

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

MARIANA OLIVEIRA BARATA DINIZ

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE MEDIDORES PROPORCIONAIS DE VAZÃO PARA
CONTROLE DO VOLUME DISTRIBUÍDO NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA DA CIDADE DE ARAGUAÍNA – TO.

PALMAS - TO

MAIO / 2016

MARIANA OLIVEIRA BARATA DINIZ

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE MEDIDORES PROPORCIONAIS DE VAZÃO PARA
CONTROLE DO VOLUME DISTRIBUÍDO NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA DA CIDADE DE ARAGUAÍNA – TO.

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado Profissional em Engenharia
Ambiental da Universidade Federal do
Tocantins para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Ambiental
Área de concentração: Saneamento
Orientador: Prof.º DSc Girlene Figueiredo
Maciel

PALMAS - TO

MAIO / 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

084a Diniz, Mariana Oliveira Barata

Avaliação da eficácia de medidores proporcionais de vazão para controle do volume distribuído no sistema de abastecimento de água da cidade de Araguaína – TO / Mariana Oliveira Barata Diniz – Palmas, TO, 2016.

96 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas - Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental, 2016.

Orientador: Girlene Figueiredo Maciel

1. Saneamento básico. 2. Diagnóstico de Perdas . 3. Avaliação de Medidores Proporcionais. 4.Sistema de Abastecimento de Água

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

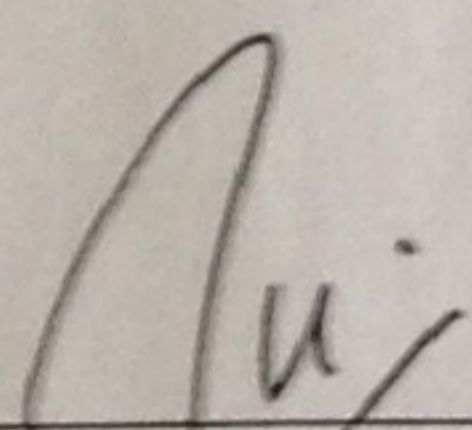
FOLHA DE APROVAÇÃO

MARIANA OLIVEIRA BARATA DE DINIZ

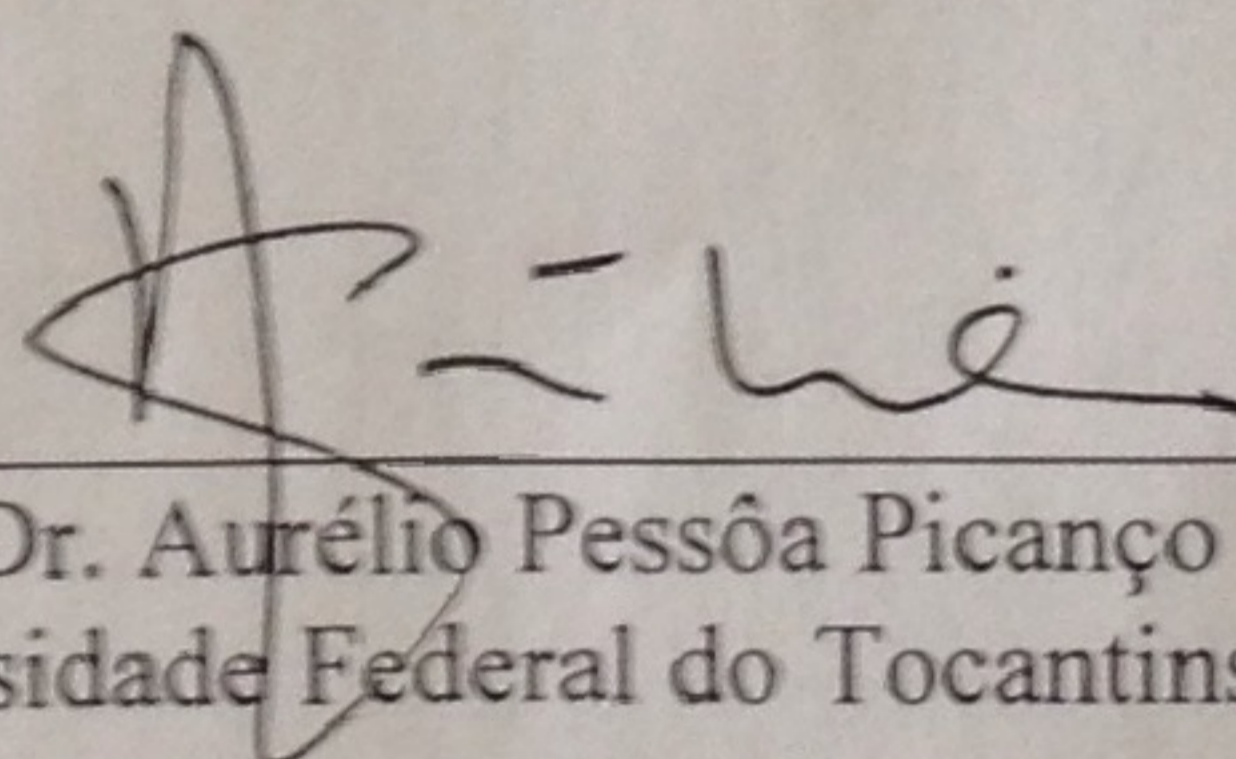
AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE MEDIDORES PROPORCIONAIS DE VAZÃO
PARA CONTROLE DO VOLUME DISTRIBUÍDO NO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE ARAGUAÍNA - TO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental,
Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca
Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

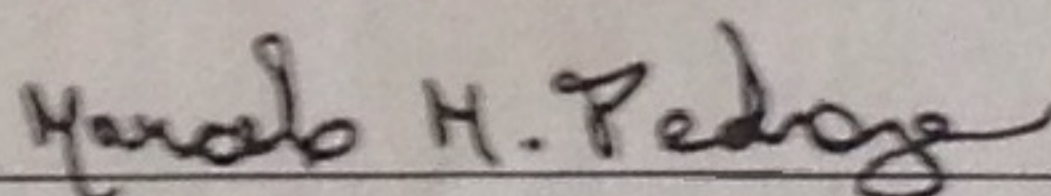
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Girlene Figueiredo Maciel
Universidade Federal do Tocantins (Presidente)



Prof. Dr. Aurélio Pessoa Picanço
Universidade Federal do Tocantins



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

Aprovada em: 23 de junho de 2016

Local de defesa: Sala 27 do bloco II

Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas

Dedico esse trabalho à minha mãe, mulher guerreira, que conhece bem o significado da palavra dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Serginho e Girlene, por todo apoio, paciência, incentivo e orientação na elaboração desse trabalho.

Agradeço à minha mãe, ao Igor e ao meu saudoso pai, por me fazerem quem eu sou.

Agradeço aos queridos Renato e Paulinho, engenheiros natos, verdadeiros mestres na arte da Pitometria.

Agradeço ao senhor Roberto Camuri e ao mestre Baggio por me apresentarem a alternativa da medição proporcional.

Agradeço à UFT e à Odebrecht Ambiental | Saneatins pela oportunidade.

Agradeço à Sandra e toda a equipe de Araguaína por estarem sempre de portas abertas e com tanta boa vontade para me receber. Em especial, à Ilana, verdadeiro presente que o Tocantins me deu.

Agradeço às meninas do GIS, pelo incentivo e pelos milhares de desenhos e mapas.

Agradeço aos amados amigos do Toca por fazerem do caminho, uma alegria. Em especial, agradeço ao Mureta e ao Giga, que passaram por esse desafio comigo.

À Ju, por ser a melhor amiga desse mundo e já ter nascido professora.

“Medir é saber. Se você não pode medir, você não pode aprimorar.”

Sir William Thomson

RESUMO

DINIZ, M. O. B. AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE MEDIDORES PROPORCIONAIS DE VAZÃO PARA CONTROLE DO VOLUME DISTRIBUÍDO NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE ARAGUAÍNA – TO. 2016, 89 p. **Dissertação**. Universidade Federal Do Tocantins, Palmas, TO. **RESUMO**

O crescimento da população mundial e a poluição hídrica vêm reduzindo a disponibilidade de água potável no planeta. A essencialidade da água para as atividades humanas, sua escassez e o alto custo associado a fontes alternativas de abastecimento tornam imperiosas as ações de redução de perdas nos sistemas de abastecimento de água.

O presente trabalho objetiva elaborar um diagnóstico dos índices de perda no sistema de abastecimento de água de Araguaína – TO e avaliar a eficácia de medidores proporcionais de vazão para controle do volume distribuído nesse sistema.

O diagnóstico se baseou no levantamento de informações operacionais e posterior construção dos indicadores de perdas, que estão abaixo da média brasileira. Ficou evidenciada a falta de setorização do sistema e a deficiência na medição de vazão do mesmo.

A avaliação dos medidores proporcionais foi feita por meio da instalação desses equipamentos em campo e pela comparação, através de análises estatísticas, das medições dos medidores proporcionais com as medições feitas em equipamento padrão. O medidor proporcional configurou-se como alternativa eficiente, de baixo custo e de fácil instalação.

A instalação desses medidores no sistema de abastecimento de água de Araguaína, associada à criação de setores estanques, permitiria um gerenciamento de perdas mais eficaz.

PALAVRAS-CHAVE: água, medição de vazão, medição proporcional.

ABSTRACT

DINIZ, M. O. B. ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF PROPORTIONAL FLOW METERS TO CONTROL THE VOLUME DISTRIBUTED IN THE WATER SUPPLY SYSTEM IN THE CITY OF ARAGUAÍNA – TO. 2016, 89 p. Masters Dissertation. Federal University of Tocantins, Palmas, TO. ABSTRACT

The increase of the world population and water pollution has reduced the availability of potable water in the planet. The essential nature of water for human activities, its scarcity and the high cost associated with alternative sources makes reducing water losses in water supplies indispensable.

This paper aims to diagnose losses rates in the water supply system in the city of Araguaína - TO and evaluate the effectiveness of proportional flow meters for controlling the distributed volume in such system.

The diagnosis was based on operational information and further development of indicators for assessing the losses in the water system, which is below Brazilian average. The lack of compartmentalization in the system and the deficiency in flow measurement were highlighted.

The evaluation of the proportional meters was done through the installation of such equipment in the field and by comparison, through statistical analysis, of measurements made by the proportional meters with measurements made in standard equipment. The proportional meter has presented accuracy and proved to be an efficient, low cost and easy installation alternative.

The installation of these meters in the water supply system of Araguaína, with the implementation of limited supply sectors, would allow an effective loss management.

KEYWORDS: water, flow measurement; proportional metering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Matriz de Balanço Hídrico. (Fonte: Adaptado de LAMBERT & HIRNER, 2000).....	20
Figura 2: Representação gráfica das perdas inerentes e recuperáveis. (Fonte: Adaptado de AESBE, 2015)	21
Figura 3: Representação gráfica dos tipos de vazamentos. (Fonte: SOUZA, 2003).....	22
Figura 4: Visualização espacial do IPD nos estados brasileiros. (Fonte: Adaptado de SNIS, 2016).....	27
Figura 5: Configuração típica em DMCs. (Fonte: o autor)	30
Figura 6: Configuração típica em DMCs. (Fonte: NBR 10396)	34
Figura 7: Hidrômetro Monojato. (Fonte: Catálogo Itron, 2013).....	36
Figura 8: Estrutura do Hidrômetro Monojato. (Fonte: ALVES, W. C. et al., 1999)	36
Figura 9: Movimento da Água em hidrômetro Multijato. (Fonte: DA SILVA, N. R., 2008)	37
Figura 10: Fotografia de Hidrômetro Multijato. (Fonte: DA SILVA, N. R., 2008)	37
Figura 11: Desenho esquemático dos hidrômetros unijato e multijato. (Fonte: Adaptado de ESTEVAN, 2005).....	38
Figura 12: Vista em corte de medidor Woltmann vertical. (Fonte: FRANGIPANI & GOMES, 2007).....	40
Figura 13: Vista em corte de medidor Woltmann axial. (Fonte: FRANGIPANI & GOMES, 2007).....	40
Figura 14: Representação esquemática de um medidor deprimogênito. (Fonte: FRANGIPANI & GOMES, 2007)	41
Figura 15: Perfil de velocidade em função do regime de escoamento. (Fonte: ESTEVAN, 2005).....	42
Figura 16: Tubo Pitot do tipo Cole. (Fonte: COSTA & SILVA, 2004).....	43
Figura 17: Tubo Pitot do tipo SIMPLEX. (Fonte: COSTA & SILVA, 2004).....	43
Figura 18: Conjunto: tubo Pitot, par de mangueiras e tubo em U. (Fonte: COSTA & SILVA, 2004)	44
Figura 19: Tubo Venturi. (Fonte: ESTEVAN, 2005).....	45
Figura 20: Medidor eletromagnético. (Fonte: ESTEVAN, 2005).....	46

Figura 21: Desenho esquemático de um medidor proporcional. (Fonte: O autor, 2016)...	51
Figura 22: Localização geográfica do município de Araguaína. (Fonte: Prefeitura Municipal de Araguaína, 2013)	52
Figura 23: Localização geográfica do município de Araguaína. (Fonte: Prefeitura Municipal de Araguaína, 2013)	53
Figura 24: Mapa com a localização dos PTPs no SAA de Araguaína. (Fonte: O autor, 2016).....	54
Figura 25: Mapa com a localização das UTSs e sua área de atendimento (Fonte: O autor, 2016).....	56
Figura 26: Mapa com a localização dos reservatórios do SAA de Araguaína (Fonte: O autor, 2016).....	58
Figura 27: Foto do medidor proporcional instalado na tubulação. (Fonte: O autor, 2016)	60
Figura 28: Peças componentes do medidor proporcional. (Fonte: O autor, 2016)	60
Figura 29: Esquema de Medição por meio do medidor proporcional. (Fonte: Adaptado de CAMURI, 2001).....	62
Figura 30: Mapa com a localização dos pontos de monitoramento e sua área de influência. (Fonte: O autor, 2016)	64
Figura 31: Detalhamento dos pontos I e II. (Fonte: O autor, 2016).....	65
Figura 32: Detalhamento do ponto III. (Fonte: O autor, 2016).....	66
Figura 33: CDL DATALOGGER. (Fonte: Catalogo COSMO, 2013)	67
Figura 34: Maleta de Parâmetros Hidráulicos e tubo Pitot tipo Cole instalados. (Fonte: O Autor)	67
Figura 35: Mapa de Vazamentos. (Fonte: O Autor, 2016).....	79
Figura 36: Mapa de Pressões. (Fonte: O Autor, 2016)	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução do IPD no Brasil. (Fonte: Adaptado de SNIS, 2011, 2012, 2013 e 2014).....	28
Gráfico 2: Comparação do Índice de Perdas na Distribuição. (Fonte: Série Histórica, SNIS)	73
Gráfico 3: Comparação do Índice Linear Bruto. (Fonte: Série Histórica, SNIS).....	74
Gráfico 4: Comparação do Índice de Perdas por Ligação. (Fonte: Série Histórica, SNIS)	76
Gráfico 5: Gráfico de dispersão de dados do Ponto I.	83
Gráfico 6: Gráfico de dispersão de dados do Ponto II.	84
Gráfico 7: Gráfico de dispersão de dados do Ponto III.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número mínimo e máximo de ligações de água por DMC.....	30
Tabela 2: Classes de hidrômetros e correspondentes valores Q mínima e Q transição.	39
Tabela 3: Comparação entre macromedidores.	50
Tabela 4: Comparação entre os pontos de instalação dos macromedidores.....	65
Tabela 5: Classificação da correlação em relação ao coeficiente de Pearson	68
Tabela 6: Volume Disponibilizado em Araguaína – 2015. (Fonte: O Autor).....	71
Tabela 7: Volume Micromedido em Araguaína – 2015. (Fonte: O Autor).....	72
Tabela 8: Comparação entre os dados em cada ponto de monitoramento	85
Tabela 9: Composição de Custos do Medidor Proporcional	87
Tabela 10: Custo de Medidores Comerciais.....	87

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	16
2 - OBJETIVOS	19
2.1 - OBJETIVO GERAL	19
2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 - REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1 – PERDAS.....	20
3.1.1 - Conceito	20
3.1.2 – Perda Real	22
3.1.3 – Perda Aparente	23
3.1.4 – Impactos da Redução de Perdas	24
3.1.5 – Indicadores de Perda	24
3.1.6 – Perdas no Brasil e no Mundo	26
3.2 – DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE - DMC	28
3.3–MACROMEDIÇÃO	31
3.3.1 – Histórico da Medição de Vazão	32
3.3.2 – Medidores Existentes	33
3.3.2.1 – Medidores de Velocidade (Velocimétricos).....	34
3.3.2.2 – Medidores Deprimogênitos	40
3.3.2.3 – Medidores Eletromagnéticos	46
3.3.2.4 – Medidores Ultrassônicos	47
3.3.3 Análise Comparativa entre Medidores	48
3.3.4 Medição Proporcional	51
4 - MATERIAIS E MÉTODOS	52
4.1 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	52
4.2 - DIAGNÓSTICO DE PERDAS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE ARAGUAÍNA - TO	59
4.3 – AVALIAÇÃO DO MEDIDOR PROPORCIONAL.....	59
4.3.1 - Descrição do Equipamento Experimental.....	59
4.3.2 - Princípio de funcionamento do Medidor Proporcional.....	61
4.3.3 - Locais de instalação do medidor proporcional	62

4.3.4 - Instalação dos Medidores Proporcionais	66
4.3.5 - Medidor Padrão de Referência.....	66
4.3.6 - Armazenamento e Coleta de Dados	67
4.3.7 – Análise estatística dos dados	68
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
5.1 – DIAGNÓSTICO DE PERDAS NO MUNICÍPIO DE ARAGUAÍNA	70
5.1.1 – Indicadores de Perdas	70
5.1.2 Estimativa dos Indicadores.....	72
5.1.2.1 Índice de Perdas na Distribuição (IPD).....	72
5.1.3 – Avaliação Geral.....	76
5.1.3.1 Perdas Aparentes	76
5.1.3.2 Perdas Reais	78
5.2 – AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO MEDIDOR PROPORCIONAL.....	82
5.2.1 – Resultados – Ponto I.....	82
5.2.2–Resultados – Ponto II	83
5.2.3–Resultados – Ponto III.....	84
5.4 – ANÁLISE DE CUSTOS.....	86
6 – CONCLUSÕES	88
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

1 - INTRODUÇÃO

A água desempenha um papel fundamental para a existência da vida na Terra e para o desenvolvimento da humanidade desde os primórdios, quando se estabeleceram as primeiras civilizações (sempre) às margens de importantes cursos d'água, até os dias atuais (CAVALEIRO, 2014).

O acesso à água considerado, desde 2010, um dos Direitos Humanos é entendido como essencial à dignidade e como alicerce para o alcance de outros direitos, tais como o direito à saúde e ao desenvolvimento (ALBUQUERQUE, 2014).

A ONU, em sua Declaração pelos Direitos da Água (1992), afirma que esse precioso bem “faz parte do patrimônio do planeta. Cada continente, cada povo, cada nação, cada região, cada cidade, cada cidadão é plenamente responsável aos olhos de todos”.

No entanto, o crescimento populacional vem aumentando consideravelmente a pressão sobre os recursos naturais, em especial sobre a água. A população mundial chegou a 7.3 bilhões de pessoas em meados 2015. Isso significa que desde 2003, o número de pessoas na Terra foi acrescido em um bilhão e desde o ano de 1990 em dois bilhões (ONU, 2015). Segundo projeções do relatório World Population Prospects, publicado pela ONU em 2015, a estimativa é que no ano de 2050, a população mundial atinja espantosos 10 bilhões de pessoas e, o Brasil que hoje ocupa a quinta posição no ranking dos países mais populosos, estará em sétimo lugar.

Apesar da importância ambiental e geopolítica da água, o aumento da demanda em função do crescimento populacional, seus usos múltiplos (abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, navegação, geração de energia, usos industriais e etc.) e a poluição hídrica vêm reduzindo drasticamente a disponibilidade de água potável no planeta Terra (MARTINS, 2009). No ano de 2014, em todo o planeta existiam quase 884 milhões de pessoas sem acesso à água potável (UNICEF, 2016).

No Brasil, o ano de 2014 foi marcado por uma grave crise hídrica que deixou cidades em estado de racionamento e abastecidas por meio de caminhões pipa. Esse cenário trouxe à tona, mais uma vez, a urgência em se utilizar a água de maneira racional e sustentável e a necessidade de uma gestão estrutural e planejada para aumentar a segurança hídrica (ANA, 2014).

“Os recursos naturais de transformação da água em água potável são lentos, frágeis e muito limitados. Assim sendo, a água deve ser manipulada com racionalidade, precaução

e parcimônia.” (ONU, 1992). Em função dessa fragilidade, é necessário que se tenha no país, um arcabouço legal que vise à preservação dos recursos hídricos.

Nesse contexto, a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981) reconhece a água, juridicamente, como um recurso ambiental. Na Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), a água é entendida como recurso natural limitado e, portanto, finito.

Tendo em vista o caráter essencial da água para as atividades humanas, sua escassez e o alto custo associado a fontes alternativas de abastecimento, ações de controle e redução de perdas nos sistemas de abastecimento de água se fazem imperiosas.

As perdas são uma importante medida da eficiência operacional das companhias de saneamento, já que envolvem áreas distintas do processo. Sua redução acarreta ganhos ambientais e financeiros (redução de despesa e aumento de faturamento), além de implicar na postergação de novos investimentos para ampliação de sistemas (TSUTIYA, 2004).

As agências reguladoras de saneamento brasileiras, visando inibir o desperdício do recurso hídrico e o repasse do custo desse desperdício ao consumidor, vêm estabelecendo metas de desempenho e redução de perdas para as companhias de saneamento. (SILVA, 2014). A ANA (2010), através do Panorama Nacional do Atlas de Abastecimento Urbano, considera a redução do nível de perdas no Brasil como condição para ampliação do acesso à água potável.

Além da preservação dos recursos hídricos, estudos realizados pela GO Associados (2013) estimaram que, se houvesse um esforço nacional de redução das perdas em 38% (saindo de 37,4% para 23,2%) em um horizonte de 16 anos (2009 a 2025) haveria um ganho potencial de R\$ 29,92 bilhões, em um cenário realista. Em um cenário otimista, a redução seria de 50% (saindo de 37,4% para 18,7%) e a economia potencial de R\$ 37,27 bilhões.

A redução das perdas dentro de um sistema de abastecimento de água preconiza o conhecimento dos parâmetros operacionais – especialmente vazão e volume - que permitem não só determinar o volume perdido, mas também qualificar a situação de um sistema específico. Sendo assim, a implantação de sistemas de medição confiáveis e perenes é mandatória dentro de um programa de controle e redução de perdas (NIIDA et al., 2004).

Segundo Negrisolli (2009), não pode existir gerenciamento eficiente de perdas, se não há medição apropriada e acurada dos índices e volumes. Para Tardelli Filho (2015), a

eficácia das principais ações de combate à perda pressupõe a macromedição ou medição de volumes em setores e subsetores.

Frangipani & Gomes (2007) define a macromedição como “sendo todo o processo inerente à medição e estimação de parâmetros operacionais hidráulicos de sistemas de abastecimento de água” e a entende como “atividade indispensável para o controle e o gerenciamento das perdas de água”.

Segundo Camuri (2001), a macromedição dos sistemas de abastecimento de água, no Brasil, é deficiente tanto em qualidade como em quantidade. Tal deficiência é consequência dos altos custos de aquisição dos macromedidores usuais, bem como a dificuldade de instalação e manutenção, o que comumente gera dependência das empresas de saneamento em relação aos seus fornecedores.

Os medidores comerciais, não raramente, tem se tornado “investimento inoperante” já que são instalados em sistemas que não contam com mão de obra especializada para sua operação (COELHO & PINHO, 1979).

Dessa forma, o presente trabalho visa avaliar a eficácia de um medidor proporcional de fácil instalação e operação, com baixo custo de aquisição e que apresenta precisão adequada. A comprovação da eficácia de medidor acessível facilitará a criação dos distritos de medição e controle – DMCs e o acompanhamento do volume disponibilizado, disseminando ambas as técnicas como ferramentas poderosas para a tomada de decisão e priorização das ações de combate e redução de perdas.

