



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

RODRIGO AKIRA KAIBARA ENDO

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE VÁLVULA REDUTORA DE
PRESSÃO (VRP) DO TIPO AÇÃO DIRETA EM SETOR COM BAIXO
CONSUMO DE ÁGUA**

**RIBEIRÃO PRETO
2024**

RODRIGO AKIRA KAIBARA ENDO

AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO (VRP) DO TIPO AÇÃO DIRETA EM SETOR COM BAIXO CONSUMO DE ÁGUA

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

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Almeida Frata

Ribeirão Preto
2024

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

- Universidade de Ribeirão Preto -

E56a ENDO, Rodrigo Akira Kaibara, 1994-
Avaliação da aplicação de válvula redutora de pressão (VRP)
do tipo ação direta em setor com baixo consumo de água / Rodrigo
Akira Kaibara Endo. – Ribeirão Preto, 2024.
85 f. : il. color.

Orientador: Prof.º Dr.º Gustavo Almeida Frata.

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

1. Válvula redutora de pressão. 2. Regularização de pressão.
3. Redução de pressão. 4. Abastecimento de água. II. Título.

CDD 628

RODRIGO AKIRA KAIBARA ENDO

**“AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO
(VRP) DO TIPO AÇÃO DIRETA EM SETOR COM BAIXO CONSUMO DE
ÁGUA”**

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. Gustavo Almeida Frata

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 22 de fevereiro de 2024

Resultado: **APROVADO**

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **GUSTAVO ALMEIDA FRATA**
Data: 22/02/2024 18:11:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 **LUCIANO FARIAS DE NOVAES**
Data: 26/02/2024 10:31:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 **VINICIUS MASQUETTI DA CONCEICAO**
Data: 23/02/2024 12:16:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gustavo Almeida
Frata
Presidente/UNAERP

Prof. Dr. Luciano Farias de
Novaes
UNAERP

Prof. Dr. Vinicius Masquetti
da Conceição
UFRJ

**RIBEIRÃO PRETO
2024**

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Maria José Murer Kaibara Endo e Miguel Aparecido Kaibara Endo, que acreditaram em mim e não mediram esforços para investir na minha formação acadêmica.

Aos meus avós, Aurides Della Coletta Murer e José Murer (*in memoriam*), que me ensinaram valores importantes para toda a vida.

À minha companheira Ana Cláudia Fernandes Ballan, que me acompanhou e deu incentivo durante essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Doutor Gustavo Almeida Frata pela orientação, análise cuidadosa, comprometimento e suporte.

Aos professores Doutores Luciano Farias de Novaes e Isadora Alves Lovo Ismail, pelas contribuições valiosas para o trabalho.

Aos companheiros do dia a dia profissional que foram de extrema importância para o desenvolvimento deste trabalho.

"O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis."

José de Alencar

RESUMO

A regularização das pressões de acordo com as normas vigentes é um dos grandes problemas enfrentados por órgãos responsáveis pelas redes de distribuição de água dos municípios. A implantação da setorização é uma das principais soluções adotadas com o intuito de regularizar as pressões, entretanto, em certos casos não soluciona o problema por completo. Nesse contexto, a presente pesquisa teve como objetivo a delimitação de um setor com a implantação de uma válvula redutora de pressão (VRP) do tipo ação direta em uma área com baixo consumo de água em um município localizado no interior do estado de São Paulo. Com o conhecimento de que uma região possuía pressões altas, foram realizados estudos e levantamento de dados técnicos *in loco* com a coleta de pressões, que possibilitaram o dimensionamento e elaboração de projeto para delimitação de setor e implantação de VRP. Após as obras serem executadas foi realizada uma nova coleta de dados para validação dos serviços. Antes da execução das obras, pressões que atingiam 70 mca, reduziram para 43 mca, demonstrando que a VRP do tipo ação direta viabilizou a regularização das pressões de uma área com baixo consumo de acordo com a norma vigente. A área delimitada possui 29 ligações e consumo médio total de água de 600 m³ por mês. Os custos estimativos para a implantação da VRP e intervenções totalizaram R\$ 16.680,13, o que resulta em cerca de R\$ 575,18/ligação, R\$ 143,80/habitante ou ainda R\$ 2,32/m³ de água faturada anualmente. Além disso, com a regularização das pressões é estimada uma economia de R\$ 6.762,54/ano com a manutenção de tubulações rompidas devido altas pressões, reduzindo consequentemente, impactos ao meio ambiente.

Palavras-chave: Válvula Redutora de Pressão; Regularização de pressão; Redução de Pressão; Setor de abastecimento; Abastecimento de água.

ABSTRACT

Regulating pressures in accordance with current standards is one of the major problems faced by bodies responsible for municipal water distribution networks. The implementation of sectorization is one of the main solutions adopted with the aim of regularizing pressures, however, in certain cases it does not solve the problem completely. In this context, the present research aimed to delimit a sector with the implementation of a direct action pressure reducing valve (VRP) in an area with low water consumption in a municipality located in the interior of the state of São Paulo. With the knowledge that a region had high pressures, studies were carried out and technical data collected on site with the collection of pressures, which made it possible to design and prepare a project to delimit the sector and implement VRP. After the works were carried out, a new data collection was carried out to validate the services. Before the execution of the works, pressures that reached 70 mca reduced to 43 mca, demonstrating that the direct action type VRP made it possible to regularize pressures in an area with low consumption in accordance with current standards. The delimited area has 29 connections and a total average water consumption of 600 m³ per month. The estimated costs for implementing the VRP and interventions totaled R\$ 16,680.13, which results in approximately R\$ 575.18/connection, R\$ 143.80/inhabitant or R\$ 2.32/m³ of billed water annually. In addition, with the regularization of pressures, it is estimated that there will be savings of R\$ 6,762.54/year in the maintenance of broken pipes due to high pressures, consequently reducing impacts on the environment.

Keywords: Pressure Reducing Valve; Pressure regularization; Pressure Reduction; Supply sector; Water supply.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concepção geral simplificada de um sistema de abastecimento de água .	20
Figura 2. Exemplo de uma estação de tratamento de água convencional.....	22
Figura 3. Exemplo de uma estação de tratamento compacta.....	22
Figura 4. Exemplo de um reservatório semi-enterrado.....	24
Figura 5. Exemplo de um reservatório apoiado.....	25
Figura 6. Exemplo de um reservatório elevado.....	26
Figura 7. Exemplo de um booster.....	27
Figura 8. Manômetro Analógico.....	30
Figura 9. Modelo de equipamento Datalogger de pressão.....	30
Figura 10. Exemplo de delimitação de setores.....	32
Figura 11. Exemplo de contagem para estimativa do número de ligações.....	33
Figura 12. Exemplo de um projeto geral de intervenções físicas necessárias para a delimitação de setores.....	34
Figura 13. Exemplo de intervenção realizada em SAA.....	35
Figura 14. Macromedidor instalado na tubulação de abastecimento de um setor....	36
Figura 15. VRP instalada em conjunto com macromedidor em tubulação de abastecimento de água.....	36
Figura 16. Exemplo de teste de pressão zero.....	39
Figura 17. VRP do tipo Ação Direta.....	40
Figura 18. Princípio de funcionamento da VRP do tipo Ação Direta.....	41
Figura 19. Faixa de velocidade de acordo com o diâmetro e vazão.....	41
Figura 20. VRP do tipo proporcional.....	42
Figura 21. VRP do tipo pilotada.....	44
Figura 22. Princípio de funcionamento da VRP do tipo pilotada.....	45
Figura 23. VRP do tipo pilotada com controle automatizado e remoto.....	46
Figura 24. Fluxograma metodológico de realização do trabalho.....	47
Figura 25. Área de estudo para implantação de VRP.....	53
Figura 26. Localização do Centro de Reservação da Polícia Militar e da área de estudo.....	54
Figura 27. Cadastro das redes de água da região pertencente a presente pesquisa.....	55
Figura 28. Vista do equipamento instalado no Ponto 01.....	56

Figura 29. Vista do equipamento instalado no Ponto 02	56
Figura 30. Vista do local onde foram implantados os equipamentos dataloggers.....	57
Figura 31. Resultados do equipamento instalado no Ponto 01.....	58
Figura 32. Resultados do equipamento instalado no Ponto 02.....	58
Figura 33. Delimitação da área em que é necessária a redução de pressão	59
Figura 34. Delimitação do setor proposto junto às intervenções necessárias e a identificação do ponto de instalação da VRP	60
Figura 35. Projeto de implantação da válvula redutora de pressão de ação direta...	64
Figura 36. Intervenção a ser executada para a delimitação do setor.....	67
Figura 37. Intervenção a ser executada para a delimitação do setor.....	67
Figura 38. Válvula redutora de pressão de ação direta adquirida.....	68
Figura 39. Válvula redutora de pressão de ação direta junto ao filtro Y adquirido	68
Figura 40. Abertura de vala para implantação da VRP.....	69
Figura 41. VRP de ação direta e filtro Y implantados	69
Figura 42. Vista da VRP de ação direta regulada em 40 mca	70
Figura 43. Vista da caixa executada para abrigo da VRP	70
Figura 44. Vista da recomposição do pavimento após a implantação da VRP	71
Figura 45. Vista do equipamento instalado no Ponto 01	72
Figura 46. Vista do equipamento instalado no Ponto 02	72
Figura 47. Pressões regularizadas no Ponto 01 após a instalação da VRP de ação direta.....	73
Figura 48. Pressões regularizadas no Ponto 02 após a instalação da VRP de ação direta.....	73
Figura 49. Comparativo das pressões antes e após a implantação da VRP no Ponto 01.....	74
Figura 50. Comparativo das pressões antes e após a implantação da VRP no Ponto 02.....	74
Figura 51. Pressões coletadas no ponto crítico do setor delimitado.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Proporção de redução de pressão de acordo com o diâmetro	43
Tabela 2. Vazões recomendadas de acordo com o diâmetro	43
Tabela 3. Consumo médio mensal das ligações da área delimitada	61
Tabela 4. Vazões máximas recomendadas para a VRP 42LP de acordo com o diâmetro	62
Tabela 5. Custos estimativos para a implantação da VRP e intervenções	65
Tabela 6. Resumo das pressões antes e após a implantação da VRP	75
Tabela 7. Variância e desvio padrão dos dados coletados.....	76
Tabela 8. Custos estimativos para execução de 1 (um) reparo de tubulação rompida	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DMC	Distrito de Medição e Controle
kPa	Quilopascal
mca	Metros de Coluna de Água
NB	Norma Brasileira
NBR	Norma Brasileira
SAA	Sistema de abastecimento de água
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TPC	Teste de Pressão em Carga
TPZ	Teste de Pressão Zero
VRP	Válvula Redutora de Pressão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1	CONCEPÇÃO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	20
3.1.1	Captação de Água	20
3.1.2	Tratamento de Água	21
3.1.3	Armazenamento e Distribuição	22
3.2	VAZÃO E CONSUMO DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO	27
3.3	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA MEDIÇÃO DE PRESSÃO	29
3.4	SETORIZAÇÃO	30
3.4.1	Delimitação dos Setores	31
3.4.2	Estimativa do Número de Ligações e Vazão de Abastecimento dos Setores	32
3.4.3	Análise dos Reservatórios	33
3.4.4	Elaboração de Projeto com Lista de Materiais Hidráulicos Necessários para as Intervenções Físicas do Setor	34
3.4.5	Execução das Intervenções Necessárias	35
3.4.6	Teste de Estanqueidade para Validação do Setor	37
3.5	VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO (VRP)	39
3.5.1	VRP de Ação Direta	39
3.5.2	VRP Proporcional	42
3.5.3	VRP Pilotada	43
3.6	AGÊNCIA REGULADORA	46
4	MATERIAL E MÉTODOS	47
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES DISPONIBILIZADAS	48
4.2	LEVANTAMENTO DE DADOS TÉCNICOS <i>IN LOCO</i>	48
4.3	DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DA VRP	49
4.4	ACOMPANHAMENTO DA OBRA	50
4.5	LEVANTAMENTO DE DADOS PARA VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS	50
4.6	INDICADORES E <i>PAYBACK</i>	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52

5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES DISPONIBILIZADAS	52
5.2	LEVANTAMENTO DE DADOS TÉCNICOS <i>IN LOCO</i>	55
5.3	DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DA VRP...59	
5.4	ACOMPANHAMENTO DA OBRA.....	66
5.5	LEVANTAMENTO DE DADOS PARA VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS.71	
5.6	INDICADORES E PAYBACK.....	77
6	CONCLUSÕES	80
	REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, com o elevado crescimento urbano e desenvolvimento dos municípios, é nítido que em muitos casos, os municípios não estavam preparados para as vertentes do saneamento, ou seja, a evolução ocorreu conforme a demanda necessária, sem planejamento (Santos, 2017).

O tratamento e a distribuição de água é um exemplo que vem sofrendo consequências nesse contexto, uma vez que a água é um bem necessário para o ser humano e os índices de perdas são protuberantes. Além disso, é de suma importância diminuir o desperdício com a finalidade de preservar o recurso hídrico (Freitas et al, 2007).

Segundo Gonçalves e Lima (2007), com o intuito de facilitar a operação e solucionar problemas relacionados à expansão da rede de distribuição de água sem planejamento, uma solução que os municípios vêm implantando é a setorização das redes de distribuição de água, ou seja, a divisão das áreas de abastecimento para obtenção de melhor controle e medição, otimização da operação em manutenções e regularização das pressões conforme normas vigentes.

Para a elaboração de projetos de setorização é imprescindível o uso da Norma Brasileira (NBR) 12.218/2017 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), cujo objetivo é fixar condições exigidas para projetos de rede de distribuição de água para abastecimento público.

Dentre as exigências constantes na Norma Técnica NBR 12.218/2017 é estabelecido que a pressão dinâmica mínima de serviço das tubulações de água seja de 100 kPa, e que a pressão estática máxima seja de 400 kPa, podendo chegar até 500 kPa em regiões com topografia acidentada (ABNT, 2017).

Um determinado município, localizado no interior do estado de São Paulo, está implantando a setorização e já possui grande parte do sistema de distribuição de água dividido em setores. Com a implantação da setorização que vem sendo realizada, é possível observar melhorias significativas em relação a redução de perdas de água, controle do volume distribuído, redução de manutenções e regularização das pressões nas redes de distribuição de água, ou seja, os benefícios são tanto da parte técnica quanto econômica.

Nesse contexto, o município em questão possui alguns setores de abastecimento localizados em regiões com topografia acidentada, setores esses que

apenas a delimitação da setorização não foi suficiente para a regularização das pressões, e que apresentam não em sua totalidade, porém, em determinadas áreas, pressões acima de 50 mca, com locais atingindo até 75 mca. Com isso a autarquia foi notificada pela Agência Reguladora ARES-PCJ para que essa pequena parcela de um determinado setor de abastecimento se enquadre dentro das exigências constantes na Norma Técnica NBR 12.218/2017.

Geralmente, para redução das pressões em redes de distribuição de água, são utilizadas válvulas redutoras de pressão, as quais possuem o objetivo de reduzir a pressão da água ao passar pela válvula. Tal redução se dá de forma mecânica, aplicando uma perda de carga significativa, de acordo com parâmetros pré-definidos. Atualmente há diversos modelos de válvulas redutoras de pressão para diferentes tipos de aplicação, cujo princípio de regulação varia de uma, para outra, desde manual até automatizada (Suzumura; Soares, 2017).

Para os sistemas de distribuição de água são utilizadas VRPs do tipo pilotadas, que são válvulas com regulagens mais avançada, podendo também serem automatizadas. Dessa forma, quando o assunto é reduzir pressão em rede de distribuição, a maioria dos órgãos responsáveis pela distribuição de água, optam pela VRP pilotada.

Existem também as VRPs do tipo ação direta, que são válvulas mais simples, contudo, também reduzem as pressões, mas não podem ser automatizadas. Segundo Carvalho Júnior (2021), geralmente são utilizadas em instalações prediais, ou seja, em edifícios com mais de 13 pavimentos, considerando pé direito de três metros, com o intuito de reduzir as pressões de água dos pavimentos inferiores.

Em ambas utilizações, tanto no sistema de distribuição de um município, quanto do sistema predial, para a definição do modelo e diâmetro da VRP a ser utilizada, é necessário realizar o dimensionamento de acordo com a demanda de consumo do local a ser instalada (Junior; Vatauvuk, 2023).

