

**PAULA COSTA ARAÚJO**

**ESTUDO DO COMBATE AS PERDAS EM SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA – PARA REGIÃO DO BAIRRO  
MARACANÃ EM ANÁPOLIS, GOIÁS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: RHOGÉRIO CORREIA DE S. ARAÚJO**

**ANÁPOLIS / GO: 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

ARAÚJO, PAULA COSTA

Estudo do combate as perdas em sistema de abastecimento de água – Para a região do Bairro Maracanã, em Anápolis, Goiás

61P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- |                         |                                 |
|-------------------------|---------------------------------|
| 1. Controle de perdas   | 2. Redes                        |
| 3. Distribuição de água | 4. Simulação hidráulica         |
| I. ENC/UNI              | II. Bacharel (10 <sup>o</sup> ) |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO, Paula Costa. Estudo do combate as perdas em sistema de abastecimento de água – Para a região do Bairro Maracanã, em Anápolis, Goiás. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 61p. 2018.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Paula Costa Araújo

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo do combate as perdas em sistema de abastecimento de água – Para a região do Bairro Maracanã, em Anápolis, Goiás

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Paula Costa Araújo

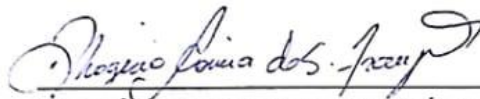
paulaarajocosta6@gmail.com

PAULA COSTA ARAÚJO

**ESTUDO DO COMBATE AS PERDAS EM SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA – PARA REGIÃO DO BAIRRO  
MARACANÃ EM ANÁPOLIS, GOIÁS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL


APROVADO POR:



RHOGÉRIO CORREIA DE S. ARAÚJO, Mestre (UniEvangélica)  
(ORIENTADOR)



RODOLFO RODRIGUES DE SOUSA BORGES, Especialista (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)



PAULO ALEXANDRE DE OLIVEIRA, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 26 de Novembro de 2018.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu companheiro Daniel Morais por todo o apoio e incentivo para que eu chegasse até o final desta etapa da minha vida. Aos meus colegas de trabalho Luiz Lelis, Nairdes Fernandes, Rogério Moura e Tânia Valeriano que me auxiliaram neste estudo. Ao professor Rhogério Correia, pela acolhida em ser meu orientador, no momento em que eu passava por dificuldades. E aos meus pais que sempre me orientaram a seguir o caminho dos estudos para conquistar os meus projetos.

Paula Costa Araújo

## RESUMO

O presente trabalho apresenta uma avaliação do controle de perdas de água, de maneira a realizar as ações de combate e redução de perdas. Para o desenvolvimento do trabalho, foi realizada uma ampla revisão bibliográfica, na qual é apresentada a conceituação geral sobre perdas de água, suas causas e ocorrências, indicadores, ações para redução, e uma abordagem detalhada quanto aos métodos existentes para avaliação de perdas e as ferramentas disponíveis. O método de avaliação para o controle das perdas baseia-se no balanço hídrico, utilizando o software gratuito EPANET 2.0 e foi aplicada no estudo de caso do sistema de abastecimento de água da região do DMC Maracanã, em Anápolis, Goiás. Foram levantados os dados de controle do sistema e realizados os ensaios de campo, com medições de pressão, modulações, utilização de válvulas redutoras de pressões, pesquisa com haste de escuta para determinação do local dos vazamentos não visíveis, substituição de hidrômetros, controle das vazões mínimas noturnas auxiliando nas ações de combate às perdas, de modo a possibilitar a redução real das perdas. Os resultados do diagnóstico da localização das perdas foram analisados, desenvolvendo-se uma estratégia para a redução contínua das perdas que recuperou 28,04% do volume perdido quando comparado com início da pesquisa.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Controle de perdas. Redes. Distribuição de água. Simulação hidráulica. Vazão mínima noturna.

## **ABSTRACT**

The The presente work presents an evolution of the control ol losses of water, in order to carry out the actions of combat and reduction of losses. For the development of the work a broad bibliographic review was carried out In which the general concept of water losses is presented, their causes and occurrences, indicators, actions for reduction and a detailed approach as for the existing methods for assessing losses and the available tools. The evaluation method for loss control is based on the water balance, using the free EPANET 2.0 software and was applied in the case study of the water supply system of the Maracanã DMC region in Anápolis, Goiás. The system control data were collected and the field tests were carried out with pressure measurement, modulations, use of pressure reducing valves, search with listening rod to determine the location of leaks not visible, replacement of hydrometers, control of the minimum nightly flows, aiding in actions to combat losses, in order to make it possible to reduce losses. The results of the diagnosis of the location of the losses were analyzed, developing a strategy for continuous reduction of losses that recovered 28.04% of the lost volume when compared to the beginning of the research.

### **KEYWORDS:**

Control of physical losses. Water distribution networks. Hydraulic simulation. Minimum night flow.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do município de Anápolis, Goiás.....	16
Figura 2 – Imagem digital da cidade de Anápolis, Goiás.....	17
Figura 3 – Balanço hídrico da área em estudo em 2017” .....	19
Figura 4 – Delimitação da área do DMC Maracanã.....	20
Figura 5 – Módulos do DMC Maracanã.....	21
Figura 6 – Manômetros analógicos .....	22
Figura 7 – Macromedidor eletromagnético .....	23
Figura 8 – Haste de escuta mecânica .....	27
Figura 9 – Geofone mecânico.....	27
Figura 10 – Exemplo de um registrador tipo Datalogger .....	29
Figura 11 – Perdas de água em diversos países segundo IBNET .....	34
Figura 12 – Índices de perdas por região.....	35
Figura 13 – Índice de perdas por prestador de serviço regional na distribuição de água .....	35
Figura 14 – Cruz de perdas reais .....	36
Figura 15 – Descrição de perdas reais e aparentes .....	38
Figura 16 – Descrição dos Tipos de Vazamentos, Perdas reais .....	39
Figura 17 – Relação de Vazão x Pressão – Fator N1 .....	41
Figura 18 – O Princípio da Modulação .....	42
Figura 19 – O programa de modelagem EPANET 2.0.....	44
Figura 20 – Utilização do DMC como ferramenta de Gestão.....	45
Figura 21 – Pressão x Vazamento em um Sistema sem o Controle de Pressão .....	46
Figura 22 – Pressão x Vazamento em um Sistema com Controle de Pressão.....	47
Figura 23 – Determinação do nível Econômico de Perdas.....	47
Figura 24 – Simulação com excesso de pressão, sem as VRP’s .....	49
Figura 25 – Simulação com as VRP’s .....	50
Figura 26 – Esquema de válvulas de ação indireta – com piloto .....	51

## LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 – Fator de Pesquisa e Índices de Perdas .....	54
---	----



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de Vazamentos .....	52
Tabela 2 – Fator de Pesquisa e Índice de perda.....	53

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CA	Cimento Amianto
DAIA	Distrito Agroindustrial de Anápolis
DMC	Distrito de Medição e Controle
EPA	Environmental Protection Agency
FAVAD	Fixed And Variable Area Discharge
FP	Fator de Pesquisa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBNET	Internacional Benchmarking for Watrand Sanitation Utilities
IP	Índice de Perda
IWA	International Water Association
PVC	Policloreto de polivinila
SAA	Subsecretaria de Assuntos Administrativos
SANEAGO	Companhia Saneamento de Goiás S.A.
SICSAN	Sistema de Informações Comerciais da SANEAGO
SNIS	Sistema nacional de Informações do Saneamento
VRP's	Válvulas redutoras de Pressão

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS .....	15
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
1.3 METODOLOGIA .....	16
<b>1.3.1 Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.2 Caracterização do sistema de abastecimento.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.3 Balanço Hídrico .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.4 Estudos preliminares.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.5. Implantação do DMC.....</b>	<b>20</b>
<b>1.3.6 Materiais utilizados .....</b>	<b>28</b>
<b>1.3.6.1</b> Medições de pressão instântenea .....	28
<b>1.3.6.2</b> Medições de pressão com Dataloggers .....	28
<b>1.3.6.3</b> Medição de vazão .....	29
<b>1.3.6.4</b> Detecção de vazamentos .....	29
<b>1.3.6.5</b> Programas utilizados .....	29
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>30</b>
2.1 SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	30
2.2 PERDAS DE ÁGUA .....	32
2.3 RELAÇÃO ENTRE VAZAMENTOS E PRESSÃO .....	39
2.4 EPANET 2.0 .....	42
2.5 DISTRITO DE MEDIÇÃO E CONTROLE.....	45
2.6 VAZÃO MÍNIMA NOTURNA.....	46
<b>3 RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
3.1 SIMULAÇÃO HIDRÁULICA .....	49
3.2 INTERVENÇÃO NO SISTEMA PARA CONTROLE DAS VAZÕES E PRSSÕES COM INSTALAÇÕES DE VRP's.....	51
3.3 PESQUISAS DE VAZAMENTOS OCULTOS ATRAVÉS DE HASTES DE ESCUTA.....	51

3.4	SUBSTITUIÇÃO DE HIDRÔMETROS COM VOLUME ACIMA DE 1.000 M <sup>3</sup> .....	52
3.5	AValiação DE PERDAS .....	53
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>56</b>

## **REFERÊNCIAS**

# 1 INTRODUÇÃO

A compreensão das relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente constitui etapa inicial e importante na análise para implantação de projetos de Saneamento Básico e deve conferir meios para estabelecer certa ordem de prioridades e apontar o direcionamento adequado das ações, uma vez que cada população a ser beneficiada possui características distintas. Isto implica em dimensionar os efeitos diretos (positivos e negativos) na saúde e meio ambiente, como também os custos com investimentos em projetos.

O aumento populacional urbano, aliado ao processo de industrialização, nos últimos anos elevou substancialmente o consumo de água no planeta. Essa situação gerou concentração de demanda por água potável e a contaminação dos corpos hídricos. A escassez de água tornou-se realidade a partir de então.

Para Heller e Nascimento (2005), um dos principais desafios para o setor de saneamento é o atendimento a populações pobres que estão relacionados a questões de natureza econômico-financeira como também tecnológica-gerencial e devem ser encarados no conjunto de políticas integrativas destinadas a combater a exclusão social. Muitas são as dificuldades das empresas de saneamento em manter o sistema de abastecimento de água tratado funcionando com a eficiência desejada.

Para Silva Júnior (2013), um dos grandes desafios da atualidade, é o de garantir a sustentabilidade do crescimento das cidades, conciliando o desenvolvimento econômico e social, com o processo de urbanização. Neste sentido, devem ser adotadas políticas públicas em consonância com o princípio constitucional do desenvolvimento sustentável, notadamente quanto à concretização de direitos humanos básicos de infraestrutura, como saneamento básico ou ambiental e obras de drenagens.

No setor de saneamento, as perdas de água na distribuição são significativas. O gerenciamento ineficiente dos sistemas de abastecimento, aliado à vida útil avançada da infraestrutura das redes, ramais e a falta de investimento são responsáveis por perdas de mais da metade do volume produzido. Dessa forma, a gestão das perdas tem sido evidenciada na maioria dos sistemas de abastecimento público.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Uma importante alternativa para o equilíbrio do sistema de distribuição é a setorização de redes. Ela consiste basicamente na divisão de uma rede malhada em setores de

abastecimento isolados. Dessa maneira, permite o razoável controle de pressões e a otimização da operação das redes.

Para o desenvolvimento do trabalho foi realizado a atualização do cadastro de redes existentes, o conhecimento do comportamento hidráulico, simulações hidráulicas através da modelagem matemática com uso de programas computacionais, a elaboração e implantação de projeto de modulações com as intervenções propostas, a pesquisa de vazamentos ocultos, a substituição de hidrômetros com altas medições e o acompanhamento do sistema colaborando na tomada de decisões pelos gestores.

No contexto deste trabalho, a cidade de Anápolis segundo o boletim Informativo da Companhia de Saneamento de Goiás S.A (SANEAGO), apresenta dados de 2015 a 2018 com índices de perdas médio anual de 41,65%. Esse indicador encontra-se acima da média nacional brasileira, que é de 37%, segundo o Sistema Nacional de Informações do Saneamento (SNIS, 2013). Na Região de abastecimento denominada DMC Maracanã, objeto de estudo, o índice de perdas médio anual em 2015 era de 61%, era a região da cidade que possuía o grande índice de vazamentos por setor dentre todos os setores de Anápolis. Por isso, houve a motivação para a realização deste trabalho.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Nesse contexto, o objeto de estudo delineado para esse trabalho é a gestão das perdas de água tratada nas redes de distribuição da região Maracanã, um setor pertencente à Cidade de Anápolis, com propósito único e exclusivo de contribuir para a redução das perdas, de modo que este estudo possa servir como referência a elaboração de novas pesquisas neste assunto.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Na busca da otimização do sistema de abastecimento público existente e redução dos índices de perdas mensal e média anual. Os objetivos específicos foram: a) mostrar que a simulação hidráulica pode auxiliar no planejamento de novos setores, bem como nas tomadas de decisões para medidas corretivas dos sistemas existentes; b) Diminuir o volume de água

perdido através do controle de pressão e agilidade na retirada de vazamentos; c) Diminuir o número de incidência de vazamentos na região de estudo.

### 1.3 METODOLOGIA

#### 1.3.1 Caracterização da área de estudo

Para o trabalho de controle de perdas físicas nas redes de distribuição de água tratada da Região urbana do setor Maracanã, foram considerados 28,62 Km de redes, pertencente ao Sistema de Abastecimento do Piancó, na Anápolis, Goiás.

**FIGURA 1 - Localização do município de Anápolis, Goiás.**



Fonte: INTERNET, 2018.

O município de Anápolis (GO), onde o estudo foi realizado, está situado no Planalto Central do Brasil, a 1.075m de altitude, entre as coordenadas geográficas 16°05'30'' e 16°29'49'' de latitude sul e 48°45'14'' e 49°13'17'' de longitude oeste, a aproximadamente 53 km da capital, Goiânia através de pista duplicada da BR-153, que liga a cidade ao sul e ao norte do país, ilustrada na Figura 1. Ainda conta com as rodovias federais BR-060 (que liga Anápolis à Brasília através de pista dupla) e BR- 414 (que liga Anápolis à Brasília, através de

Corumbá de Goiás) e as estaduais GO-222 (para Nerópolis) e GO-330 (para Leopoldo de Bulhões). É um dos maiores entroncamentos rodoviários do país, estando a pouco mais de 130 quilômetros da capital federal.

