



UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

PLÍNIO SODRÉ DE PAIVA

**VARIAÇÃO DE PRESSÃO EM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA:
IMPACTOS NA MICROMEDIÇÃO E FATURAMENTO**

RIBEIRÃO PRETO

2024

Plínio Sodré de Paiva

**VARIAÇÃO DE PRESSÃO EM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA:
IMPACTOS NA MICROMEDIÇÃO E FATURAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade de
Ribeirão Preto (UNAERP), como requisito para
obtenção do título de Mestre em Tecnologia
Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes

Ribeirão Preto

2024

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

PAIVA, Plínio Sodré de, 1982-

P142v Variação de pressão em sistema de distribuição de água: Impactos
na micromedição e faturamento / Plínio Sodré de Paiva. - Ribeirão Preto,
2024.

111 f.: il. color.

Orientador: Prof.º Dr.º Luciano Farias de Novaes.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP,
Tecnologia Ambiental, 2024.

1. Gerenciamento de Pressão. 2. Perdas Aparentes. 3. Submedição.
4. Hidrômetros Velocimétricos. 5. Faturamento. II. Título.

CDD 628

PLÍNIO SODRÉ DE PAIVA

**“VARIAÇÃO DE PRESSÃO EM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA:
IMPACTOS NA MICROMEDIÇÃO E FATURAMENTO”**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto, para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 19 de agosto de 2024.

Resultado: **APROVADO**

BANCA EXAMINADORA

<p>LUCIANO FARIAS DE NOVAES:05040506643</p> <p><small>Assinado de forma digital por LUCIANO FARIAS DE NOVAES:05040506643 DN: cn=LUCIANO FARIAS DE NOVAES, ou=CPA, ou=Pró-Reitoria, ou=UNESP, ou=Secretaria de Registro Acadêmico de Ribeirão Preto - UNESP, ou=UNESP, ou=CPA, ou=(unbrasil), ou=LUCIANO FARIAS DE NOVAES:05040506643 Date: 2024.08.20 13:51:52 -0300</small></p> <p>Prof. Dr. Luciano Faria de Novaes Presidente/UNAERP</p>	<p><small>Documento assinado digitalmente</small></p> <p>gouv.br GUSTAVO ALMEIDA FRATA Data: 21/08/2024 13:51:52 -0300 Verifique em https://validar.it.gov.br</p> <p>Prof. Dr. Gustavo Almeida Frata UNAERP</p>	<p><small>Documento assinado digitalmente</small></p> <p>gov.br EDUARDO LUCENA CAVALCANTE DE AMORIM Data: 21/08/2024 11:14:01 -0300 Verifique em https://validar.it.gov.br</p> <p>Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim UFA</p>
---	--	--

RIBEIRÃO PRETO
2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui. A minha família, em especial a minha esposa Isabele por todo o incentivo e cumplicidade, estando sempre disposta a me apoiar e a entender que por diversos momentos seria necessário abdicar de momentos de lazer e comunhão em prol do objetivo que se tornou nosso projeto e não poderia deixar de citar a nossa filha Leticia que com apenas dez anos já demonstra uma maturidade incrível entendendo que durante esse percurso teríamos que renunciar a alguns momentos de diversão em prol de um objetivo maior. Aos meus pais que mesmo a distância sempre me incentivaram a continuar, mesmo diante das adversidades que sugeriram durante a caminhada.

Agradeço imensamente aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado, em especial ao meu orientador Professor Dr. Luciano Farias de Novaes que esteve sempre junto comigo nesse processo, se fazendo disponível independentemente de dia e horário, contribuindo assiduamente no meu processo de desenvolvimento e aprendizagem contínua.

Aos meus queridos pais, por todos os ensinamentos e
direcionamentos. A minha querida esposa por todo
apoio, parceria e cumplicidade.

“A força não vem do corpo. Vem da vontade da mente.” (Gichin Funakoshi).”

RESUMO

A redução de pressão dos sistemas de abastecimento é, em muitos casos, uma das estratégias mais utilizadas para minimizar o impacto das perdas de água em consequência dos vazamentos. Porém, na maioria dos casos, não é avaliado o impacto na eficiência metrológica dos hidrômetros mecânicos velocimétricos, o que por vezes incorre na perda da capacidade de medição dos hidrômetros e consequente impacto nos indicadores de perdas e no faturamento das companhias. A presente pesquisa tem como objetivo correlacionar a contabilização do consumo dos clientes residências, com a variação de pressão disponível nas redes de distribuição e desta forma, avaliar se o comportamento da pressão (aumento ou redução), tem influência na capacidade de medição dos hidrômetros mecânicos velocimétricos unijatos de vazão nominal $0,75 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo estes modelos amplamente utilizados pelas concessionárias de água, autarquias, departamentos e demais operadores de sistemas de abastecimento de água, em virtude do atrativo custo de aquisição e instalação. A partir desse contexto, foram selecionados dois Distritos de Medição e Controle (DMC) de abastecimentos de uma cidade do nordeste brasileiro, no estado de Alagoas, sendo estes denominados como DMC 1 e DMC 2. O DMC 1 possui 808 ligações e o DMC 2 possui 1001 ligações. A escolha dos setores se deu por conta da considerável diferença de pressão de trabalho entre ambos, e ao mesmo tempo por possuírem similaridade tanto no que se refere ao parque de hidrômetros, quanto nas características dos clientes, sendo estes com maior parcela residencial, o que possibilitou estabelecer uma correlação assertiva entre a pressão disponibilizada em cada DMC e o registro do consumo realizado pelos hidrômetros observados. O DMC 1 apresenta pressão na saída da Válvula de Redução de Pressão (VRP) de 25 mca e consumo médio por ligação de $19 \text{ m}^3/\text{mês}$, enquanto o DMC 2 opera 15 mca na saída da VRP e consumo médio por ligação de $13 \text{ m}^3/\text{mês}$. Ambos os setores não apresentam diferença significativa de cota, e possuem características bastante semelhantes no que se refere as malhas de rede e demais ativos instalados, de maneira que as pressões de trabalho no interior dos setores mantêm a escala de diferença de pressão das saídas das VRP'S. Estudos que foram realizados no laboratório demonstraram relevante perda metrológica quando comparados os comportamentos dos hidrômetros, tendo sido estes submetidos as pressões de trabalho variando entre 5 mca e 20 mca. Foram feitos escalonamentos crescentes das pressões em laboratório, e o mesmo comportamento de ganho na performance metrológica, foi observado a medida em que as pressões de trabalho eram aumentadas. Tal evento também se manifestou quando analisadas as ligações de cada distrito

de medição e controle, onde o setor que apresenta maior pressão de trabalho, também apresentou maior consumo médio contabilizado por cada ligação.

Também foi observado significativa diferença de faturamento entre as ligações observadas nos dois Distritos de Medição e Controle, onde as ligações do DMC 1 que possui maior pressão de trabalho apresentaram faturamento 49% superior, quando comparado com as ligações do DMC 2 que opera com a menor pressão de trabalho.

Palavras-chaves: Hidrômetros Mecânicos Velocimétricos Unijatos. Gerenciamento de Pressão. Perdas Aparentes. Submedição. Volume Medido. Faturamento.

RESUMEN

La reducción de la presión de los sistemas de abastecimiento es, en muchos casos, una de las estrategias más utilizadas para minimizar el impacto de las pérdidas de agua como consecuencia de las fugas. Sin embargo, en la mayoría de los casos, no se evalúa el impacto en la eficiencia metrológica de los contadores de agua velocimétricos mecánicos, lo que a veces se traduce en la pérdida de la capacidad de medición de los contadores de agua y el consiguiente impacto en los indicadores de pérdidas y en los ingresos de las empresas. La presente investigación tiene como objetivo correlacionar la contabilización del consumo de los clientes residenciales con la variación de la presión disponible en las redes de distribución y de esta manera, evaluar si el comportamiento de la presión (aumento o disminución) influye en la capacidad de medición de los contadores de agua mecánicos unijetto velocimétricos con un caudal nominal de $0,75 \text{ m}^3/\text{h}$, siendo estos modelos ampliamente utilizados por las empresas de agua, municipios, departamentos y otros operadores de sistemas de abastecimiento de agua, debido al atractivo costo de adquisición e instalación. Con base en este contexto, se seleccionaron dos Distritos de Medición y Control (DMC) de abastecimiento en una ciudad del nordeste de Brasil, en el estado de Alagoas, que se denominaron DMC 1 y DMC 2. DMC 1 tiene 808 enlaces y DMC 2 tiene 1001 enlaces. La elección de los sectores se debió a la considerable diferencia de presión de trabajo entre ellos, y al mismo tiempo porque tienen similitud tanto en cuanto al parque de medidores de agua como en las características de los clientes, que tienen una porción residencial más grande, lo que permitió establecer una correlación asertiva entre la presión disponible en cada DMC y el registro del consumo realizado por los medidores de agua observados. La DMC 1 tiene una presión a la salida de la Válvula Reductora de Presión (VRP) de 25 mca y un consumo medio por conexión de $19 \text{ m}^3/\text{mes}$, mientras que la DMC 2 funciona a 15 mca a la salida de la VRP y un consumo medio por conexión de $13 \text{ m}^3/\text{mes}$. Ambos sectores no presentan una diferencia significativa de elevación, y tienen características muy similares con respecto a las redes de red y otros activos instalados, por lo que las presiones de trabajo dentro de los sectores mantienen la escala de diferencia de presión de las salidas de los VRP'S. Los estudios realizados en el laboratorio demostraron pérdidas metrológicas relevantes al comparar los comportamientos de los medidores de agua, los cuales fueron sometidos a presiones de trabajo que oscilaron entre 5 mca y 20 mca. Se realizó un escalonamiento creciente de las presiones en el laboratorio, y se observó el mismo comportamiento de ganancia en el rendimiento metrológico a medida que se incrementaban las presiones de trabajo. Este evento también se

manifestó al analizar las conexiones de cada distrito de medición y control, donde el sector que presenta la mayor presión de trabajo también presentó el mayor consumo promedio contabilizado por cada conexión. También se observó una diferencia significativa en la facturación entre las conexiones observadas en los dos Distritos de Medición y Control, donde las conexiones del DMC 1, que tiene la mayor presión de trabajo, tuvieron un 49% más de facturación, en comparación con las conexiones del DMC 2, que opera con la menor presión de tráfico.

Palabras clave: DMC 1. DMC 2. Fugas. VRP. DMC. Hidrómetros velocimétricos mecánicos de un solo chorro. Medición de la presión. Pérdidas reales. Pérdidas Aparentes. Geoprocessamento. Registradores de datos. Laboratorio de Medición. Submedição. Facturación.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo simplificado de um sistema de abastecimento de água	23
Figura 2 – Quantidade de Municípios por Percentual de Perdas na Distribuição - IPD	27
Figura 3 – Quantidade de Municípios por Percentual de Perdas na Distribuição - IPL	29
Figura 4 – Balanço Hídrico	30
Figura 5 – Sistema de Distribuição por Zonas de Pressão	32
Figura 6 – Vista de Uma Válvula Redutora de Pressão Utilizada em SAA	33
Figura 7 – Modelagem Hidráulica - EPANET	35
Figura 8 – Hidrômetro Velocimétrico	37
Figura 9 – Hidrômetro Volumétrico	40
Figura 10 – Caracterização dos setores de Abastecimento e Distritos de Monitoramento e Controle (DMC's) estudados	42
Figura 11 – Localização dos Pontos de Referência dentro do setor	44
Figura 12 – Localização dos Pontos da Campanha de Medição de Pressão no DMC 2	46
Figura 13 – Confirmação dos Limites do Teste de Estanqueidade (TPC)	49
Figura 14 – Confirmação dos Limites através do Teste de Estanqueidade (TPZ)	50
Figura 15 – Exemplo de Registro Limítrofe Fechado	51
Figura 16 – Exemplo de Registro Limítrofe Aberto	51
Figura 17 – Exemplo da Condição Operacional dos Registros Limítrofes	52
Figura 18 – Exemplo de Leituras Similares	53
Figura 19 – Coleta de Dados (pontos de tomada de pressão com manômetro) em Campo DMC 1	54
Figura 20 – Pontos Selecionados para Verificação dos Limites do DMC 1	55
Figura 21 – Coleta de Dados (pontos de tomada de pressão com manômetro) em Campo DMC 2	56
Figura 22 – Pontos Selecionados para Verificação dos Limites do DMC 2	57
Figura 23 – Ligações Georreferenciadas dos DMCs 1 e 2	58
Figura 24 – IDH SAA do Setor de Abastecimento	63
Figura 25 – Espacialização por Tipo de Vazamento – Jun-21 a dez – 22	66
Figura 26 – Mapa de Localização dos Setores e Cota Altimétrica	67
Figura 27 – Quadro - Informações do Reservatório R1	68
Figura 28 – Croqui Operacional do Reservatório R1	70
Figura 29 – Planta do Reservatório R1	71
Figura 30 – VRP do DMC 1	72
Figura 31 – Macromedidor do DMC	73
Figura 32 – Ventosa do DMC 1	74
Figura 33 – VRP instalada no DMC 2	76
Figura 34 – Macromedidor do DMC 2	77
Figura 35 – Ventosa instalada no DMC 2	78
Figura 36 – Pressões do 1 DMC em Operação Normal	79
Figura 37 – Pressões do DMC 1 em Operação Normal e Operação Reduzida	80
Figura 38 – Pressões do DMC 1 em Operação Reduzida e Demais DMC'S em Operação Normal	81
Figura 39 – Alteração do Limite do DMC 1 a Partir dos Testes	82
Figura 40 – Pressões do DMC 2 em Operação Normal	83
Figura 41 – Pressões do DMC 2 em Operação Normal e Reduzida	84
Figura 42 – Pressões do DMC 2 em Operação Normal e Demais DMC'S em Operação Reduzida	85
Figura 43 – Alteração do Limite do DMC após o Teste de Estanqueidade	86
Figura 44 – Curva de Submedição por Leitura Acumulada	90
Figura 45 – Estrutura Tarifária Aplicada nos DMC'S Estudados	93
Figura 46 – Comportamento das Pressões a Montante e a Jusante da VRP do DMC 1 Fonte: Autor, 2023.	97

Figura 47 – Comportamento das Pressões a Montante e a Jusante da VRP do DMC 2.....	97
Figura 48 – Influência da Variação da Pressão na Eficiência Metrológica HD 1.....	98
Figura 49 – Influência da Variação da Pressão na Eficiência Metrológica HD 2.....	99
Figura 50 – Influência da Variação da Pressão na Eficiência Metrológica HD 3.....	99
Figura 51 – Espacialização das ligações amostrais dos DMC's 1 e 2.....	101
Figura 52 – Índice de Correlação entre a Pressão e o Consumo Registrado pelos Hidrômetros dos DMC'S 1 e 2.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados estatísticos utilizados para cálculo do IPD dos 100 municípios mais populosos brasileiros	26
Tabela 2. Dados estatísticos utilizados para cálculo do IPL dos 100 municípios mais populosos brasileiros	28
Tabela 3. Classes Metrológicas.....	38
Tabela 4. Erros Máximos Admissíveis para Medidores Novos	38
Tabela 5. Erros Máximos Admissíveis para Medidores Usados.....	39
Tabela 6. Projeção de Crescimento Populacional Para o Setor de Abastecimento de Água.....	64
Tabela 7. Quantidade de Ligações por Categoria nos DMC'S 1 e 2.....	65
Tabela 8. Tipos de Vazamentos Localizados por Bairro no setor em estudo.....	65
Tabela 9. Índice de Submedição das Ligações Residenciais do DMC 1.....	68
Tabela 10. Fator de Pesquisa do DMC 1.....	75
Tabela 11. Índice de Submedição das Ligações Residenciais do DMC 2.....	75
Tabela 12. Fator de Pesquisa do DMC 2.....	79
Tabela 13. Idade Média do Parque de Hidrômetros do DMC 1	87
Tabela 14. Idade Média do Parque de Hidrômetros do DMC 2.....	88
Tabela 15. Quantidade de Medidores por Intervalo de Leitura.....	88
Tabela 16. Consumo médio das Ligações Residências do DMC 2.....	91
Tabela 17. Consumo médio das Ligações Residências do DMC 1	91
Tabela 18. Faturamento das Ligações do DMC 1 no período de Jul a dez de 2023	94
Tabela 19. Faturamento das Ligações do DMC 1 no período de Jul a dez de 2023	95
Tabela 20. Comparativo Faturamento médio do DMC 1 e DMC 2 no período de Jul a dez de 2023 .	96
Tabela 21. Amostras das informações de Pressão e Consumo das ligações – DMC 1	103
Tabela 22. Amostras das informações de Pressão e Consumo das ligações – DMC 2	104
Tabela 23. Comparativo dos consumos médios registrados no DMC 1 e no DMC 2	105

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARSAL	Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de Alagoas
DMC'S	Distritos de Medição e Controle
EMA	Erro Máximo Admissível
HD	Hidrômetro
FP	Fator de Pesquisa
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPA	Índice de Perdas de Água
IPL	Índice de Perdas por Ligação
IWA	International Water Association
MCA	Metro Coluna de Água
Q	Vazão
Qi	Vazão Inicial
Q _{máx}	Vazão Máxima
Q _n	Vazão Nominal
Q _t	Vazão de Transição
RTM	Regulamento Técnico Metrológico
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento
TPC	Teste de Pressão em Carga
TPZ	Teste de Pressão Zero
VRP	Válvula Redutora de Pressão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVO GERAL.....	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3	REVISÃO DE LITERATURA	22
3.1	SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	22
3.2	REDES DE DISTRIBUIÇÃO.....	23
3.3	PERDAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO.....	24
3.3.1.	Índice de Perdas na Distribuição.....	26
3.3.2.	Indicador de Perdas por Ligação (IPL).....	28
3.3.3.	Balanço Hídrico - IWA.....	29
3.3.4.	Componentes do balanço hídrico:.....	30
3.3.5.	Fator de Pesquisa.....	31
3.4	GERENCIAMENTO DE PRESSÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO.....	31
3.4.1.	Distrito de Medição e Controle (DMC)	34
3.5	TESTE DE ESTANQUEIDADE EM DISTRITOS DE MEDIÇÃO	35
3.6	HIDRÔMETROS VELOCIMÉTRICOS.	36
3.7	HIDRÔMETROS VOLUMÉTRICOS.....	39
4	MATERIAL E MÉTODOS	41
4.1	INFORMAÇÕES TÉCNICAS DOS SETORES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA ESTUDADOS.....	41
4.1.1.	Análise populacional do setor de abastecimento.....	42
4.1.2.	Caracterização física e operacional do sistema.....	42
4.2	CARACTERÍSTICA DO DMC 1	43
4.3	CONSUMO MÉDIO DAS LIGAÇÕES RESIDENCIAIS DO DMC 1	44
4.4	PRESSÃO MÉDIA DE ABASTECIMENTO DO DMC 1	45
4.5	PERDAS NO SETOR – FATOR DE PESQUISA.....	45
5	CARACTERÍSTICAS DO DMC 2.....	46
5.1	CONSUMO MÉDIO DAS LIGAÇÕES RESIDENCIAIS DO DMC 2.....	47
5.2	PRESSÃO MÉDIA DO ABASTECIMENTO DO DMC 2.....	47
5.3	PERDAS NO SETOR DMC 2 – FATOR DE PESQUISA	47

6	IDADE MÉDIA DO PARQUE DE HIDRÔMETROS E ÍNDICE DE SUBMEDIÇÃO DOS DMC'S	47
6.1	REALIZAÇÃO DO TESTE DE ESTANQUEIDADE NOS DMC's OBSERVADOS	48
6.1.2.	Características do Teste.....	53
6.2	REALIZAÇÃO DO TESTE DE ESTANQUEIDADE DO DMC 1.....	53
6.3	REALIZAÇÃO DO TESTE DE ESTANQUEIDADE DO DMC 2	55
7	MONITORAMENTO DO CONSUMO DAS LIGAÇÕES EXISTENTES NOS SETORES EM ESTUDO DURANTE O PERÍODO DE SEIS MESES	58
7.1	LEVANTAMENTO DOS VALORES FATURADOS DAS LIGAÇÕES AMOSTRAIS DURANTE O PERÍODO DE SEIS MESES.....	59
7.2	MONITORAMENTO DO COMPORTAMENTO DA PRESSÃO DOS SETORES EM ESTUDOS PELO PERÍODO DE SEIS MESES.....	60
7.3	REALIZAÇÃO DOS TESTES EM AMBIENTE DE LABORATÓRIO PARA VERIFICAR A INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NO COMPORTAMENTO METROLÓGICOS DOS HIDRÔMETROS	60
7.4	AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO DA PRESSÃO COM APROVEITAMENTO METROLÓGICO NAS LIGAÇÕES AMOSTRAIS DOS SETORES ESTUDADOS	61
7.5	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA ESTATÍSTICA NO SOFTWARE EXCEL DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R^2) ENTRE AS VARIÁVEIS PRESSÃO E CONSUMO DAS LIGAÇÕES OBSERVADAS.....	62
8	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
8.1	INFORMAÇÕES TÉCNICAS DOS DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE ESTUDADOS.....	63
8.1.2	Particularidades do DMC 1 e DMC 2.....	64
8.2	ATIVOS DO SISTEMA - DMC 1	68
8.2.1	Reservatório	68
8.2.2	Válvula Redutora de Pressão.....	72
8.2.3	Macromedidor	72
8.2.4	Ventosa Simples	73
9	PERDAS NO DMC 1 – FATOR DE PESQUISA	74
9.1	PARQUE DE HIDRÔMETROS E SUBMEDIÇÃO DMC 2	75
9.2	ATIVOS DO SISTEMA - DMC 2.....	76
9.2.1.	Válvula Redutora de Pressão do DMC 2	76

9.2.2. Macromedidor	77
9.2.3. Ventosa	77
10 PERDAS NO DMC 2 – FATOR DE PESQUISA.....	78
10.1 REALIZAÇÃO DO TESTE DE ESTANQUEIDADE NOS DMC’s 1 E 2.....	79
10.2 DEFINIÇÃO DA IDADE MÉDIA DO PARQUE E REALIZAÇÃO DOS TESTES PARA DETERMINAÇÃO DA CRUVA DE SUBMEDIÇÃO DOS MEDIDORES VELOCIMÉTRICOS UNIJATOS TIPO “Y”	87
11 MONITORAMENTO DO CONSUMO DAS LIGAÇÕES EXISTENTES NOS DMC’s EM ESTUDO, DURANTE O PERÍODO DE SEIS MESES	91
12 LEVANTAMENTO DOS VALORES FATURADOS DAS LIGAÇÕES AMOSTRAIS DURANTE O PERÍODO DE SEIS MESES NOS DMC’s 1 E 2	92
13 MONITORAMENTO DO COMPORTAMENTO DA PRESSÃO DOS SETORES EM ESTUDO PELO PERÍODO DE SEIS MESES.....	96
14 ENSAIOS EM LABORATÓRIO PARA DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO PRESSÃO CONSUMO.....	98
15 AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO DA PRESSÃO COM APROVEITAMENTO METROLÓGICO NAS LIGAÇÕES AMOSTRAIS DOS SETORES ESTUDADOS ..	100
15.1.CORRELAÇÃO DO CONSUMO REGISTRADO PELAS LIGAÇÕES DO DMC 1 E 2, EM RAZÃO DA DIFERENÇA DE PRESSÃO DE TRABALHO DOS SETORES OBSERVADOS, ATRAVÉS DA FERRAMENTA ESTÁTICA	102
16 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	107
17 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	109
REFERÊNCIAS.....	110

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui sistemas de distribuição de água com infraestruturas operacionais cada vez mais vulneráveis, seja por tecnologias ultrapassadas, materiais desgastados, seja por redes de abastecimento comprometidas devido a severas incrustações em decorrências de acúmulo de sedimentos ao longo dos anos de operação, ou ainda pelas abruptas variações de pressão em face da ausência de controle operacional.

Na maioria dos casos acabam por inferir na necessidade de redução de pressão nos sistemas de distribuição, objetivando a diminuição das ocorrências de vazamentos, caracterizados por perdas reais, também conhecida como perdas físicas (ARREGUI, 2006). Entretanto, podemos considerar que ao reduzirmos as pressões de abastecimento, pode-se gerar um impacto significativo a eficiência metrológica dos hidrometros velocimétricos e por consequência gerar grandes impactos no faturamento das operadoras dos sistemas de abastecimento de água.

Para que se possa realizar uma avaliação nesse sentido, é preciso entender o princípio de funcionamento e as particularidades dos hidrômetros, para determinar se há relação entre a redução de pressão e o aumento da imprecisão da medição, tendo como consequência a redução do volume medido/faturado e consequente impacto nos indicadores financeiros e operacionais dos operadores de serviço de abastecimento de água nas diversas regiões do país.

Hidrômetros são equipamentos instalados nas ligações dos clientes, sejam elas residências (unifamiliares ou multifamiliares), comerciais de pequeno ou grande porte, ou industriais e tem como principal finalidade registrar com maior grau de exatidão possível o volume de água que o atravessa, sendo esse utilizado em um determinado período observado NBR NM 2012 (ABNT, 1999).

Os medidores podem ser de diversos diâmetros e de diferentes tecnologias, no entanto o presente estudo tem como finalidade estudar o comportamento dos Hidrômetros Velocimétricos Unijatos de vazão nominal $0,75 \text{ m}^3/\text{h}$, quando submetidos a diferentes faixas de pressão de trabalho.

Estes possuem princípio de funcionamento a partir da velocidade do fluido que o atravessa, ou seja, é necessário que haja um deslocamento do fluido a uma velocidade mínima para que todas as engrenagens sejam acionadas e dê início ao processo de medição do equipamento, essa força motriz, na hidráulica, é denominada de pressão, que é expressa em metro de coluna d'água (mca) (MANZI, 2020).

Ocorre que com o passar do tempo e conseqüente registro do consumo, as peças e mecanismos existentes em toda a engrenagem sofrem um desgaste natural, seja pelo atrito entre elas, pela abrupta e frequente variação de pressão no sistema de distribuição ou pela influência da qualidade da água (COELHO, 2009).