Com isso, por se tratar de uma rede de distribuição de um setor e não de um prédio, ao dimensionar uma VRP do tipo pilotada para as áreas reduzidas, com topografia acidentada e baixo consumo, não é encontrado nenhum diâmetro compatível, ou seja, a demanda de consumo é menor que a vazão mínima do menor diâmetro da VRP do tipo pilotada. Com isso, a mesma não irá funcionar adequadamente.

Dessa forma, quando ocorrem pressões altas em áreas reduzidas de determinados setores, o uso de VRPs fabricadas para serem utilizadas em sistema de distribuição de água é impossibilitado.

Devido as instalações prediais possuir vazões menores, quando comparados com sistemas de distribuição, a utilização de VRPs de ação direta em áreas reduzidas de determinados setores com problemas de pressão alta pode trazer os benefícios desejados quanto a regularização de pressões e ao atendimento as normas vigentes.

A partir do exposto, a presente pesquisa possui o objetivo de delimitar um setor e avaliar a aplicação de uma válvula redutora de pressão (VRP) do tipo ação direta em uma área com baixo consumo de água, com topografia acidentada, em um município localizado no interior do estado de São Paulo visando a regularização das pressões em conformidade com as normas vigentes.

2 OBJETIVOS

Na sequência serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos.

2.1 OBJETIVO GERAL

Delimitar um setor e avaliar a aplicação de uma válvula redutora de pressão (VRP) do tipo ação direta em uma área com baixo consumo de água, com topografia acidentada, em um município localizado no interior do estado de São Paulo visando a regularização das pressões em conformidade com as normas vigentes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

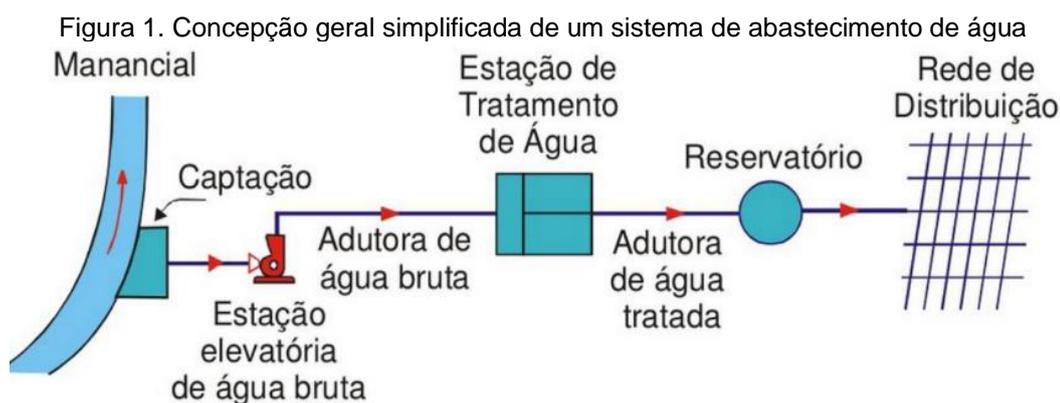
- Caracterizar a área de estudo, identificar por meio análises prévias a região que possui altas pressões e realizar a coleta de informações reais *in loco*;
- Elaborar projeto de delimitação e dimensionamento de VRP para regularizar as pressões da rede de distribuição de acordo com a norma;
- Acompanhar a execução das obras propostas e identificar possíveis dificuldades;
- Realizar levantamento de pressões após a execução das obras para validação dos resultados e atendimento da notificação oriunda da Agência Reguladora ARES-PCJ;
- Realizar análise de *payback* e cálculo de indicadores relativos aos investimentos realizados.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CONCEPÇÃO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Um sistema de abastecimento de água (SAA) é composto resumidamente por captação, tratamento, armazenamento e distribuição (Tsutiya, 2006).

A Figura 1 apresenta a concepção geral simplificada de um sistema de abastecimento de água.



Fonte: TSUTIYA, 2006.

3.1.1 Captação de Água

Por definição, captação é um conjunto de equipamentos e de estruturas necessárias para a retirada da água de maneira superficial ou subterrânea para o posterior uso no sistema de abastecimento (Heller; Pádua, 2016).

A captação superficial é realizada geralmente em rios e represas, e consiste em uma ou mais tubulações que encaminham a água captada até a estação de tratamento de água.

A forma pela qual a captação superficial é realizada depende do local da mesma e do local de destino da água captada, que é a estação de tratamento de água. Se o local de destino estiver em uma cota maior que o local da captação, é necessário que seja realizada uma captação por meio de recalque, ou seja, com o auxílio de conjuntos motor-bombas, caso contrário, se o local de destino estiver em uma cota menor que o local da captação, é possível que a captação seja realizada por gravidade, desde que não haja cotas maiores durante esse caminhamento da tubulação (Tsutiya, 2006).

Já a captação subterrânea se dá por meio da perfuração de poços tubulares profundos para a captação da água do aquífero.

Na maioria dos poços tubulares profundos é necessário o uso de conjuntos motor-bombas submersos que recalcam a água do aquífero, porém, é possível encontrar poços jorrantes, poços esses que jorram a água até a superfície do solo, não necessitando assim de conjuntos motor-bombas (BRASIL, 2006).

Destaca-se que a água do aquífero, até chegar ao aquífero, passa por diversas camadas de rochas, e nesse caminhar já vem recebendo uma filtração, portanto, para o tratamento das águas captadas através de poços tubulares profundos é necessário apenas cloro e flúor, e, em alguns casos somente cloro (MACÊDO, 2007, p.195).

Por esse motivo, isto é, por não necessitar de um tratamento complexo como a captação superficial, geralmente no local onde é perfurado um poço é construído também um reservatório para posterior distribuição da água para a população.

3.1.2 Tratamento de Água

A água oriunda da captação superficial, chamada de água bruta, necessita de um tratamento de maior complexidade quando comparada com a água oriunda de aquíferos. Portanto, ao chegar até a estação de tratamento de água, a água passa por diversos processos, todos eles com o objetivo de preparar a água para o próximo processo. “O que se espera é que a qualidade da água tratada seja sempre superior em relação aos padrões de potabilidade vigentes” (Ferreira Filho, 2020, p. 7).

O primeiro desses processos é a coagulação, onde são adicionados produtos químicos, geralmente sulfato de alumínio, com o objetivo de juntar as partículas de sujeira. Após a coagulação a água segue para floculadores, onde, através de uma mistura lenta, os flocos se formam a partir das partículas de sujeira juntas. Com os flocos formados, a água segue para decantadores, que possuem o objetivo de reter esses flocos, ou seja, separar. E, por fim, a água segue para filtros, que possuem o objetivo de retirar alguns flocos que não foram retirados nos processos anteriores. Após esses processos a água recebe cloro e flúor e já está potável, portanto, é armazenada em reservatórios para a distribuição para consumo (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2018).

Existem diferentes tipos de estações de tratamento de água, porém, as mais encontradas no Brasil são de dois tipos, a convencional e a compacta. A estação de tratamento de água do tipo convencional é composta por grandes módulos, onde cada módulo é responsável por uma parte do tratamento, portanto a área necessária para

a implantação de uma estação de tratamento do tipo convencional é ampla. Já a estação de tratamento de água do tipo compacta, como o próprio nome já diz, é menor, portanto, não necessita de área muito grande. A Figura 2 e a Figura 3 apresentam respectivamente exemplos de estação de tratamento de água convencional e compacta.

Figura 2. Exemplo de uma estação de tratamento de água convencional



Fonte: SAAESP São Pedro, 2023.

Figura 3. Exemplo de uma estação de tratamento compacta



Fonte: Naqua, 2024.

3.1.3 Armazenamento e Distribuição

Após o tratamento, a água necessita ser armazenada para posteriormente ser distribuída para consumo. O armazenamento possibilita segurança ao sistema de abastecimento, pois em caso de alguma interrupção dos sistemas anteriores, ou seja, na captação, na estação de tratamento de água ou até mesmo no fornecimento de energia, o reservatório continua alimentando a rede de distribuição por mais algumas horas (Azevedo Netto; Fernandez, 2015).

Para o armazenamento são utilizados reservatórios de diferentes formatos e materiais e, além da função de armazenamento, o reservatório também possui a finalidade de regularizar vazão e pressão.

Em relação à regularização da vazão, pode-se entender que o reservatório recebe uma determinada vazão constante, vazão essa pré-dimensionada de acordo com o dia de maior consumo da área em que ele abastece, sendo que nos horários de pico de demanda, é capaz de alimentar a rede de distribuição, abaixando seu nível de armazenamento, e, nos horários em que a demanda é baixa, continua alimentando a rede de distribuição e elevando seu nível de armazenamento, ou seja, enchendo. Já em relação à regularização de pressão, entende-se que o tipo de reservatório e sua localização podem interferir diretamente na pressão da rede de distribuição (Heller; Pádua, 2016).

Segundo a NBR 12.218 (ABNT, 2017, p.13), é estabelecido que a pressão dinâmica mínima de serviço das tubulações de água seja de 100 kPa, e que a pressão estática máxima seja de 400 kPa, podendo chegar até 500 kPa em regiões com topografia acidentada. Com isso é necessário analisar o local apropriado, levando em conta a topografia, e o tipo de reservatório apropriado para cada situação projetada.

Destaca-se que existem reservatórios acompanhados de conjuntos motor-bombas, chamados de boosters, com o objetivo de auxiliar no abastecimento de uma determinada área em que somente com a altura dos reservatórios existentes não é possível de se obter a pressão dinâmica mínima estabelecida (BUI; XANG, 2023).

Na sequência serão descritos os diferentes tipos de reservatórios conforme suas classificações e o booster.

Os reservatórios enterrados são construídos em alvenaria e concreto armado e normalmente estão localizados nas estações de tratamento de água. Portanto, em uma estação de tratamento de água, após a passagem da água pelos filtros, a mesma é clorada e fluoretada e segue para os reservatórios enterrados através de gravidade, não necessitando de conjuntos motor-bombas. Com isso, pode-se dizer que eles servem como poços de sucção para os conjuntos motor-bombas que distribuem a água contida neles para outros reservatórios do sistema (Ramos, 2009).

Destaca-se que, dependendo da localização, o reservatório enterrado também pode abastecer áreas com baixas cotas em relação a ele, desde que atenda os padrões exigidos pela NBR 12218 (ABNT, 2017, p.13).

Em relação aos reservatórios semi-enterrados (Figura 4), também são construídos em alvenaria e concreto armado e são utilizados da mesma forma que os enterrados, tanto para sucção de conjuntos motor-bombas quanto para alimentação da rede de distribuição atendendo aos padrões exigidos de pressão na rede de distribuição. Destaca-se que, para ser considerado como semi-enterrado, é necessário que um terço ou mais da sua altura total esteja localizada abaixo do nível do terreno (Tsutiya, 2006).

Figura 4. Exemplo de um reservatório semi-enterrado



Fonte: CORSAN, 2020.

Os reservatórios apoiados (Figura 5) podem ser metálicos, de concreto armado ou de alvenaria, sendo que a maioria encontrada no Brasil é metálico.

Geralmente são alimentados através de algum conjunto motor-bomba, do mesmo local ou de outro local, e são utilizados para abastecer diretamente a rede de distribuição de água por gravidade. Destaca-se que tanto nos reservatórios enterrados e semi-enterrados, quanto nos apoiados, é possível de instalar conjuntos motor-bombas, que são chamados de boosters, caso seja necessário abastecer uma área em que o nível seja maior que o nível de sua localização.

Figura 5. Exemplo de um reservatório apoiado



Fonte: SAAEC Cerquilha, 2022.

Os reservatórios elevados (Figura 6) são construídos em alvenaria, concreto armado e podem ser metálicos também. Quando comparado com os outros tipos de reservatórios, o custo de implantação é alto, devido principalmente à fundação necessária para sustentação.

Destaca-se que geralmente os reservatórios elevados são alimentados por conjuntos motor-bombas e são utilizados para abastecer regiões de cotas mais altas ou regiões próximas a ele, devido à pressão que ele é capaz de disponibilizar na rede de distribuição.

Vale lembrar que devido aos custos, normalmente é utilizado como dimensionamento para o reservatório elevado, no máximo 20% do volume distribuído em 24 horas referente a região de abastecimento. (Azevedo Netto; Fernandez, 2015).

Portanto, devido a limitação de armazenamento, é comum a existência de reservatório de outros tipos próximos a reservatórios elevados, com o objetivo de ser utilizado tanto como armazenamento adicional quanto ponto de sucção para os conjuntos motor-bombas (Tsutiya, 2006).

Figura 6. Exemplo de um reservatório elevado



Fonte: Azevedo Netto; Fernandez, 2015.

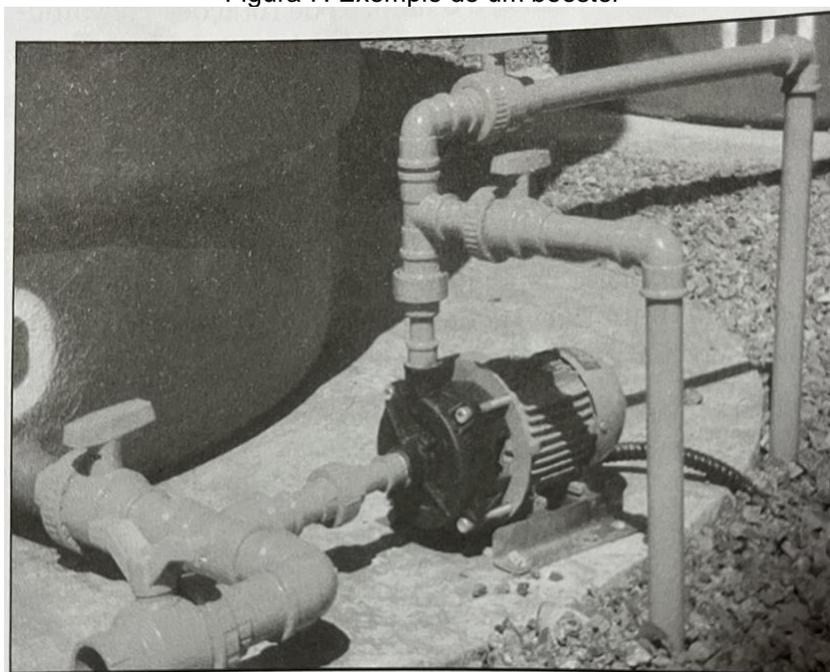
O booster ou estação pressurizadora (Figura 7), como também é conhecido, são equipamentos utilizados em sistemas de abastecimento de água com a finalidade de aumentar a pressão ou a vazão de água em um determinado ponto ou local. Geralmente um booster é composto por dois conjuntos motor-bombas, sendo um reserva do outro, pois há uma quantidade significativa de manutenções (Azevedo Netto; Fernandez, 2015).

Em um sistema de distribuição de água, onde o booster é instalado na saída de um reservatório, a finalidade é o aumento da pressão, substituindo assim o uso de reservatório elevado, e atendendo os padrões exigidos pela NBR 12.218 (ABNT, 2017, p.13).

Na rede de distribuição de água há grandes variações de consumo ao longo do dia e o booster necessita garantir o abastecimento de água durante o dia todo, ou seja, 24 horas, portanto para economizar energia nos momentos do dia em que não é necessário o booster utilizar cem por cento de sua capacidade, é utilizado um equipamento para variar a rotação da bomba (Manzi, 2020).

Um dos equipamentos mais utilizados atualmente para variar a rotação das bombas dos boosters é o inversor de frequência, que recebe sinais de sensores de pressão instalados em determinados pontos da rede de distribuição, e, através desses sinais produz variações nas frequências que alimentar o motor elétrico, com isso, a rotação da bomba varia (Tsutiya, 2006).

Figura 7. Exemplo de um booster



Fonte: Azevedo Netto; Fernandez, 2015.

3.2 VAZÃO E CONSUMO DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Para projetar um sistema de abastecimento de água é fundamental realizar uma previsão da quantidade de água que será consumida. Com isso, através de cálculos é possível de se obter uma determinada vazão de consumo para dar sequência a um dimensionamento.

A vazão de consumo em residências é influenciada por diversos fatores, dentre eles os mais comuns são, a temperatura média do local, a frequência de precipitações de chuvas, número de habitantes por residência, área ocupada do terreno, renda familiar, a pressão da água, a medição com hidrômetros, e a tarifação (Tsutiya, 2006).

Dessa forma, de acordo com Porto (2006) o dimensionamento de cada unidade de um sistema de abastecimento de água tem por parâmetro de cálculo a vazão de demanda, e a vazão média pode ser expressa pela equação (1):

$$Q_M = \frac{C \times \text{Lig} \times I}{86.400} \quad (1)$$

Em que:

C = Consumo per capita (L/hab.dia);

Lig = Número de ligações existentes no setor de abastecimento;

I = Número de habitantes por ligação;

Q_M = Vazão média (L/s).

