistema bastante onerosa às entidades gestoras de abastecimento. Em consequência à redução do faturamento, ocorre a diminuição da capacidade de investir e obter financiamentos, além de gerar danos ao meio ambiente devido à busca obrigatória por novos mananciais.

As perdas de água em um sistema de distribuição se dividem em perdas reais (físicas), que representam o volume de água produzido que foi realmente perdido e desperdiçado, não chegando assim ao consumidor final, e perdas aparentes (comerciais), que correspondem ao volume de água produzido que não foi faturado pela prestadora. Entretanto, para que haja diminuição de parcela desses volumes, ações diferenciadas precisam ser tomadas para cada tipo de perda.

Anteriormente à etapa de operação de um sistema de distribuição, se faz necessário o passo de organização, para que só assim se desenvolvam medidas preventivas de controle de

perdas nas fases de projeto e construção. Tais medidas devem ser utilizadas dentro da empresa de saneamento de forma contínua e devem fazer parte da rotina profissional.

Questões relacionadas à redução das perdas de água no Brasil são recentes, ao contrário do que é visto internacionalmente. Comparando-se o Brasil com países desenvolvidos, é possível observar grande necessidade de mudança no âmbito do controle de perdas. Entretanto, alguns programas federais foram criados com o intuito de auxiliar as prestadoras de serviços de saneamento na redução das perdas.

O COM+ÁGUA é um programa do governo federal que tem por objetivo "o gerenciamento integrado do controle e redução das perdas de água e do uso de energia elétrica em sistema de abastecimento de água, propondo uma gestão integrada e participativa com mobilização social interna e externa" (PMSS, 2015). Sendo esta mobilização interna representada pela qualificação da mão de obra da empresa, e a mobilização externa representada pelo social, com elaboração de programas e atividades de conscientização à redução dos gastos de água em bairros e comunidades. O COM+ÁGUA está sendo aplicado na Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), desde a metade do ano de 2016 para o gerenciamento das perdas de água no estado.

No Brasil, a maioria das cidades sofre graves problemas de perdas, cada uma delas diferindo do motivo para tal. Segundo sumário executivo divulgado pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES, 2013), as perdas no Brasil são muito elevadas e têm se mantido em níveis próximos a 40% nos últimos doze anos. Entretanto, é possível notar uma leve tendência de queda, sendo esta de 45,6% em 2004 para 38,8% em 2011. O quadro é ainda mais preocupante porque a maior parte das empresas não mede suas perdas de água de maneira consistente.

Segundo o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto (SNIS, 2015), os dados apresentados, com índices de perdas muitas vezes elevados, demonstram a necessidade das prestadoras de serviço atuarem em ações para a melhoria da gestão, da sustentabilidade da prestação de serviços, da modernização de sistemas e da qualificação dos trabalhadores, dentre outras. Tais ações são intimamente relacionadas à eficiência da administração e dentre elas enquadra-se o gerenciamento das perdas de água.

Os investimentos no setor de saneamento aumentaram no Brasil, principalmente no âmbito de melhoria do serviço prestado, mas grandes são as deficiências no controle de perdas, devido, principalmente, à falta de dados cadastrais confiáveis. Sendo recorrente com isso, a

dificuldade de se conhecer a área e a rede a ser trabalhada, fato que evidência a necessidade de modernização do setor.

Segundo Silva (2014), é fundamental para as companhias de água do país o desenvolvimento de ferramentas direcionadas para a gestão eficiente dos sistemas existentes. Em curto prazo, a modelagem hidráulica apresenta-se como alternativa insubstituível nos sistemas de apoio à gestão, além de possibilitarem o planejamento de longo prazo direcionado para o controle de perdas e para a programação de reabilitação de redes de distribuição.

Caruaru, conhecida como Capital do Agreste, sofre sérios problemas de abastecimento de água, não apenas por pertencer à região semiárida do Nordeste, que possui a menor potencialidade hidráulica de água potável do país, mas também por grandes perdas econômicas e físicas ocorridas no sistema, desde a captação até os hidrômetros. A relevância de tais fatos se dá devido aos grandes impactos sociais, econômicos e ambientais que são quase todos negativos. Além de tudo, é possível observar que o problema das perdas não é apenas uma questão da engenharia, mas também de recursos humanos, contabilidade, mobilização social, de cultura e educação.

Em Caruaru, como em todo o estado Pernambucano, o órgão gestor responsável pelo abastecimento de água é a COMPESA. Em tempos de normalidade de água no Agreste Pernambucano, os índices de perda no faturamento na empresa estavam acima de 37,78%, conforme Diagnóstico de Serviços de Água e Esgotos (SNIS, 2012). Em alguns anos, esse índice de perda já chegou a estar acima dos 40%, conforme Banco de Dados da GNR Agreste Central (2017), valor bastante expressivo em relação às demais companhias. Ainda conforme o Banco de Dados da GNR Agreste Central (2017), o índice de perdas de faturamento no ano 2016 se encontrava no valor médio de 7,72%, valor considerado mínimo, que só ocorre devido à grande seca/escassez de água que assola o Agreste Pernambucano desde 2011. Tendo essa crise hídrica um prazo de validade, se faz necessário usar como parâmetro os índices de anos de normalidade de água na empresa.

2. MOTIVAÇÃO

Umas das maiores dificuldades das empresas de saneamento é diagnosticar onde e como ocorrem as perdas reais e aparentes, quantificá-las e só assim escolher as ações para minimizá-las. Segundo Melato (2010), primeiramente faz-se necessário a avaliação das perdas através da auditoria das águas, utilizando-se de metodologias consagradas em âmbito internacional, como o balanço hídrico e modelagem hidráulica, necessitando também da utilização de *softwares* desenvolvidos especificamente para tais atividades.

O desenvolvimento deste trabalho motiva-se pelo desenvolvimento de um modelo hidráulico para o melhor diagnóstico das perdas, com o objetivo de simular a operação de um sistema real, extraindo informações úteis. Este possibilitará ter conhecimento detalhado do sistema para uma eficiente intepretação e entendimento do comportamento hidráulico do sistema sob diversas condições operacionais. Com isso, os recursos das companhias de saneamento serão direcionados de forma objetiva, reduzindo os gastos e também as perdas.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Realizar simulação hidráulica da rede de distribuição de água, visando compreender a dinâmica do sistema hidráulico e a melhoria do processo de decisão voltado para o controle de perdas.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as principais ações de combate ás perdas de água.
- Realizar a simulação hidráulica do DMC (Distrito de Medição e Controle) - Boa Vista 1, Caruaru – PE.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Perdas de Água

O conceito de perdas no âmbito de abastecimento de água é amplamente discutido, a exemplo de Almeida (2015), que observa que quando se analisa as perdas em sistemas de abastecimento de água, tem que se deixar de lado a noção que vem à mente, de que "perda" é toda a água tratada que foi produzida e se perdeu no caminho, não chegando a ser consumida pelos clientes da Companhia de Saneamento. Ainda conforme o autor, o conceito de perdas, todavia, vai mais adiante. "Pode-se também considerar "perda", sob o ponto de vista empresarial, todo produto (água tratada) que foi entregue e por alguma razão não foi faturado pela companhia, não sendo contabilizado como receita da empresa" (ALMEIDA, 2015).

Conforme ABES (2015), até o final do século passado, não havia um entendimento comum sobre o que eram as "perdas" nos sistemas públicos de abastecimento de água. Nos Estados Unidos, o conceito de "Água Não Contabilizada" referia-se ao valor que sobrou ao se realizar a "Auditoria das Águas"; assim, os vazamentos eram contabilizados e os seus volumes de água estimados. Após todas as apurações e estimativas, incluindo, portanto, os vazamentos, as Águas Não Contabilizadas ficavam sendo os volumes aos quais não se tinham um conhecimento da sua destinação ou uso. No Japão, o conceito referia-se ao "Uso Efetivo" da água, em que eram incorporados todos os volumes utilizados (inclusive a submedição de hidrômetros, por exemplo), e o que restou denominava-se "Uso Não Efetivo", ficando restritas, portanto, as perdas aos vazamentos na rede de distribuição e ramais.

A falta de uniformização de conceitos, ocasionada pela avaliação diferente de cada país dos seus índices de perdas, não permite afirmar em quais sistemas ocorriam melhores gestões, impossibilitando a avaliação correta ou comparação de indicadores de perdas entre sistemas de abastecimento de países, cidades ou companhias.

Dada a então conjectura, em 1996 foi criada um grupo-tarefa da IWA *(Internacional Water Association),* cujo objetivo principal era estudar e propor uma terminologia padrão, melhores práticas e indicadores de performance, sendo esse um marco importante para o controle e redução das perdas.

> **"***A missão da IWA é difundir uma rede internacional de profissionais ligados à água, promovendo seminários, conferências, fóruns e grupos de especialistas e forças tarefa,*

> *com o objetivo de avançar e divulgar as melhores práticas para um gerenciamento sustentável da água*." (MELATO, 2010)

Em meados dos anos 2000, esses trabalhos vieram à tona no Brasil, através do Programa de Modernização do Setor de Saneamento – PMSS, do Ministério das Cidades, adotando esse entendimento várias companhias estaduais e municipais de saneamento. Segundo ABES (2015), ao longo desses 15 anos, muitos desenvolvimentos foram feitos, os quais têm sido apresentados e debatidos nos seminários específicos sobre Perdas promovidos pela IWA e várias outras entidades.

As perdas de água abrangem tanto as perdas reais quanto também as perdas aparentes. As perdas reais são originadas de vazamentos no sistema, que vão desde a captação até a distribuição, além de procedimentos operacionais como lavagem de filtros e descargas de rede, quando estes possuem consumos maiores aos estritamente necessário para operação. No que tange as perdas aparentes, as mesmas são originadas de ligações não cadastradas ou clandestinas, submedição de hidrômetros, fraudes em hidrômetros e outras.

Alguns instrumentos de controle operacional, como macromedição, cadastro, telemetria, automação e controle de pressão não estão previstos na maioria dos projetos de sistemas de distribuição de águas, sendo estes equipamentos operacionais básicos, de grande importância e que devem ser adequadamente integrados ao sistema antigo. Quanto aos projetos que preveem esses componentes, pode ocorrer a ausência de pessoal qualificado para operar e manter as ferramentas disponibilizadas. Estes fatores têm como consequência os altos índices de perdas nos sistemas brasileiros, classificadas, geralmente, entre o nível intermediário e insatisfatório, cujas companhias de água apresentam uma gestão operacional ineficiente

Vale salientar, que não é possível "perda zero" em um sistema de distribuição. O que se tem é um limite técnico e econômico de valores que são possíveis de recuperar. Baseado em Melato (2010), as perdas de água ocorrem em todos os sistemas de abastecimento, unicamente variando em quantidade perdida, pois dependem das características físicas do sistema de abastecimento, de fatores e costumes locais, de práticas operacionais e do nível de tecnologia aplicada para seu controle. Mesmo em países mais desenvolvidos, onde o controle de perdas é feito de forma mais rigorosa, ainda há uma parcela de perdas. Sempre haverá, por exemplo, um vazamento que demorará um tempo ínfimo para ser reparado, imprecisões do hidrômetro, fraudes etc. Portanto, temos a chamada Perda Inevitável, que corresponde ao mínimo aceitável para um sistema ideal.