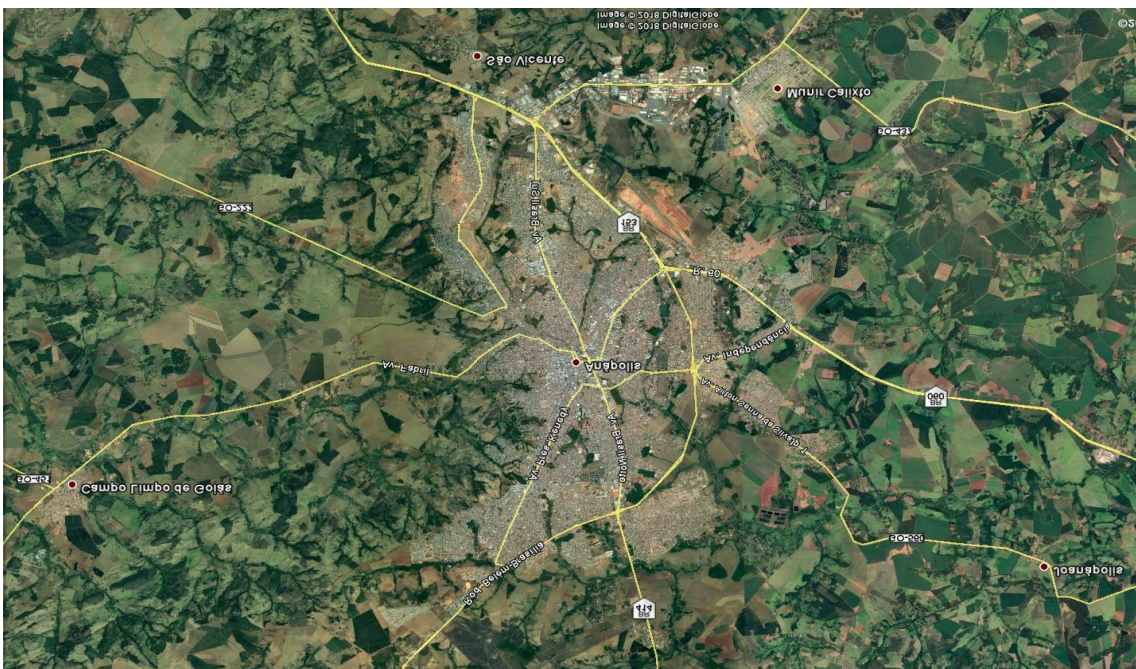
O município está localizado na onde se inicia o Planalto Central, no sul do Estado de Goiás, macro região do Centro-Oeste. Está no eixo Goiânia-Brasília, representando 0,32% da área do Estado de Goiás, Figura 2. A área urbana ocupa 13.094,94 ha, 15% da área total do município, Segundo o Censo do IBGE para 2010, sua população é de 334.613 habitantes.

O município tem relevo ondulado, fazendo parte do planalto central brasileiro, podendo ser subdividido em cinco tipos, com características peculiares, sobretudo no que diz respeito à forma, ao espaçamento interfluvial e à potencialidade erosiva.

O Clima do município é do tipo tropical de altitude. A temperatura, ao longo do ano, oscila entre 8°C (junho-julho) a 33°C (janeiro-março), mas a média fica entre 18°C e 23°C. O período mais frio vai de maio a setembro, e o mais quente, de outubro a abril. Existem duas estações distintas, a da seca, que coincide com o período de frio, e a das chuvas, que coincide com o período de calor.

Sua bacia hidrográfica é composta pelos ribeirões João Leite, Antas, Piancó e Padre Sousa. A Microbacia do ribeirão Piancó é uma área de relevante importância para o município de Anápolis e região, devido ao potencial em recursos hídricos, especialmente como abastecimento público de grande parte da cidade de Anápolis.

**FIGURA 2 – Imagem digital da cidade de Anápolis, Goiás.**



Fonte: GOOGLE MAPS, 2018.



### 1.3.2 Caracterização do sistema de abastecimento

A cidade de Anápolis atualmente é abastecida por dois sistemas de produção (captação e Tratamento), a região sul da cidade com aproximadamente 20.000 ligações de água é abastecida pelo SAA DAIA, localizado no distrito Agroindustrial de Anápolis, captando água no ribeirão Caldas, com vazão disponibilizada de 150 L/s. Que abastece vários centros de reservas, compostos por reservatórios apoiados e reservatórios elevados.

A região central e Norte da cidade possuem aproximadamente 113.000 ligações de água é abastecida pelo SAA Piancó, captando água no ribeirão Piancó localizado após a Base Aérea de Anápolis, no sentido norte, com vazão disponibilizada de 860 L/s. Com vários centros de reservação que abastece diferentes regiões da cidade.

A área de estudo esta localizado na região Centro Norte da cidade, portanto é abastecida pelo sistema produtor Piancó, o Centro de reservação que abastece o DMC Maracanã é denominado de Centro de Reservação Vila dos Oficiais, possui um reservatório semi enterrado com capacidade de reservação de 2.700 mil litros de água.

A região do DMC Maracanã possui rede de distribuição de água do tipo mista (malha com ramificações) e atualmente atende 3.455 ligações todas hidrometradas, por meio de 28,62 mil metros de redes.

As redes existentes apresentam diâmetros variados, entretanto, grandes partes são de 50 mm, em Cimento Amianto ponta-bolsa (CA). A idade média das redes é de aproximadamente 40 anos. Foram construídos quatro módulos e instalados válvulas redutoras de pressão.

### 1.3.3 Balanço Hídrico

A análise do balanço hídrico da área de estudo foi calculado para o ano de 2017 com dados fornecidos pelo Sistema de Informações Comerciais da SANEAGO – SICSAN, a montagem dele seguiu a metodologia proposta pela IWA.

Na área de estudo todo o consumo de água é faturado, entretanto o consumo de água não medido e não faturado corresponde ao consumo de água para atividades operacionais especiais do sistema, os quais também podem ser calculados como perdas. Grande parte das perdas de água aparentes é devido a imprecisões de medições dos hidrômetros dos clientes, porém estima-se que esse percentual seja baixo, pois a SANEAGO trabalha com substituição dos hidrômetros quando eles atingem a leitura de 1000 m<sup>3</sup> de água.

Algumas regiões do estado possuem elevados índices de irregularidades, como a região do entorno de Brasília, entretanto na região do DMC Maracanã o consumo ilegal ou não autorizado de água é bastante pequeno, quase que desprezível. Portanto a maioria das perdas reais é devido aos vazamentos nas redes de distribuição, nos ramais e padrões das ligações dos clientes.

**FIGURA 3 - Balanço hídrico da área em estudo em 2017.**

Volume de Água na entrada do Setor (m <sup>3</sup> /mês) 67.131,00	Consumo autorizado (m <sup>3</sup> /mês)	Consumo autorizado 41.729,00 (m <sup>3</sup> /mês)	Consumo medido 62,16%	Água Faturada 41.729,00 (m <sup>3</sup> /mês)
			Consumo não medido 00%	
	Consumo autorizado não faturado 00 (m <sup>3</sup> /mês)	Consumo medido 00%	Água não convertida em receita 25.402,00 (m <sup>3</sup> /mês)	
		Consumo não medido não faturado 00%		
	Perdas de água (m <sup>3</sup> /ano)	Perdas Aparentes 6.605,00 (m <sup>3</sup> /mês)		Consumo não autorizado 10%
				Imprecisão da medição 90%
Perdas Reais 18.797,00 (m <sup>3</sup> /mês)		Vazamentos 100%		

Fonte: AUTORA, 2018.

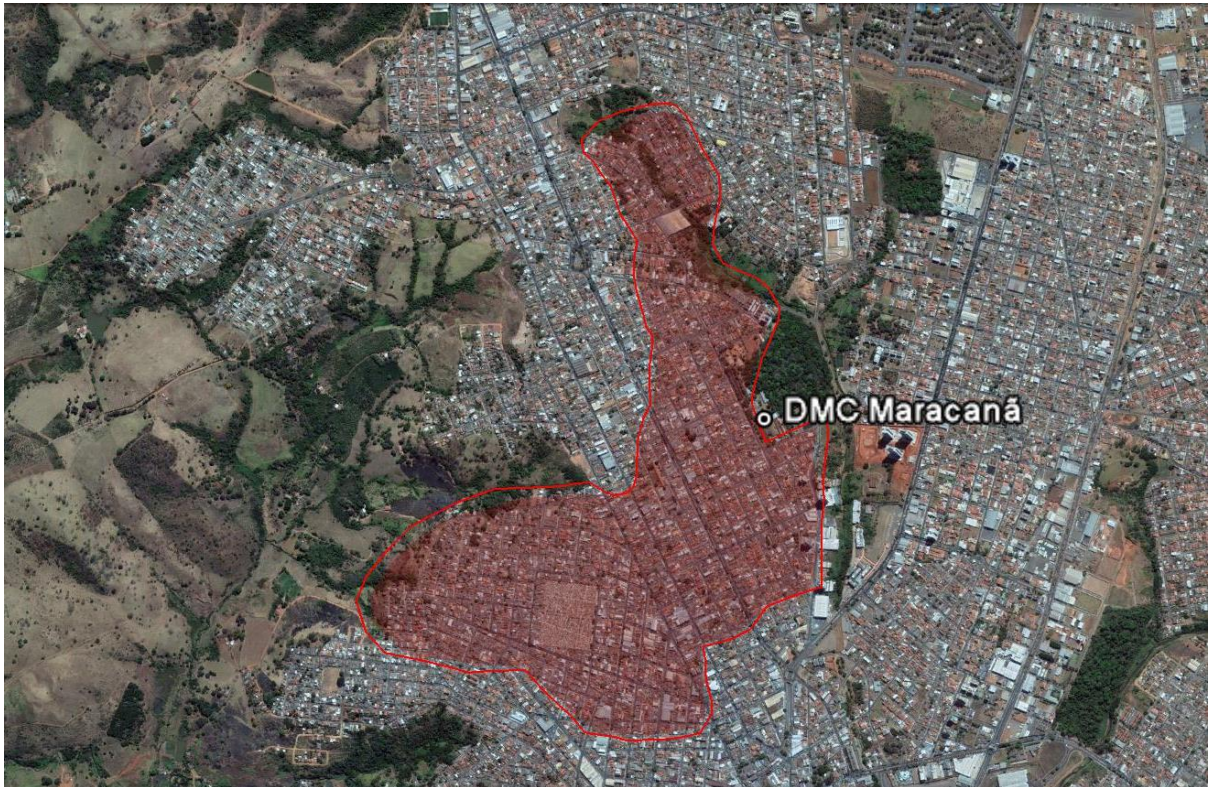
#### 1.3.4 Estudos preliminares

Nessa fase foi feita a avaliação dos dados do cadastro técnico, da conformação das zonas de abastecimento e a definição dos critérios para criação e implantação do DMC no sistema de distribuição. Foram também definidos os pontos de interesse para as mediações de pressão instantâneas e pressão e vazão prolongadas.

Com o intuito de minimizar os transtornos decorrentes da implantação do projeto existe um convênio com o poder público municipal para as atividades de corte e recuperação

das vias públicas asfaltadas, bem como a programação de comunicação à população sobre os desabastecimentos da região, através dos canais de comunicação da SANEAGO.

**FIGURA 4 – Delimitação da área do DMC Maracanã.**



Fonte: GOOGLE EARTH, 2015.

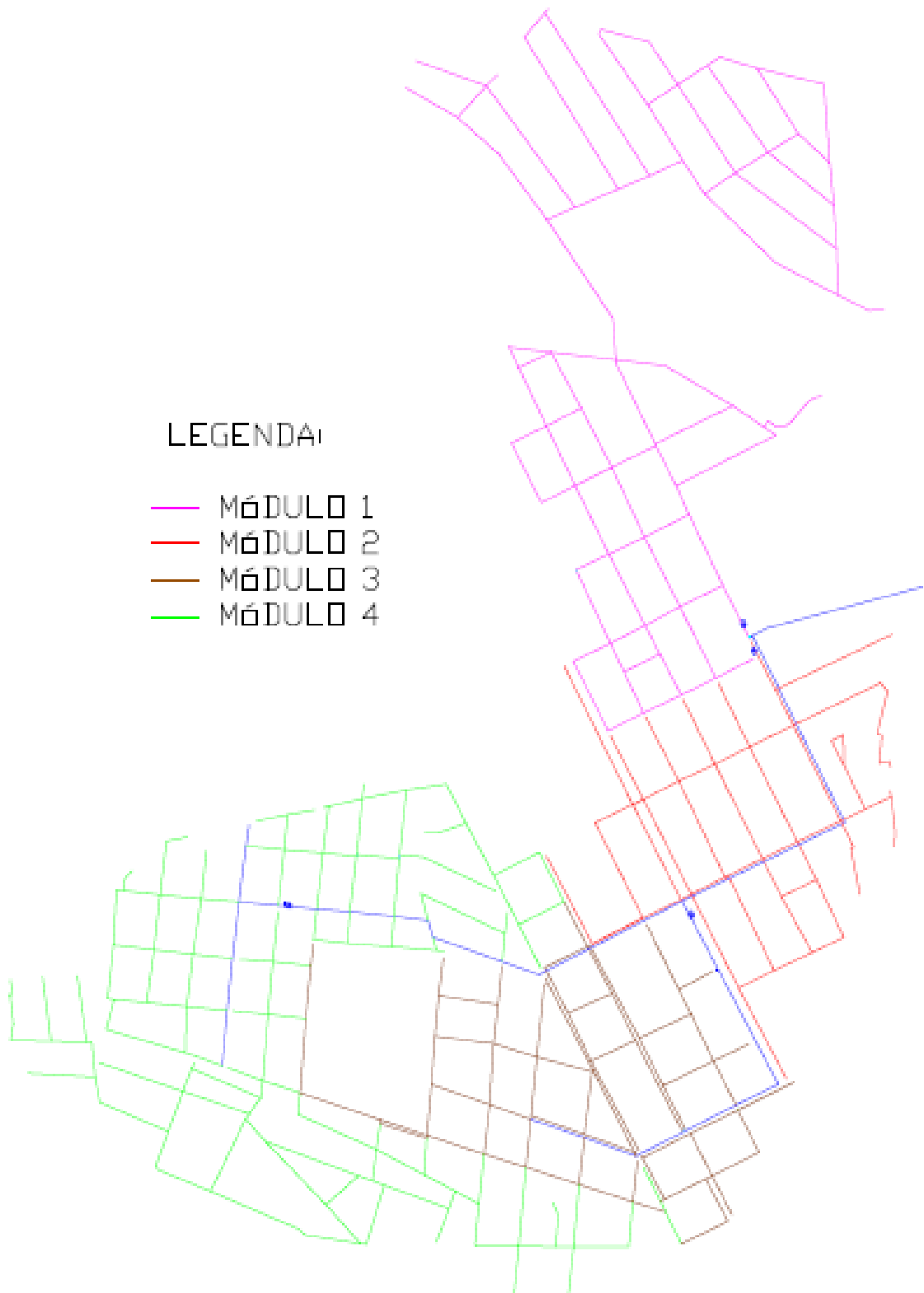
### **1.3.5 Implantação do DMC**

O DMC foi definido aproveitando com as zonas de abastecimentos existentes. Dessa forma a região analisada neste trabalho configurava um DMC, no qual foi implantado o macromedidor com capacidade para registro e armazenamento de dados por períodos prolongados.

Optou-se por dividir a zona de abastecimento do DMC Maracanã, com quatro sub módulos, com objetivo de reduzir a amplitude das pressões em cada módulo e o número de módulos a serem implantados. Para que essa configuração fosse efetivada foi necessário intervir em vários pontos específicos promovendo a separação das redes e isolamento total do DMC em análise.

A composição do DMC ficou com quatro módulos, totalizando 3.455 ligações. Conforme ilustrado na Figura 4.

FIGURA 5 – Módulos do DMC Maracanã.



Fonte: AUTOCAD, 2010.

As medições de pressões instantâneas em locais e horários estratégicos foram efetuadas e anotadas no cadastro técnico a fim de se permitir o reconhecimento dos pontos de

pressões críticas do sistema de abastecimento ao longo de toda a execução do projeto. Essas medições foram aferidas diretamente nos cavaletes dos hidrômetros dos usuários através de manômetros analógicos, apresentados na Figura 5.

Para a execução do teste de estanqueidade foram realizadas medidas de pressão instantâneas em diversos pontos das áreas de limite dos módulos de distribuição.

**FIGURA 6 – Manômetros analógicos**



Fonte: GOOGLE IMAGENS, 2018.

As medições de pressão e vazão por período estendido ocorreram propositalmente nos pontos definidos como sendo as entradas dos distritos de medição e controle e em pontos específicos de pressão crítica definidos nos estudos preliminares. Os equipamentos de medição e registro foram programados para coletar os dados de vazão e pressão durante sete dias consecutivos a cada quinze minutos.