Quando a situação em estudo já é existente há maneiras para calcular o consumo per capita, portanto, quando a situação em estudo se trata de um projeto é adotado uma quantia normalmente utilizada em outros projetos que obtiveram sucesso.

Dentre as diversas variações de consumo que existem em sistemas de abastecimento de água, as que são levadas em conta para o dimensionamento são as variações diárias e as horárias. A variação diária é definida pela razão entre o dia de maior consumo em um período de um ano pelo consumo médio diário nesse mesmo ano. Já a variação horária é definida pela razão entre a maior vazão horária obtida em um dia pela vazão média desse mesmo dia. (Azevedo Netto; Fernandez, 2015).

Portanto, levando em conta as variações diárias, a vazão utilizada para dimensionamento das unidades a montante dos reservatórios de distribuição, também conhecida como a vazão do dia de maior consumo, pode ser expressa pela equação (2):

$$Q_{DMC} = Q_M \times k_1 \quad (2)$$

Em que:

Q_M = Vazão média (L/s);

K_1 = Coeficiente do dia de maior consumo (geralmente é utilizado 1,20);

Q_{DMC} = Vazão do dia de maior consumo (L/s).

Já, a vazão utilizada para o dimensionamento da distribuição de água, leva em conta as variações horárias, é conhecida pela vazão da hora de maior consumo e pode ser expressa pela equação (3):

$$Q_{HMC} = Q_{DMC} \times k_2 \quad (3)$$

Em que:

Q_{DMC} = Vazão do dia de maior consumo (L/s);

K_2 = Coeficiente da hora de maior consumo (geralmente é utilizado 1,50);

Q_{HMC} = Vazão da hora de maior consumo (L/s).

3.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA MEDIÇÃO DE PRESSÃO

Para a realização das medições de pressão em sistemas de abastecimento de água existem diversos equipamentos, dentre os mais conhecidos e utilizados estão os manômetros e os dataloggers de pressão.

Os manômetros são utilizados quando a verificação de pressão é instantânea, portanto, basta instalar em uma torneira e após realizar a abertura, o manômetro irá apresentar a medição (Mutikanga et al., 2011). Destaca-se que são encontrados tanto manômetros digitais quanto analógicos, entretanto, para a utilização em sistema de abastecimento de água, os analógicos são mais comuns, sendo os digitais mais utilizados em indústrias.

Já os dataloggers são utilizados quando é necessário o monitoramento da pressão por longos períodos, como por exemplo, dias, semanas, meses. Os dataloggers geralmente são instalados em alguma tubulação que deriva diretamente da rede de distribuição, ou seja, geralmente na torneira dos cavaletes das ligações. É possível programar o intervalo das aquisições de pressão, por exemplo a cada 5 minutos, e após a retirada do equipamento é possível descarregar os dados para o computador. Com os dados é possível de realizar análises e estudos (Beregula; Silva, 2020).

A Figura 8 apresenta um modelo de manômetro analógico e a Figura 9 um modelo de datalogger geralmente utilizados para medição de pressão em sistemas de abastecimento de água.

Figura 8. Manômetro Analógico



Fonte: Catálogo WIKA, 2023.

Figura 9. Modelo de equipamento Datalogger de pressão



Fonte: Vectora, 2023.

3.4 SETORIZAÇÃO

A setorização das redes de distribuição de água, é a divisão das áreas de abastecimento para obtenção de melhor controle e medição, otimização da operação em manutenções e regularização das pressões conforme normas vigentes.

Para a elaboração de projetos de setorização é imprescindível o uso da NBR 12.218/2017, e geralmente são realizadas as seguintes atividades:

- Delimitação em plantas cadastrais dos setores com suas respectivas zonas de pressão;

- Estimativa do número de ligações de cada setor delimitado, obtendo assim a vazão (demanda) de água pertinente a cada setor;
- Análise dos reservatórios de distribuição com as respectivas áreas de abrangência, referente às redes de distribuição;
- Elaboração de projeto com lista de materiais hidráulicos necessários para as intervenções físicas do setor;
- Execução das intervenções necessárias;
- Execução de teste de estanqueidade para validação do setor.

3.4.1 Delimitação dos Setores

Setor é uma área normalmente com apenas uma alimentação para abastecimento, delimitada pelo fechamento de registros, intervenções hidráulicas, ou naturalmente pela geografia do local, como rios e avenidas. Quando um setor possui macromedidor na entrada de alimentação, torando mensurável o volume de água consumido pelo mesmo, é chamado de DMC (distrito de medição e controle).

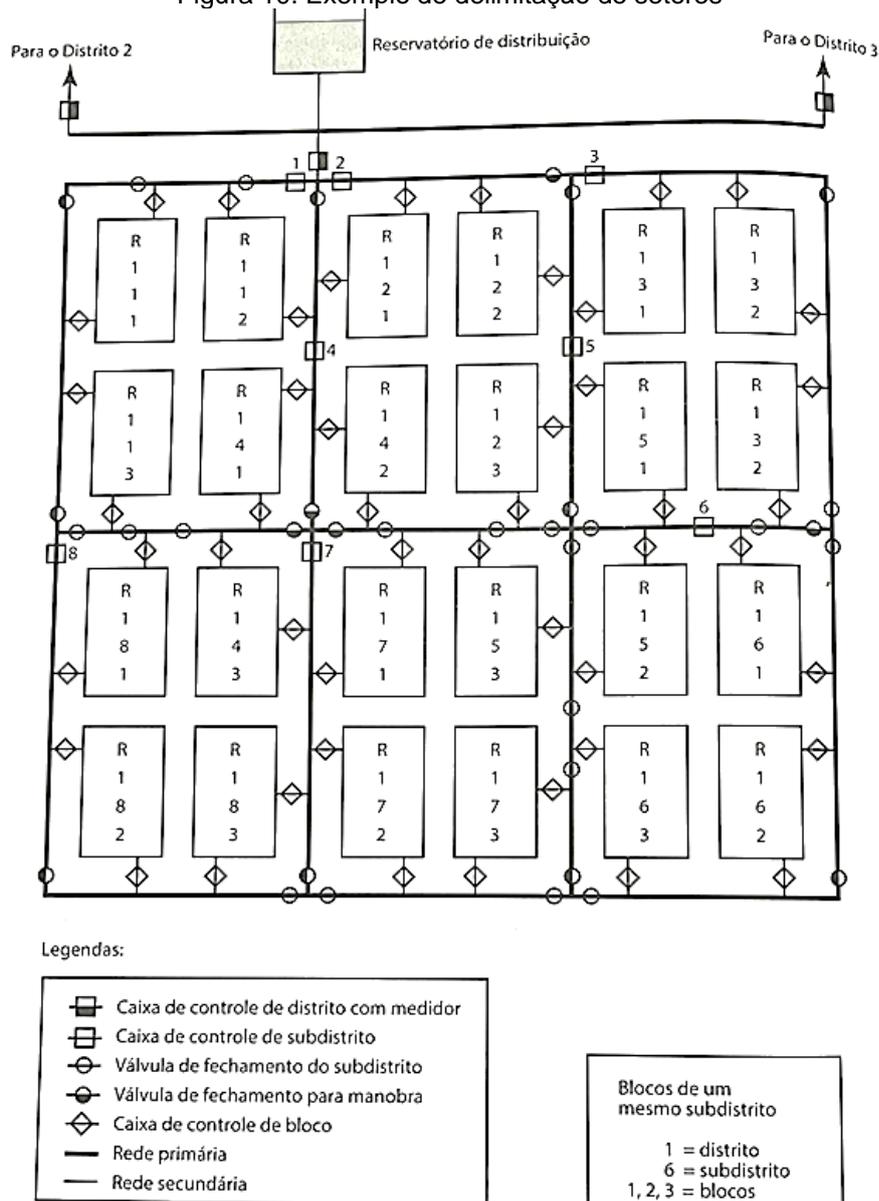
Dentre os benefícios da setorização, estão, a regularização das pressões, a percepção de vazamentos não visíveis e ligações clandestinas, melhor controle operacional permitindo assim a redução de perdas, a manutenção em determinada área sem interromper o abastecimento de água do restante do município, maior precisão na tomada de decisões e melhor controle de investimentos.

Destaca-se que o tamanho de um setor deve levar em conta os seguintes fatores:

- Homogeneidade do consumo: quando possível, o setor deve conter consumidores de mesma classe (residencial, comercial ou industrial);
- Rede de alimentação: o dimensionamento da rede de alimentação do setor deve ser suficiente para abastecer a área sem afetar as demandas necessárias. É recomendado que um setor possua apenas uma alimentação, permitindo a medição do volume em um único macromedidor,
- Fechamento de registros: é recomendado que a quantidade de registros a serem fechados para delimitação do setor não seja superior a 20 unidades.

A Figura 10 apresenta um exemplo de delimitações de setores.

Figura 10. Exemplo de delimitação de setores



Fonte: Azevedo Netto; Fernandez, 2015.

3.4.2 Estimativa do Número de Ligações e Vazão de Abastecimento dos Setores

Uma vez delimitados os setores, é quantificado o número de ligações presentes, bem como os futuros empreendimentos que venham a ser implantados em suas áreas de abrangência, para então quantificar a sua vazão ou demanda de água.

Para quantificar o número de ligações geralmente é utilizado o Google Earth e contadas as residências existentes nos setores, os lotes vazios existentes, e os lotes referentes a novos empreendimentos. A Figura 11 apresenta um exemplo de contagem para estimativa do número de ligações.

Figura 11. Exemplo de contagem para estimativa do número de ligações



Fonte: Adaptado de Galdi et al, 2022.

Para calcular as vazões de água necessárias em cada setor, é levantado a quantidade de habitantes por ligação, índice esse calculado a partir da estimativa populacional mais recente e a quantidade total de ligações no sistema comercial.

Além disso é adotada uma taxa de consumo per capita de água, geralmente 250L/hab.dia. Destaca-se que nesse consumo já deve ser considerado o índice de perdas total de 20%, pois dimensionar um sistema adotando elevados índices de perdas não está em conformidade com as metas a serem atingidas pelos Planos de Perdas.

Com posse desses dados e em conjunto com as equações (1), (2) e (3), é possível obter a vazão de consumo dos setores e prosseguir para o dimensionamento ou seleção dos reservatórios que serão responsáveis pelo abastecimento.

3.4.3 Análise dos Reservatórios

Na etapa de delimitação dos setores, um dos pontos que são levados em consideração é a distribuição de reservatórios ao longo de um determinado município. Após a delimitação é necessário realizar a análise para verificação se o volume do reservatório é suficiente para alimentação do setor e se a altura é capaz de atender às pressões de acordo com a NBR 12.218.

Quando a delimitação de uma setorização, resultar em determinados setores com ausência de um reservatório específico para abastecimento, é necessário o estudo de novas adutoras exclusivas para abastecimento do setor, com água

proveniente de um reservatório de um setor adjacente, ou a construção de novos reservatórios.

Geralmente não existem dados referentes a variação de consumo, portanto, para o cálculo estimativo de volume para um reservatório atender um determinado setor é utilizada a equação (4) de acordo com a NB 594 (1977).

$$\text{Vol} = \frac{Q_{\text{DMC}} \times 24}{3} \quad (4)$$

Em que:

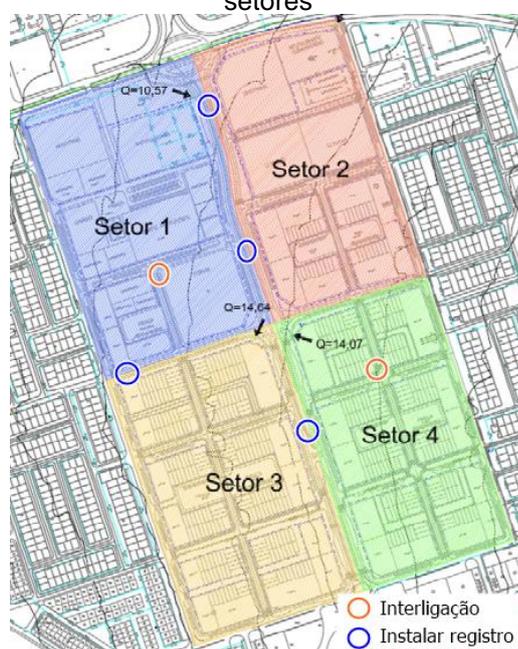
Vol = Volume de reservação necessária (m³);

Q_{DMC} = Vazão do dia de maior consumo (m³/h).

3.4.4 Elaboração de Projeto com Lista de Materiais Hidráulicos Necessários para as Intervenções Físicas do Setor

Após um setor ser delimitado, dimensionado de acordo com o número de ligações e realizada a análise de abastecimento é necessário proceder com a elaboração de projeto para a execução das intervenções físicas necessárias para a delimitação do setor. A Figura 12 apresenta um exemplo de projeto de intervenções físicas para delimitação de setores e execução de intervenções.

Figura 12. Exemplo de um projeto geral de intervenções físicas necessárias para a delimitação de setores



Fonte: Adaptado de CAESB, 2016.

Após a elaboração do projeto contendo as intervenções, é gerado uma lista de conexões hidráulicas a serem utilizadas durante a execução física das intervenções. Destaca-se que além das intervenções de delimitação dos setores, para um melhor controle e medição, também devem ser previstas as conexões e equipamentos necessários para a realização da medição de volume na entrada dos setores, tornando assim DMCs.

3.4.5 Execução das Intervenções Necessárias

Com o projeto elaborado e as conexões hidráulicas adquiridas é dado início para a etapa das obras de implantação das intervenções. A Figura 13 apresenta um exemplo de uma intervenção realizada em SAA.

Figura 13. Exemplo de intervenção realizada em SAA



Fonte: Garça Online, 2015.

Observa-se que há a separação das redes de distribuição que anteriormente estavam interligadas.

Conforme dito anteriormente, além das intervenções, geralmente são instalados equipamentos na tubulação de abastecimento de um determinado setor visando medir o volume consumido. Esses equipamentos são conhecidos como macromedidores, conforme pode ser observado na Figura 14.

Figura 14. Macromedidor instalado na tubulação de abastecimento de um setor



Fonte: SAAE Sorocaba, 2018.

Vale lembrar que em determinados setores, com o objetivo de regularizar as altas pressões, é realizada a implantação de uma válvula redutora de pressão em conjunto com o macromedidor. Existem casos também em que a VRP é implantada na entrada de um setor para a redução das pressões noturnas, ou seja, funciona somente no período noturno para reduzir as pressões, por mais que essas estejam dentro da norma, visando a redução dos vazamentos e conseqüentemente, a redução de perdas de água.

A Figura 15 apresenta um exemplo de uma instalação de uma VRP em conjunto com um macromedidor na tubulação de abastecimento de um determinado setor.

Figura 15. VRP instalada em conjunto com macromedidor em tubulação de abastecimento de água



Fonte: Click Guarulhos, 2020.

Após a execução de todas as intervenções em um determinado setor é realizado o fechamento de todos os registros de delimitação e então é dado início a etapa de teste de estanqueidade para verificar se o setor está totalmente fechado, sem nenhuma entrada de água por algum ponto desconhecido.

3.4.6 Teste de Estanqueidade para Validação do Setor

O objetivo do teste é garantir a estanqueidade dos setores de modo que não haja contribuições de água provenientes de áreas circunvizinhas, ou o contrário, fuga de água da área a ser controlada. O trabalho consiste na análise dos limites dos setores de abastecimento, zonas de pressão, alças, distritos de medição e controle (DMC), e áreas controladas por VRP (Motta, 2010).

Trata-se de uma atividade de extrema importância, visto a necessidade de fechamento do setor para obter resultados coerentes nas medições de vazão e de pressão.

O teste pode ser realizado de duas formas, conhecidas como Teste de Pressão em Carga (TPC) e Teste de Pressão Zero (TPZ).

O TPC é realizado basicamente comparando-se as cotas piezométricas de dois pontos, sendo um dentro da área do setor estudado e a outra externa. O procedimento consiste na ida dos técnicos até o local dos registros de delimitação, com posse de uma planta que seja possível verificar os lotes que estão dentro e fora do limite do setor. Feito isso se os técnicos se dirigem ao cavalete do lote interno ao setor e registram a medição de pressão manométrica na saída de uma torneira cujo abastecimento seja da rede de distribuição.

Destaca-se que antes de realizar a leitura manométrica, a torneira é aberta para expulsão do acúmulo de ar. O manômetro é então encaixado na torneira de forma que não haja nenhum vazamento durante a leitura, e é registrado a leitura do manômetro e o valor da cota segundo o cadastro. O mesmo procedimento é realizado fora do setor. Então, faz-se a comparação piezométrica entre os dois pontos.