Em um cenário de escassez hídrica e relevante necessidade de investimentos por parte das operadoras dos sistemas de abastecimento de água, justifica-se o emprego dessa pesquisa como considerável contribuição para o auxílio ao consumo consciente, uma vez que se tem como aplicabilidade fundamental dos medidores, a tradução do volume consumido pelas ligações, a partir do aumento da eficiência metrológica. O equilíbrio econômico-financeiro das operadoras dos sistemas de abastecimento de água também é um fator de extrema relevância a ser considerado na aplicação da pesquisa, tendo em vista o incremento do volume faturado e a contribuição para diminuição das perdas aparentes, nesse contexto a submedição dos equipamentos (THORTON, SURM e KUNKEL, 2002).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo determinar a existência da relação entre a pressão disponibilizada na rede de distribuição e o aproveitamento metrológico dos hidrômetros mecânicos velocimétricos unijatos Qn 0,75 m³/h, e por consequência avaliar se há impacto na eficiência metrológica dos hidrômetros e no volume faturado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Obter informações técnicas dos setores de distribuição de água estudados;
- Realizar teste de estanqueidade nos setores observados;
- Monitorar o consumo das ligações existentes nos setores em estudo durante o período de seis meses;
- Monitorar o comportamento da pressão dos setores em estudos pelo período de seis meses;
- Realizar testes em ambiente de laboratório para verificar a influência da pressão no comportamento metrológicos dos hidrômetros;
- Avaliar a relação da pressão com aproveitamento metrológico nas ligações residências dos setores estudados.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Como parte fundamental para o entendimento da metodologia aplicada, assim como todos os resultados e inferências obtidas através da pesquisa, este capítulo visa abordar os principais conceitos a fim de subsidiar todas as discussões e conclusões a respeito do tema proposto. Importante ressaltar que todos os trabalhos utilizados como fonte de pesquisa, tiveram papel fundamental no apoio do desenvolvimento do estudo e todas as correlações especificadas ao longo do trabalho de pesquisa.

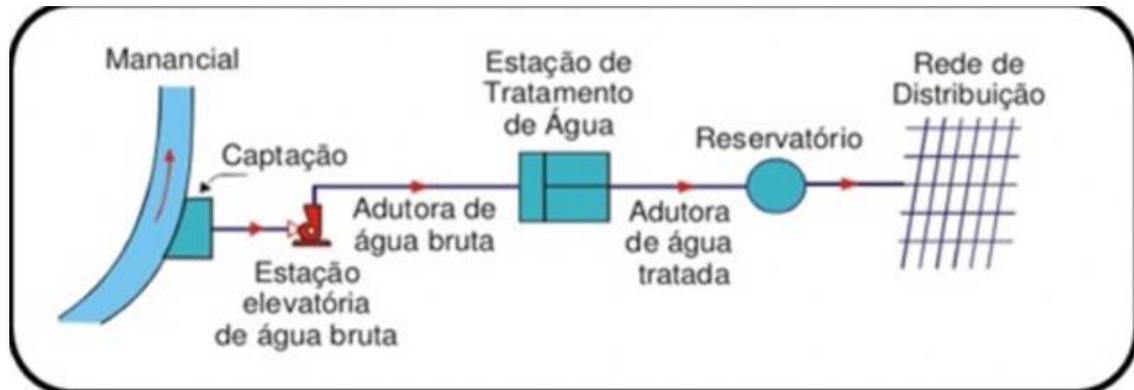
3.1 SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Um sistema de abastecimento de água é constituído por: Manancial, Captação (podendo ser superficial e subterrânea), Estação de Tratamento de água (ETA), Sistema de Adução, Reservação, Rede de Distribuição, podendo conter estações elevatórias de água tratada (EEAT) e/ou estações elevatórias de água bruta (EEAB) (AZEVEDO NETO et. al, 1998).

Na antiguidade as civilizações construíram grandes sistemas de transporte de água, chamados aquedutos que eram responsáveis pelo abastecimento de água para as cidades. Esses sistemas consistiam em utilizar os desníveis dos terrenos onde a água era movida e direcionada apenas por gravidade para os canais que em sua grande maioria eram construídos de pedra, tijolo ou concreto. Os sistemas de abastecimentos de água podem ter suas estruturas variadas significativamente considerando a população a ser atendida, o tipo de manancial e da topográfica da área (HELLER; PADUA, 2010).

A depender das características de utilização, ou seja, dependendo da concepção do sistema, há de se considerar um modelo específico de captação, podendo ser superficial, como rios, lagoas, represas e barragens, ou captações profundas, como poços etc. (TSUTIYA, 2006). A Figura 1 apresenta um modelo simplificado de um sistema de abastecimento de água.

Figura 1 – Modelo simplificado de um sistema de abastecimento de água



Fonte: Adaptado de Brasil, 2019.

3.2 REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Em sistemas mais antigos de abastecimento de água, grande parte pertencente a cidades de maior porte, o transporte e distribuição de água utiliza principalmente nas tubulações principais, tubos de ferro fundido, um material de longa durabilidade, porém que ao longo do tempo, em muitos casos, tem sua capacidade de transporte reduzida pelo aumento da rugosidade interna (TSUTIYA, 2006).

Fatos como estes, implicam na necessidade de em muitas das vezes reduzir significativamente a capacidade de operação dos sistemas, reduzindo as pressões de abastecimento para que não haja a aceleração do desgaste das tubulações e consequente rompimento das redes, ocasionando perdas significativas por vazamentos, sem contar os inconvenientes causados como os desabastecimentos, alteração na qualidade da água na distribuição e reclamações dos clientes (TARDELLI FILHO, 2004).

Soluções como a implementação de uma rotina de limpeza no interior das tubulações, onde o objetivo é propiciar um melhor escoamento do fluido, garantia da manutenção da qualidade da água, bem como o retardamento da deterioração das estruturas das redes, são ações comumente realizadas no sentido de garantir melhores condições de operação dos sistemas de abastecimento de água (THORNTON, 2008).

Ainda segundo Ttsutiya³ (2006), “Muitos dos sistemas de abastecimento de água que ainda estão em operação, já excederam o tempo de vida útil para o qual foram dimensionados”. Tal fato se deve à ausência de manutenção periódica e eventuais substituições de trechos que porventura apresentam degradação em função das condições de operação a que são submetidos.

Como forma de contenção dos efeitos da deterioração das redes, as operadoras dos sistemas de abastecimento, optam por operar os sistemas com capacidade significativamente reduzida, ou seja, reduzem as pressões disponíveis nas redes de abastecimento de água, uma vez que a resistência dos materiais das tubulações já não possibilita que suas respectivas operações ocorram sem que haja impactos significativos, muitas das vezes causados pela ocorrência de inúmeros e frequentes vazamentos nas redes de distribuição (BUTLER, 2000; THORTON, 2002; FARLEY e TROW, 2003).

3.3 PERDAS EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Segundo a International Water Association, perdas de água é a diferença entre o volume de entrada no sistema e o consumo autorizado. Ainda segundo a entidade, as perdas de água são classificadas em dois tipos, perdas reais e perdas aparentes ou perdas comerciais.

Perdas Reais (Físicas): Correspondem aos volumes disponibilizados pelos sistemas de produção e distribuição, porém não são utilizados pelas unidades consumidoras, por serem consumidos por vazamentos no sistema, e por usos operacionais em processos inadequados, tais como lavagens de filtros nas ETAs, descargas realizadas nas limpezas de rede para manutenção da qualidade e/ou necessidade de acelerar a despressurização para realização de manutenções emergenciais (TARDELLI FILHO e TSUTIYA, 2006).

Segundo Thorton, Sturm e Kunkel (2002), as Perdas Aparentes (Comerciais): Caracterizam-se pela não contabilização dos volumes utilizados pelas unidades consumidoras. São diversos os agentes causadores das perdas aparentes, destacando-se a perda da capacidade metrológica dos instrumentos de medição (hidrômetros), sendo esse fenômeno denominado submedição, a utilização não autorizada (fraudes), e a ausência de instalação dos instrumentos de medição nas ligações, sejam elas residenciais (casas ou prédios), comerciais ou industriais.

Segundo (Coelho, 2009) Os hidrômetros possuem limitações de exatidão sobre determinadas condições de utilização, em especial quando submetido a baixas vazões. Em geral, as perdas por submedição variam de 10 a 30% do volume consumido pelos usuários (FONSECA e COLELHO, 2009).

Chamamos de submedição, a falta de capacidade dos hidrômetros de registrar com precisão o volume de água que o atravessa. São diversos os fatores que influenciam na inexatidão dos medidores, destacando-se o perfil de consumo, a velocidade da água, a quantidade de sólidos em suspensão na água, condições ambientais e climáticas, o correto

dimensionamento e até mesmo a posição de instalação dos medidores, (ARREGUI et al., 2005; THORTON e RIZZO., 2002).

Por se tratar de equipamentos mecânicos, os hidrômetros, além de sofrerem a influência de todos os fatores já citados, também naturalmente sofrem o desgaste ocasionado pelo atrito que ocorre nas peças de suas engrenagens, por ocasião do registro do consumo de água (COELHO, 2009).

Desta forma, a depender do perfil de consumo de cada ligação nas quais os medidores forem instalados, estando diretamente relacionado com a velocidade do fluido que o atravessa, o grau de imprecisão tende a variar independentemente do tempo de instalação, ou seja, ligações com maior consumo de água, tendem a propiciar maior desgaste nos hidrômetros. Estudos relacionados ao tema, como apresentados por Ferréol (2005), Arregui, Cabrera Jr e Cobacho (2006), demonstram essa relação.

Outro fator de extrema relevância na contabilização das perdas aparentes, são as fraudes. Tem-se o conceito atribuído, quando a água é consumida e não contabilizada, dessa forma impactando significativamente na sustentabilidade de sistemas de abastecimento de água (JANG et al.; 2018).

As fraudes podem ocorrer desde a ocorrência do desvio do fluxo no sentido do hidrômetro, onde o abastecimento é direcionado por um canal alternativo, também denominado como By Pass, até avarias causadas nos hidrômetros de forma proposital, com o objetivo de neutralizar o sistema de medição, a fim de tornar o equipamento incapaz de contabilizar o volume de água consumido pela ligação (HELLER, PÁDUA, 2010).

São inúmeros os transtornos causados pela ocorrência de fraudes nas ligações de água, dentre eles pode-se destacar o financeiro, uma vez que o volume utilizado e não contabilizado, não é faturado pelas operadoras do sistema.

A dificuldade na identificação de alterações no comportamento do consumo dos clientes, que possam indicar a ocorrência de fraudes nas ligações, tem sido pontos de atenção e empenho das empresas responsáveis pelas operações dos sistemas., para que seja possível antecipar ao máximo a identificação e normalização das ligações, minimizando os impactos ocasionados pelas ocorrências de fraudes nos sistemas. Segundo (Gumier e Luvizotto Junior, 2007), mesmo quando é direcionada a inspeção, a seleção das ligações propensas a ocorrência de fraudes é realizada de forma empírica, o que dificulta a identificação das irregularidades, dessa forma culminando no baixo índice de assertividade e aumento do custo operacional.

Um estudo realizado pelo Instituto Trata Brasil no ano de 2022, mediu o nível de eficiência na gestão de perdas em 100 municípios das principais capitais brasileiras. O estudo

abordou itens de extrema relevância para a gestão de perdas em sistemas de distribuição de água, sendo eles:

- Indicador de Perdas na Distribuição (IPD);
- Indicador de Perdas no Faturamento (IPF);
- Indicador de Perdas por Ligação (IPL).

3.3.1 Índice de Perdas na Distribuição

O IPD busca estabelecer uma relação entre o volume de água produzido e o volume de água efetivamente consumido nas residências. Quanto menor for o percentual, mais bem classificado é o município, pois segundo a metodologia aplicada, quanto menor o percentual estabelecido pela relação do volume distribuído / volume consumido, uma menor parcela do volume é perdido na distribuição. A Tabela 1 traz para este indicador, as principais estatísticas descritivas dos 100 municípios brasileiros mais populosos, que compõe o Ranking.

Tabela 1. Dados estatísticos utilizados para cálculo do IPD dos 100 municípios mais populosos brasileiros

Estatísticas	
<u>INDICADOR MÉDIO</u>	<u>35,04%</u>
COEF. VAR	0,35
MÁXIMO	77,32%
MÉDIA	38,62%
MEDIANA	36,60%
DESV. PAD.	13,35 p.p.
MÍNIMO	3,29%

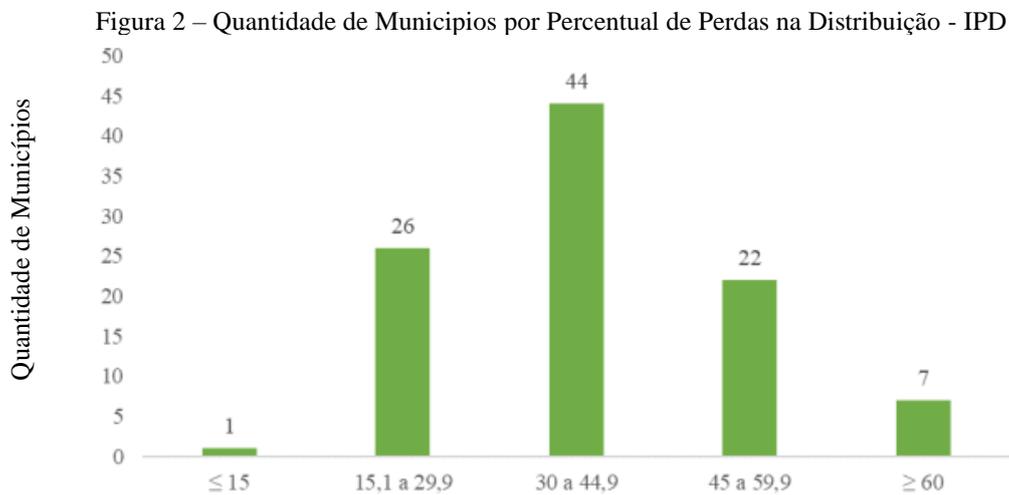
Fonte: SNIS (2022). Elaboração: GO Associados.

Segundo Toledo (1985), fenômenos que envolvem análises estatísticas podem ser caracterizados por sua semelhança, de acordo com esse conceito, na estatística descritiva os principais fatores utilizados para compreensão dos resultados, demonstrados na tabela 1, foram os seguintes:

- **Coefficiente de Variação (CV)** – É uma medida estatística adimensional, ou seja, não possui unidade, que tem por objetivo prover a ideia de qual o percentual de erro da amostra em relação a população observada.

- **Máximo:** É o valor mais elevado da amostra
- **Mínimo:** É o valor mais reduzido da amostra
- **Média:** Valor de tendencia central que especifica o valor médio calculado pela soma dos valores dos elementos da amostra, dividido pelo total de elementos da amostra.
- **Mediana:** Indica exatamente qual o valor está exatamente no meio de um conjunto de dados apresentados, estando os valores ordenados no menor para o maior.
- **Desvio Padrão:** Medida de tendencia central que define a proximidade ou distância dos valores da amostra em relação a média.

Ainda sobre o estudo realizado no ano de 2022, o indicador médio computado na amostra foi de 35,04%, representando uma sutil melhora em relação ao ano anterior que teve o resultado apurado em 36,51%. Segundo estudo divulgado pelo SNIS no ano de 2022, a média nacional no ano foi de 37,78%. A Figura 2 demonstra a frequência dos municípios observados por faixa de 15 pontos percentuais, onde dos 100 municípios considerados no estudo, apenas 14 possuem níveis de perdas na distribuição menores do que 25%. Ainda segundo o estudo 20 municípios possuem perdas na distribuição superiores a 50%.



Fonte: SNIS (2022). Elaboração: GO Associados.

3.3.2 Indicador de Perdas por Ligação (IPL)

O IPL é expresso em termos volumétricos, ou seja, quanto menor for o indicador do índice de perdas por ligação, melhor será a classificação do município, pois uma menor parte do volume de água produzida é perdido por ligação. A Tabela 2, demonstra as principais estatísticas descritivas utilizadas para os 100 municípios que compõem o ranking. De acordo com o estudo, o indicador médio considerando a amostra foi de 448,97 litros por ligação por dia no ano de 2022, valor este inferior quando observado o resultado apurado pelo instituto no ano de 2021 que foi de 461,96.

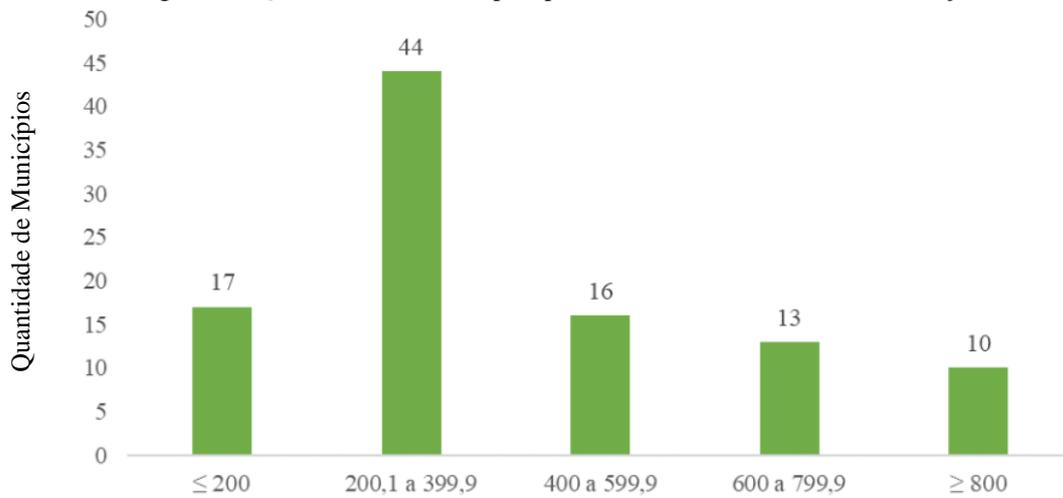
Tabela 2. Dados estatísticos utilizados para cálculo do IPL dos 100 municípios mais populosos brasileiros

Estatísticas (L/ligação/dia)	
<u>INDICADOR MÉDIO</u>	<u>448,97</u>
COEF. VAR	0,65
MÁXIMO	1.537,70
MÉDIA	435,92
MEDIANA	347,83
DESV. PAD.	285,04
MÍNIMO	99,41

Fonte: SNIS (2022). Elaboração: GO Associados.

A Figura 3 demonstra o histograma do indicador, que mostra a frequência dos municípios por faixa de 200 litros/ligação/dia, onde é possível observar que grande parte reportou indicadores entre 300 a 400 litros por ligação por dia. Os dados apresentados indicam que dos 100 municípios considerados no levantamento, 19 possuem níveis de perdas por ligação inferiores ao patamar de 216 L/Ligação/dia. Ainda segundo análise dos dados, mais de um terço da amostra, ou seja, 35 municípios, possuem perdas superiores a meta estabelecida na portaria 490/2021, que é de 216 L/Ligação/dia.

Figura 3 – Quantidade de Municípios por Percentual de Perdas na Distribuição - IPL



Fonte: SNIS (2022). Elaboração: GO Associados.

3.3.3 Balanço Hídrico - IWA

A International Water Association (IWA,2007), estabeleceu os principais componentes a serem considerados na composição do balanço hídrico a fim de tornar-se conhecidos os volumes de água fornecidos ao sistema, bem como as segregações das tratativas dos volumes. O principal objetivo para a implementação desse modelo e gestão é o de padronizar a forma de calcular as diversas variáveis operacionais, onde em decorrência do processo de gestão dá-se a criação de uma série história para consultas e levantamento de dados, possibilitando inferir comparações quantitativas e qualitativas acerca do processo de gestão de diversos sistemas de abastecimento, sendo estes integrados ou de forma isosala.

O modelo de gestão proposto pela IWA, é uma poderosa ferramenta gerencial que possibilita a análise e emissão de vários indicadores de desempenho, onde é possível analisar separadamente os pilares da eficiência operacional, correlacionando com os indicadores técnicos e financeiro das companhias (TSUTYIA e TARDELLI FILHO, 2006). A Figura 4 demonstra o balanço Hídrico segundo a IWA.

Figura 4 – Componentes do Balanço Hídrico Segundo a IWA

Volume Fornecido ao Sistema (compensado para imprecisões conhecidas)	Consumo Autorizado	Consumo Autorizado Faturado	Consumo Medido Faturado	Água Faturada
			Consumo Não Medido Faturado	
		Consumo Autorizado Não Faturado	Consumo Medido Não Faturado	Água Não Faturada (ANF)
			Consumo Não Medido Não Faturado	
	Perdas de Água	Perdas Aparentes	Consumo Não Autorizado	
			Imprecisão nos Hidrômetros e Erro no Manuseio de Dados	
		Perdas Reais	Vazamentos nas Redes	
			Vazamentos e Extravasamentos em Reservatórios	
	Vazamentos em Ligações até o Hidrômetro			

Fonte: Ministério das Cidades, 2019.

De acordo com as diretrizes estabelecidas pela IWA, os componentes do balanço hídrico podem ser definidos:

3.3.4 Componentes do balanço hídrico:

Volume fornecido ao Sistema: Volume produzido e disponibilizado para o sistema de distribuição;

Consumo Autorizado Faturado: Volume medido através dos dispositivos de medição (hidrômetros) instalados nas ligações e Volume de consumo estimado, sendo estes faturados para as unidades consumidoras;

Consumo Autorizado e Não Faturado: Volume disponibilizado no sistema, destinado aos usos operacionais como descargas de rede, Estações de tratamento e Hidrantes, não sendo estes faturados, ou seja, não há emissão de contas a serem faturadas em razão da concessionária e/ ou operadoras do sistema.

Perdas de Água: Todo volume produzido, disponibilizado, onde a utilização não é contabilizada, seja em razão dos vazamentos de redes, ramais e sistemas de reservação,

imprecisão dos medidores, consumos não autorizados (fraudes) e ligações que não possuem hidrômetros instalados.

IPA – Índice de perdas de água

3.3.5 Fator de Pesquisa

Segundo Fraga e Silva (1995), o fator de pesquisa é determinado a partir da relação entre a vazão mínima noturna e a vazão média diária. O comportamento desse parâmetro pode indicar possíveis problemas operacionais no sistema de abastecimento de água. Na equação a seguir é possível observar a forma de cálculo para determinar o FP da região observada.

$$FP = \frac{Q_{min}}{Q_{med}}$$

A saber:

FP = Fator de Pesquisa

Q_{min} = Vazão mínima noturna

Q_{med} = Vazão média diária

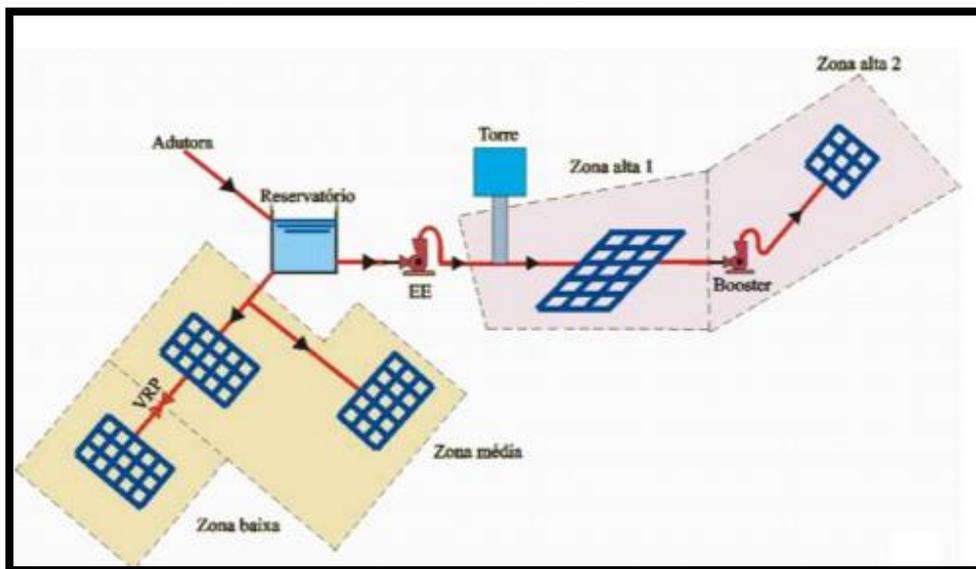
De acordo com Fraga e Silva (1995), quanto mais a relação acima explicitada, demonstrar a tendência para 1, maior a probabilidade de ocorrência de vazamentos. Segundo Fávero e Dib (1981), em geral, se o fator de pesquisa for maior do que 0,30, o setor em estudo contém vazamentos economicamente detectáveis. Contudo cabe ressaltar que essa afirmativa deve considerar que o sistema de abastecimento seja contínuo, ou seja, sem intermitências.

3.4 GERENCIAMENTO DE PRESSÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Encontrar um ponto de equilíbrio no gerenciamento de pressão que permita que o abastecimento ocorra de forma constante e que satisfaça as necessidades das unidades consumidoras, é um dos maiores desafios nos sistemas de abastecimento de água. Por conta das diversas variáveis a serem gerenciadas, como por exemplo: Materiais das tubulações, elevação dos terrenos, idade das infraestruturas instaladas e tecnologia de medição utilizada, torna-se mais complexa a escolha do modelo ideal a ser implementado em cada sistema.

O Consumo de água tem uma relação direta com a pressão disponível no ponto de distribuição. Para Clark et. al (1977), o consumo tende a aumentar em 30% quando houver um aumento de pressão na rede em torno de 14 mca. Ainda considerando a relação de dependência, outra questão importante nesse contexto é a capacidade de medição dos equipamentos instalados nas residências, onde como já mencionado, em sua grande maioria são equipamentos mecânicos com princípio de funcionamento velocimétrico, ou seja, a velocidade do fluido possui um papel fundamental para o perfeito funcionamento metrológico e consequente acurácia no registro do consumo. Na Figura 5 pode-se observar um esquemático de um sistema de distribuição dividido por zonas de pressão.

Figura 5 – Sistema de Distribuição por Zonas de Pressão



Fonte: Tsutyia, 2005.

A depender das características de cada sistema de abastecimento, diferentes zonas de pressão poderão ser observadas em um mesmo sistema, ou seja, oriundos da mesma fonte de abastecimento. Os reservatórios normalmente são acondicionados em terrenos elevados com o objetivo de aproveitar a energia gravitacional, reduzindo significativamente o custo de energia elétrica, uma vez que a força da gravidade empregada, possibilita o escoamento do fluido até o ponto de abastecimento. No entanto a depender do local de instalação dos reservatórios e considerando o declive do terreno para as áreas de abastecimento, há de se considerar a possibilidade de ocorrências das chamadas zonas de alta pressão. Em resumo, segundo a Norma Brasileira NBR 12.218 as pressões estáticas máxima em que as redes de distribuição podem ser submetidas é de 500kPa (~50 mH₂O) e a mínima dinâmica é de 100 kPa (~10 mH₂O).

Quando diante da diferença das cotas geométricas, entre o reservatório e as áreas de abastecimento, já tendo sido consideradas as perdas de cargas nos trechos observados, as pressões em determinados pontos tendem a aproximar-se ou até mesmo superar as pressões máximas permitidas por norma. Incorre-se, portanto, na necessidade de aplicação de uma perda de carga concentrada, ou seja, a instalação de equipamentos cujo objetivo é reduzir as pressões de abastecimento, propiciando maior segurança operacional e consequente equilíbrio do sistema de abastecimento, a esse equipamento chamamos de VRP.

As Válvulas Redutoras de Pressão, ou comumente conhecidas como VRP'S, possuem um papel fundamental na equalização das pressões em sistemas de abastecimentos de água, podendo adotar princípios mecânicos, onde a regulagem dar-se através do diferencial de pressão, referenciando-se a pressão a montante, ou podendo ser automatizada, onde a atuação se dá em relação a um ponto de referência dentro de uma área de abastecimento. Um ponto de extrema importância para a aplicação e o perfeito funcionamento das VRP'S, é o fato de que o fluxo do abastecimento seja unidirecional, ou seja, ocorra em um único sentido continuamente, não havendo outras entradas de abastecimento para a mesma zona de pressão.