Obtendo o sucesso na diminuição das perdas, as companhias de água obterão melhor desempenho econômico, revertendo o benefício em tarifas mais baixas aos clientes, postergação de novos investimentos na ampliação dos sistemas de produção, adução e reservação de água. Ainda conforme Melato (2010), é natural o aumento das perdas. Se nada for feito, haverá o surgimento de novos vazamentos, deterioração das redes de distribuição, envelhecimento do parque de hidrômetros, aumento das fraudes, etc. Portanto, são necessários esforções para, primeiramente, conter este crescimento natural, para depois, reduzir as perdas.

4.2 Controle de Perdas Reais

Para pôr em prática o sistema de gerenciamento de perdas, é necessário planejar diversas ações, envolver todos os setores da companhia de saneamento e monitorar o sistema de forma continua e permanente (SANTOS, 2013).

As perdas reais estão diretamente conectadas com vazamentos e extravasamentos em reservatórios e outras estruturas hidráulicas, que vão desde a captação até a distribuição. A diminuição das perdas reais é vista na diminuição de custos com a produção de água, redução de produtos químicos e redução do consumo de energia e serviços de terceiros, possibilitando uma maior oferta de água sem a necessidade de aumento do sistema de abastecimento.

Um estudo conduzido pela ABES (2015), avaliou que para as Perdas Reais, antes de mais nada, os seguintes tópicos devem ser considerados:

- A existência de um cadastro técnico atualizado e confiável é condição essencial para a gestão de perdas. Não necessitando, de antemão, um cadastro sofisticado e com alta tecnologia agregada, mas simplesmente que ele retrate, fielmente, a realidade da infraestrutura da rede de distribuição de água e outras partes do sistema.
- As avaliações e resultados de redução de perdas devem ser realizados em áreas delimitadas e estanques da rede de distribuição. Quanto menores essas áreas, mais fácil será estabelecer as relações de causa x efeito e depurar as ações subsequentes, no sentido de aumentar a eficácia no controle e na redução das perdas. Muitas vezes os setores de abastecimento, ou mesmo as zonas de pressão internas, são muito grandes e dificultam a avaliação. A setorização tem início na fase de projeto dos setores de abastecimento, onde busca atender as pressões máximas e mínimas estabelecidas pelas normas técnicas (Figura 1). A área física é obtida através do uso de válvulas limítrofes “fechadas”. Por conta das individualidades e complexidade dos sistemas de abastecimento, dividir o

sistema em setores menores para analisar cada componente e definir ações que otimizem uma melhor gestão, é uma saída simples. A melhor forma de realizar análises e avaliações é por intermédio dos Distritos de Medição e Controle – DMC, geralmente com um número de ligações entre 2.000 e 5.000 (ou menores ainda); cada DMC deve contar com um macromedidor na entrada para acompanhar o comportamento das vazões, se necessário, prever válvula redutora de pressão e para os DMCs difíceis de isolar, considerar a possibilidade de que eles sejam temporários.

- A medição de vazão e pressão é fundamental, tanto para a valoração das Perdas Reais e Aparentes, quanto para o acompanhamento dos resultados, e trata da instalação de macromedidores e *dataloggers* e todas as atividades inerentes, tais como ensaios para calibração de macromedidores, ajustes físicos de instalações e manutenção em geral, atualização tecnológica etc. A precisão requerida das medidas depende da função do macromedidor: se for para "custódia", exige-se maior precisão, se for apenas para controle operacional, a precisão pode ser menor. No Quadro 1, encontram-se detalhados os tipos de medições, os melhores locais, a forma de instalação, o período e os objetivos das medições de vazão e pressão em um DMC.

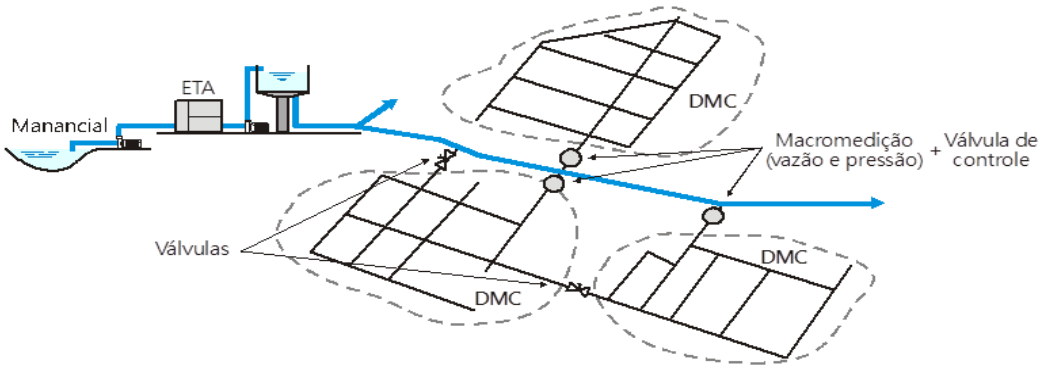

Fig. 1 – Setorização clássica em redes de distribuição de água. (Fonte: BEZERRA & CHEUNG, 2013).

Para o combate as perdas reais, é necessário um conjunto de ações com alto custo de execução. Para minimiza-lo, o esquema mostrado na Figura 2 foi proposto pela IWA e disseminou-se pelo mundo, composto pelos quatro principais componentes de um programa efetivo de controle e redução de perdas reais, as quais, na medida e na ordem ideal para cada sistema, respondem pela obtenção dos resultados esperados.

Quadro 1 - Detalhamento da medição de vazão e pressão em DMC's.

(Fonte: Tutorial COM + ÁGUA)

Tipo	Onde	Como	Período	Objetivo
Descarga dos reservatórios	Em todos os reservatórios abastecendo a rede de distribuição	Instalação de macromedidor de vazão na linha de descarga do reservatório e/ou medição de nível dos reservatórios com datalloger e sensor instalado na descarga ou diretamente no reservatório.	Medição permanente ou medições de 24 horas em um dia normal. Realizar medições no verão e no inverno	Para definir a demanda de água e o padrão de demanda
Medição de pressão	Em pontos estratégicos da rede	Instalação de toma de pressão e *dataloggers* em rede ou ramais conectados a rede principal	Medição permanente ou medições de 24 horas em um dia normal	Para definir o padrão da carga hidráulica na entrada do DMC - para cálculo de Perdas Reais- para monitoramento de VRP - para calibração do modelo
Medição de vazão	Em pontos estratégicos da rede	Instalação de macromedidor de vazão em rede de distribuição	Medição permanente ou medições de 24 horas em um dia normal	Para definir a demanda de água e o padrão de demanda
Medição de consumos individuais	Em casa, comércios (restaurantes, hotéis, etc.) Em industrias	Leitura de hidrômetro cada hora ou medição de perfil de consumo com hidrômetro equipado com *datalogger*	Medição de 24 horas em um dia normal	Para definir o padrão de demanda de acordo com o tipo de consumidor

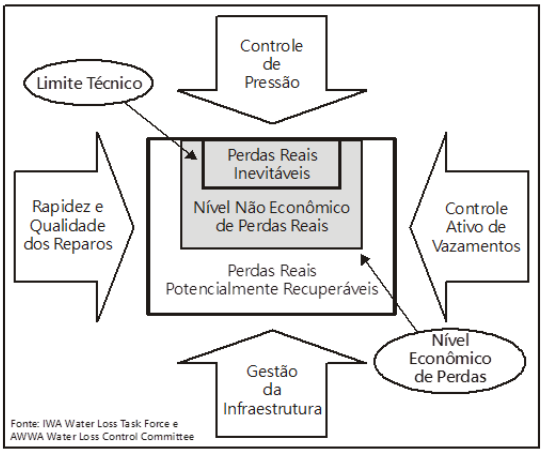

Fig. 2 – Principais componentes para o combate às Perdas Reais (Fonte: BEZERRA & CHEUNG, 2013).

Para Tardelli Filho (2006), o nível existente de perdas no local é representado pelo quadro maior ao centro e os outros níveis de perdas são: o nível econômico de perdas e as perdas reais inevitáveis. O espaço remanescente entre o nível atual de perdas e o nível referencial das perdas reais inevitáveis apresenta o volume de perdas potencialmente recuperáveis com ações de

redução de perdas, mesmo que uma pequena parcela desse volume a recuperar não apresente uma relação custo-benefício favorável.

4.2.1 Gerenciamento de Pressões

Conforme a Norma Técnica NBR nº 12.218, da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, a pressão estática máxima nas tubulações deve ser de 500 KPa (50 mca), e a pressão dinâmica mínima, 100 KPa (10 mca). Na COMPESA, segundo as Normas de Projetos de Engenharia NPE - 007 da companhia, estes valores são de 40 mca e 10 mca, de pressão estática máxima e pressão dinâmica mínima, respectivamente.

Em um sistema de água pressurizado, é natural a ocorrência de vazamentos, sendo a pressão um dos principais fatores que influenciam o número e vazão dos vazamentos. Caso seja viável economicamente um controle ativo de vazamento, as alternativas são, segundo Palo (2010): são, setorização, o emprego de Válvulas Redutoras de Pressão (VRP) e "*boosters*", desde que bem especificados e operados. Estes apresentam elevada relação custo benefício, além de grande flexibilidade para se adaptar às variações de demandas que ocorrem diariamente em uma área.

> "*O monitoramento das pressões na rede permite visualização das pressões em um determinado ponto ao longo das horas do dia, possibilitando o conhecimento das pressões médias, mínimas e máximas. Dessa forma, podem-se comparar os valores de pressão na rede com os valores permitidos em norma e com isso definir as estratégias de adequação de rede, como por exemplo, a redução das pressões ou substituição de rede com incrustação. "* (SANTOS, 2013)

4.2.2 Controle Ativo dos Vazamentos

O controle ativo de vazamentos consiste em identificar e reparar o vazamento antes do afloramento. São os vazamentos não visíveis passíveis de detecção por meio de pesquisa acústicas (utilização de geofones, p. ex.), em oposição ao "controle passivo de vazamentos", que só são reparados quando afloram à superfície. Essas ações reduzem o tempo de vazamento e o volume perdido através deste.