Quando a diferença de cotas piezométricas for significativa, considera-se o registro como fechado. Caso a diferença seja insignificante, considera-se o resultado inconclusivo, passível de verificação. Este resultado deverá ser reavaliado pela equipe de campo em data posterior. Caso confirmado, é necessário que sejam realizados estudos visando verificar a ocorrência de entrada de água de setores adjacentes.

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

- Em caso de medições efetuadas onde existe rede dupla na planta cadastral, deve ser certificado de que ambas as redes sejam abastecidas pelo mesmo setor e, preferencialmente, as medições sejam efetuadas em cavaletes abastecidos pela mesma rede (mesmo lado da rua).
- Durante a medição de pressão deve-se certificar de que não está havendo consumo pelo usuário, pois dependendo do consumo a pressão sofre queda brusca podendo chegar a uma redução de até 50% da pressão real.
- Caso seja utilizado mais de um manômetro durante o teste, os mesmos devem ser aferidos e comparados entre si antes da realização das medições.
- Sempre que possível, devem ser verificados os registros com a utilização de haste de escuta, identificando possível passagem de água nos mesmos.
- Caso a pressão de abastecimento dos setores sejam iguais em mais de um ponto, é recomendado que seja realizado o Teste de Pressão Zero (TPZ).

Para o TPZ é solicitado ao responsável pelo sistema de abastecimento que para que realize o fechamento de registros específicos que comprometam propositalmente o abastecimento segundo o cadastro. Quanto mais próximo ao horário de maior consumo, mais rápido ocorrerá a tendência à falta d'água nos pontos mais elevados dentro da área submetida ao teste.

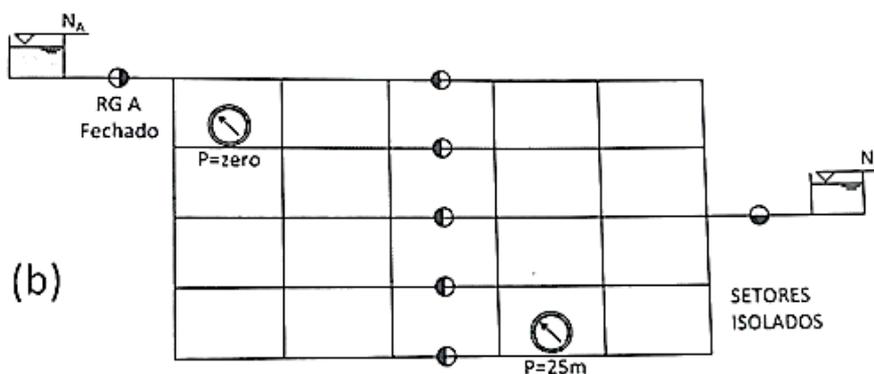
Destaca-se que caso o limite cadastral esteja equivocado não serão observadas quedas bruscas de pressão ou mesmo falta d'água.

Após o fechamento dos registros, são executados todos os procedimentos do teste de pressão em carga. A vantagem dessa forma de teste é que a falta d'água evidencia a conclusão dos resultados, por outro lado este método nem sempre pode ser utilizado por ocasionar a falta d'água devido ao fechamento dos registros.

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 são verificados com a haste de escuta, quando necessário.

A Figura 16 apresenta um exemplo de teste de pressão zero.

Figura 16. Exemplo de teste de pressão zero



Fonte: Manzi, 2020.

3.5 VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO (VRP)

As válvulas redutoras de pressão são equipamentos instalados em tubulação de abastecimento de água que reduzem a pressão da água quando passada por elas. A redução basicamente é devido a aplicação uma determinada perda de carga concentrada.

As VRPs são necessárias para a regularização das pressões conforme as normas vigentes, para a otimização da operação e redução de custos em um sistema de abastecimento de água, uma vez que podem ser responsáveis pela redução significativa de perdas de água através da redução dos vazamentos.

Atualmente existem vários modelos de VRPs no mercado, sendo que cada uma é utilizada para uma aplicação em específico conforme dimensionamento. Dentre os modelos mais conhecidos estão as VRPs de ação direta, proporcional e pilotada.

3.5.1 VRP de Ação Direta

As válvulas redutoras de pressão do tipo ação direta (Figura 17) são instaladas geralmente em instalações prediais por permitir o dimensionamento para baixas vazões e possuir custo reduzido.

A regulagem da válvula é simples, basta girar um registro na parte superior da válvula até a pressão de jusante desejada. Destaca-se que essa regulagem pode ser realizada antes de sua instalação.

Figura 17. VRP do tipo Ação Direta



Fonte: Catálogo BERMAD – Válvula Redutora de Pressão Modelo 42 LP.

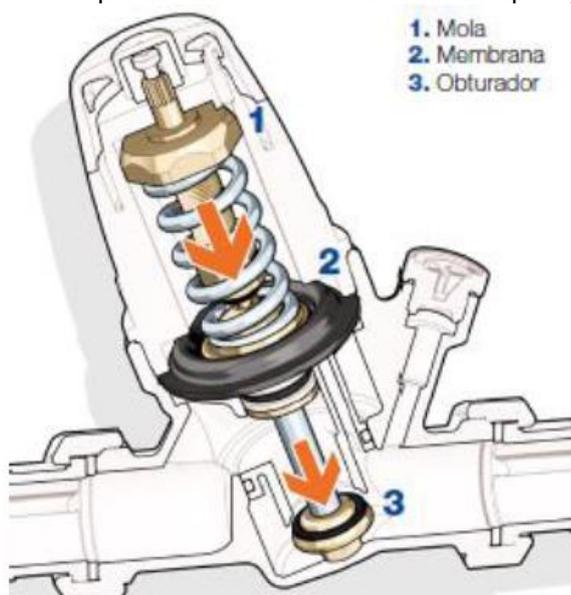
O princípio de funcionamento é baseado no equilíbrio de duas forças que se opõem. Conforme pode ser observado na Figura 18, a VRP de ação direta possui uma mola regulável (1), uma membrana (2) e um obturador (3).

Conforme exercida uma determinada tensão na mola é forçada a abertura do obturador. Já a pressão a jusante da válvula é aplicada sobre a membrana e automaticamente força o fechamento do obturador.

Quando a água passa pela válvula, ou seja, quanto maior o consumo, a pressão a jusante é menor, portanto, o obturador desloca-se para baixo, abrindo a passagem de água. Com a redução de consumo a jusante aumenta e conseqüentemente desloca a membrana para cima, fechando a passagem de água.

Destaca-se que a pressão de jusante é regulada de acordo com a mola, portanto, é possível de regular a válvula de acordo com o manômetro acoplado a jusante.

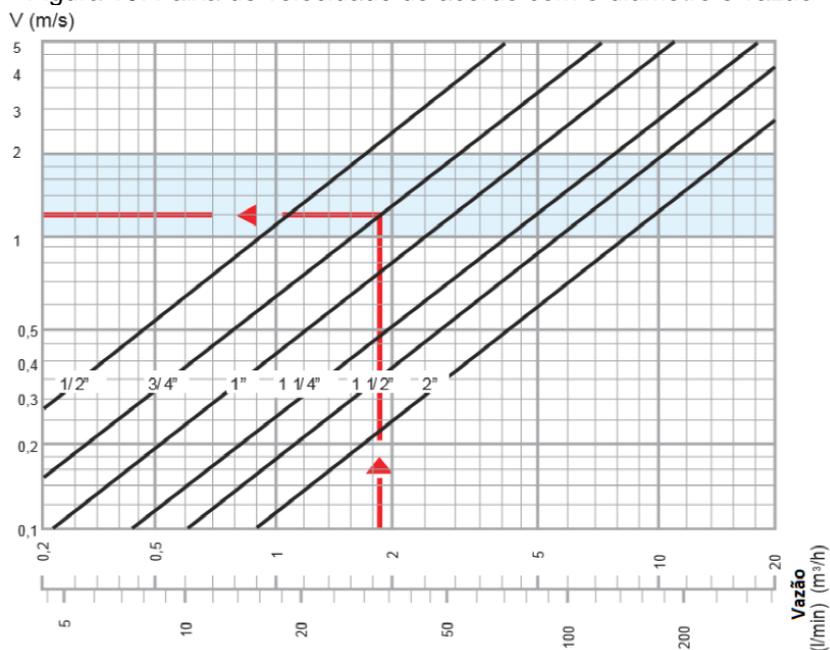
Figura 18. Princípio de funcionamento da VRP do tipo Ação Direta



Fonte: Catálogo BERMAD – Válvula Redutora de Pressão Modelo 42 LP.

Para a realização do dimensionamento basta conhecer a vazão do local em que a válvula será instalada e comparar com a tabela no catálogo, sendo recomendada que a faixa de velocidade na tubulação seja entre 1,0 e 2,0 m/s. A Figura 19 apresenta a faixa de velocidade recomendada pelo fabricante de acordo com o diâmetro e vazão.

Figura 19. Faixa de velocidade de acordo com o diâmetro e vazão



Fonte: Catálogo BERMAD – Válvula Redutora de Pressão Modelo 42 LP.

3.5.2 VRP Proporcional

As válvulas redutoras de pressão do tipo proporcional (Figura 20) são instaladas geralmente em instalações prediais e como o próprio nome diz, reduz as pressões de modo proporcional a pressão de entrada.

Figura 20. VRP do tipo proporcional



Fonte: Catálogo BERMAD – Válvula Redutora de Pressão Modelo 720 PD.

As válvulas do tipo proporcional permitem o dimensionamento para faixas de vazão superiores da válvula do tipo ação direta, conseqüentemente, possuem maior custo.

A válvula é composta por câmaras separadas, e o princípio de funcionamento é baseado na movimentação de um pistão conforme o consumo de água. Quando há consumo de água, há diferença de pressão entre as câmaras, obrigando o pistão se movimentar no sentido do fluxo. Quando não há consumo, o pistão volta a sua posição normal.

Destaca-se que esse tipo de VRP não possui regulagem, apenas reduz a pressão proporcional a aproximadamente 1/3 da pressão de entrada.

O dimensionamento é realizado através de tabelas fornecidas pelos fabricantes e é recomendado de que a velocidade da tubulação não seja superior a 2,0 m/s.

A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam os dados a serem considerados durante o dimensionamento da VRP proporcional.

Tabela 1. Proporção de redução de pressão de acordo com o diâmetro

Tamanho da Válvula		700 ES		700 EN	
DN	mm	Disco Plano	V-Port	Disco Plano	V-Port
2"	50	-	-	2,8	3,2
2.1/2"	65	2,8	3,2	2,8	3,2
3"	80	2,8	3,2	2,7	3,0
4"	100	2,7	3,0	-	-
6"	150	2,5	2,7	2,4	2,7
8"	200	2,4	2,7	2,3	2,6
10"	250	2,3	2,6	2,2	2,5
12"	300	2,2	2,5	2,1	2,4

Fonte: Adaptado do Catálogo BERMAD – Válvula Redutora de Pressão Modelo 720 PD.

Tabela 2. Vazões recomendadas de acordo com o diâmetro

DN	Vazão Recomendada
2"	Até 35 m ³ /h
2.1/2"	Até 45 m ³ /h
3"	Até 70 m ³ /h
4"	Até 120 m ³ /h
6"	Até 250 m ³ /h
8"	Até 400 m ³ /h

Fonte: Adaptado do Catálogo BERMAD – Válvula Redutora de Pressão Modelo 720 PD.

3.5.3 VRP Pilotada

As válvulas redutoras de pressão do tipo pilotadas (Figura 21) são as mais utilizadas em sistemas de abastecimento de água. Com elas é possível de regularizar as variadas pressões de montante a uma pressão de jusante constante, independentemente das variações de consumo.

Devido a tecnologia ser superior quando comparada com outras VRPs, possuem um custo maior e podem ser utilizadas em sistema de abastecimento com grandes vazões.

Figura 21. VRP do tipo pilotada



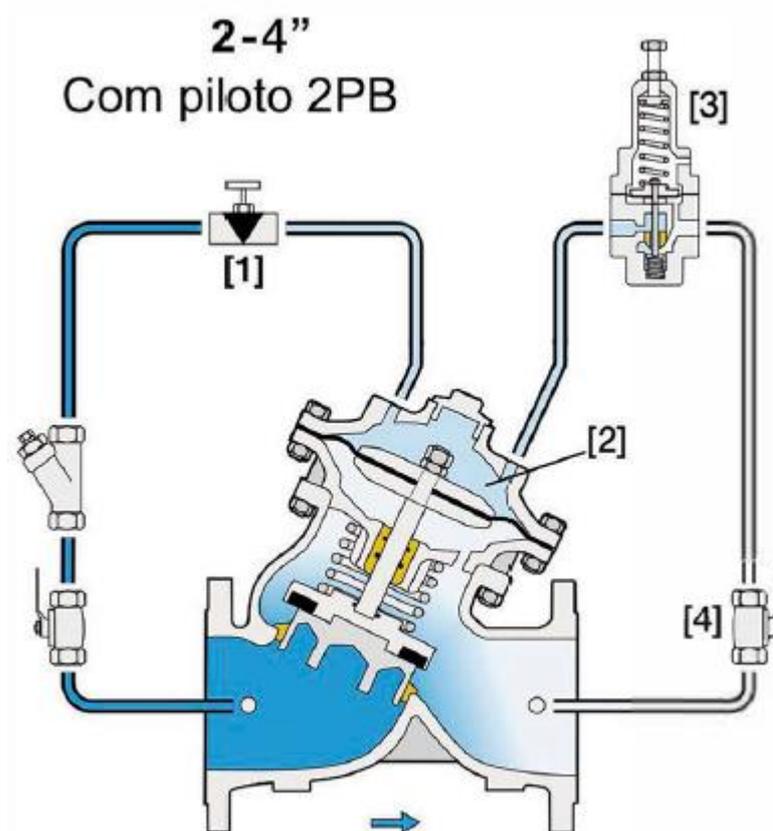
Fonte: Catálogo BERMAD – Válvula Redutora de Pressão Modelo VA-601.

O princípio de funcionamento da válvula é baseado em um piloto regulável no em que é determinada a pressão de jusante desejada.

Conforme pode ser observado na Figura 22, possui um registro agulha (1) que é responsável por permitir para a câmara superior da válvula (2). Já o piloto (3) é sensível a pressão de jusante da válvula. Caso a pressão à jusante for superior da pressão regulada no piloto, o mesmo reduz o fluxo fazendo com que a pressão de acumule na parte superior da válvula, ocasionando no fechamento da VRP e consequentemente reduzindo a pressão à jusante até a pressão regulada pelo piloto. Caso a pressão à jusante seja menor do que a regulada no piloto, o mesmo alivia a pressão na parte superior da válvula, ocasionando a abertura da VRP. Já o registro (4) permite o fechamento manual da VRP (Gobbo et al., 2023).

Vale lembrar que existem diversos modelos da válvula redutora de pressão do tipo pilotada, sendo que algumas possuem dois pilotos, que podem ser utilizados tanto para um ajuste fino, quanto para diferentes pressões de saída em diferentes horários do dia.

Figura 22. Princípio de funcionamento da VRP do tipo pilotada



Fonte: Catálogo BERMAD – Válvula Redutora de Pressão Modelo VA-601.

O dimensionamento da VRP pilotada é um pouco mais complexo quando comparada com as outras VRPs, portanto, geralmente não há uma tabela em catálogos, sendo necessários enviar os dados do local em que será instalada para o fabricante dimensionar. Geralmente os dados solicitados são, vazão, diâmetro da tubulação que a válvula será instalada, pressão de montante e pressão de jusante desejada.

Destaca-se que as VRPs pilotadas permitem o controle automatizado a partir de equipamentos de terceiros. Dessa forma, esses equipamentos possuem transmissão remota que permite o controle da válvula à distância em tempo real (Gobbo et al., 2023).

A Figura 23 apresenta uma VRP do tipo pilotada com um equipamento com controle automatizado e remoto.

Figura 23. VRP do tipo pilotada com controle automatizado e remoto



Fonte: Setorização Vila Formosa – Sabesp São Paulo, 2020.

3.6 AGÊNCIA REGULADORA

De acordo com a Lei Nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, Política Nacional de Saneamento Básico, as atividades de regulação e fiscalização dos serviços de saneamento básico, devem ser exercidas por quem não acumula a função de prestador desses serviços.