2 - OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho é avaliar a eficácia da utilização de medidores proporcionais de vazão para controle de volume distribuído dentro do sistema de abastecimento de água – SAA da cidade de Araguaína – TO.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar um diagnóstico da eficiência operacional do sistema de abastecimento de água da cidade de Araguaína- TO;
- Comparar o custo do medidor proporcional com o custo de medidores usualmente empregados;
- Analisar estatisticamente os dados obtidos no monitoramento do medidor proporcional e do monitoramento pitométrico a fim de avaliar a correlação entre as vazões;
- Avaliar a aplicabilidade do medidor proporcional para formação de distritos de medição e controle – DMC dentro da cidade de Araguaína – TO

3 - REVISÃO DE LITERATURA

3.1 – PERDAS

3.1.1 - Conceito

Segundo a publicação “Performance Indicators for Water Supply Services” de LAMBERT & HIRNER (2000), as perdas podem ser definidas como a diferença entre o volume de entrada de água no sistema e o consumo autorizado, o cálculo pode considerar o sistema como um todo ou apenas um subsistema.

Complementarmente a essa definição, a COPASA (2003) conceitua a perda como “toda a parcela de água perdida ou todo o consumo não autorizado que determina aumento no custo de funcionamento ou que impeça a realização plena da receita operacional”.

A perda é dividida em duas componentes: as perdas reais ou físicas (referentes à água que foi produzida, mas não chegou ao consumidor final) e as perdas aparentes ou comerciais (parcelas de água consumidas, porém não contabilizadas) que serão tratadas com maior detalhe na próxima seção (MICHEL, 2009).

A matriz do Balanço Hídrico, representada na Figura 1, ajuda na compreensão dessas componentes:

Figura 1: Matriz de Balanço Hídrico. (Fonte: Adaptado de LAMBERT & HIRNER, 2000).

Volume de entrada no sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado faturado	Volume faturado medido	Água faturada
			Volume faturado não medido	
		Consumo autorizado não faturado	Volume não faturado medido	
			Volume não faturado não medido	
	Perdas	Perdas Aparentes	Submedição	Água não faturada
			Ligações clandestinas / Falhas no cadastro	
			Fraudes	
		Perdas Reais	Arrebetamento de Adutoras	
			Vazamentos nas tubulações	
			Extravasamento ou vazamentos em reservatórios	
	Vazamentos nos ramais			

Não existe perda zero dentro dos sistemas de abastecimento de água (Figura 2), já que esses compreendem a existência de tubulações enterradas pressurizadas e medidores com certo grau de imprecisão inerente. Sendo assim, deve existir um nível de perda “aceitável” para cada sistema, sob a ótica econômica, operacional e da conservação dos recursos hídricos (TSUTIYA, 2004). As perdas devem, portanto, ser compatibilizadas com a realidade socioeconômica e ambiental da região onde o sistema de distribuição de água está localizado (NEGRISOLLI, 2009).

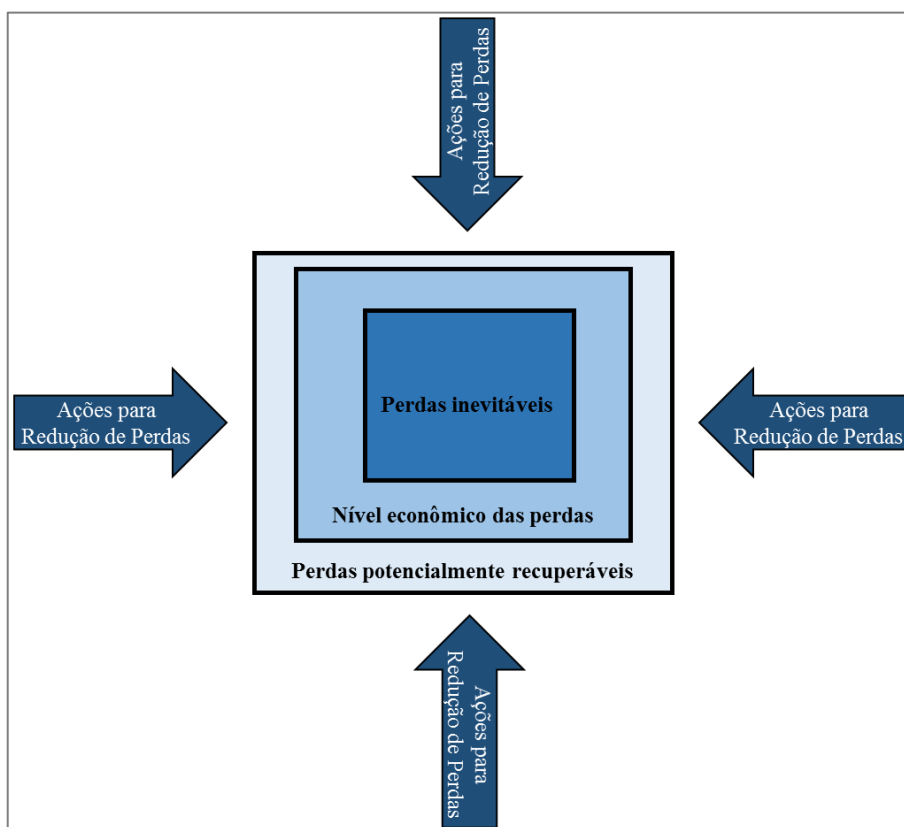


Figura 2: Representação gráfica das perdas inerentes e recuperáveis. (Fonte: Adaptado de AESBE, 2015)

As perdas são uma das principais dificuldades enfrentadas pelas companhias de saneamento brasileiras e um tema de debate recorrente, em função da escassez hídrica, dos altos custos associados e da relação com a saúde financeira dessas companhias. (SNIS, 2016).

O conceito equivocado de disponibilidade hídrica abundante no país fez com que obras de ampliação de infraestrutura dos sistemas de abastecimento de água fossem priorizadas, em detrimento de ações estruturais de combate às perdas. Embora tal estratégia

permita a resolução de problemas imediatos, ela é insustentável em longo prazo, uma vez que aumenta expressivamente a pressão sobre os recursos hídricos (em um cenário de escassez que tem se tornado cada vez mais crítico), além de onerar os custos para produção e distribuição de água e ser dissonante da noção de desenvolvimento sustentável (SNIS, 2016).

3.1.2 – Perda Real

A perda real, também chamada de perda física, diz respeito à água que não foi entregue ao consumidor, água escapou do sistema de distribuição em função de vazamentos nas tubulações e conexões ou vazamentos e extravasamentos em reservatórios (THORNTON, 2008).

Alguns vazamentos (em reservatórios, em tubulações maiores ou próximas às casas dos consumidores, por exemplo) são visíveis e, por isso, sua identificação e posterior reparo são relativamente mais ligeiros. Já os vazamentos não visíveis são mais difíceis de identificar, podendo acarretar a perda de um volume maior (FARLEY et al., 2008). A Figura 3, abaixo, ilustra os tipos de vazamento.

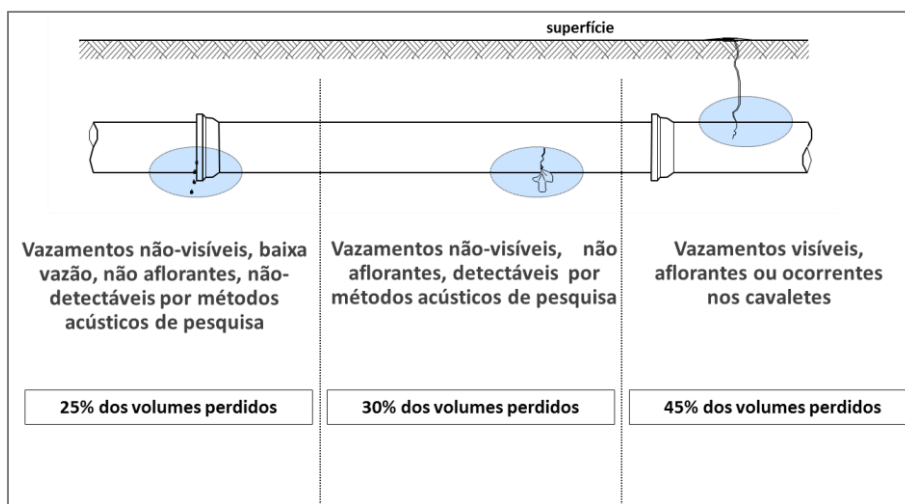


Figura 3: Representação gráfica dos tipos de vazamentos. (Fonte: SOUZA, 2003)

Existem dois aspectos importantes da perda real que devem ser abordados: um deles diz respeito à conservação dos recursos naturais e o outro à saúde pública.

No tocante à conservação ambiental, cabe ressaltar que quanto menor for o volume de água perdido, menor será a necessidade de exploração do recurso hídrico. Argumenta-se, no entanto, que as perdas reais recarregam o lençol freático, o que é uma verdade parcial, pois nem toda água perdida em vazamentos encontra o aquífero subterrâneo. Independente do argumento apresentado, a redução na disponibilidade hídrica provocada por altos índices de perda real origina graves impactos ambientais uma vez que, para garantia de abastecimento, se faz necessária à execução de obras com alto custo e que interferem substancialmente no meio ambiente, como a construção de barragens ou a importação de água de outras bacias.

O segundo aspecto, em relação à saúde pública, refere-se ao risco de contaminação da água pela entrada de agentes nocivos na tubulação, nos eventos de reparo a vazamentos que exigem a depressurização das redes. Há registros de epidemias e até mortes na população em função desse tipo de contaminação (TSUTIYA, 2004).

3.1.3 – Perda Aparente

A perda aparente, também chamada de perda comercial, compreende a água que é consumida, mas não é paga pelo consumidor. Isso ocorre em função da submedição dos hidrômetros ou em função de fraudes e ligações clandestinas. Ao contrário das perdas físicas, a perda comercial não é visível, o que muitas vezes causa sua negligência por parte das empresas (NEGRISOLLI, 2009).

A perda aparente pode representar um volume maior do que a perda física e, comumente, tem um custo mais alto, pois abrange o preço de venda da água, enquanto a perda física relaciona-se apenas com os custos de produção e distribuição - o valor da tarifa pode ser até quatro vezes o valor dos custos produtivos. Dessa forma, a redução de perda aparente implica em aumento de receita e, mesmo a recuperação de um pequeno volume comercial, tem um impacto financeiro significativo. Importante ressaltar que a redução da perda aparente pode ser alcançada de maneira mais rápida e efetiva, em relação à perda real (FARLEY et al., 2008).

Usualmente, as companhias incorporam o custo da perda na tarifa aplicada, transformando-a em um componente considerável da composição tarifária. Dessa forma, o patamar de perdas tem um impacto direto para o consumidor e para a sociedade (TSUTIYA, 2004).

3.1.4 – Impactos da Redução de Perdas

O nível de perdas está diretamente relacionado à eficiência operacional de uma empresa de saneamento, o êxito das ações para a redução de perdas acarreta uma melhora significativa na performance econômica das empresas, o que pode ser revertido em benefício do usuário através de tarifas menores e a postergação de novos investimentos no sistema (TSUTIYA, 2004).

A questão das perdas é tão grave que, níveis altos desse indicador, podem até limitar o crescimento de uma determinada região, caso haja escassez de fontes de abastecimento (THORTON et al., 2008).

A redução das perdas beneficia a população consumidora, a própria companhia de saneamento e contribui para a conservação ambiental. Os principais benefícios são listados a seguir (FARLEY et al., 2008):

- Melhoria na saúde pública;
- Redução da pressão sobre os recursos naturais;
- Melhoria na qualidade do serviço prestado, aumentando a confiança no abastecimento;
- Eficiência econômica da empresa de saneamento, o que significa menores taxas para o consumidor;
- Retardo na necessidade de investimentos;
- Melhoria na relação entre o prestador de serviço e o consumidor.

3.1.5 – Indicadores de Perda

Os indicadores de desempenho são instrumentos essenciais para medir a eficiência e a eficácia das empresas de saneamento. A eficiência pode ser entendida como a avaliação da aplicação otimizada dos recursos disponíveis para a produção e distribuição de água, enquanto a eficácia avalia o cumprimento dos objetivos de gestão (MARTINS, 2009).

Os indicadores permitem comparar a situação atual com a situação desejada, estabelecendo o problema. Eles sinalizam a necessidade de melhoria e contribuem para a priorização das ações, permitindo que os recursos escassos sejam aplicados de maneira otimizada (NEGRISOLLI, 2009). A utilização dos indicadores permite o conhecimento do patamar de perdas, o gerenciamento e o conhecimento da evolução dos volumes perdidos,

o direcionamento das ações de controle e a comparação entre sistemas de abastecimento de água distintos (TSUTIYA, 2004).

Existe um esforço tanto da comunidade internacional por meio da International Water Association - IWA, quanto no país, por meio do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNDCA em se conceituar e discutir os indicadores, buscando sua padronização e a correta aplicação prática (MARTINS, 2009).

Baseado em Negrisolli (2009), apresenta-se abaixo uma relação sucinta dos indicadores de perdas básicos mais expressivos:

- Índice de Perdas na Distribuição (IPD) – Relaciona o volume de entrada no sistema (macromedido) com o volume consumido (micromedido), será abordado com maior detalhe adiante;
- Índice de Perdas por Extensão de Rede (ILB) - Relaciona o volume perdido com a extensão da rede, é influenciado pela taxa de ocupação da região;
- Índice de Perdas por Ligação (IPL) – Relaciona o volume de entrada e o volume consumido com as ligações ativas existentes, consegue relacionar as perdas com a dimensão do sistema, é ideal para comparar sistemas com características muito diferentes.

Importante ressaltar que todos os indicadores citados tratam da perda total, isto é, a soma das perdas reais e das perdas aparentes, sem discriminá-las.

Ainda que o Índice de Perdas na Distribuição – IPD em percentual apresente imperfeições, haja vista que transmite uma falsa sensação de homogeneidade entre sistemas que operam em circunstâncias dessemelhantes, ele será o principal indicador adotado na presente dissertação em função da sua simplicidade e de sua larga utilização pelas empresas de saneamento (MIRANDA, 2003). O IPD é calculado, conforme Equação 1, abaixo:

$$\frac{(\text{Volume Disponibilizado} - \text{Volume Micromedido})}{\text{Volume Disponibilizado}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

Volume Disponibilizado ou Volume Produzido: Volume produzido, disponibilizado para a rede de distribuição de água (m³).

Volume Micromedido: Volumes registrados nas ligações dos clientes providas de medidores (m³).

Segundo Negrisolli (2009), sistemas com índice de perdas na distribuição inferiores a 25% são considerados sistemas com bom gerenciamento, o gerenciamento dos sistemas cujos índices estão entre 25% e 40% é considerado intermediário e, acima de 40%, a condição de gerenciamento é classificada como ruim.

Embora exista uma gama variada de indicadores de perdas, há um entendimento comum entre todas as abordagens: a confiabilidade e a qualidade da informação primária que gera o indicador é tão importante quanto sua correta elaboração. É ineficaz determinar um conjunto de indicadores completo que, à princípio forneceria o desempenho real do sistema, se a capacidade de geração e coleta das informações de entrada não corresponder ao nível de acurácia necessária. Todos os indicadores apresentados são baseados nos volumes macromedidos do sistema produtor e nos volumes micromedidos no nível do consumidor. Portanto, para que os indicadores sejam fidedignos à realidade é fundamental garantir a precisão desses dados, daí a importância de um sistema adequado e bem gerenciado de medição (MARCKA, 2004).

3.1.6 – Perdas no Brasil e no Mundo

De acordo com Farley et al.,(2008), estimava-se que mais de 32 bilhões de metros cúbicos de água tratada era perdida em todo o mundo anualmente, em função de vazamentos nas redes de distribuição, adicionais 16 bilhões de metros cúbicos eram entregues aos consumidores, sem contabilização em função de submedição ou fraudes. Uma estimativa conservadora indicou que a redução do índice de perdas mundial para sua metade (saindo de 35% para 17,5%), possibilitaria o atendimento de cerca de mais um milhão de pessoas com água tratada sem a necessidade de investimentos para ampliação dos sistemas.

Observam-se valores distintos de perdas tanto nas diversas regiões do globo, quanto nas diversas regiões do país. Países como a Alemanha e Japão conseguiram reduzir suas perdas para aproximadamente 10%, enquanto Austrália e Nova Zelândia alcançaram um patamar inferior a 10% (SNIS, 2016).

No Brasil, a média de perdas no ano de 2014 foi de 37% (Figura 4), a região do país com o índice mais crítico é o Norte, onde a perda chega a 48%, já o Sudeste apresentou o melhor indicador, de 33% (SNIS, 2016).

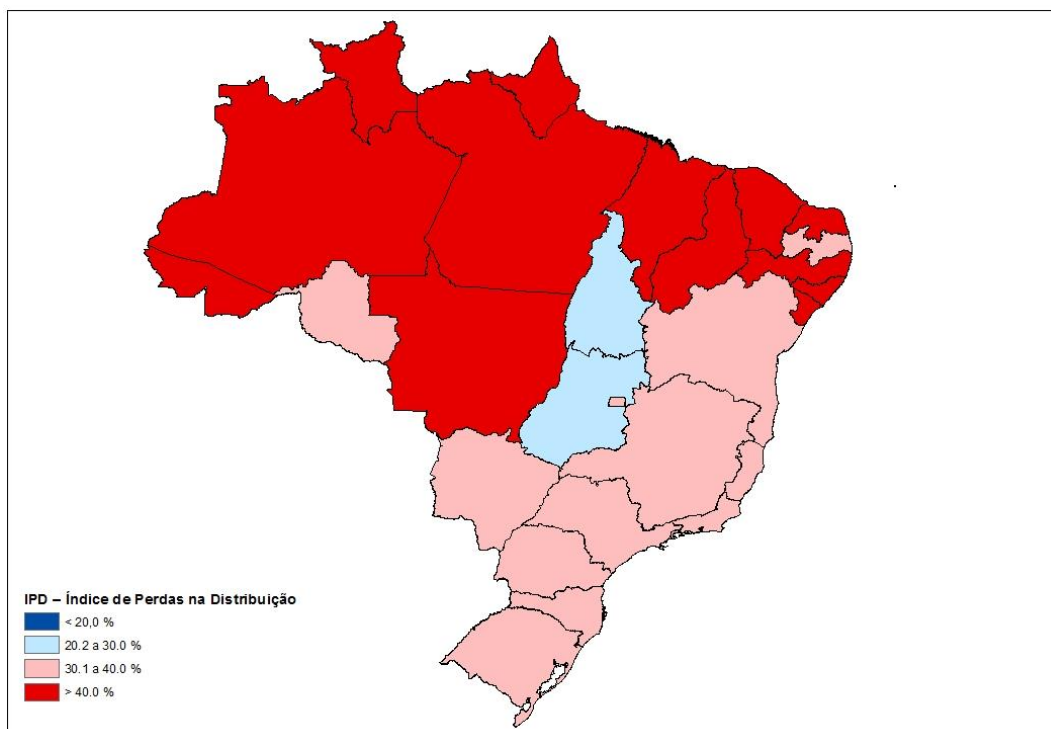


Figura 4: Visualização espacial do IPD nos estados brasileiros. (Fonte: Adaptado de SNIS, 2016)

De acordo com o Instituto Trata Brasil (2015), a situação do saneamento no Brasil ainda é crítica, em termos de índice de atendimento (apenas 83% da população é atendida com água tratada) e direcionamento dos recursos disponíveis. Essa debilidade acaba fazendo com que as medidas de controle e redução de perdas sejam deixadas em segundo plano.

Embora a média de perdas no Brasil ainda seja alta em comparação a outros países, percebe-se uma redução desse indicador ao longo dos anos, conforme demonstra Gráfico 1 abaixo (SNIS, 2011, 2012, 2013 e 2014):

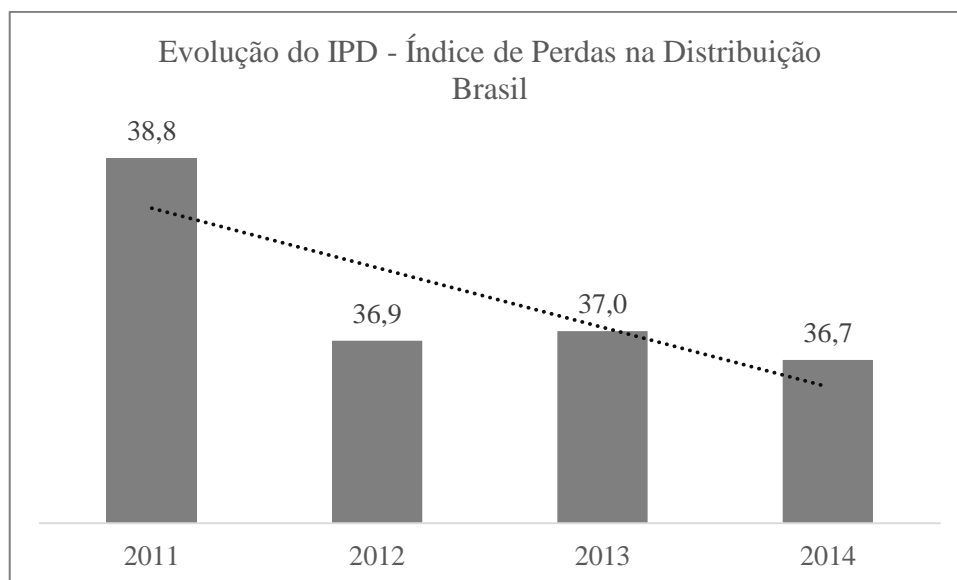


Gráfico 1: Evolução do IPD no Brasil. (Fonte: Adaptado de SNIS, 2011, 2012, 2013 e 2014)

3.2 – DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE - DMC

Quanto maior o conhecimento de uma área determinada, melhores e mais eficazes serão os produtos das ações de contenda às perdas. No entanto, o controle e a redução de perdas em grandes setores são inadequados, uma vez que não se podem identificar com precisão as causas da perda e nem estabelecer com rigor os resultados de cada ação em função das muitas variáveis envolvidas (MOTTA, 2010).

A setorização, que nada mais é senão a segmentação, parcelamento, delimitação ou divisão do sistema de abastecimento de água, criando setores homogêneos, isolados e independentes é uma alternativa para a redução desses grandes setores. E, quando acompanhada de macromedição, possibilita a criação de Distritos de Macromedição e Controle e cumpre uma estratégia de controle e otimização operacional. (GOMES, 2014).

Entende-se por Distrito de Medição e Controle – DMC, o setor perfeitamente delimitado, por meio de fechamento de registros cuja fonte de alimentação é conhecida e mensurada pela instalação de macromedidores (MOTTA, 2010).

Dentro dos DMCs é possível macromedir e consolidar os volumes de entrada, a pressão de trabalho e os parâmetros de qualidade da água. Trata-se de um método de melhoria das condições de serviço que permite o estabelecimento das causas da perda, favorecendo a formulação de estratégias eficientes de controle e redução desse indicador (GOMES, 2014).

A criação de DMCs possibilita a determinação acurada do nível de perda naquele setor e, conseqüentemente, permite a priorização de ações para controle e combate dessas perdas (HAMILTON, 2007).

A delimitação dessas áreas apresenta uma série de benefícios, tanto diretos como indiretos (COSTA, 2011).

Segundo Kurokawa (2001), além dos benefícios relativos ao controle e redução de perdas citados anteriormente, é possível apontar:

- O aumento no nível de satisfação do usuário em função da melhoria no gerenciamento do sistema;
- A simplificação e popularização do conhecimento operacional do sistema;
- A melhoria na qualidade da comunicação tanto entre as áreas da empresa prestadora de serviço, quanto entre a empresa e a população atendida;
- A definição de maneira distinta das atribuições das equipes operacionais;
- O benefício à geração de banco de dados operacionais;
- A contribuição para a eficiência e acurácia das ações de manutenção;
- A evolução do controle de pressão nas áreas;
- A maior integração entre as áreas de controle, operação, manutenção, comercialização, cadastro técnico, projeto e obras;

A criação e a gestão de DMCs deve ser entendida e consagrada como um método eficaz de gestão e redução de perdas (HAMILTON, 2007).