Diante dessa necessidade e para que entre outras questões, se possa possibilitar melhor gerenciamento dos coeficientes hidráulicos, são implementados os distritos de medição e controle (DMC). A Figura 6 apresenta um modelo de válvula de pressão de atuação simples.

Figura 6 – Vista de Uma Válvula Redutora de Pressão Utilizada em SAA



Fonte: Autor, 2022.

3.4.1. Distrito de Medição e Controle (DMC)

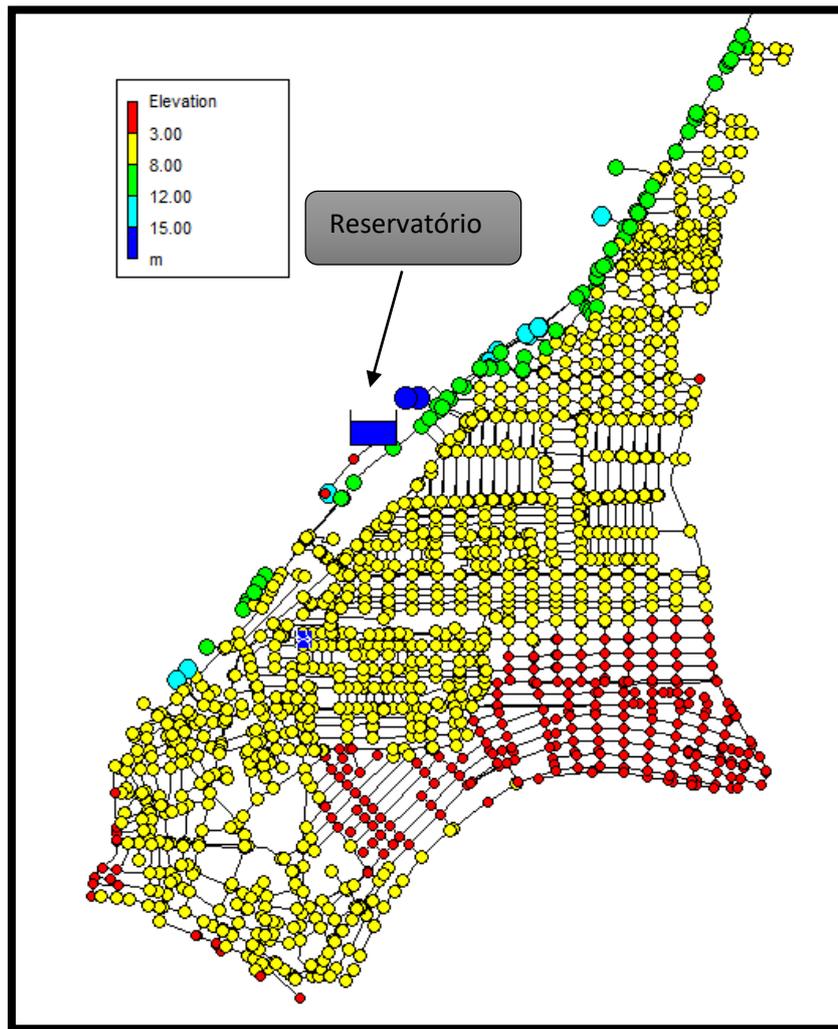
A divisão de um macro sistema de abastecimento em áreas menores, são chamados de DMC's ou Distritos de Medição e Controle. Tal prática é amplamente realizada, pois proporciona uma melhora significativa nas condições de monitoramento e controle de todos os eventos hidráulicos, o que além de garantir maior eficiência na qualidade do abastecimento, também é internacionalmente aceita como uma das melhores práticas para o gerenciamento e redução das perdas de água (FARLEY, 2001).

Isso porque através da implantação dos distritos de medição e controle, é possível estabelecer o gerenciamento das pressões e vazões em áreas de menor abrangência, o que por sua vez facilita de forma considerável a gestão. Normalmente são instalados Macromedidores nas entradas dos DMC's com o objetivo de tornar conhecido o volume de água disponibilizado para o setor, dessa forma se faz possível aplicar a metodologia de gestão por balanço de massa, que consiste em comparar o volume disponibilizado para o setor, com o volume registrado nos hidrômetros instalados nas unidades consumidores, nesse contexto, já desconsiderando o percentual de submedição (CONEJO, LOPES & MARCKA, 1999).

Porém considerando que a implantação dos setores não é uma tarefa fácil, pois a depender das condições dos ativos já implantados pode-se incorrer em custos inicialmente elevados. A implantação do modelo de setorização deve considerar o perfil topográfico da região, o perfil de consumo dos consumidores da área observada, além de sucessivas investigações de campo para levantamento dos coeficientes hidráulicos do setor.

Para definição dos setores de abastecimento se faz necessário a identificação das zonas de influência dos principais ativos que atendem o setor observado (reservatórios, elevatórias, boosters etc.). Uma prática de apoio que norteia as tomadas de decisão é a modelagem hidráulica, cujo objetivo é demonstrar o comportamento do setor avaliado, utilizando software de modelagem hidráulica, onde é possível avaliar o comportamento do setor, simulando as condições de abastecimento através do impute dos dados de campanhas de medição e sondagens realizados em campo. A Figura 7 demonstra o comportamento de um setor de abastecimento, observado a partir da modelagem hidráulica. Pode-se observar pontos de cores diferentes representando a qualidade do abastecimento na região monitorada.

Figura 7 – Modelagem Hidráulica - EPANET



Fonte: Autor, 2022.

3.5 TESTE DE ESTANQUEIDADE EM DISTRITOS DE MEDIÇÃO

Porém, além da implantação dos DMC's, é imprescindível que os limites determinados para área de abrangência dos setores, estejam fielmente operacionalizados conforme concepção cadastral de cada setor, pois caso haja alguma contribuição no abastecimento, todas as interpretações das informações decorrentes do comportamento do abastecimento e de consumo do setor observado poderão estar em desconformidade com o que de fato esteja ocorrendo e portanto incorrendo significativamente em equívocos na interpretação dos dados apurados (MORRISON; TOOMS E ROGERS, 2007).

Para garantir que tais eventos não ocorram, são realizados os testes de estanqueidades, que consiste em verificar se os setores (DMC's) estão de fato estanques, ou seja, se toda a água destinada para o setor determinado, de fato é consumida somente na área observada. O teste

pode ser realizado de duas formas, sendo elas: Teste de Pressão em Carga (TPC) ou Teste de Pressão Zero (TPZ) (Farley, 2001).

3.6 HIDRÔMETROS VELOCIMÉTRICOS.

Medidores cujo princípio de funcionamento está diretamente relacionado com a velocidade do fluido são denominados velocimétricos. A Portaria 246-2000 do Inmetro, define hidrômetros como instrumentos destinados a medir continuamente, memorizar e exibir o volume de água que escoar através do transdutor de medição. Ainda segundo o órgão, os hidrômetros são projetados para garantirem o perfeito funcionamento metrológico, em várias faixas de vazão (Q), a saber:

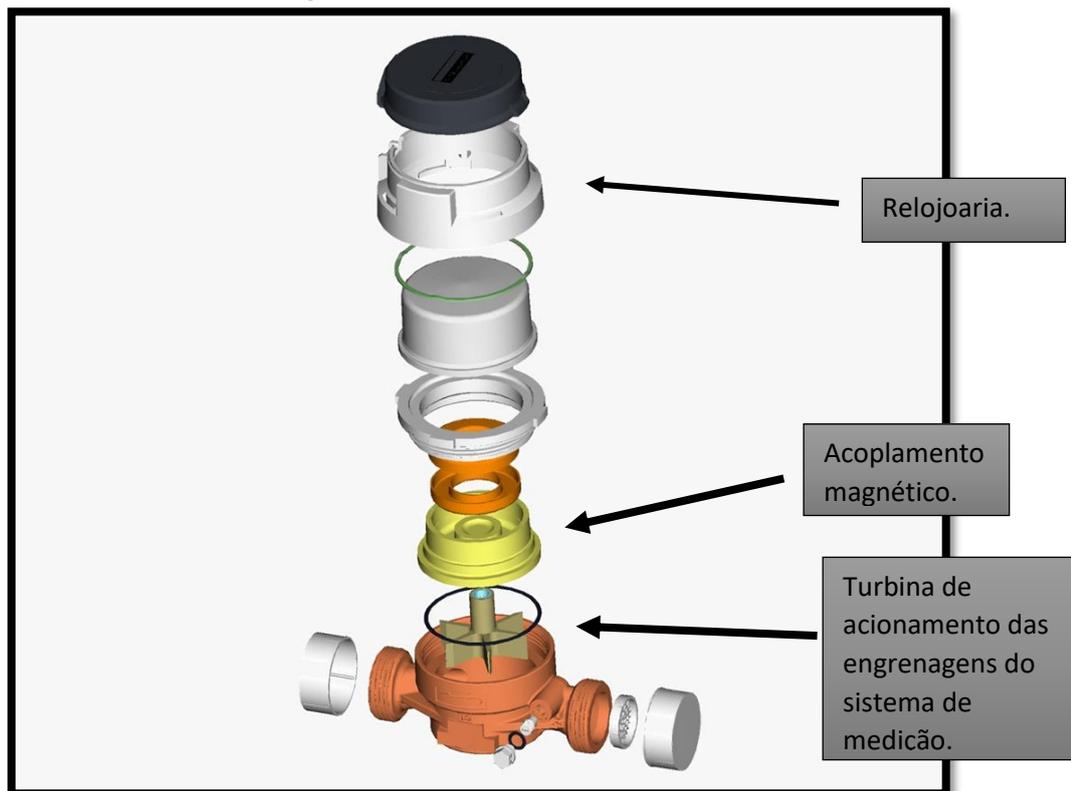
- Vazão (Q): Quociente do volume de água escoado através do hidrômetro pelo tempo do escoamento desde volume, expresso em metros cúbicos por hora (m^3/h).
- Vazão máxima ($Q_{m\acute{a}x}$): Maior vazão, expressa em m^3/h , na qual o hidrômetro é exigido a funcionar por um curto período, dentro dos erros máximos admissíveis, mantendo o desempenho metrológico quando posteriormente for empregado dentro de suas condições de uso.
- Vazão nominal (Q_n): Maior vazão nas condições de utilização, expressa em m^3/h , nas quais o medidor é projetado para funcionar de maneira satisfatória dentro dos erros máximos admissíveis.
- Vazão de transição (Q_t): Vazão, em escoamento uniforme, que define a separação dos campos de medição inferior e superior.
- Vazão mínima ($Q_{m\acute{i}n}$): Menor vazão, na qual o hidrômetro fornece indicações que não possuam erros superiores aos erros máximos admissíveis.
- Início de movimento (Q_i): Vazão a partir da qual o hidrômetro começa a dar indicação de volume, sem submissão aos erros máximos admissíveis.

Existem diversos tipos e tecnologias de hidrometros, sendo os mais utilizados pelas concessionarias os medidores velocimétricos unijatos, onde a turbina é acionada através de um fluxo laminar unidirecional, nesse contexto a velocidade do fluido assume um papel fundamental para o perfeito funcionamento metrológico do medidor, uma vez que a turbina é acionada dentro de uma câmara de medição com folgas consideráveis e a medida que reduz-se a vazão escoada pelo medidor, mais difícil fica para o sistema de medição, detectar o

movimento do fluido escoado, chegando-se a um limite operacional para essa tecnologia de medição.

Ainda de acordo com a portaria 246-2000 do Inmetro, e suas respectivas atualizações, os medidores precisam apresentar um desempenho metrológico aceitável quando submetidos a diferentes vazões de trabalho. Os erros máximos admissíveis, são estabelecidos conforme faixas de vazão, para que os medidores possam ser verificados e terem a eficiência metrológica atestada, garantindo assim a correta medição do volume escoado. Os medidores velocimétricos unijatos, possuem em sua composição diversas partes moveis que acionadas correlaciona-se de forma que a iteração entre as diversas partes das engrenagens que formam o sistema de medição dos hidrômetros, permitam que haja o registro do consumo, sendo estes registrados na relojoaria dos medidores. A Figura 8 demonstra um medidor velocimétrico unijato e suas respectivas engrenagens que compõe o sistema de medição.

Figura 8 – Hidrômetro Velocimétrico



Fonte: Dihel Metering, 2024.

Os medidores são subdivididos em diâmetros e classes metrológicas, que a depender do perfil de consumo de cada cliente, e características do sistema de abastecimento, são selecionados para melhor atender aos critérios de medição. A Tabela 3 apresenta as divisões de classes metrológicas e suas respectivas vazões de trabalho.

Tabela 3. Indicação das vazões de trabalho a partir das Classes Metrológicas dos Hidrômetros Unijatos

CLASSES METROLÓGICAS		VAZÃO NOMINAL Q_n (m ³ /h)									
		0,6	0,75	1,0	1,5	2,5	3,5	5,0	6,0	10,0	15,0
A	Q_{min} (m ³ /h)	0,024	0,030	0,040	0,040	0,100	0,140	0,200	0,240	0,400	0,600
	Q_t (m ³ /h)	0,060	0,075	0,100	0,150	0,250	0,350	0,500	0,600	1,000	1,500
B	Q_{min} (m ³ /h)	0,012	0,015	0,020	0,030	0,050	0,070	0,100	0,120	0,200	0,300
	Q_t (m ³ /h)	0,048	0,060	0,080	0,120	0,200	0,280	0,400	0,480	0,800	1,200
C	Q_{min} (m ³ /h)	0,006	0,0075	0,010	0,015	0,025	0,035	0,050	0,060	0,100	0,150
	Q_t (m ³ /h)	0,009	0,0110	0,015	0,0225	0,0375	0,0525	0,075	0,090	0,150	0,225

Fonte: Portaria Immetro – 155,2022.

De acordo com a portaria 246 de 17 de outubro de 2000, os erros máximos admissíveis para equipamentos novos e usados estão dispostos conforme tabela abaixo, onde “ Q_{min} ” se refere a menor vazão em que o hidrômetro será submetido; “ Q_t ” faz referência a vazão de transição (passagem); e “ Q_n ” sendo a vazão nominal, ou seja, melhor vazão para a performance de trabalho do medidor.

No Brasil, o órgão responsável pela aprovação da fabricação dos modelos de hidrômetros é o IMMETRO, que entre outras atividades, regula não só os critérios de fabricação, como também determina os ensaios necessários para que os medidores em estado novo ou usado, sejam submetidos a fim de determinar a imprecisão metrológica dos equipamentos.

Segundo a portaria do Immetro número 246/2000, os medidores precisam atender minimamente aos erros admissíveis quando submetidos aos ensaios metrológicos realizados em bancada de aferição em laboratório. As Tabelas 4 e 5 demonstram a especificação dos erros admitidos a cada faixa de vazão de medidores novos e usados respectivamente.

Tabela 4. Erros Máximos Admissíveis para Medidores Novos

Vazão de Ensaio	Volume escoado l/h	Erros máximos admissíveis
Q_{min}	15	±5%
Q_t	60	±2%
Q_n	750	±2%

Fonte: IMMETRO - 246,2000.

Tabela 5. Erros Máximos Admissíveis para Medidores Usados

Vazão de Ensaio	Volume escoado l/h	Erros máximos admissíveis
Q _{min}	15	±10%
Q _t	60	±5%
Q _n	750	±5%

Fonte: IMMETRO - 246,2000.

3.7 HIDRÔMETROS VOLUMETRICOS

De acordo com a portaria 436/2011, os medidores de volume de água potável, são instrumentos destinados a medir continuamente, memorizar e exibir o volume de água que escoa através do transdutor de medição. Os hidrometros denominados volumétricos, possuem princípio de funcionamento direto, ou seja, todo o volume escoado é medido através da câmara de medição que continuamente enche e esvazia, acionando o sistema totalizador de medição (NIELSEN, 2003).

Em detrimento da composição mecânica construtiva do equipamento, os medidores não sofrem a influência da variação de velocidade do deslocamento do fluido, dessa forma a eficiência metrológica não é impactada quando o instrumento é submetido a diferentes campos de pressão e velocidade, desde que estejam corretamente dimensionados.

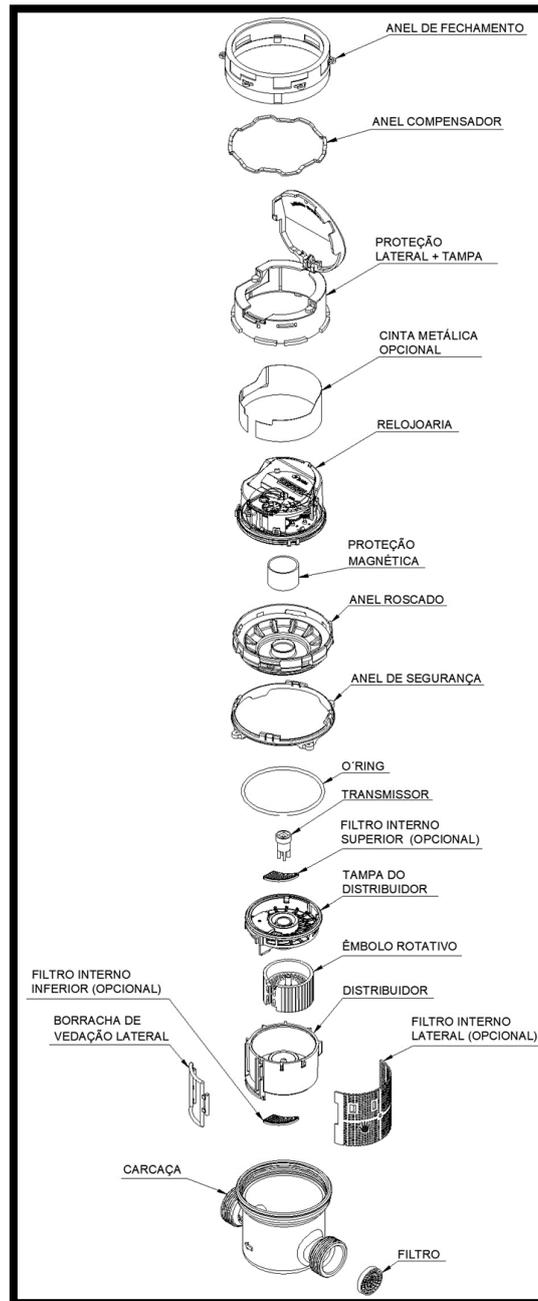
O dispositivo sensor do medidor trabalha diretamente com a medição de volume através de um êmbolo acondicionado em uma câmara de medição, com mínimas folgas entre o dispositivo móvel e as paredes fixas da câmara de medição, de forma que o volume de água que adentra ao interior da câmara de medição necessita obrigatoriamente girar o êmbolo para que seja escoado através da câmara de medição para a outra extremidade do conduto, fato pelo qual essa tecnologia de medição volumétrica são extremamente sensíveis a mínimas velocidades, garantindo a eficiência metrológica.

Com a evolução da indústria de materiais e da própria indústria de hidrômetros, em face dos diversos modelos de operação dos sistemas de distribuição, onde em sua grande maioria são sistemas de abastecimento indireto culminando na ocorrência de intermitências, ou seja, descontinuidade do abastecimento, tendo sido o principal fator da proliferação dos sistemas de reserva domiciliares (caixas de água) , que por sua vez, tem a alimentação controlada por boia de vazão, limitando a vazão de abastecimento.

Observou-se uma significativa lacuna de eficiência metrológica, uma vez que as vazões de transporte do fluido passaram a ser significativamente baixas e dessa forma tornou-se necessária a utilização de medidores com maior sensibilidade a baixas velocidades. De acordo

com a ABNT NBR 16043, o perfil de consumo brasileiro contribui significativamente para a perda metrológica tendo em vista a utilização de medidores velocimétricos que compõe parte significativa do parque de medidores em utilização no Brasil. A Figura 9 apresenta a exposição da composição mecânica do medidor volumétrico.

Figura 9 – Hidrômetro Volumétrico



Fonte: Saga Medições, 2024.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 INFORMAÇÕES TÉCNICAS DOS SETORES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA ESTUDADOS

Foram realizados levantamentos em dois Distrito de Monitoramento e Controle (DMC'S) pertencentes ao mesmo setor de abastecimento. O setor está localizado no nordeste brasileiro e possui 15 distritos de medição e controle, onde ao todo possuem 15 Válvulas Redutoras de Pressão, 15 Macromedidores, 15 Ventosas e cerca de 500 válvulas limítrofes. Para o estudo, foram selecionados dois DMC's, os quais serão denominados de DMC 1 e DMC 2, tendo sido adotado o critério de semelhança entre eles, ou seja, mesma característica populacional, infraestrutura instalada, parque de hidrômetros e regime de abastecimento. No entanto os DMC'S possuem pressões de trabalho significativamente distintas, com uma diferença de operação de 10mca entre eles.

Para o levantamento das informações, foram realizadas visitas na concessionária responsável pelo serviço de abastecimento de água, onde foram disponibilizados os acervos de cadastros técnicos para identificação dos ativos e infraestruturas presentes no setor de abastecimento e nos DMC's observados. Com base nas informações presentes no cadastro técnico, foram realizadas visitas em campo para atestar as informações cadastrais. Desta forma as visitas aconteceram nas seguintes infraestruturas: Reservatório responsável pelo abastecimento dos DMC'S, Macromedidores implantados na entrada dos DMC'S, Ventosas e Válvulas Redutoras de Pressão existentes nos DMC'S.

Os principais documentos obtidos junto a concessionária foram:

- Plano Diretor de Abastecimento de Água;
- Cadastro Técnico das Redes de Distribuição;
- Base de Cadastro Comercial;
- Histórico de consumo comercial; e
- Mapa de Setorização do Setor estudado.

Todos os documentos obtidos foram disponibilizados no formato digital, sendo assim, possível manusear estes em ambiente externo a concessionária.

Após análise do material que foi fornecido em formato digital, foram realizadas visitas assistidas, ou seja, com o acompanhamento de funcionários da concessionária, para confirmação das informações contidas nos documentos fornecidos. Para os ativos do sistema, foram visitados todos os pontos indicados no cadastro técnico para verificação da existência e condições de operação (ativo e inativo). Para os dados comerciais, por se tratar de muitas ligações, foram realizadas visitas amostrais para verificar o perfil das edificações e demais características dos bairros estudados.

4.2 CARACTERÍSTICA DO DMC 1

Para levantamento das informações do setor, foram visitados os acervos técnicos cadastrais da concessionária, a fim de se conhecer os ativos do sistema. Foram realizadas visitas assistidas, para confirmação das informações do cadastro técnico, assim como investigações para definição dos pontos a serem monitorados com os objetivos de melhor conhecer as características de abastecimento do setor, bem como a influência de potenciais grandes consumidores sob o comportamento hidráulico dinâmico do abastecimento. A partir dos dados cadastrais, foram definidos 3 pontos para campanha de medição de pressão, sendo a seleção baseada nos seguintes critérios:

- Ponto crítico de maior pressão (menor cota);
- Ponto crítico de menor pressão (maior cota ou mais distante);
- Ponto médio.

Para apuração da pressão média de trabalho do DMC, foram instalados loggers de pressão para monitoramento por sete dias com intervalos de aquisição de dados a cada 10 (dez) minutos durante 24(vinte e quatro) horas por dia em três pontos específicos do setor, sendo estes na entrada do setor (imediatamente após a VRP), no meio do setor e outro ponto mais a extremidade. Foram realizadas medições simultâneas entre os pontos de mesma área de interferência e isolamento, assim como a verificação da pressão instantânea com medidores mecânicos antes do início da campanha de medição.

O objetivo foi o de identificar se dentro do setor observado há diferenças significativas nas pressões de abastecimento. A Figura 11 demonstra os pontos de referência dentro do setor para definição das áreas de tomada de pressão a partir dos pontos de máximo, médio e mínimo.

4.4 PRESSÃO MÉDIA DE ABASTECIMENTO DO DMC 1

Para apuração da pressão média de trabalho do DMC, foram instalados loggers de pressão para monitoramento por sete dias em pontos específicos do setor, sendo estes na entrada do setor, imediatamente após a VRP, no meio do setor e outro ponto mais a extremidade. Também foram utilizados manômetros de pressão para tomadas de pressão estática.

4.5 PERDAS NO SETOR – FATOR DE PESQUISA

Para o DMC 1, o fator de pesquisa foi calculado a partir da vazão média diária do macromedidor durante o período de 24 horas consecutivas e a vazão mínima noturna considerando a hora da madrugada com menor valor. Para o conhecimento do fator de pesquisa, foi utilizada a equação:

$$FP = \frac{Q_{min}}{Q_{med}}$$

Onde:

FP – Fator de Pesquisa

Q_{min} – Vazão mínima noturna

Q_{med} – Vazão média diária

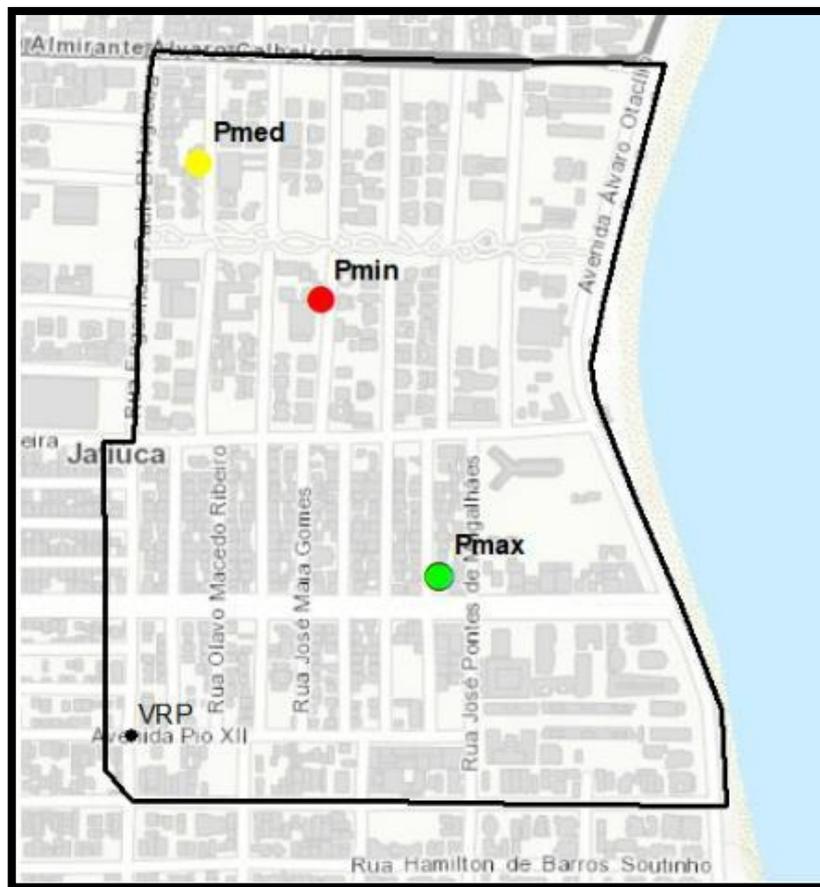
O setor ainda não possui balanço de massa para estratificação das perdas reais e comerciais, mas foi possível determinar a perda total do setor, considerando todo o volume disponibilizado para setor, sendo este registrado no macromedidor em um período de 30 dias e o consumo registrado pelas ligações comerciais no mesmo período.