Para uma boa eficácia em qualquer programa de redução de perdas é essencial o controle ativo de vazamentos, cuja eficácia está diretamente ligada ao planejamento da atividade. Dentre

as quais estão, a maior frequência de pesquisas em áreas com maior histórico de incidência de vazamentos, qualidade da mão de obra empregada, dos recursos tecnológicos e materiais colocados à disposição e o monitoramento da vazão mínima noturna, sendo o aumento da vazão noturna um indicativo do surgimento de vazamento.

4.2.3 Agilidade e Qualidade dos Reparos

Não basta apenas detectar o vazamento para reduzir as perdas reais, a efetiva redução acontece quando a operadora de saneamento monta uma logística para reparar os vazamentos visíveis e não visíveis com a maior agilidade, e de forma adequada para evitar a reincidência e retrabalho. A utilização de materiais e métodos adequados é de fundamental importância, juntamente com a capacitação da mão de obra empregada. Segundo ABES (2015), fugas de água reparadas sem os devidos cuidados certamente voltarão a ocorrer no mesmo local (retrabalho), desperdiçando recursos financeiros e perpetuando as perdas.

4.2.4 Gerenciamento da Infraestrutura

De acordo com Melato (2010), o gerenciamento de infraestrutura está diretamente ligado ao conhecimento das condições dos sistemas de redes de distribuição: idade, materiais, manutenções preventivas (em intervalos pré-determinados) e preditivas (através de ensaios e monitoramento), instalação e manutenção de equipamentos de controle, procedimentos de trabalho e treinamento, entre outros. A posse e o gerenciamento destas informações permitem direcionar os recursos disponíveis para as áreas onde seja efetivamente necessário, otimizando resultados. Para o gerenciamento da infraestrutura, se faz necessária a busca por uma boa execução das implantações das tubulações, iniciando na fase de projetos, buscando a qualidade dos mesmos, como também dos materiais e mão de obra, e a substituição de tubulações quando o histórico de problemas assim justificar.

De acordo com a ABES (2015), é a atividade mais importante para o combate às Perdas Reais, com maiores custos agregados, porém com resultados duradouros e definitivos.

A Figura 3 apresenta os tipos de vazamentos e as ações para eliminá-los ou reduzi-los (TARDELLI FILHO, 2006). Observando a Figura 3, as ações que reduzem os três tipos de vazamentos são o controle de pressão e a qualidade dos materiais e da mão de obra, sendo elas, no combate as Perdas Reais, as mais importantes e eficazes.

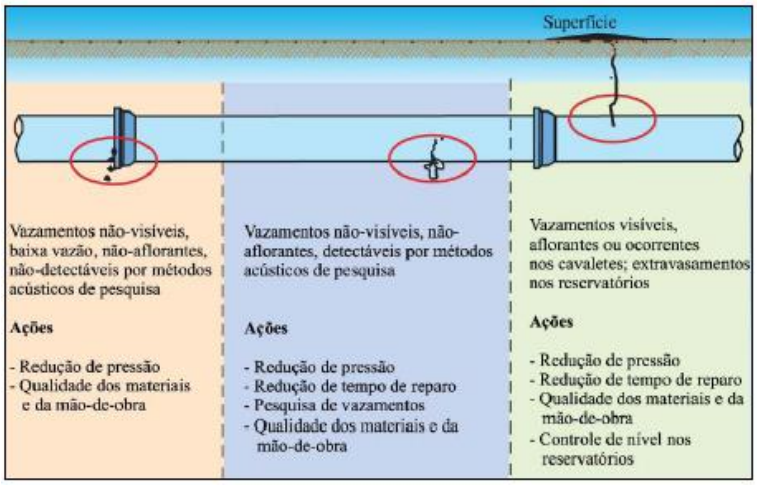

Fig. 3 – Tipos de vazamentos (Fonte: TARDELLI FILHO, 2006)

4.3 Controle de Perdas Aparentes

De forma similar ao controle de perdas reais, as perdas aparentes possuem um modelo contendo as quatro principais ações para minimizar o volume de perdas aparentes para um nível aceitável (Figura 4).

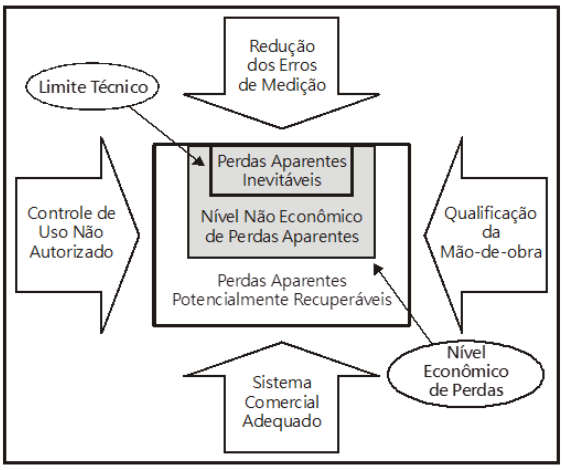

Fig. 4 - Principais ações para o combate às Perdas Aparentes (Fonte: BEZERRA & CHEUNG, 2013).

As ações de combate as perdas aparentes atuam diretamente no setor financeiro das companhias de saneamento, pois aumenta o volume micromedido refletindo consequentemente no aumento de faturamento da empresa. Além disso, em áreas com redes de esgoto o faturamento é dobrado. Segundo Silva (2014), o aumento da receita tarifária de uma companhia de saneamento, melhora automaticamente a eficiência e o desempenho financeiro do prestador

de serviços, além de contribuir indiretamente para a ampliação da oferta efetiva, já que induz à redução do consumo e a diminuição dos desperdícios por força da aplicação da tarifa aos volumes efetivamente consumidos.

4.3.1 Redução dos Erros de Medição

A diminuição dos erros de medição envolve tanto ações para melhoria da macromedição quanto da micromedição, pois sem um sistema de medição confiável, a empresa de saneamento não obterá com precisão o volume de água consumido e o que é perdido. Tem como ações principais a correta especificação e dimensionamento dos macromedidores instalados nos sistemas adutores e distribuidor, calibração periódica dos mesmos, bem como a especificação e dimensionamento dos hidrômetros dos consumidores, assim como a adoção de uma política de manutenção preventiva e corretiva (quando necessário) dos hidrômetros residenciais e comerciais.

Para o controle efetivo das perdas aparentes se faz necessário uma política regular de aferição e substituição de hidrômetros, pois a submedição nos parques de hidrômetros é a principal causa das perdas aparentes.

4.3.2 Controle de Uso Não Autorizado

O controle de uso não autorizado (combate às fraudes e ligações clandestinas) é um problema complexo, envolvendo questões sociais, já que em muitos dos casos afeta famílias de baixa renda, que moram em favelas e/ou áreas invadidas. Essa situação é comum nas regiões metropolitanas, e de difícil solução à curto prazo, se fazendo necessário pela companhia de saneamento um arcabouço legal para autuar clientes com fraudes ou ligações clandestinas.

Em seu trabalho, Silva (2014), afirma que a maioria dos casos de consumos não autorizados identificados se dá por meio de by-pass, fazendo com que parte do fluxo de água não passe pelo hidrômetro, ou através de fraudes nos hidrômetros que diminuem ou evitam o movimento da engrenagem registradora.

4.3.3 Sistema Comercial Adequado

Conforme a ABES (2015), os erros no sistema de coleta de dados, são representados pelos problemas encontrados no sistema de macromedição, falhas no cadastro comercial e nos sistemas de apuração de consumos (leitura e processamento), e outras anomalias nos processamentos dos sistemas comerciais da companhia de saneamento.

De acordo com Melato (2010), a gestão comercial de uma prestadora de serviços de saneamento compreende todo o aparato de processos, sistemas informatizados e recursos humanos que permite a contabilização dos consumos de água tratada e seu faturamento.

Agilidade do cadastramento de novas ligações no sistema comercial, adequada apuração do consumo dos clientes e atenção nas atividades para se encontrar as falhas de cadastro comercial, são ações importantes e essenciais para a redução das perdas aparentes.

4.3.4 Qualificação da Mão de Obra

A qualificação da mão de obra envolve um processo permanente e contínuo de treinamento especializado dos profissionais envolvidos no combate às perdas, já que o nível de qualificação dos leituristas de hidrômetros é o que faz uma boa leitura. A capacitação dos profissionais da gestão comercial, instalação, calibração e manutenção dos medidores é também de suma importância, reduzindo erros e melhorando a percepção de problemas na contabilização dos consumos e nas ligações.

4.4 Modelagem Hidráulica

Antes do surgimento dos primeiros computadores, já se dava início aos estudos sobre os sistemas de abastecimento de água. Segundo Silva (2014), numa fase anterior aos simuladores hidráulicos, o dimensionamento dos sistemas de distribuição de água era efetuado por meio de ábacos e com a aplicação de escalas logarítmicas que simplificavam as expressões matemáticas. Juntamente com as ações para minimizar as perdas de água está a evolução tecnológica da modelagem matemática, permitindo o desenvolvimento de programas mais elaborados, capazes de realizar cálculos com grande precisão e velocidade. Um modelo matemático é uma representação da realidade. Quanto melhor a qualidade da informação, melhores serão os resultados (THORNTON *et al*. *Apud* SANTOS, 2013).

> "*A modelagem matemática ou computacional tem evoluído significativamente com o aumento da capacidade e da velocidade de processamento dos computadores, que permitiram a manipulação de uma grande quantidade de dados e a realização de séries de cálculos com grande velocidade e precisão. O uso de modelos matemáticos teve com isso uma arrancada significativa, o que permitiu o desenvolvimento e aplicação em diversas áreas*." (PALO, 2010).

Nos últimos tempos, o aumento das pesquisas envolvendo calibradores e simuladores hidráulicos têm crescido substancialmente. Apesar desses esforços, segundo Silva (2014), o uso de softwares permanece, de forma geral, no plano hipotético e poucos programas têm sido aplicados em casos reais de controle de perdas no Brasil.

Em seu trabalho, Palo (2010) entende que no combate às perdas, são necessárias ações com alto custo em sua execução, por exemplo, a revitalização da infraestrutura, a instalação de válvulas redutoras de pressão, a detecção e consertos de vazamentos, dentre outras. Para tanto, é imprescindível que haja uma definição acertada das áreas onde a aplicação de ações de combate a perdas, trará os bons resultados que justificam e viabilizam o investimento com a redução dos volumes perdidos.