A definição das características operacionais dos DMCs é extremamente subjetiva. A Tabela 1 apresenta a quantidade de ligações que um DMC deve conter, segundo diversos autores (SOUZA, 2003):

Tabela 1: Número mínimo e máximo de ligações de água por DMC.

Fonte	Mínimo	Máximo
IWA (2007)	500	3.000
Farley et. Al. (2008)	1.000	2.500
SABESP (2008)	500	2.500
Thorton et. al. (2008)	1.000	5.000
Lambert & Taylor (2010)	500	3.000
EPA (2010)	1.500	2.000
Média	833	3.000

Fonte: SOUZA, 2003.

Embora haja divergências em relação às características de um DMC, a literatura concorda que um DMC válido, pressupõe duas características básicas: a existência de medição confiável em sua entrada e uma área bem delimitada e estanque (HAMILTON, 2007). É a instalação dos macromedidores que torna a criação de DMCs um método eficaz para a gestão das perdas (KUROKAWA, 2001).

Nesse contexto, um dos objetivos do presente trabalho é apresentar um macromedidor alternativo: barato, de fácil instalação e manutenção para a criação dos DMCs, contribuindo assim para o controle e a redução das perdas.

A Figura 5 ilustra o conceito de DMC discutido previamente:

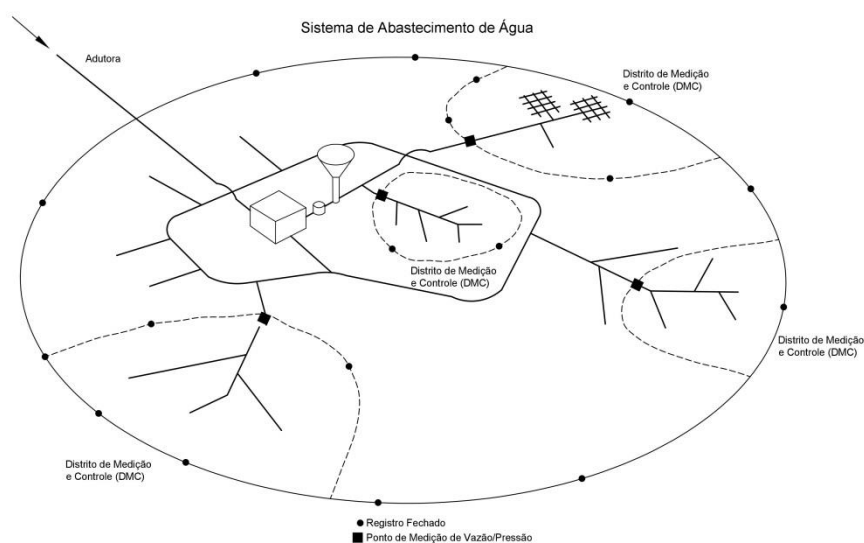


Figura 5: Configuração típica em DMCs. (Fonte: o autor)

3.3–MACROMEDIÇÃO

Segundo Niida et al. (2004), a macromedição deve ser entendida como os processos inerentes à medição e estimação de parâmetros operacionais hidráulicos (vazão, pressão e nível) dentro do sistema de abastecimento de água, com ênfase na distribuição. “A macromedição tem por objetivo fornecer o ferramental necessário ao controle, avaliação e medição dos parâmetros hidráulicos” sendo, portanto, fundamental para o conhecimento dos sistemas de abastecimento de água.

De acordo com Camapum (2007), a necessidade de instalação desses medidores no sistema de abastecimento de água se dá para que se aperfeiçoe o programa de controle de perdas e se conheça, de fato, o índice de perdas do sistema em questão.

Marcka et al. (1999) afirmam que para uma gestão operacional eficaz e para se realizar o controle das perdas, o sistema de distribuição de água deve ter limites bem definidos e ser alimentado, preferencialmente, por um único ponto, formando assim um setor estanque de abastecimento. Recomenda-se ainda que esse setor perfeitamente delimitado seja dotado de ponto de medição e monitoramento para acompanhamento do consumo, além da identificação e avaliação das perdas na área.

Embora a importância da macromedição nas ações de combate e redução de perdas seja largamente reconhecida, ainda existe um grande déficit na instalação desses equipamentos dentro das companhias de saneamento em função dos altos custos e da dificuldade de instalação e manutenção (CAMAPUM, 2007).

Camuri (2001) defende que os macromedidores comerciais exigem mão de obra especializada, inclusive em tecnologia de instrumentação, muitas vezes ausentes nos quadros das empresas de saneamento, o que gera uma dependência direta dessas empresas com os fornecedores de equipamento, originando altos custos operacionais e de manutenção.

Os medidores de vazão, assim como todos os equipamentos de medição, não são instrumentos ideais, isso significa que não são capazes de registrar a quantidade exata de fluido que o perpassa. Todos os medidores de vazão, independentemente de sua classificação, tem limitações consideráveis que são afetadas por uma série de fatores, a saber: a posição de instalação, as distorções no perfil de velocidade do local de instalação, a fadiga do equipamento, a deposição de sólidos na estrutura de medição e o dimensionamento incorreto. Nem todos os medidores apresentam a mesma sensibilidade a

esses fatores e equipamentos que utilizam a mesma tecnologia, mas de marcas diferentes, apresentam comportamentos distintos frente aos parâmetros citados.

Além de adotar a tecnologia correta para cada situação de medição, é importante ainda observar os métodos de instalação adequados e avaliar a qualidade dos equipamentos oferecidos no mercado (ARREGUI et al., 2005). Johnson (2001) afirma que a seleção incorreta de um medidor acarreta perda de performance, tempo e dinheiro para as companhias de saneamento.

3.3.1 – Histórico da Medição de Vazão

O estudo do funcionamento dos sistemas de distribuição de água: o modo como ela é distribuída e em que quantidade, sempre foi uma matéria fundamental dentro da hidráulica (ESTEVAN, 2005). Existem vestígios da medição de vazão que remontam à Civilização Egípcia em 5.000 a. C., com aplicações dentro da irrigação e na própria distribuição de água para consumo (DELMÉE, 1989).

Séculos mais tarde, cientistas gregos empenharam-se em desvendar o comportamento dos líquidos e gases em movimento. Durante o Império Romano, observou-se grande desenvolvimento nos sistemas de distribuição de água e, nas obras de Frontinus surgiu a pungente indagação acerca da quantidade de água que os sistemas transportavam (ESTEVAN, 2005).

De acordo com Camargo (2009), o século XV compreende aportes significativos para o tema da medição de vazão. Leonardo Da Vinci publicou o trabalho intitulado ‘Sobre o Movimento das Águas e Obras Fluviais’. Em XVII, Galileu divulgou estudos sobre a hidrostática e, seu discípulo Torriceli, sobre o escoamento livre da água através de orifícios, ambos de ampla relevância para a fundamentação dos conceitos que embasam a medição de vazão.

Delmée (1989) cita a contribuição cabal no embasamento de tais conceitos feito pelos físicos Bernoulli e Euler, por meio do estudo da mecânica dos fluidos, no século XVII.

Em 1732, o engenheiro francês Henri Pitot realizou ensaios no Rio Sena, relacionando a altura da água dentro de um tubo – que mais tarde seria conhecido como tubo Pitot – com a velocidade do fluxo (ESTEVAN, 2005).

Já em 1797, o físico e inventor italiano Venturi, em 1797, publicou os resultados do seu trabalho sobre medição de vazão utilizando o diferencial de pressão, utilizando o equipamento precursor do Tubo de Venturi (DELMÉE, 1989).

Já no século XX, Estevan (2005) aponta o surgimento dos primeiros medidores eletrônicos. O princípio de funcionamento dos medidores eletromagnéticos, a Lei de Faraday, foi concebida em 1831, mas sua aplicação para a medição de vazão só ocorreu em 1930, quase um século depois.

A medição cujo princípio de funcionamento se baseia na velocidade do som foi consagrada em 1959, através de uma revisão dos equipamentos dessa categoria existentes até o momento, feita por Fischbacker. No entanto, a primeira proposta de equipamentos desse tipo data de 1928 (ESTEVAN, 2005).

A evolução nas tecnologias de medição de vazão é inegável. Atualmente, os equipamentos são mais resistentes e permitem uma medição mais acurada, seu projeto leva em conta a redução na perda de carga das redes e eles tem se tornado cada vez mais precisos e exatos. Em função dos avanços na eletrônica, recentemente, esses equipamentos passaram a permitir a coleta e armazenamento de dados, bem como sua transmissão. Camargo (2009), afirma que todo projeto relacionado à gestão do recurso hídrico parte do conhecimento de vazão.

3.3.2 – Medidores Existentes

A medição incorreta do volume distribuído será crítica para determinação dos indicadores de desempenho dentro dos sistemas de distribuição de água. Qualquer que seja o parâmetro de desempenho empregado, a correta determinação desses volumes será determinante para confiabilidade dos resultados (Associação Brasileira de Empresas Estaduais de Saneamento – AESBE, 2015).

Atualmente, existe um amplo mercado de equipamentos de macromedição, verifica-se, portanto, grande variação em termos de custos, precisão e aplicabilidade. (GOMES, 2014).

Neste cenário, definir qual equipamento utilizar tornou-se tarefa cada vez mais complexa. É importante que a especificação de um ou outro tipo de medidor leve em conta suas características técnicas e as condições operacionais do processo. É preciso considerar a tecnologia empregada, o princípio de funcionamento do medidor em questão, suas

vantagens e desvantagens, suas limitações e restrições, o recurso disponível, o custo de aquisição, instalação e manutenção, além das exigências normativas e requisitos de segurança aplicáveis. Todos os itens devem ser criteriosamente avaliados para que o medidor selecionado seja o melhor na relação custo x benefício (GONÇALVES, 2012).

Existem abundantes classificações para os medidores de vazão, conforme diversas concepções. No presente trabalho será adotada a classificação constante na ABNT - NBR 10396 (1988) – Medidores de Vazão de Fluidos – Classificação, cujo diagrama apresenta-se na Figura 6.

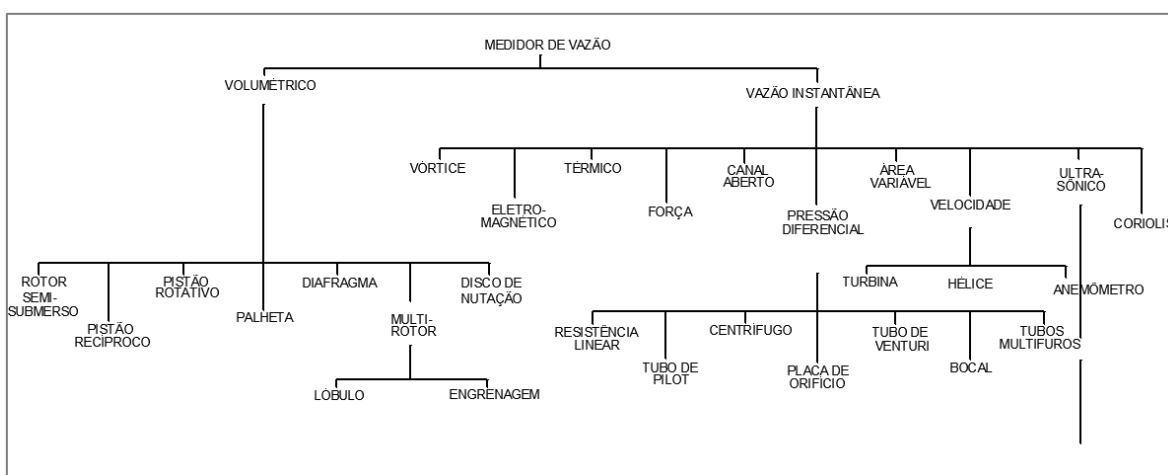


Figura 6: Configuração típica em DMCs. (Fonte: NBR 10396)

A Associação Brasileira de Empresas Estaduais de Saneamento – AESBE (2015) atesta a existência de atributo comum a todos os medidores de vazão, independentemente de sua classificação. Trata-se da presença de dois elementos distintos: o elemento primário (instrumento de medição que está em contato direto com o fluido e que transforma a vazão em outra grandeza mensurável) e o elemento secundário (responsável por converter a grandeza obtida em informação apropriada para a leitura).

A seguir, serão abordados os medidores de vazão mais utilizados dentro dos sistemas de distribuição de água bem como suas características, princípios de funcionamento, vantagens e desvantagens. Segundo a classificação da NBR, todos os medidores tratados encaixam-se na classificação de medidores de vazão instantânea.

3.3.2.1 – Medidores de Velocidade (Velocimétricos)

Medidores de velocidade tem seu princípio de funcionamento baseado na medição de velocidade do fluido através da rotação de uma turbina interna, que pode ser paralela ou perpendicular ao fluxo. A velocidade da turbina é diretamente proporcional à vazão na tubulação (FRANGIPANI & GOMES, 2007)

De acordo com Gomes (2014), cada vez que uma das pás, posicionadas em um ângulo β em relação à direção do fluido, da turbina passa por um sensor, gera-se um pulso elétrico, correspondente a um volume fixo. A vazão medida pelo equipamento pode ser determinada por meio da Equação 2, abaixo:

$$Q = V \cdot A = 2\pi \cdot n \cdot r \cdot \cot\beta \cdot A \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$Q = \text{Vazão (m}^3/\text{h)}$;

$V = \text{Velocidade do Fluido (m}^2/\text{s)}$;

$A = \text{Área da Seção Transversal (m}^2)$;

$n = \text{Número de voltas da turbina}$;

$r = \text{Raio da turbina (m)}$;

$\beta = \text{Inclinação das pás(graus)}$.

a) Hidrômetros Monojato:

Os hidrômetros monojato (Figura 7) são equipamentos largamente empregados para medição de consumo domiciliar. Os mais utilizados tem vazão nominal de 1,5 m³/h. A medição feita por esses equipamentos se dá por meio da rotação da turbina, sendo que nesse modelo o fluxo incide em um único ponto da mesma. As dimensões desse equipamento exercem papel fundamental em sua precisão. A existência de sólidos em suspensão ou a deposição de material em seu interior podem bloquear ou dificultar o giro da turbina, alterando a relação entre a vazão e a velocidade da turbina, provocando assim erros de medição (ESTEVAN, 2015).



Figura 7: Hidrômetro Monojato. (Fonte: Catálogo Itron, 2013)

Os hidrômetros monojato são simples, compactos e mais baratos em relação a outros medidores pelo fato de não serem dotados de câmara de medição. A carcaça desses medidores faz parte de sua metrologia tornando sua manutenção mais complexa. Eles apresentam sensibilidade em relação a perturbações na entrada, o que exige um trecho reto mínimo a montante da entrada do medidor (ALVES, W. C. et al., 1999). A estrutura pode ser observada na Figura 8, abaixo.



Figura 8: Estrutura do Hidrômetro Monojato. (Fonte: ALVES, W. C. et al., 1999)

b) Hidrômetros Multijato:

Seu princípio de funcionamento é bastante similar ao dos medidores monojato, uma vez que a medição se dá através da rotação da turbina. A diferença entre eles é que o fluxo de água incide em vários pontos da turbina, conforme Figura 9, obtendo uma performance mais equilibrada (ESTEVAN, 2015).



Figura 9: Movimento da Água em hidrômetro Multijato. (Fonte: DA SILVA, N. R., 2008)

O medidor multijato é constituído por uma carcaça que abriga o conjunto medidor (câmara de medição, turbina ou rotor, placa separadora e relojoaria) conforme Figura 10, seu bom desempenho está associado essencialmente a esse conjunto, dessa forma não há prejuízos à medição em função de distúrbios na carcaça. Em comparação aos medidores monojatos são mais robustos, o que aumenta sua resistência, vida útil e reduz os desgastes. Por outro lado, tem custo mais elevado e maior vulnerabilidade quanto à instalação inclinada (ALVES, W. C. et al., 2004).

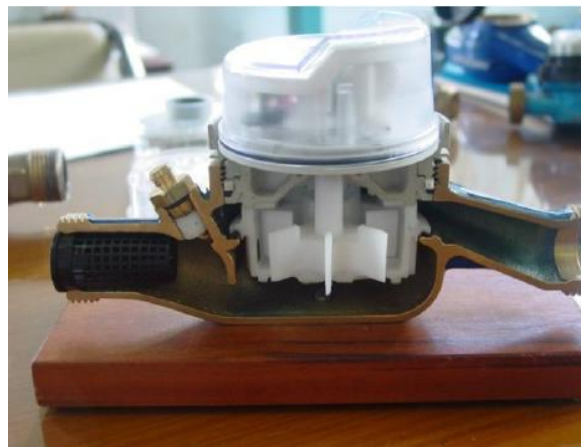


Figura 10: Fotografia de Hidrômetro Multijato. (Fonte: DA SILVA, N. R., 2008)

O desenho esquemático da Figura 11 permite avaliar a principal diferença construtiva entre os hidrômetros monojato e multijato:

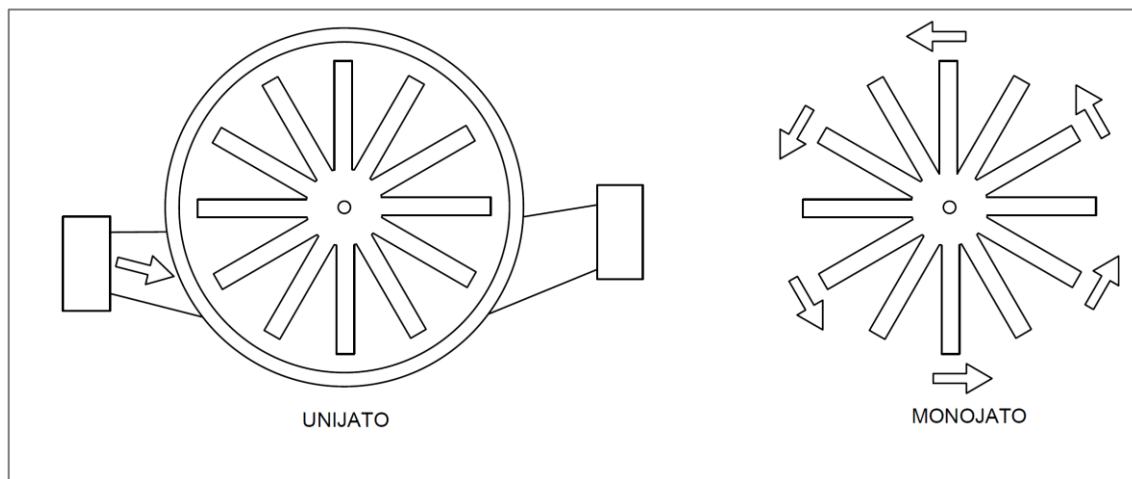


Figura 11: Desenho esquemático dos hidrômetros unijato e multijato. (Fonte: Adaptado de ESTEVAN, 2005)

Os hidrômetros monojato e multijatos também são diferenciados em função de sua classe metrológica, que diz respeito à precisão da medição. Os erros de medição são sempre maiores quanto menores forem as vazões de trabalho, dessa maneira os hidrômetros são ordenados de forma crescente de acordo com o grau de precisão, classe A (menor precisão) e classe C (maior precisão). Cada classe determina a vazão mínima (Q mínima) e a vazão de transição (Q transição), dentro da faixa de vazão nominal (Q nominal) em que o hidrômetro é capaz de medir respeitando os erros máximos admissíveis (SILVA, 2008).

A Tabela 2 apresenta as vazões mínimas e de transição correspondentes a cada classe de hidrômetro:

Tabela 2: Classes de hidrômetros e correspondentes valores Q mínima e Q transição.

Classe Metrológica	Vazão Característica (L/h)	Vazão Nominal - Qn (m³/h)								
		0,6	0,75	1	1,5	2,5	3,5	5	10	15
A	Q mínima	24	39	40	60	100	140	200	400	600
	Q transição	60	75	100	150	250	350	500	1000	1500
B	Q mínima	12	15	20	30	50	70	100	200	300
	Q transição	48	60	80	120	200	280	400	800	1200
C	Q mínima	6	7,5	10	15	25	35	50	100	150
	Q transição	9	11	15	22,5	37,5	52,5	75	150	225

Fonte: SILVA, 2014.

Silva (2014) apresenta, de maneira sucinta, os conceitos abordados na Tabela 2. São eles:

- Vazão nominal (Qn): Trata-se da maior vazão na qual o medidor opera de maneira satisfatória, respeitando os erros máximos toleráveis;
- Vazão de transição (Qt): Refere-se à vazão que define a separação entre os campos de medição inferiores e superiores;
- Vazão mínima (Qmin): Referente à menor vazão em que a medição não é comprometida;
- Início do Movimento: Diz respeito ao início de funcionamento do hidrômetro, vazão a partir da qual a medição se inicia, respeitando-se os erros máximos toleráveis.

c) Woltmann

Os medidores do tipo Woltmann são hidrômetros de jato único, com turbina em formato helicoidal, que podem ser verticais, conforme Figura 12 (turbina vertical em relação ao fluxo de água) ou axiais, conforme Figura 13 (turbina paralela à tubulação). Geralmente, são fabricados em diâmetros acima de 50 mm e destinados a usuários de grande porte ou até mesmo para macromedição (SILVA, 2014).



Figura 12: Vista em corte de medidor Woltmann vertical. (Fonte: FRANGIPANI & GOMES, 2007)



Figura 13: Vista em corte de medidor Woltmann axial. (Fonte: FRANGIPANI & GOMES, 2007)

São medidores mais resistentes que os hidrômetros multijato e monojato e adequados a vazões com grande variação, por possuírem peças móveis exigem plano de manutenção e calibração periódica em bancada. Apresentam baixo custo e fácil manutenção, porém provocam perda de carga na linha (BEZERRA, 2009).

3.3.2.2 – Medidores Deprimogênitos

Os medidores deprimogênitos, representados pela Figura 14, percebem a vazão em termos de diferencial de pressão obtido por meio de uma redução na seção do tubo, tal redução ocasiona um aumento de velocidade, isto é, um aumento na energia cinética do fluido o que reduz a pressão proporcionalmente à diferença de velocidade à montante e à jusante da redução de seção, respeitando o princípio da conservação da energia (GUTIERREZ, 2012).

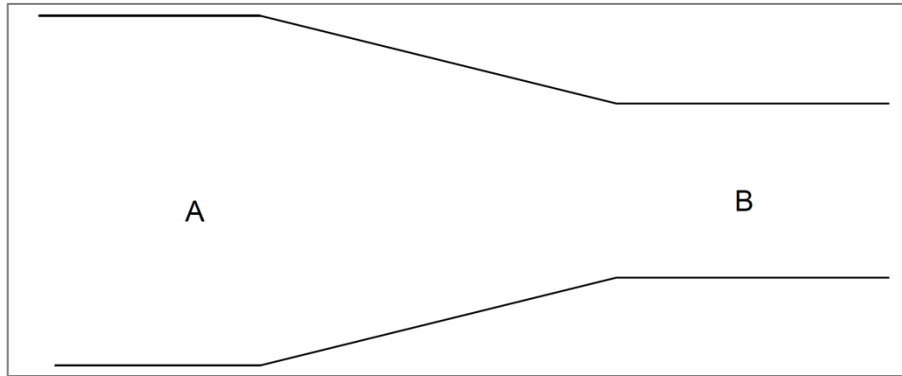


Figura 14: Representação esquemática de um medidor deprimogênito. (Fonte: FRANGIPANI & GOMES, 2007)

Frangipani & Gomes, (2007) explicam o princípio de funcionamento desses medidores aplicando a Equação de Bernoulli (Equação 3) para dois pontos entre os quais exista uma perda de carga, da seguinte forma:

$$\frac{V_a}{2g} + \frac{P_a}{\gamma} + Z_a = \frac{V_b}{2g} + \frac{P_b}{\gamma} + Z_b + \Delta H_f \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

V_a = Velocidade no ponto A (m/s);

g = Aceleração da gravidade (m/s²);

P_a = Pressão estática no ponto A (mca);

γ = Peso específico do fluido (N/m³);

Z_a = Cota do ponto A (m);

V_b = velocidade no ponto B (m/s);

P_b = Pressão estática no ponto B (m);

Z_b = Cota do ponto B (m);

H_f = Perda de Carga entre os pontos A e B (m).