5 CARACTERÍSTICAS DO DMC 2

Para levantamento das informações do setor, foram utilizados os documentos fornecidos pela concessionária conforme metodologia utilizada no DMC 1.

Para apuração da pressão média de trabalho do DMC, foram instalados loggers de pressão utilizando a mesma metodologia aplicada do DMC 1. A Figura 12 apresenta os pontos de tomada de pressão nos locais selecionados.

Figura 12 – Localização dos Pontos da Campanha de Medição de Pressão no DMC 2



Fonte: Autor, 2023.

Também foram utilizados manômetro de pressão para tomadas de pressão estáticas em 69 pontos dentro do DMC.

Foram estratificação das ligações por tipo e categoria, onde foi utilizada a base cadastral disponibilizada pela área comercial da concessionária. Após análise, foi necessário realizar a higienização das bases, pois foram identificadas inconsistências que apontaram a existência de ligações em duplicidades, tendo sido desconsideradas do DMC.

5.1 CONSUMO MÉDIO DAS LIGAÇÕES RESIDENCIAIS DO DMC 2

Para o levantamento do consumo médio das ligações residências do DMC 2, foram acessados os sistemas comerciais da concessionária, onde foi possível extrair os relatórios de leitura e consumo de cada ligação residencial que compõe o DMC 2 e aplicada a mesma metodologia que foi utilizada para levantamento do consumo das ligações do DMC1.

5.2 PRESSÃO MÉDIA DO ABASTECIMENTO DO DMC 2

Seguindo a mesma metodologia aplicada no DMC 1, o levantamento das pressões médias do DMC 2 foi realizado a partir das tomadas de pressão utilizando loggers instalados por sete dias e campanhas de medição com a utilização de manômetros (dispositivos manuais utilizados para realização de tomada de pressão instantânea).

5.3 PERDAS NO SETOR DMC 2 – FATOR DE PESQUISA

Para o DMC 2, o fator de pesquisa foi calculado a partir da vazão média diária do macromedidor durante o período de 24 horas consecutivas e a vazão mínima noturna considerando a hora da madrugada com menor valor. Para o conhecimento do fator de pesquisa, foi utilizada a equação: $FP = Q_{min} \div Q_{med}$, onde:

FP = Fator de Pesquisa

Q_{min} = Vazão Mínima

Q_{med} = Vazão média

6 IDADE MÉDIA DO PARQUE DE HIDRÔMETROS E ÍNDICE DE SUBMEDIÇÃO DOS DMC'S

Para determinação da idade média do parque de hidrômetros do DMC 1, foram utilizados dados da base de cadastro comercial, onde foram selecionados os hidrômetros por tipo e ano de fabricação. No chassi de cada hidrômetro estão gravadas as informações do medidor, onde os dois primeiros números após a primeira letra, indicam o ano de fabricação, ex: Y24xxx, sendo 24 o ano de fabricação do medidor. Após o conhecimento do ano de fabricação de cada hidrômetro, foi deduzido o ano de fabricação dos hidrômetros do ano atual

(ano de realização do estudo). Feito isso, foi aplicada a média aritmética ponderada, ou seja, considera-se o percentual de cada idade acumulada em relação ao total e após foi calculada a média entre eles, determinando a idade média do parque de hidrômetros de cada DMC.

Outro fator de extrema importância foi o de conhecer a submedição metrológica do parque de hidrômetros observados. Para isso foi utilizado o método de aferição, conforme preconiza a portaria 246.2000 do Immetro. A concessionária local possui um estudo realizado com cerca de vinte mil amostras, onde após classificadas e separadas por intervalos de leituras registradas, foram submetidos aos testes da portaria, para constatação da submedição por faixa de consumo acumulado em cada medidor. Foi aplicada a média ponderada pelo percentual da quantidade de submedição de cada faixa em relação ao total, dessa forma tornou-se conhecida a submedição do parque de hidrômetros.

6.1 REALIZAÇÃO DO TESTE DE ESTANQUEIDADE NOS DMC'S OBSERVADOS

Nos dois DMC'S, os testes foram realizados comparando as cotas piezométricas de dois pontos, sendo um dentro do setor observado e outro externo as delimitações do setor. O procedimento consistiu na identificação das válvulas de bloqueio, conforme planta de situação hidráulica do local, verificando os lotes que estão dentro e fora do limite dos setores propostos.

Uma vez localizadas as válvulas de bloqueio, foram identificados cavaletes internos aos setores (dentro do setor), onde foram registradas a medição de pressão manométrica em pontos que possuíam abastecimento direto da rede de distribuição, com auxílio de um manômetro (instrumento para medição de pressão). As pressões foram aferidas no cavalete, com o abastecimento direto da rede, sem influência de caixa d'água.

Antes de realizar a leitura manométrica, as torneiras foram abertas para expurgar qualquer acúmulo de ar que poderia estar presente nas tubulações.

Após o procedimento, o manômetro foi encaixado na torneira de forma que não ocorresse vazamento durante a leitura e por consequência houvesse perda de pressão. Na sequência foram registradas as leituras do manômetro e o valor da cota altimétrica. O mesmo procedimento foi realizado fora do setor delimitado, onde após a realização, foi feita a comparação piezométrica entre os pontos.

O objetivo foi verificar se existia diferença significativa entre as cotas piezométricas e assim considerar a estanqueidade do setor observado. Os testes podem ser realizados de duas formas: Teste de Pressão em Carga e Teste de Pressão Zero, sendo estes descritos na sequência.

Teste de pressão em carga (TPC)

O TPC, consiste na execução dos testes com o DMC em abastecimento, variando o formado de operação do setor.

Para avaliação correta do resultado das medições fez-se as seguintes considerações:

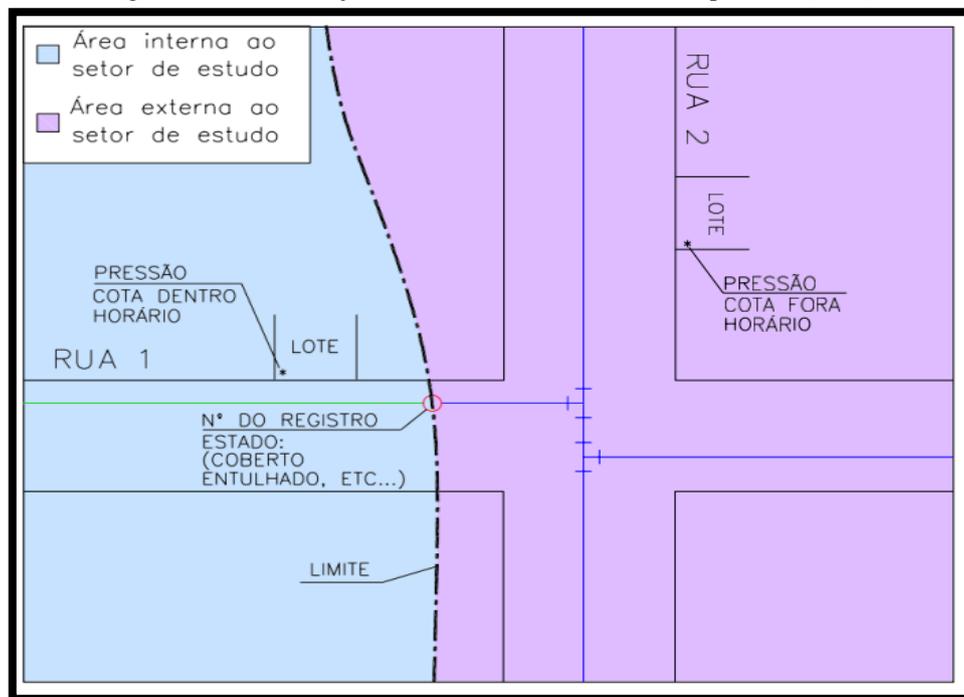
Em caso de medições efetuadas onde existiam redes duplas na planta cadastral, certificou-se de que ambas as redes eram abastecidas pelo mesmo setor e, preferencialmente, as medições foram efetuadas em cavaletes abastecidos pela mesma rede (mesmo lado da rua);

Durante a medição de pressão certificou-se de que não estava havendo consumo pelo usuário, pois dependendo do consumo a pressão sofreria queda brusca podendo ocorrer em erros de interpretação.

Como foram utilizados mais de um manômetro durante o teste, os mesmos foram aferidos e comparados entre si antes da realização das medições. Também foram verificados os registros com a utilização de haste de escuta, identificando possível passagem de água por eles.

A Figura 13 apresenta um esquemático dos dados necessários para a realização do teste de estanqueidade.

Figura 13 – Confirmação dos Limites do Teste de Estanqueidade (TPC)



Fonte: Autor, 2023.

Teste de Pressão Zero (TPZ)

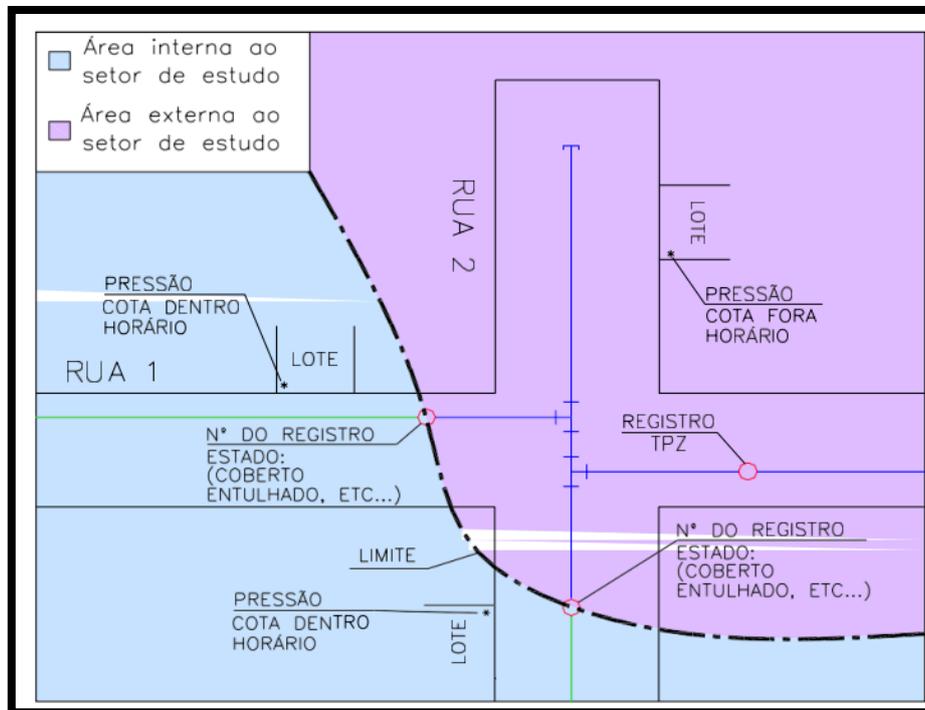
O TPZ consiste na realização dos testes com o setor desabastecido. Nesse contexto com base no acervo do cadastro técnico, o teste foi realizado a partir do fechamento de registros limítrofes específicos, o que propositalmente comprometeram o abastecimento.

O teste foi realizado próximo ao horário de maior consumo, pois possibilitou a identificação do desabastecimento nos pontos mais elevados dentro da área observada com maior rapidez. Pois caso o limite cadastral estivesse equivocado, não seriam observadas quedas bruscas de pressão ou mesmo falta de abastecimento.

Após o fechamento dos registros, foram executados todos os procedimentos do teste de pressão em carga (TPC). O Diferencial desse formato de teste é que a falta d'água evidenciou a conclusão dos resultados.

Na Figura 14 é exemplificado o formato de execução do teste, onde fechando três registros conforme ilustração, a falta de abastecimento é gerada no trecho compreendido entre eles. Caso não ocorresse o desabastecimento, o setor seria considerado como não estanque.

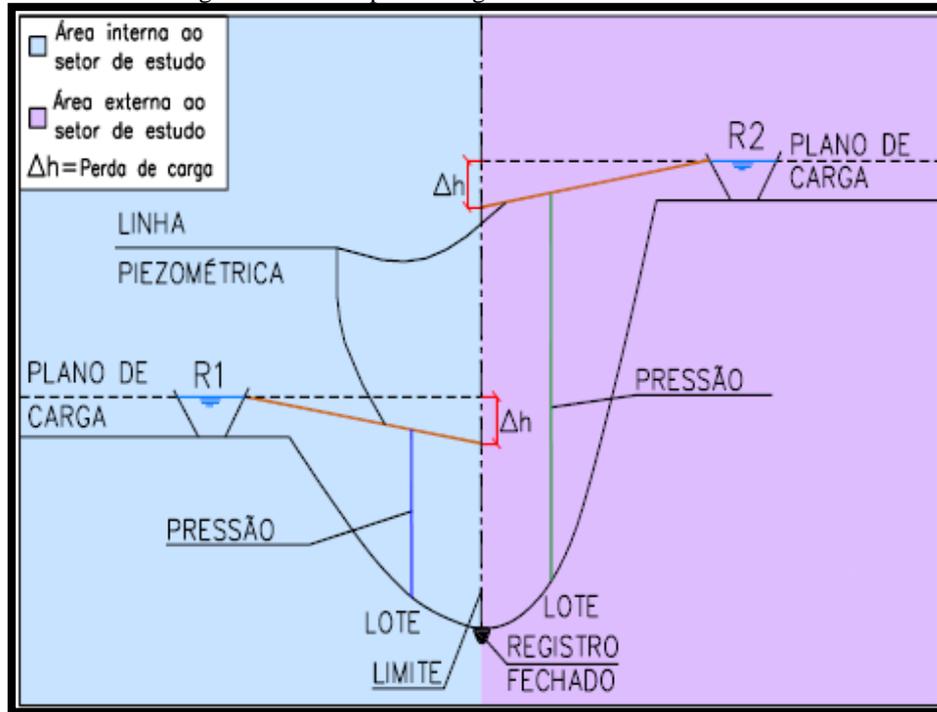
Figura 14 – Confirmação dos Limites através do Teste de Estanqueidade (TPZ)



Fonte: Autor, 2023.

As Figuras 15 e 16 são esquemático representativos do teste de estanqueidade e análises sobre os possíveis resultados medidas em campo.

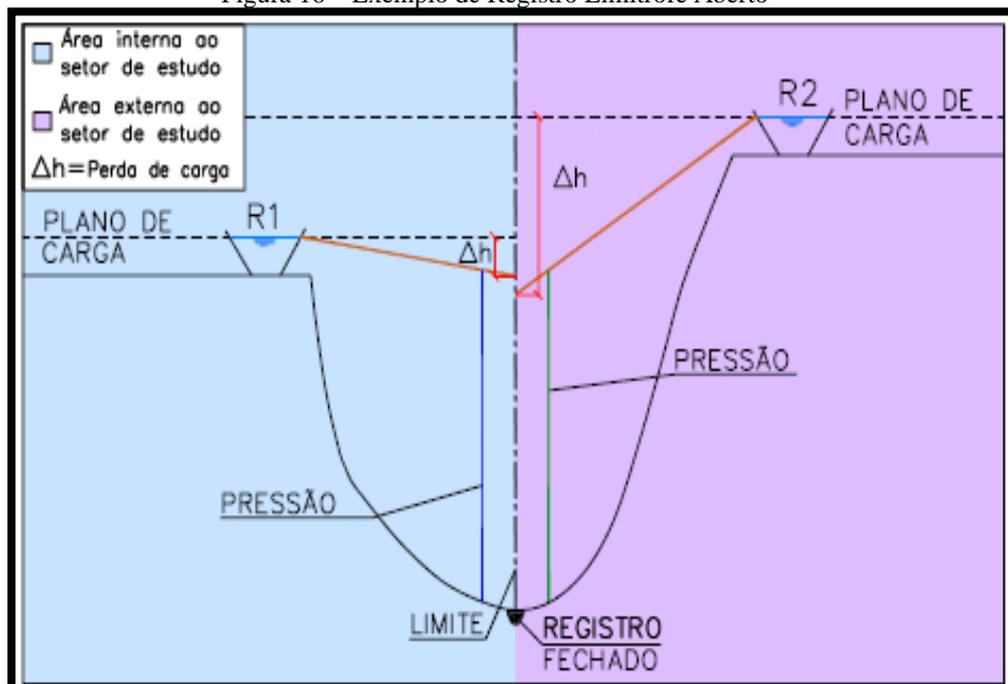
Figura 15 – Exemplo de Registro Limítrofe Fechado



Fonte: Autor, 2023.

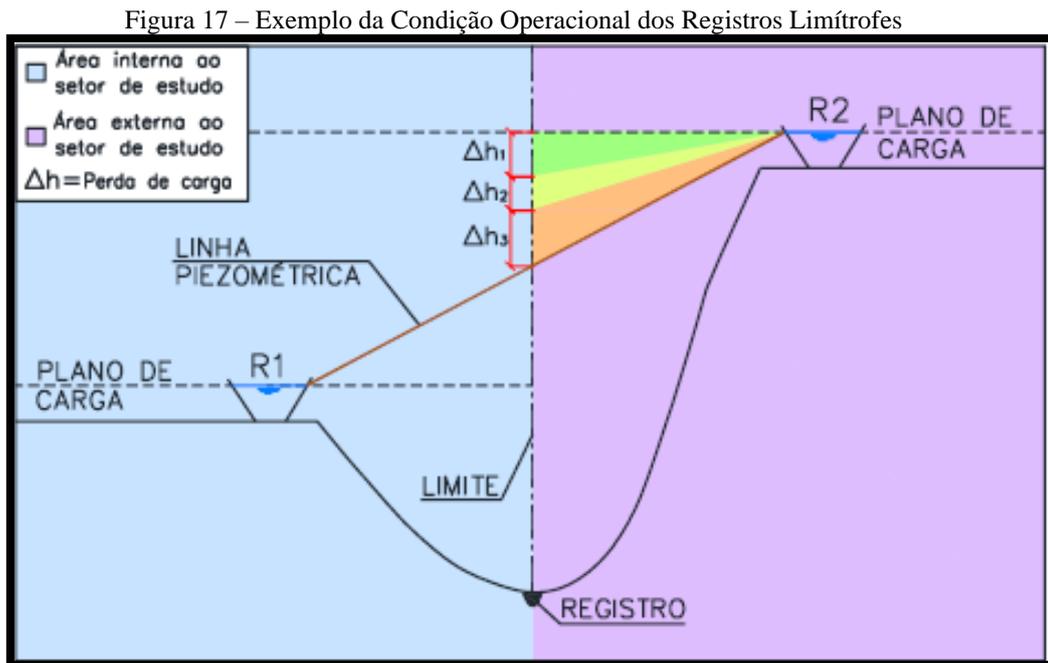
Quando o registro verificado se encontra fechado, existe apenas fluxo de R2 e R1 para as redes de distribuição dos seus respectivos setores.

Figura 16 – Exemplo de Registro Limítrofe Aberto



Fonte: Autor, 2023.

Quando o registro verificado se encontra aberto, a tendência do fluxo é de R2 para as redes de distribuição e de R2 para R1, como a distância entre os lotes limítrofes medidos é pequena, a diferença piezométrica observada é desprezível ou nula. A Figura 17 apresenta o esquemático mencionado.



Fonte: Autor, 2023.

Δh_1 - Perda de carga considerando registro completamente fechado.

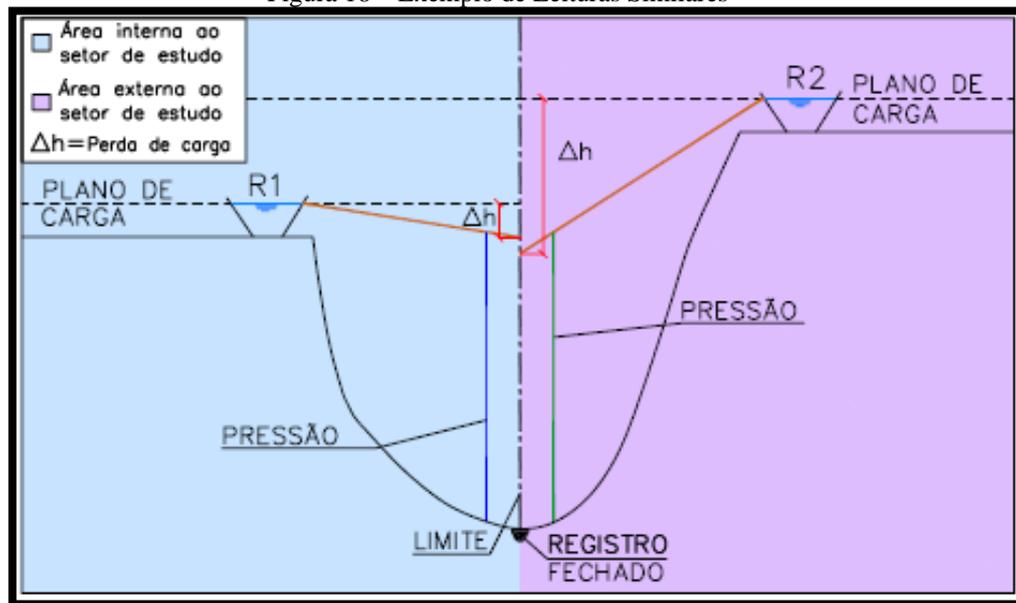
Δh_2 - Perda de carga adicional considerando registro parcialmente fechado.

Δh_3 - Perda de carga adicional considerando registro completamente aberto.

Na prática nem sempre é fácil medir a sensibilidade entre um registro parcialmente fechado e um registro completamente fechado, por isso para reduzir as dúvidas e validar o teste, os registros também foram verificados com a haste de escuta.

Através da haste e das leituras piezométricas medidas em campo a condição de manobra foi validada (aberto, fechado). Na Figura 18 pode ser observado um exemplo da realização das leituras realizadas em um DMC.

Figura 18 – Exemplo de Leituras Similares



Fonte: Autor, 2023.

Na Figura 18 o registro está fechado, mas a perda de carga é alta, assim as leituras piezométricas aproximam-se e a haste de escuta se faz necessária para validar o teste.

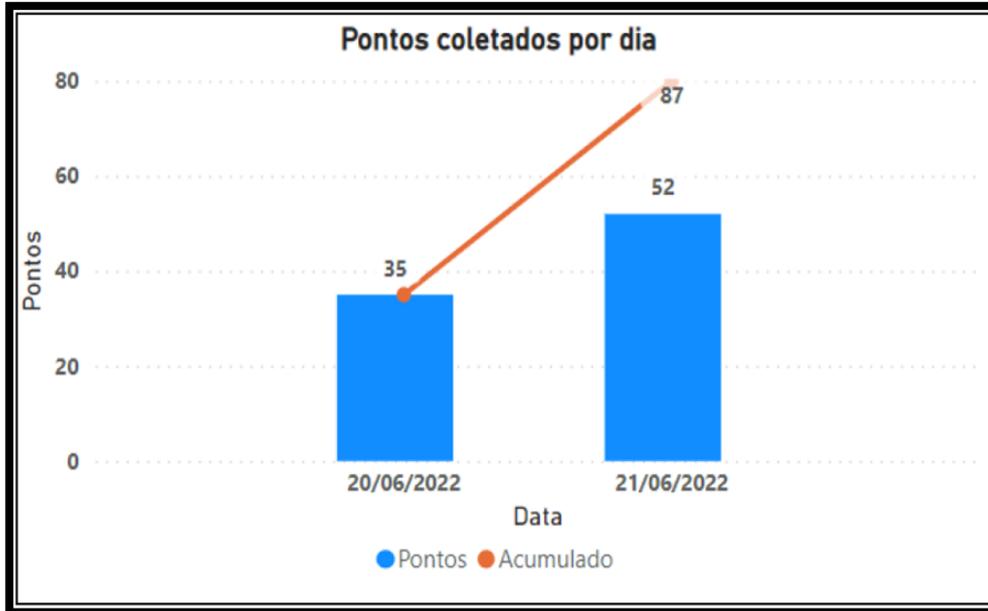
6.1.2 Características do Teste

O teste de estanqueidade foi realizado com duração de 3 a 4 horas, desconsiderando o tempo de descarga e retomada do sistema. Foi utilizado haste de escuta para identificação de possíveis passagens de água nos registros de separação de setores, bem como utilizado manômetro para monitoramento das pressões. Durante a realização dos testes, sempre foram utilizadas chaves de manobra para verificação dos registros (fechado ou aberto) existentes nos limites dos DMC's.

6.2 REALIZAÇÃO DO TESTE DE ESTANQUEIDADE DO DMC 1

O teste de estanqueidade foi realizado para determinação do limite do DMC 1, que faz fronteira ao sul com outros setores, onde foram realizadas 87 tomadas de pressão com o auxílio do manômetro nos dias 20 e 21 de junho de 2022. O objetivo foi verificar a estanqueidade do setor, ou seja, se de fato as áreas limítrofes do setor correspondiam em campo com o que consta nos cadastros técnicos. A Figura 19 evidencia a quantidade de pontos realizados em cada dia.

Figura 19 – Coleta de Dados (pontos de tomada de pressão com manômetro) em Campo DMC 1



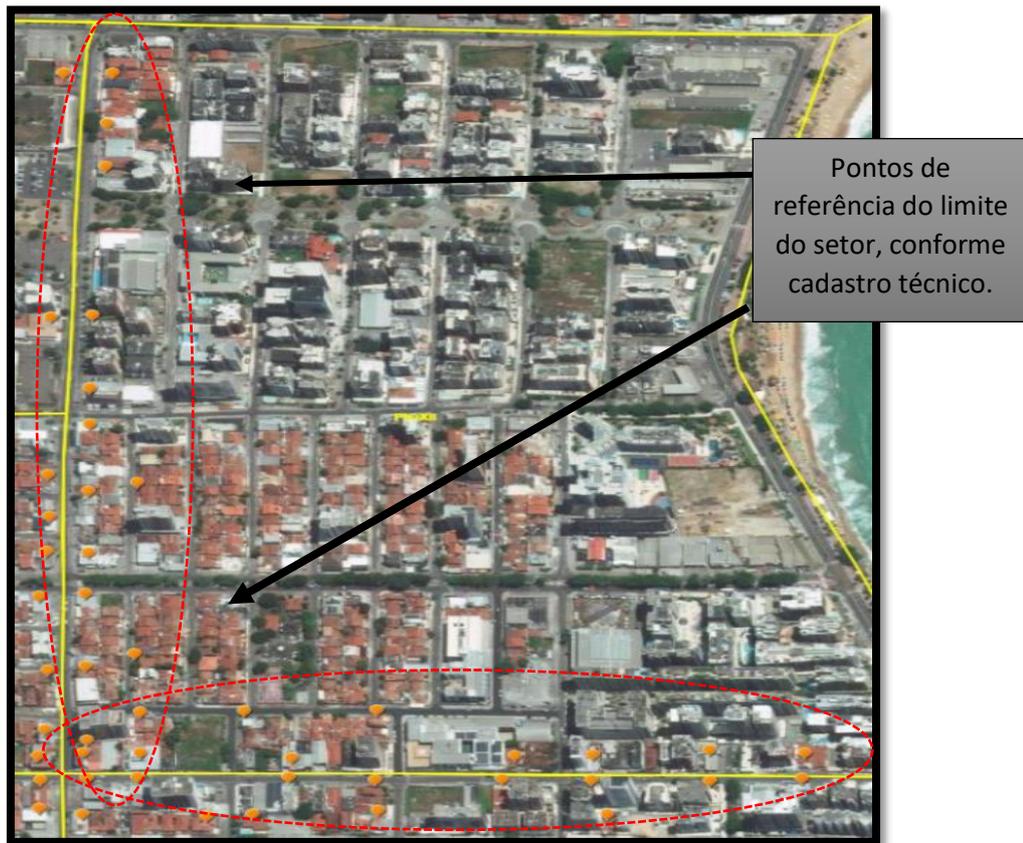
Fonte: Autor, 2023.