Com isso, em 06 de maio de 2011, ocorreu a criação da Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (ARES-PCJ), uma agência reguladora na forma de consórcio público, para regular e fiscalizar os serviços públicos de saneamento básico com a atuação nos municípios das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá e em seus entornos, com viabilidade e sustentabilidade econômica, custo operacional reduzido, independência decisória e autonomia administrativa, orçamentária e financeira.

O município no qual foi desenvolvida a presente pesquisa, possui a ARES-PCJ como agência reguladora dos serviços de saneamento, e de acordo com o estatuto da agência, ao delegar as competências de regulação e fiscalização, o município é obrigado a adotar medidas administrativas que apoiem e viabilizem os objetivos da agência (ARES-PCJ, 2023).

Além de regulação e fiscalização, a agência reguladora possui autonomia para reajustar as tarifas conforme determinados períodos, contribuindo dessa forma na universalização e na atração de investimentos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

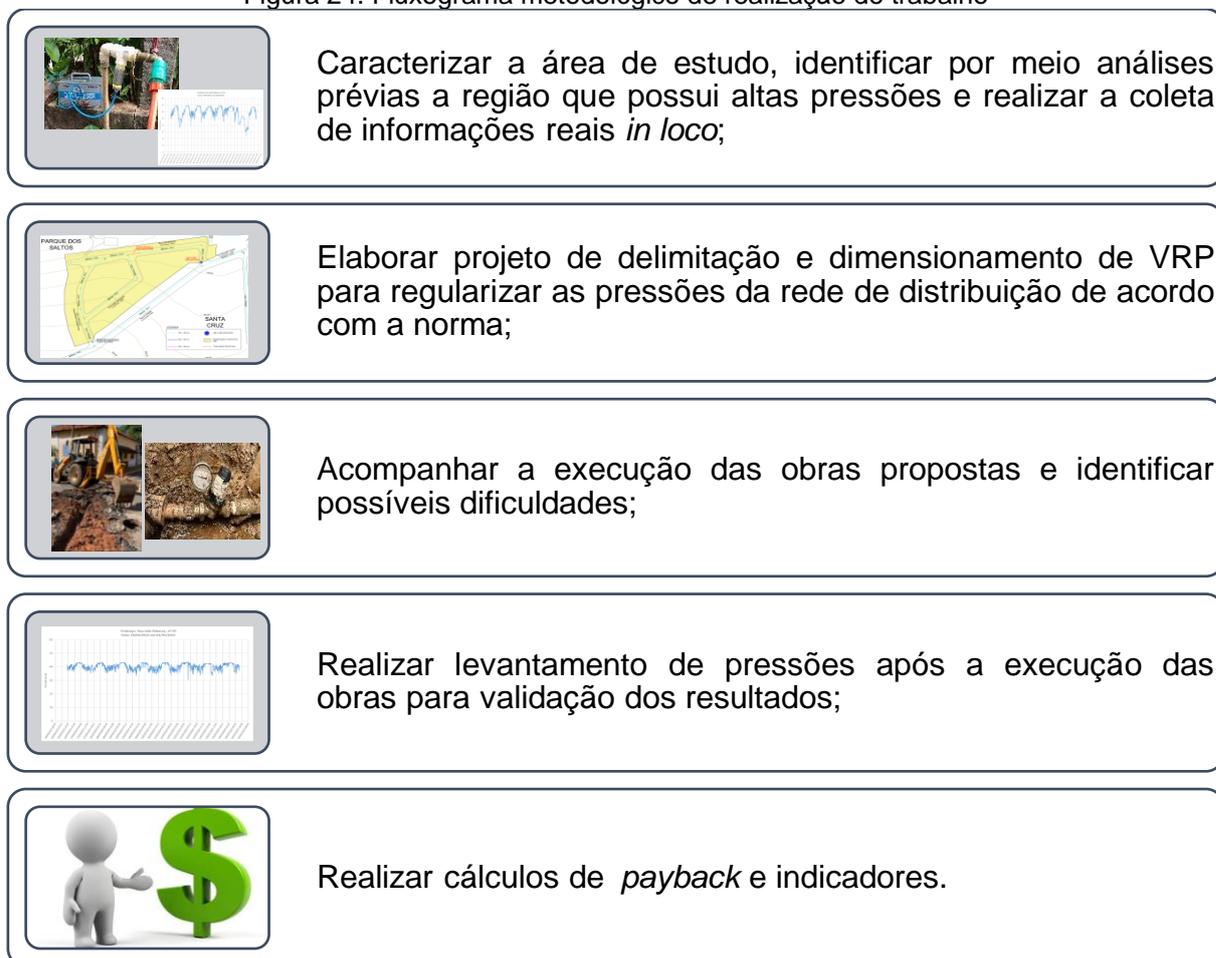
A presente pesquisa promoveu a implantação de uma obra em um município localizado no interior do estado de São Paulo, visando regularizar as pressões em um setor de abastecimento.

Inicialmente, a partir de uma procura do gestor do órgão responsável pelo SAA, foi obtida a informação de que o município havia recebido uma notificação por parte da agência reguladora, referente a cobrança de solução para o problema de uma determinada área de abastecimento. Com isso, foi solicitada uma reunião junto à equipe técnica responsável pelo SAA para ser proposta a pesquisa em questão.

No decorrer da reunião foram expostas as ideias e explicitada a solução prevista, a qual foi aprovada por toda a equipe técnica.

A Figura 24 apresenta o fluxograma metodológico de realização do trabalho.

Figura 24. Fluxograma metodológico de realização do trabalho



Fonte: Autor, 2023.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES DISPONIBILIZADAS

Para a caracterização da área de estudo, procedeu-se com o levantamento de informações acerca do município, através de informações disponibilizadas tanto no Plano de Saneamento quanto no Plano de Perdas, bem com sites oficiais da prefeitura.

Destaca-se que a área de estudo foi determinada a partir de um relatório de fiscalização realizado pela Agência Reguladora, o qual forneceu o conhecimento prévio de que a região em possuía localidades com pressões elevadas (acima das pressões previstas em norma).

Segundo o relatório, os registros de pressões acima de 50 mca, ocorriam diariamente no período da madrugada, não atendiam as normas estabelecidas pela Agência Reguladora, contribuem para acelerar a fadiga dos materiais que compõem a rede de distribuição e conseqüentemente o aumento do índice de perdas físicas de água.

Com a aprovação da equipe técnica do município para o prosseguimento dos estudos, foram solicitadas informações técnicas, o cadastro das redes de água e a notificação da ARES PCJ, as quais foram fornecidas em um pen drive disponibilizado pelo pesquisador.

Em posse das informações disponibilizadas, através do cadastro das redes de água existente no município, que contemplava a localização dos reservatórios do SAA e as curvas de nível da área urbana, foram identificadas as cotas altimétricas tanto do reservatório responsável pelo abastecimento quanto da região de estudo.

Com as cotas identificadas foram realizados cálculos de diferença de altitude, considerando a coluna d'água do reservatório de abastecimento, para verificar a pressão estática da região de estudo, validando dessa forma o conteúdo da notificação recebida.

4.2 LEVANTAMENTO DE DADOS TÉCNICOS *IN LOCO*

Após as análises das informações disponibilizadas foi necessário realizar visita *in loco* para o levantamento das pressões reais e comprovação das informações das quais a autarquia havia sido notificada.

Com isso entre janeiro e fevereiro de 2022 foi realizada uma única campanha de coletas de pressão por meio de equipamentos munidos de dataloggers, que foram

instalados nas torneiras dos cavaletes de água de 2 (duas) ligações da região. Destaca-se que os equipamentos foram programados para realizar o armazenamento das pressões em um intervalo de 5 (cinco) minutos, pelo período de 7 (sete) dias.

Vale lembrar que durante o levantamento *in loco* também foram coletadas algumas pressões instantâneas utilizando manômetro analógico, após a coleta as mesmas foram anotadas em caderneta de campo.

Após as coletas das pressões *in loco* e descarregamento de dados dos equipamentos dataloggers, foram realizadas análises a fim de comprovar o conteúdo da notificação.

4.3 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DA VRP

Baseando-se nos dados coletados em campo, foi possível de ser executada uma delimitação prévia da área que necessitava da regularização de pressões, portanto, foi realizada uma reunião junto à equipe técnica do órgão responsável pelo abastecimento de água do município e apresentada a proposta da criação de um novo setor de abastecimento na área em questão, deixando apenas uma entrada de água, onde seria o ponto de instalação de uma VRP.

Após aprovação da proposta por parte da equipe técnica do município, foi elaborado um projeto com a delimitação do setor proposto em conjunto com as intervenções necessárias e o ponto de instalação da VRP.

Com a delimitação foi possível de realizar a contagem do número de residências pertencentes a área de estudo, por meio do software Google Earth, e conseqüentemente estimar a vazão de consumo da região, sendo considerado os seguintes parâmetros:

- Consumo *per capita* = 250 L/hab.dia;
- Habitantes por residência = 4 habitantes;
- Coeficiente do dia de maior consumo (k_1) = 1,20;
- Coeficiente da hora de maior consumo (k_2) = 1,50.

Destaca-se que no consumo *per capita* adotado de 250 L/hab.dia foram considerados os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2022 referente ao município em que o trabalho foi realizado, com determinado acréscimo devido o erro de medição dos hidrômetros. Já a quantidade de 4 habitantes por residência foi adotada para fins de dimensionamento.

Com a estimativa da vazão foi possível realizar o dimensionamento da VRP e apresentá-lo a equipe técnica do município, que por sua vez, permitiu dar prosseguimento na elaboração do projeto de implantação da VRP devendo ser considerada uma VRP com diâmetro maior.

O projeto da VRP foi elaborado e foram realizadas as estimativas de custos baseando-se em planilhas de preço SINAPI, SABESP e CPOS/CDU para execução tanto da implantação da VRP quanto das intervenções. Para itens que não constavam em banco de preços oficiais, foram realizadas cotações comerciais.

4.4 ACOMPANHAMENTO DA OBRA

Nessa etapa foram adquiridos todos os materiais necessários e realizadas as obras de intervenções e implantação da válvula redutora de pressão conforme o projeto elaborado.

Para início da obra da VRP foi delimitado o local de instalação e realizado o corte do asfalto com máquina cortadora. Na sequência, com o auxílio da retroescavadeira, foi realizada a demolição do pavimento e abertura da vala.

Com a finalização da abertura da vala foram realizadas manobras na área de abastecimento para a estanqueidade da água da tubulação em que foi instalada a VRP. Após as manobras de abastecimento a tubulação foi cortada e procedeu com a instalação do conjunto da VRP.

Com o fim da instalação, a equipe de campo responsável pela operação do SAA reabriu a água e deu início a execução da caixa de abrigo da VRP.

Destaca-se que para as obras das intervenções necessárias, foram seguidos os mesmos passos.

4.5 LEVANTAMENTO DE DADOS PARA VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS

Nessa etapa foi realizada novamente uma campanha de coletas de pressão por meio de equipamentos munidos de dataloggers para verificar se a implantação da VRP foi positiva, ou seja, realizou a regularização das pressões de acordo com a norma NBR 12.128/2017.

Destaca-se que foram instalados 02 (dois) equipamentos nos mesmos pontos instalados na primeira campanha de medição e foram programados para realizar o armazenamento das pressões em um intervalo de 5 (cinco) minutos, pelo período de 7 (sete) dias.

Além disso, foi instalado um terceiro equipamento em uma cota alta do setor delimitado, ou seja, no ponto crítico, para verificar as pressões mínimas do setor.

Após os dados coletados serem descarregados foi possível realizar uma análise acerca das novas pressões da região de estudo.

4.6 INDICADORES E *PAYBACK*

Nessa etapa foram utilizados os valores estimativos para a execução das intervenções e implantação da VRP em conjunto com a quantidade de ligações existentes na região delimitada e o volume médio consumido mensal para calcular indicadores que permitiram realizar uma análise do retorno do valor investido.

Também foram utilizados custos estimativos de manutenção com rompimento de tubulações para verificar em quantos meses é reduzido o retorno do investimento, se considerada essa economia.

Para auxiliar nos cálculos foram utilizados valores tanto do SNIS quanto da ARES-PCJ referentes a custo de produção e valor faturado por m³ de água.

Na sequência são apresentadas as equações utilizadas tanto para os cálculos de indicadores quanto para o cálculo de *payback*.

$$\text{Custo por ligação} \left(\frac{R\$}{\text{lig}} \right) = \frac{\text{Custo total VRP+Intervenções}}{n^{\circ} \text{ de ligações}} \quad (5)$$

$$\text{Custo por habitante} \left(\frac{R\$}{\text{hab}} \right) = \frac{\text{Custo por ligação}}{4 \text{ hab.por ligação}} \quad (6)$$

$$\text{Custo por m}^3 \text{ faturado anual} \left(\frac{R\$}{\text{m}^3/\text{ano}} \right) = \frac{\text{Custo total VRP+Intervenções}}{\text{volume médio faturado anual do setor (m}^3\text{)}} \quad (7)$$

$$\text{Payback(Anos)} = \frac{\text{Custo por m}^3 \text{ faturado anual} \left(\frac{R\$}{\text{m}^3/\text{ano}} \right)}{\text{Resultado por m}^3 \text{ (R\$/m}^3\text{)}} \quad (8)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES DISPONIBILIZADAS

A presente pesquisa foi executada entre 2022 e 2024 em um município localizado no interior do estado de São Paulo, distante a aproximadamente 240 km da capital.

Não diferente de outros municípios, com o crescimento populacional conseqüentemente é necessário o aumento do sistema de abastecimento de água, e muitas das vezes sem planejamento, sendo realizados novos prolongamentos de rede conforme a necessidade do momento e interligações com tubulações próximas ao local necessário. Dessa forma, com o intuito de corrigir e melhorar o sistema de abastecimento do município, o órgão responsável vem implantando a setorização das redes de distribuição de água.

Destaca-se que o município em questão, é conveniado à Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (ARES-PCJ).

A Agência Reguladora tem como objetivo regular e fiscalizar os serviços públicos de saneamento prestados. Tal fiscalização é baseada em indicadores e normas com o intuito de sempre melhorar.

Em uma das fiscalizações foi detectado que as pressões das redes de distribuição de água de uma determinada área do município, não estavam de acordo com as exigências da NBR 12.218/2017 (ABNT). Com isso o município foi notificado para adequar-se às exigências da norma.

Dessa forma, a presente pesquisa realizou estudos para a implantação de uma válvula redutora de pressão visando a regularização da pressão das redes de distribuição de água dessa área identificada pela ARES-PCJ.

A Figura 25 apresenta a localização da área de estudo para implantação de VRP.

Figura 25. Área de estudo para implantação de VRP.



Fonte: Adaptado do Google Earth, 2024.

Para início do estudo, o município forneceu a notificação da Agência Reguladora ARES-PCJ e a base cadastral das redes de água do município com as curvas de nível, onde foi possível observar os diâmetros das redes e averiguar a cota do reservatório responsável pelo abastecimento da área da presente pesquisa.

Destaca-se que o reservatório é denominado Centro de Reservação, está situado na cota de 677 metros, possui capacidade de reservação de 900 m³ distribuídos em três reservatórios, sendo 1 (um) elevado de 100 m³ com altura de 12 metros, e outros 2 (dois) semi-enterrados de 500 m³ e 300 m³, com alturas de 4,00 metros e 2,80 metros respectivamente.

A Figura 26 apresenta o Centro de Reservação responsável pelo abastecimento da área de estudo.

Figura 26. Localização do Centro de Reservação da Polícia Militar e da área de estudo.