Ainda segundo Frangipani & Gomes (2007) é válido ressaltar que a Equação de Bernoulli considera apenas as velocidades médias nas seções, mas na prática verifica-se

variação no perfil de velocidade de cada seção. Assim é necessário que se aplique coeficientes de correção, determinados em laboratório, à equação mencionada obtendo-se a equação geral dos medidores de pressão diferencial, a saber pela Equação 4, abaixo:

$$Q = K \times \sqrt{\Delta P} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$Q = \text{Vazão (m}^3/\text{h)}$;

$K = \text{Constante do medidor (contempla correções relativas à seção de escoamento, gravidade, perfil de velocidade, perda de carga e etc.)}$;

$\Delta P = \text{Diferencial de Pressão (mca)}$.

d) Tubo Pitot

O tubo Pitot nada mais é do que um medidor de inserção que capta a pressão diferencial em um determinado ponto da tubulação, a transforma em velocidade e fornece a vazão. Considerando que as tubulações apresentam um perfil de velocidade, conforme Figura 15 - em função do regime de escoamento que pode ser laminar ou turbulento - o Pitot deve medir a velocidade em vários pontos da mesma seção, calcular a velocidade média, adotando sempre as constantes de correção, para em seguida fornecer a vazão (BEZERRA, 2009).

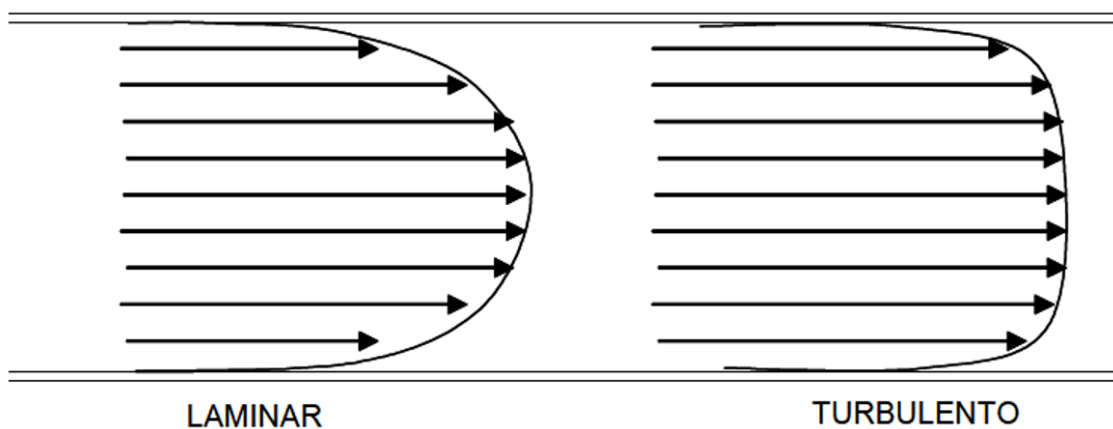


Figura 15: Perfil de velocidade em função do regime de escoamento. (Fonte: ESTEVAN, 2005)

Existem dois tipos de tubo Pitot, o tipo Cole ilustrado pela Figura 16 e o tipo SIMPLEX, ilustrado pela Figura 17. A diferença básica entre os dois é a tomada de pressão que no tipo Cole é feita nos TIPS. No saneamento, o tipo mais utilizado é o tubo Pitot do tipo Cole (COSTA & SILVA, 2004).

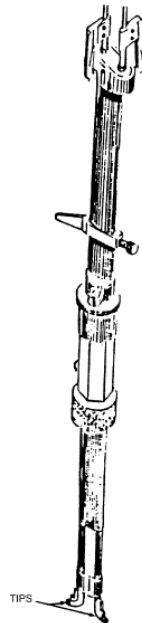


Figura 16: Tubo Pitot do tipo Cole. (Fonte: COSTA & SILVA, 2004)

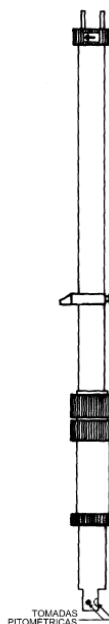


Figura 17: Tubo Pitot do tipo SIMPLEX. (Fonte: COSTA & SILVA, 2004)

O tubo Pitot (Figura 18) é amplamente empregado no saneamento devido à sua praticidade, já que não exige seccionamento da tubulação, apenas a instalação de um registro de derivação (TAP). O equipamento pode ser utilizado de maneira itinerante, permitindo a medição em vários pontos da rede. O fato de não possuir partes móveis, o torna robusto, confiável e de fácil manutenção. No entanto, por ser um equipamento de campo, acaba sujeito a choques mecânicos e danos o que exige calibração constante, um tubo Pitot não calibrado pode levar a erros grosseiros de medição. A necessidade de levantar um perfil de velocidade também é uma desvantagem do medidor, já que pode tornar a medição demorada (BEZERRA, 2009).

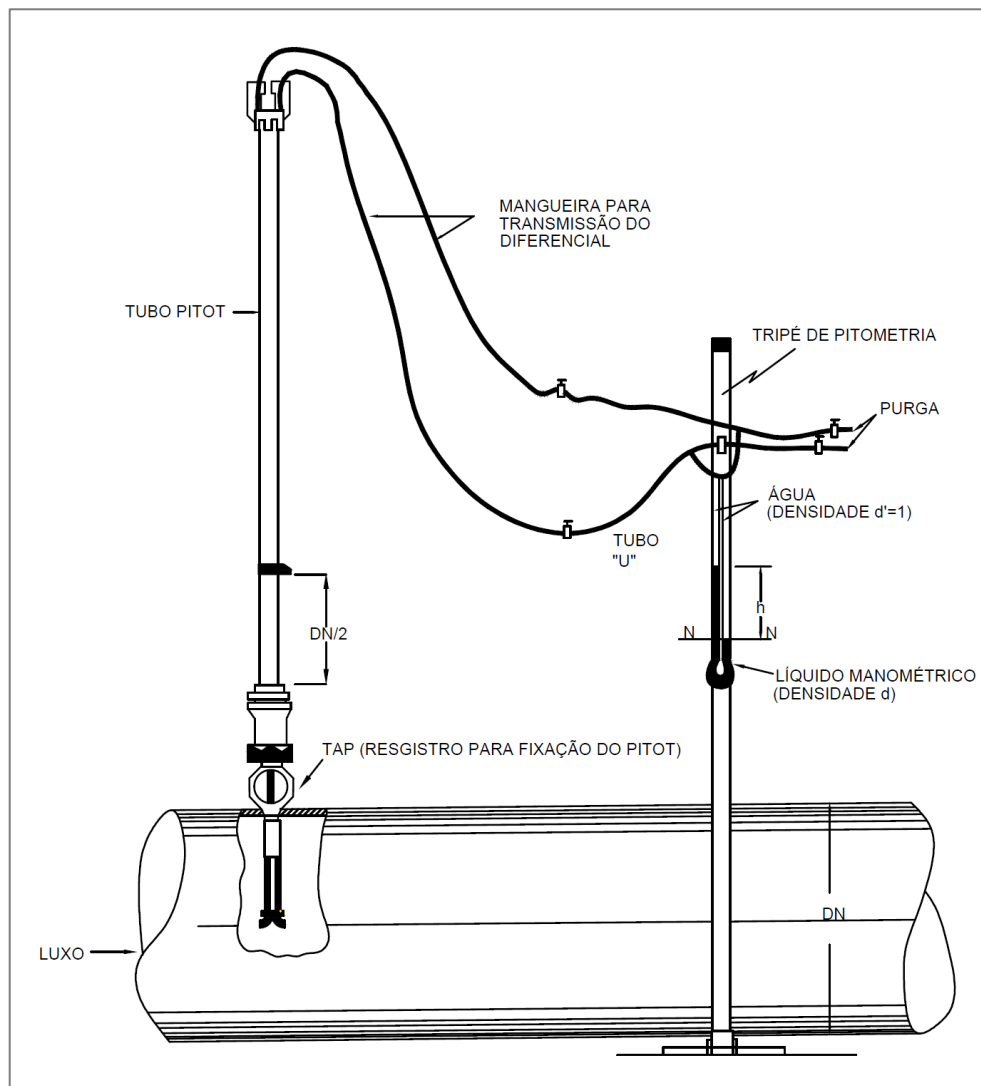


Figura 18: Conjunto: tubo Pitot, par de mangueiras e tubo em U. (Fonte: COSTA & SILVA, 2004)

e) Tubo Venturi

O tubo Venturi (Figura 19) é composto de três partes fundamentais: uma seção de entrada convergente, que gera aumento na velocidade do fluido e redução na pressão; uma seção cilíndrica, onde a velocidade do fluido é praticamente constante e onde é feita a tomada da pressão baixa; e finalmente, a seção de saída divergente na qual a velocidade é reduzida, a pressão aumenta e a tomada de pressão alta é realizada. O diferencial de pressão captado é transformado em vazão utilizando a Equação de Bernoulli.

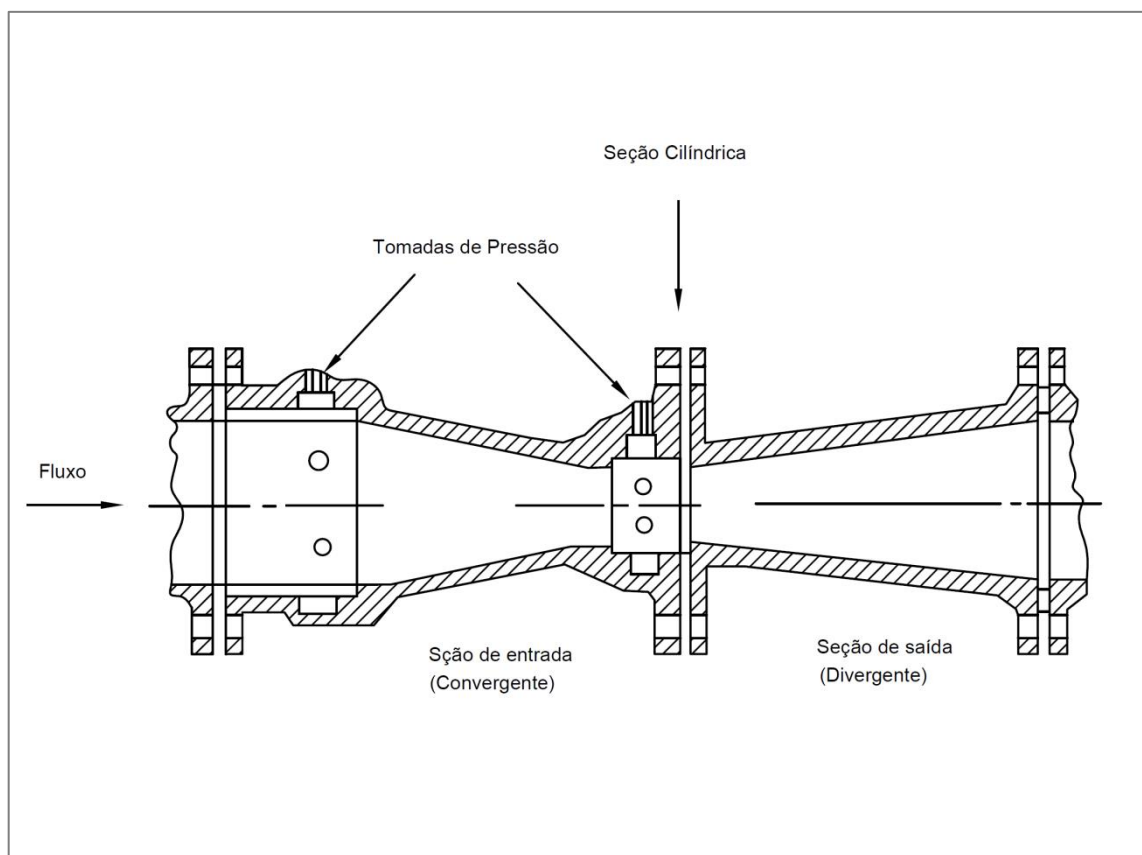


Figura 19: Tubo Venturi. (Fonte: ESTEVAN, 2005)

f) Placas de Orifício

As placas de orifício consistem em um disco perfurado que se instala nas tubulações cujo orifício provoca diferencial de pressão no fluxo de água. A vazão é obtida pela medição do diferencial por meio de duas tomadas de pressão (GOMES, 2014).

Apesar de também serem utilizadas para medição de vazão de água, as placas de orifício são largamente utilizadas na medição de gases e vapor (BARRERA & ERAZO, 2009).

Trata-se de instrumentos simples, baratos e disponíveis em várias bitolas. Tem um erro relativamente alto, em comparação a outros medidores (aproximadamente 5%), seu aspecto construtivo gera grande perda de carga e a medição é altamente sensível à deposição de sólidos no corpo do instrumento (MORRIS, 2001).

3.3.2.3 – Medidores Eletromagnéticos

O medidor eletromagnético, apresentado de forma esquemática na Figura 20 a seguir, é composto de um tubo de aço inoxidável no interior do qual duas bobinas geram um campo eletromagnético, esse campo é medido por dois eletrodos dispostos nas margens opostas do tubo à uma distância conhecida (diâmetro do próprio tubo). De acordo com a lei de Faraday (Equação 5), a tensão existente entre os eletrodos é proporcional à velocidade do fluido (MORRIS, 2001).

$$t = B \times L \times V \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

t = Tensão (Pa);

B = Densidade do Fluido (kg/m^3);

L = Distância entre os eletrodos (m);

V = Velocidade do fluido (m/s).

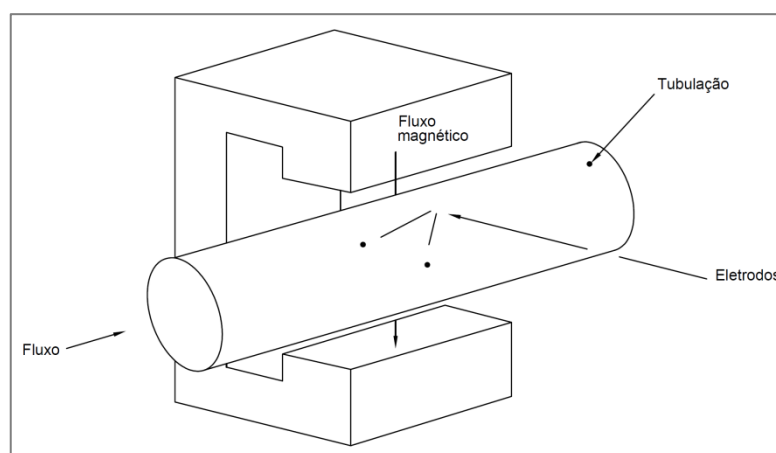


Figura 20: Medidor eletromagnético. (Fonte: ESTEVAN, 2005)

Niida et al. (2004) faz algumas recomendações para que a confiabilidade da medição no medidor eletromagnético seja preservada. São elas:

- Devem-se utilizar os cabos de sinal próprios do medidor fornecidos pelo fabricante considerando a distância entre o tubo e o conversor (elemento secundário que registra o sinal);
- A bobina do medidor não deve ser submetida a esforços,
- Não pode haver ar na tubulação;
- Necessário preservar trecho reto de, no mínimo, dez vezes o diâmetro da tubulação à montante do medidor;
- O aterramento elétrico deve ser primoroso, evitando interferências no campo magnético;
- A resistência do aterramento deve ser inferior a 6 ohms.

Como vantagens dos medidores eletromagnéticos é possível citar o fato de não obstruírem o fluxo de água e, portanto, não provocarem perda de carga, são fabricados em diâmetros diversos, possuem ótima precisão de medição, conseguem medir o fluxo em qualquer sentido da tubulação além de não possuir peças móveis dispensando manutenção no tubo. Por outro lado, demandam ponto de energia próximo à instalação e requerem muita cautela em relação à sua instalação elétrica e seu aterramento (GUTIERREZ, 2012).

3.3.2.4 – Medidores Ultrassônicos

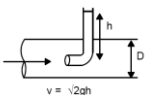
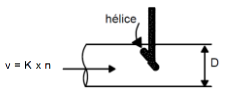
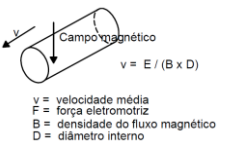
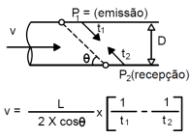
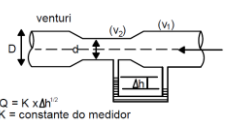
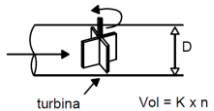
Os medidores ultrassônicos são dotados de sensores que enviam ondas ultrassônicas e as recebe de volta, depois de terem se propagado através do fluido. O resultado da perturbação sofrida pelas ondas durante sua propagação determina a velocidade do fluido (BEZERRA, 2009).

A medição ultrassônica é um método não invasivo, o equipamento pode ser acoplado à tubulação sem necessidade de intervenção na mesma, facilitando a instalação e evitando a contaminação do fluido. A precisão da medição é alta e a manutenção do equipamento simples. No entanto, o custo de aquisição ainda é alto em comparação a outros medidores, embora a tecnologia esteja ganhando espaço e esse custo venha diminuindo ao longo dos anos (MORRIS, 2001).

3.3.3 Análise Comparativa entre Medidores

A Tabela 3 apresenta uma compilação dos medidores abordados, seu princípio de funcionamento e suas principais características de maneira a facilitar a comparação entre os equipamentos.

Tabela 3: Comparação entre macromedidores.

Tipo de Medidor	Descrição do Princípio de Funcionamento	Representação Esquemática	Características Principais			
			Instalação: Trecho		Precisão	Operação / Aplicação
Montante	Jusante					
Tubo de Pilot	A velocidade é determinada através do diferencial de pressão entre dois pontos do Pilot, um deles no sentido oposto ao fluxo (impacto) e outro no sentido do fluxo.		10 a 20 D	5 a 10D	± 2%	Portátil, prático, para tubos sob pressão com D ≥ 100 mm
Turbina ou Fluxímetro	A velocidade é determinada como uma proporção do número de rotações de uma hélice inserida no fluxo.		10 D	5 D	± 2%	Portátil, prático, para tubos sob pressão com D > 50 mm. A inserção da haste e da hélice modifica a velocidade, que deve ser corrigida (bloqueio).
Eletromagnético	A lei de indução eletromagnética de Faraday rege a obtenção da velocidade do fluxo. Quando um campo magnético é aplicado perpendicularmente à direção do fluxo, é gerada uma força eletromotriz proporcional à velocidade média do fluxo.		5 D	0 D	± 0 a 1,2 %	Não inserido no fluxo, não há perda de carga. Mede fluxos em grandes diâmetros com boa precisão. Normalmente é mais caro do que os demais medidores. Para toda a faixa de diâmetros.
Ultrassônico	A velocidade é calculada através da emissão de pulsos ultrassônicos no fluxo d'água e os correspondentes tempos de trânsito. Com estes valores, comparados com o tempo no líquido estacionário, determina-se a velocidade média do fluxo.		10 D	5 D	± 1 A 2%	Não inserido, podendo ser facilmente instalado sem interromper o fluxo. Para toda a faixa de diâmetros.
Deprimogêneo	A determinação de vazão é feita medindo-se o diferencial de pressão provocado pelo alteração na seção de escoamento (venturi ou por um obstáculo (placa de orifício, boca)).		20 D	5 D	± 1 a 3%	Baixa perda de carga, pouca manutenção (não tem partes móveis) e longa vida útil. Os medidores de maiores diâmetros são caros e custosos para instalar.
Hidrômetro (velocimétrico)	O princípio dos medidos velocimétricos consiste na obtenção do volume de água que atravessa uma seção, proporcionalmente ao número de revoluções de uma turbina.		5 D	2 D	± 2%	É o mais utilizado para medir o consumo nos imóveis. Ampla gama de tamanhos. Erros sensíveis para baixas vazões. Exige manutenção periódica (3 a 5 anos).

Fonte: Tsutyia, 2014.

3.3.4 Medição Proporcional

O conceito da medição proporcional é baseado na proporcionalidade verificada entre a vazão de água que percorre uma tubulação principal e a vazão de água que percorre uma tubulação secundária, derivada da tubulação principal, na qual se instala um medidor de pequeno porte (FRANGIPANI & GOMES, 2007).

A Figura 21 apresenta um desenho esquemático de um tipo de medidor proporcional:

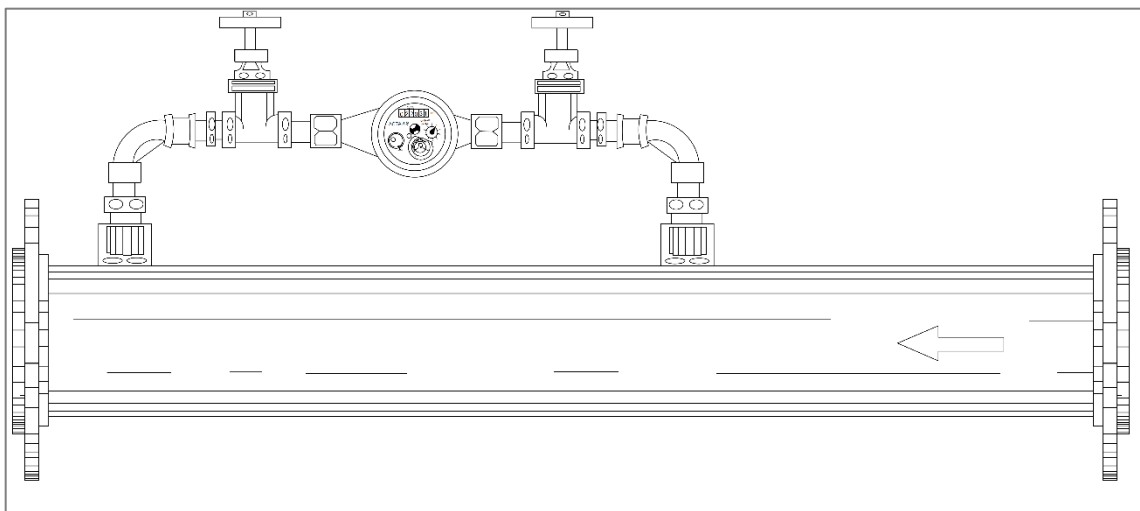


Figura 21: Desenho esquemático de um medidor proporcional. (Fonte: O autor, 2016)

Segundo Estevan (2005), é possível conhecer a relação entre a vazão que percorre a tubulação secundária e a vazão total na tubulação principal caracterizando as duas tubulações através do monitoramento de ambas as vazões, tal relação é chamada de constante de proporcionalidade.

Ainda de acordo com Frangipani & Gomes, (2007), os medidores proporcionais podem ser caracterizados pelo baixo custo e precisão moderada, pela facilidade no seu transporte e na sua instalação, bem como pela necessidade de verificações periódicas e frequentes.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Esse trabalho foi desenvolvido no Sistema de Abastecimento de Água (SAA) do município de Araguaína – TO.

O município de Araguaína localiza-se no norte do estado do Tocantins, na microrregião de mesmo nome, conforme Figura 22. O município possui uma área de 4.000 km² e é considerado o segundo mais importante do estado do Tocantins, perdendo apenas para a capital, Palmas (GUEDES & BRITO, 2004).