Os dados registrados através de dataloggers em períodos estendidos possibilitaram a verificação dos efeitos da sazonalidade. Essas informações forneceram os parâmetros para a modelagem hidráulica, melhorias em pontos de abastecimento e para a calibração das simulações.

A mediação de vazão através do macromedidor eletromagnético ocorreu na saída do anel e distribuição por gravidade, em rede de 300 mm de diâmetro. Nesse local a medição de pressão foi efetuada através de sensor acoplado em maleta registradora.

**FIGURA 7 - Macromedidor eletromagnético.**

Fonte: Autora, 2018.

A modelagem do sistema de distribuição de água foi baseada no cadastro técnico das redes, elaborado no programa Autocad, que forneceu o número de ligações, diâmetros e comprimentos das redes, tipos de material e a configuração esquemática para composição dos trechos e nós. O processo de conversão e importação do cadastro de redes para o Epanet utilizou o software Conversos do Autocad (dxf) para o Epanet (inp).

No ambiente Epanet foi feito manualmente o lançamento das cotas topográficas dos nós intermédio do programa Google Earth (em razão da inexistência do levantamento topográfico da área). Na sequência foram alterados os diâmetros previamente definidos no processo de importação para os trechos da rede. Utilizou-se da fórmula de Hazen-Williams com coeficiente de rugosidade  $C$  igual a 135 em função da idade avançada das redes.

Para o cálculo das demandas nodais foi considerado o volume macromedido produzido no sistema de abastecimento para o ano de 2015. O procedimento consistiu em obter o número de ligações contribuintes para cada trecho, a partir do cadastro atualizado de contas, e distribuí-las nos nós conforme as áreas de influência destes.

Dessa forma a demanda nos nós correspondeu à soma dos consumos de toda as ligações reais em sua área de influência. Como a região em estudo trata-se de uma região residencial, não houve necessidade de lançamentos de consumos pontuais relativos a grandes consumidores.

O padrão de variação horária da demanda adotado foi obtido através da medição da vazão de entrada na rede de distribuição. A medição foi realizada por meio de medidor de vazão eletromagnético instalado na entrada do distrito de medição e controle, absorvendo dessa forma a sazonalidade semanal. Os dados foram coletados a cada quinze minutos e a

vazão horária foi estabelecida a partir da média de cada hora para todos os dias da semana. Para cada intervalo de horário, obteve-se o fator multiplicativo em relação ao valor médio de todo o período.

Para construção da modelagem hidráulica foi considerado o reservatório como sendo de nível fixo com carga hidráulica variável no tempo. Dessa forma definiu-se o padrão temporal dos níveis para 24 horas de acordo com o histórico de dados fornecidos pelo sistema supervisor existente.

O principal parâmetro inserido nas propriedades do reservatório foi a carga hidráulica (cota do fundo + altura de pressão).

Neste trabalho foi utilizado o programa EpanetCalibrator. Não sendo objeto de estudo julgar ou validar qual a melhor ferramenta de calibração disponível, e sim a aplicação nas simulações propostas para validar o presente estudo.

Cabe resaltar que para este estudo a calibração dos volumes e da piezometria "in loco" confrontando a modelagem hidráulica computacional do Epanet foi realizada por uma equipe técnica específica que atua na SANEAGO em Goiânia atendendo os distritos do interior do estado. Foram identificados pontos com indícios de anomalia no sistema de distribuição de água, os quais foram pesquisados e corrigidos por essa equipe.

Segundo Cheung (2004), o EpanetCalibrator equivale à versão melhorada do Epanet Desktop que possui módulo de calibração de modelos (rugosidade, parâmetros de vazamentos). Esse software possui módulos de classificação de setores, entrada de dados de campo (pressão e vazão) com importação em .csv e o módulo de calibração (baseado na tecnologia de algoritmos genéticos).

Portanto foram lançadas as informações de pressão nos nós e de vazão nos trechos observada a entrada do DMC e feitas as calibrações no programa.

O projeto para divisão das redes de distribuição de água em módulos, seguiu os preceitos da NBR 12218 de 1994. Segundo essa norma um setor de abastecimento deve abranger uma área que apresente uma ou mais das seguintes características.

- Extensão de rede: 7 mil a 35 mil metros;
- Número de economia: 600 a 3.000 unidades;
- Área: 40.00 a 200.00 m<sup>2</sup>.

Alguns critérios de dimensionamento estabelecidos não puderam ser atendidos, principalmente aqueles relacionados ao tamanho dos setores. Atendeu-se, as vazões de abastecimento desses locais, que foram calculadas atendendo os padrões da Norma e,

posteriormente verificadas as distorções juntamente com as pressões através da modelagem computacional.

Os setores foram nomeados seguindo a codificação numérica sequencial do distrito de execução. Foram também definidas e registradas as áreas de influência de cada módulo. De forma a facilitar a execução foram definidas e detalhadas as ações com seus respectivos endereços. Para cada setor foram também definidos o registro de manobra e de descarga e indicadas as suas localizações no projeto.

Foi especificada uma lista de materiais elaborada para cada setor, contendo a descrição detalhada de todo o quantitativo de peças e de intervenções programadas para execução de cada módulo, relacionado às ações programadas para cada um.

Foram desenvolvidas muitas de atividades para a implantação dos módulos de distribuição. Previamente foram testados os equipamentos que já estavam instalados na rede de distribuição, conferindo o que estava em perfeito funcionamento e quais necessitava de manutenção ou substituição, também foi verificada a disponibilidade, quantidade e funcionamento de todos os materiais e equipamentos necessário para execução das ações programadas. Feito isso, foi checada a localização das redes e de suas válvulas e de forma programadas as intervenções, garantindo livre acesso ao local. Nessa etapa foram verificados também o tipo de pavimento das vias, calçadas, proximidade de equipamentos públicos e condições de tráfego.

O projeto executivo elaborado direcionou as intervenções da seguinte forma:

Localização dos registros de manobras e/ou de descargas (quando existentes) e teste de funcionamento;

Capeamento para separação de redes previamente interligadas, permitindo a separação dos setores;

Implantação de registros de manobras ou de descargas com a construção da cixa de proteção com conjunto de concreto pré-moldado de manilha, anel e tampão.

Sobreposição de uma rede à outra (quando ambas se encontravam interligadas) com a finalidade de restringir a alimentação dos setores;

Interligação de pontas de redes permitindo a circulação de água nas quadras;

Interligação de redes em anéis de distribuição melhorando as condições de abastecimento.

O teste de estanqueidade é o procedimento foi utilizado como decisivo para a consolidação da criação de um setor de abastecimento. O teste de estanqueidade consiste na verificação em campo do completo isolamento do setor em relação ao restante da rede.



Para a execução do teste foi feita a indicação em planta cadastral dos registros de entrada e descarga do módulo, bem como daqueles que porventura interligam setores entre si. Em campo os registros foram previamente localizados e verificadas as condições de operação de cada um, substituindo ou executando as devidas manutenções caso necessárias.

A operação foi realizada interrompendo a entrada de água no setor por intermédio do fechamento de válvulas, e monitorando na sequência as pressões instantâneas através dos manômetros até se obter pressões nulas na rede. Para facilitar o procedimento, em algumas situações, foram realizadas descargas de rede com o intuito de reduzir o tempo necessário para a finalização do teste. Constatado o perfeito isolamento do setor é dado como encerrado o teste.

Caso contrário, são necessárias investigações de possíveis interligações e programar as ações corretivas para posterior aplicação do novo teste.

Após o encerramento de cada teste foi definido e executado monitoramento das pressões até o reestabelecimento do abastecimento na área. Caso constatado algum problema de desabastecimento, foram disparadas ações pontuais para correção dos mesmos.

Para identificar e quantificar as perdas físicas, foram realizados teste de estanqueidade nos módulos com análises dos fatores de pesquisa através da vazão mínima noturna no DMC Maracanã.

Neste sistema foi utilizado através dos dataloggers as coletas das medições de vazões para um período de 24 horas e calculada a vazão mínima noturna nos intervalos de dias sem ações de implantação que pudessem gerar intermitências no sistema. Com esses dados foi efetuado o cálculo do fator de pesquisa e, encontrado valores acima de 0.30 (evidência de perdas não inerentes) foram programadas atividades de pesquisa de vazamentos não visíveis e eventualmente investigação visual de vazamentos visíveis na área em análise.

A pesquisa de vazamentos não visíveis foi realizada através de hastes metálicas específicas (varetas), Figura 8, posicionadas diretamente sobre a tubulação do cavalete dos hidrômetros com o propósito de se detectar ruídos típicos de vazamentos nos ramais ou até mesmo em redes. Para essa finalidade, funcionários treinados executaram “varetamentos” nas áreas selecionadas e os casos de suspeita de vazamentos foram anotados em planilhas específicas com endereço, data, horário e número de hidrômetro para posterior confirmação. Após essa etapa, em horários específicos (ou até mesmo de madrugada), executou-se a confirmação e localização mais aproximada dos vazamentos com geofones (equipamentos mais precisos), Figura 9, e fez-se o registro de sua marcação ou amarração para posterior retirada.

A retirada dos vazamentos detectados foi realizada manualmente ou através de caminhões com retroescavadeiras acopladas. Após essa etapa, se diagnosticado novo fator de pesquisa acima do limite especificado, eram refeitas a pesquisa e a retirada de vazamentos.

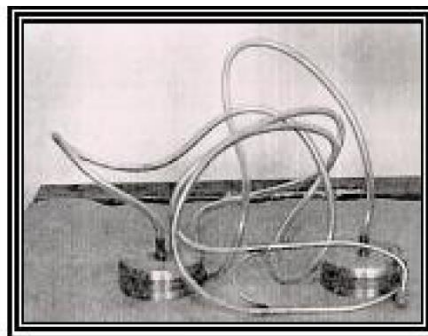
**FIGURA 8 – Haste de escuta mecânica.**



Fonte: Guia Prático de pesquisa de vazamentos, 2005.

Na figura 8 apresenta -se um modelo de haste de escuta mecânica, sendo uma haste de metal com comprimento de 1,0 e 1,5m. Essa haste de escuta de ruído é também conhecida como “stick”. É menos sensível que o geofone eletrônico. A sua faixa de operação situa-se entre 200 a 1500 Hertz. Detecta ruído de vazamento com mais facilidade na faixa de 600 a 800 Hz.

**FIGURA 9 – Geofone mecânico.**



Fonte: Guia Prático de pesquisa de vazamentos, 2005.

O Geofone mecânico, apresentado na figura 9 utiliza-se o princípio da estetoscopia na detecção de vazamentos. É menos sensível que no geofone eletrônico.

Com resultado satisfatório obtido pelo fator de pesquisa é feita a análise de perdas para região estudada. Essa atividade é realizada apurando-se o IP da área em estudo obtido no fechamento do ciclo de consumo, e comparando-o com o valor de referência da empresa (IP =

27%). O índice de perdas da área em estudo é calculado pela razão do volume macromedido no DMC pelo volume faturado (micromedido) no mês de referência da análise. A operação possui dois desdobramentos:

Se o IP da área em estudo for maior que o valor referência, são disparadas ações de combate às irregularidades no setor;

Se o IP da área em estudo for menor ou igual ao valor referência, são encerradas as ações naquela região até o próximo ciclo de faturamento.

As atividades de combate à irregularidade envolveram vistorias em campo para as cartas com consumo inferior à 50% do consumo estimado, vistorias nas contas suprimidas com e fonte alternativa, lacração de todos os hidrômetros com lacre antifraude e remoção de hidrômetros internos aos lotes para fora destes.

### **1.3.6 Materiais utilizados**

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados diversos equipamentos e maquinários para as investigações e execuções de campo, além de softwares específicos para simulação e calibração hidráulica.

#### **1.3.6.1 Medições de pressão instantânea**

Manômetros analógicos da marca Acros com escala de 0 a 100 mca e de 0 a 30 mca com mangueiras de engate rápido de 3/4" adaptável às torneiras e cavaletes dos hidrômetros foram utilizados nas medições instantâneas.

#### **1.3.6.2 Medições de pressão com Dataloggers**

As medições de pressão por períodos prolongados foram feitas a partir de maletas registradoras com sensores da marca Smar e coletores e armazenadores de dados do modelo Log Box – AA da marca Novus com uma ou duas das entradas de dados.

**FIGURA 10 – Exemplo de um registrador tipo Datalogger.**



Fonte: Guia Prático de pesquisa de vazamentos, 2005.

#### 1.3.6.3 Medição de vazão

As medições de vazão foram feitas a partir de macromedidor da marca SIEMENS tipo eletromagnético. O coletor e armazenador de dados utilizado foi também o modelo Log BOX – aa DA MARCA Novus com uma ou duas entradas de dados.

O programa utilizado para descarregar e converter as informações armazenadas em dados editáveis através dos dataloggers, tanto no caso de vazão como pressão, foi o Log Chart II.

#### 1.3.6.4 Detecção de vazamentos

Para pesquisa de vazamentos não visíveis foram utilizados dois equipamentos: haste metálica de escuta e geofone eletrônico. As hastes metálicas de escuta utilizadas foram do tipo mecânica da marca Metalvax modelo HE MIC e os geofones utilizados foram do tipo eletrônico da marca Yamatek modelo TEC 0506.

#### 1.3.6.5 Programas utilizados

Além dos softwares Epanet, Google Earth, Epanet Calibrator e Log Chart II já citados ao longo do trabalho outros programas também foram utilizados.

Para obtenção dos dados do cadastro técnico de redes e para o desenho do projeto de setorização foi utilizado o programa Autocad 2015 desenvolvido pela Autodesk.

Para a edição das informações coletadas pelo dataloggers, a importação e exportação de dados dos programas Epanet e Epanet Calibrator, bem como para a confecção dos gráficos e tabelas utilizados no presente trabalho foi utilizada a planilha eletrônica Excel integrante do pacote Office desenvolvido pela Microsoft Corporation.

O software QGIS foi utilizado como ferramenta acessória na confecção do mapa de calor dos vazamentos nas áreas dos DMCs e auxiliou na microcalibração dos coeficientes emissores.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Para Turolla (2002) a insuficiência de infraestrutura de saneamento é considerada uma das raízes da pobreza, uma vez que sem o acesso ao saneamento básico uma parcela da sociedade está mais suscetível às doenças de veiculação hídrica, as quais reduzem a capacidade de trabalhar e aumenta a mortalidade. E ainda para o autor a carência de investimentos no setor de saneamento traz diversas implicações negativas para o setor econômico do país visto que para diversos empreendimentos a infra estrutura básica de saneamento é indispensável.

“No caso brasileiro, os aspectos econômico-financeiros dos serviços públicos de saneamento básico sempre estiveram diretamente associados aos arranjos institucionais de gestão, especialmente as formas de sua organização e prestação. Desde meados do séc. XIX a prestação desses serviços tem ocorrido mediante arranjos institucionais híbridos com a participação de agentes da união, dos estados e dos municípios interagindo de diversas formas, algumas vezes de modo cooperativo, outras concorrentemente, e ainda com presença significativa do setor privado em determinadas épocas e regiões (BRASIL, 2014:32).”

Azevedo Neto (1998) considera que um sistema de abastecimento de água é o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água a uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos. Essa água fornecida pelo sistema deverá ser em quantidade suficiente e da melhor qualidade, do ponto de vista físico, químico e bacteriológico.

De acordo com Tsutiya (2006), os componentes do sistema de abastecimento de água são:

- Manancial: é o corpo de água superficial ou subterrâneo, de onde é retirada à água para o abastecimento. Deve fornecer vazão suficiente para atender a demanda de água no período de projeto, e a qualidade dessa água deve ser adequada sob o ponto vista sanitário.