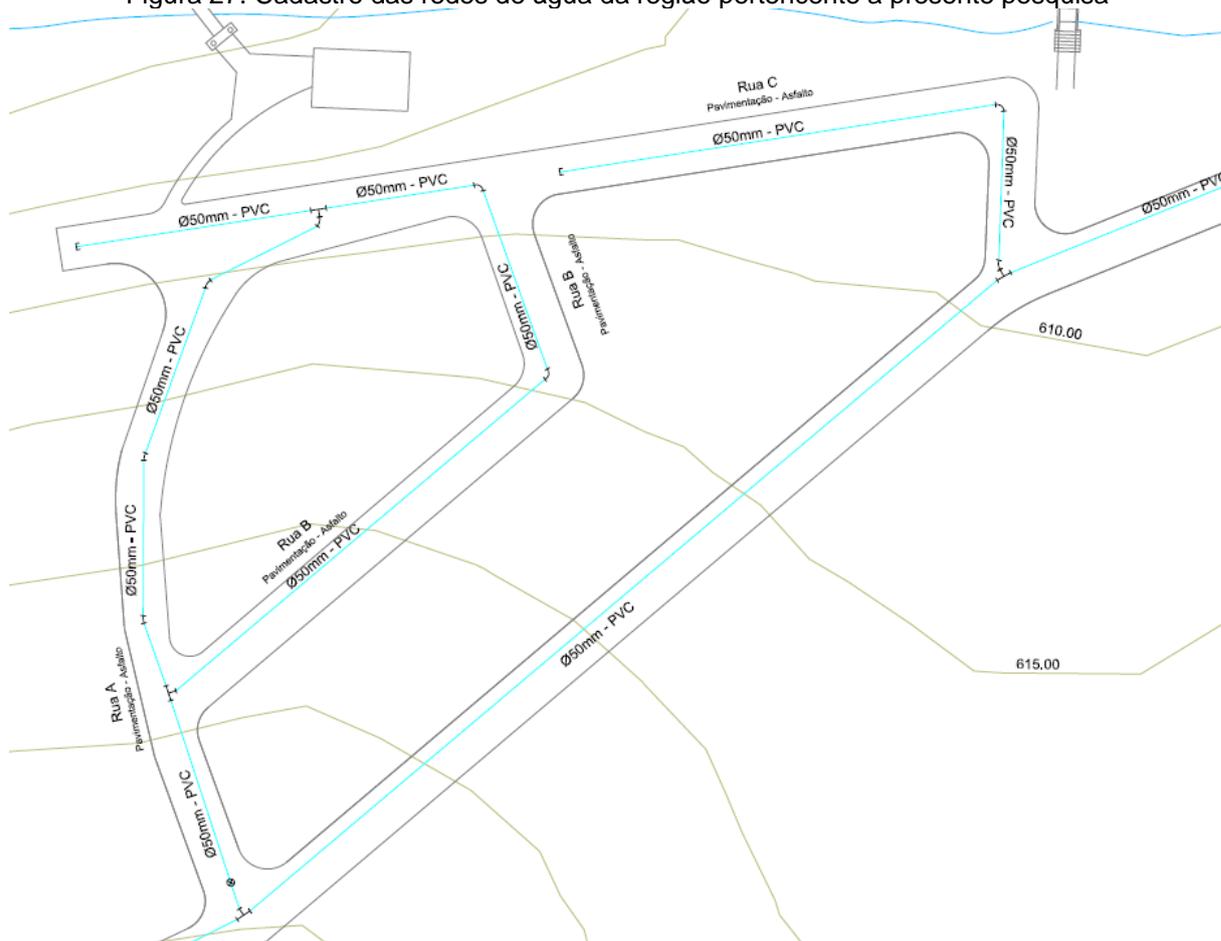


Fonte: Adaptado do Google Earth, 2024.

A área referente a notificação está localizada entre as cotas 605 e 625 metros, ou seja, apenas com uma análise superficial, e considerando que o abastecimento advém do menor reservatório semi-enterrado, a pressão estática da área em estudo varia de 55 a 75 metros de coluna d'água (mca).

A Figura 27 apresenta o cadastro das redes de água, fornecido pelo gestor do SAA do município, da região pertencente a presente pesquisa. As tubulações possuem diâmetro de 50 mm em PVC PBA, é possível de observar as ruas A, B e C com indicação da existência de asfalto e também as curvas de nível espaçadas de 5 em 5 metros.

Figura 27. Cadastro das redes de água da região pertencente a presente pesquisa



Fonte: Adaptado do cadastro fornecido pelo órgão responsável pelo SAA do município, 2023.

Foi possível observar com a análise que a notificação está de acordo, portanto, a próxima etapa realizada foi o levantamento de dados *in loco* para a comprovação das informações da notificação.

5.2 LEVANTAMENTO DE DADOS TÉCNICOS *IN LOCO*

Foram realizadas visitas *in loco* para realizar a instalação de equipamentos munidos com dataloggers, os quais registram os dados de pressão conforme o intervalo programado.

Foram instalados 2 (dois) dataloggers de pressão na região da presente pesquisa pelo período de 7 (sete) dias completos, onde foram programados para realizar o armazenamento das pressões em um intervalo de 5 (cinco) minutos. Destaca-se que um dos dataloggers foi instalado no mesmo ponto indicado pela notificação da ARES-PCJ, este sendo denominado como Ponto 01, já o outro equipamento foi instalado na mesma rua, em uma casa mais distante, com cota um

pouco maior, visando validar e acompanhar a variação das pressões da região, sendo denominado como Ponto 02.

Levando em conta o tamanho da área de estudo não foi necessária a instalação de mais equipamentos, uma vez que ambos os pontos estão localizados em pontos baixos do setor, ou seja, pontos com altas pressões. Além disso, os equipamentos foram instalados durante 7 (sete) dias para acompanhar a variação de pressão da semana, pois o consumo é variável em função das atividades do dia a dia.

A Figura 28 e a Figura 29 apresentam os equipamentos instalados nas torneiras que derivam diretamente do cavalete de água das ligações.

Figura 28. Vista do equipamento instalado no Ponto 01



Fonte: Autor, 2022.

Figura 29. Vista do equipamento instalado no Ponto 02



Fonte: Autor, 2022.

A Figura 30 apresenta a localização aérea dos locais onde foram instalados os equipamentos dataloggers.

Figura 30. Vista do local onde foram implantados os equipamentos dataloggers



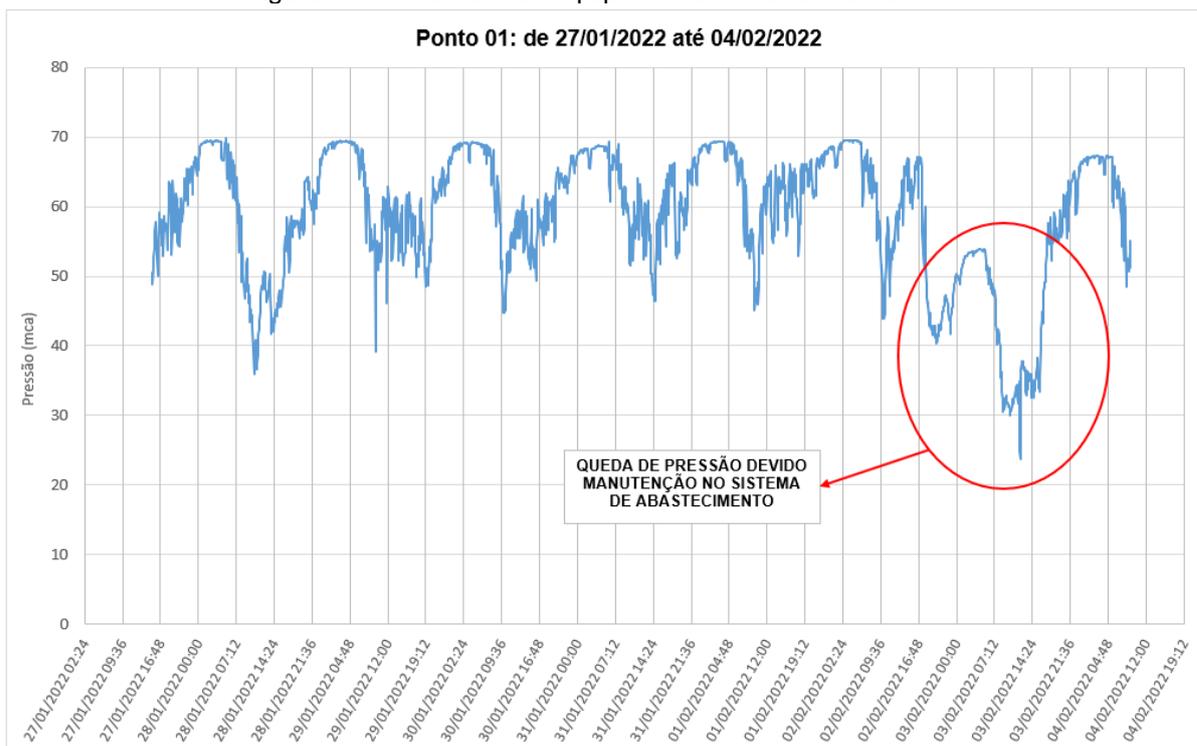
Fonte: Adaptado do Google Earth, 2024.

Vale lembrar que foram realizadas medições de pressão instantâneas utilizando manômetro em aproximadamente 15 ligações da área de estudo para verificação de pressões mínimas, e a menor pressão registrada foi de 33 mca.

Além disso, foi obtida a informação junto ao gestor responsável pelo SAA do município de que no ano de 2021 ocorreram 2 (dois) reparos de vazamentos em tubulações.

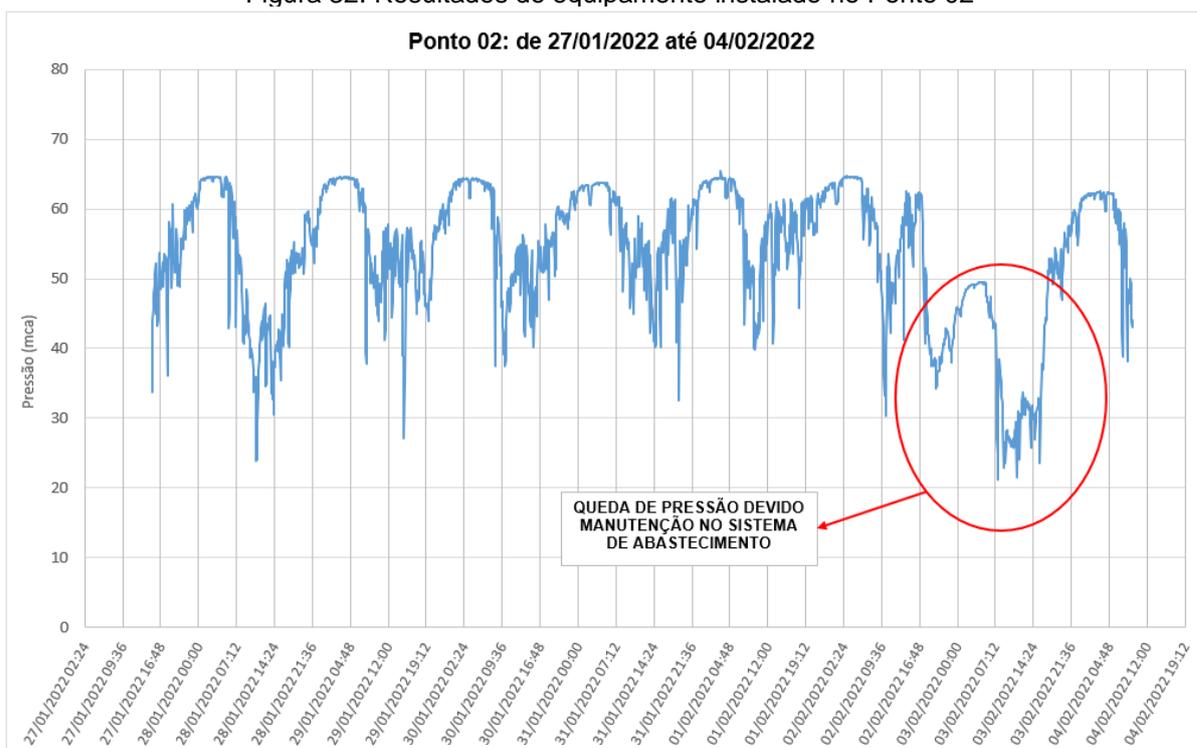
Após o período de coletas dos equipamentos foi realizado o descarregamento dos dados. A Figura 31 e a Figura 32 apresentam os resultados obtidos no monitoramento.

Figura 31. Resultados do equipamento instalado no Ponto 01



Fonte: Autor, 2023.

Figura 32. Resultados do equipamento instalado no Ponto 02



Fonte: Autor, 2023.

Conforme pode ser observado, as pressões variam entre 40 e 70 mca na maioria do tempo. Destaca-se que no penúltimo dia de medição ocorrem pressões mais baixas do que o comum, entretanto, no dia seguinte ocorreu a normalização. Em

contato com o gestor do SAA, foi informado que devido a manutenções, ocorreram problemas de desabastecimento no sistema nesse dia, portanto, isso explica essa queda em ambos os pontos.

Com os resultados das medições de pressão foi possível de comprovar as pressões altas na área em questão.

5.3 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DA VRP

Com os resultados das coletas dos dataloggers e em conjunto com as curvas de nível fornecidas pelo município, foi possível determinar o local para instalação da válvula redutora de pressão e delimitar a área correta em que as pressões necessitam de regularização, conforme pode ser observado na apresentada na sequência.

Figura 33. Delimitação da área em que é necessária a redução de pressão



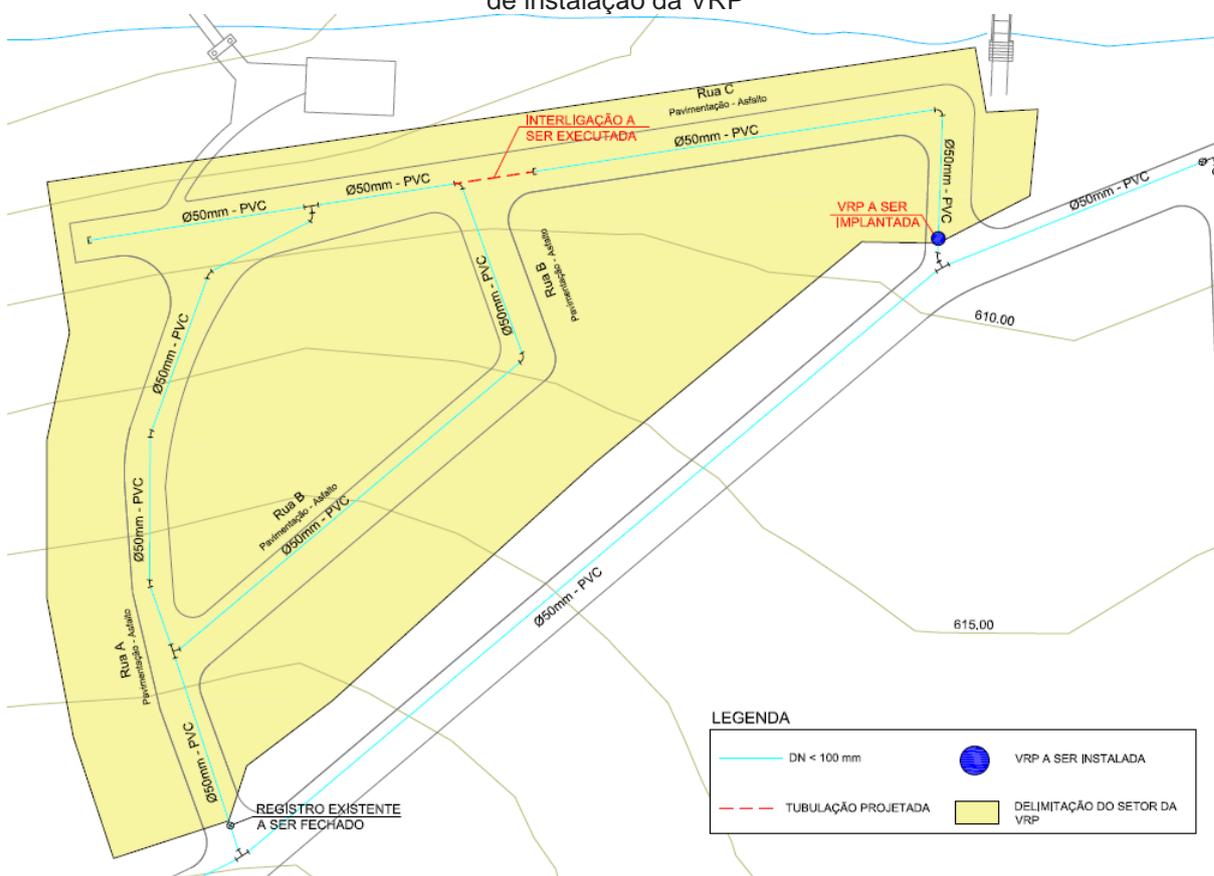
Fonte: Adaptado do Google Earth, 2024.

Após essa delimitação foram realizadas reuniões junto à equipe técnica responsável pelo SAA a fim de apresentar e validar os estudos realizados.

A proposta do estudo foi de criar um novo setor de abastecimento na área em questão, deixando apenas uma entrada de água, onde seria o ponto de instalação de uma VRP. Para o perfeito funcionamento do setor proposto seria necessário que a autarquia realizasse algumas intervenções, pois algumas redes de distribuição de água não eram interligadas.

Destaca-se que os estudos foram aprovados por parte da autarquia, e com isso foi elaborado um projeto conforme a Figura 34, apresentando a delimitação do setor proposto junto às intervenções necessárias e a identificação do ponto de instalação da VRP.