No diagnóstico das perdas, se faz necessário algumas variáveis coletadas em campo, para o conhecimento do sistema em estudo. Algumas dessas variáveis são de fácil obtenção, enquanto outras possuem maior complexidade, pois dependem de fatores hidráulicos, comportamentais e geográficos. Baseado nos dados coletados, o modelo matemático interpreta e/ou representa um cenário simplificado da realidade. A aplicação dos modelos nos diversos cenários possíveis, possibilita o estudo do comportamento hidráulico, permitindo assim a análise em situações nas quais é impossível testar as diversas soluções possíveis, evitando com isso, grandes gastos com profissionais para coletar dados em campo, criação de modelos experimentais etc.

Conforme Palo (2010) as etapas preliminares para a construção de um modelo hidráulico são:

- Construção e atualização dos diâmetros e materiais da rede;
- Coleta de informações comerciais de demandas de consumo;
- Calcular as incertezas das medições;
- Coletar dados de campo (pressão e vazão) para a calibração do modelo.

A aplicação de modelos matemáticos no saneamento é uma prática bastante utilizada e que cresce de forma rápida entre as companhias de abastecimento. Existem diversos programas para simulação hidráulica como, por exemplo, Watercad, Epanet e Finesse, entre outros.

Segundo Barroso (2010), o Watercad foi desenvolvido pela Haestad Methods e é um sistema de gerenciamento de informações geográficas completo para análise da qualidade da água e calibração de grandes redes de distribuição, possibilitando o carregamento de dados reais para melhor aproximação do resultado. É uma ferramenta sofisticada que permite aos responsáveis tomar decisões de gerenciar e analisar as redes de distribuição com eficiência.

Conforme Santos (2013), o FINESSE, *software* da Water Software Systems do Reino Unido, é muito utilizado em países Britânicos e na Europa, permite a programação ótima de bombas e gerenciamento de vazamentos. É compatível com programas de geoprocessamento (GIS) e sistemas de supervisão (SCADA).

O EPANET 2.0 foi desenvolvido pelo United States Evironmental Protection Agency (USEPA). É um simulador de sistemas de abastecimento de água amplamente testado e credível. Silva (2014) observou que o EPANET se destaca entre os programas disponíveis de redes de abastecimento. É distribuído gratuitamente e seu código-fonte é aberto, inclusive pode-se incorporar outras rotinas de cálculo.

Dentre as potencialidades do programa, o EPANET tem a capacidade de interação com diversos pacotes computacionais gratuitos, importando redes desenhadas em AutoCAD, permitindo obter valores de vazão e pressão, nível de água em reservatórios de nível variável, análise da qualidade da água (idade, cloro residual, trihalometanos etc.), modelagem do funcionamento de válvulas e bombas e análise das condições de combate a incêndio.

> "*É uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição, melhorando o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água para consumo humano. Permite ser utilizado em diversas situações onde seja necessário simular sistemas pressurizados de distribuição. O estabelecimento de cenários de projeto (p.ex., expansão de uma rede existente), a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento do cloro residual e a avaliação dos consumos são alguns exemplos de aplicação do programa*". (ROSSMAN, 2000)

A modelagem hidráulica faz uso de dados reais, coletados em campo, que quando colocados em softwares, simulam a situação real. Para que o modelo simulado esteja alocado em suas coordenadas reais, se faz necessário o uso de programas SIG (Sistema de Informações Geográficas), que conforme Palmeira (2015), consistem na aplicação de softwares que analisam os dados espaciais obtidos por coleta em campo ou por carta topográfica e/ou imagens de satélites, sendo um modo de digitalização de mapas, ou uma ferramenta de manipulação, possibilitando determinar um diagnóstico das variáveis estudadas e organização dos dados obtidos.

5. METODOLOGIA

5.1 Área de Estudo

O Distrito de Medição e Controle Boa Vista 1 (DMC Boa Vista 1) está situado na zona oeste de Caruaru, sendo responsável pelo abastecimento do bairro Boa Vista 1. Ao norte do distrito se encontra o Bairro Boa Vista 2; a leste, o Loteamento Severino Afonso; a oeste, o Bairro Maria Auxiliadora e ao sul, a linha férrea. Dispõe de uma área de aproximadamente 0,35 km^2 e 6.480 habitantes. (Figura 5)

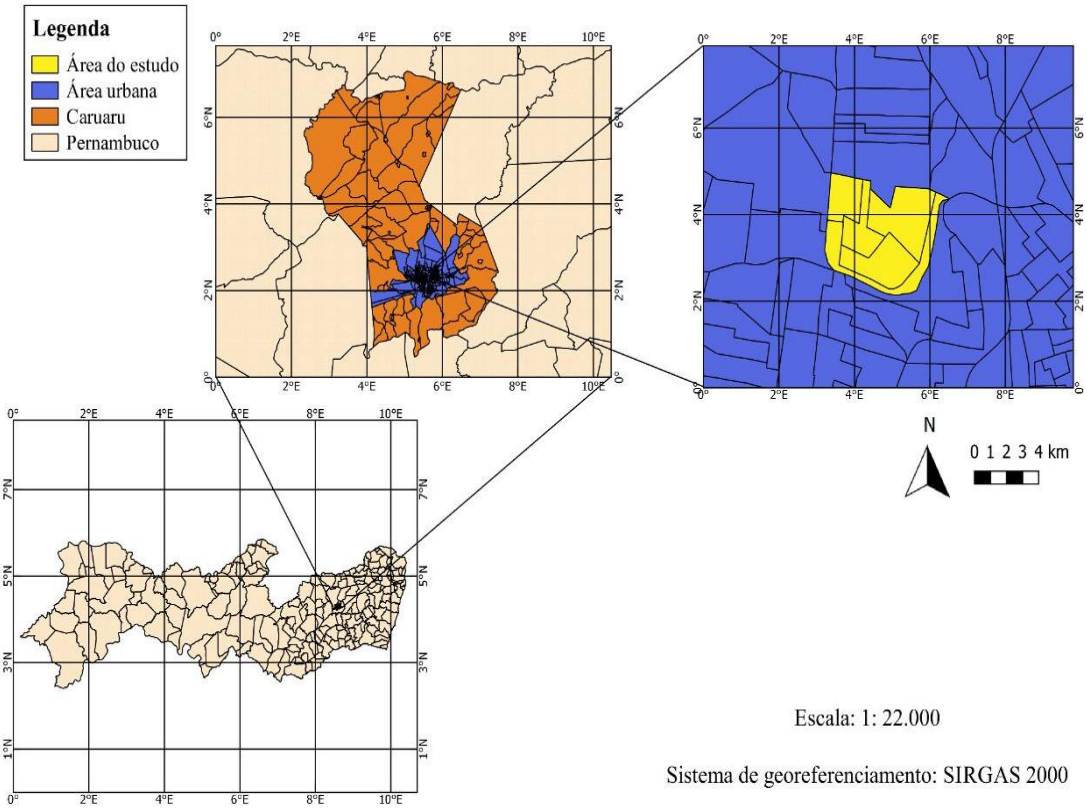

Fig. 5 – Imagem com os limites do distrito Boa Vista 1.

A água que abastece o DMC é de origem da Barragem do Prata, sendo bombeada até a ETA (Estação de Tratamento de Água) Petrópolis. Após o tratamento, a água é levada através de um anel de 600 mm à estação elevatória localizada na divisa entre os bairros Boa Vista 1 e Boa Vista 2, onde após estudos a mesma foi paralisada. Com isso, se fez necessária a instalação de um *by-pass*, para que a água pudesse ser levada por gravidade, através de uma adutora de

250 mm, diretamente para o reservatório elevado, que alimenta a rede de distribuição do DMC. A rede do bairro Boa Vista 1 foi escolhido como DMC por estar setorizado e ser abastecido por um reservatório elevado (Figura 6).

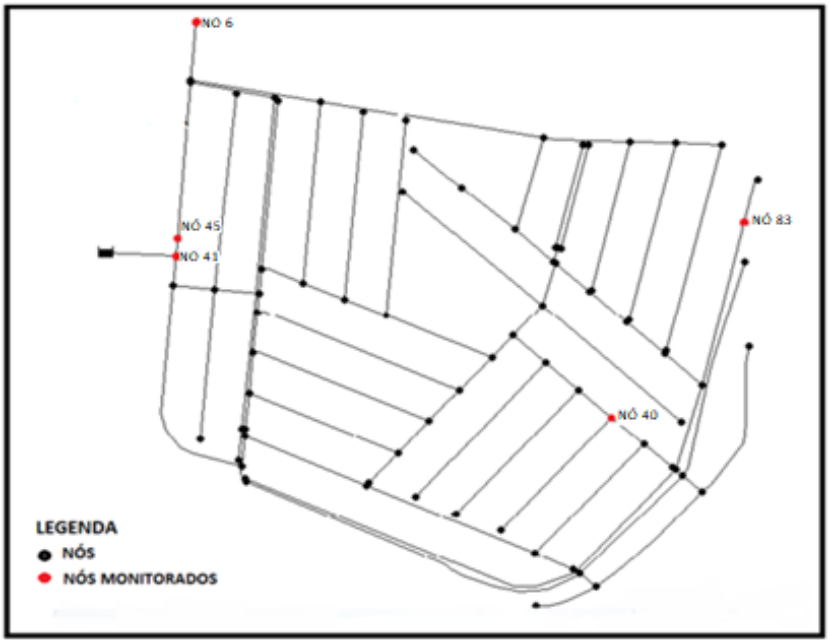

Fig. 6 – Rede de distribuição de água com os pontos monitorados (Fonte: a autora).

A rede de distribuição é do tipo mista (malhada com ramificações) e possui um comprimento total de aproximadamente 10,42 km. As tubulações possuem diâmetros de 32 mm (1.328 m), 50 mm (5.784 m), 75 mm (1.237 m), 100 mm (535 m), 150 mm (1.274 m) e 200 mm (261 m). A rede é composta por 83 nós e 91 trechos. No decorrer das pesquisas e levantamento de dados em campo, foi descoberto um cadastro falho, apresentando diversas ligações de água para redes de distribuição de água de bairros vizinhos, as quais foram consequentemente valoradas, para sua posterior redução no valor da vazão total de entrada no DMC.

Estudos do projeto COM + ÁGUA, que abrange não só a redução das perdas de água, como também desperdícios energéticos, verificaram que não se fazia necessário um recalque para que a água chegasse ao reservatório elevado que abastece o DMC. Após análise e estudo em campo, a Companhia optou por paralisar o funcionamento da estação elevatória, tornando a operação menos dispendiosa do ponto de vista financeiro.