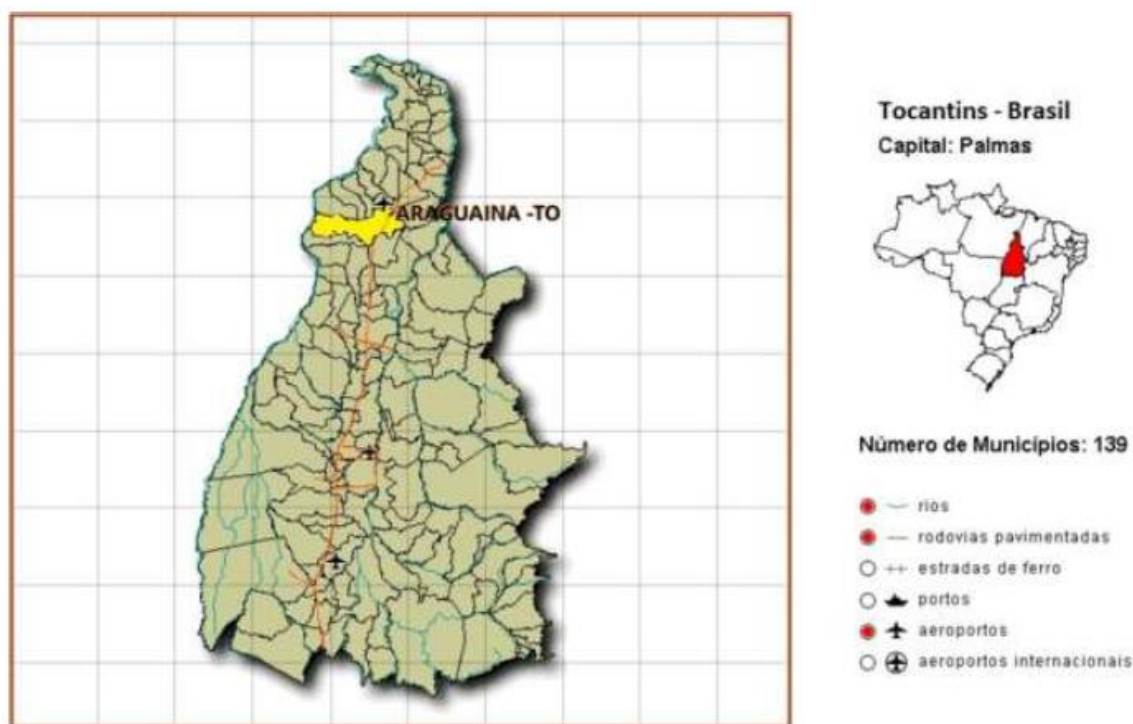


Figura 22: Localização geográfica do município de Araguaína. (Fonte: Prefeitura Municipal de Araguaína, 2013)

O município de Araguaína era abastecido pela Companhia de Saneamento de Goiás – SANEAGO. Com a criação do estado do Tocantins, em 1988, houve o desmembramento de tal companhia e criou-se a Companhia de Saneamento do Tocantins – SANEATINS, com o objetivo de desenvolver os serviços de saneamento no estado recém-criado. No ano de 1998, o governo tocantinense buscou uma parceria societária estratégica com a iniciativa privada, tornando a SANEATINS uma empresa com gestão privada. Em outubro de 2011,

através de licitação pública, os serviços de água e esgoto da Saneatins, e da cidade de Araguaína, passaram a ser concessão da empresa Odebrecht Ambiental | Saneatins (PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAGUAÍNA, 2013).

Esses serviços são regulados, desde 2007, pela Agência Tocantinense de Regulação, Controle e Fiscalização dos Serviços Públicos – ATR, uma autarquia estadual, que tem por objetivo regular, controlar e fiscalizar os serviços públicos delegados pelo estado do Tocantins, nos setores de geração e distribuição de energia elétrica e saneamento (PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAGUAÍNA, 2013).

O município de Araguaína contempla além de sua sede, quatro distritos, conforme Figura 23 abaixo:

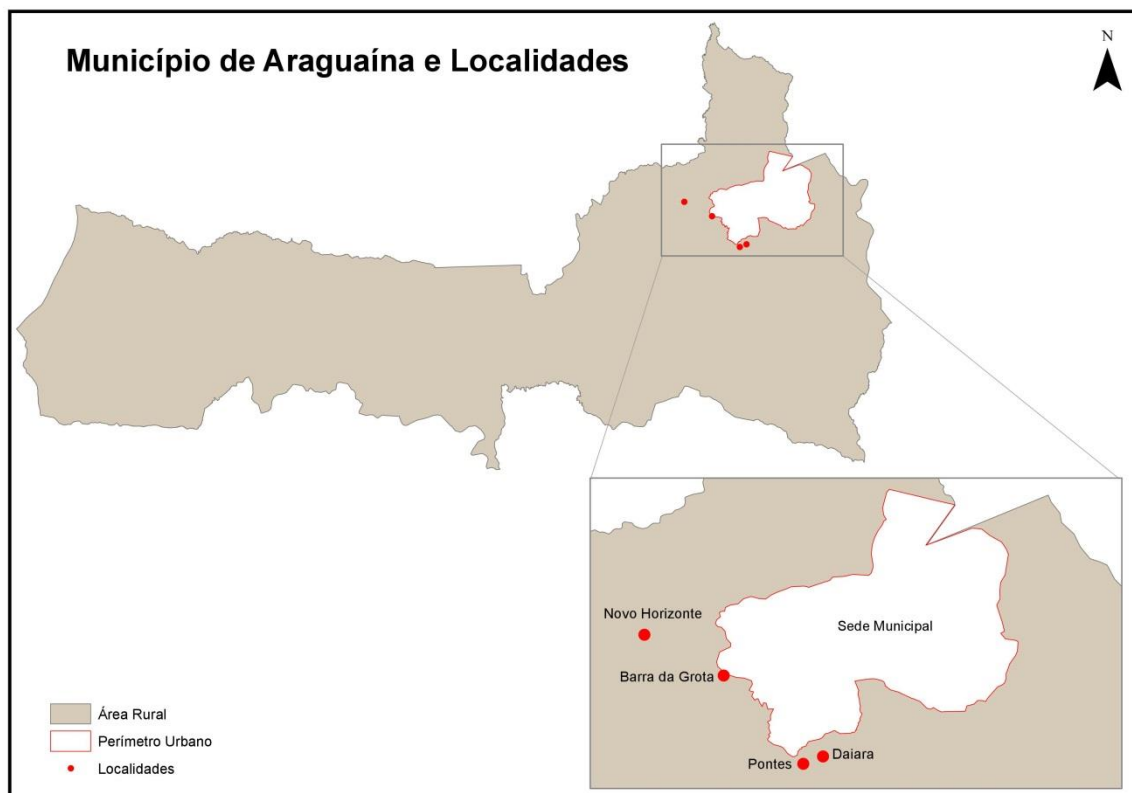


Figura 23: Localização geográfica do município de Araguaína. (Fonte: Prefeitura Municipal de Araguaína, 2013)

A captação de água no município é feita subterraneamente, por meio de vinte e quatro poços tubulares profundos – PTP em operação, distribuídos na cidade conforme o mapa representado na Figura 24.

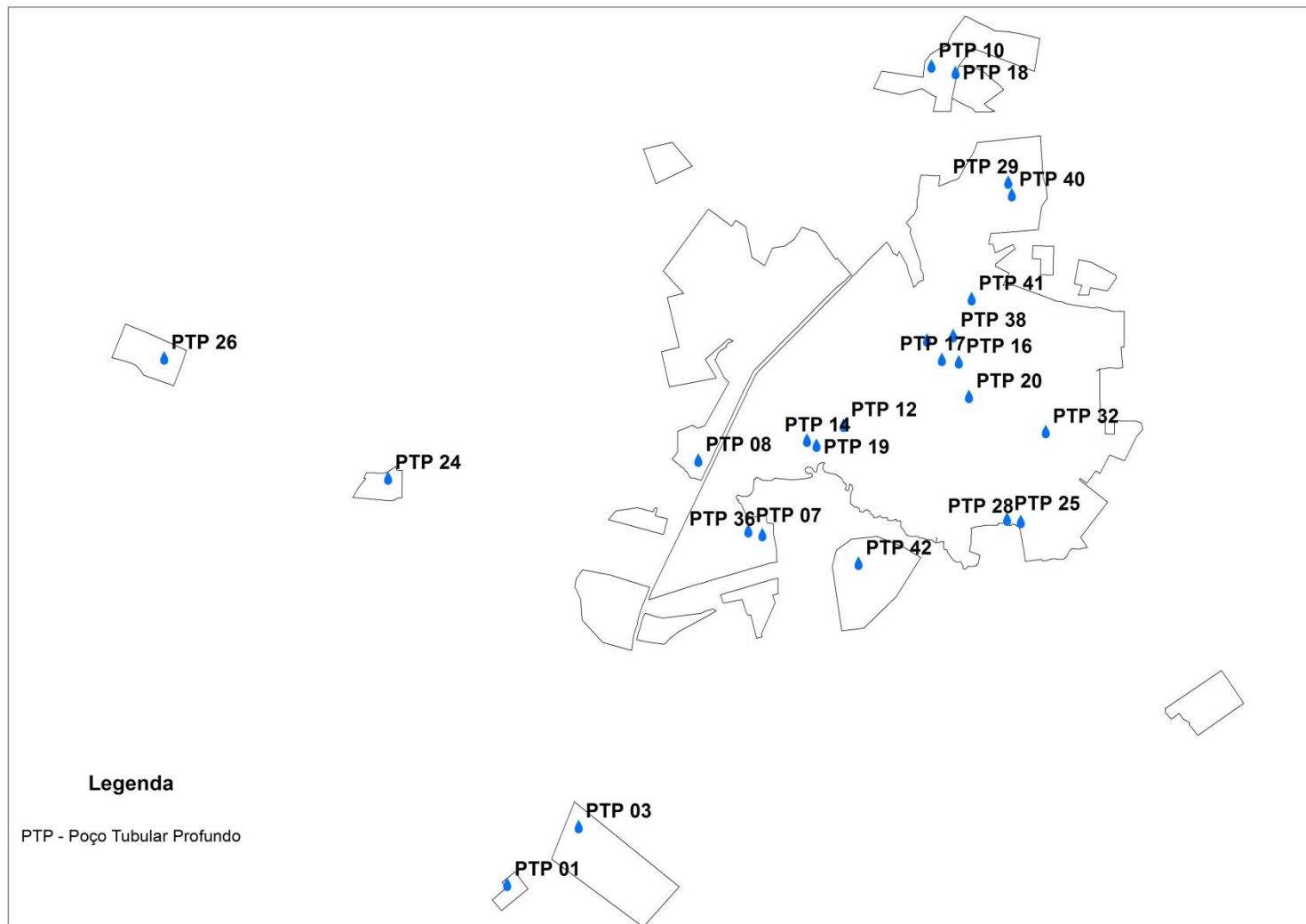


Figura 24: Mapa com a localização dos PTPs no SAA de Araguaína. (Fonte: O autor, 2016)

A água subterrânea é tratada nas onze estações de tratamento de água existentes, essas estações são denominadas Unidades de Tratamento Simplificado – UTS por possuírem apenas as etapas de fluoretação e desinfecção, em função da qualidade de água local (a única exceção é a UTS – 001 que conta com sistema de oxidação). A localização das UTSs e sua área de atendimento encontram-se no mapa representado na Figura 25:

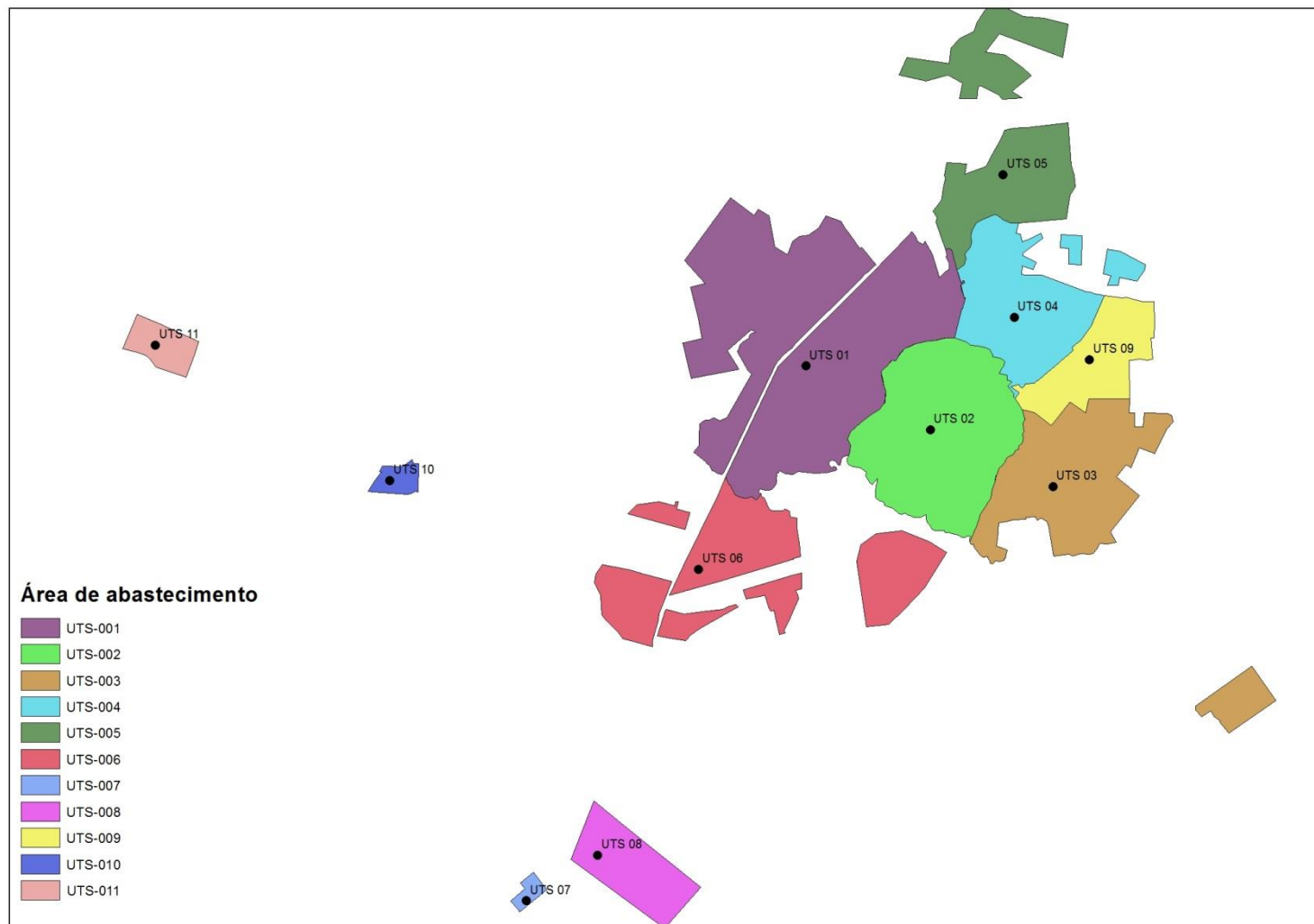


Figura 25: Mapa com a localização das UTSs e sua área de atendimento (Fonte: O autor, 2016)

Após o tratamento, a água é bombeada para os reservatórios existentes no município, cuja capacidade de armazenamento soma 12.367 m³. Araguaína conta com trinta reservatórios ativos (Figura 26), localizados em pontos estratégicos para facilitar a distribuição de água. A distribuição de água é feita por meio dos 1.072 km de rede do sistema.

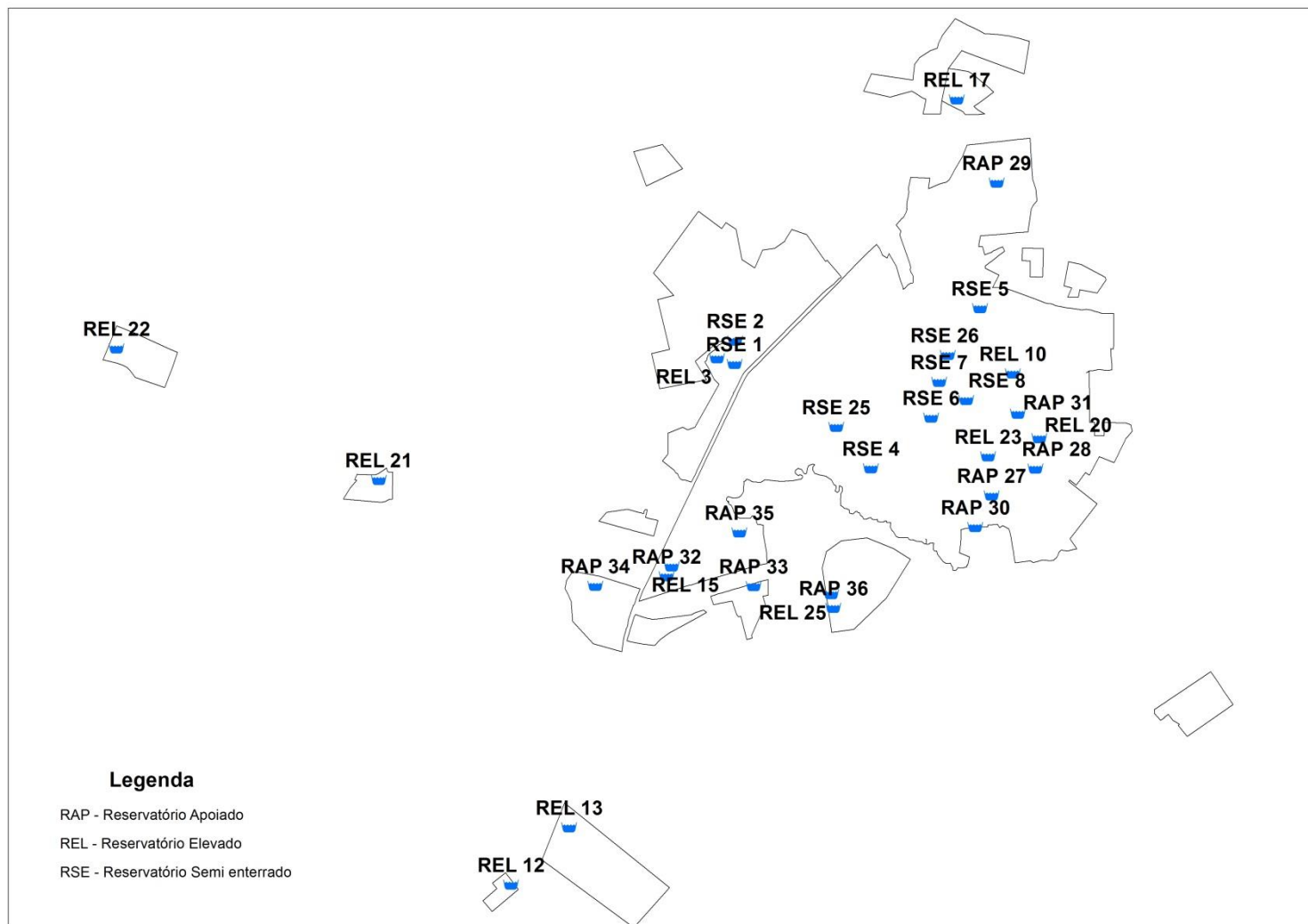


Figura 26: Mapa com a localização dos reservatórios do SAA de Araguaína (Fonte: O autor, 2016)

Em média, são produzidos no município 1.000.000 m³ de água por mês, essa água atende a 99% da população urbana do município, cerca de 195.935 pessoas, por meio de 57.000 ligações ativas de água.

4.2 - DIAGNÓSTICO DE PERDAS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE ARAGUAÍNA - TO

O diagnóstico foi feito por meio do levantamento de informações operacionais básicas do sistema de abastecimento de água da cidade de Araguaína e da posterior construção de indicadores apropriados para a avaliação da eficiência em perdas desse sistema. Os levantamentos foram feitos “*in loco*” juntamente com os integrantes da empresa de saneamento.

As referências e os procedimentos adotados seguiram o disposto no Documento Técnico de Apoio - DTA A2 – Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água, disponibilizado pelo Ministério das Cidades.

4.3 – AVALIAÇÃO DO MEDIDOR PROPORCIONAL

4.3.1 - Descrição do Equipamento Experimental

O medidor proporcional é formado por uma haste que deve ser inserida no centro da tubulação, utilizando-se um TAP (válvula tipo plug de 1 polegada) instalado na geratriz horizontal do tubo, o que permite o fluxo da água através de um hidrômetro e posterior retorno à tubulação. A Figura 27 apresenta uma foto do equipamento instalado:



Figura 27: Foto do medidor proporcional instalado na tubulação. (Fonte: O autor, 2016)

O medidor desenvolvido é um medidor de inserção, que não demanda o seccionamento da tubulação para sua instalação, tornando-se um equipamento cuja montagem é simples e prática.

O medidor é composto de 13 peças, detalhadas na Figura 28:

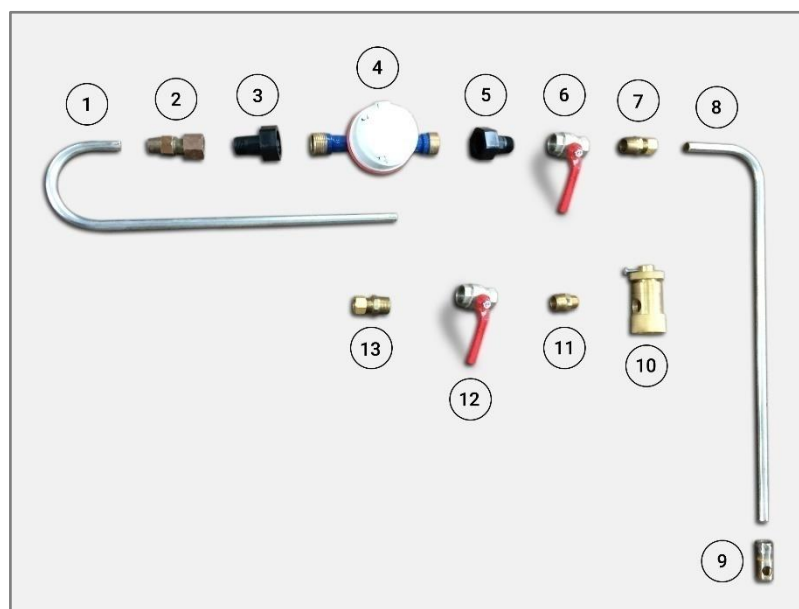


Figura 28: Peças componentes do medidor proporcional. (Fonte: O autor, 2016)

Na qual:

1. Tubo curvado 180 graus;
2. Conector tubo 5/8 x Rosca Fêmea 3/4;
3. Tubete;
4. Hidrômetro monojato, classe C, vazão nominal de 1,5 m³/h com saída pulsada;
5. Tubete;
6. Válvula Esfera 3/4;
7. Conector tubo 5/8 x Rosca Macho 3/4;
8. Tubo receptor;
9. Ponta receptora;
10. Caixa de Gaxeta;
11. Niple;
12. Válvula Esfera 3/4;
13. Conector tubo 5/8 x Rosca Macho 3/4;

4.3.2 - Princípio de funcionamento do Medidor Proporcional

É importante distinguir dois princípios básicos que regem o funcionamento do medidor proporcional: a medição baseada na velocidade do fluido, noção referente à medição do hidrômetro e a proporcionalidade. A vazão derivada será medida pelo hidrômetro e, utilizando a relação de proporcionalidade, a vazão total na tubulação principal será calculada.

O hidrômetro utilizado foi um hidrômetro com saída pulsada, monojato de classe C, cuja vazão nominal é 1,5 m³/h, isso significa dizer que sua vazão de transição é 22,5 L/h, sua vazão mínima é de 15 L/h e seu início de funcionamento se dá a partir da vazão de 5L/h, valores adequados aos perfis de velocidade nos pontos de instalação (ITRON, 2013).

A escolha do hidrômetro baseou-se em sua boa resistência à presença de sólidos em suspensão, na confiabilidade de sua tecnologia, nas suas dimensões compactas e no baixo custo de aquisição (BARRERA & ERAZO, 2009).