- Captação: Conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de águas destinada ao sistema de abastecimento.

- Estação elevatória: conjunto de obras e equipamentos destinados a recalcar a água para a unidade seguinte. Em sistemas de abastecimento de água, geralmente há de várias estações elevatórias, tanto para o recalque de água bruta, como para o recalque de água tratada. Também é comum a estação elevatória, tipo booster, que se destina a aumentar a pressão e/ou vazão em adutoras ou redes de distribuição de água.

- Adutora: canalização que se destina conduzir água entre as unidades que precedem a rede de distribuição. Não distribuem a água aos consumidores, mas podem existir as derivações que são as sub-adutoras.

- Estação de tratamento de água: conjunto de unidades destinado a tratar a água de modo a adequar as suas características aos padrões de potabilidade

- Reservatório: é o elemento do sistema de distribuição de água destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição.

- Rede de distribuição: parte do sistema de abastecimento de água formada de tubulações e órgão acessórios, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendada.

Levar água tratada aos mais diversos setores de qualquer localidade passam por uma série de desafios e obstáculos, e neste cenário, a redução de perdas é assunto premente, portanto segue as normativas para se trabalhar com projetos e concepções de sistemas de abastecimento de água.

Para elaboração de projetos de sistemas de abastecimento de água, são aplicadas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, relacionadas a seguir.

- NBR 12211 – Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água, promulgada em 1992.

- NBR 12212 – Projeto de Poço para Captação de Água Subterrânea, promulgada em 1992.

- NBR 12213 – Projeto de Captação de Água de Superfície para Abastecimento Público, promulgada em 1992.

- NBR 12215 – Projeto de Adutora de Água para Abastecimento Público, promulgada em 1991.

- NBR 12216 – Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público promulgada em 1992.

- NBR 12217 – Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para abastecimento Público promulgada em 1994.

## 2.2 PERDAS DE ÁGUA

Segundo Trhrnton, Sturm e Kunkel (2008) o somatório das perdas físicas (reais) e não físicas (aparentes), mais consumo não faturado autorizado pode ser definido como água não faturada e se traduz em perdas de água.

Considerando que no Brasil, o órgão Governamental responsável pela coleta de dados de perda e faturamento nas concessionárias de água é o Ministério da Cidades, pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2014), temos que a seguinte definição as perdas de água se dividem em perdas reais e aparentes.

De acordo com Cortes (1997) as perdas reais, também conhecidas como perdas físicas, referem-se à água disponibilizada para distribuição que não chega aos consumidores. Isto acontece devido a fatores limitantes no desenvolvimento de redes de distribuição como vazamentos em adutoras, redes ramais, conexões, reservatórios e outras unidades operacionais do sistema. Principalmente os vazamentos em tubulações da rede de distribuição, provocados na sua maior parte pelo excesso de pressão, seguidos pela qualidade dos materiais utilizados, a idade das tubulações, dentre outros fatores.

De acordo com Alegre (2000), as perdas aparentes, também chamadas de perdas não físicas, correspondem ao volume de água que é consumida pelo usuário e não faturada pelo serviço. São normalmente expressivas e podem ocorrer devido a erros de medição nos hidrômetros (inoperantes, com submedição, erros de leitura, fraudes, dimensionamento, manutenção dos hidrômetros), ligações clandestinas, falhas no cadastro comercial, etc.

Segundo Marcka (2004), quando levamos em consideração os volumes de perdas reais eles são significativos, pois quase a metade das perdas ocorre devido aos vazamentos nos sistemas de abastecimento. Sendo que aproximadamente temos de 70% a 90% deste volume ocorrendo na distribuição de água.

Considerando Aquino (2007). que todos os sistemas de Abastecimento do mundo possuem “perdas”, entretanto nos sistemas de primeiro mundo as perdas são menores, porém o combate às perdas é limitado pela eficiência técnica, aquele possível de ser alcançado utilizando todas as técnicas, tecnologias e recursos disponíveis no momento; e pelo custo econômico, pois deve analisar o nível de perdas em que o custo para recuperar um determinado volume supera o custo de produção e distribuição desse volume; geralmente este limite é atingido antes do limite técnico.

Pesquisas que levam a uma melhor eficiência do sistema de distribuição de água e do controle de perdas buscam pela padronização dos indicadores para caracterizarem as perdas



do sistema de abastecimento de água, terminaram por adotar a seguinte série de indicadores, índice de vazamento da infraestrutura, litros por ramal por dia, litros por ramal por dia por metro de pressão e metro cúbico por quilômetro de rede por hora. A SANEAGO adotou o índice percentual de perdas na distribuição por ser o indicador tradicionalmente utilizado no Brasil pelo SNIS e de fácil compreensão, por este motivo também vamos trabalhar com esse indicador.

O índice de perdas na distribuição (IP) é definido pela equação:

$$IP = \left( \frac{(VP + VTI - VS) - VC}{(VP + VTI - VS)} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

IP=índice de perdas na distribuição (%);

VP=volume de água produzido (m<sup>3</sup>);

VTI=volume de água tratado importado (m<sup>3</sup>);

VS=volume de água de serviço (m<sup>3</sup>);

VC=volume de água consumido (m<sup>3</sup>);

Na década de 80, a United States Environmental Protection Agency – EPA, agência dos Estados Unidos para a Proteção Ambiental e outras agências passaram a solicitar a avaliação dos custos e dos benefícios para aprovação de políticas, programas e projetos ambientais, inclusive para os projetos de saneamento e de perdas.

São vários os relatos de conflitos mundiais pelos usos múltiplos da água, principalmente nos países do oriente médio, entretanto isto não vem ocorrendo somente nestes países, em Anápolis nos últimos anos também temos vivenciado conflitos pelo uso da água, sendo que o manancial de abastecimento da cidade nos períodos de estiagem possui vazão insuficiente para atender ao consumo da cidade e atender as demandas dos agricultores, por isso podemos observar que a perda de água é um problema universal e ocorre tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento.

Tal abordagem tem sido considerada importante, os Parâmetros Internacionais para Redes de Operadoras de Saneamento (International Benchmarking for Wastewater Sanitation Utilities – IBNET), Danilenko et al. (2014) realizaram estudo avaliando o desempenho das empresas de saneamento quanto aos valores da perda de água em seus sistemas. As empresas que fazem parte do IBNET perdem em média de 35%, o que pode ser observado na Figura 11, que apresenta a porcentagem de água tratada desperdiçada em cada país. Porém, como a maioria dos países em desenvolvimento ainda não são cobertos pelo IBNET e as estatísticas

desses países não são confiáveis, é provável que o nível médio de perdas de água em países em desenvolvimento seja maior.

Países como a Alemanha e Japão, possuem 11% de perdas em seus sistemas de abastecimento de água, portanto podemos adotar esse valor como ideal, abaixo desses valores chegamos ao limite descrito, no qual abaixo desses valores a técnica e a economia não são mais indicados.

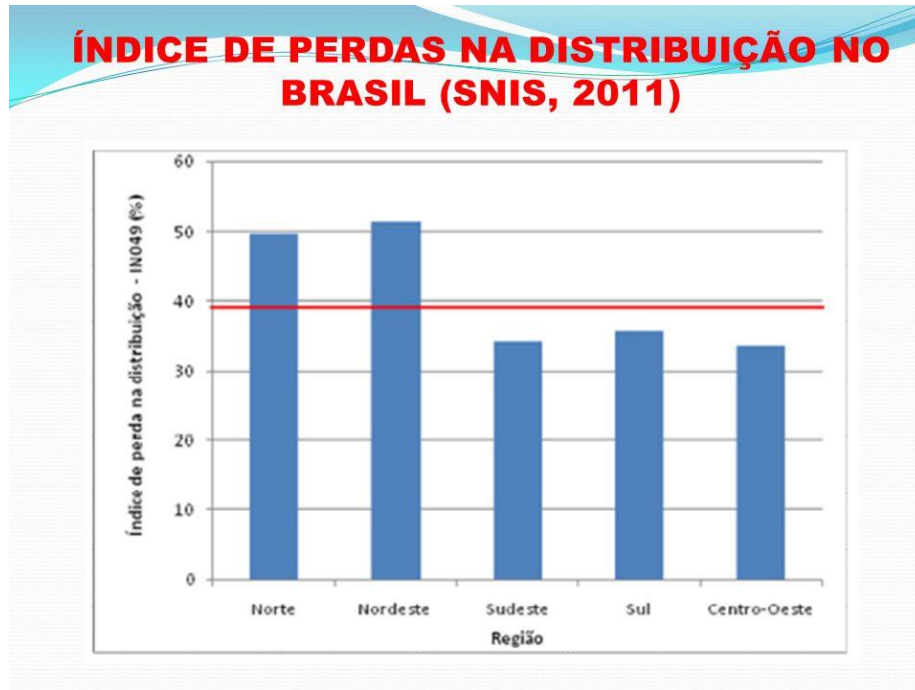
**FIGURA 11 - Perdas de água em diversos países segundo IBNET.**



Fonte: G1.com.br, 2015.

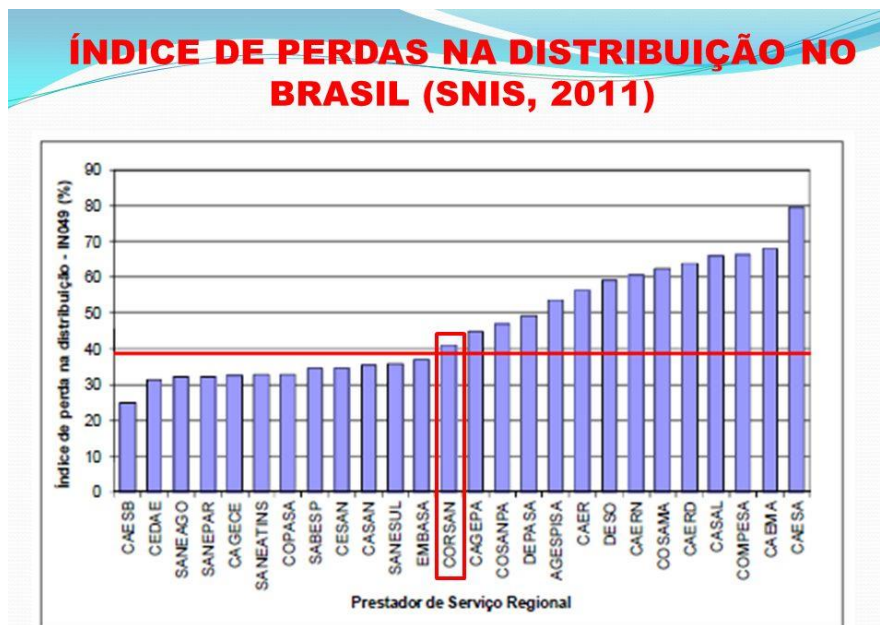
No Brasil o valor médio do índice de perdas de água das companhias de saneamento segundo os dados do SNIS para o ano de 2013 foi igual a 37%, portanto espera-se uma redução nos níveis de perda percentuais para os próximos anos, visando alcançar os níveis de perdas dos países desenvolvidos.

FIGURA 12 - Índice de perdas por região.



Fonte: SNIS, 2011.

FIGURA 13 - Índice de perdas por prestador de serviço regional na distribuição de água.



Fonte: SNIS, 2011.

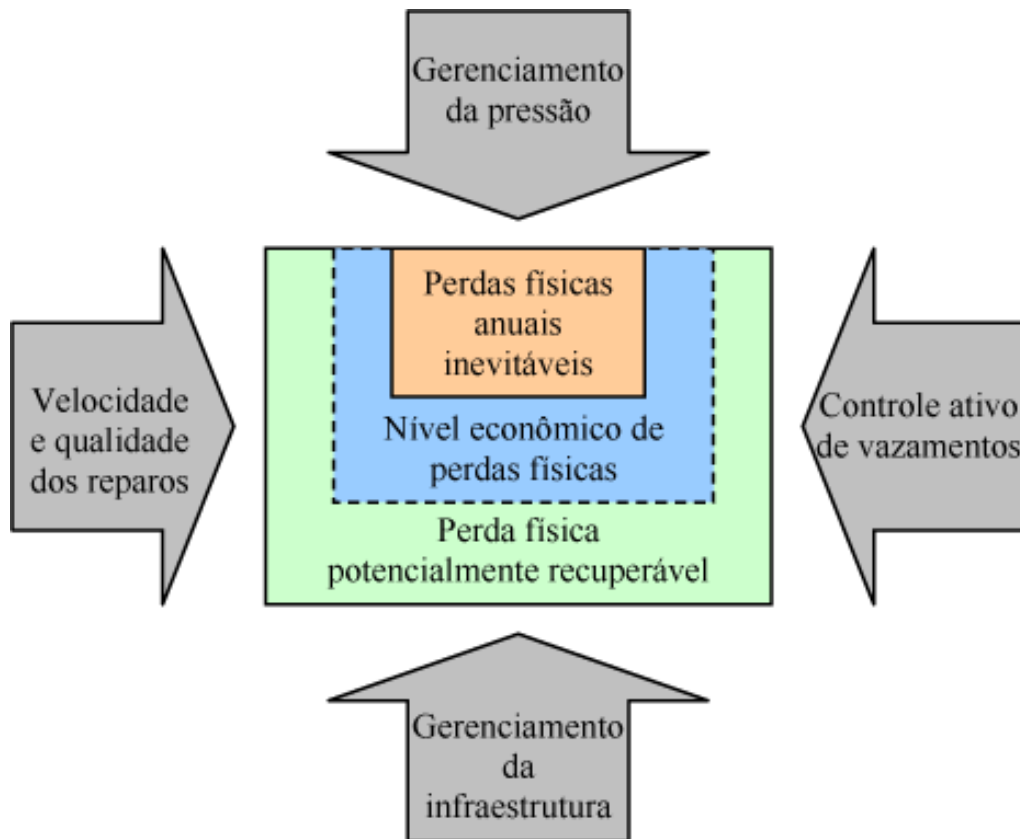
Conforme os dados do SNIS em 2011, apresentado na Figura 13, o índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços, segundo região geográfica e média do Brasil apontam para valores da ordem 50% para a região Norte, 52% para a região Nordeste, 33,5% para as regiões Sudeste e Centro-Oeste e 35% para a região Sul do país.

Em 2011 apenas a Companhia do Distrito Federal apresenta índice inferior a 30%, chama a atenção os elevados índices de perdas dos prestadores de serviços que se situam nas regiões Norte e Nordeste (SNIS, 2011), conforme ilustra a Figura 13.

A gestão de perdas deve ser considerada desde a etapa do projeto e não apenas na operação do sistema, por isso o correto planejamento, a construção da obra de engenharia, o controle dos materiais e controle financeiro são fatores importantes para se trabalhar na gestão das perdas.

Lambert e McKenzie (2002) utilizam o controle de quatro métodos visando o gerenciamento de perdas: 1) gerenciamento de pressões; 2) Controle ativo de vazamentos; 3) velocidade e qualidade de reparos; e 4) Gerenciamento da Infraestrutura. Thornton (2002) citado sintetiza esses métodos na chamada “cruz de perdas reais”, apresentada da Figura 14.

**FIGURA 14. Cruz de perdas reais.**



Fonte: MOTTA, 2010.

O gerenciamento de pressões e níveis descrito destaca que a pressão exerce forte influência na frequência de vazamentos, de modo que devemos sempre que possível adequar as pressões para valores compatíveis com a boa operação do sistema de distribuição, isto significa operar com os valores descritos nas normativas.