Conforme informações oriundas do Cadastro Técnico da COMPESA, o DMC Boa Vista 1 possui aproximadamente 10,42 km de rede de distribuição e 1.796 ligações, sendo o segundo valor compatível com o conceito de DMC.

5.2 Estudos Preliminares

O presente trabalho objetivou a elaboração de um modelo hidráulico do distrito Boa Vista 1, em Caruaru – PE, com o intuito de redução de Perdas de Água. Todos os dados foram fornecidos pela COMPESA GNR – Agreste Central. A aplicação da metodologia da IWA para o controle de perdas utilizada foi resultado do trabalho dos consultores do projeto COM + ÁGUA juntamente com a COMPESA para delimitar um setor e trabalhar ações que reduzissem as perdas – dentre elas, a modelagem hidráulica - e no futuro replicar essa mesma metodologia em outros distritos, com o objetivo de reduzir as perdas em toda a cidade.

Após a definição da área a ser trabalhada, foi realizado um teste de estanqueidade para confirmar o isolamento do distrito. Para este, foram utilizadas medições instantâneas de vazão e *dataloggers*. As medições foram realizadas nas zonas limítrofes do distrito e em torneiras das residências dos clientes. De acordo com o cadastro da área, foram realizados cortes nas redes, utilização de *caps* para isolamento da área e registros de parada. Foram instalados medidores de vazão, que fornecem dados para o cálculo da relação entre a vazão das fugas e a vazão que sai do reservatório elevado, conforme a equação 1.

$$Q_{DMC} = Q_{REL} - \sum Q_{FUGAS} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Onde:

Q_{DMC} = Vazão do DMC;

Q_{REL} = Vazão que sai do Reservatório Elevado;

Q_{FUGAS} = Vazão das fugas

O uso de registros e medidores de vazão não garante 100% da estanqueidade da rede. Parte disso se dá por falhas futuras dos registros, que geralmente apresentam fugas por desgaste do tempo, e pela incerteza dos macromedidores, que precisam ter manutenção periódica para garantir confiabilidade nas suas leituras. A calibração de medidores deve ser realizada no início de operação e, posteriormente, deve ser realizada periodicamente com uma frequência mínima

anual. Grande parte da imprecisão dos medidores se dá por falhas na manutenção (90%), e o restante por problemas na instalação do mesmo (10%).

5.2.1 Coleta de Dados em Campo

A vazão e a pressão são as variáveis de estado, obtidas por meio de campanhas de medições em campo nos locais mais representativos da rede em estudo. Conforme Silva (2014), a vazão e a pressão são as principais grandezas que refletem o comportamento hidráulico de um sistema de distribuição de água. A Figura 6 apresenta os pontos de monitoramento de pressão e vazão da rede de distribuição do DMC Boa Vista 1.

Junior (2014) observou em seu trabalho que *dataloggers* são utilizados para registro e obtenção de dados de pressões e/ou vazões e são instalados em pontos do sistema onde é necessária a aquisição destes parâmetros, que podem ser obtidos manualmente ou transmitidos através de telemetria.

Para o monitoramento de pressão, foram utilizados três *dataloggers*, sendo eles da marca Vector Technology (Figura 7), acoplados a transmissores de pressão instalados diretamente na rede nos nós 41, 45 e 40. No nó 41, o *datalogger* se encontra na saída do reservatório, registrando informações de nível do mesmo. O nó 45, situa-se no ponto crítico da rede, possuindo um *datalogger* em um ramal para o registro de pressão neste ponto. Por fim, o nó 40, localizado no ponto médio da rede de distribuição, também possui um *datalogger* registrando a pressão no ponto.

Fig. 7 – *Datalogger* de pressão e vazão.

No nó 83, havia coleta de dados de pressão, sendo esse local considerado o ponto favorável da rede. O *datalogger* se encontrava dentro da residência de um morador, no qual o mesmo solicitou a retirada do aparelho, atrapalhando assim, o controle de pressão no DMC.

O macromedidor de vazão é utilizado no DMC para obtenção dos dados de vazão. O DMC Boa Vista 1, possui dois macromedidores instalados, coletando informações de hora em hora, durante 24 horas, estando eles no nó 41, medindo a vazão que sai do reservatório, e no nó 6 (Figura 8) medindo a vazão que passa pela rede em direção ao bairro vizinho, Boa Vista 2, também fazendo uso de um *datalogger*.

Fig. 8 – Macromedidor e *datalogger* instalados no nó 6 do DMC Boa Vista 1.

5.2.2 Construção do Modelo Hidráulico

A simulação do sistema de distribuição de água iniciou-se com a preparação do arquivo da rede no programa AutoCAD a partir do cadastro técnico. Para os diâmetros, utilizou-se a Tabela 1 com os valores dos diâmetros internos, que variam de acordo com o tipo de material da rede. Na tabela 2, encontram-se todos os comprimentos e diâmetros internos dos trechos de rede.

Foi necessário fazer uma atualização do cadastro técnico, lançando mão da confirmação de antigos encanadores e funcionários de manobras que conheciam bem as peculiaridades da área trabalhada e de sondagens feitas nas redes.

Tabela 1 – Diâmetro interno das tubulações de acordo com o material da rede

Material	DN	Classe	Diâmetro interno	Idade	Coeficiente de Rugosidade
PVC	32	12	27,8	25	130
PVC	60	12	54,6	25	130
PVC	85	12	75,0	25	130
PVC	110	12	100,0	25	130
DeFOFO	150	12	156,4	25	105
Ferro Fundido	150	K7	159,6	25	105
PVC	160	12	150,0	25	130
DeFOFO	200	12	204,2	30	105
Ferro Fundido	200	K7	211,2	30	105
Ferro Fundido	250	K7	263,0	30	105

Para este trabalho foi utilizado o *software* de simulação hidráulica EPANET 2.0, versão em português distribuída gratuitamente pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), por intermédio do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS).

Após a preparação da rede, a mesma foi transferida através do EPACAD, para o EPANET, onde são formados os nós e trechos, obtendo com isso os comprimentos de cada trecho. Inicia-se, no Qgis, o processo de georreferenciamento da rede, onde se escolhe o Sistema de Referência de Coordenadas-SRC como sendo o de Caruaru, SIRGAS 2000 / UTM zone 24S.

A rede e os nós foram atualizados no sistema QGIS, onde foram lançadas e georreferenciadas. Este programa, além do georreferenciamento, possibilita descobrir a demanda de cada nó e as cotas dos mesmos, utilizando do Bloco de Notas como interface para o EPANET. O QGIS melhorou o processo de georreferenciamento das ligações, possibilitando obter a espacialização das demandas com precisão.

O método utiliza uma imagem georreferenciada como fonte para obter as cotas dos nós da rede (modelo numérico de terreno ou DEM). Diferente de uma camada vetorial, esta camada é composta por inúmeros pixels (formato RASTER), cada um com suas coordenadas e um valor. A Figura 9 mostra uma imagem que representa a elevação do terreno, o valor do pixel será a cota do terreno em metros acima do nível do mar.

Tabela 2 – Dados da rede de distribuição do DMC Boa Vista 1

Trecho	Comp. (m)	Diâmetro interno
1	13,7	159,6
2	195,0	27,8
3	168,9	27,8
4	73,8	27,8
5	272,6	27,8
6	168,8	27,8
7	413,7	27,8
8	11,2	27,8
9	30,4	54,6
10	25,0	27,8
11	25,6	75,0
12	25,6	75,0
13	53,3	54,6
14	2,2	54,6
15	257,2	159,6
16	150,7	159,6
17	116,8	150,0
18	151,3	54,6
19	409,3	159,6
20	29,7	54,6
21	24,5	54,6
22	43,7	54,6
23	8,8	54,6
24	187,3	54,6
25	5,9	211,2
26	4,7	211,2
27	3,6	54,6
28	3,4	54,6
29	54,8	100,0
30	63,9	159,6

Trecho	Comp. (m)	Diâmetro interno
31	44,0	54,6
32	49,1	54,6
33	50,1	54,6
34	50,3	54,6
35	50,6	54,6
36	35,5	211,2
37	224,5	54,6
38	241,2	54,6
39	130,1	54,6
40	130,9	54,6
41	80,3	54,6
42	58,7	100,0
43	56,0	54,6
44	58,3	54,6
45	57,8	54,6
46	281,3	100,0
47	37,8	54,6
48	206,5	211,2
49	240,0	54,6
50	231,4	54,6
51	223,6	54,6
52	130,6	54,6
53	51,0	54,6
54	51,6	54,6
55	50,8	54,6
56	250,6	54,6
57	218,1	54,6
58	48,1	54,6
59	208,8	54,6
60	50,9	100,0

Trecho	Comp. (m)	Diâmetro interno
61	35,8	100,0
62	54,0	100,0
63	50,7	75,0
64	53,3	75,0
65	49,5	75,0
66	262,8	75,0
67	107,6	75,0
68	577,2	75,0
69	16,9	54,6
70	49,7	54,6
71	50,5	54,6
72	208,0	54,6
73	38,5	159,6
74	51,8	54,6
75	47,0	54,6
76	185,7	54,6
77	241,1	54,6
78	139,3	159,6
79	70,6	75,0
80	97,5	159,6
81	4,0	54,6
82	17,2	54,6
83	8,4	211,2
84	1,6	54,6
85	213,7	54,6
86	211,6	54,6
87	184,8	54,6
88	183,5	54,6
89	187,7	54,6
90	206,9	54,6
91	220,3	54,6

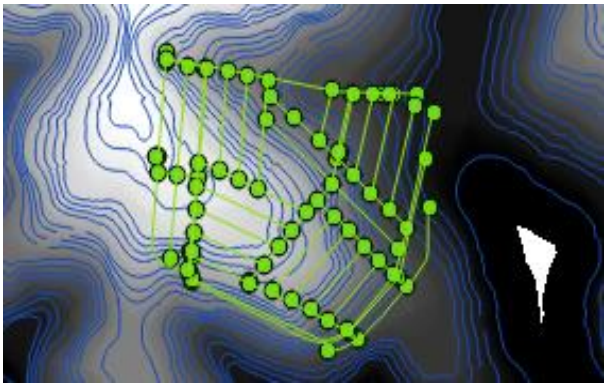

Fig. 9 – Curvas de nível do terreno com o modelo numérico do terreno.

As etapas do processo de modelagem hidráulica estão demonstradas de forma esquemática na Figura 10. Este processo foi a base do treinamento fornecido a equipe de engenharia da COMPESA envolvida na implementação do programa COM+ÁGUA. A elaboração e utilização do modelo permitiu simular diversas situações e prever os efeitos antes de executar no campo. A metodologia utilizada na construção do modelo, foi disponibilizada pelo COM + ÁGUA em forma de tutorial. Na Figura 11, se encontra um fluxograma com alguns detalhes das funções de cada software utilizado na construção do modelo hidráulico.