Dessa forma foi possível avaliar entre outras coisas, o comportamento do consumo das ligações, bem como o controle operacional das pressões de trabalho do setor.

Antes da realização dos testes, selecionou-se os pontos de medição no mapa, levando em consideração os pontos dentro e fora do setor. Os postos foram expressos na Figura 18. A ação teve por objetivo evidenciar os pontos que serviram como referência para avaliações da variação de pressão durante a execução do teste.

A Figura 20 demonstra o limite proposto para o setor, bem como os pontos de referência dentro e fora do setor para avaliação do comportamento das pressões de acordo com o andamento dos testes.

Figura 20 – Pontos Seleccionados para Verificação dos Limites do DMC 1



Fonte: Autor, 2023.

Após a seleção dos pontos de medição, foram aferidas as pressões in loco com o auxílio de manômetro, estando a VRP em operação normal. O objetivo do procedimento, foi o de conhecer a pressão real de trabalho na região observada. Em um segundo momento (no dia seguinte) no mesmo horário, foram realizadas novas tomadas de pressão, só que nesse momento, com o abastecimento reduzido e conseqüentemente a redução das pressões na mesma região.

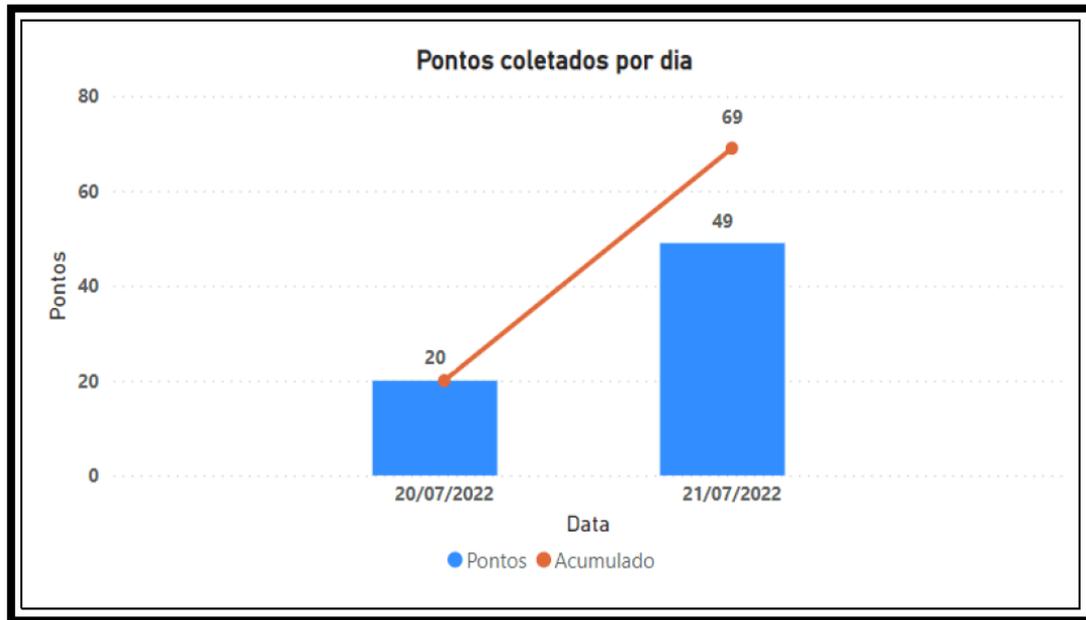
Como complemento e no intuito de confirmar a estanqueidade do setor, foi realizado o fechamento da VRP, causando momentâneo desabastecimento e novamente foram coletadas as pressões nos mesmos pontos observados nos dois procedimentos anteriores.

6.3 REALIZAÇÃO DO TESTE DE ESTANQUEIDADE DO DMC 2

O teste de estanqueidade foi realizado para determinação do limite do DMC 2, que faz fronteira com outros distritos de medição e controle. Para a execução do teste, foram realizadas 69 tomadas de pressão em pontos no interior do setor, com o auxílio do manômetro. As tomadas

de pressão foram realizadas nos dias 20 e 21 de julho de 2022, tendo sido coletados 20 e 49 pontos respectivamente. A Figura 21 evidencia a quantidade de pontos coletados em cada dia.

Figura 21 – Coleta de Dados (pontos de tomada de pressão com manômetro) em Campo DMC 2



Fonte: Autor, 2022.

Antes da realização dos testes, foram selecionados pontos fora e dentro do setor para avaliação do comportamento de acordo com o andamento dos testes. Os pontos determinados para a avaliação estão em laranja, expressos na Figura 22.

Figura 22 – Pontos Selecionados para Verificação dos Limites do DMC 2



Fonte: Autor, 2023.

Após a seleção dos pontos de medição, foram aferidas as pressões in loco com o auxílio de manômetro, estando a VRP em operação normal. O objetivo do procedimento, foi o de conhecer a pressão real de trabalho na região observada. No dia seguinte no mesmo horário, foram realizadas novas tomadas de pressão, só que nesse momento, com o abastecimento reduzido e conseqüentemente a redução das pressões na mesma região.

Como complemento e no intuito de confirmar a estanqueidade do setor, foi realizado o fechamento da VRP, causando momentâneo desabastecimento e novamente foram coletadas as pressões nos mesmos pontos observados nos dois procedimentos anteriores.

Após a realização do procedimento, a VRP do Setor A foi fechada, onde foram coletados os dados de pressão nos mesmos pontos. O teste teve o objetivo de verificar, a ocorrência de perda significativa da pressão nos mesmos pontos analisados no momento anterior (com a VRP em operação normal).

Após o tratamento da base de ligações, foram consideradas 82 amostras de ligações com consumo entre 6m³ a 40m³ registrado por mês em ambos os setores. Os consumos foram obtidos da base de faturamento dos clientes da concessionária local, após tratativas da crítica de faturamento, extinguindo possibilidade de desvios que pudessem corromper a amostra, pois as leituras mensais são coletadas por agentes comerciais (Leituristas), que visitam mensalmente os imóveis para coleta dos dados em cada ligação, o que por vezes pode incorrer em erros humanos no momento da coleta dos dados.

O sistema comercial possui críticas sistêmicas que identificam automaticamente desvios no comportamento de consumo dos clientes, levando em consideração o histórico de consumo das ligações. Caso seja identificada alguma intercorrência, o agente comercial é direcionado novamente ao imóvel para nova coleta da leitura, devendo nesse momento evidenciar o registro do consumo através de fotografia.

7.1 LEVANTAMENTO DOS VALORES FATURADOS DAS LIGAÇÕES AMOSTRAIS DURANTE O PERÍODO DE SEIS MESES

Foi realizado o levantamento dos valores faturados para cada grupo de ligações definidos como amostras, contidas nos DMC's 1 e 2. Considerando seus respectivos consumos apurados entre os meses de julho a dezembro de 2023, onde os dados foram extraídos através do histórico de consumo comercial disponibilizados pela concessionária que opera o serviço de abastecimento de água na cidade. Os valores de faturamento de cada uma das ligações selecionadas nos setores para o estudo, foram definidos considerando a estrutura tarifária vigente no município em estudo.

De acordo com a estrutura tarifária, o valor do metro cúbico poderá sofrer variação a depender da faixa de consumo de cada unidade e da categoria em que esteja enquadrado o imóvel. Nesse contexto, foram consideradas as mesmas ligações residências contendo apenas uma economia e consumo entre 6m³ a 40m³ por mês, que foram utilizadas para o estudo de monitoramento do comportamento da pressão.

7.2 MONITORIAMENTO DO COMPORTAMENTO DA PRESSÃO DOS SETORES EM ESTUDOS PELO PERÍODO DE SEIS MESES

O monitoramento da pressão, consiste no acompanhamento sistemático do comportamento da pressão nos pontos a jusante da VRP, ponto crítico máximo do DMC, ponto crítico mínimo e ponto crítico médio, sendo realizada diretamente na rede de água e no cavalete das ligações selecionadas em cada ponto do DMC. A medição de vazão e pressão foi realizada diretamente na rede de água no mesmo ponto de instalação da VRP, para a medição foi instalada uma maleta de pitometria na VRP da rede de abastecimento do DMC.

Para as medições de pressão, foram selecionadas ligações em pontos específicos citados (ponto mínimo, médio e máximo) do DMC, onde foram instalados dataloggers diretamente nas residências. As instalações foram realizadas em torneiras que estão ligadas ao ramal de abastecimento, ou seja, diretamente da rua, no interior dos imóveis para manutenção e guarda dos equipamentos. As campanhas de medição foram realizadas em um período de sete dias ininterruptos, durante os seis meses de monitoramento para o estudo.

7.3 REALIZAÇÃO DOS TESTES EM AMBIENTE DE LABORATÓRIO PARA VERIFICAR A INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NO COMPORTAMENTO METROLÓGICOS DOS HIDRÔMETROS

Em laboratório de hidrometria devidamente certificado pelo Immetro, foram selecionadas três (03) amostras para realização de testes de aferição considerando diferentes pressões de trabalho, alternando em intervalo de cinco em cinco MCA, iniciando com 5 mca até 20 mca. Os testes foram realizados considerando a norma n° NIE-DIMEL-017 aprovada em 2017 pelo Inmetro.

Os hidrometros foram instalados na bancada de aferição, onde foram tomadas as leituras iniciais de acordo com o registro do consumo de cada medidor, após a tomada da leitura inicial, os rotâmetros (dispositivos para medir vazão de líquidos em uma tubulação), foram regulados para vazão mínima do medidor (15 l/h) com a pressão de trabalho regulada em 5 MCA, após o escoamento de 100 litros medidos em recipientes devidamente calibrados, foram tomadas novamente as leituras para comparação dos volumes registrados nos medidores e através da equação:

$L_f - L_i = Vol\ Escoado$, onde:

LF = Leitura Final

LI = Leitura Inicial

Foram realizadas as comparações entre o volume escoado na bancada e o volume registrado nos hidrômetros, onde a partir das diferenças foram determinados os respectivos desvios. O mesmo teste foi realizado nas faixas de vazão de 60 l/h, 750 l/h e 1,5 m³/h, sendo as vazões mínima, transição, nominal e máxima respectivamente, alterando as pressões de trabalho até 20 mca.

Após a execução dos testes realizados nas amostras, foi possível verificar o comportamento metrológico dos hidrômetros, quando submetidos a diferentes condições de pressão e velocidade, e assim estabelecer a existência da relação da pressão na acurácia dos medidores no registro do consumo das ligações.

7.4 AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO DA PRESSÃO COM APROVEITAMENTO METROLÓGICO NAS LIGAÇÕES AMOSTRAIS DOS SETORES ESTUDADOS

Após a realização dos testes em laboratório e uma vez comprovada a relação da variação da pressão com a eficiência metrológica dos hidrômetros, em ambiente de laboratório, foram utilizadas as mesmas 82 amostras selecionadas para o acompanhamento do consumo das ligações de cada um dos DMC's estudados, a fim de verificar a eficiência dos hidrômetros dessas ligações quando submetidos a diferentes pressões de trabalho, uma vez que os DMC's possuem diferenças significativas nas pressões de trabalho.

As ligações foram selecionadas pelas categorias (residências), quantidade de economias (1), foram analisadas as idades metrológicas e curva de submedição dos hidrometros utilizando o método apresentado no item 4.4 (monitoramento do consumo das ligações). Para essa fase do estudo, foram consideradas as ligações com consumo medido maior ou igual a 6m³/mês e menor ou igual a 40m³/mês, dessa forma desconsiderando consumos fora do perfil da área de estudo, uma vez que fatores externos como outliers poderiam influenciar, tendo em vista a utilização do consumo médio das ligações.

Para espacialização das ligações foi utilizada a ferramenta de geoprocessamento através do software Qgis, onde foi possível observar a localização das ligações, garantindo que as ligações avaliadas e comparadas na amostra, de fato estejam dentro dos setores observados, ou

seja, estejam submetidas as diferentes pressões de trabalho conforme localização em cada DMC. Com a espacialização também foi possível observar a pulverização das ligações dentro dos DMC's, desta forma garantindo que a avaliação possa ser entendida como o comportamento das ligações de todo o DMC observado. Neste caso o DMC 1 e 2.

Após selecionadas, foram observados os respectivos consumos no período de seis meses (junho a dez/2022) e aplicadas as médias aritméticas dos consumos das ligações mês a mês e observada a diferença de consumo médio registrado pelas ligações entre os DMC'S.

7.5 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA ESTATÍSTICA NO SOFTWARE EXCEL DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R^2) ENTRE AS VARIÁVEIS PRESSÃO E CONSUMO DAS LIGAÇÕES OBSERVADAS.

Para determinação do coeficiente de correlação entre a pressão disponível e o comportamento do consumo registrado pelas ligações dos DMC's, foram selecionadas aleatoriamente 120 amostras do universo de ligações contidas nos DMC's 1 e 2, e registrados os consumos médios apurados considerando a série histórica de seis meses e as respectivas pressões de trabalho dos DMC's observados.

Após o levantamento dos dados de pressão e consumo, foram imputadas no software Excel, e através da ferramenta de análise de dados disponível do software, foi estabelecido o coeficiente da correlação entre as duas variáveis observadas. A aplicação da análise estatística de correlação entre as variáveis, teve por objetivo verificar o grau de correlação (medido em percentual) entre o comportamento do consumo das ligações, considerando a pressão disponível em cada DMC. Dessa forma foi possível determinar o grau de influência da pressão de trabalho no consumo registrado nas ligações observadas.

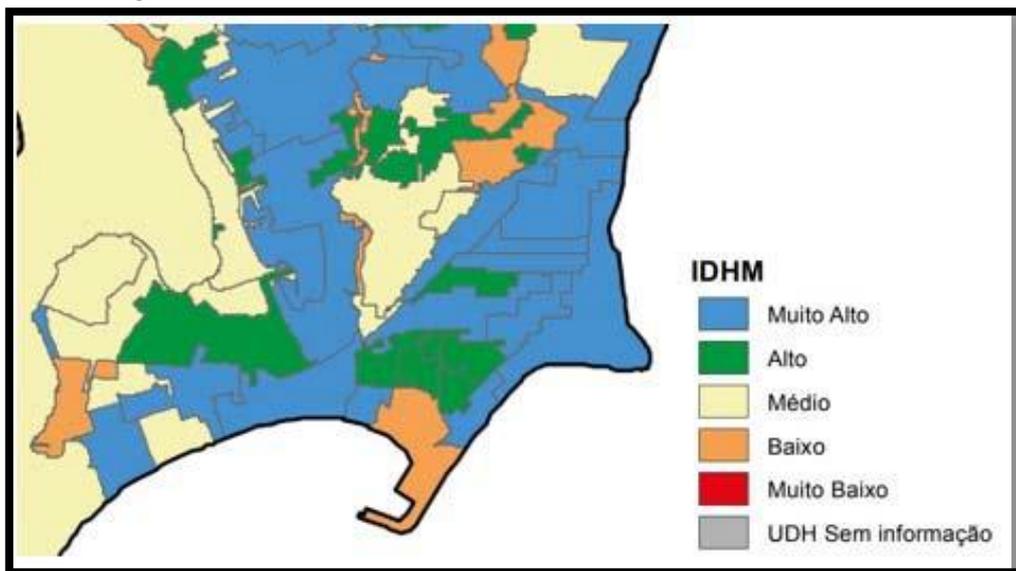
8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 INFORMAÇÕES TÉCNICAS DOS DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE ESTUDADOS

IDH DO SETOR DE ABASTECIMENTO

Com base nos dados disponibilizados no Plano Diretor de água e esgoto, tendo como referência o ano de 2019, o setor de abastecimento é composto por oito bairros da região litorânea da cidade, possuindo aproximadamente 24.603 domicílios. Na Figura 24 pode-se observar a classificação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do setor analisado, onde grande parte do setor possui IDH considerado muito alto.

Figura 24 – Índice de Desenvolvimento Humano do Setor de Abastecimento



Fonte: PDAE SAA – RMM, 2021.

Segundo dados populacionais extraídos do Plano Diretor de Abastecimento – PDA realizado no ano de 2021, o setor de abastecimento atende aproximadamente 101.782 habitantes da região. A tabela 4 apresenta os dados populacionais com início no ano de 2021 e crescimento projetado em um período de cinco em cinco anos, até o ano de 2055, onde estima-se que a população atendida pelo setor será de 110.217 habitantes. A Tabela 6 demonstra a projeção de crescimento populacional até no final da concessão. Tais dados possuem significativa relevância com o tema, considerando a necessidade na melhoria da eficiência operacional, de

forma a garantir recursos o suficiente para atendimento da demanda necessária para o abastecimento de água da população.

Tabela 6. Projeção de Crescimento Populacional Para o Setor de Abastecimento de Água

Unid	2021	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055
hab	101.782	105.415	109.199	111.445	112.645	113.026	112.215	110.217

Fonte: PDA - RMM.21002.MAC.MAC00.PD.ETA-4.HD.MD.0001-R0B, página 23.

O sistema de Abastecimento de água local é atendido pelo reservatório R01, sendo composto por cerca de 200 km de redes, divididos em 15 distritos de medição e controle, com diâmetros variando entre 32 e 1000mm (DeFoFo, PVC e FoFo). Cada DMC possui 01 válvula de controle (VRP's), 01 medidor de vazão e cerca de 30 válvulas limítrofes.

Analisadas as variações altimétricas do setor de abastecimento, presentes no modelo hidráulico, versão referente a 14 de Fev de 2023, observou-se que a cota altimétrica do reservatório responsável pelo abastecimento da região – R01, é de 64mts, o que foi confirmado após verificações em campo. Os DMC'S 1 e 2 encontram-se na Cota 7 em relação ao nível do mar, admitindo uma diferença de cota de 50 metros em relação ao reservatório que abastece o local.

8.1.2 Particularidades do DMC 1 e DMC 2

O DMC 1 possui 12,380km de rede de abastecimento de água com diâmetros variando entre 50mm e 200mm. Segundo dados operacionais do sistema de distribuição, o regime de abastecimento é contínuo, não apresentando intermitências de rotina. A pressão média de trabalho apurada foi de 25,31mca, com valor máximo de 26,57mca e mínimo de 23,99 mca no horário de maior consumo. Com base no cadastro comercial disponibilizado pela concessionária que opera o sistema de abastecimento de água na região, o DMC possui um total de 808 ligações, sendo 569 ligações residenciais, 210 ligações comerciais, 18 ligações industriais e 11 públicas. Ainda de acordo com a base de cadastro comercial, os bairros compreendidos pelo DMC 1, são majoritariamente residências com uma economia por ligação, ou seja, cada hidrômetro atende uma única residência.

O DMC 2 possui 15,088km de rede de abastecimento de água com diâmetros variando entre 75mm e 150mm. Segundo dados operacionais do sistema de distribuição, o regime de abastecimento é contínuo, não apresentando intermitências de rotina. A pressão média de trabalho apurada foi de 15mca, com valor máximo de 17mca e mínimo de 14mca no horário de maior consumo.

Com base no cadastro comercial disponibilizado pela concessionária que opera o sistema de abastecimento de água na região, o DMC possui um total de 1.001 ligações, sendo 650 ligações residenciais, 351 ligações comerciais, o DMC não possui ligações industriais e nem ligações. Ainda de acordo com a base de cadastro comercial, os bairros compreendidos pelo DMC 1, são majoritariamente residências com uma economia por ligação, ou seja, cada hidrômetro atende uma única residência. A Tabela 7 apresenta a estratificação das ligações por categoria presentes nos distritos de medição e controle estudados.

Tabela 7. Quantidade de Ligações por Categoria nos DMC'S 1 e 2

Nome do DMC	Categoria				Total
	Residencial	Comercial	Industrial	Publica	
QTD LIG DMC 1	569	210	18	11	808
QTD LIG DMC 2	650	351	-	-	1001

Fonte: Autor, 2023.

Estudos realizados no setor de abastecimento no período de julho de 2021 a fevereiro de 2022, demonstram um alto índice de ocorrências de vazamento no setor de abastecimento estudado, que compreende sete bairros da região litorânea da cidade do estudo. No período analisado, foram identificados 2.040 vazamentos distribuídos em diversos tipos, como: vazamento em cavalete, não visível, ramal e na rede. A Tabela 8 apresenta o quantitativo dos vazamentos por categoria e bairro.

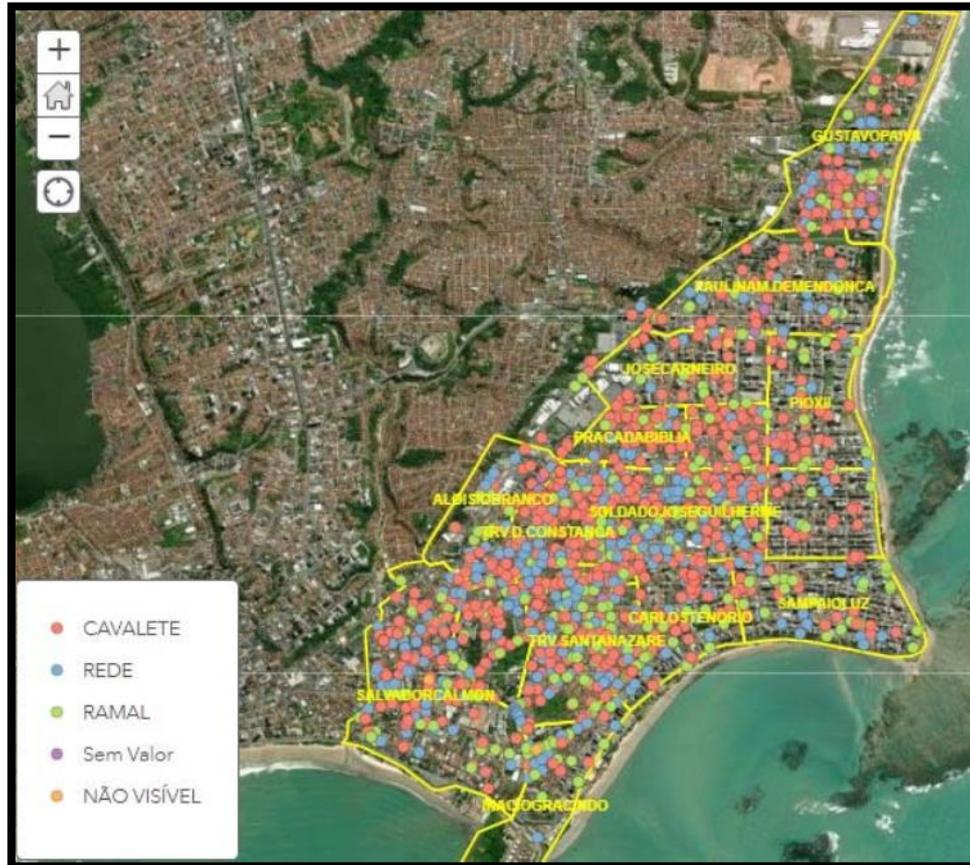
Tabela 8. Tipos de Vazamentos Localizados por Bairro no setor em estudo

Tipo	Bairro1	Bairro2	Bairro3	Bairro4	Bairro5	Bairro6	Bairro7	Total
Cavalete	83	38	397	62	327	70	115	1092
Ramal	26	17	131	52	127	32	39	424
Rede	42	31	138	26	199	47	41	524
Total	151	86	666	140	653	149	195	2040

Fonte: Autor, 2022.

Para melhor visualização, foram especializados os vazamentos por tipo considerando os respectivos DMC'S, conforme Figura 25:

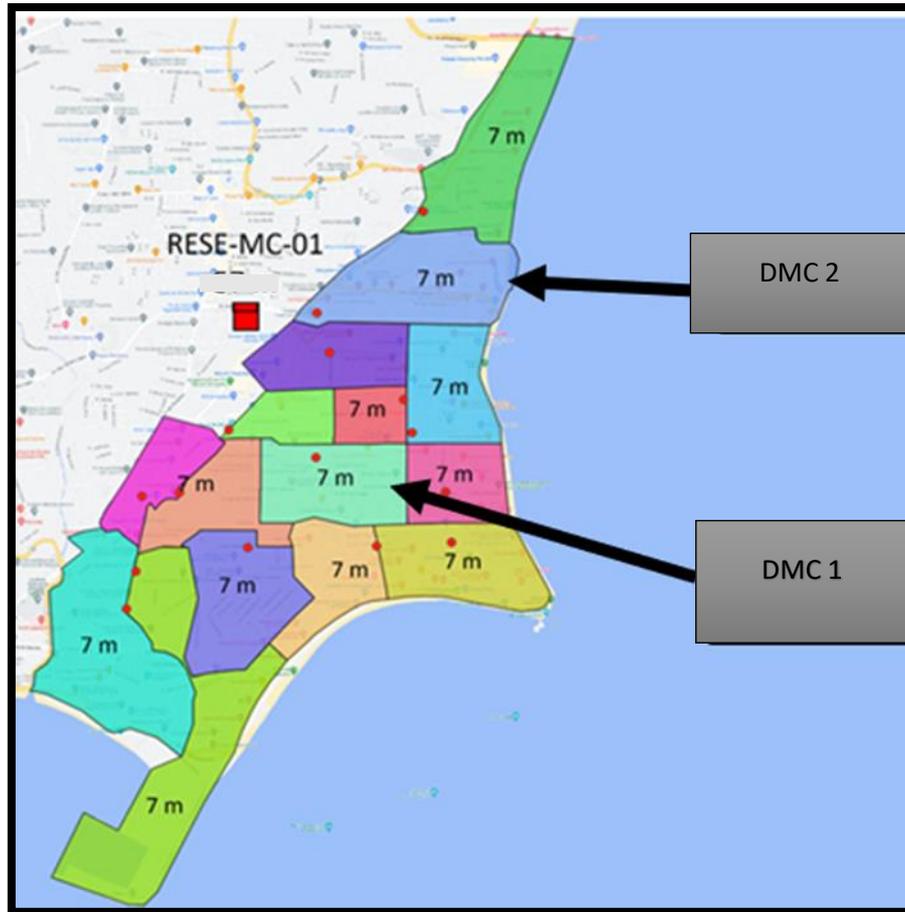
Figura 25 – Espacialização por Tipo de Vazamento – Jun-21 a dez – 22



Fonte: Autor, 2022.