A pesquisa de vazamento consiste na detecção e localização de vazamentos não visíveis, através dos vários equipamentos disponíveis, haste de escuta, geofone, o correlacionador de ruídos, etc.;

A agilidade no reparo de vazamentos consiste em minimizar o tempo entre a informação do vazamento e o tempo necessário para sua retirada, seja visível ou não visível. No Brasil a situação ainda é muito crítica em termos de direcionamento de equipes disponíveis para execução deste serviço, principalmente nas grandes cidades, onde se demora muito com deslocamento e chegada da informação.

O gerenciamento de materiais de redes torna-se um importantíssimo fator relativo à melhoria da condição da infraestrutura e perdas, pois é notório em muitas companhias o mau acondicionamento de tubos e peças que serão utilizadas nos sistemas, ficando exposto diretamente as ações do tempo, além das novidades constantes em peças e materiais que com passar do tempo não se mostram efetivos e saem do mercado, um exemplo são as tubulações de Cimento Amianto (CA). Portanto devemos sempre realizar a proteção da rede contra a corrosão, troca de redes e ramais e peças que não se mostram eficazes;

Torna-se cada vez mais importante reduzir e controlar as perdas de água pois a demanda e os custos de tratamento e distribuição têm aumentado. Muitos trabalhos têm sido realizados para reduzir as perdas a nível econômico ou aceitável.

Di Nardo et al. (2013) apresenta em seus estudos de setorização de redes de água um modelo baseado nos índices de desempenho e na Teoria dos Grafos demonstram resultados eficazes de minimização da quantidade de energia dissipada nas redes de água dos sistemas de distribuição de Parete, Itália e San Luís Rio Colorado no México, utilizando diferentes índices de desempenho com redução de perdas reais.

Considerando que os balanços hídricos são “balanços de massa” feitos com dados comerciais e operacionais de uma mesma base física e temporal, de modo que, possibilitam a obtenção direta dos volumes perdidos em vazamentos e é modelado para um grau de confiança de 95%, sendo as incertezas de medição/estimativas associadas a cada dado de entrada.

O balanço hídrico nos sistemas de abastecimento de água é uma ferramenta eficaz para a gestão de perdas, sendo utilizada pela SANEAGO para identificar quais medidas

devem ser implementadas para reduzir as perdas de água, possibilitando a redução dos custos e a conservação dos recursos hídricos.

Os componentes do Balanço Hídrico são assim definidos:

- Volume de entrada no sistema: corresponde ao volume mensal/anoal de água que efetivamente abasteceu os sistemas distribuidores;
- Volume faturado: corresponde à soma do volume faturado medido e não medido;
- Volume faturado medido: volume mensal/anoal de água medido pelos hidrômetros das ligações de água;
- Volume faturado não medido: Volume mensal/anoal de água fornecidos aos clientes/ligações sem hidrômetros e faturadas por estimativa;
- Volume não faturado não medido: corresponde aos abastecimentos de caminhões de corpo de bombeiros através de hidrantes existentes na região (portanto estimados), cujo uso é autorizado sem gerar faturamento;
- Perdas Aparentes: São os valores de consumo não autorizado (irregulares) somados aos volumes de imprecisão dos hidrômetros e erros no manuseio de dados;
- Consumo não autorizado: são os volumes de água que os clientes utilizam de forma irregular, podendo ser o caso de fraudes nos medidores, by passes, e ligações clandestinas;
- Submedição dos hidrômetros refere-se ao volume de água fornecido ao cliente os quais por imprecisão deixaram de ser registrados.
- Erros no manuseio de dados referem-se às práticas erradas de leitura ou qualquer tipo de violação a integridade dos dados medidos pelos hidrômetros.
- Perdas reais: É a diferença entre o volume consumido autorizado e perdas aparentes, representam as perdas de água ocorridas em vazamentos no sistema.
- Perdas de água: corresponde à soma do volume de perdas aparentes com o volume de perdas reais.

**FIGURA 15 – Descrição de Perdas reais e aparentes.**

Volume de Água na entrada do Setor (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo autorizado (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo autorizado (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo medido	Água Consumida (m <sup>3</sup> /ano)
			Consumo não medido	
	Perdas de água (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo autorizado não faturado (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo medido não faturado	Água não Convertida em receita (m <sup>3</sup> /ano)
			Consumo não medido não faturado	
	Perdas Reais (m <sup>3</sup> /ano)	Perdas Aparentes (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo não autorizado	
			Imprecisão da medição	
			Vazamento e extravasamento em reservatórios	
			Vazamento em rede e adutoras	
		Vazamento em ramais		

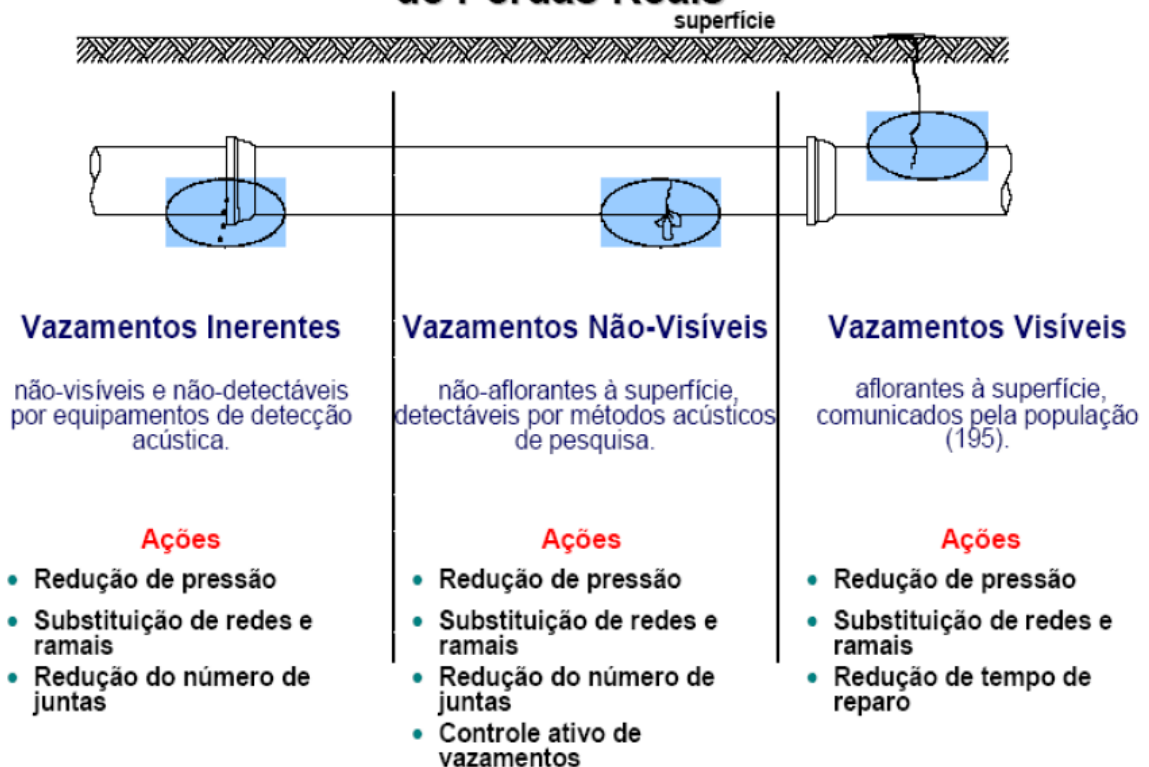
Essa metodologia, simplificada na Figura 15, tem sido utilizada pelas diversas áreas da SANEAGO voltadas para o diagnóstico e combate às perdas nos sistemas de abastecimento no estado de Goiás.

### 2.3 RELAÇÃO ENTRE VAZAMENTOS E PRESSÃO

As variações de pressões nas redes de distribuição é um dos principais fatores que influenciam no índice de perdas reais de um sistema de abastecimento, de modo que o seu gerenciamento e tentativa de redução aos níveis mínimos aceitáveis por norma que é de 10 m.c.a são uma busca contínua das empresas de saneamento no Brasil.

FIGURA 16 – Descrição dos Tipos de Vazamentos, Perdas reais.

## Características dos Vazamentos e Ações de Redução de Perdas Reais



Fonte: GONÇALVES, E., 1998.

Nas redes de distribuição de água tratada os níveis elevados de pressão geram o aumento na quantidade do número de vazamentos visíveis e não – visíveis, Figura 16, elevando assim o volume de água perdido, e custos operacionais com a manutenção e reparação do sistema, a pesquisa realizada por TARDELLI FILHO (2004) mostra que a

pressão exerce forte influência na frequência de vazamentos, bem como na vazão perdida através desses.

A equação hidráulica básica que mais define a vazão perdida nos vazamentos do sistema de distribuição é definida a seguir, pois os vazamentos apresentam comportamentos semelhantes ao dos orifícios em tubulações. Portanto podemos definir esta perda de vazão como em orifícios através da equação abaixo.

$$Q=V.A = C_d . (2gh)^{0,5} . A \quad (2)$$

Onde:

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

Cd. = coeficiente de descarga;

A = área do orifício (m<sup>2</sup>);

V = velocidade média da água (m/s);

g = 9,81 m/ (aceleração da gravidade);

h = pressão (mca)

Esta formulação pode ser utilizada para estimar perdas de vazão nas redes de distribuição, e a área dos orifícios tende a aumentar proporcionalmente com a pressão.

Quando temos vazamentos nos quais os furos e orifícios das tubulações assumem formatos irregulares e são tipos, inclusive rachaduras longitudinais não podemos simplesmente utilizar essa formulação, pois ela não representara a realidade, para esse indeterminado tipo de área, May (1994) e (LAMBERT, 2002) propôs uma nova maneira de expressar a relação entre pressão e vazamentos nas redes de distribuição, formulando o conceito FAVAD (Fixed And Variable Area Discharge), com a introdução do fator chamado N1.. O tamanho dos orifícios também varia com a pressão e o tipo de material. A equação proposta por (LAMBERT, 2002) foi:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1} \quad (3)$$

Em que:

Q<sub>1</sub>= vazão final de vazamentos;

Q<sub>0</sub>= vazão inicial de vazamentos;

P<sub>1</sub>= pressão média de rede final;

P<sub>0</sub>= pressão média de rede inicial;

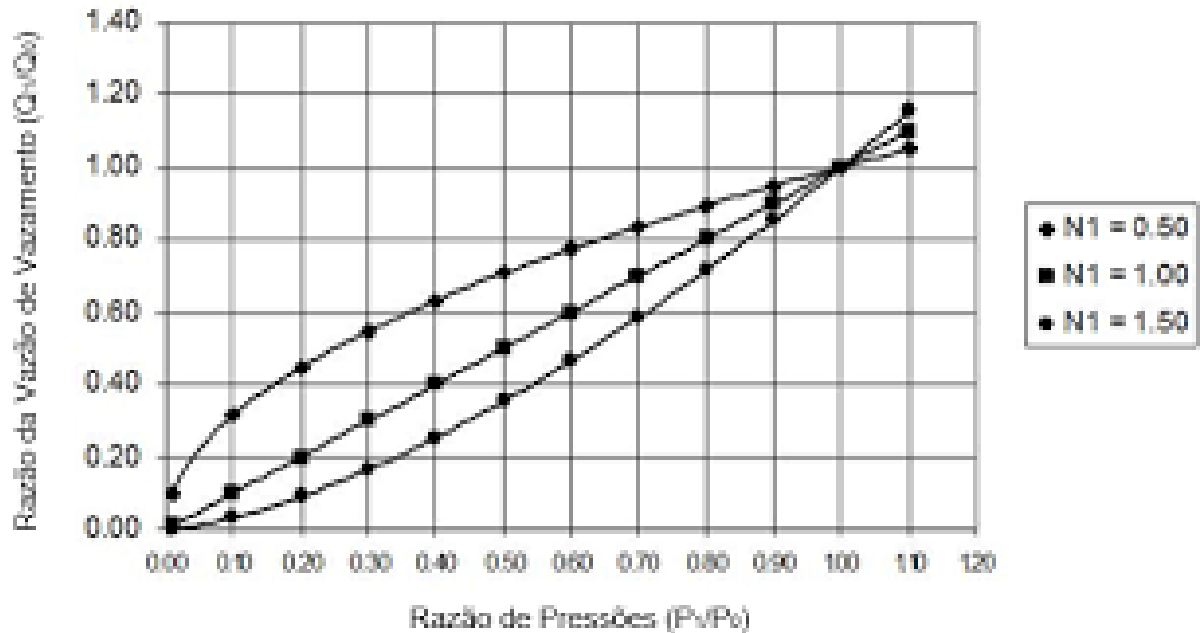
N1 = expoente que varia de 0,5 a 1,5, usualmente, podendo chegar a 2,5, eventualmente.



A situação representada na Figura 17, N1 atua como um fator de escala para toda a rede, variando de acordo com a composição dos materiais utilizados na infraestrutura do sistema. Nas tubulações metálicas, N1 assume o valor mínimo de 0.5.

N1 assume valor máximo de 1,5. Nos casos de rupturas longitudinais em tubulações de PVC N1 podendo chegar até 2,5.

FIGURA 17 – Relação de Vazão x Pressão – Fator N1.



Fonte: LAMBERT, 2002.

A modulação das redes de distribuição é realizada com a instalação de registros, definindo-se quadras com abastecimento fechado no qual tem-se condições de monitoramento dos volumes disponibilizados e consumidos, da vazão mínima noturna, das pressões da água distribuída, para o perfeito funcionamento de um módulo deve-se realizar o teste de estanqueidade.

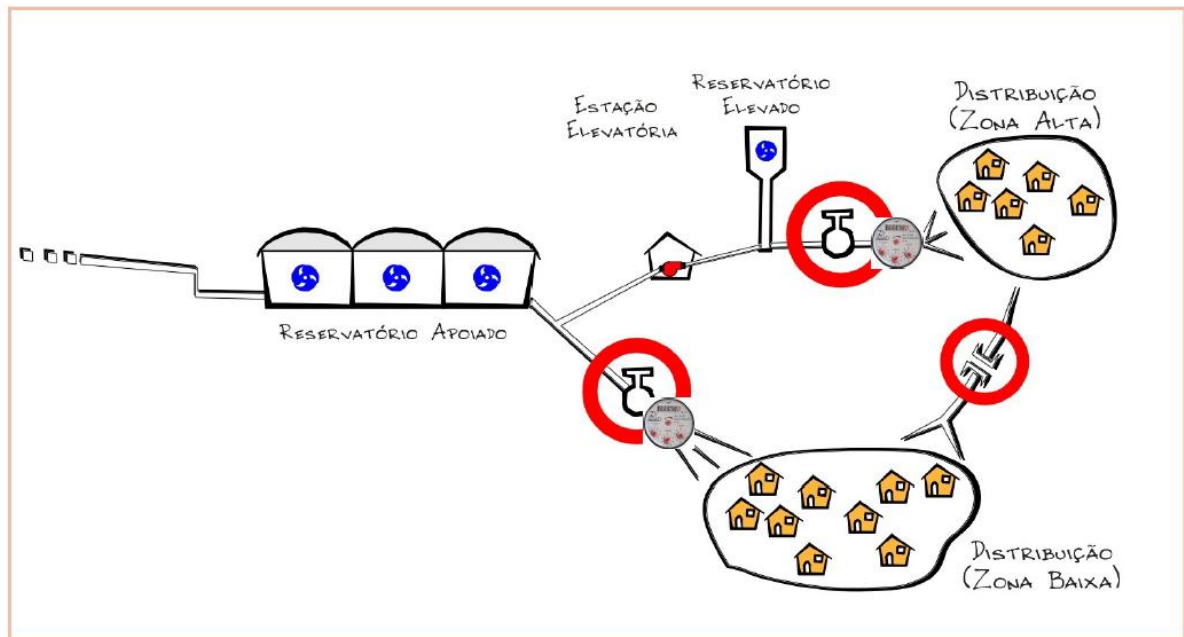
O módulo de abastecimento é definido a partir de um ponto de fornecimento de volume de água, que pode ser reservatório, uma derivação de adutora ou um booster é fundamental que a área seja estanque e que tenha condições de medir vazões de entrada e pressões.