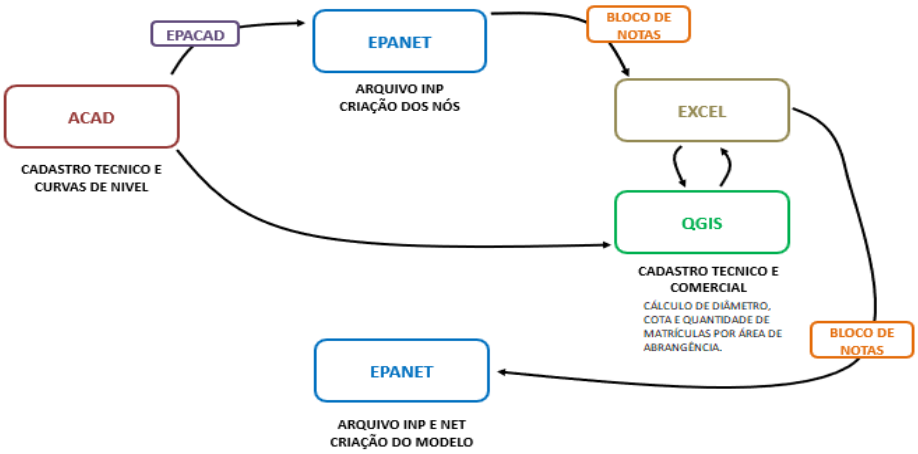

Fig. 10 – Resumo das etapas do processo de modelagem hidráulica. (Fonte :Tutorial COM + ÁGUA)

Fig. 11 – Fluxograma da construção do modelo hidráulico. (Fonte: Adaptado do tutorial COM + ÁGUA)

5.2.3 Demandas Nodais

Para o cálculo da demanda, segundo a metodologia proposta pelo programa COM + ÁGUA – Modelagem Hidráulica, pode-se utilizar três abordagens, sendo elas:

- Abordagem 1: Cálculo das demandas nos nós a partir dos comprimentos de influência de cada nó e da vazão de entrada (Figura 12).

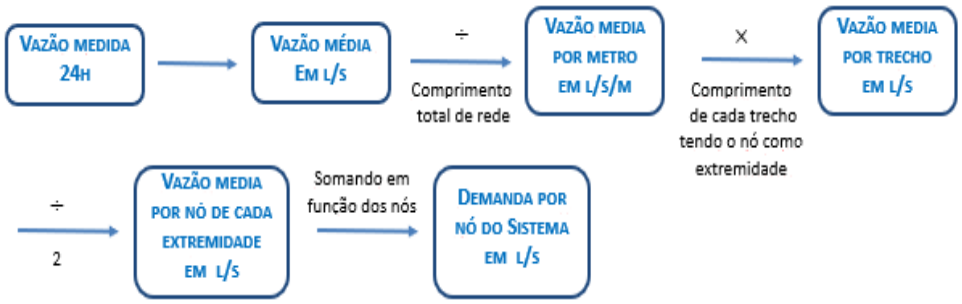

Fig. 12 – Passo a passo da abordagem 1 para o cálculo das demandas. (Fonte: Tutorial COM + ÁGUA)

- Abordagem 2: Cálculo da vazão média nos nós em função da quantidade de consumidores presentes nas áreas de influência dos nós ou dos trechos e em função da vazão média na entrada do DMC (Figura 13).

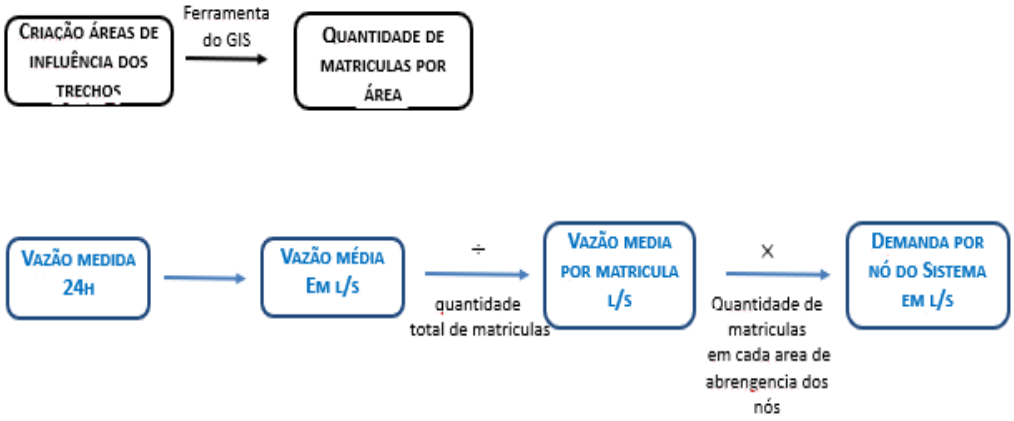

Fig. 13 – Passo a passo da abordagem 2 para o cálculo das demandas. (Fonte: Tutorial COM + ÁGUA)

- Abordagem 3: Cálculo da vazão média nos nós em função do consumo micromedido nas áreas de influência dos nós e em função da vazão medida na entrada do DMC (Figura 14).

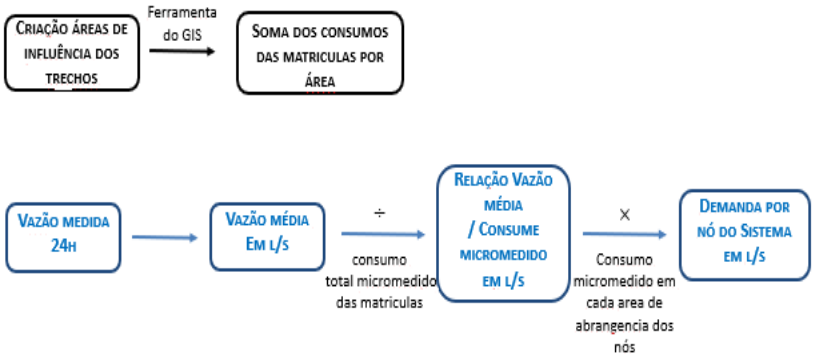

Fig. 14 – Passo a passo da abordagem 3 para o cálculo das demandas. (Fonte: Tutorial COM + ÁGUA)

Para a melhor aplicação das abordagens números 2 e 3, é necessário que se tenha posse dos arquivos *shapefiles* do cadastro de rede e das matrículas no mesmo sistema de coordenadas, precisando com isso, da atualização do cadastro técnico no sistema de georreferenciamento da empresa. No caso da COMPESA Caruaru, o sistema GIScomp encontra-se desatualizado, sendo necessário então, sua devida atualização, para posterior uso.

Neste trabalho, fez-se uso da abordagem 1. As demandas de cada trecho foram calculadas em função da vazão média medida na entrada do DMC e da extensão de cada trecho. O volume diário é o somatório das vazões por hora da entrada do DMC. As demandas dos trechos e dos nós são apresentadas nos resultados e discussões.

Os padrões de variação da demanda adotados foram obtidos através das medições de vazão na entrada da rede de distribuição e na fuga de água para o bairro Boa Vista 2. As medições foram realizadas por meio de macromedidores instalados nos pontos supracitados, onde são informadas as vazões a cada hora. Para cada intervalo horário, foi obtido um fator multiplicativo em relação ao valor médio de todo o período (Tabela 4). A Figura 15 apresenta o padrão temporal das demandas residenciais de todos os nós, e do nó de fuga para o bairro Boa Vista 2.

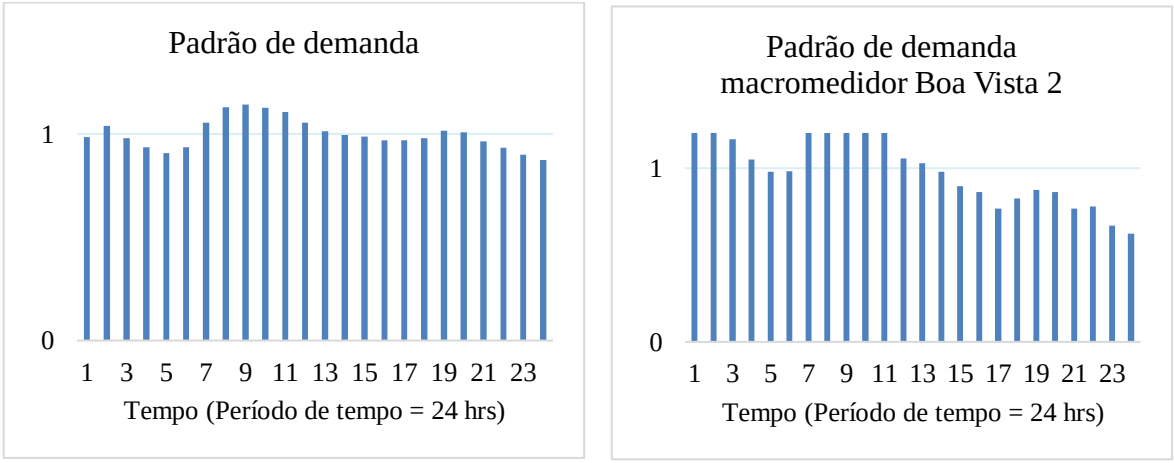

Fig. 15 – Padrões de demanda dos nós de entrada do DMC (à esquerda) e de saída do DMC Boa Vista 1 para a rede de distribuição do Boa Vista 2 (à direita).

Tabela 3 – Fatores multiplicativos dos padrões de demanda

Hora	Vazão de saída do Reservatório (L/s)	Fator Multiplicador	Vazão de saída p/ Boa Vista 2 (L/s)	Fator Multiplicador
00:00	30,223	0,985	11,528	1,211
01:00	31,845	1,038	11,805	1,240
02:00	30,055	0,979	11,110	1,167
03:00	28,733	0,936	10,000	1,051
04:00	27,813	0,906	9,318	0,979
05:00	28,730	0,936	9,355	0,983
06:00	32,390	1,055	12,153	1,277
07:00	34,615	1,128	12,500	1,313
08:00	35,025	1,141	12,153	1,277
09:00	34,583	1,127	12,500	1,313
10:00	33,938	1,106	11,458	1,204
11:00	32,363	1,055	10,050	1,056
12:00	31,090	1,013	9,773	1,027
13:00	30,528	0,995	9,318	0,979
14:00	30,278	0,987	8,520	0,895
15:00	29,723	0,969	8,200	0,862
16:00	29,765	0,970	7,298	0,767
17:00	30,075	0,980	7,850	0,825
18:00	31,170	1,016	8,330	0,875
19:00	30,960	1,009	8,200	0,862
20:00	29,588	0,964	7,298	0,767
21:00	28,620	0,933	7,415	0,779
22:00	27,575	0,899	6,368	0,669
23:00	26,813	0,874	5,918	0,622
Média	30,687		9,517	

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores encontrados para a demandas dos trechos podem ser vistos na Tabela 4 e para os nós na Tabela 5.