Diante de tal cenário, a concessionária optou por reduzir as pressões de trabalho nos DMC's, com o objetivo de reduzir a ocorrência de vazamentos nesse sistema de distribuição. Importante ressaltar que esse sistema apresenta características singulares, onde considerando a localização do reservatório com cota 64 metros em relação ao nível do mar, propiciando pressões elevadas nos DMC's 1 e 2, sendo esses abastecidos por esse sistema. A Figura 26 representa a localização dos DMC's em relação ao reservatório e demais setores.

Figura 26 – Mapa de Localização dos Setores e Cota Altimétrica



Fonte: Autor, 2022.

Parque de Hidrômetros e Submedição DMC 1

O parque de hidrômetros é relativamente novo com idade média de 4,2 anos, sendo do tipo velocimétrico unijato de vazão nominal 750 l/h. Apresentou submedição de aproximada de 5%, entre os meses de Jul a dez/2022. A concessionária local aplica uma metodologia que relaciona o volume total registrado nos hidrômetros com a perda da capacidade metrológica dos medidores, dessa forma é possível observar o percentual de submedição dos hidrômetros. Para o cálculo da submedição os medidores foram separados por intervalo de consumo registrado, conforme demonstrado na Tabela 15, onde após aplicados os tetes de acordo com a portaria 246-2000 do Inmetro, foram ponderados os respectivos erros aferidos em cada faixa de medição considerando o tempo de permanência em cada uma das respectivas faixas de medição, sendo as vazões mínimas, transição, nominal e máxima. Na Tabela 9 é apresentado o índice de submedição do parque de hidrômetros do DMC 1 nos meses de julho a dezembro de 2022.

Tabela 9. Índice de Submedição das Ligações Residenciais do DMC 1

Mês	%
Jul	4,9%
Ago	4,8%
Set	4,9%
Out	4,9%
Nov	5,2%
Dez	5,3%
Média	5,0%

Fonte: Autor, 2022.

8.2 ATIVOS DO SISTEMA - DMC 1

8.2.1 Reservatório

O reservatório responsável pelo abastecimento dos DMC'S 1 e 2, é chamado de R01. O reservatório é do tipo semienterrado com duas câmaras de 8.000m³ cada, e está situado na cota 64m. A Figura 27 apresenta as informações do reservatório extraídas do cadastro técnico.

Figura 27 – Quadro - Informações do Reservatório R1

RESERVATÓRIO	TIPO	COTA DO FUNDO (m)	ALTURA ÚTIL (m)	FORMATO	VOLUME(m ³)		EM OPERAÇÃO	OBSERVAÇÕES
					CADA CÂMARA	TOTAL		
R-01 COMPOSTO POR DUAS CÂMARAS COMUNICANTES	SEMIENTERRADO	64	7,0	TRAPEZOIDAL	8.000	16.000*	SIM	ABASTECE TODO SETOR DO JARAGUÁ

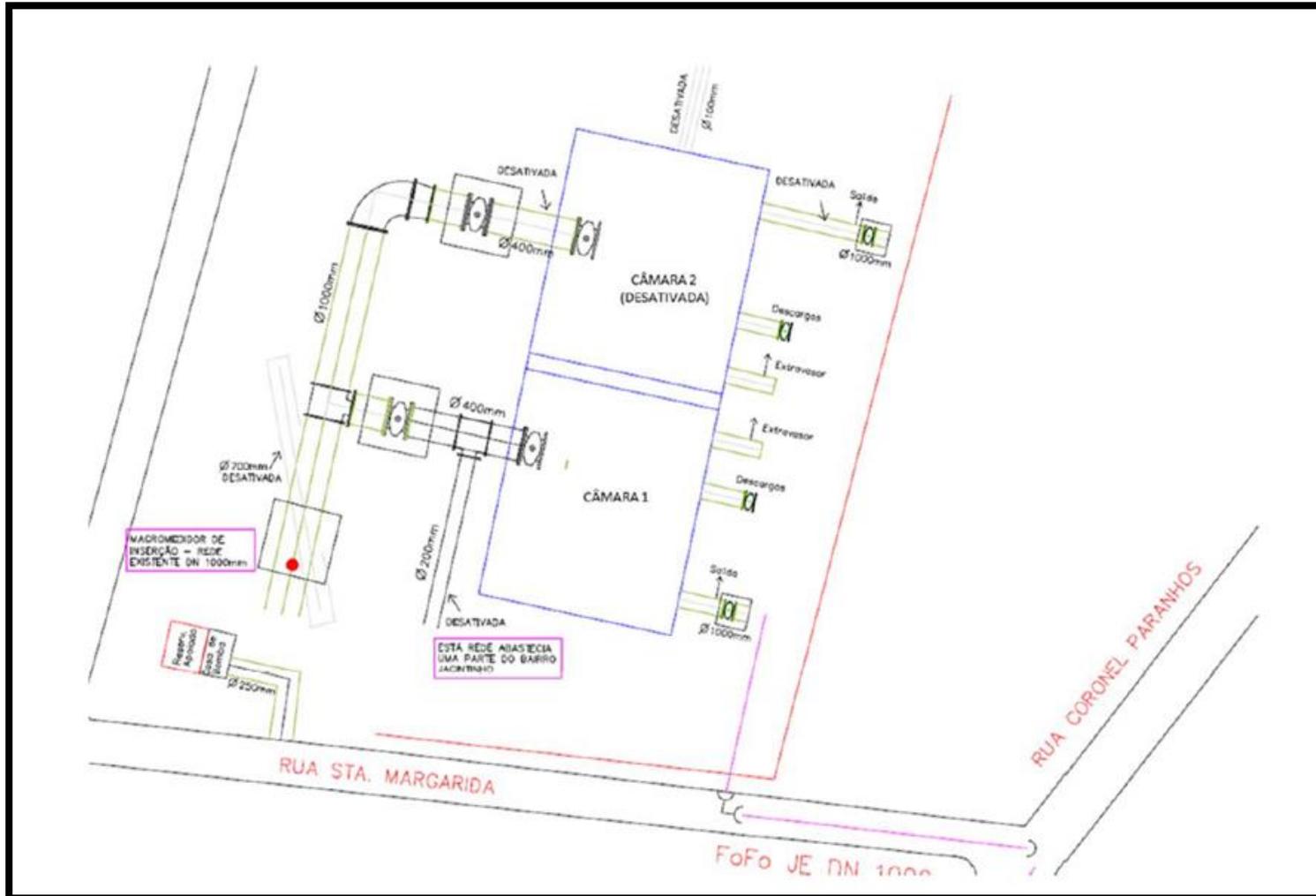
*Volume total de 16.000 m³, porém apenas uma das câmaras está ativa.

Na sequência são apresentadas informações levantadas em campo:

- Dimensão do Reservatório: Trapezoidal – 2 câmaras, estando apenas 1 em operação;
- Volume – 8.000m³ em cada câmara;
- Entradas – duas redes de diâmetro 400mm, estando apenas uma ativa, ambas derivando de uma rede de DN 1000mm;
- Saídas – 2 saídas de DN 1000mm, estando apenas uma ativa;
- Extravasores – Cada câmara possui um extravasor;
- Descargas – Cada câmara possui uma descarga;

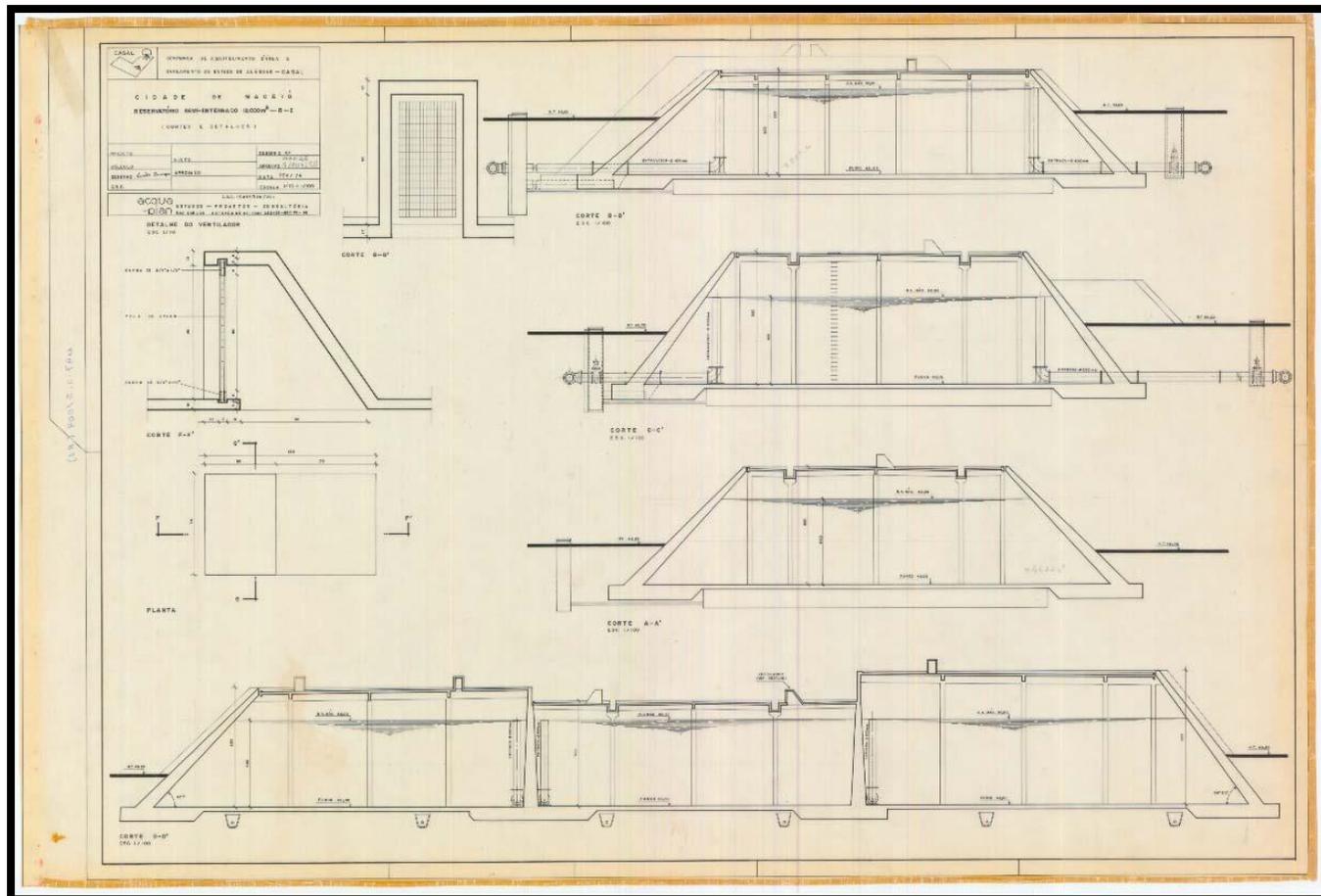
O reservatório apresenta boas condições estruturais, onde não foram observadas ocorrências de rachaduras e vazamentos. A Figura 28 representa o croqui do reservatório R1 e tem por objetivo demonstrar a concepção sobre o funcionamento do reservatório, com entradas e saídas, com seus respectivos diâmetros e finalidades operacionais. Na Figura 29 é possível observar o projeto do reservatório R1.

Figura 28 – Croqui Operacional do Reservatório R1



Fonte: Autor, 2022.

Figura 29 – Planta do Reservatório que abastece os DMC's Estudados.



Fonte: Acervo Técnico da Concessionária, 2021.

8.2.2 Válvula Redutora de Pressão

A VRP instalada no setor A é de 300mm, operando com vazão máxima de 284,44 m³/h e mínima de 113,15m³/h, onde não foram observadas zonas de cavitação. Na Figura 30 é apresentada vista da VRP existente no DMC 1.

Figura 30 –VRP do DMC 1



Fonte: Autor, 2023.

8.2.3 Macromedidor

O DMC 1 possui um Macromedidor do tipo Eletromagnético Carretel de diâmetro 300 mm do modelo Aqua Master, alimentado a bateria. De acordo com os dados de pressão máxima e mínima do setor, o medidor trabalha na faixa da vazão de transição permanente. Na Figura 31 é possível observar a foto do medidor instalado na entrada do DMC 1.

Figura 31 – Macromedidor do DMC 1



Fonte: Autor, 2023.

8.2.4 Ventosa Simples

O DMC possui uma ventosa de função simples, do fabricante Saint-Gobain DN 50mm, localizada a jusante da VRP, ou seja, após a Válvula Redutora de Pressão. Durante o período observado, não foram identificadas anormalidades na operação da ventosa, onde a mesma não apresentou vazamentos ou algum tipo de falha estrutural. Na Figura 32 é possível observar a ventosa instalada no DMC1.

Figura 32 – Ventosa de Rede Instalada na Entrada do DMC 1



Fonte: Autor, 2023.

9 PERDAS NO DMC 1 – FATOR DE PESQUISA

A determinação do fator de pesquisa do DMC 1 foi estabelecida através da equação do Fator de Pesquisa, onde:

FP = Fator de Pesquisa

Qmin not = Vazão mínima noturna

Qmed dia= Vazão média diária

$$FP = \frac{Q_{min}}{Q_{med}}$$

O Fator de pesquisa calculado para o DMC foi de 0,55, indicando um consumo noturno relativamente alto, incorrendo na alta probabilidade de vazamentos na rede de distribuição. Segundo Fávero e Dib (1981 apud Gonçalves e Alvim, 2005), quando o fator de pesquisa de um setor observado estiver acima de 0,30, existem vazamentos economicamente detectáveis. A Tabela 10 demonstra o fator de pesquisa calculado para o setor.

Tabela 10. Fator de Pesquisa do DMC 1

Descrição	Vazão (l/s)
Vazão Média Diária	57,09
Vazão Mínima Noturna	31,43
Fator de Pesquisa	0,55

Fonte: Autor, 2022.

9.1 PARQUE DE HIDRÔMETROS E SUBMEDIÇÃO DMC 2

O parque de hidrômetros é relativamente novo com idade média de 3,7 anos, sendo do tipo velocimétrico unijato de vazão nominal 750 l/h. Outro fator de extrema importância foi o de conhecer a submedição metrológica do parque es hidrômetros observados. Para isso foi utilizado o método de aferição, conforme preconiza a portaria 246.2000 do Immetro.

A concessionária local possui um estudo realizado com cerca de vinte mil amostras, onde após classificadas e separadas por intervalos de leituras registradas, foram submetidos aos testes da portaria, onde tornou-se conhecida a submedição por faixa de consumo acumulado por cada medidor e aplicada a média ponderada pelo percentual da quantidade de submedição de cada faixa em relação ao total, dessa forma tornando-se conhecida a submedição do parque de hidrômetros do DMC 2. A Tabela 11 apresenta os dados de submedição do parque de hidrômetros do DMC 2 considerando os meses utilizados para o estudo.

Tabela 11. Índice de Submedição das Ligações Residenciais do DMC 2

Mês	%
Jul	4,6%
Ago	4,6%
Set	4,6%
Out	4,6%
Nov	4,3%
Dez	4,7%
Média	4,6%

Fonte: Autor, 2023.

9.2 ATIVOS DO SISTEMA - DMC 2

9.2.1 Válvula Redutora de Pressão do DMC 2

A VRP instalada no DMC 2 é de 250mm, da marca Saint – Gobain, para determinação das características de operação foram realizadas campanhas de medição de pressão e vazão através de pitometria. Após a realização das campanhas de medição foi constatado que a válvula estava operando com vazão máxima de 151,60 m³/h e mínima de 86m³/h, onde não foram observadas zonas de cavitação. Na

Figura 33 33 é possível observar a VRP instalada no DMC 2.

Figura 33 – VRP instalada no DMC 2



Fonte: Autor, 2023.

Foi observado regularidade nas pressões a jusante da VRP, durante um período de 24 horas, o que corrobora para a estabilização da pressão de trabalho no interior do setor observado. (Na Figura 47 – Comportamento das Pressões a Montante e a Jusante da VRP do DMC 2), é possível observar que mesmo havendo significativa alteração no comportamento da pressão a montante da VRP, ou seja, antes da válvula, a pressão de saída de VRP permanece estável em 15mca durante todo o período de observação.

9.2.2 Macromedidor

O DMC 2 possui um Macromedidor do tipo Eletromagnético Carretel de diâmetro 250mm do modelo Aqua Master, alimentado a bateria. De acordo com os dados de pressão máxima e mínima do setor, o medidor trabalha na faixa da vazão de transição permanente. Na Figura 34 é possível observar o macromedidor instalado no DMC 2.

Figura 34 – Macromedidor do DMC 2



Fonte: Autor, 2023.

9.2.3 Ventosa

O setor possui uma ventosa de função simples, do fabricante Saint-Gobain DN 50mm, localizada a jusante da VRP, ou seja, imediatamente após a Válvula Redutora de Pressão. Durante o período observado, não foram identificadas anormalidades na operação da ventosa. A Figura 35 apresenta a ventosa instalada no DMC 2.

Figura 35 – Ventosa instalada no DMC 2

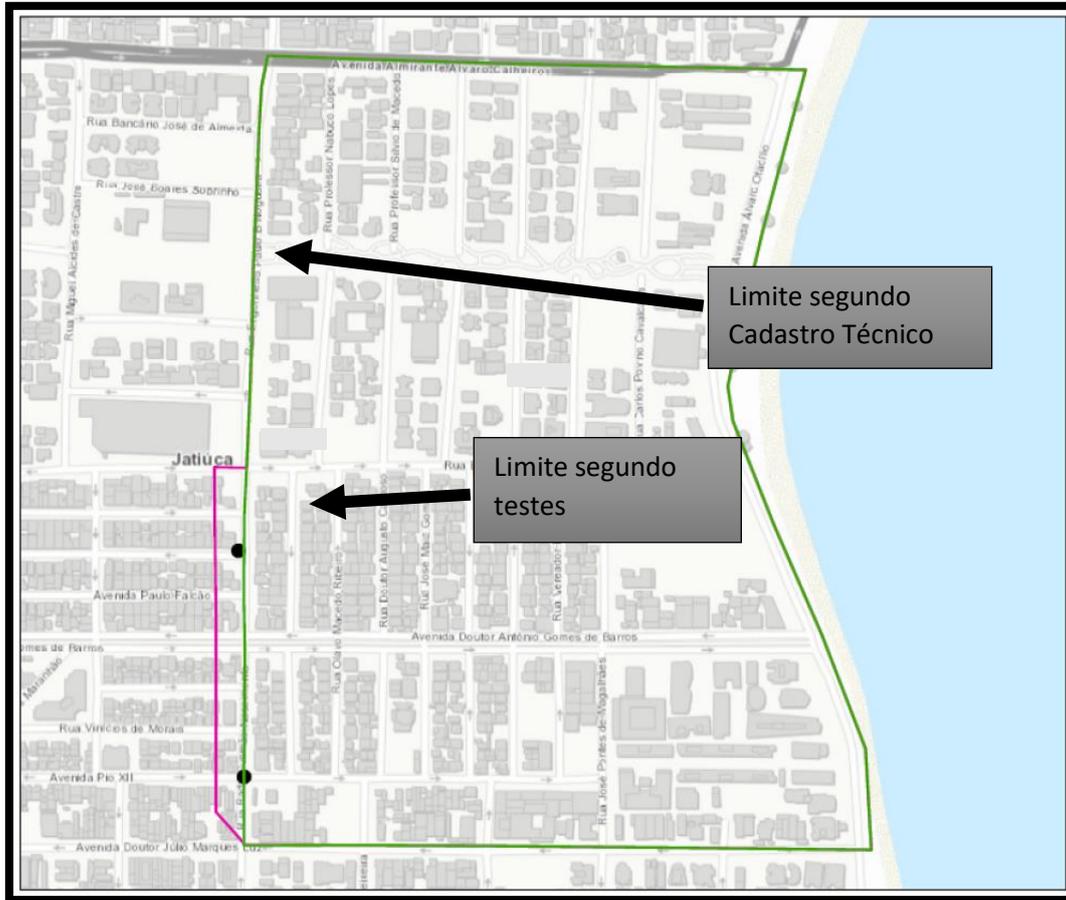


Fonte: Autor, 2023.

10 PERDAS NO DMC 2 – FATOR DE PESQUISA

Para o DMC 2, o fator de pesquisa foi calculado utilizando a mesma metodologia aplicada para o DMC 1. O fator de pesquisa calculado para o DMC 2 foi de 0,66 indicando um consumo noturno relativamente alto, incorrendo na alta probabilidade de vazamentos no sistema de distribuição, dessa forma diante do indicador apurado, considera-se que os vazamentos existentes no setor, são economicamente detectáveis. A Tabela 12 demonstra o fator de pesquisa calculado para o setor.

Figura 39 – Alteração do Limite do DMC 1 a Partir dos Testes



Limite de acordo com o cadastro.

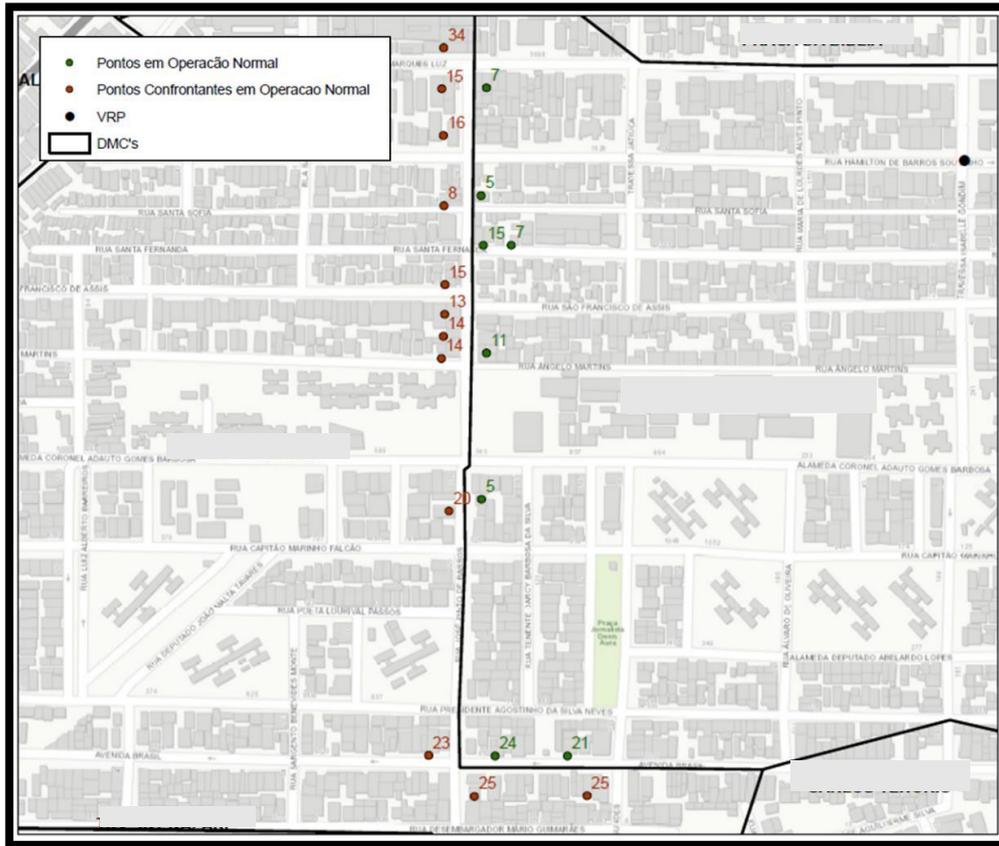
Limite de acordo com os testes.

Fonte: Autor, 2023.

Considerando os resultados de todos os testes realizados, ficou evidenciado que o DMC 1 está estanque, sendo assim não há nenhuma contribuição dos outros DMC's. Foram realizados os mesmos procedimentos para determinação da estanqueidade do DMC 2.

A Figura 40 apresenta o comportamento do DMC 2 com o sistema operando em condições normais de abastecimento.

Figura 40 – Pressões do DMC 2 em Operação Normal



Fonte: Autor, 2023.

Também foram realizadas tomadas de pressão no DMC 2 com a operação reduzida, com o mesmo objetivo do teste realizado no DMC 1. Dessa forma foi possível observar o comportamento dos pontos quando observados em operação normal e reduzida, demonstrado na Figura 41 nos pontos de pressão em rosa e verde.

Figura 42 – Pressões do DMC 2 em Operação Normal e Demais DMC'S em Operação Reduzida



Fonte: Autor, 2023.

Após a realização dos testes ficou evidenciada que o DMC 2 possui uma pequena alteração em relação aos dados do cadastro técnico, pois ligações que segundo o cadastro técnico estariam dentro do setor, apresentaram o mesmo comportamento de pressão das ligações fora do DMC 2. A Figura 43 apresenta a alteração do setor em face dos testes realizados, onde a área demarcada em rosa faz alusão ao novo limite conhecido e a linha verde faz referência ao trecho do DMC conforme cadastro técnico.

10.2 DEFINIÇÃO DA IDADE MÉDIA DO PARQUE E REALIZAÇÃO DOS TESTES PARA DETERMINAÇÃO DA CRUVA DE SUBMEDIÇÃO DOS MEDIDORES VELOCIMÉTRICOS UNIJATOS TIPO “Y”

Para definição da idade média do parque de hidrômetros dos DMC's 1 e 2, foram realizados levantamentos a partir da data de instalação de cada hidrometro nas suas respectivas ligações. A Tabela 13 demonstra a idade média do parque de hidrômetros do DMC 1 e a Tabela 14 demonstra a idade média do parque de hidrômetros do DMC 2. É possível observar que ambos os parques de hidrômetros dos DMC's são relativamente novo,s com idade média de 4 anos.

Tabela 13. Idade Média do Parque de Hidrômetros do DMC 1

IDADE MÉDIA PARQUE DE HIDRÔMETROS - DMC 1			
Ano de Instalação	Idade	Quantidade	Idade média - Anos
2023	0	5	4
2022	2	19	
2021	3	42	
2019	5	1	
2018	6	2	
2014	10	8	
2011	13	5	
Total		82	
> de 5 anos		15	18%
<= de 5 anos		67	82%

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 14. Idade Média do Parque de Hidrômetros do DMC 2

IDADE MÉDIA PARQUE DE HIDRÔMETROS - DMC 2			
Ano de Instalação	Idade	Quantidade	Idade média - Anos
2022	1	16	4
2021	3	41	
2020	4	6	
2019	5	7	
2013	11	12	
Total		82	
> de 5 anos		12	15%
<= de 5 anos		70	85%

Fonte: Autor, 2023.