De acordo com a Norma Técnica NBR 12218 / 1994, a pressão máxima admitida na rede é de 50 m.c.a (estática), enquanto a mínima é de 10 m.c.a (dinâmica). O tamanho dos módulos é variado, entretanto a SANEAGO tenta limitar um módulo ao máximo de 5 l/s, tanto nos pequenos núcleos residenciais, assim como nas grandes cidades.

A modulação, representada simplificada na Figura 18, é uma das formas mais indicadas e básicas para trabalharmos com o gerenciamento de pressão. O monitoramento dos módulos fornece diversas informações e auxiliam na reparação mais rápida de vazamentos, como também para interrupções programadas, como substituição de registros e descargas em rede colaborando com a redução das perdas.

Os sistemas antigos de abastecimento de água implantados não seguiram critérios de modulação e, em muitos casos como na região do Entorno do Distrito Federal e Entorno de Goiânia o crescimento populacional se deu de forma desorganizada, de modo que redes de distribuição foram ampliadas sem planejamento. As correções destes sistemas existentes para a forma de módulos envolvem custos elevados, nem sempre disponíveis nas companhias de saneamento, pois exigem a construção de caixas e implantação de registros e válvulas na entrada e descarga de módulos, substituição de trechos de redes, a recuperação de vias e as interferências no fornecimento de água aos clientes.

**FIGURA 18 – O Princípio da Modulação.**



Fonte: SANEAGO, 2015.

## 2.4 EPANET 2.0

O Epanet é um programa de simulação hidráulica desenvolvido no ano 1994, pela equipe de Lewis Rossman, para a agência americana de proteção ambiental – U.S

Environmental Protection Agency (USEPA), e adaptado para língua portuguesa, 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).

O Epanet é um programa computacional automatizado que simula o comportamento hidráulico dos diversos componentes e nós, num sistema de distribuição de água tratada, em diversas condições operacionais para um determinado período desejado. Determina os valores de vazão em cada trecho, a pressão em cada nó, a altura de água em cada reservatório de nível variável.

Segundo ROSSMAN (2000) dentre as características mais relevantes das ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica disponibilizada pelo Epanet pode-se destacar a possibilidade de análise de redes de dimensões ilimitadas, cálculo da perda de carga utilizando fórmulas consagradas na literatura (Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning), modelagem de diferentes tipos de bombas, válvulas redutoras de pressão e reservatórios.

Portanto a simulação hidráulica de um sistema com a utilização do programa Epanet 2.0 é ferramenta essencial no estudo moderno para projeto e operação dos sistemas de abastecimento, uma vez que eles permitem avaliar diferentes cenários de funcionamento e auxiliam o processo de tomada de decisão por meio de modelos matemáticos, as características dos componentes (diâmetro e materiais dos tubos, níveis dos reservatórios, parâmetros das bombas, etc.)

Com softwares desenvolvidos com a finalidade de auxiliar a modelagem hidráulica pode-se verificar a situação atual do sistema e estudar a melhor opção de intervenção confrontando os resultados esperados com os fornecimentos pela simulação hidráulica em programas computacionais desenvolvidas para esse fim.

No Brasil existem diversos simuladores hidráulicos disponíveis para utilização nos sistemas de distribuição de água. A seleção de um programa deve levar em conta, prioritariamente, a finalidade de sua aplicação. A escolha do software utilizado neste trabalho foi levada em consideração sua utilização pela SANEAGO, além de tratar-se de um programa de fácil utilização, com versão no idioma Português, distribuição gratuita e por apresentar excelentes resultados para esse tipo de trabalho.

Segundo Silva (2014) o avanço de engenharia de softwares possibilitou o desenvolvimento de programas mais robustos, capazes de realizar uma série de cálculos com grande velocidade e precisão.

A equação de iteratividade para o cálculo das vazões nos trechos utilizada pelo Epanet pode ser, de forma simplificada, ilustrada pela equação abaixo.

$$Q_{ij} = Q_{ij} - (y_{ij} - p_{ij} \cdot (H_i - H_j)) \quad (4)$$

Onde:

$Q_{ij}$  = vazão no trecho entre os nós i e j;

$y_{ij}$  = fator de correção de vazão;

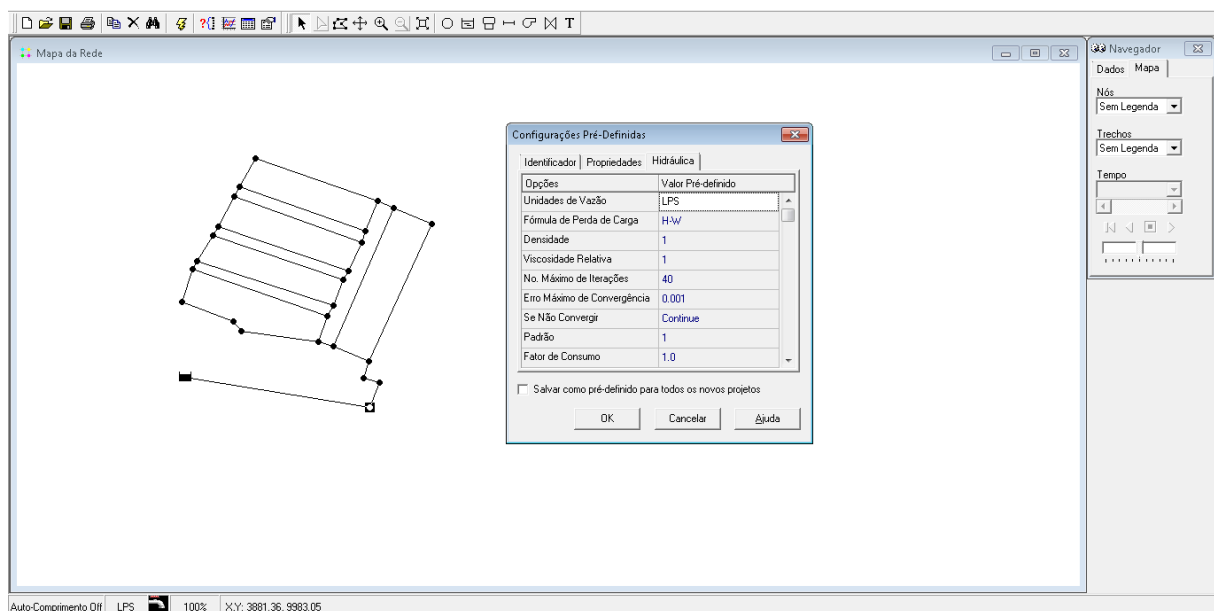
$P_{ij}$  = inverso da derivada da perda de carga total no trecho entre os nós i e j em relação à vazão;

$H_i - H_j$  = perda de carga total no trecho

Se somadas as variações de vazão (em valor absoluto) relativamente à vazão total de todos os trechos for diferente à tolerância especificada (p.ex.,0.001), são realizadas novas interações de cotas piezométricas e os novos valores de vazão no trecho. A nova vazão obtida satisfaz o princípio da continuidade da vazão nos nós.

O Epanet 2.0, apresentado na Figura 19, realiza interação com outros softwares com funções dinâmicas, também é necessário ajustar o modelo simulado para que o mesmo possa representar a realidade de campo.

**FIGURA 19 – O programa de modelagem EPANET 2.0.**



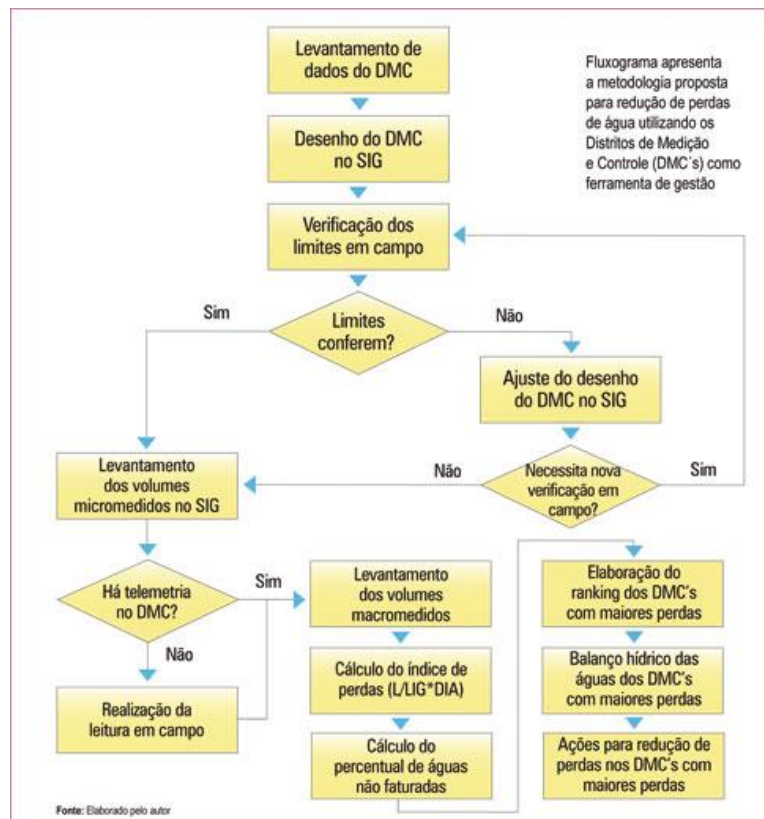
Fonte: AUTORA, 2018.

## 2.5 DISTRITO DE MEDIÇÃO E CONTROLE

O distrito de medição e controle – DMC é conhecido como a estação de medição pitométrica, a medição pode ser realizada por diversos tipos de macromedidores, entretanto deve-se ter um tamanho e área definida, isolada, não admitindo entrada ou saída de água para outra área vizinha, com possibilidade de medição de pressão e vazão na entrada da área, podendo ser composto por um único ou vários módulos. Para que haja um funcionamento eficaz de um DMC os módulos que o compõem devem ser estanques, se necessário deve se realizar o teste de estanqueidade fechando o registro que alimenta o DMC e verificando as pressões até que todas atinjam o valor “zero”, entretanto se o módulo não estiver estanque não se faz sentido a utilização de um DMC.

Para Thornton et al. (2008) o distrito de medição e controle – DMC é uma área específica, definida pelo fechamento de registros, em que as quantidades de água que entram e saem da área são medidas. O DMC que possui gestão controlada é a ferramenta eficaz para avisar sobre a possibilidade de um vazamento. O monitoramento da vazão noturna facilita a rápida identificação de vazamentos não visíveis e, fornece dados necessários para fazer o uso mais eficaz de recursos de localização de vazamentos.

**FIGURA 20 – Utilização do DMC como ferramenta de Gestão.**



Fonte: SILVA, 2014.

## 2.6 VAZÃO MÍNIMA NOTURNA

Todo sistema de abastecimento de água deve ser gerido na busca da eficiência e eficácia do atendimento aos clientes com menor custo. A metodologia com base do cálculo da vazão mínima noturna é a variação dos consumos no sistema de abastecimento de água ao longo do dia, entretanto seu funcionamento não é eficaz em sistemas com falta de água recorrente, visto que a normalização do abastecimento ocorre nos períodos noturnos nestes sistemas.

A metodologia com base do cálculo da vazão mínima noturna é indicada para verificar o percentual de perdas físicas nas redes de distribuição. Sua metodologia consiste na medição de vazão e pressão quando em tese todos os clientes estariam abastecidos, de modo que a vazão correspondente a esse consumo mínimo é denominada vazão mínima noturna, estando em grande parte alimentando aos vazamentos físicos da rede (perdas reais) e não aos clientes, pois mesmos as ligações irregulares estarão com as caixas d'água domiciliares cheias.

O consumo mínimo geralmente ocorre no período da madrugada, os módulos que o compõem devem ser estanques, normalmente alteração na vazão mínima de uma unidade de abastecimento pode significar ocorrência de vazamentos. Seus valores normalmente ficam abaixo de 10% e seu fator de pesquisa – FP, pode ser determinado a partir desta equação.

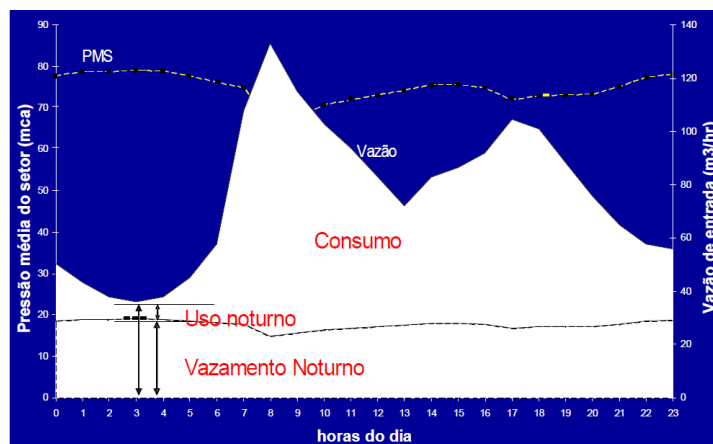
$$FP = \frac{QMN}{QMED} \quad (5)$$

FP = fator de pesquisa;

QMN = vazão mínima noturna;

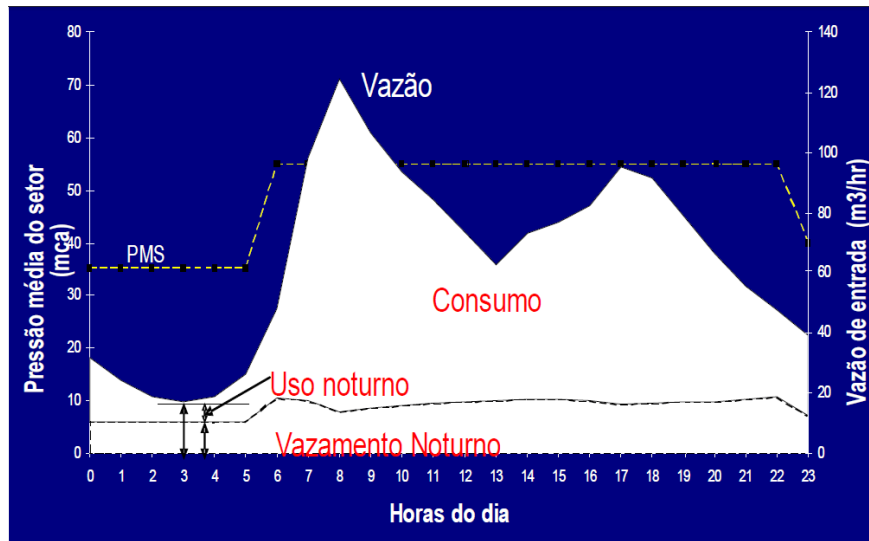
QMED = vazão média diária

FIGURA 21 – Pressão x Vazamento em um Sistema sem Controle de Pressão



Fonte: GONÇALVES, 2006.

FIGURA 22 – Pressão x Vazamento em um Sistema com Controle de Pressão.