Tabela 4 – Demanda dos trechos.

Trechos	Vazão por trecho
p1	0,028
p2	0,396
p3	0,343
p4	0,150
p5	0,554
p6	0,343
p7	0,840
p8	0,023
p9	0,062
p10	0,051
p11	0,052
p12	0,052
p13	0,108
p14	0,005
p15	0,522
p16	0,306
p17	0,237
p18	0,307
p19	0,831
p20	0,060
p21	0,050
p22	0,089
p23	0,018
p24	0,380
p25	0,012
p26	0,010
p27	0,007
p28	0,007
p29	0,111
p30	0,130

Trechos	Vazão por trecho
p31	0,089
p32	0,100
p33	0,102
p34	0,102
p35	0,103
p36	0,072
p37	0,456
p38	0,490
p39	0,264
p40	0,266
p41	0,163
p42	0,119
p43	0,114
p44	0,118
p45	0,117
p46	0,571
p47	0,077
p48	0,419
p49	0,488
p50	0,470
p51	0,454
p52	0,265
p53	0,104
p54	0,105
p55	0,103
p56	0,509
p57	0,443
p58	0,098
p59	0,424
p60	0,103

Trechos	Vazão por trecho
p61	0,073
p62	0,110
p63	0,103
p64	0,108
p65	0,100
p66	0,534
p67	0,219
p68	1,173
p69	0,034
p70	0,101
p71	0,103
p72	0,423
p73	0,078
p74	0,105
p75	0,095
p76	0,377
p77	0,490
p78	0,283
p79	0,143
p80	0,198
p81	0,008
p82	0,035
p83	0,017
p84	0,003
p85	0,434
p86	0,430
p87	0,375
p88	0,373
p89	0,381
p90	0,420
p91	0,448

Tabela 5 – Demanda dos nós.

Nó	Demanda
n1	0,172
n2	0,014
n3	0,400
n4	0,198
n5	0,272
n6	0,075
n7	0,491
n8	0,277
n9	0,617
n10	0,420
n11	0,707
n12	0,052
n13	0,216
n14	0,254
n15	0,112
n16	0,301
n17	0,079
n18	0,521
n19	0,641
n20	0,260
n21	0,367
n22	0,201
n23	0,459
n24	0,515
n25	0,108
n26	0,293
n27	0,331
n28	0,057
n29	0,283
n30	0,216

Nó	Demanda
n31	0,011
n32	0,025
n33	0,137
n34	0,136
n35	0,107
n36	0,206
n37	0,065
n38	0,281
n39	0,045
n40	0,291
n41	0,312
n42	0,326
n43	0,140
n44	0,370
n45	0,254
n46	0,344
n47	0,363
n48	0,245
n49	0,132
n50	0,133
n51	0,153
n52	0,435
n53	0,341
n54	0,244
n55	0,428
n56	0,235
n57	0,339
n58	0,331
n59	0,224
n60	0,361

Nó	Demanda
n61	0,323
n62	0,327
n63	0,447
n64	0,049
n65	0,292
n66	0,050
n67	0,267
n68	0,603
n69	0,211
n70	0,039
n71	0,534
n72	0,189
n73	0,245
n74	0,072
n75	0,099
n76	0,009
n77	0,002
n78	0,432
n79	0,217
n80	0,215
n81	0,191
n82	0,210
n83	0,224

6.1 Variáveis Monitoradas

Foram realizadas medições de vazão na saída do reservatório (entrada do DMC), e monitorado o ponto de pressão média e crítico da rede, utilizando posteriormente estes dados para a comparação com o sistema modelado. A seguir, apresenta-se os resultados do monitoramento das pressões e vazões que foram utilizadas para compor os dados de entrada do processo de calibração da rede hidráulica do DMC Boa Vista 1.

A rede de distribuição de água do DMC Boa Vista 1 é abastecida, exclusivamente, por um reservatório elevado que possui 15 metros de altura, na cota 557 m. Após o desligamento da estação elevatória que recalcava água para o reservatório elevado (REL), o abastecimento passou a ocorrer de forma direta, acarretando com isso extravasamento do reservatório em vários momentos. Está prevista a instalação de uma válvula para controlar a passagem de água e evitar o extravasamento do mesmo, com o intuito também de não permitir que o nível do reservatório diminua dois metros de coluna de água.

O abastecimento de água do DMC ocorre de forma simples. A diferença de nível entre o reservatório elevado e o ponto mais favorável da rede encontra-se entre 20 e 25 m (Figura 16). O ponto mais favorável da rede foi escolhido por conta da sua expressiva diferença de cota em relação ao reservatório, considerada mais significativa do que a perda de carga causada pela distância do mesmo até o reservatório. A ausência de dados de pressão na região mais favorável da rede ocorreu devido à retirada do *datalogger*, solicitado pelo morador, que alegou reformas na casa. A dificuldade de abastecimento fica por conta da região oposta ao reservatório, onde é possível encontrar uma grande demanda, devido à zona ser uma região de invasão, possuindo redes de 32 mm, provocando gargalos na entrada da região, bem como uma grande perda de carga e pouca pressão, como mostrado na Figura 17.

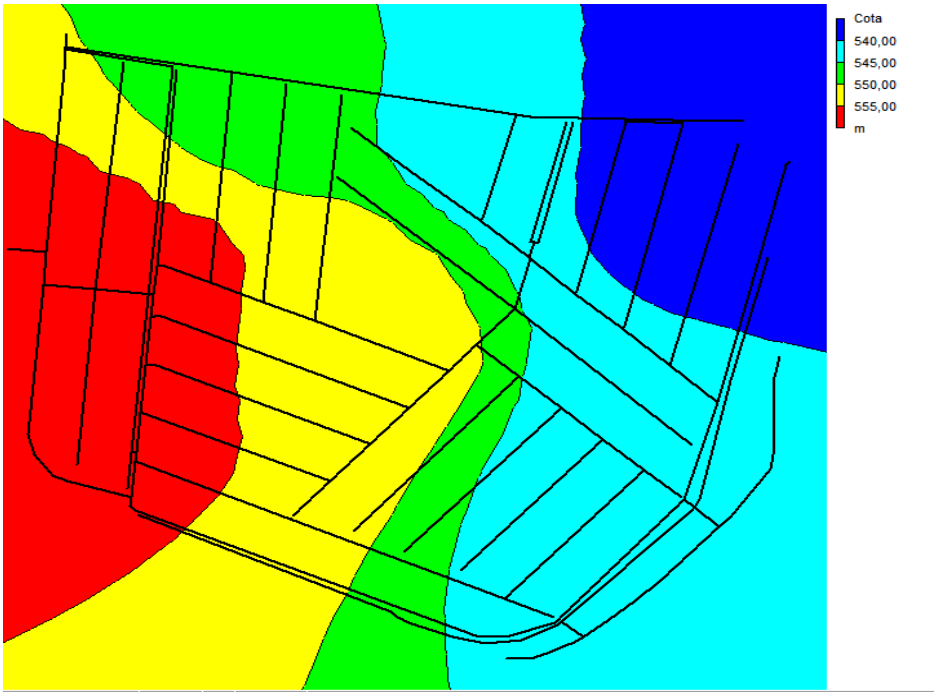

Fig. 16 – Isolinhas referentes às cotas topográficas.

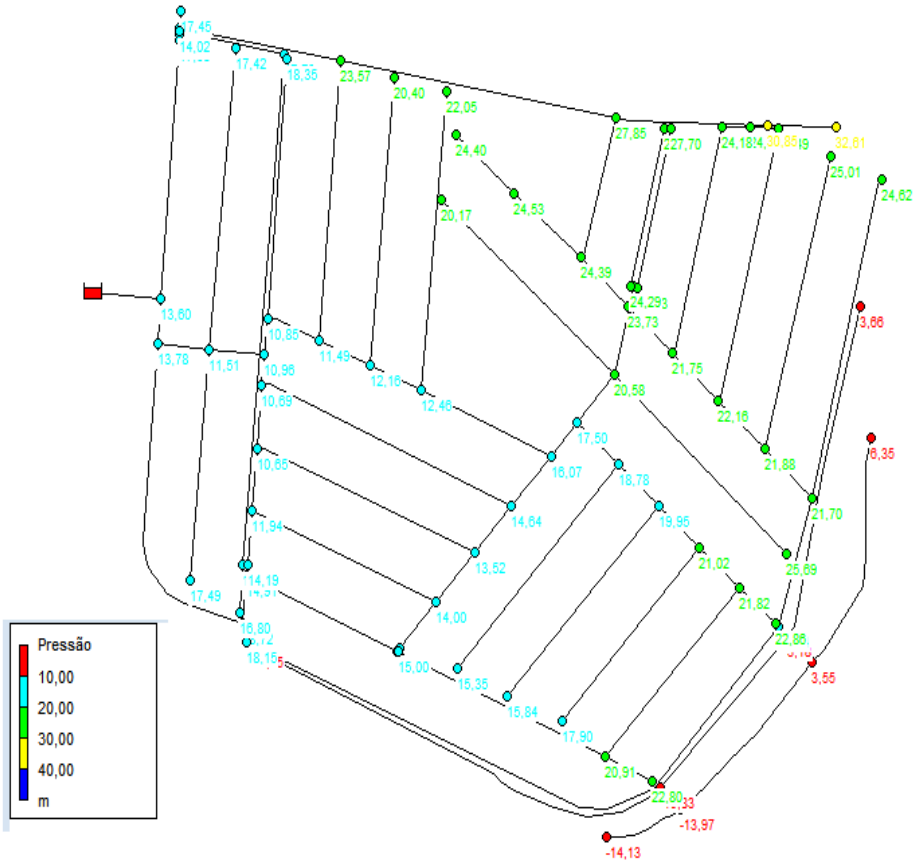

Fig. 17 – Pressões na rede do DMC Boa Vista 1.

Analisados os resultados das medições de vazão na saída do REL, que foram obtidas durante 5 dias (a duração foi definida com base no calendário do rodízio da cidade de Caruaru), optou-se por usar as medições do dia 08/01/2018 para estabelecer a modelagem, sendo este o único dia com abastecimento 24 horas, estando os demais dias com abastecimento interrompido, ocasionados por manutenções da rede de abastecimento do REL, por conta de extravasamentos do reservatório, gerando, com isso, dados incompletos.