Um estudo realizado na cidade de Maceió no ano de 2022, por ocasião da privatização dos serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotamento sanitário, utilizou vinte mil hidrômetros velocimétricos unijatos de vazão nominal 0,75 m³/h, entre novos e usados, para verificar o percentual de desgaste dos medidores, em razão do consumo registrado. Os medidores foram separados com intervalo de leitura para verificação do comportamento metrológico quando submetidos ao processo de aferição nas faixas de vazão: mínima, transição, nominal e máxima. A Tabela 15 identifica a quantidade de medidores separados por intervalo de leitura para o estudo de submedição.

Tabela 15. Quantidade de Medidores por Intervalo de Leitura

INTERVALO DE LEITURA m³	QUANTIDADE DE HIDRÔMETROS
0 - 200 m ³	3.345
201 - 400 m ³	3.782
401 - 600 m ³	5.723
601 - 800 m ³	3.078
801 - 1000 m ³	1.689
1001 - 1500 m ³	1.078
1501 - 2000 m ³	560
2001 - 2500 m ³	249
2501 - 3000 m ³	103
> 3000 m ³	214

Fonte: Autor, 2022.

Para atestar o percentual de desgaste, ou submedição de cada grupo de medidores, foram realizados os testes de escoamento nas vazões, Q_{min} , Q_t , Q_n e $Q_{Máx}$.

Onde:

Q_{min} = Vazão inicial

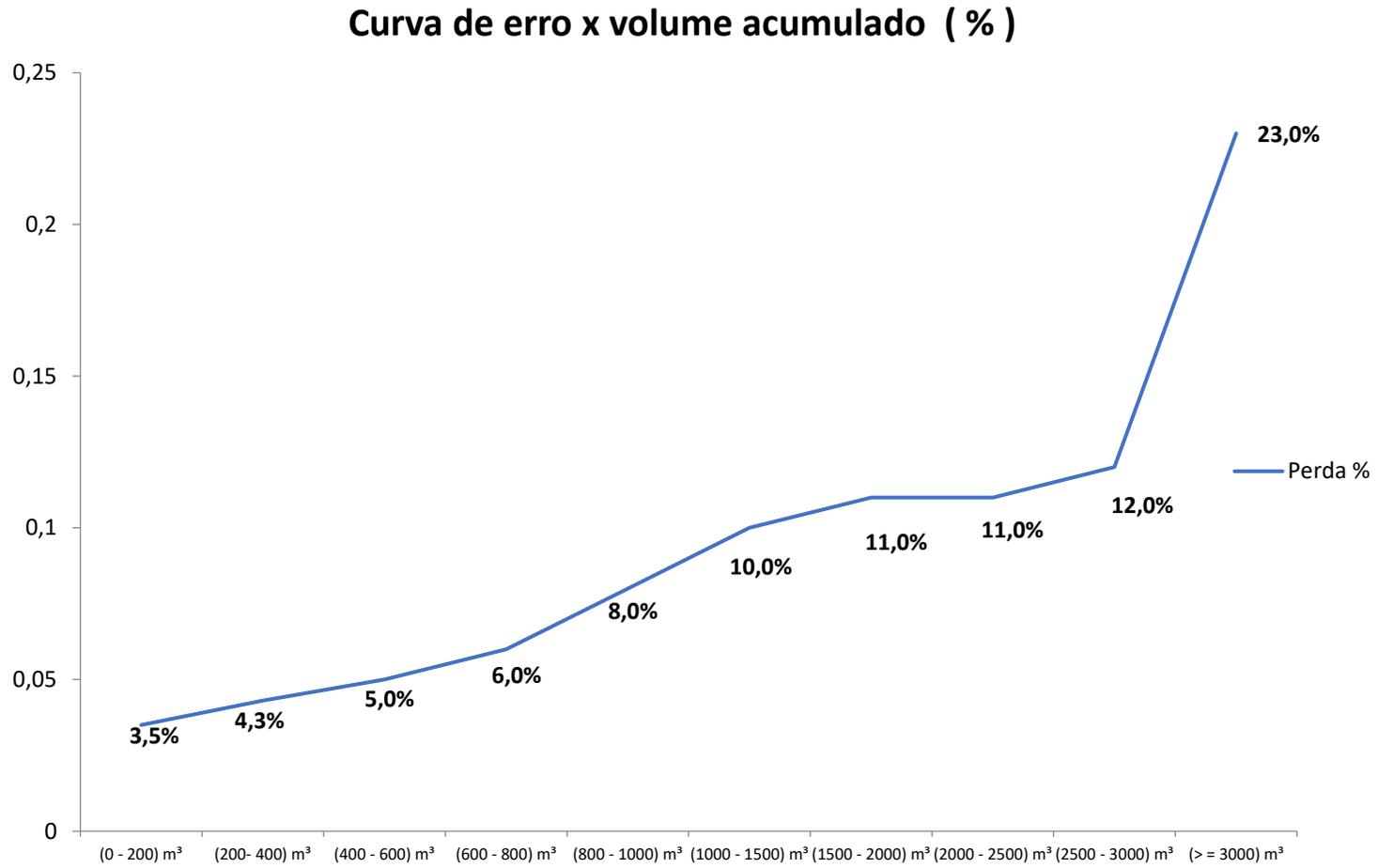
Q_t = Vazão de Transição

Q_n = Vazão Nominal

$Q_{máx}$ = Vazão Máxima

O processo de aferição consistiu em avaliar o comportamento metrológico dos hidrômetros, a partir da comparação entre o volume contabilizado pelos medidores e o volume escoado em recipientes com volume conhecido e atestados. Os testes foram realizados em quatro campos de medição, considerando os respectivos volumes para cada faixa de vazão, sendo: Q_{min} , ou 15 l/h, Q_t ou 60 l/h, Q_n , ou 750 l/h, $Q_{máx}$, ou 1500 l/h. Com base nos volumes escoados em cada campo de medição foi determinado o percentual de desvio(erro) e atribuído aos respectivos intervalos de leitura. Após a realização dos testes em laboratório, foi possível determinar o percentual de desgaste de cada medidores, segregados por intervalos de leitura. A curva de submedição é representada conforme Figura 44.

Figura 44 – Curva de Submedição por Leitura Acumulada



Fonte: Autor, 2022.

11 MONITORAMENTO DO CONSUMO DAS LIGAÇÕES EXISTENTES NOS DMC's EM ESTUDO, DURANTE O PERÍODO DE SEIS MESES

As ligações residenciais dos DMC's em estudo, apresentaram consumos médios por economia entre os meses de julho a dez/22, acima do volume mínimo faturado mensal, conforme dados extraídos do sistema comercial que faz a gestão dos consumos das ligações. No período observado o DMC 2 teve consumo médio apurado de 13,18m³, enquanto o DMC 1 durante o mesmo período apresentou consumo médio de 19,10m³. As Tabelas 16 e 17 apresentam os consumos médios das ligações residenciais apurados no período de seis meses.

Tabela 16. Consumo médio das Ligações Residências do DMC 2

Mês	Consumo m ³
Jul	16,86
Ago	12,34
Set	11,37
Out	15,05
Nov	11,88
Dez	11,6
Média	13,18

Fonte: autor, 2024.

Tabela 17. Consumo médio das Ligações Residências do DMC 1

Mês	Consumo m ³
Jul	23,5
Ago	17,00
Set	16,7
Out	22,0
Nov	17,9
Dez	17,5
Média	19,10

Fonte: Autor, 2024.

12 LEVANTAMENTO DOS VALORES FATURADOS DAS LIGAÇÕES AMOSTRAIS DURANTE O PERÍODO DE SEIS MESES NOS DMC's 1 E 2

O faturamento realizado em cada uma das ligações que foram observadas durante o período de junho à dezembro de 2023, nos DMC's 1 e 2, foi apurado a partir do levantamento dos respectivos consumos registrados conforme item 5.5, onde os valores obtidos consideram a aplicação da estrutura tarifária vigente, estabelecida pela agência reguladora.

Com base no comportamento de consumo das ligações, foi observado significativa alteração no valor faturado nas ligações do DMC 1 que possui pressão de trabalho de 25 mca, quando comparado ao DMC 2 que possui pressão de trabalho de 15 mca. A Figura 45 demonstra a estrutura tarifária vigente. As ligações monitoradas no DMC 1 apresentaram um faturamento médio, considerando o espaço amostral de seis meses, 32,8% superior quando comparado ao faturamento médio apurado no DMC 2 durante o mesmo período. Em valores financeiros, as 82 ligações observadas no DMC 1 apresentaram faturamento médio mensal acumulado de R\$ 15.846, enquanto as ligações do DMC 2 apresentaram uma média de faturamento acumulado de R\$ 10.542, o que se refere a uma diferença de R\$ 65,00 por ligação por mês.

Figura 45 – Estrutura Tarifária Aplicada nos DMC's Estudados

Barra de São Miguel, Maceió, Paripueira, Rio Largo, Coqueiro Seco, Santa Luzia do Norte, Pilar, Satuba, Murici e Messias			
Categoria	Faixa de Consumo (m³)	Tarifa (2023 - 2024) (R\$/m³)	
Água	Residencial	Até 10m³	6,688
		11 – 15	12,788
		16 – 20	14,781
		21 – 30	15,794
		31 – 40	16,306
		41 – 50	16,513
		51 – 90	16,622
		91 – 150	16,709
	> 150	16,720	
	Comercial	Até 10m³	15,478
		Excedente	24,606
	Industrial	Até 10m³	17,373
		Excedente	31,762
	Pública	Até 10m³	13,049
Excedente		33,603	
Tarifa Social	Até 10m³	50% TMR	
	11 – 20	50% DA TR FAIXA	
Água Bruta	Até 10m³	3,623	
	Excedente	12,298	
Carro Pipa	Qualquer consumo	15,478	
Filantrópica	Qualquer consumo	2,669	

Fonte: ARSAL, 2023.

A Tabela 18 apresenta o faturamento por ligação do DMC 1 durante o período de julho a dezembro de 2023.

A Tabela 20 apresenta o comparativo entre o faturamento médio do DMC 1 e DMC 2 no período de seis meses, onde é possível observar que o D|MC 1 apresentou faturamento superior em todos os meses observados. Considerando todo o período, o DMC 1 faturou R\$ 95.081,81 e o DMC 2 faturou R\$ 63.256,65, o que equivale uma diferença de faturamento de R\$ 31.825,16, representando uma variação de 49% entre os DMC's.

Tabela 20. Comparativo Faturamento médio do DMC 1 e DMC 2 no período de Jul a dez de 2023

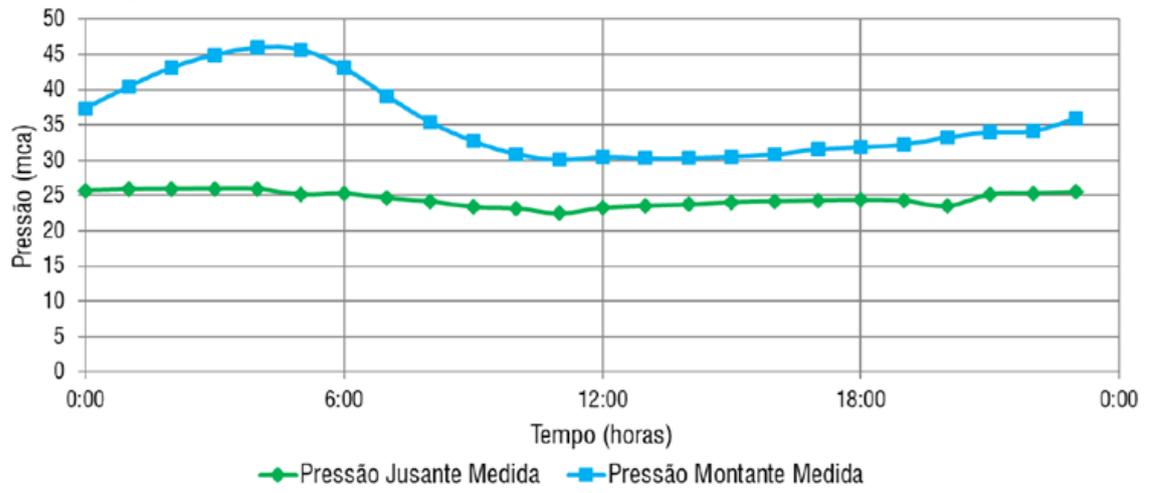
Pressão	Setor	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
25mca	DMC 1	R\$ 21.374,12	R\$ 13.240,26	R\$ 12.879,64	R\$ 19.471,99	R\$ 14.239,46	R\$ 13.876,34
15mca	DMC 2	R\$ 13.176,38	R\$ 9.612,26	R\$ 9.430,10	R\$ 12.609,17	R\$ 9.404,67	R\$ 9.024,07
R\$	Diferença média de Faturamento.	R\$ 8.197,74	R\$ 3.628,00	R\$ 3.449,54	R\$ 6.862,82	R\$ 4.834,79	R\$ 4.852,27
%	Variação Percentual	62%	38%	37%	54%	51%	54%

Fonte: Autor, 2023.

13 MONITORAMENTO DO COMPORTAMENTO DA PRESSÃO DOS SETORES EM ESTUDO PELO PERÍODO DE SEIS MESES

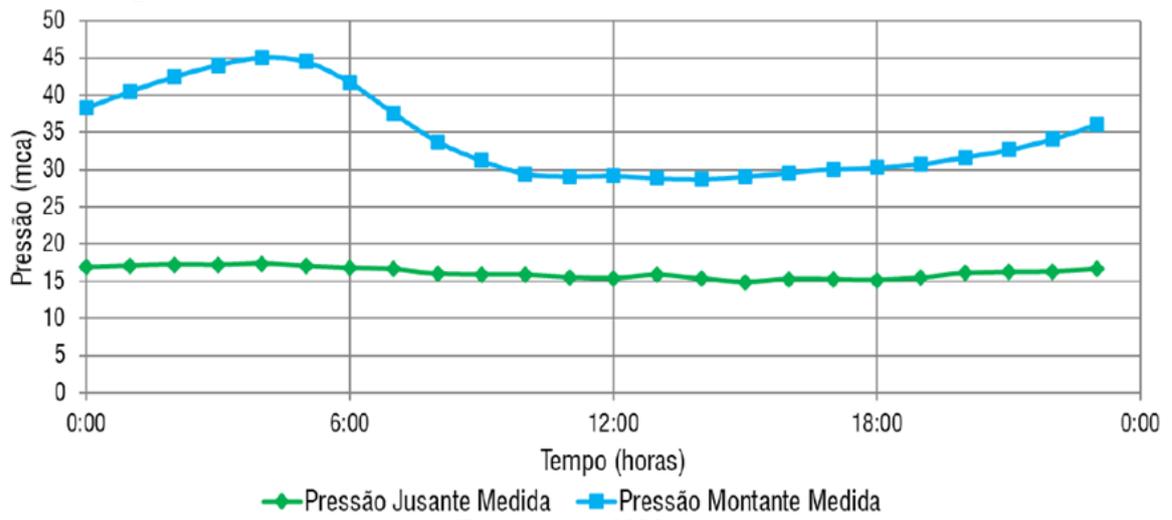
Foram observadas regularidade nas pressões a jusante das VRP'S dos DMC'S 1 e 2. Durante um período de 6 meses com observações constantes de 24 horas por dia, o que corrobora para a estabilização da pressão de trabalho no interior do setor observado. Além disso foram utilizados os dados de monitoramento extraídos dos loggers de pressão que foram instalados no interior de cada setor de abastecimento. Nas Figuras 45 e 46 é possível observar que mesmo havendo significativa alteração no comportamento da pressão a montante das respectivas VRP'S, ou seja, antes das válvulas, as pressões de saída das válvulas redutoras de pressão permaneceram estável em 25 e 15 mca respectivamente.

Figura 46 – Comportamento das Pressões a Montante e a Jusante da VRP do DMC 1



Fonte: Autor, 2023.

Figura 47 – Comportamento das Pressões a Montante e a Jusante da VRP do DMC 2



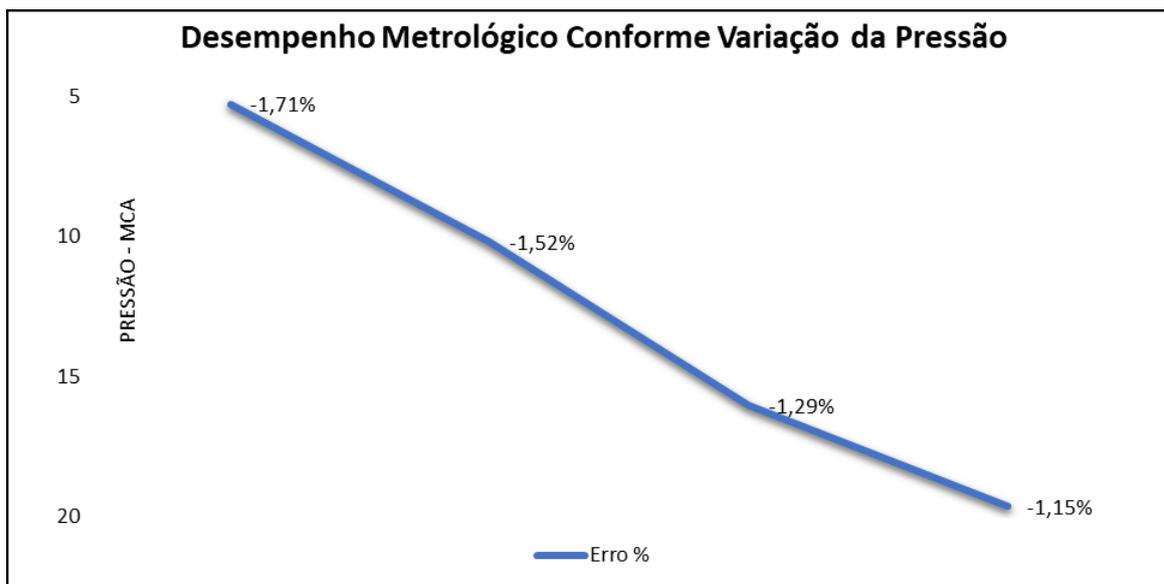
Fonte: Autor, 2023.

14 ENSAIOS EM LABORATÓRIO PARA DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO PRESSÃO CONSUMO

Foram realizados ensaios em laboratório de aferição, onde o objetivo foi verificar na prática a relação entre a variação de pressão e a eficiência metrológica dos hidrômetros. Para o estudo amostral, foram utilizados três medidores em condições metrológicas similares, ou seja, mesma faixa de leitura acumulada e consequente submedição, onde a variável determinante foi a pressão, expressa em mca. Para o processo de apuração dos resultados, os hidrômetros foram instalados na bancada de aferição de forma independente, sendo verificados um por vez, neutralizando assim a possibilidade de variação no fluxo por interferência da indução da perda de carga concentrada.

Os desvios foram apurados, considerando variações de pressão em um intervalo de 5 em 5 mca, onde a pressão mínima aplicada na bancada foi de 5 mca e a máxima foi de 20 mca. Considerando um diferencial de pressão de 15 mca, as três amostras demonstraram desvio significativo na capacidade de registro do volume escoado, tendo uma piora metrológica considerável quando submetidos a pressões inferiores. Nesse contexto os medidores foram avaliados nas pressões de trabalho de 5 e 20 mca respectivamente. As Figuras 47, 48 e 49 demonstra os resultados obtidos em cada medidor considerando os intervalos de pressão descritos.

Figura 48 – Influência da Variação da Pressão na Eficiência Metrológica HD 1.



Fonte: Autor, 2024.

Conforme dados do estudo demonstrados na Figura 44, a medida em que o hidrômetro 1 foi submetido a pressões crescentes, a eficiência metrológica foi melhorando significativamente. Tal efeito pode ser justificado pelo efeito do aumento da velocidade na câmara de medição e consequente acionamento das engrenagens que compõem o sistema de medição. Tal efeito também pode ser observado no comportamento dos Hidrômetros 2 e 3, conforme apresentado nas Figuras 49 e 50.

Figura 49 – Influência da Variação da Pressão na Eficiência Metrológica HD 2

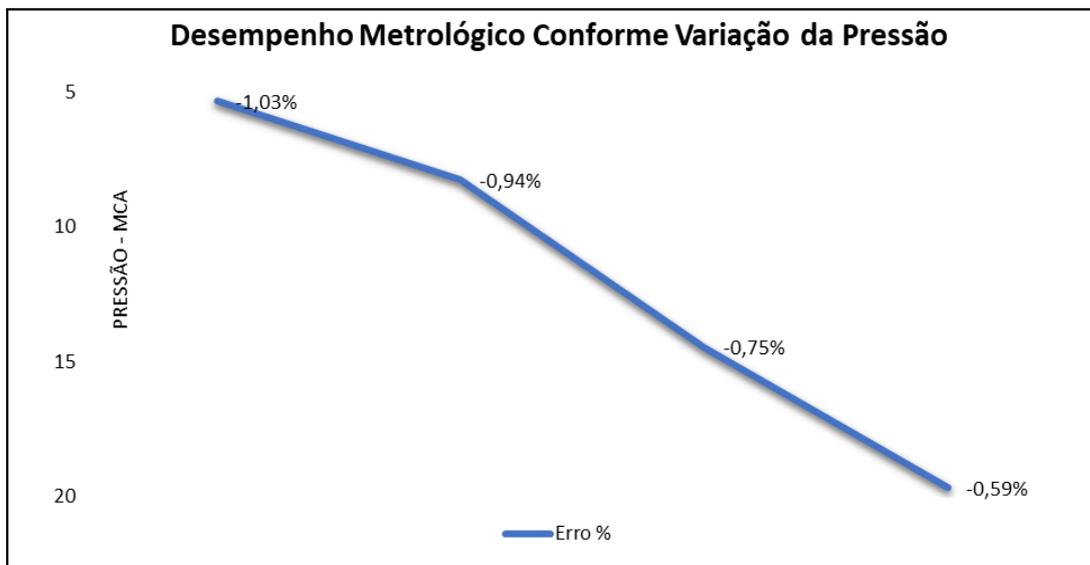
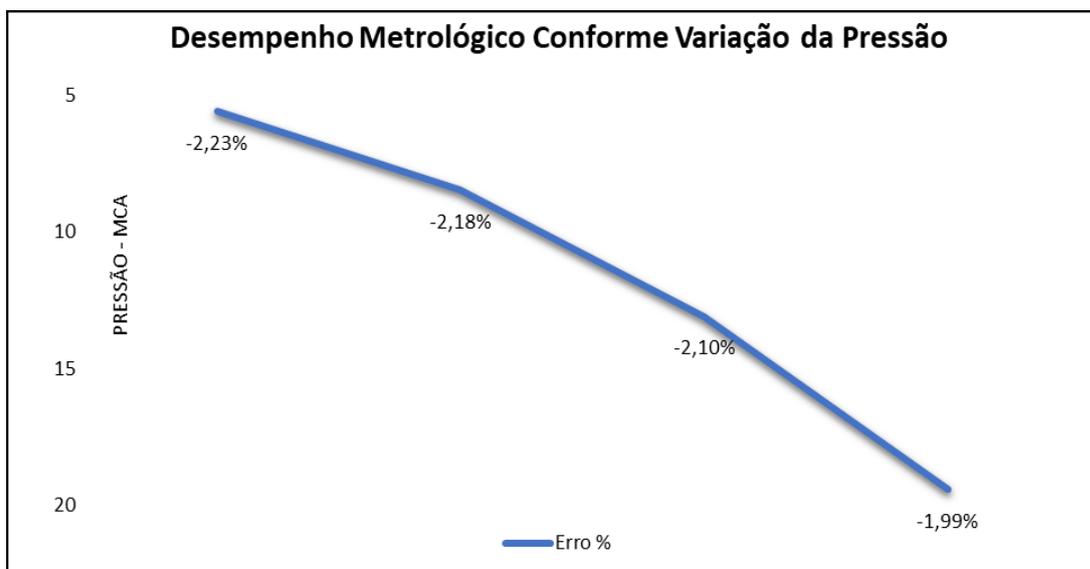


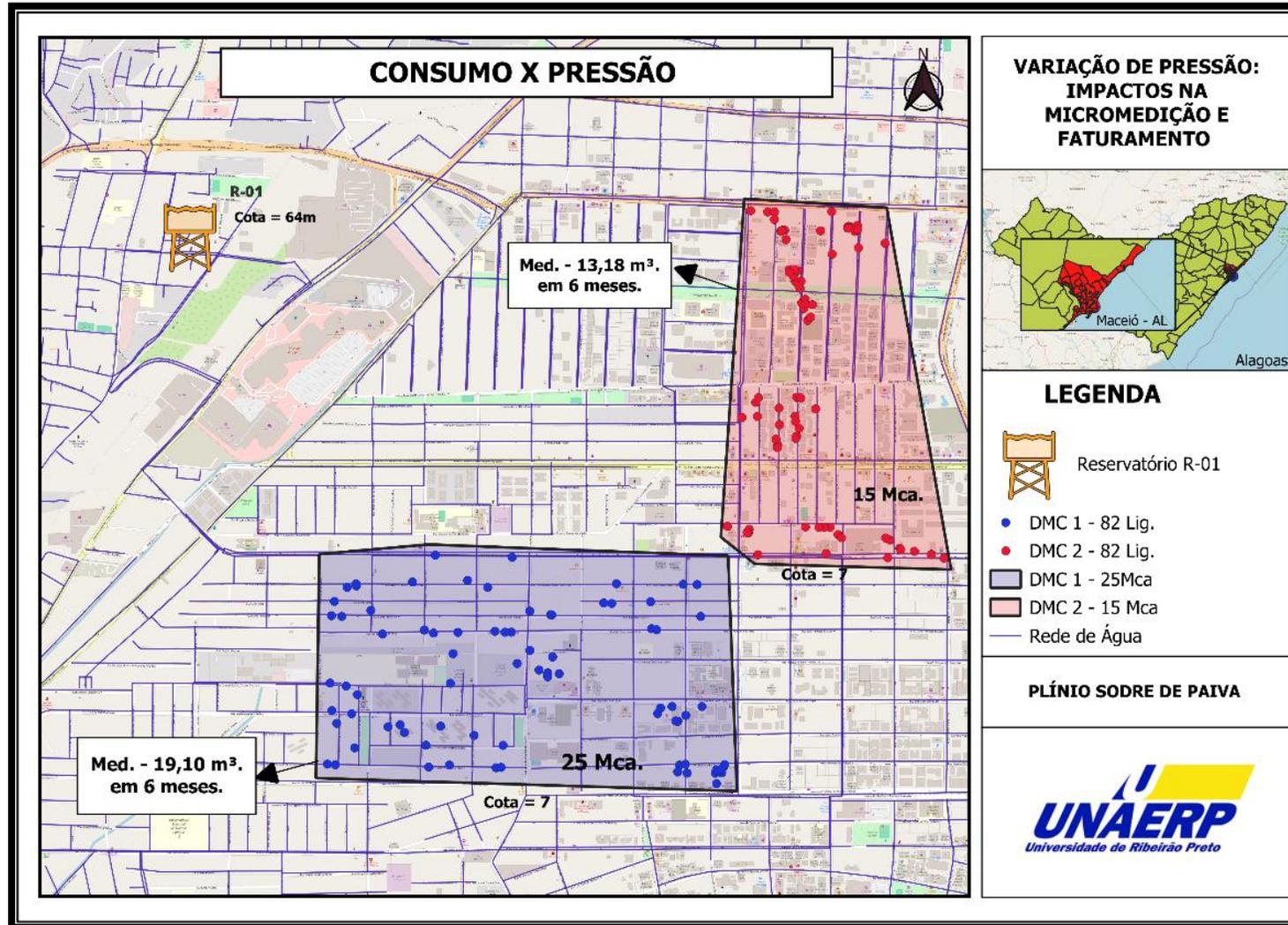
Figura 50 – Influência da Variação da Pressão na Eficiência Metrológica HD 3



15 AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO DA PRESSÃO COM APROVEITAMENTO METROLÓGICO NAS LIGAÇÕES AMOSTRAIS DOS SETORES ESTUDADOS

Com a espacialização das ligações selecionadas aleatoriamente dentro dos setores observados, aos quais estão denominados de DMC 1 e DMC 2, foi possível avaliar os respectivos comportamentos metrológicos dos hidrômetros velocimétricos instalados nas ligações e conseqüente acurácia no registro dos consumos de água, bem como a influência no comportamento de consumo das ligações. Na Figura 51 estão dispostas as ligações amostrais observadas em cada DMC, onde é possível observar suas respectivas localizações dentro de cada setor, bem como observar que as ligações estão dispostas em um baixo índice de concentração, ou seja, as ligações estão pulverizadas dentro de cada setor, dessa forma, retratando um comportamento de todas as ligações contidas nos DMC's. A Figura traz ainda as informações dos consumos médios das ligações de cada DMC, observado durante o período de seis meses, a pressão de trabalho de cada DMC, onde é possível observar uma diferença de 10mca entre a operação do DMC1 e o DMC2, bem como a quantidade de ligações observadas em cada um dos setores.