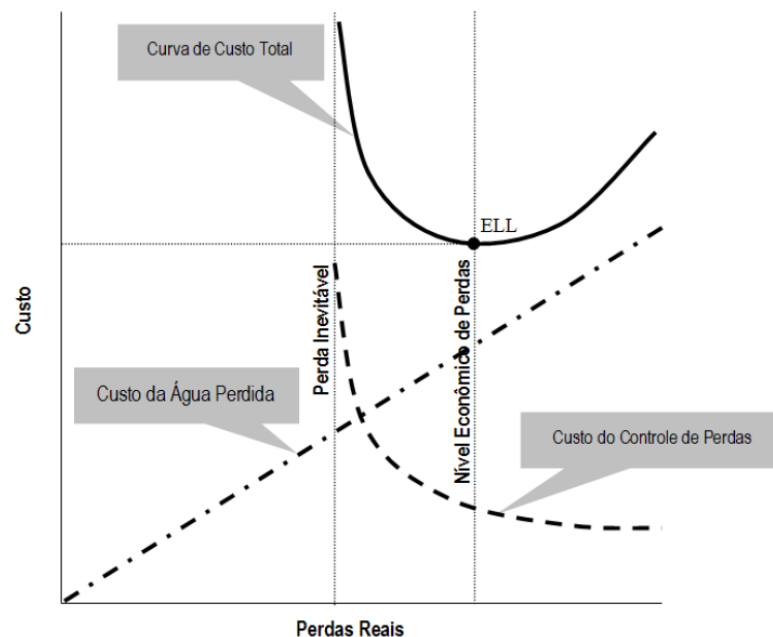


Fonte: GONÇALVES, 2006.

Fávero e Dib (1981) relatam que o parâmetro FP indica possíveis problemas operacionais no abastecimento de água. Na medida em que tende para 1, maior a possibilidade de estarem ocorrendo vazamentos, em geral, se o fator de pesquisa for maior que 0,30 o setor em estudo contém vazamentos economicamente detectáveis, conforme demonstra a Figura 21.

O inverso acontece na Figura 22, em que quando a pressão do sistema é controlada, a vazão de água na entrada do DMC é menor e favorece a redução dos vazamentos e do volume de água perdida.

FIGURA 23 – Determinação do nível Econômico de Perdas.



Fonte: LAMBERT et al., 1999.

Nesta Figura 23, é demonstrado o nível de viabilidade econômica para a empresa trabalhar na investigação e tratamento das perdas, pois quando as perdas de água atingem um baixo índice, o custo para tratar e reduzir acaba sendo maior que o custo deste volume perdido representa para a empresa, passando a ser inviável, economicamente.



### 3 RESULTADOS

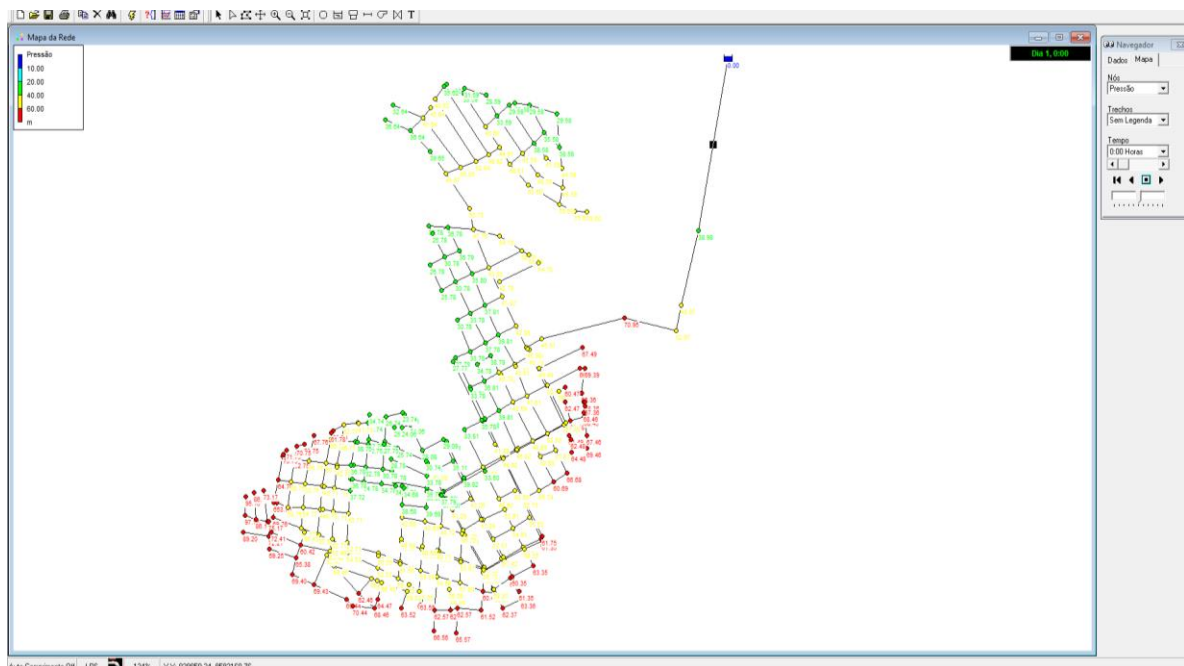
Os resultados encontrados neste trabalho estão apresentados seguindo a sequência das atividades realizadas. Da simulação hidráulica com uso do programa Epanet, das ações de intervenções no sistema de distribuição para controle das vazões e pressões com instalações de VRP's, da pesquisa de vazamentos ocultos através de haste de escuta, da substituição de hidrômetros com volume medido elevado e, os resultados obtidos na redução das perdas de água.

#### 3.1 SIMULAÇÃO HIDRÁULICA

Utilizando o Epanet a simulação hidráulica da rede foi realizada seguindo configurações padronizadas pela SANEAGO, utilizando os valores de rugosidades adotadas para tubulações em uso, de acordo com os consumos básicos para os clientes da região, considerando as cotas

A simulação hidráulica teve como resultado para as regiões de baixas altitudes pressões excedentes da ordem de 95m.c.a, superando os limites máximos estabelecido nas normas descritas para o fornecimento aos consumidores, assim como suportadas pelas tubulações para a classe 12 utilizadas.

**FIGURA 24 - Simulação com excesso de pressão, sem as VRP's.**

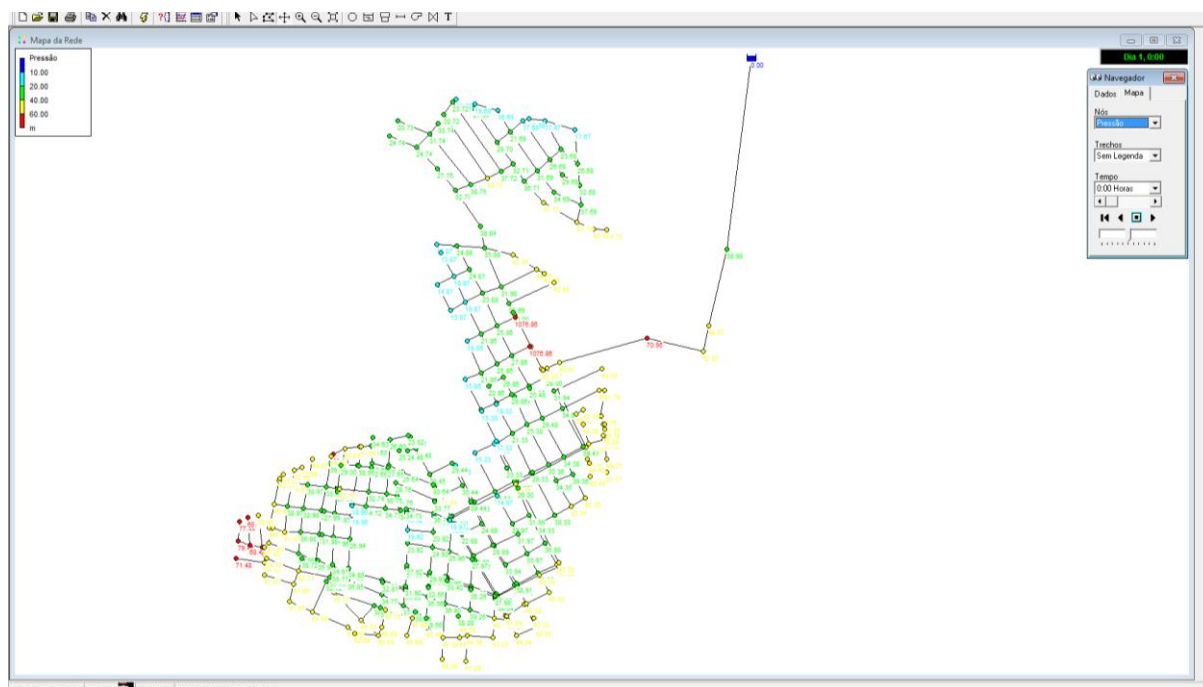


Fonte: EPANET 2.0, 2018.

Considerando o resultado demonstrado na figura 24, foi necessário a realização de modulação e instalação de válvulas redutoras de pressão para atendimento as normativas. Foi proposto para uma nova simulação a realização de quatro módulos e quatro VRP's de modo a adequar as pressões.

Os módulos propostos foram no Bairro Maracanã, Rua 14, quadra 36, lote 28, módulo 1, Bairro Maracanã, Rua 14, quadra 42, lote 25, módulo 2, Bairro Maracanã, Avenida Presidente Kenedy esquina com Joaquim Da Cunha, módulo 3, e Bairro São Lourenço, Rua Dona Geracina, quadra 9, lote 9, módulo 4, realizando nova simulação chegou-se aos seguintes resultados.

**FIGURA 25 - Simulação com as VRP's.**



Fonte: EPANET 2.0, 2018.

A simulação hidráulica apresentou resultados satisfatórios na maioria dos nós, obedecendo assim aos critérios de pressão preconizados pela norma, porém, ressalta-se ainda que alguns pontos apresentaram pressões estáticas maiores que as descritas na normativa.

A indicação de pressões estáticas maiores que as descritas na normativa sugerem que sejam elaboradas melhorias nos módulos e/ou implantações de mais VRP's para adequação, no entanto, os custos estimados para construção de novos módulos tornaram bastante elevado em relação ao custo da água perdida. Esses pontos de pressões elevadas são monitorados constantemente e será foco de futuras intervenções.

### 3.2 INTERVENÇÃO NO SISTEMA PARA CONTROLE DAS VAZÕES E PRESSÕES COM INSTALAÇÕES DE VRP'S

Foram instaladas 04 (quatro) válvulas redutoras de pressão (VRP), nos locais indicados na simulação do Epanet, separando as redes, dividindo a região em quatro partes menores, denominadas de módulos, dentro da região abastecida pelo DMC Maracanã. O intuito desse conjunto de ações foi para contribuir com a redução de perdas, através do controle das pressões em cada módulo, redução da recorrência de vazamentos e agilidade nas manutenções.

No módulo 1 a pressão da água que chegava na entrada do módulo era de 41 m.c.a e foi reduzida para 30 m.c.a, módulo 2 a pressão que chegava na entrada do módulo era de 45 m.c.a e foi reduzida para 28 m.c.a, módulo 3 a pressão que chegava era de 45 m.c.a e foi reduzida para 26 m.c.a e no módulo 4 a pressão que chegava na entrada de água do módulo era de 43 m.c.a e foi reduzida para 25 m.c.a.

Por se tratar de um equipamento mecânico, estas VRP's são visitadas mensalmente e aferidas para que se mantenha regulagem de pressão ideal para cada módulo e preservar a tubulação e garantir o fornecimento de água ao cliente.

**FIGURA 26 – Esquema de válvulas de ação indireta - com piloto.**



Fonte: GUIA PRÁTICO DE CONTROLE DE PRESSÕES, 2005.

### 3.3 PESQUISA DE VAZAMENTOS OCULTOS ATRAVÉS DE HASTE DE ESCUTA

Semanalmente uma equipe da SANEAGO verificava a medição de vazão no período da noite, entre o horário de duas e três horas da madrugada, por ser o horário de menor

consumo, e efetuava a anotação em uma planilha, quando esse valor aumentava era disparada a ação de varetamento de todas as ligações de água que compõem o DMC Maracanã.

Todas as vezes em que o valor estava acima do normal, foram localizados vários vazamentos ocultos, mapeados e retirados, realizando a substituição completa do ramal da ligação de água quando este apresentava vazamentos.

Durante o ano de 2015 foram realizados 08 ciclos de varetamento do DMC Maracanã, identificados e retirados 99 vazamentos ocultos.

No ano de 2016 foram realizados 12 ciclos de varetamento do DMC Maracanã, identificados e retirados 75 vazamentos ocultos.

E no ano de 2017 foram realizados 11 ciclos de varetamento do DMC Maracanã, identificados e retirados 57 vazamentos ocultos.

Vazamentos que devido às características do solo, infiltram e não aparecem na superfície do solo, provocando a perda de água.

**TABELA 1 – Quantidade de vazamentos.**

ANO	QUANTIDADE DE CICLOS	VAZAMENTOS OCULTOS
2015	08	99
2016	12	75
2017	11	57

Fonte: Autora, 2018.

Com essas ações de controle da pressão, monitoramento de vazão e procura de vazamentos ocultos, observou-se uma redução de aproximadamente 25% dos vazamentos externos na região do DMC.

Conforme os dados do relatório CO 721, uma aplicação do sistema da SANEAGO, no ano de 2015 foram registrados 201 vazamentos externos, em 2016 foram 149, e em 2017 foram 150.

### 3.4 SUBSTITUIÇÃO DE HIDRÔMETROS COM VOLUME ACIMA DE 1.000 M<sup>3</sup>

A SANEAGO possui um programa de substituição dos hidrômetros por volume acumulado, significa que os hidrômetros que registraram volume de água acima de 1.000m<sup>3</sup>, automaticamente através de um relatório fornecido pelo sistema da SANEAGO, CO 273, são substituídos.

Os hidrômetros utilizados pela SANEAGO, são equipamentos mecânicos de engrenagens de relojoaria, e que vão se desgastando com o uso contínuo, ocasionando uma submedição da água que passa, registrando um valor inferior ao que realmente foi consumido.

A partir dessa informação todos os hidrômetros deste DMC Maracanã, nestas condições, foram substituídos por novos hidrômetros, esse programa tem a finalidade de diminuir as perdas aparentes através da medição mais precisa, contribuindo para a redução do índice de perdas.

### 3.5 AVALIAÇÃO DE PERDAS

O fator de pesquisa (FP) foi um instrumento direcionador das necessidades dos trabalhos de detecção de vazamentos. Mas somente com o conjunto de todas as ações executadas simultaneamente foi possível reduzir o índice de perdas (IP).

**Tabela 2 – Fator de Pesquisa e Índice de perda.**

<b>Mês</b>	<b>Vazão Mínima Noturna (L/s)</b>	<b>Vazão Média Diária (L/s)</b>	<b>Fator de Pesquisa (%)</b>	<b>Perda (%)</b>
jun/15	32,51	42,94	75,72%	61,05%
jul/15	17,76	23,89	74,36%	60,18%
ago/15	16,49	24,73	66,68%	60,28%
set/15	24,23	36,43	66,52%	59,16%
out/15	24,23	36,43	66,52%	58,30%
nov/15	15,83	25,22	62,77%	57,65%
dez/15	18,02	30,05	59,96%	55,96%
jan/16	12,51	21,86	56,81%	54,16%
fev/16	17,23	31,63	54,46%	52,94%
mar/16	12,66	25,20	50,26%	50,68%
abr/16	12,14	25,01	48,54%	49,82%
mai/16	11,80	25,44	46,40%	48,76%
jun/16	11,06	24,94	44,33%	46,12%
jul/16	10,53	24,05	43,77%	46,39%
ago/16	10,50	24,14	43,50%	46,02%
set/16	10,72	24,98	42,93%	45,94%
out/16	10,48	24,54	42,69%	44,83%
nov/16	11,96	28,34	42,13%	43,75%
dez/16	10,23	24,94	41,01%	42,67%
jan/17	10,00	24,60	40,66%	41,84%
fev/17	10,23	25,28	40,45%	40,67%
mar/17	9,77	24,38	40,10%	39,61%
abr/17	10,21	25,57	39,91%	38,99%
mai/17	9,55	24,00	39,77%	37,77%

jun/17	9,87	25,32	38,99%	36,94%
jul/17	9,72	25,34	38,35%	36,05%
ago/17	09,82	25,82	38,02%	35,53%
set/17	09,63	25,39	37,94%	34,87%
out/17	10,06	26,54	37,90%	34,02%
nov/17	09,81	26,08	37,60%	33,85%
dez/17	09,36	25,28	37,03%	32,01%

Fonte: Autora, 2018.