Figura 34. Delimitação do setor proposto junto às intervenções necessárias e a identificação do ponto de instalação da VRP



Fonte: Autor, 2023.

De acordo com o sistema comercial do órgão responsável, a área delimitada possui 29 ligações ativas e é composta por três (03) ruas, Rua A, Rua B e Rua C. Vale lembrar que também foi realizada a contagem do número de ligações por meio do software Google Earth, e o resultado foi semelhante ao número do sistema comercial.

Com posse dessas informações e em conjunto com os volumes de consumo, também retirados do sistema comercial, foi possível de iniciar os estudo referentes a vazão da região para o correto dimensionamento da VRP a ser implantada.

A Tabela 3 apresenta os dados de consumo médio dos 12 (doze) meses do ano de 2022 disponibilizados pelo gestor responsável do SAA referente às ligações da área delimitada.

Tabela 3. Consumo médio mensal das ligações da área delimitada

LIGAÇÃO	RUA	CONSUMO MÉDIO (m³)
1	RUA A	1
2	RUA A	5
3	RUA A	21
4	RUA A	40
5	RUA A	46
6	RUA B	16
7	RUA B	0
8	RUA B	2
9	RUA B	2
10	RUA B	5
11	RUA B	8
12	RUA B	10
13	RUA B	12
14	RUA B	12
15	RUA B	18
16	RUA B	19
17	RUA B	21
18	RUA B	87
19	RUA C	0
20	RUA C	4
21	RUA C	7
22	RUA C	9
23	RUA C	15
24	RUA C	16
25	RUA C	16
26	RUA C	24
27	RUA C	32
28	RUA C	65
29	RUA C	87
TOTAL		600

Fonte: Autor, 2023.

Conforme pode ser observado, o volume médio total consumo por essa região é de 600 m³ por mês, que se convertido para a unidade m³/h, equivale a uma vazão de 0,83 m³/h. Vale lembrar que esse valor é medido pelos hidrômetros das ligações, hidrômetros esses que possuem um determinado índice de erro conforme o volume já medido, portanto, o volume real é um pouco maior.

Quando realizado o cálculo da vazão através das equações (1), (2) e (3), considerando um consumo per capita de 250 L/hab.dia, 4 habitantes por ligação, coeficiente K1 de 1,20 e coeficiente K2 de 1,50, é obtido 1,21 m³/h como vazão média, 1,45 m³/h como vazão do dia de maior consumo, e 2,18 m³/h com vazão da hora de maior consumo.

Destaca-se que as vazões apresentadas anteriormente não são constantes no sistema de abastecimento de água, ou seja, ela pode ser muito maior ou muito menor em determinados momentos do dia, isso devido aos horários de enchimento das caixas d'água. Por exemplo, a vazão pode ficar baixa durante todo o dia em uma determinada tubulação, se em um mesmo momento, várias caixas d'água necessitarem ser enchidas, essa vazão irá aumentar significativamente.

Um dos principais parâmetros para realizar o dimensionamento de uma VRP é a vazão, e para o presente estudo foi adotada a vazão da hora de maior consumo obtida através dos cálculos, ou seja, 2,18 m³/h.

Ao pesquisar pelos catálogos de VRPs e entrar em contato com alguns fabricantes, as VRPs com pilotos, comumente instaladas em sistemas de abastecimento de água, para que funcionem de forma correta necessitam de pelo menos uma vazão mínima de 6 m³/h.

Dessa forma, foram analisados catálogos de VRPs de ação direta, que são válvulas mais simples quando comparadas às válvulas pilotas, e são utilizadas para redução de pressão em instalações prediais que geralmente possuem baixas vazões.

O modelo selecionado foi a VRP de ação direta modelo 42LP da fabricante Bermad. A Tabela 4 apresentada as vazões máximas recomendadas pela válvula em questão de acordo com os diâmetros.

Tabela 4. Vazões máximas recomendadas para a VRP 42LP de acordo com o diâmetro

Diâmetro	1/2"	3/4"	1"	1.1/4"	1.1/2"	2"
Vazão (m ³ /h)	1,70	2,90	4,60	7,70	10,00	15,90
Vazão (l/min)	28,33	48,33	76,67	128,33	166,67	265,00

Fonte: Adaptado do Catálogo Bermad – Válvula Redutora de Pressão Modelo 42LP (Ação Direta).

Conforme pode ser observado, para a vazão de 2,18 m³/h, uma VRP com diâmetro de 3/4" seria suficiente, pois suporta até 2,90 m³/h. Vale lembrar que a tubulação para implantação da VRP é de 2" em material em PVC PBA, portanto, seria necessário realizar reduções até o diâmetro da válvula.

Após esse dimensionamento foi realizada uma nova reunião em conjunto com a equipe técnica responsável pelo SAA para aprovação e prosseguimento da execução do projeto, a qual confirmou que o dimensionamento foi realizado de forma correta. Entretanto, houve um certo receio do corpo técnico em relação à possível falta d'água pela redução de 2" para 3/4". Portanto, devido a essa redução de diâmetro, em conjunto com maiores vazões em momentos de abastecimento de caixas d'água foi solicitado para adotar a VRP com diâmetro de 1".

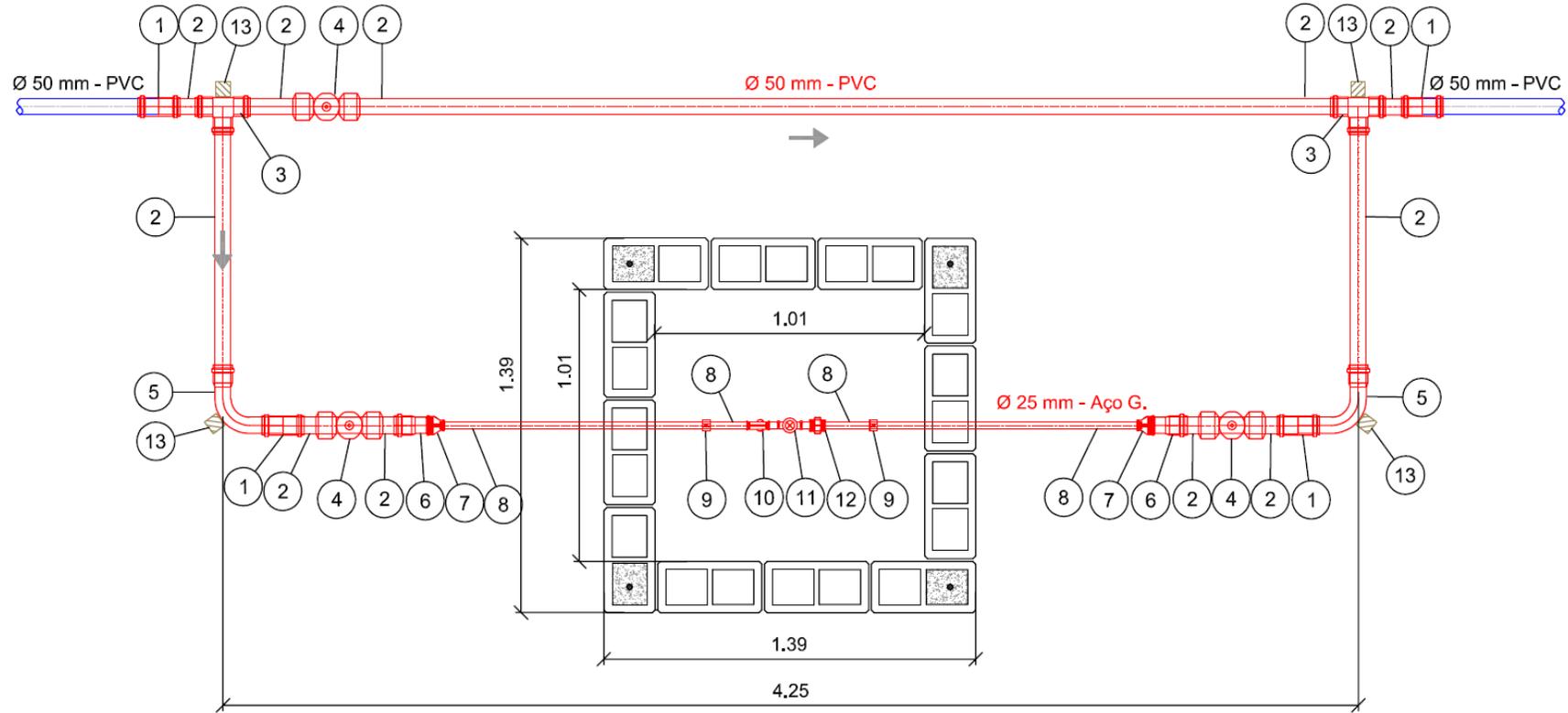
Destaca-se que um dos motivos do dimensionamento da VRP é devido a limitação de funcionamento de acordo com as vazões. Em casos com vazões baixas, quando não reduzido o diâmetro da válvula, a velocidade do fluxo também é baixa, e isso pode fazer com que a VRP não atue de forma correta ou durante o todo o período desejado, não realizando dessa forma a redução de pressão esperada.

Com o diâmetro da VRP definido, foi elaborado um projeto para implantação com *by-pass*, conforme apresentado na Figura 35.

A VRP foi projetada para ser instalada em *by-pass*, ou seja, paralela a tubulação de água principal, em caso de manutenções, é possível realizar a manobra nos registros de entrada e saída da válvula e *by-pass*, visando a continuidade no abastecimento.

Destaca-se que também foi considerada a utilização de um filtro Y antes da VRP, que possui o intuito de evitar que pedras ou demais partículas que possam afetar a VRP, cheguem até ela.

Figura 35. Projeto de implantação da válvula redutora de pressão de ação direta



Fonte: Autor, 2023.

A Tabela 5 apresenta os custos estimativos e a lista dos materiais necessários para a implantação tanto da VRP quanto das intervenções necessárias.

Tabela 5. Custos estimativos para a implantação da VRP e intervenções

ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	VALOR UNIT. C/ BDI	VALOR TOTAL
1	VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO + INTERVENÇÕES - INSUMOS				R\$ 4.940,76
1.1	LUVA DE CORRER PVC JE PBA - DN 50 MM (SABESP HM01891)	unid.	10,00	R\$ 17,72	R\$ 177,20
1.2	TUBO PVC JEI PBA - CL20 - DN 50 MM (SABESP HM01918)	m	33,60	R\$ 33,18	R\$ 1.114,85
1.3	TÊ PVC JE BBB PBA - DN 50 MM (SABESP HM01902)	unid.	3,00	R\$ 39,31	R\$ 117,93
1.4	VÁLVULA DE GAVETA COM BOLSAS COM CUNHA DE BORRACHA PARA PVC/PBA (ACION. CABEÇOTE) - DN 50 MM (SABESP HM07056)	unid.	3,00	R\$ 527,60	R\$ 1.582,80
1.5	CURVA 90° PVC JE PB PBA - DN 50 MM (SABESP HM01887)	unid.	2,00	R\$ 44,41	R\$ 88,82
1.6	ADAPTADOR PVC BOLSA PBA X PONTA ROSCA - DN 50 MM (COMERCIAL)	unid.	2,00	R\$ 70,19	R\$ 140,38
1.7	LUVA DE REDUÇÃO AÇO GALVANIZADO BSP - DN 50X25 MM (COMERCIAL)	unid.	2,00	R\$ 20,59	R\$ 41,18
1.8	TUBO DE AÇO GALVANIZADO - DN 25 MM (COMERCIAL)	m	2,40	R\$ 36,60	R\$ 87,84
1.9	COLAR DE TOMADA - DN 25 MM (COMERCIAL)	unid.	2,00	R\$ 39,60	R\$ 79,20
1.10	VÁLVULA FILTRO Y EM LATÃO COM ROSCA BSP - DN 25 MM (COMERCIAL)	unid.	1,00	R\$ 49,24	R\$ 49,24
1.11	VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO COM ROSCA BSP - DN 25 MM (COMERCIAL)	unid.	1,00	R\$ 941,27	R\$ 941,27
1.12	MANÔMETRO PARA VRP (COMERCIAL)	unid.	1,00	R\$ 480,71	R\$ 480,71
1.13	UNIÃO COM ASSENTO PLANO BSP - DN 25 MM (COMERCIAL)	unid.	1,00	R\$ 39,34	R\$ 39,34
2	VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO + INTERVENÇÕES - MÃO DE OBRA				R\$ 6.355,81
2.1	DEFINIÇÃO E DEMARCAÇÃO DA ÁREA DE REPARO COM DISCO DE CORTE (SABESP 70190008)	m	71,20	R\$ 7,56	R\$ 538,27
2.2	LEVANTAMENTO DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA (SABESP 70090001)	m ²	26,36	R\$ 28,24	R\$ 744,41
2.3	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALAS OU CAVAS COM PROFUNDIDADE DE ATÉ 2,00 M (CPOS/CDHU 07.02.020)	m ³	27,64	R\$ 12,89	R\$ 356,28
2.4	PREPARO DE FUNDO DE VALA COM LARGURA MENOR QUE 1,5 M (ACERTO DO SOLO NATURAL) (SINAPI 101616)	m ²	26,36	R\$ 8,50	R\$ 224,06
2.5	ATERRO DE VALAS, POÇOS E CAVAS COMPACTADO MECANICAMENTE (SABESP 70030019)	m ³	27,37	R\$ 11,21	R\$ 306,82
2.6	TRANSPORTE DE SOLO DE 1ª E 2ª CATEGORIA POR CAMINHÃO ATÉ O 2º KM (CPOS/CDHU 05.10.020)	m ³	7,18	R\$ 9,56	R\$ 68,64
2.7	CARRREGAMENTO MECANIZADO DE SOLO DE 1ª E 2ª CATEGORIA (CPOS/CDHU 05.10.010)	m ³	7,18	R\$ 5,92	R\$ 42,51
2.8	TAXA DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO EM ATERRO, TIPO SOLO/TERRA (CPOS/CDHU 05.09.007)	m ³	7,18	R\$ 30,32	R\$ 217,70
2.9	SUB-BASE EM BRITA OU MACADAME HIDRÁULICO (SABESP 70090084)	m ³	3,95	R\$ 201,14	R\$ 795,31
2.10	EMULSÃO ASFÁLTICA RR2C (SINAPI 96402)	m ²	26,36	R\$ 3,47	R\$ 91,47
2.11	CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO (E=5CM) (SABESP 70090088)	m ³	1,32	R\$ 2.032,92	R\$ 2.679,39
2.12	ENCANADOR OU BOMBEIRO HIDRÁULICO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES (SINAPI 88267)	h	4,00	R\$ 39,20	R\$ 156,80
2.13	AUXILIAR DE ENCANADOR OU BOMBEIRO HIDRÁULICO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES (SINAPI 88248)	h	4,00	R\$ 33,54	R\$ 134,16
3	CAIXA DE ALVENARIA + LAJE - INSUMOS				R\$ 2.713,67
3.1	AÇO CA-50 12.5MM (COMERCIAL)	barra	6,00	R\$ 130,63	R\$ 783,78
3.2	CIMENTO CII 50 KG (COMERCIAL)	unid.	8,00	R\$ 50,40	R\$ 403,20
3.3	BLOCO DE CONCRETO 14X19X39 (COMERCIAL)	unid.	72,00	R\$ 5,28	R\$ 380,16
3.4	CANALETA CONCRETO 14X19X39 (COMERCIAL)	unid.	36,00	R\$ 5,40	R\$ 194,40
3.5	PEDRISCO 9.5MM (COMERCIAL)	m ³	1,00	R\$ 171,53	R\$ 171,53
3.6	AREIA GROSSA (COMERCIAL)	m ³	1,00	R\$ 165,60	R\$ 165,60
3.7	TAMPÃO ARTICULADO FERRO FUNDIDO DN 600 MM COM ARO NTS 033 (SABESP HM01428)	unid.	1,00	R\$ 615,00	R\$ 615,00

Continua...