Verifica-se uma relação de proporcionalidade entre a vazão que percorre o tubo e a vazão que passa pelo hidrômetro. A constante (k) que rege essa proporcionalidade é obtida através da divisão do volume medido no hidrômetro e o volume medido na tubulação. O volume que passa pelo medidor proporcional é registrado no hidrômetro e o volume que passa na tubulação é medido através da pitometria (Figura 29). Dessa forma, tem-se:

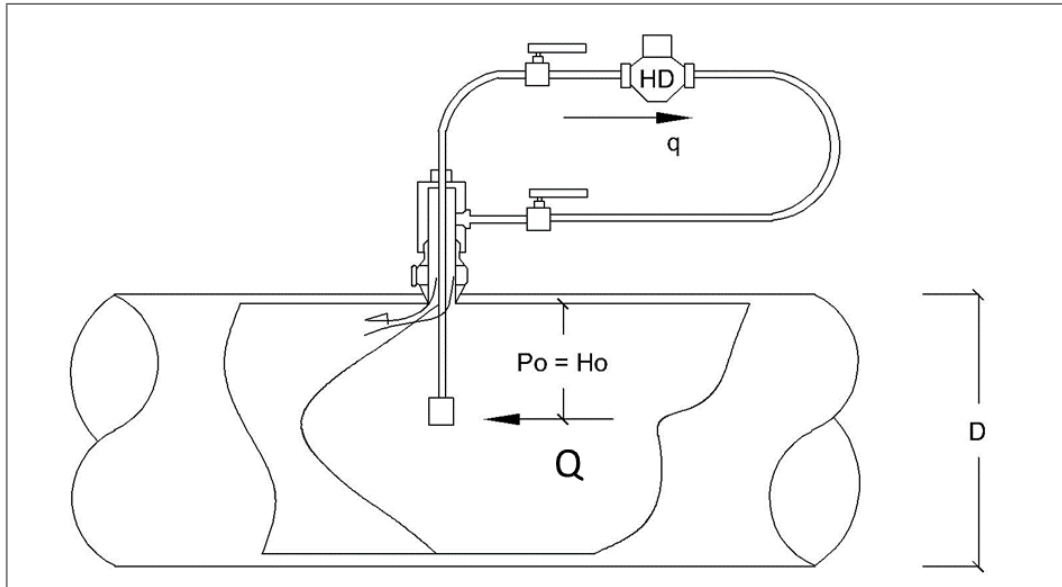


Figura 29: Esquema de Medição por meio do medidor proporcional. (Fonte: Adaptado de CAMURI, 2001)

De maneira simplificada, pode-se dizer utilizando a Equação 6 que:

$$\frac{Q}{q} = K \text{ (constante)} \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde:

Q = Vazão na tubulação principal (m^3/h);

q = Vazão na tubulação secundária (m^3/h);

K = Constante de Proporcionalidade.

Assim, as leituras de vazão registradas no hidrômetro do medidor proporcional devem ser multiplicadas pela constante K para obtenção da vazão real que passou na tubulação ou os valores devem ser analisados para obtenção de uma equação que descreva sua proporcionalidade.

4.3.3 - Locais de instalação do medidor proporcional

Foram escolhidos, dentro do sistema de abastecimento de água de Araguaína, três pontos com características distintas para instalação dos medidores (Figura 30) e avaliação de sua eficiência.

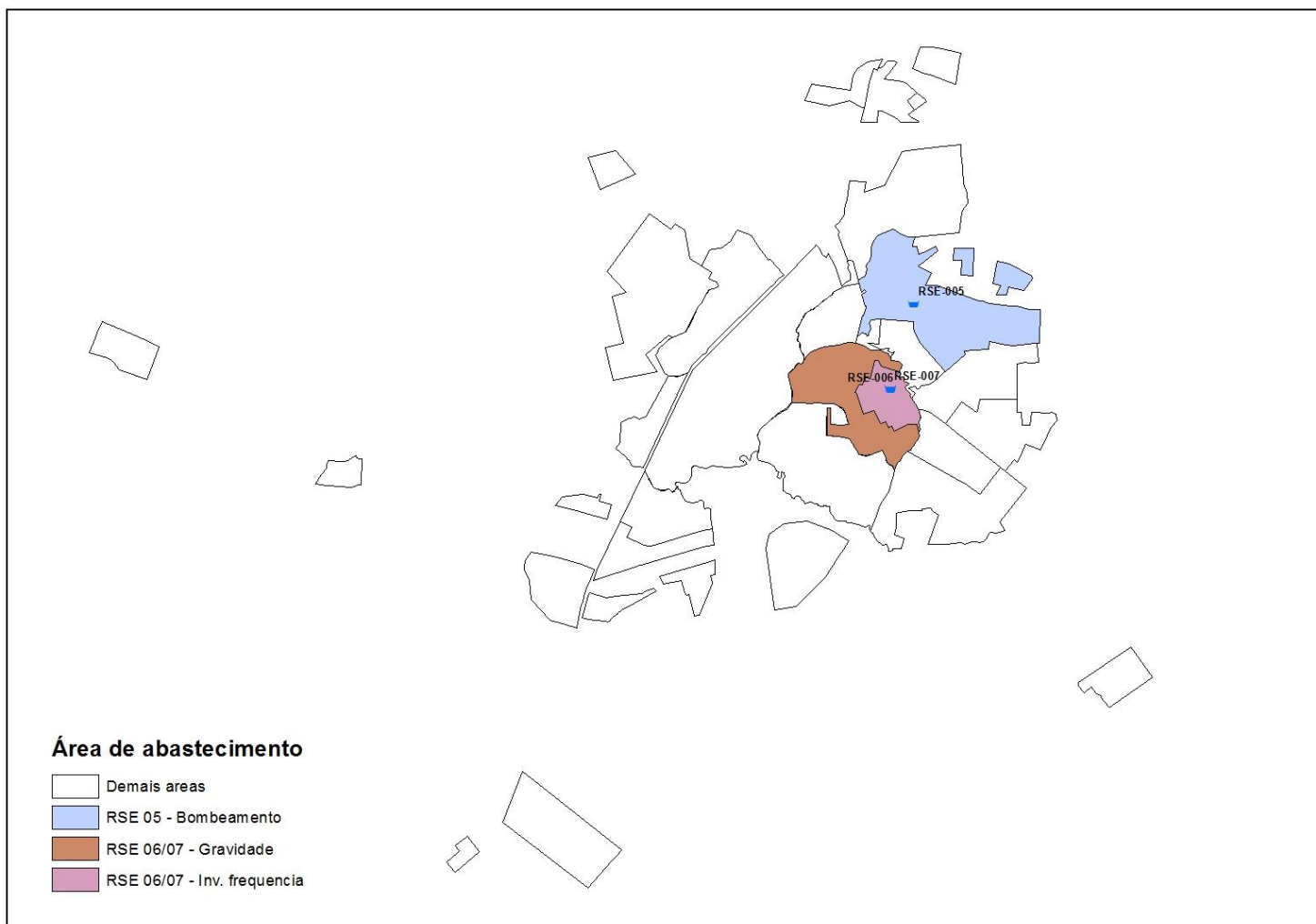


Figura 30: Mapa com a localização dos pontos de monitoramento e sua área de influência. (Fonte: O autor, 2016)

A definição dos pontos para instalação e monitoramento dos medidores proporcionais obedeceu à dois critérios simples. O primeiro critério foi ser o ponto de entrada para um Distrito de Medição e Controle a fim de garantir a estanqueidade do setor e possibilitar, posteriormente, a aplicação das técnicas de controle e redução de perdas e avaliação dos resultados. O segundo critério foi a existência de características de abastecimento e hidráulicas heterogêneas entre os três pontos, com o propósito de se obter uma avaliação mais rica do medidor proporcional. As principais características dos pontos escolhidos e de sua zona de abastecimento estão na Tabela 4, abaixo:

Tabela 4: Comparação entre os pontos de instalação dos macromedidores.

Ponto	Localização	Tipo de Abastecimento	Adutora	Material da adutora	Diametro (mm)	Área de influência (km ²)	Ligações atendidas
I	UTS 002	Gravidade	Saída dos reservatórios RSE 6 e 7	Ferro Fundido	400	3.102	7.777
II	UTS 002	Bombeamento (inversor de frequência)	Saída dos reservatórios RSE 6 e 7	Ferro Fundido	200	1.134	3.149
III	UTS 004	Bombeamento	Saída do reservatório RSE 5	PVC DeFoFo	150	5.416	4.686

A Figura 31, a seguir, indica o detalhamento dos pontos I e II de instalação dos medidores proporcionais:



Figura 31: Detalhamento dos pontos I e II. (Fonte: O autor, 2016)

A Figura 32, a seguir, indica o detalhamento do ponto III de instalação dos medidores proporcionais:

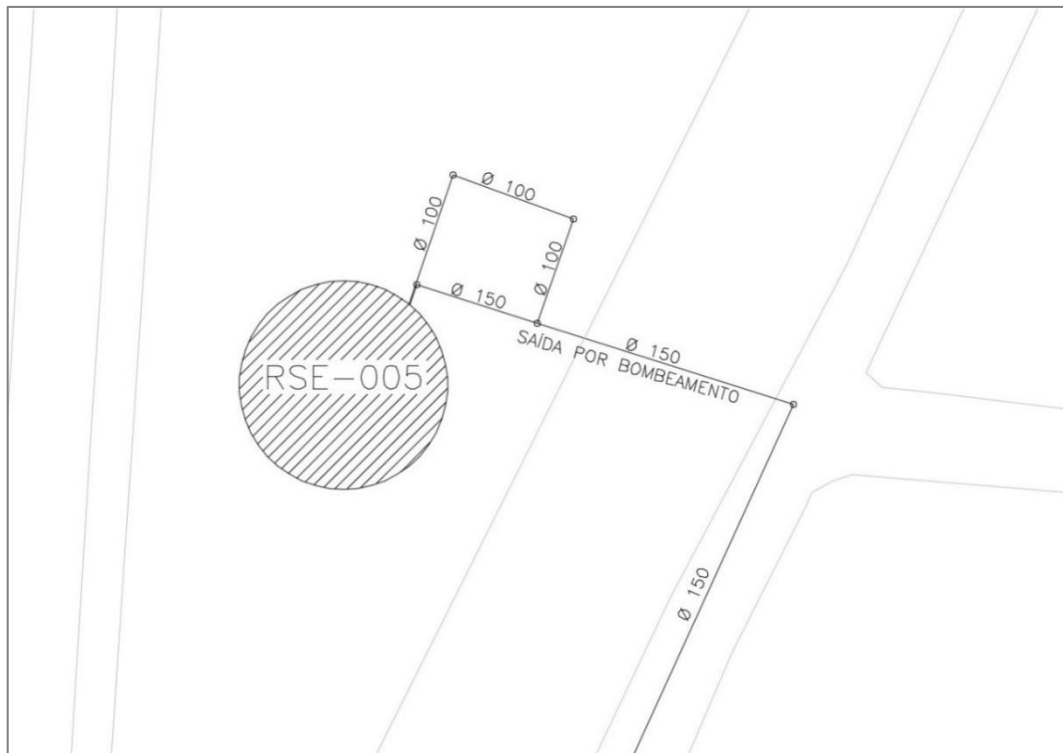


Figura 32: Detalhamento do ponto III. (Fonte: O autor, 2016)

4.3.4 - Instalação dos Medidores Proporcionais

Após a definição dos pontos, instalou-se uma válvula tipo plug de 1" (TAP) na tubulação, na qual se inseriu a haste de medição do proporcional na mesma orientação da geratriz superior do tubo, a extremidade da haste ficou posicionada no centro da tubulação.

4.3.5 - Medidor Padrão de Referência

O tubo Pitot é amplamente utilizado como equipamento padrão de referência para verificações e aferições de diversos outros tipos de medidores em campo, devido às suas características operacionais e do seu baixo custo (FRANGIPANI & GOMES, 2007). Por essa razão, o tubo pitot do tipo Cole foi o equipamento utilizado como padrão de referência

para a calibração do medidor proporcional. Ele foi instalado em linha com o medidor proporcional, também através de uma válvula tipo TAP.

4.3.6 - Armazenamento e Coleta de Dados

Para armazenamento e coleta dos dados do medidor proporcional, utilizou-se um registrador de vazão do tipo CDL Data Logger (Figura 33).



Figura 33: CDL DATALOGGER. (Fonte: Catalogo COSMO, 2013)

A instalação do tubo Pitot foi associada a uma maleta de parâmetros hidráulicos para armazenamento e coleta desses dados (Figura 34).



Figura 34: Maleta de Parâmetros Hidráulicos e tubo Pitot tipo Cole instalados. (Fonte: O Autor)

Ambos os equipamentos foram programados da mesma forma: registro de dados a cada 15 minutos, durante um período de monitoramento de 6 dias e 6 horas, em função da capacidade de armazenamento dos equipamentos. Foram geradas 600 medições para cada ponto, tanto no registrador de vazão (medidor proporcional) quanto na maleta de parâmetros hidráulicos (tubulação).

4.3.7 – Análise estatística dos dados

Ao final do monitoramento, os dados foram extraídos, analisados e confrontados com o propósito de se obter a equação que relaciona a vazão do medidor proporcional e a vazão na tubulação principal (medida com o equipamento padrão, o tubo Pitot Cole), além de se obter o erro do equipamento experimental.

A análise dos dados foi baseada no modelo estatístico de regressão linear simples que permite estimar o comportamento de uma variável dependente, y (vazão na tubulação – Q) em função de uma variável independente ou explanatória, x (vazão no medidor proporcional – q). A regressão linear permite estabelecer uma equação, do tipo $y = ax + b$ (HOFFMAN, 2015).

A reta obtida através da regressão linear foi ajustada pelos métodos dos mínimos quadrados que consiste em minimizar as disparidades entre os pontos e a reta (WALPOLE, 1993).

O coeficiente de correlação de Pearson foi avaliado, trata-se de um parâmetro que estuda o grau de interação entre duas variáveis e sua intensidade. Existe uma interpretação para cada valor do coeficiente, conforme Tabela 5, abaixo:

Tabela 5: Classificação da correlação em relação ao coeficiente de Pearson

Coefficiente de Pearson	Interpretação
0,00 a 0,29	Correlação fraca
0,30 e 0,49	Correlação moderada
0,50 a 1	Correlação forte

Fonte: PETERNELLI, 2013.

Avaliou-se ainda o coeficiente de determinação, ou R^2 . O coeficiente indica qual porcentagem da variação de y é explicada pela regressão ou pela variável x , é dizer verifica se “o modelo proposto é adequado para descrever o fenômeno”. O valor do coeficiente varia entre 0 e 1, quanto mais próximo a 1 melhor é a qualidade do modelo adotado (PETERNELLI, 2013).

Finalmente, foi elaborado o Diagrama de Dispersão, uma representação gráfica do conjunto de dados cujo objetivo é verificar graficamente a correlação dos dados.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – DIAGNÓSTICO DE PERDAS NO MUNICÍPIO DE ARAGUAÍNA

O diagnóstico de perdas no município de Araguaína é composto pela estimativa dos indicadores de perdas do sistema de abastecimento local, em comparação a outras cidades brasileiras e a avaliação geral de informações operacionais desse sistema.

A comparação com os indicadores de outras cidades brasileiras foi feita por meio de consulta ao SNIS – Série Histórica, um programa via web disponibilizada pelo Governo Federal que permite consultar as informações e os indicadores informados pelos municípios e prestadores de serviço de saneamento. Além de cidades com características similares à Araguaína, buscou-se contemplar aquelas com os melhores e os piores indicadores nacionais a fim de contextualizar o objeto de estudo. No caso do IPD – Índice de Perdas na Distribuição foi possível, ainda, avaliar a média da região Norte do Brasil e do Brasil, como um todo.

5.1.1 – Indicadores de Perdas

A estimativa das perdas no município de Araguaína se balizou nos indicadores de perdas básicos que são o alicerce dos indicadores definidos pela IWA. Os indicadores básicos permitem obter uma visão geral da eficiência operacional dos sistemas de abastecimento de água (THORTON et al., 2008). Todos esses indicadores são referentes às perdas totais, já que segundo Veloso (2006), tratando-se de indicadores básicos, não é possível segregar completamente às informações de perdas reais e aparentes. São eles:

- Índice de Perdas na Distribuição (IPD);
- Índice de Perdas por Extensão de Rede (ILB);
- Índice de Perdas por Ligação (IPL).

De acordo com Veloso (2006), as informações subsidiárias para a construção desses indicadores devem ser entendidas como informações-chave uma vez que sem as mesmas não é possível definir os indicadores e nem elaborar uma avaliação adequada das perdas.

As informações-chave utilizadas para compor os indicadores acima foram levantadas durante o ano de 2015 e baseadas na metodologia proposta por Marcka (1999)

no Documento Técnico de Apoio - DTA A2: Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água. Sua definição e valor são apresentados a seguir:

- Volume Disponibilizado: É o volume de entrada no sistema, que deve ser macromedido. No caso de Araguaína corresponde ao volume produzido, conforme Tabela 6:

Tabela 6: Volume Disponibilizado em Araguaína – 2015. (Fonte: O Autor)

Mês	Volume Disponibilizado (m³)
Janeiro	1.086.092
Fevereiro	938.660
Março	1.003.245
Abril	1.007.168
Maiο	1.048.946
Junho	1.044.766
Julho	1.034.676
Agosto	1.089.665
Setembro	1.070.619
Outubro	1.100.652
Novembro	1.069.622
Dezembro	1.065.186
Total	12.559.297

- Volume Micromedido: Corresponde ao volume consumido, medido nas ligações através dos hidrômetros, apresentado na Tabela 7:

Tabela 7: Volume Micromedido em Araguaína – 2015. (Fonte: O Autor)

Mês	Volume Micromedido (m³)
Janeiro	621.790
Fevereiro	613.377
Março	614.557
Abril	635.800
Maio	637.080
Junho	734.720
Julho	699.109
Agosto	689.008
Setembro	722.142
Outubro	773.779
Novembro	667.867
Dezembro	699.497
Total	8.108.726

- Número de Ligações Ativas (NLA) - Quantidade de ligações ativas que contribuem para o faturamento:

$$\mathbf{NLA = 56.808}$$

- Extensão da Rede (ER) - Extensão das adutoras, subadutoras e redes de distribuição do sistema, em km:

$$\mathbf{ER = 1.072}$$

- Número de dias - Quantidade de dias correspondentes aos volumes trabalhados:

$$\mathbf{Dias = 365}$$

5.1.2 Estimativa dos Indicadores

5.1.2.1 Índice de Perdas na Distribuição (IPD)

$$\text{IPD} = \frac{(\text{Volume Disponibilizado} - \text{Volume Micromedido})}{\text{Volume Disponibilizado}} \quad (\text{Equação 7})$$

$$\text{IPD} = \frac{(12.559.297 - 8.108.726)}{12.559.297} = 35,44\% \quad (\text{Equação 7.1})$$

A avaliação do IPD permite dizer que 35,44% de toda a água produzida no sistema avaliado é perdida. O índice engloba tanto as perdas reais quanto as perdas aparentes, de forma que o percentual obtido diz respeito tanto aos vazamentos e extravasamentos do sistema quanto aos erros de medição dos hidrômetros e macromedidores, ligações clandestinas e fraudes (VELOSO, 2006).

Embora o Índice de Perdas na Distribuição - IPD, expresso em porcentagem, seja largamente empregado e recomendado, verificam-se alguns problemas na sua utilização. Miranda & Koide (2003) afirmam que esse indicador confere uma aparência homogênea a sistemas que operam com condições diversas, sendo assim não deve ser utilizado para comparar sistemas distintos, mas como uma base de comparação evolutiva do mesmo sistema.

Com o objetivo de contextualizar o nível de perdas do município de Araguaína no cenário brasileiro, elaborou-se o Gráfico 2 abaixo que permite comparar Araguaína a outros municípios brasileiros, inclusive à média da região Norte e do país como um todo. Procurou-se contemplar situações similares (tamanho e condição socioeconômica), retratar índices de cidades que são referência no controle e redução de perdas no país, além daquelas com os piores indicadores.

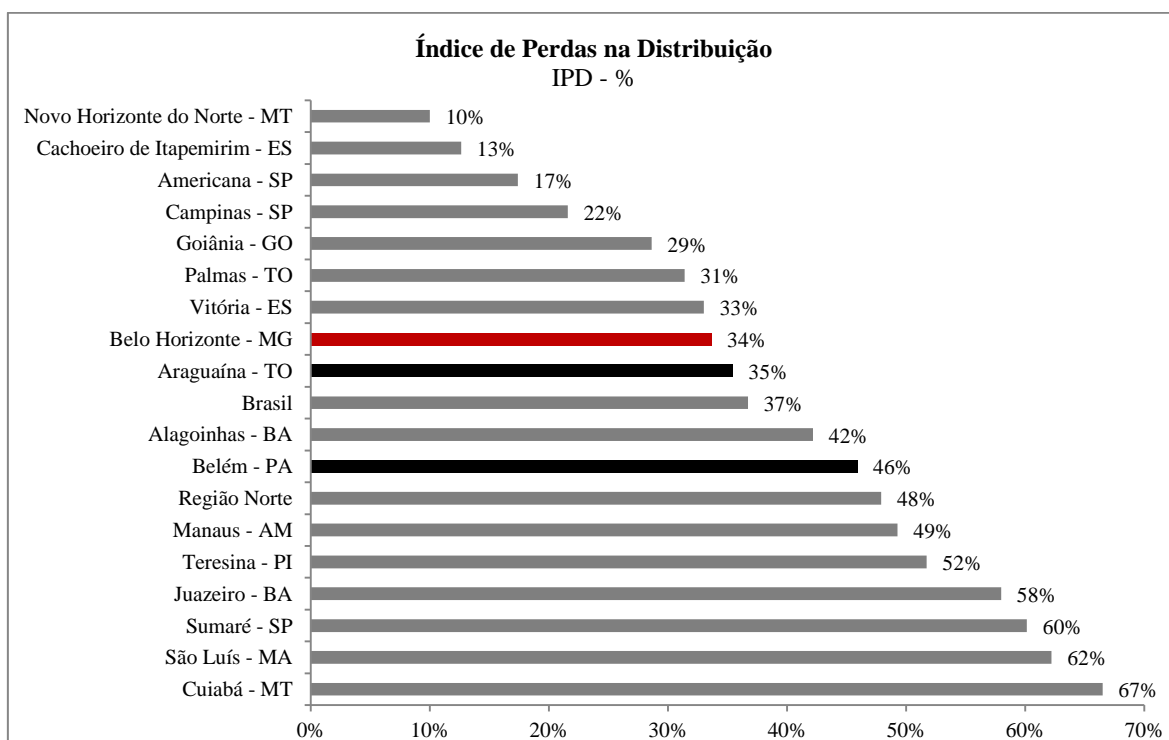


Gráfico 2: Comparação do Índice de Perdas na Distribuição. (Fonte: Série Histórica, SNIS)

Araguaína apresenta um IPD (35%) bem abaixo do IPD médio da Região Norte (48%) do Brasil e menor do que a média brasileira (37%). Existe um longo caminho a se percorrer até atingir o patamar de 10% de perdas, apresentado pelo município de Novo Horizonte – MT, mas é possível concluir que Araguaína tem um gerenciamento intermediário de perdas e seu índice é aceitável no cenário brasileiro.

5.1.2.2 Índice de Perdas por Extensão de Rede (ILB)

$$ILB = \frac{(Volume\ Disponibilizado - Volume\ Micromedido)}{(Extensão\ da\ Rede\ x\ Dias)} \quad \text{(Equação 8)}$$

$$ILB = \frac{(12.559.297 - 8.108.726)}{(1.072 \times 365)} = 11,37 \frac{m^3}{km\ de\ rede \cdot dia} \quad \text{(Equação 8.1)}$$

É possível observar, através da análise do Índice Linear Bruto de Perdas - ILB, que são perdidos 11,37 m³ de água por dia para cada quilômetro de rede do sistema de abastecimento de água da cidade de Araguaína.

O ILB relativiza a perda em função da dimensão do sistema, uma vez que leva em consideração a extensão das redes (MARCKA, 2004).

O Gráfico 3 abaixo possibilita a avaliação do ILB da cidade de Araguaína com o mesmo índice para outras cidades brasileiras, conforme critério definido no item anterior.

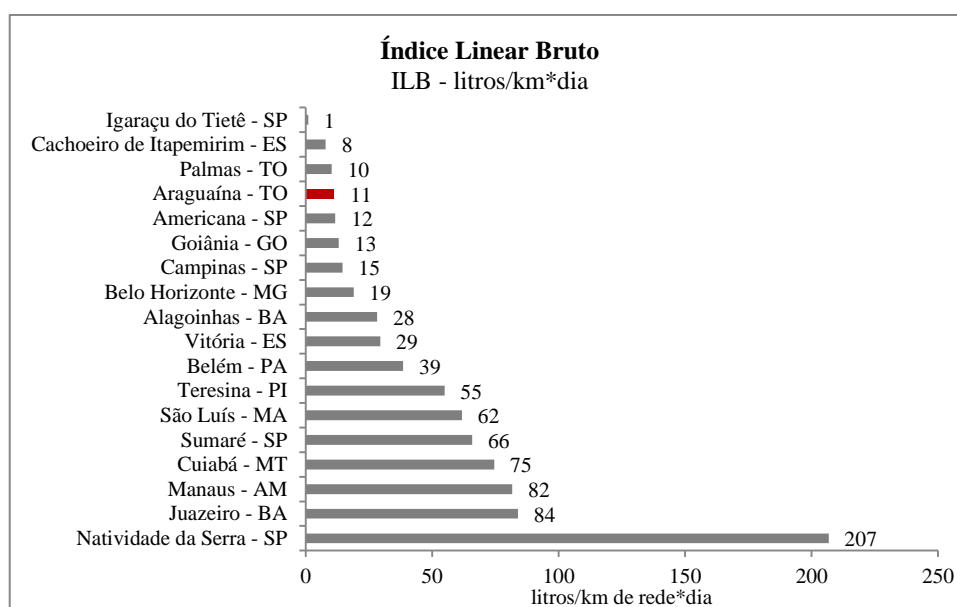


Gráfico 3: Comparação do Índice Linear Bruto. (Fonte: Série Histórica, SNIS)

A avaliação do Gráfico 3 indica que o ILB do município de Araguaína é relativamente baixo. Enquanto as cidades que mais perdem água por quilômetro de rede no Brasil estão na casa dos 207 litros/km perdidos a cada dia, Araguaína apresenta uma perda de apenas 11 litros/km perdidos a cada dia.