Para se estabelecer a vazão de entrada do DMC, foi necessário calcular a diferença entre a vazão de saída do REL e a vazão de saída para o Boa Vista 2. Na Tabela 6 é possível visualizar os valores da vazão de entrada do DMC.

Tabela 6 – Vazão de entrada do DMC.

Data e hora	Vazão saída do REL	Vazão saída para Boavista 2	Vazão entrada do DMC (l/s)	Vazão entrada do DMC (m3/h)
08/01/2018 00:00	30,22	11,53	18,70	69,95
08/01/2018 01:00	31,85	11,81	20,04	76,57
08/01/2018 02:00	30,06	11,11	18,95	69,41
08/01/2018 03:00	28,73	10,00	18,73	68,47
08/01/2018 04:00	27,81	9,32	18,50	67,97
08/01/2018 05:00	28,73	9,36	19,38	69,70
08/01/2018 06:00	32,39	12,15	20,24	70,02
08/01/2018 07:00	34,62	12,50	22,12	78,01
08/01/2018 08:00	35,03	12,15	22,87	81,47
08/01/2018 09:00	34,58	12,50	22,08	77,98
08/01/2018 10:00	33,94	11,46	22,48	83,74
08/01/2018 11:00	32,36	10,05	22,31	79,52
08/01/2018 12:00	31,09	9,77	21,32	81,07
08/01/2018 13:00	30,53	9,32	21,21	75,24
08/01/2018 14:00	30,28	8,52	21,76	77,33
08/01/2018 15:00	29,72	8,20	21,52	78,41
08/01/2018 16:00	29,77	7,30	22,47	80,35
08/01/2018 17:00	30,08	7,85	22,23	79,60
08/01/2018 18:00	31,17	8,33	22,84	83,02
08/01/2018 19:00	30,96	8,20	22,76	78,34
08/01/2018 20:00	29,59	7,30	22,29	81,61
08/01/2018 21:00	28,62	7,42	21,21	79,02
08/01/2018 22:00	27,58	6,37	21,21	77,08
08/01/2018 23:00	26,81	5,92	20,90	73,08

Utilizando os dados de vazão de entrada do DMC e pressão no ponto médio da rede (Apêndice A – Tabela A1), foi possível obter o gráfico da Figura 18. Analisando a Figura, pode-se perceber que a relação entre os dados de pressão e vazão estão coerentes - quanto maior a vazão, menor a pressão na rede.

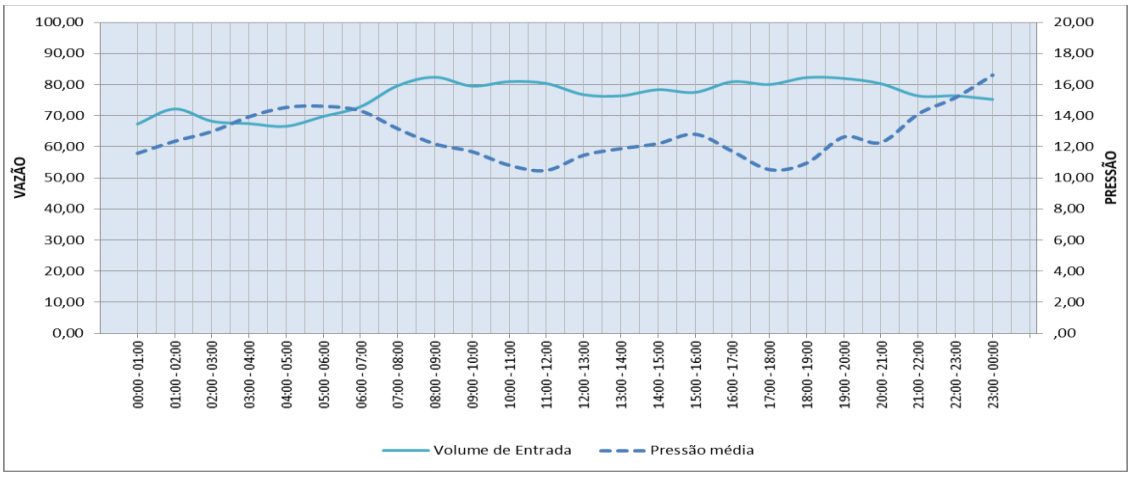

Fig. 18 –Vazão na entrada do DMC e da pressão no ponto médio da rede.

A curva de vazão de entrada mostra também um comportamento com variações oscilando numa faixa muito reduzida durante o dia, em vez de apresentar um pico no momento de maior consumo às 12h, horário que a literatura e os técnicos consideram que possui elevado consumo residencial. A diferença de vazão de entrada entre a noite e o dia também é relativamente baixa.

Após intervenções na chegada de água ao reservatório e interrupções nos 4 dos 5 dias de abastecimento, bem como devido ao volume importante de reservação nas casas (caixas d'água e cisternas), considera-se que, no dia 08/01/2018, a rede ainda não estava totalmente pressurizada, apresentando com isso um comportamento duplo (a parte mais baixa pressurizada e o resto da rede em fase de enchimento).

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho de pesquisa realizou a simulação de um sistema de distribuição de água do DMC Boa Vista 1, com a intenção de identificar regiões que podem conter perdas reais significativas de água. Apresentou uma metodologia prática e concisa de simulação hidráulica para obtenção de dados para análise operacional de redes de distribuição de água, com o objetivo de trazer eficiência na operação e redução das perdas.

A rede de distribuição de água apresentou baixas pressões para alguns pontos monitorados, fato que precisa ser avaliado para futuras modificações, como modificação dos diâmetros das redes, novos caminhos de abastecimento dessas áreas, entre outros, para que todos da localidade sejam abastecidos satisfatoriamente. Portanto, o sistema avaliado não tem problemas de pressões elevadas, fato positivo, não havendo indução do consumo residencial e aumentando as chances de ocorrência de vazamentos, não agravando com isso as perdas reais.

A técnica de simulação apresentou bastantes dificuldades no momento da coleta em campo, devido a não regularidade de água no reservatório de abastecimento, extravasamento do mesmo, fugas de água na região escolhida para o estudo (rede não estanque), sistema de rodízio de abastecimento e ausência de medições em locais vitais para a análise do sistema. Tais empecilhos prejudicaram na análise da simulação.

Para trabalhos futuros, observa-se seguintes sugestões:

- Realizar o estudo com maior número de pontos de monitoramento de vazão e pressão na rede, visando maior consistência dos dados;
- Atualização de cadastro de rede junto à companhia de abastecimento simultaneamente às alterações físicas em campo;
- Utilização, pela companhia de saneamento, de dispositivos que contribuam para o melhor isolamento e estanqueidade dos distritos a serem estudados, como registros, caps e macromedidores;
- Abastecimento contínuo do distrito a ser estudado, para melhor exatidão na modelagem.

REFERÊNCIAS

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água: Diagnóstico, Potencial de Ganhos com sua Redução e Propostas de Medidas para o Efetivo Combate. Sumário Executivo. Brasília/DF, 2013.

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Controle e Redução de Perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento de Água: Posicionamento e Contribuições Técnicas da ABES. Brasília/DF, 2015.

ALMEIDA, D. F. C.; Controle e Redução de Perdas Reais em Sistemas de Abastecimento de Água. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2015.

Banco de Dados da GNR Agreste Central. Planilha de Validações 2011-2016 (Formato XML). COMPESA, Caruaru/PE, 2017

BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B. Perdas de água: tecnologias de controle. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013.220p.

BARROSO, L. B; GASTALDINI, M. C. C., Redução de Vazamentos em um setor de Distribuição de Água de Santa Maria – RS. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Vol. 15 n.2 Abr/Jun2010, 27-36.

CARDOSO, A.; OLIVEIRA, F.; LACERDA, F.; MARTINS, J. P. Redução de perdas reais em sistemas de abastecimento de água: otimização das pressões numa grande rede de distribuição de água – aplicação a um subsistema da cidade do Porto. 8ª Jornada de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP, 2013.

JUNIOR, J. C. S. Distritos de Medição e Controle como Ferramenta de Gestão de Perdas em Redes de Distribuição de Água. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2014.

MELATO, D. S. Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: Aplicada no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

PALMEIRA, L.F. G. Geoprocessamento aplicado ao cadastro ambiental rural em São Pedro do Sul – RS. Relatório final de estágio curricular obrigatório. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

PALO, P. R. Avaliação da eficácia de modelos de simulação hidráulica na obtenção de informações para diagnóstico de perdas de água. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

PMSS – PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR DE SANEAMENTO. Projeto COM+ÁGUA, fev. 2015. Disponível em: <http://www.pmss.gov.br/index.php/projeto-com-agua/>. Acesso em: 28 mai. 2017.

ROSSMAN. L. A. EPANET 2.0 Manual do usuário. United States Evironmental Protection Agency. Tradução e adaptação: Laboratório de eficiência energética e hidráulica em saneamento. UFPB e ELETROBRÁS. 2000.

SANTOS, D. D. Avaliação da metodologia para controle de perdas de água em sistema de distribuição no Recife-PE. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

SILVA, C. O. Modelagem de rede de distribuição de água com ênfase no controle de perdas. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba, 2014.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico de Serviços de Água e Esgotos. Tabela Completa de Indicadores Desagregados e Agregados (Formato XML). Brasília/DF, 2012.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico de Serviços de Água e Esgotos. Ministério das Cidades. Brasília/DF, 2015.

TARDELLI FILHO, J. Controle e redução de perdas, in: Tardelli Filho, M. T. Abastecimento de Água. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

Tutorial Programa COM + ÁGUA. Resumo do passo a passo de construção do modelo hidráulico no EPANET a partir do cadastro de rede e do cadastro comercial. (Formato .docx). Ministério das Cidades, 2017)

APÊNDICE A – DADOS COLETADOS

Tabela A1 – Dados da pressão média da rede.

Hora	Pressão PMS
00:00:00	11,58
01:00:00	12,35
02:00:00	12,98
03:00:00	13,93
04:00:00	14,53
05:00:00	14,60
06:00:00	14,30
07:00:00	13,15
08:00:00	12,18
09:00:00	11,68
10:00:00	10,80
11:00:00	10,48
12:00:00	11,45
13:00:00	11,88
14:00:00	12,20
15:00:00	12,80
16:00:00	11,70
17:00:00	10,53
18:00:00	10,95
19:00:00	12,63
20:00:00	12,28
21:00:00	14,10
22:00:00	15,15
23:00:00	16,60