Figura 51 – Espacialização das ligações amostrais dos DMC's 1 e 2



Fonte: Autor, 2024.

15.1 CORRELAÇÃO DO CONSUMO REGISTRADO PELAS LIGAÇÕES DO DMC 1 E 2, EM RAZÃO DA DIFERENÇA DE PRESSÃO DE TRABALHO DOS SETORES OBSERVADOS, ATRAVÉS DA FERRAMENTA ESTÁTICA

Nas Tabelas 21 e 22 estão apresentados os dados referentes a pressão média do setor a que estão submetidas as ligações observadas, o tipo de categoria, quantidade de economias, e os respectivos consumos apurados nas ligações entre os meses de julho a dezembro de 2023. A amostra foi definida aleatoriamente para que se possa estabelecer o grau de correlação entre a pressão disponível no setor e os respectivos consumos das ligações. Para melhor entendimento dos dados, há de considerar o conceito específico conforme o que segue:

DMC 1 - Setor onde estão localizadas as ligações de um dos setores observados para análise do comportamento da eficiência metrológica em razão da pressão de trabalho disponível no setor. Pressão Média - MCA – Refere-se a pressão disponível no DMC observado, onde as ligações contidas no setor estão submetidas.

Categoria - Define a finalidade de utilização do abastecimento de água que é disponibilizado para a ligação.

Economia - Define quantas edificações a ligação atende, ou seja, se há um ou mais imóveis atendidos pela mesma ligação de água.

Vol m³ - São os respectivos volumes apurados em cada ligação observado no período de julho a dezembro de 2023.

Na Tabela 21 é possível observar a série histórica do consumo das ligações consideradas na amostra do DMC 1, onde foram elencadas as ligações que apresentaram consumo mensal entre 6m³ a 40m³ durante o período observado, porém conforme pode-se observar o maior consumo observado foi de 40m³ e o menor consumo foi de 14m³. Na Tabela 22, também foram relacionadas as ligações do DMC2 com o mesmo filtro de consumo registrado, utilizado no DMC 1, no entanto como pode-se verificar, o maior consumo observado foi de 39m³ e o menor consumo observado foi o de 6m³.

Tabela 21. Amostras das informações de Pressão e Consumo das ligações – DMC 1

DMC - 1	Pressão - MCA	Categoria	Economia	Vol m³ Jul	Vol m³ Ago	Vol m³ Set	Vol m³ Out	Vol m³ Nov	Vol m³ Dez
DMC 1	25	Res	1	40	29	24	34	23	37
DMC 1	25	Res	1	38	25	23	34	22	29
DMC 1	25	Res	1	36	25	22	32	22	27
DMC 1	25	Res	1	35	24	21	31	22	27
DMC 1	25	Res	1	35	24	20	28	21	22
DMC 1	25	Res	1	35	22	20	28	21	22
DMC 1	25	Res	1	35	22	20	28	21	22
DMC 1	25	Res	1	34	22	19	27	21	21
DMC 1	25	Res	1	34	20	19	27	21	21
DMC 1	25	Res	1	34	20	19	26	21	20
DMC 1	25	Res	1	33	20	19	26	21	20
DMC 1	25	Res	1	32	20	19	26	21	20
DMC 1	25	Res	1	32	20	19	26	21	20
DMC 1	25	Res	1	31	19	19	26	20	20
DMC 1	25	Res	1	30	19	19	25	20	19
DMC 1	25	Res	1	29	19	19	25	20	19
DMC 1	25	Res	1	29	19	19	25	20	19
DMC 1	25	Res	1	29	19	18	25	20	19
DMC 1	25	Res	1	28	19	18	24	20	19
DMC 1	25	Res	1	27	19	18	24	20	19
DMC 1	25	Res	1	27	18	18	24	20	19
DMC 1	25	Res	1	27	18	18	24	19	18
DMC 1	25	Res	1	27	18	18	24	19	18
DMC 1	25	Res	1	26	18	18	24	19	18
DMC 1	25	Res	1	25	18	18	24	19	18
DMC 1	25	Res	1	24	18	18	22	19	18
DMC 1	25	Res	1	24	18	18	22	19	18
DMC 1	25	Res	1	24	18	18	22	19	18
DMC 1	25	Res	1	24	17	17	22	19	18
DMC 1	25	Res	1	24	17	17	22	19	18
DMC 1	25	Res	1	23	17	17	22	19	18
DMC 1	25	Res	1	23	17	17	22	19	17
DMC 1	25	Res	1	23	17	17	22	19	17
DMC 1	25	Res	1	23	17	17	22	19	17
DMC 1	25	Res	1	23	17	17	21	18	17
DMC 1	25	Res	1	22	17	17	21	18	17
DMC 1	25	Res	1	22	17	16	21	18	17
DMC 1	25	Res	1	22	17	16	21	18	17
DMC 1	25	Res	1	22	16	16	21	18	17
DMC 1	25	Res	1	22	16	16	21	18	17
DMC 1	25	Res	1	21	16	16	21	18	16
DMC 1	25	Res	1	21	16	16	20	17	16
DMC 1	25	Res	1	21	16	16	20	17	16
DMC 1	25	Res	1	21	16	16	20	17	16
DMC 1	25	Res	1	21	16	16	20	17	16
DMC 1	25	Res	1	20	16	16	20	17	16
DMC 1	25	Res	1	20	16	16	20	17	16
DMC 1	25	Res	1	20	16	16	20	17	16
DMC 1	25	Res	1	20	16	16	20	17	16
DMC 1	25	Res	1	20	15	15	20	16	16
DMC 1	25	Res	1	20	15	15	20	16	16
DMC 1	25	Res	1	20	15	15	20	16	15
DMC 1	25	Res	1	19	15	15	20	16	15
DMC 1	25	Res	1	19	15	15	20	16	15
DMC 1	25	Res	1	19	15	15	20	16	15
DMC 1	25	Res	1	19	15	15	19	16	15
DMC 1	25	Res	1	19	15	15	19	16	15
DMC 1	25	Res	1	19	15	15	19	16	15
DMC 1	25	Res	1	19	14	15	19	16	15
DMC 1	25	Res	1	19	14	15	19	16	15
DMC 1	25	Res	1	19	14	15	19	16	15
DMC 1	25	Res	1	18	14	15	19	16	15
DMC 1	25	Res	1	18	14	15	19	16	15
DMC 1	25	Res	1	18	14	15	19	15	15
DMC 1	25	Res	1	17	14	15	19	15	15
DMC 1	25	Res	1	17	14	14	19	15	15
DMC 1	25	Res	1	17	14	14	19	15	15
DMC 1	25	Res	1	17	14	14	19	15	15
DMC 1	25	Res	1	17	14	14	19	15	15
DMC 1	25	Res	1	17	14	14	18	15	15
DMC 1	25	Res	1	17	14	14	18	15	15
DMC 1	25	Res	1	17	14	14	18	15	15
DMC 1	25	Res	1	17	14	14	18	15	15
DMC 1	25	Res	1	16	14	14	18	15	15
Média				23m³	17m³	16m³	22m³	17m³	17m³

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 22. Amostras das informações de Pressão e Consumo das ligações – DMC 2

DMC - 2	Pressão - MCA	Categoria	Economia	Vol m³.Jul	Vol m³.Ago	Vol m³.Set	Vol m³.Out	Vol m³.Nov	Vol m³.Dez
DMC 2	15	Res	1	39	38	29	35	31	32
DMC 2	15	Res	1	33	30	29	33	28	27
DMC 2	15	Res	1	33	27	26	31	25	22
DMC 2	15	Res	1	30	24	23	29	24	22
DMC 2	15	Res	1	29	24	22	28	24	22
DMC 2	15	Res	1	29	23	21	28	21	22
DMC 2	15	Res	1	29	22	20	27	21	21
DMC 2	15	Res	1	28	22	20	25	21	21
DMC 2	15	Res	1	28	22	19	25	21	20
DMC 2	15	Res	1	26	18	19	24	20	20
DMC 2	15	Res	1	24	18	19	24	19	20
DMC 2	15	Res	1	24	17	19	22	19	20
DMC 2	15	Res	1	24	17	18	21	19	19
DMC 2	15	Res	1	23	17	18	21	18	19
DMC 2	15	Res	1	23	17	18	21	18	18
DMC 2	15	Res	1	22	16	17	21	18	18
DMC 2	15	Res	1	22	16	17	21	18	17
DMC 2	15	Res	1	21	16	16	20	18	17
DMC 2	15	Res	1	21	16	16	20	17	16
DMC 2	15	Res	1	21	15	15	19	16	16
DMC 2	15	Res	1	21	15	15	19	16	15
DMC 2	15	Res	1	20	15	15	18	15	15
DMC 2	15	Res	1	20	15	15	18	15	14
DMC 2	15	Res	1	19	15	15	18	14	13
DMC 2	15	Res	1	19	14	15	18	14	13
DMC 2	15	Res	1	19	14	14	17	14	13
DMC 2	15	Res	1	19	14	14	17	14	13
DMC 2	15	Res	1	18	14	14	17	13	12
DMC 2	15	Res	1	17	14	14	17	13	12
DMC 2	15	Res	1	17	13	14	17	12	12
DMC 2	15	Res	1	17	13	13	16	12	12
DMC 2	15	Res	1	17	13	13	16	12	12
DMC 2	15	Res	1	16	13	13	15	12	12
DMC 2	15	Res	1	16	13	13	15	12	12
DMC 2	15	Res	1	16	13	13	15	12	11
DMC 2	15	Res	1	16	12	13	15	12	11
DMC 2	15	Res	1	16	12	12	15	12	11
DMC 2	15	Res	1	15	12	12	15	12	11
DMC 2	15	Res	1	15	12	12	15	12	11
DMC 2	15	Res	1	15	12	12	14	12	11
DMC 2	15	Res	1	14	12	12	14	12	11
DMC 2	15	Res	1	14	12	12	14	11	11
DMC 2	15	Res	1	14	11	12	14	11	10
DMC 2	15	Res	1	14	11	12	14	11	10
DMC 2	15	Res	1	14	11	12	14	11	10
DMC 2	15	Res	1	14	11	11	14	11	10
DMC 2	15	Res	1	14	11	11	14	11	10
DMC 2	15	Res	1	13	11	11	14	11	10
DMC 2	15	Res	1	13	11	11	14	10	10
DMC 2	15	Res	1	13	11	11	13	10	10
DMC 2	15	Res	1	12	11	11	13	10	10
DMC 2	15	Res	1	12	11	11	13	10	10
DMC 2	15	Res	1	12	10	10	13	10	10
DMC 2	15	Res	1	12	10	10	13	10	10
DMC 2	15	Res	1	12	10	10	13	9	9
DMC 2	15	Res	1	12	10	10	13	9	9
DMC 2	15	Res	1	12	10	10	13	9	9
DMC 2	15	Res	1	12	10	10	13	9	9
DMC 2	15	Res	1	12	9	9	12	8	8
DMC 2	15	Res	1	11	9	9	12	8	8
DMC 2	15	Res	1	11	9	9	12	8	8
DMC 2	15	Res	1	11	9	9	12	8	8
DMC 2	15	Res	1	11	9	9	11	8	8
DMC 2	15	Res	1	11	9	8	11	8	8
DMC 2	15	Res	1	10	8	8	11	7	8
DMC 2	15	Res	1	10	8	8	11	7	7
DMC 2	15	Res	1	10	8	8	11	7	7
DMC 2	15	Res	1	10	8	8	11	7	7
DMC 2	15	Res	1	10	8	8	10	7	7
DMC 2	15	Res	1	9	8	7	10	7	7
DMC 2	15	Res	1	9	8	7	10	7	7
DMC 2	15	Res	1	9	7	7	9	6	7
DMC 2	15	Res	1	9	7	7	9	6	6
DMC 2	15	Res	1	9	7	7	9	6	6
DMC 2	15	Res	1	8	7	7	8	6	6
DMC 2	15	Res	1	8	7	7	8	6	6
Média				16 m³	13m³	13 m³	16 m³	12 m³	12 m³

Fonte: Autor, 2023.

Analisando os consumos médios registrados pelos hidrômetros das ligações contidas nos DMC's 1 e 2, no período de julho a dezembro de 2023, pode-se verificar que o DMC 1 em média consumiu 6 m³ a mais por ligação do que o DMC 2. Em termos percentuais o comportamento de consumo registrado pelos hidrômetros dos dois setores, denota que o consumo do DMC 1 que possui pressão média de trabalho de 25mca foi 36% superior ao consumo medido pelos hidrômetros do DMC2 que possui pressão média de trabalho de 15 mca. Tal resultado pode ser justificado, considerando que as maiores pressões proporcionam uma maior velocidade de escoamento do fluido que atravessa a câmara de medição e aciona as engrenagens do medidor, possibilitando uma melhor sensibilidade no sistema de medição e portando diminuindo significativamente os erros de medição associados as pequenas vazões de trabalho. Ainda há de se considerar o efeito no comportamento de consumo dos clientes, pois sem o efeito da caixa d'água, por exemplo, onde o consumo é direto da torneira é consideravelmente maior por conta da maior pressão. O comportamento pode ser observado na Tabela 23.

Tabela 23. Comparativo dos consumos médios registrados no DMC 1 e no DMC 2

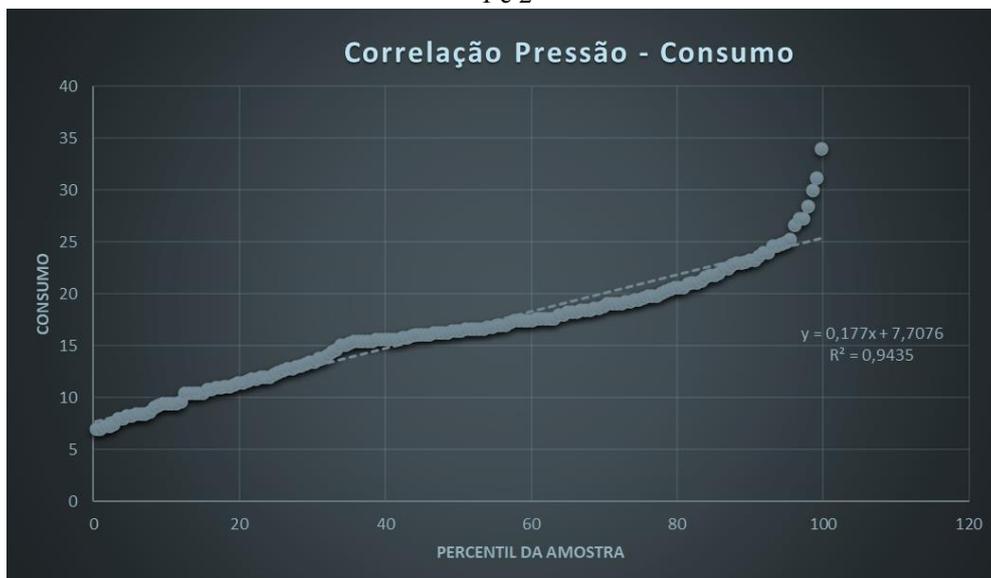
Pressão	Setor	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
25mca	DMC 1	23m ³	17m ³	16m ³	22m ³	17m ³	17m ³
15mca	DMC 2	16 m ³	13m ³	13 m ³	16 m ³	12 m ³	12 m ³
m ²	Diferença média de Cons.	-7m ³	-4m ³	-3m ³	-6m ³	-5m ³	-5m ³
%	Varição Percentual	44%	31%	23%	38%	42%	42%

Fonte: Autor, 2023.

Como fator de confirmação da relação entre a pressão disponível nos DMC's e os respectivos comportamentos de consumo das ligações analisadas, tendo sido aferidos pelos hidrômetros velocimétricos instalados em cada ligação, foi utilizada a ferramenta da correlação de Pearson através do modelo de análise de dados do Microsoft Excel, onde foram imputados aleatoriamente os consumos registrados pelos hidrômetros de cada DMC, bem como as pressões de trabalho de cada um deles, expressos nas tabelas 21 e 22 respectivamente. O tipo de correlação observado foi a correlação positiva e o índice de relação entre as variáveis pressão e consumo registrado foi de 94%, ou seja, denota a alta relação entre a pressão disponível e o comportamento referente a eficiência metrológica dos hidrômetros observados em cada cenário. Tal resultado é expresso pelo R² que pode ser observado na figura 52. Ainda na Figura 52 é estabelecida a equação da reta onde é possível verificar a alteração da variável (Y = Pressão) a partir do efeito na variável (X = Consumo). No gráfico expresso na Figura 52, ainda é possível

observar que os pontos de dispersão, estão concentrados próximo a reta. Esse efeito demonstra que não foi observado na amostra, nenhum desvio considerável no comportamento de consumo que se distancie da média de comportamento de consumo das ligações observadas.

Figura 52 – Índice de Correlação entre a Pressão e o Consumo Registrado pelos Hidrômetros dos DMC'S 1 e 2



Fonte: Autor 2024.

16 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo teve como base fundamental a comparação do comportamento metrológico dos hidrômetros velocimétricos unijatos, quando submetidos a pressões de trabalhos significativamente equidistantes. Por se tratar de um fluxo laminar responsável por acionar a turbina dentro da câmara de medição, que por sua vez possui folgas consideráveis, a medida em que se reduz a pressão de trabalho no sistema, a velocidade da vazão escoada pelo medidor também é diminuída, ficando mais difícil para esse tipo de tecnologia detectar o movimento do fluido escoado, chegando a um limite operacional para manter-se a precisão da medição.

Os levantamentos realizados em laboratório indicaram que o comportamento dos medidores foi significativamente alterado quando foram submetidos a pressões de trabalho entre 5 e 20 mca, ocasionando a uma perda de eficiência metrológica em torno de 33% quando comparados os comportamentos dos hidrômetros submetidos a pressão de trabalho de 5 mca, e os hidrômetros que foram observados com pressão de trabalho de 20 mca respectivamente. Tal comportamento metrológico, também se apresentou, quando foram avaliadas durante um período de seis meses, as ligações residências dos Distritos de Medição e Controle selecionados para o experimento, onde o DMC 1 que possui pressão média de trabalho de 25 mca, apresentou um consumo médio registrado pelos hidrômetros 36% superior as ligações do DMC 2 que possui pressão média de trabalho de 15 mca.

Os valores faturados nas ligações observadas nos dois DMC's também apresentou relevante diferença entre eles, onde o DMC 1 apresentou faturamento 49% superior ao DMC 2. Em valores financeiros e considerando a estrutura tarifária vigente, em todos os seis meses observados, o faturamento do DMC 2 foi maior, denotando um aumento de faturamento de R\$ 31.825,16 no acumulado de seis meses.

Considerando que em ambos os momentos, os eventuais erros de submedição foram compensados, incorporando os respectivos volumes perdidos por essa razão, aos volumes registrados pelos hidrômetros, e que os hidrômetros observados foram definidos pelo mesmo modelo e diâmetros (todos do Tipo Y), dessa forma possuindo a mesma área interna, a variável determinante para a avaliação nesse contexto foi a pressão disponível em cada DMC.

Com base no resultado do modelo estatístico aplicado para avaliar o grau de relação entre o comportamento metrológico dos hidrômetros e a variação de pressão a que foram submetidos, foi apresentado um percentual de 94% no índice de correlação entre as variáveis pressão e consumo medido, ficando evidente e confirmada a significativa influência da variação

da pressão no comportamento metrológico dos modelos de hidrômetros observados no estudo (Velocimétricos Unijatos de Vazão Nominal 0,75 m³/h).

Há de se observar a indicação de que onde houver a utilização desse tipo de tecnologia de medição, a pressão de trabalho dos setores não seja inferior a 20 mca. No entanto onde não for possível estabelecer o controle operacional para garantir a estabilização da pressão, pode-se considerar a aplicação de outra tecnologia de medição que não apresenta perda da eficiência metrológica em função da variação da pressão e consequente variação da velocidade do escoamento.

Recomenda-se portanto a utilização dos medidores volumétricos em setores com baixas pressões, que em razão da sua composição estrutural, o dispositivo sensor do medidor trabalha diretamente com a medição do volume através de um êmbolo acondicionado em uma câmara de medição, porém neste caso com folgas mínimas entre o dispositivo móvel e as paredes fixas da câmara, de forma que o volume de água que adentra ao interior da câmara de medição, necessita obrigatoriamente acionar o embolo para que possa escoar pela outra extremidade do conduto, fazendo com que os medidores com esse princípio de funcionamento consigam ser sensíveis a velocidades extremamente baixas, garantindo dessa forma a manutenção da eficiência metrológica quando aplicados em sistemas com pressões de trabalhos abaixo do indicado nesse estudo.

17 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão de trabalhos futuros recomenda-se a substituição da tecnologia de medição nas ligações estudadas no DMC 2, substituindo os medidores velocimétricos unijatos instalados, por medidores volumétricos. Objetiva-se com essa ação, neutralizar o efeito da redução da pressão no setor, no comportamento metrológico dos hidrômetros e por consequência o aumento do volume medido/faturado, proporcionando aumento de faturamento das ligações observadas.

Assim, será possível avaliar se os investimentos aplicados na troca dos equipamentos de medições serão justificados pela tendência de aumento de faturamento. Objetiva-se com essa ação, neutralizar o efeito da redução da pressão no setor, no comportamento metrológico dos hidrômetros e por consequência o aumento do volume medido/faturado, proporcionando aumento de faturamento das ligações observadas.

REFERÊNCIAS

- ARREGUI, F., CABRERA Jr., E, COBACHO, R., GARCIA-SERRA, J. (2005). **Key Factor affecting Water Meter Accuracy Leakage 2005**. Anais do Leakage 2005 do IWA, 90-99, Halyfax, Nova Scotia, Canada.
- ARREGUI, F., CABRERA Jr., E; COBACHO, R. **Integrate water meter magnamente**. London: IWA Publishing, 2006. 272 p.
- BUTLER, DAVID. Leakage Detection and Management: a comprehensive guide to technology and practice in the water supply industry. Cwmbran: Palmer Environmental, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 212: Estabelecer características metrológicas para medidores de água fria. Rio de Janeiro: ABNT, 2002
- Azevedo Neto, et. al. **Manual de Hidráulica**. 8. Ed. 1988.
- CLARK et al. Water Supply and pollution. 3. ed. Harper & Row, Publishers. New York, 1977.
- COELHO, C. C. **Micromedição em sistema de abastecimento de água**. João Pessoa: Editora Universitária da UFBP, 2009. 348 p.
- GL Conejo, ARG Lopes, E Marcka - Brasília: PNCDA, 1999.
- FARLEY, M. **Leakage Management and Control – A Best Practice Training Manual**. World Health Organization, 163p. Geneva, 2001.
- FARLEY, MALCON; TROW, STUART. Losses in Water Distribution Networks: a practitioner's guide to assessment, monitoring and control. 1 ed. London: IWA Publishing, 2003.
- FAVERO, J. A.; DIB, M. E. M. Pesquisa e Controle de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água. Revista DAE, São Paulo, ed. 126, p. 50-59, 1981.
- GONÇALVES, E. ALVIM, P. R. A. Guia prático para pesquisa e combate a vazamentos não visíveis. Programa de modernização do setor saneamento – PMSS. DTA G3, 2007.
- FERRÉOL, E. How to measure and reduce the water meter park inefficiency? In: IWA LEAKAGE 2005 CONFERENCE, Proceedings..., Halifax, Canadá, 2005.
- FONSECA, P; COELHO, A. C. Manutenção de hidrômetros - um problema econômico. In: 25º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2009. Recife – PE, Anais... Rio de Janeiro - RJ: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009. 11 p.
- Fraga, A.S. e Silva Samuel, P.R.. (1995). Experiência do DMAE no combate às perdas através de implantação de distrito pitométrico. ASSEMAE, 53-64

GUMIER, Carlos C.; LUVIZOTTO JÚNIOR, Edevar. Aplicação de modelo de simulação-otimização na gestão de perda de água em sistemas de abastecimento. Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 12, nº 1, jan/mar 2007.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Orgs). **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

IWA. The International Water Association. **Digital Water: Industry Leaders Chart the Transformation Journey**. London, 2019.

Jang D., Park H. & Choi G. 2018 **Estimation of leakage ratio using principal component analysis and artificial neural network in water distribution systems**. Sustainability.

Manzi, Daniel. **A Hidráulica de todo dia no Saneamento**. 15p. 2020.

MORRISON, J.; TOOMS, S.; ROGERS, D. **District Metered Areas Guidance Notes**. DMA Team of the Water Loss Task Force. International Water Association (IWA). London. 2007. 100 p.

Nielsen, M.J. et al (2003). **Medição de Água, Estratégias e Experimentações**. Companhia de Saneamento do Paraná, Brasil, 220 p.

TARDELLI FILHO, J. **Controle e Redução de Perdas**. Capítulo 10. In: Abastecimento de Água. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. Water Loss Control. 2º ed. EUA. McGraw-Hill, 2008. P. 345 – 350.

THORNTON, J. e RIZZO, A. (2002). Apparent Losses, How Low Can You Go? Leakage Management Conference Proceedings do International Water Associations (IWA), Chipre

TOLEDO, Geraldo Luciano. Estatística Básica. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2985.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 3ª Edição, 2006.