5.1.2.3 Índice de Perdas por Ligação (IPL)

$$IPL = \frac{(Volume\ Disponibilizado - Volume\ Micromedido)}{(Número\ de\ Ligações\ Ativas\ x\ Dias)} \quad (Equação\ 9)$$

$$IPL = \frac{(12.559.297 - 8.108.726)}{(56.808 \times 365)} = 214,64 \frac{L}{\text{ligação} \cdot \text{dia}} \quad (Equação\ 9.1)$$

O Índice de Perdas por ligação - IPL indica o volume perdido em litros todos os dias para cada ligação ativa do sistema, no caso de Araguaína é possível concluir que a cada dia são perdidos 214,64 litros de água para cada ligação ativa.

Segundo Marcka (2002), embora não seja o indicador perfeito, relativiza a perda em função das ligações ativas do sistema, o que o torna um índice mais robusto em relação ao IPD e ao ILB.

O Gráfico 4 abaixo compara a posição de Araguaína entre a outras cidades brasileiras em relação ao IPL, conforme critério definido no item 5.1.2.1.

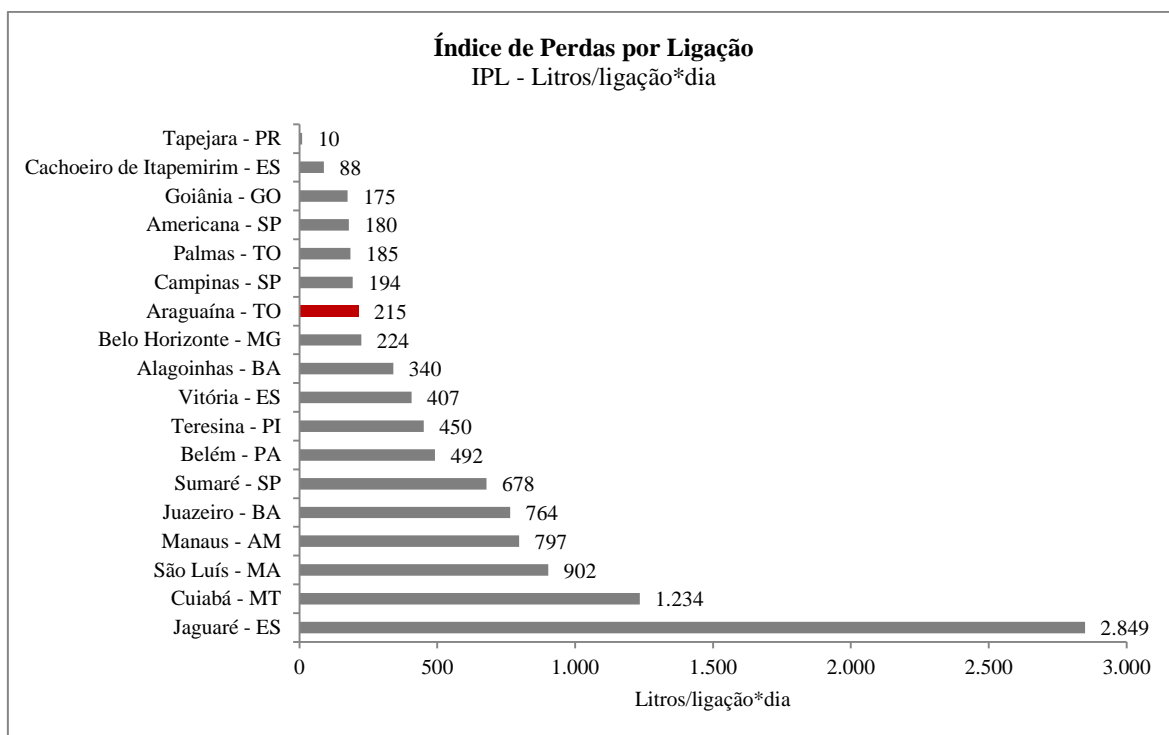


Gráfico 4: Comparação do Índice de Perdas por Ligação. (Fonte: Série Histórica, SNIS)

O IPL do município de Araguaína pode ser considerado razoável, tendo em vista o alto valor apresentado por algumas capitais brasileiras como São Luís e Cuiabá.

5.1.3 – Avaliação Geral

Embora, com os indicadores básicos, não seja possível quantificar separadamente as perdas reais e as perdas aparentes, as ações e os parâmetros que qualificam as perdas serão avaliados separadamente no presente capítulo.

5.1.3.1 Perdas Aparentes

Serão abordados dois dos principais parâmetros de avaliação das perdas aparentes: a idade média do parque de hidrômetros e o combate a irregularidades nas ligações de água.

O tempo de uso dos hidrômetros pode afetar drasticamente sua precisão, acarretando submedição. Segundo o INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO (2000), os hidrômetros devem ser

submetidos a ensaios para verificação dos seus erros em tempo não superior a cinco anos. Os ensaios exigidos, no entanto, são tão dispendiosos que é prática comum dentro das empresas de saneamento a adoção do prazo de cinco anos para substituição do parque de hidrômetros. Tal prática objetiva a manutenção dos erros dentro do padrão exigido e a preservação de sua receita, evitando as perdas aparentes em função de submedição (SILVA, 2014).

De acordo com Silva (2014), um estudo realizado em um parque de mais de um milhão de hidrômetros indicou uma taxa de redução na medição de até 1% por ano de uso.

A idade média do parque de hidrômetros de Araguaína é 2,98 anos. Obviamente que, por se tratar de uma média, existem hidrômetros com idade acima de cinco anos acarretando maiores percentuais de perda aparente.

As irregularidades dizem respeito ao furto de água nas residências através de ligações com by-pass, ligações diretas, ligações clandestinas ou fraudes nos hidrômetros. O combate às irregularidades objetivam assegurar que o volume de água consumido seja registrado no medidor e, portanto, faturado pelas companhias de água (BOVO *et al*, 2008).

A concessionária de água do município de Araguaína conta com um aparato técnico chamado de Central de Controle Comercial, responsável pelas ações de combate às irregularidades. As atividades da Central de Controle Comercial são listadas a seguir:

- Análise dos dados mensais relativos à baixo consumo (uma redução significativa do consumo em relação à média de determinado cliente pode indicar existência de irregularidade), avaliação das denúncias de terceiros e de equipe interna;
- Seleção das ligações com suspeita de irregularidade para inspeção *in loco*;
- Avaliação das ligações com corte no fornecimento de água e supressão buscando reduzir as irregularidades.

No ano de 2015, foram identificadas em Araguaína 1.572 irregularidades, dentre as quais 5 eram by-pass, 33 eram ligações clandestinas ou diretas, 165 foram fraude no hidrômetro, 1.275 violação no lacre e as 94 restantes foram sanções diversas.

As atividades da Central de Controle Comercial contribuem para a redução e inibição das perdas aparentes e constituem uma boa prática adotada pela concessionária local.

5.1.3.2 Perdas Reais

Segundo Tardelli (2005), o grande vilão das perdas reais são os vazamentos na rede de distribuição do sistema de abastecimento de água. No ano de 2015, foram contabilizados 12.300 vazamentos, dos quais 28 ocorreram em adutoras, 1.258 nas redes de abastecimento e 11.105 nos ramais, distribuídos de acordo com o mapa da Figura 35 abaixo:

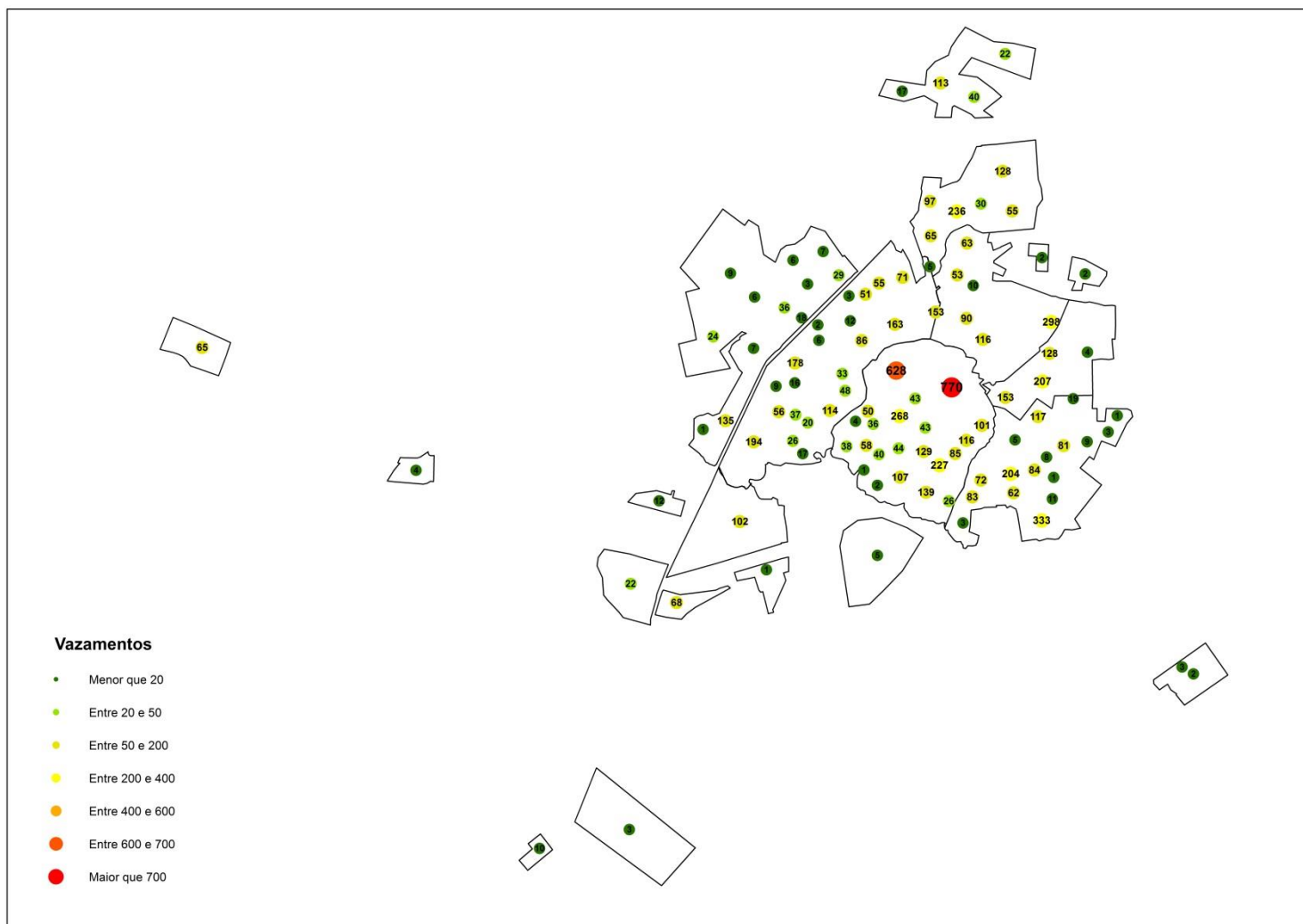


Figura 35: Mapa de Vazamentos. (Fonte: O Autor, 2016)

A grande quantidade de vazamentos nos ramais que derivam da rede primária para alimentação das ligações prediais pode ser explicado pela quantidade de conexões nesses dispositivos, o que aumenta sua fragilidade.

Segundo Gonçalves & Alvim (2007), a incidência de vazamentos é diretamente proporcional à pressão das redes, que pode ser identificada como uma das causas desses vazamentos. A análise da Figura 36 indica a coincidência das regiões com maior número de vazamentos em função das pressões mais altas.

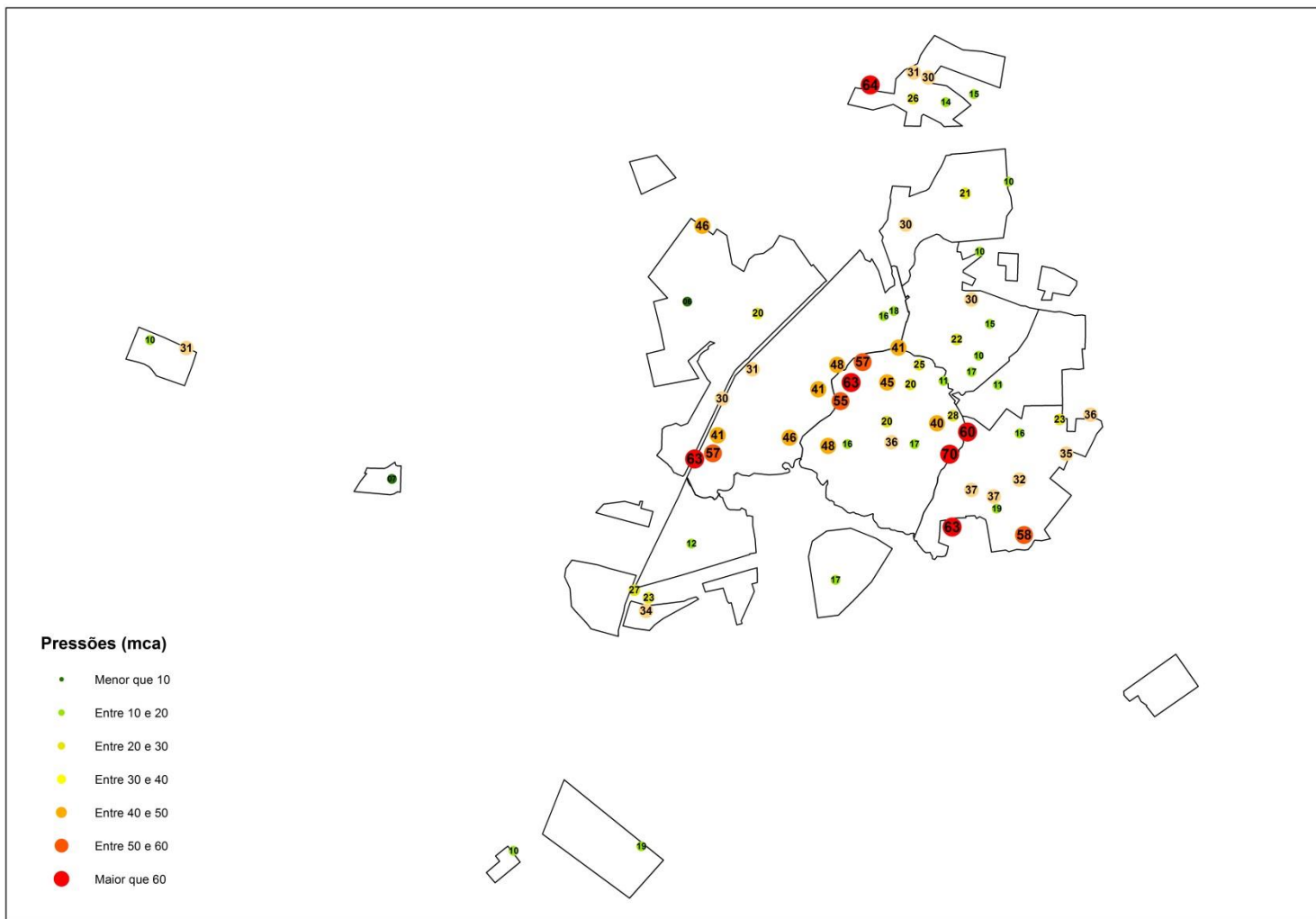


Figura 36: Mapa de Pressões. (Fonte: O Autor, 2016)

Outro fator que explica a grande incidência de vazamentos, além da pressão, é a qualidade dos materiais. A fragilidade de certos materiais, a idade das redes, bem como sua instalação incorreta torna as redes vulneráveis a vazamentos.

Nas redes de abastecimento de água do sistema de Araguaína são encontrados diferentes materiais, alguns deles adequados ao saneamento, tais quais o ferro fundido e o PVC. Outros, mais antigos, já caíram em desuso como é o caso do cimento amianto, encontrado em cerca de 5% das redes locais. O município de Araguaína data de 1958, ano em que provavelmente se iniciou a implantação dessas redes.

Os materiais inadequados e avançada idade de parte das redes também contribui para a fragilidade do sistema e a alta incidência de vazamentos.

5.2 – AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO MEDIDOR PROPORCIONAL

Os resultados serão apresentados separadamente para cada ponto e, em seguida, será apresentada a discussão sobre os resultados.

5.2.1 – Resultados – Ponto I

A análise de regressão linear no ponto I forneceu a seguinte Equação 10, abaixo:

$$Q = 32,29 + 2887,61 * q \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

Q = Vazão total na tubulação (m^3/h);

q = vazão no medidor proporcional (m^3/h).

O coeficiente de Pearson para esse ponto foi 0,998 indicando, uma correlação muito forte entre as vazões na tubulação e no medidor proporcional. Já o coeficiente de determinação, R^2 , foi de 99,6%, o que significa que apenas 0,38% dos valores de Y não são explicados em função de X. O intervalo de confiança utilizado foi de 95%. O erro médio para esse medidor foi de 1,15%.

A seguir apresenta-se o Gráfico 5 de dispersão de dados para o primeiro ponto:

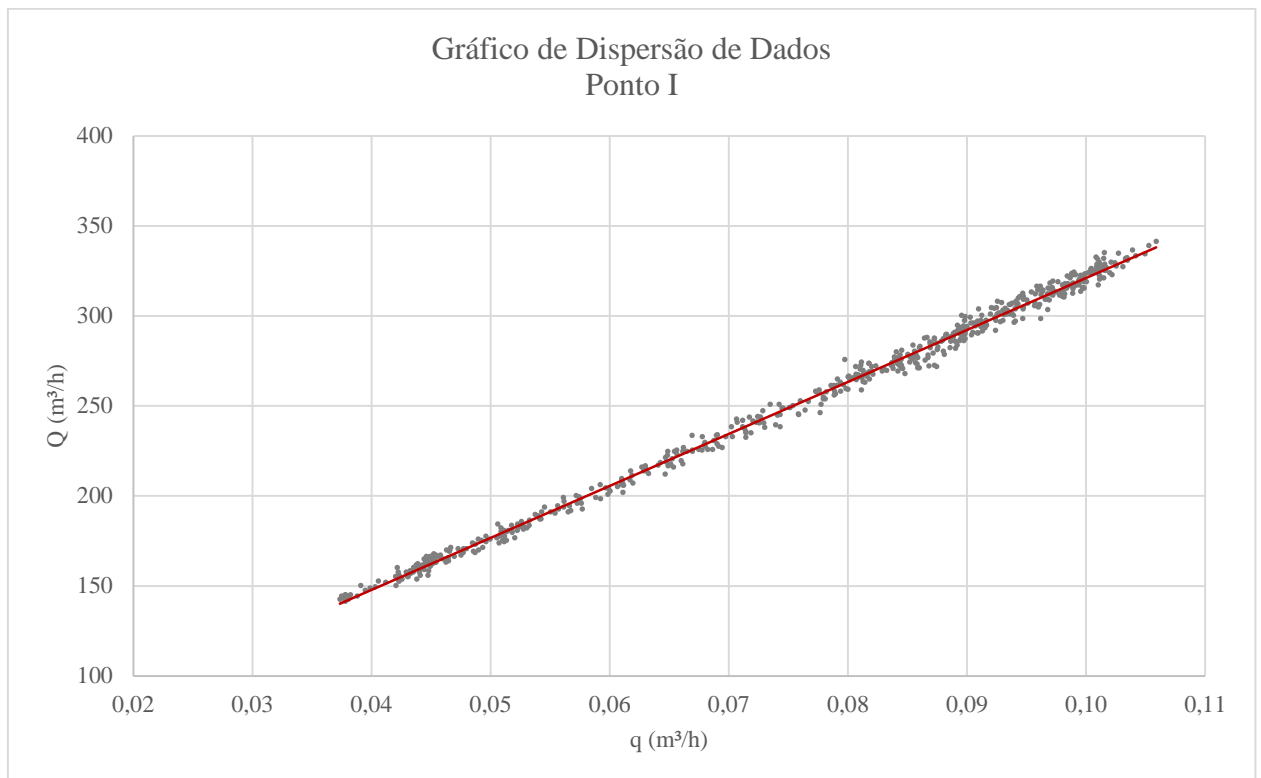


Gráfico 5: Gráfico de dispersão de dados do Ponto I.

5.2.2–Resultados – Ponto II

A análise de regressão linear no ponto II forneceu a seguinte Equação 11, abaixo:

$$Q = 3,45 + 973,04 * q \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

Q = Vazão total na tubulação (m^3/h);

q = vazão no medidor proporcional (m^3/h).

O coeficiente de Pearson para esse ponto foi 0,992 indicando, uma correlação muito forte entre as vazões na tubulação e no medidor proporcional. Já o coeficiente de determinação, R^2 , foi de 99,7%, o que significa que apenas 0,3% dos valores de Y não são explicados em função de X. O intervalo de confiança utilizado foi de 95%. O erro médio para esse medidor foi de 1,47%.

A seguir apresenta-se o Gráfico 6 de dispersão de dados para o segundo ponto:

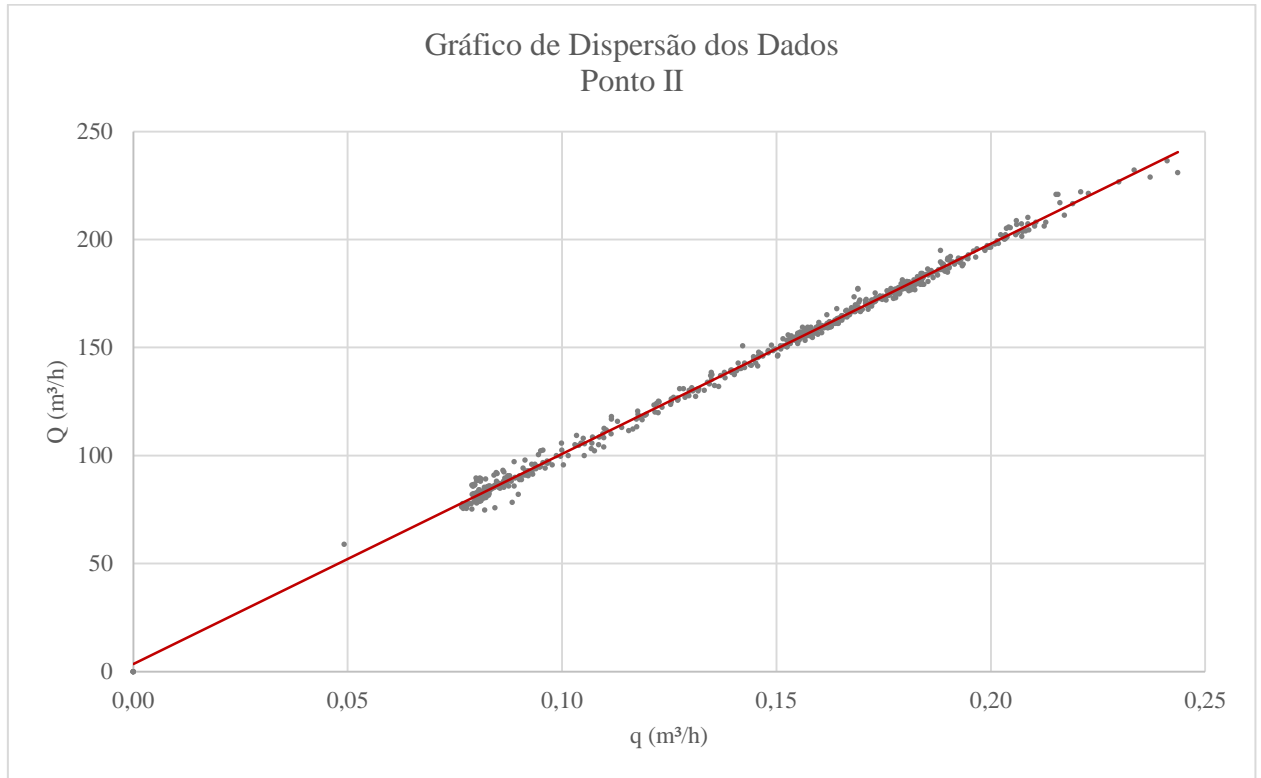


Gráfico 6: Gráfico de dispersão de dados do Ponto II.