O fator de pesquisa (FP) foi um instrumento direcionador das necessidades dos trabalhos de detecção de vazamentos. Mas somente com o conjunto de todas as ações executadas simultaneamente foi possível reduzir o índice de perdas (IP).

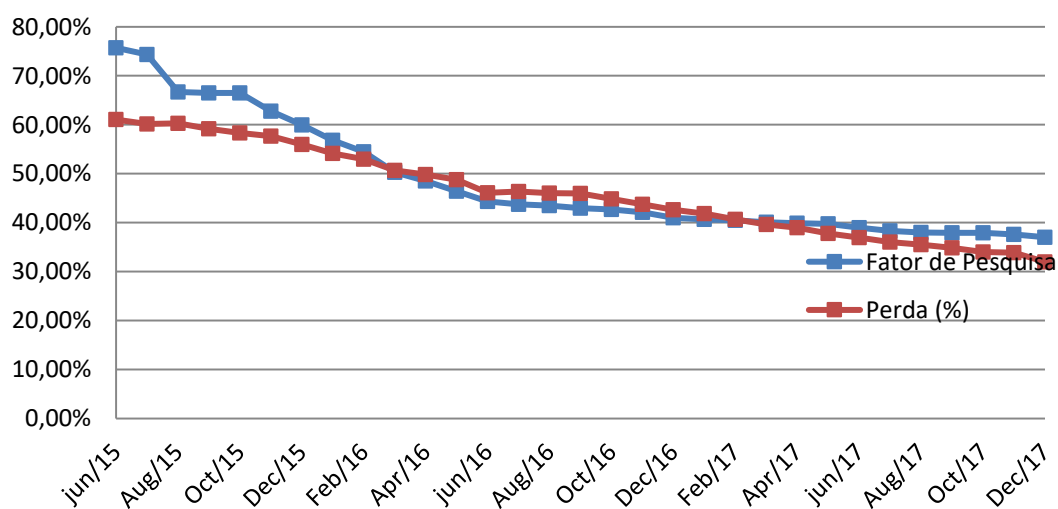
No desenvolvimento do trabalho foi importante conhecer o comportamento do índice de perdas (IP), mensal e médio anual na distribuição de água do DMC Maracanã. Para ilustrar a evolução das perdas na distribuição do sistema de abastecimento público de água durante

Observa-se que no início das atividades, nos meses de junho e julho de 2015, o IP apresentava valores elevados, chegando a perder mais de 60% do volume produzido.

No início da implantação dos módulos, o sistema de distribuição encontrava-se praticamente malhado, houve a necessidade de sucessivas descargas nas redes para que as intervenções ocorressem, gerando assim um maior volume de água perdido.

Conforme a tabela 2, o índice de perda anual apresentou queda contínua desde o início das atividades de combate às perdas. Esse indicador, por considerar a média dos últimos doze meses, reflete o comportamento do sistema a médio prazo, sendo o mais indicado para o monitoramento da evolução do sistema analisado.

**GRÁFICO 1 – Fator de Pesquisa e Índice de Perdas.**



Fonte: Autora, 2018.

As realizações das ações integradas de combate as perdas de água conforme propostos na metodologia, contribuíram de forma significativa na redução do volume de água perdida, pois com a rede modulada o volume de água demandado em cada manutenção é menor, aliado à diminuição de pressão com as instalações das VRP's, proporcionaram a diminuição da vazão absorvida pelos vazamentos. Com todas estas ações realizadas houve redução de 28,04% no índice de perda de água, o que equivale de 221.973,85 (m<sup>3</sup>/ano), no DMC Maracanã.

A primeira hipótese é que o volume de água que deixou de ser desperdiçado, não seja consumido por novos clientes, portanto a empresa economizaria deixando de produzir aquele produto isso geraria uma redução do consumo de energia elétrica, hoje segunda maior despesa da companhia e também a redução na utilização de produtos químicos.

A segunda hipótese, mais provável para o caso de Anápolis, por existir uma demanda reprimida, é que o volume de água que deixou de ser desperdiçado, seja consumido por novos clientes. Esse consumo considerando o custo mínimo do metro cúbico de água vendido pela SANEAGO para a categoria residencial é de R\$ 4,06 (quatro reais e seis centavos), estima-se que a empresa poderá aumentar seu faturamento em R\$ 901.213,85 (novecentos e um mil, duzentos e treze reais e oitenta e cinco centavos) por ano com a venda do produto.

Portanto nas duas possibilidades viu-se que as intervenções neste sistema se mostraram bens sucedidas e que trouxeram rentabilidade a empresa, de modo que os investimentos realizados foram perfeitamente justificáveis e vantajosos com retorno financeiro.

## 4 CONCLUSÕES

Considerando os resultados apresentados, pode-se concluir que:

A simulação hidráulica apresentou resultados satisfatórios, e direcionou o planejamento dos setores e nas tomadas de decisões. A partir desta simulação hidráulica é que foram definidos os módulos, com delimitação da área de abrangência de cada um, de forma a otimizar a operação, e minimizar os custos de implantação.

O resultado do presente estudo demonstra que a modulação de redes contribui para a otimização do sistema de abastecimento e redução do índice de perdas.

A redução no índice de perdas significa mais água disponível para abastecer a população, e até possibilita atender novas ligações de água, sem que seja necessário o aumento na produção e/ou funcionamento da Estação de Tratamento, pois a água que estava sendo desperdiçada passa a ser fornecida ao consumidor, incrementando a arrecadação e faturamento da empresa sem aumentar os custos de produção.

A implantação das VRP's possibilitou o equilíbrio das pressões adequando se o sistema de distribuição em conformidade com a necessidade de cada módulo, e desta forma mesmo que os vazamentos ocultos não sejam identificados, eles estarão perdendo um volume de água menor.

O fator de pesquisa como ferramenta de gestão também colaborou na redução dos volumes de água perdidos, uma vez que este indicador direcionou a prioridade de ações em cada área.

A integração de todas as atividades sendo executadas paralelamente, objetivando a redução de perdas em uma área delimitada previamente, converge para a evolução positiva dos resultados.

Além de reduzir o índice de perdas, a criação dos DMC's e dos módulos possibilita minimizar os impactos negativos, como a falta de água para a população, quando se faz necessário a interrupção do abastecimento para realização de serviços de manutenção ou de melhorias no sistema.

Que as ações realizadas trouxeram rentabilidade a empresa, de modo que os investimentos realizados foram perfeitamente justificáveis e vantajosos com retorno financeiro. De acordo com os resultados obtidos, o trabalho desenvolvido foi positivo, utilizando uma metodologia economicamente viável para a empresa.



A área de abrangência foi proporcionalmente pequena, quando comparada com o tamanho geográfico da cidade de Anápolis, mas para efeito de estudo inicial a região foi representativa e permitiu o controle desejado para a análise dos resultados.

Considerando que a meta estipulada para perdas na companhia é de 27%, recomendamos dar continuidade nos trabalhos até que se atinja a meta, mesmo com toda melhoria já alcançada.

Partindo do trabalho realizado, e dos resultados apresentados neste trabalho, é possível expandir a metodologia apresentada para toda a cidade.

## REFERÊNCIAS

- ABE, N, CHEUNG, P. B. **Epanet Calibrator – An integrated computational tool to calibre hydraulic models**. Proc, Computer and Control in Water Industry (CCWI), Integrating Water Systems, Boxall, J. and Maksimovic, v.1, CRC Press, England, 129-133. 2009.
- ALEGRE, H.; BAPTISTA, J.M.; CABRERA JR., E; CUBILLO, F.; DUARTE, P.; HIRNER, W.; MERKEL, W.; PARENA, R. **Performance indicators for water supply services**. London: InternationalWaterAssociation – IWA, 2000.
- AQUINO, V. A luta para combater as perdas de água. **Revista Saneas**, São Paulo, n. 27, a IX p. 5-6, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO. **Guias Práticos**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.aesbe.org.br>>. Acessado em: 10 out. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES **perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate**. Rio de Janeiro, 2013. 45p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12211**: Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água. Rio de Janeiro: ABNT, 1992, 14p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12212**: Projeto de Poço para Captação de Água Subterrânea. Rio de Janeiro: ABNT, 1992, 10p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12213**: Projeto de Captação de Água Superfície para Abastecimento Público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992, 5p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12214**: Projeto de Sistema de Bombeamento de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992, 5p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12215**: Projeto de Adutora de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro: ABNT, 1991, 5p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216**: Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992, 18p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12217**: Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro: ABNT, 1994,45p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**: Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro: ABNT, 1994, 4p.

AZEVEDO NETTO, J.M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de hidráulica**. 8 eds. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.669p.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo populacional 2013**. Disponível em:

<[http://www.ibge.gov.br/estimativa2013/estimativa\\_dou](http://www.ibge.gov.br/estimativa2013/estimativa_dou)> Acessado em: 23/10/2015.

CHEUNG, P. B. Análise de reabilitação de redes de distribuição de Água para abastecimento via algoritmos genéticos multiobjectivo. 2004. 268p. (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

DANILENKO, A.; VAN DEN BERG, C.; MACHEVE, B.; MOFFITT, L. J. **The IBNET water Supply and Sanitation Blue Book 2014: The International Benchmarking Network for water and Sanitation Utilities Databook**. Washington D. C: world Bank, 2014. 141p. (WSP Water and Sanitation Program).

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FUR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT – GIZ. **Guideline for water loss reduction: A focus on pressure management**. Germany. 2011. Disponível em: <<http://www.giz.de/guidelines>> Acessado em 17 set. 2015.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M; SANTONASTASO, G. F.; TZATCHOKOV, V. G.; ALCOCER-YAMANAKA, V.H. Water network sectorization based on a genetic algorithm and minimum dissipated power paths. **Water Science &Tecnology: WaterSupply**, London, v. 13, n.4, p.951-957, 2013.

FÁVERO, J. A.; DIB, M. E. M. Pesquisa e controle de perdas em sistemas de abastecimento de água. **Revista DAE**, nº 126, p. 50-59, 1981.

FORMIGA, K. T. M.; CHAUDHRY, F. H. Modelos de análise hidráulica de redes de distribuição de água considerando demanda dirigida pela pressão e vazamentos. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.13, n.2, p.153-162,2008.

GANORKAR, R. A.; RODE, P. I.; DESHMUKH, S.A.; DHOBLE, R.M. WaterAudit-A tool for assessmentofwaterlosses. **InternationalJournalofComputationalEngineeringResearch**. V. 3, n. 3. P.252-256,2013.

GOMES, A. S.; GONÇALVES, E.; ALVIM, P. R. A. **Pesquisa e combate a vazamentos não visíveis**. Guias práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água, Brasília, v. 3, 89p, 2007.

GOMES, H. P.; SALVINO, M.M. **Manual do Usuário EPANET 2.0 Brasil**. João Pessoa, PA – Brasil: Laboratório de Eficiência e Hidráulica em Saneamento, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 2009. 201p.

HAIDER, H.; SADIQ, R.; TESHAMARIAM, S. Performance indicators for small-and medium-sized watersupply systems: A review. **Enviromental Reviews**, v. 11, n.1, 2013.

INTERNATIONAL WATERASSOCIATION – IWA. **Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures**. The blue pages: the IWA information source on drinking water issues. United Kindgom: IWA, 2000. 13p.

KANAKOUDIS, V.; GONELAS, K.; TOLIKAS, D. Basic principles for urban water value assessment and price setting towards its full cost recovery – pinpointing the role of the water losses. **Journal of water Supply: Research and Technology – AQUA**, London, v. 60, n.1, p.27-39, 2011.

KANAKOUDIS, V.; TSITSIFLIS. Using the bimonthly water balance of a newly monitored water distribution network with seasonal water demand peaks to define its actual NRW level: The case of Kos town, Greece. **Urban Water Journal**, v. 11, n.5, p.348-360, 2013.

KRAJNÁK, M. **Possibilities of using the genetic algorithms to solve optimization tasks in construction projects**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM COMPUTATIONAL CIVIL ENGINEERING – CCE 2012. Iasi, Romania, 2012.

LAMBERT, A. O.; MCKENZIE, R. D. Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index. In: INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION CONFERENCE LEAKAGE MANAGEMENT: A PRACTICAL APPROACH, Cyprus, 2002.

MAY, J. **Pressure Dependent Leakage**. World water and Environmental Engineering, 1994.

MOTTA, R. G. **Importância da setorização adequada para combater às perdas reais de água de abastecimento público**. 2010. 176p. (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S.K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Multi-criteria decision analysis: A strategic planning tool for water loss management. **Water Resources Management**, Delft, v. 25, p.3947, 2011.

PADILHA, P.A.A. **Algoritmos genéticos aplicados a um comitê de LS-SVM em problemas de classificação**. 2013. 69 p. (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

PIZZO, H. S. **Calibração de modelos de distribuição de água através do acoplamento do TMA com o otimizador de Nelder–Mead**. 2004. 144p. (Doutorado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ROSSMAN, L. A. EPANET 2 user's manual. U. S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio, 2000.

SALVIANO, M. M. **Modelagem computacional visando a reabilitação de redes hidráulicas**. 2012. 166p. (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

SALVINO, M.M; CARVALHO, P.S.O.; GOMES, H. P. Calibração multivariada de redes de abastecimento de água via algoritmo genético multiobjetivo. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.20, n.3, p.503-512, 2015.

SANEAGO (Saneamento de Goiás S.A). **Boletim Informativo**. Disponível em: <<http://www.saneago.com.br>> Acessado em: 20 jan. 2017.

SILVA, C. O. **Modelagem de rede de distribuição de água com ênfase no controle de perdas**. 2014. 112p. (Mestrado e, Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

SOARES, D.M. **Programa de Controle e Redução de Perdas** – Diretoria Metropolitana de Distribuição –M. Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. São Paulo, 2004.

TARDELLI FILHO, J. Controle e redução de perdas. In: TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3 ed. São Paulo: Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica, 2006. cap.10, p.457-523.

THORNTON, J. Managing leakage by managing pressure: a practical approach. **Water21** IWA Water Loss Task Force, p.43-44, 2015.

THORNTON, J; STURM, R; KUNKEL, G. **Water loss control**. 2ed. New York: McGraw-hill, 2008. 650p.

TSUTIYA. M. T. **Abastecimento de água**. 3.ed. São Paulo: Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica, 2006, 643p.

VIEIRA, M. E. A. G. **Calibração de modelos de redes de distribuição de água usando algoritmo genético multiobjetivo**. 2008. 49p. (Mestrado em do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

WATER RESEARCH CENTRE (WRC). **Network analysis – A code for practice**. Published by WRC. Swindon, UK, 1989.

WORLD BANK. **Software WB – Easycalc, Version 1.17**, 2006. Disponível em <<http://www.liemberger.cc>> Acesso em 18 ago. 2015.

ZAQUE, R. A. M. SOARES, A. K.; LIMA, G. A. R. **Influência do número de cenário na calibração de modelos de redes de distribuição de água**. In: XV SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Belo Horizonte, 2012.