5.2.3–Resultados – Ponto III

A análise de regressão linear no ponto III forneceu a seguinte Equação 12, abaixo:

$$Q = 9,95 + 334,22 * q \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

Q = Vazão total na tubulação (m^3/h);

q = vazão no medidor proporcional (m^3/h).

O coeficiente de Pearson para esse ponto foi 0,986 indicando, uma correlação muito forte entre as vazões na tubulação e no medidor proporcional. Já o coeficiente de determinação, R^2 , foi de 97,2%, o que significa que apenas 2,18% dos valores de Y não são

explicados em função de X. O intervalo de confiança utilizado foi de 95%. O erro médio para esse medidor foi de 1,72%.

A seguir apresenta-se o Gráfico 7 de dispersão de dados para o terceiro ponto:

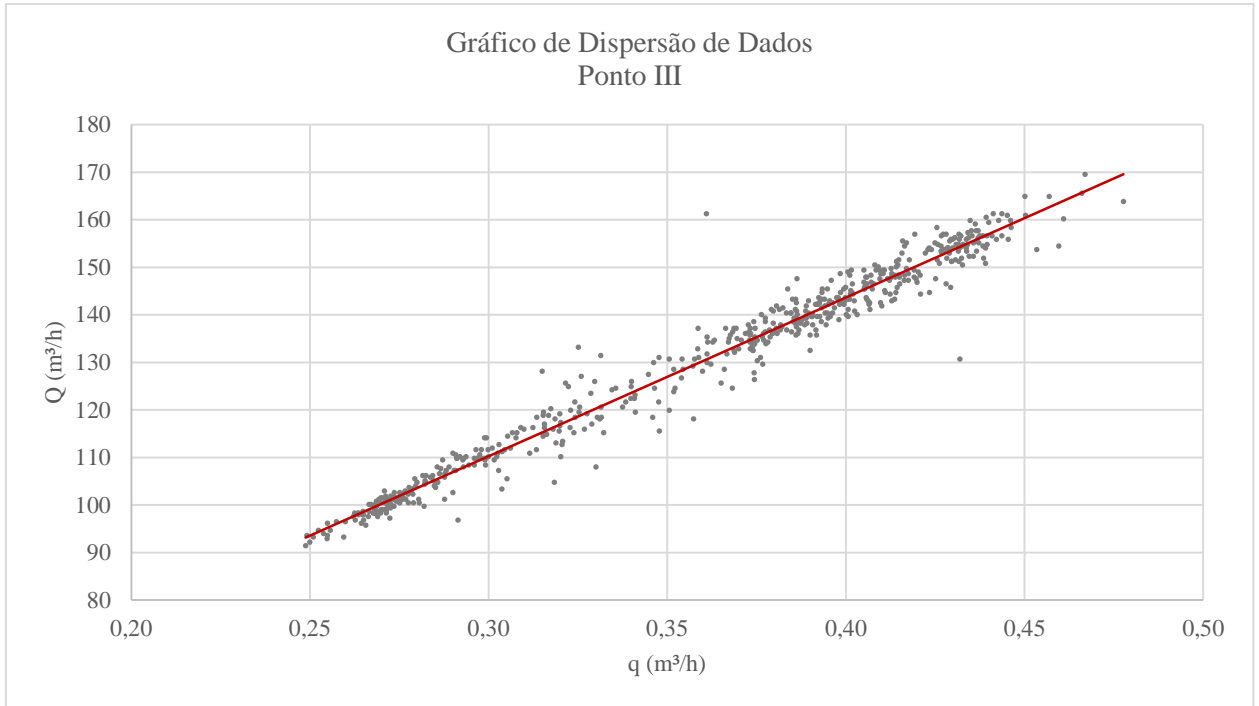


Gráfico 7: Gráfico de dispersão de dados do Ponto III.

A Tabela 8 faz um comparativo entre os dados verificados em cada ponto de monitoramento:

Tabela 8: Comparação entre os dados em cada ponto de monitoramento

Indicador	Ponto I	Ponto II	Ponto III
R	0,99808039	0,998	0,986
R ²	0,996164465	0,997	0,972
Erro	1,15%	1,47%	1,72%
Vazão Média (m ³ /h)	252,07	140,99	129,68

A equação desenvolvida para relacionar a vazão no medidor proporcional com a vazão na tubulação considera apenas essas duas variáveis. Segundo Barrera (2009), a adição de novas variáveis ao modelo, tais quais pressão e velocidade, não apresenta

melhorias relevantes ao resultado. Em função da dificuldade de obtenção em campo e da baixa relevância em relação ao resultado, essas variáveis podem ser dispensadas.

A análise dos dados permite afirmar que quanto maior a vazão na tubulação, menor o erro instantâneo do medidor proporcional e, por conseguinte, o erro global. Nas vazões abaixo de 100 m³/h, o medidor tende a um erro maior que 7%. Tais desvios podem ser sanados, instalando-se o medidor em uma bancada de teste em laboratório e definindo-se o intervalo ótimo de funcionamento: uma faixa de trabalho em que o equipamento opera dentro do erro desejado, a exemplo do trabalho desenvolvido por Barrera (2009). Porém, entende-se que o erro global apresentado pelos três medidores proporcionais atende ao propósito do trabalho e estipular tal ensaio de laboratório, faria com que o medidor perdesse uma das suas principais características: a sua simplicidade de utilização.

O aumento do erro em função da redução na vazão é atribuído à capacidade do hidrômetro componente do medidor proporcional. Em locais que apresentam vazões baixas, convém utilizar um hidrômetro de menor capacidade com início de funcionamento mais rápido, a fim de contemplar todo o perfil de vazão do ponto em questão.

Embora o Ponto II não possua a menor vazão, foi o local que apresentou o maior erro. Esse fato se deve a uma parada no abastecimento verificada no dia 12/03, de 13h30min até às 14h30min, na qual o erro é 100% do valor de “a” (intercepto) na equação da regressão. Na aplicação prática do medidor, é importante estar atento ao tratamento dos dados nessas situações, já que algumas atividades rotineiras (reparo à vazamentos ou manutenções planejadas) envolvem a parada no abastecimento.

5.4 – ANÁLISE DE CUSTOS

Levantou-se o custo do medidor proporcional por meio da soma do custo de cada uma das peças componentes. A composição desse valor é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9: Composição de Custos do Medidor Proporcional

Item	Preço Unitário	Qtde.	Preço Total
Peças em Aço Inox *	R\$ 850,00	1	R\$ 850,00
Conector tubo 5/8 x Rosca Fêmea ¾	R\$ 41,00	1	R\$ 41,00
Peças em Latão*	R\$ 310,00	1	R\$ 310,00
Hidrômetro	R\$ 370,00	1	R\$ 370,00
Conexões	R\$ 170,00	1	R\$ 170,00
Válvula Esfera ¾	R\$ 22,00	2	R\$ 44,00
Conector tubo 5/8 x Rosca Macho ¾	R\$ 32,90	2	R\$ 65,80
TAP	R\$ 180,00	1	R\$ 180,00
Total			R\$ 2.030,80

*Algumas das peças não são encontradas comercialmente e devem ser de fabricação própria ou encomendadas, assim o custo considerado foi global, partindo de orçamento para todas essas peças.

O custo do medidor proporcional foi comparado ao custo de medidores velocimétricos do tipo Woltmann, adequados à instalação nos três pontos de monitoramento na Tabela 10.

Tabela 10: Custo de Medidores Comerciais

Ponto	Diâmetro da tubulação (mm)	Preço do Medidor
Ponto I	400	R\$ 22.000,00
Ponto II	200	R\$ 4.000,00
Ponto III	150	R\$ 3.000,00

Vale ressaltar que a Tabela 9 refere-se exclusivamente ao custo de aquisição do medidor Woltmann e não contempla os custos de instalação que demanda intervenção na rede, de calibração e tampouco os custos com a manutenção do equipamento, valores geralmente expressivos.

No Ponto I, o medidor convencional chega a ser dez vezes mais caro que o medidor proporcional. No Ponto II, o custo do medidor proporcional equivale à metade do custo do medidor convencional. Já no Ponto III, a diferença de preço não é tão expressiva, o custo do medidor proporcional corresponde a cerca de 70% do custo de aquisição do medidor Woltmann. Essa comparação permite inferir que quanto maior o diâmetro da rede de distribuição, maior a economia com a instalação do medidor proporcional, isso ocorre em função da variação de preço dos medidores comuns em função do aumento no seu diâmetro.

O medidor proporcional é uma alternativa de medição confiável e competitiva, especialmente em se tratando de tubulações com grandes diâmetros, já que o preço dos medidores convencionais é proporcional à sua bitola.

6 – CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos na pesquisa, podemos concluir que:

- O diagnóstico de perdas realizado na cidade de Araguaína indicou índices razoáveis em comparação a outras cidades brasileiras e um índice menor do que a média do indicador para o Brasil. O IPD mostrou que o gerenciamento de perdas na cidade tem um nível intermediário. A avaliação das ações de perdas aparentes evidenciou que existem boas práticas adotadas pela concessionária. No entanto, a avaliação das perdas reais indicou uma grande incidência de vazamentos no sistema e falta de gerenciamento de pressões.
- Em função da falta de setorização da cidade, não foi possível avaliar os indicadores por setor e, assim, ranquear as áreas críticas que demandam ações prioritárias. Essa falta de setorização compromete a priorização das ações de combate às perdas, tornando-as difusas e pouco eficazes. A criação de DMCs com áreas estanques delimitadas e com entrada medida se faz imperiosa para que as ações de combate à perda sejam efetivas.
- O medidor proporcional avaliado no presente trabalho configura-se em uma alternativa barata e prática para a criação desses DMCs. É necessário estancar as áreas de abastecimento através da instalação de registros e implantar a macromedição proporcional, em um primeiro momento.
- A análise de custos mostrou que o medidor proporcional é competitivo, com valores bem menores do que os medidores comerciais, especialmente em diâmetros maiores.
- A calibração do medidor em campo e os dados analisados se referem à situação hidráulica atual, em caso de mudança no abastecimento (substituição de bombas, mudança no setor de atendimento e afins) é necessário realizar nova calibração e novo monitoramento. Sugere-se que sejam realizadas campanhas preventivas de verificação do equipamento a cada seis meses;

- O medidor proporcional se apresentou como uma alternativa competitiva, de simples instalação e manutenção. Contudo, é importante ressaltar que uma série de fatores interfere na sua precisão como a sua calibração, sua correta instalação e a calibração dos instrumentos padrões utilizados.
- É importante ter em mente que a utilização do medidor proporcional é um primeiro passo rumo à macromedição abrangente e regulada por norma. O ideal é que o medidor proporcional seja implantado em locais sem nenhuma medição para que norteie as ações de controle e redução de perdas. Uma vez alcançado um nível aceitável das perdas e equilibrado o volume de entrada do setor em questão, é oportuno adotar medidores comerciais, fixos e regulados por norma.

7 - RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que sejam implantados DMCs nas cidades de Araguaína, através da setorização das áreas de abastecimento e da instalação de medidores proporcionais na entrada de cada uma dessas áreas.

Após a criação dos DMCs, recomenda-se que os índices de perdas sejam calculados para cada setor, definindo-se assim as áreas prioritárias para ações de combate.

É necessário que a pressão dos setores seja monitorada, assim como a quantidade de vazamentos. Provavelmente, as áreas com maior pressão terão maior quantidade de vazamentos e, por conseguinte, maior índice de perdas. Nessas áreas, recomenda-se o gerenciamento de pressões através de Válvulas Redutoras de Pressão – VRP. Se mesmo com o gerenciamento das pressões, a quantidade de vazamentos for alta, recomenda-se a avaliação da qualidade dos materiais das redes e substituição dos mesmos, quando necessário.

Outra medida eficaz diz respeito à pesquisa ativa de vazamentos com o uso de equipamentos de detecção acústica. Recomenda-se que se faça uma primeira varredura para encontrar os vazamentos menores (geralmente mais audíveis) e, após um período de 20 dias, submeta o setor a nova varredura. Aumentos nos volumes de entrada do setor podem indicar a existência de vazamentos e, sempre que um aumento for identificado, deve-se recorrer novamente à pesquisa ativa.

Uma vez atingido um nível razoável de perdas deve-se proceder ao dimensionamento de um medidor definitivo para implantação na entrada do setor. Como

dito anteriormente, o medidor proporcional é eficaz e deve ser adotado preliminarmente. Em função da economia alcançada por meio das ações citadas será possível implantar um medidor fixo, mais robusto.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. **Realising the human rights to water and sanitation: a handbook**. 2014. Programa da Década da Água da ONU - Água sobre Advocacia e Comunicação (UNW-DPAC). ONU, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Encarte Especial sobre a Crise Hídrica**. Brasília: Agência Nacional das Águas, Ministério do Meio Ambiente, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Informe 2014**. Brasília: Agência Nacional das Águas, Ministério do Meio Ambiente, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, **Panorama Nacional – Abastecimento Urbano de Água**. Brasília: Agência Nacional das Águas, Ministério do Meio Ambiente, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2010.

ALVES, W. C.; PEIXOTO, J. B.; SANCHEZ, J. G.; LEITE, S. R. **Micromedição. Programa Nacional de Combate ao Desperdício da Água – Documento Técnico de Apoio (PNCDA/DTA-D3)**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, 1999.

ARREGUI, F.; CABRERA, E.; COBACHO, R., GARCÍA-SERRA, J. **Key factors affecting water meter accuracy**. Proc. Leakage, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO – AESBE. **Guia Prático para quantificação de Balanços Hídricos e Indicadores de Desempenho**. AESBE, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10396: 1988 – Medidores de Vazão de Fluidos**. ABNT, 1988.

ASSOCIADOS, GO Brazil. **Manual for performance-based contracting by water utilities companies in Brazil**. International Financial Corporation in partnership with Government of Spain through the “Fondo Español para Latinoamérica y el Caribe, 2013.

BARRERA, G. A. F.; ERAZO, J. G. **La macromediación de agua de tipo proporcional como una herramienta para la gestión integral del recurso hídrico**. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, v. 32, n. 2, p. 135-142, 2009.

BEZERRA, S. **Macromedição. Revisão e Ampliação do DTA D2 do PNDCA**. LENHS UFPB - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. João Pessoa, 2009.

BOVO, A.; TOMISAWA, A. K.; FERREIRA, A. C. S.; PEREIRA, L. G.; PAULO, P. F. **Guias práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água, v. 6, Controle e redução de Perdas Aparentes.** PMSS, PNDCA, SNSA, Ministério das Cidades, Brasília, 2008.

BRASIL, CASA CIVIL. Lei nº6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispões sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** República Federativa do Brasil, Brasília, 31 de agosto de 1981. Disponível: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 13 de março 2016.

BRASIL, CASA CIVIL. Lei nº9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.** República Federativa do Brasil, Brasília, 8 de janeiro de 1981. Disponível: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 13 de março 2016.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014.** Brasília, SNSA/MCIDADES, 2016.

CAMAPUM, F. N. A. **Avaliação de Medidores com Múltiplas Tomadas de Pressão na Macromedição em Sistemas de Água.** 2007. 139 f. Dissertação de Mestrado – Engenharia Civil com ênfase em Recursos hídricos e Tecnologias Ambientais, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

CAMARGO, A., P. **Desenvolvimento de um medidor eletrônico de vazão utilizando célula de carga.** 2009. 127 f. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

CAMURI, R. **Medidor de vazão e de consumo de água por proporcionalidade: haste de inserção em um único.** Saneamento ambiental: desafio para o século 21. ABES, Saneamento ambiental: desafio para o século 21, p. 1-4, João Pessoa, ABES, 2001.

CAVALEIRO, A. R. **Reuso de Aguas Cinzas e Águas Pluviais em Edifícios Residenciais.** 2014. 163 f. Dissertação de Mestrado - Arquitetura e Urbanismo. Universidade São Judas, São Paulo, 2014.

COELHO, A. C.; PINHO, J. H. **Macromedição: medidor de derivação - Uma solução prática para os sistemas de médio e pequeno porte.** Revista DAE, v. 39, n. 122, p. 64-7, 1979.

COPASA. **Programa de Redução de Perdas de Água no Sistema de Distribuição.** Diretoria Técnica e de Meio Ambiente, Superintendência de Desenvolvimento Tecnológico, COPASA. Belo Horizonte, 2003.

COSTA, R. F. **Métodos e aplicações de técnicas de locação de vazamentos não visíveis em sistema de abastecimento de água.** 2011. 153 f. Dissertação de Mestrado – Tecnologia: Gestão, Desenvolvimento e Formação. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2011.

COSTA, V. R.; SILVA, J. A. **Manual de pitometria - Volume I - Noções Básicas de Pitometria.** Diretoria Técnica e de Meio Ambiente, Superintendência de Desenvolvimento Tecnológico, COPASA. Belo Horizonte, 2004.

DELMÉE, G. J. **Manual de medição de vazão.** 1989. 476 f. Edgard Luche. São Paulo, 1989.

ESTEVAN, C. V. P. **Aportaciones a la gestión de los sistemas de medición de caudal en redes de distribución de agua a presión.** 2005. 310 f. Tese de Doutorado. Universitat Politècnica de València, València, 2015.

FARLEY, M.; WYETH, G.; GHAZALI, Z. B.; Istandar, A.; SINGH, S. **The manager's non-revenue water handbook: a guide to understanding water losses.** 2008. 110 f. Ranhill Utilities Berhad and the United States Agency for International Development, Bangkok, 2008.

FRANGIPANI, M.; GOMES, A. S. **Guias práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água, v. 1, Macromedição.** PMSS, PNDCA, SNSA, Ministério das Cidades, Brasília, 2007.

GONÇALVES, E.; ALVIM, P. R. A.;. **Guias práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água, v. 3, Pesquisa e Combate a Vazamentos não Visíveis.** PMSS, PNDCA, SNSA, Ministério das Cidades, Brasília, 2007.

GONÇALVES, G. M. **Seleção de Medidores de Vazão – Uma ótica de Engenharia de Aplicações.** Intech América do Sul, n° 142, p. 34-39. Belém, 2012.

GÓMEZ, M. G. **Planteamiento y desarrollo metodológico de La Macromediación em acueductos urbanos.** 2014. Tese de Doutorado. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá, 2014.

GUEDES, L. S.; BRITO, J. L. S. **Caracterização socioeconômica da microrregião geográfica de Araguaína (TO).** Revista Eletrônica de Geografia, v. 6, n. 17, p. 91-103, 2004.

GUTIÉRREZ, L. G. **Teoría de la medición de caudales y volúmenes de agua e instrumental necesario disponible en el mercado.** ITGE. Madri, 2012.

HAMILTON, S. **When is a DMA not a DMA?** Proceedings of IWA Special Conference Water Loss. 2007. p. 47-56. Cidade do Cabo, 2007.

HOFFMANN, R. **Análise de regressão: uma introdução à econometria.** São Paulo, 2015.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento técnico metrológico a que se refere a portaria INMETRO Nº 246 de 17 de outubro de 2000.** Brasil, 2000.

ITRON. **Catálogo de Especificações Técnicas – Flodys S.** 2013.

JOHNSON, E. H. **Optimal water meter selection system.** Water SA, v. 27, n. 4, p. 481-488, 2001.

KUROKAWA, E. **Sistemática para Avaliação de Dados e Indicadores de Perdas em Sistemas de Distribuição de Água.** Dissertação de Mestrado – Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

LAMBERT, A.; HIRNER, W. **Losses from water supply systems: standard terminology and recommended performance measures.** IWA Blue Pages, 2000.

MARCKA, E. **Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água - DTA A2. Programa de Combate ao Desperdício de Água-PNCDA.** Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Secretaria de Política Urbana, 80p. Brasília, 2004.

MARCKA, E.; LOPES, A. R. G.; CONEJO, J. G. L. **DTA - Documento Técnico de Apoio - C1 Recomendações Gerais.** PMSS, PNDCA, SNSA, Ministério das Cidades, Brasília, 1999.

MARTINS, C. P. F. **Balanço Hídrico e Indicadores de Desempenho no Subsistema de Abastecimento de Água de São João de Lobrigos - Santa Marta de Penaguião.** Dissertação de Mestrado - Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 2009. 109 f. Vila Real, 2009.

MELATO, D. S. **Discussão de uma metodologia para diagnóstico e ações para redução de perdas de água.** Dissertação de Mestrado – Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

MICHEL, O. **Análise das Práticas de Gestão para Controle e Redução de Perdas no Sistemas de Abastecimento de Água da COSAN.** Trabalho de Conclusão de Curso – Administração. Centro Universitário La Sale. Canoas, 2009.

MIRANDA, E. C.; KOIDE, S. **Indicadores de perdas da água: o que, de fato, eles indicam?** In: Saneamento Ambiental: Ética e Responsabilidade Social. ABES, 2003. p. 1-32.

MORRIS, A. S. **Principles of measurement and instrumentation.** Prentice-Hall, Inc., Third Edition, 2001.

MOTTA, R. G. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público.** 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

NEGRISOLLI, R., K. **Análise de Dados e Indicadores de Perdas em Sistema de Abastecimento de Água – Estudo de Caso.** Dissertação de Mestrado - Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2009.

NIIDA, O. I.; SANCHEZ, J. G; GONÇALVES, E. G.; ALVES, W. C. **DTA - Documento Técnico de Apoio - D2 Macromedição.** PMSS, PNDCA, SNSA, Ministério das Cidades, Brasília, 2004.

ONU. **Declaração dos Direitos da Água.** 1992.

ONU, **Department of Economic and Social Affairs.**2015

ONU, **World Population Prospects.** 2015

PETERNELLI, L. A. Regressão linear e correlação. **Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Informática–Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.** Minas Gerais, 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAGUAÍNA. **Plano Municipal de Água e Esgoto – PMAE.** Secretaria Municipal de Planejamento, Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia. 2013.

SILVA, C. M. **Análise das Perdas de Água em Sistema Público de Abastecimento: Enfoque na Classe Metrológica e do Tempo de Uso dos Hidrômetros.** Dissertação de Mestrado - Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2014.

SILVA, N., R. **Estudo de Metodologias para Avaliação de Submedição de Hidrômetros Domiciliares em Sistemas de Água.** 2008. 147 f. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SNIS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos.** 2016. Disponível: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2014>>. Acesso em: 15 de março 2016.

SOUZA, J. C. **Distritos de Medição e Controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água.** 2003. 21 f. Capacitação SABESP, SABEPS, SP, 2003.

TARDELLI, J. F. **Abastecimento de Água.** 2º Edição, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p. 457-525, 2005.

TARDELLI, J. F. **Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água.** Revista DAE, v. 201, p. 64-7, 2015.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. **Water loss control.** McGraw Hill Professional, 2008.

TRATA BRASIL. **Perdas de Água: Desafios ao Avanço do Saneamento Básico e à Escassez Hídrica – 2015**. Instituto Trata Brasil, 2015.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

UNICEF. **Progressos no acesso à água potável; necessidades de saneamento requerem maiores esforços**. Disponível em: <http://www.unicef.org/brazil/pt/media_17280.htm>. Acesso em: 05 de março de 2016.

VELOSO, T., P. **Avaliação de perdas de água do sistema de abastecimento de água da COSANPA, na Região Metropolitana de Belém – PA**. 2006. 228 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

WALPOLE, R. E. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e ciências**. Nova York: Macmillan, 1993.