Tabela 5. Custos estimativos para a implantação da VRP e intervenções (continuação)

ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	VALOR UNIT. C/ BDI	VALOR TOTAL
4	CAIXA ALVENARIA E LAJE - MÃO DE OBRA				R\$ 1.049,60
4.1	AJUDANTE DE PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES (SINAPI 88242)	h	16,00	R\$ 30,32	R\$ 485,12
4.2	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES (SINAPI 88309)	h	16,00	R\$ 35,28	R\$ 564,48
5	ABRIGO PARA REGISTROS - INSUMOS E MÃO DE OBRA				R\$ 1.620,30
5.1	CAIXA TIPO T-5 FERRO FUNDIDO DN 100 MM COM TAMPA ARTICULADA PARA VÁLVULA NTS 033 (SABESP HM01366)	unid.	3,00	R\$ 102,67	R\$ 308,01
5.2	TUBO PVC DE=110 MM CL 15 PBA JEI NBR 5647-1 INFRAESTRUTURA ÁGUA (SABESP HM01914)	m	4,50	R\$ 90,32	R\$ 406,44
5.3	INSTALAÇÃO DE TUBO CAMISA DE PROTEÇÃO PARA REGISTRO COM ASSENTAMENTO DE TAMPA T-5 (SABESP 70070342)	unid.	3,00	R\$ 301,95	R\$ 905,85
TOTAL					R\$ 16.680,13

Fonte: Autor, 2023.

Destaca-se que os custos apresentados de insumos e mão de obra foram precificados conforme planilhas de preço SINAPI de agosto de 2022, SABESP de julho de 2022, CPOS/CDHU de maio de 2022, e para itens que não constavam em banco de preços oficiais, foram realizadas cotações comerciais. Vale lembrar que para itens de cotações comerciais, SINAPI e CPOS/CDHU foi adotado BDI de 20%, já para itens Sabesp foi desconsiderado o BDI.

Os custos foram apresentados ao gestor responsável pelo SAA e foram aprovados, permitindo seguir para a etapa de aquisição de materiais.

5.4 ACOMPANHAMENTO DA OBRA

Após a etapa de dimensionamento da VRP e elaboração do projeto, foi realizada a aquisição dos materiais necessários e então foi dado início na execução das intervenções necessárias para a delimitação do setor.

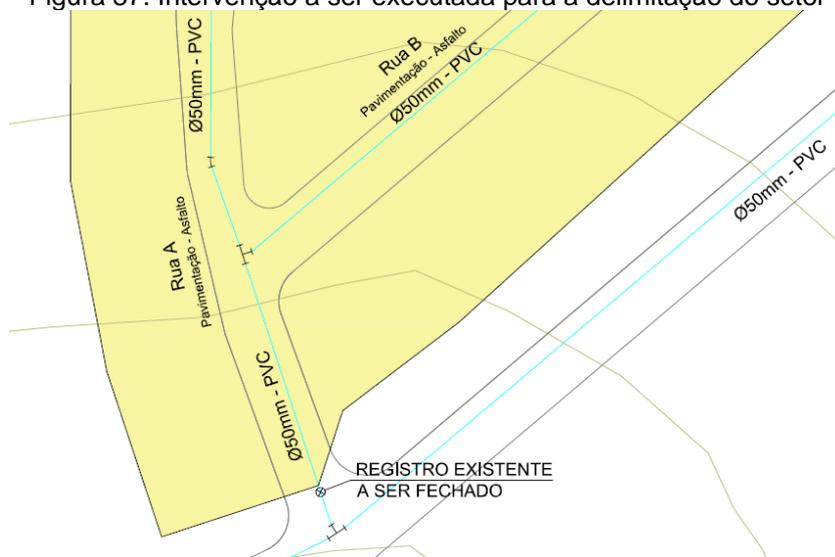
Quanto as intervenções necessárias, eram 2 (duas), sendo uma a execução de um prolongamento de rede para interligação da tubulação da Rua C com a tubulação da Rua B, representada pela Figura 36, e outra o fechamento de um registro existente na Rua A, representada pela Figura 37.

Figura 36. Intervenção a ser executada para a delimitação do setor



Fonte: Autor, 2023.

Figura 37. Intervenção a ser executada para a delimitação do setor



Fonte: Autor, 2022.

As intervenções foram realizadas e após finalizadas não ocorreram reclamações por conta dos consumidores.

A Figura 38 e a Figura 39 apresentam alguns dos equipamentos adquiridos para execução da VRP.

Figura 38. Válvula redutora de pressão de ação direta adquirida



Fonte: Autor, 2022.

Figura 39. Válvula redutora de pressão de ação direta junto ao filtro Y adquirido



Fonte: Autor, 2022.

Após a aquisição da VRP e do filtro Y, devido a questões internas do órgão responsável pelo SAA, a instalação da VRP foi realizada sem o by-pass projetado, ou seja, em futuras manutenções será necessário a paralização do abastecimento.

A Figura 40 apresenta a abertura de vala para implantação da VRP.

Figura 40. Abertura de vala para implantação da VRP



Fonte: Autor, 2022.

A Figura 41 apresenta a VRP de ação direta implantada em conjunto com o filtro Y na tubulação com diâmetro de 2" em PVC PBA de entrada do novo setor delimitado.

Figura 41. VRP de ação direta e filtro Y implantados



Fonte: Autor, 2023.

Após a implantação da VRP de ação direta, foi realizada a regulagem da pressão de saída para 40 mca visando regularizar as pressões. A Figura 42 apresenta a VRP regulada.

Já a Figura 43 apresenta a caixa executada para abrigo da VRP. Destaca-se que no projeto era previsto a execução de uma caixa de alvenaria, entretanto, após a

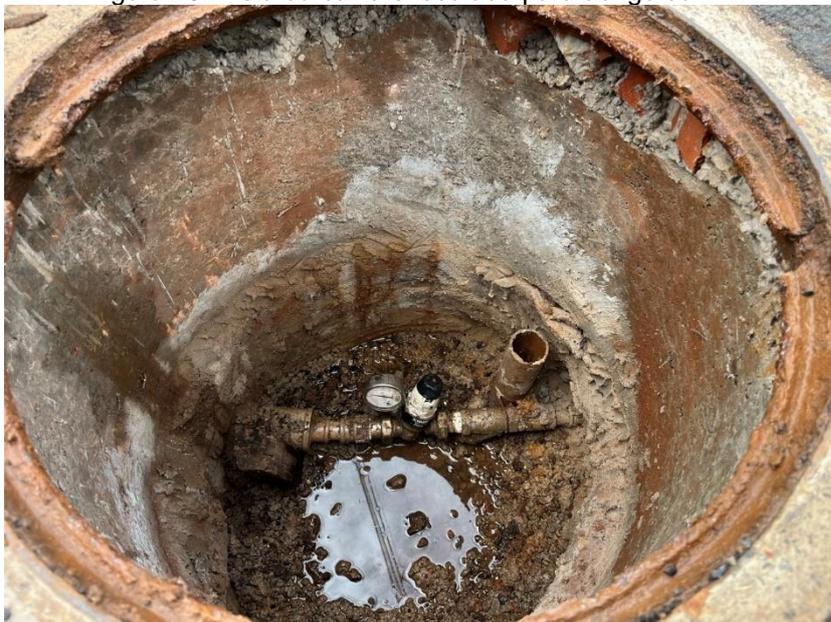
implantação da VRP, o gestor do SAA optou em utilizar aduelas de concreto utilizadas geralmente em poços de visita.

Figura 42. Vista da VRP de ação direta regulada em 40 mca



Fonte: Autor, 2023.

Figura 43. Vista da caixa executada para abrigo da VRP



Fonte: Autor, 2023.

Por fim, a Figura 44 apresenta a recomposição do pavimento após a implantação da VRP.

Figura 44. Vista da recomposição do pavimento após a implantação da VRP



Fonte: Autor, 2023.

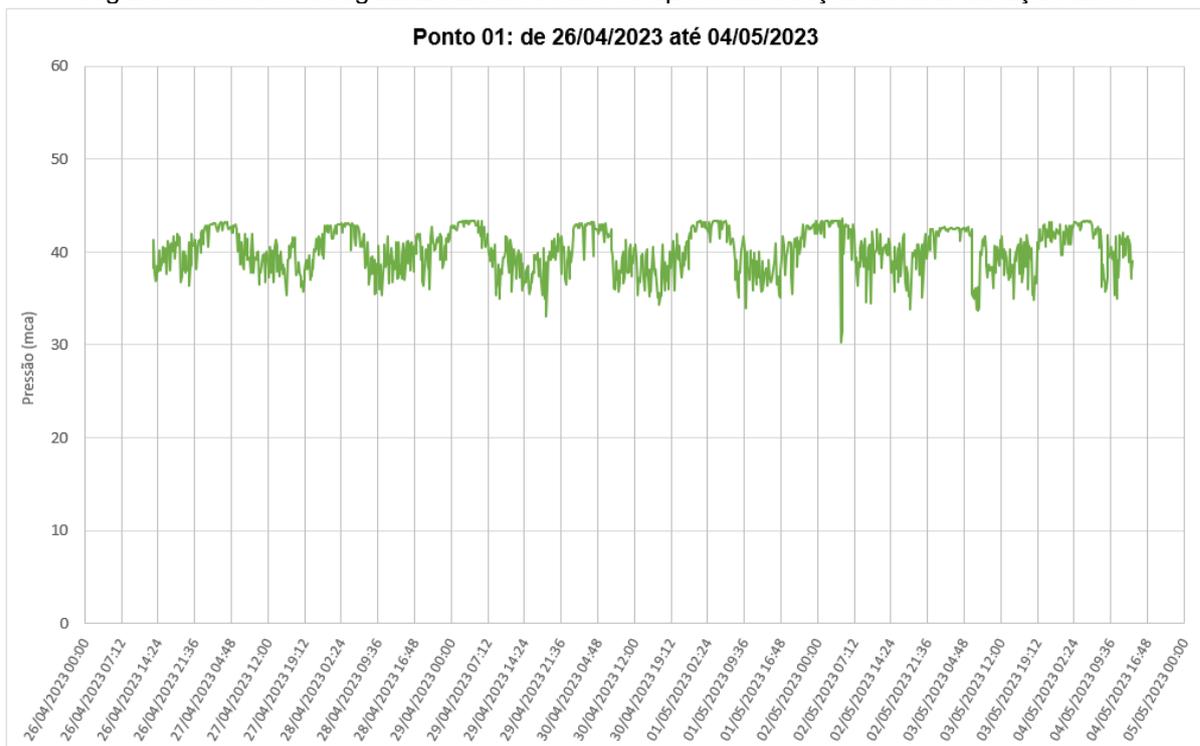
5.5 LEVANTAMENTO DE DADOS PARA VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS

Após da execução das intervenções necessárias e implantação e regulagem da VRP de ação direta, foi realizada uma nova campanha de coleta de pressões visando a verificação da regularização das pressões.

Foram instalados (dois) dataloggers de pressão pelo período de 7 (sete) dias completos nos mesmos pontos da primeira campanha de medição, ou seja, no ponto Ponto 01 e no Ponto 02.

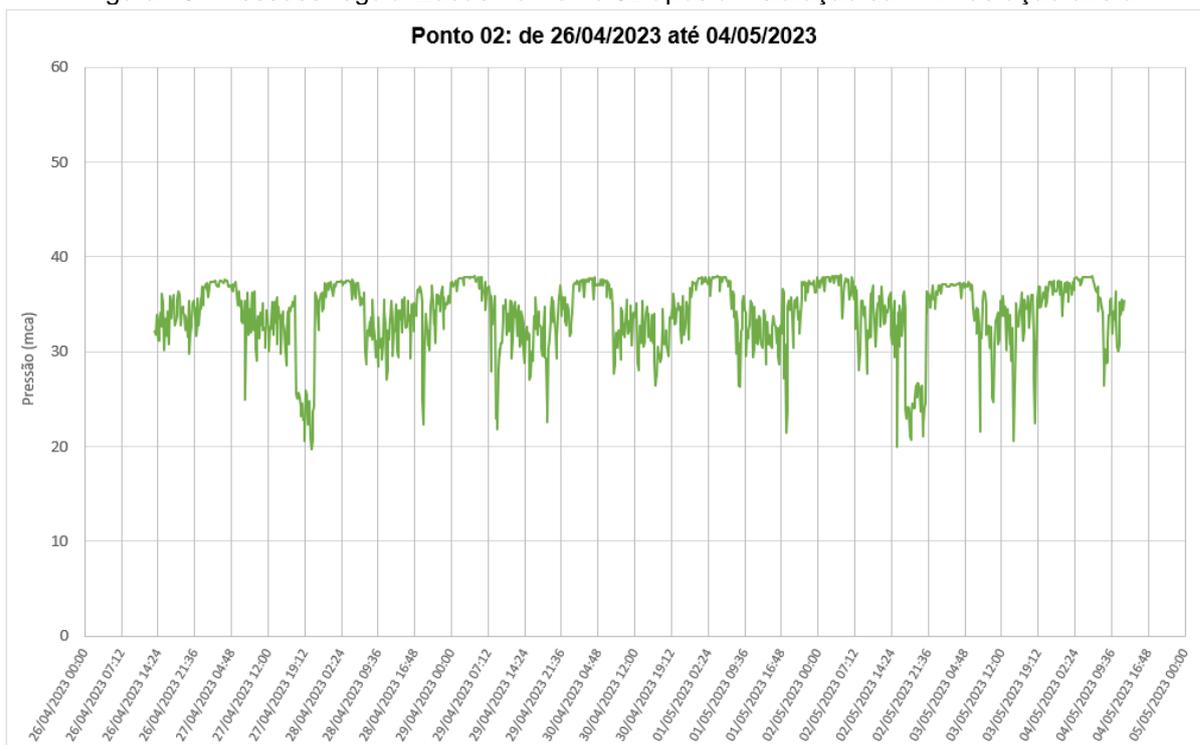
A Figura 45 e a Figura 46 apresentam os equipamentos instalados nos pontos citados anteriormente e a Figura 47 e a Figura 48 apresentam os resultados obtidos, com as pressões regularizadas pela VRP implantada, apresentando pressão máxima de 43 mca.

Figura 47. Pressões regularizadas no Ponto 01 após a instalação da VRP de ação direta



Fonte: Autor, 2023.

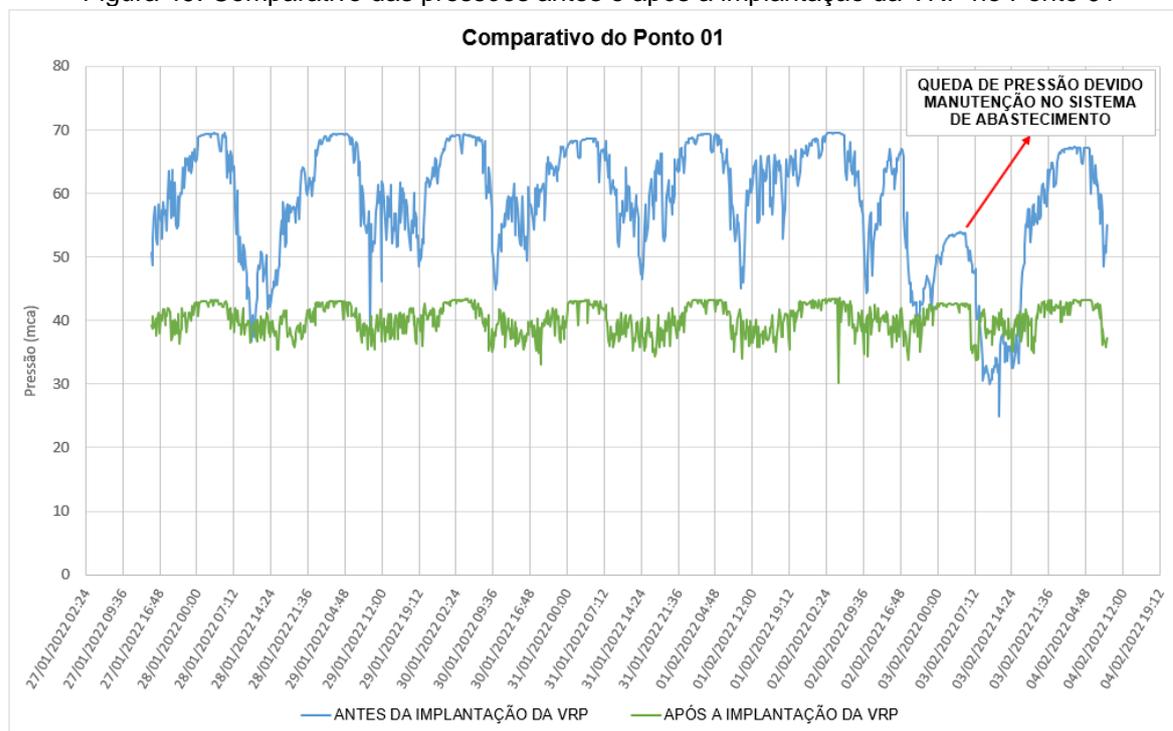
Figura 48. Pressões regularizadas no Ponto 02 após a instalação da VRP de ação direta



Fonte: Autor, 2023.

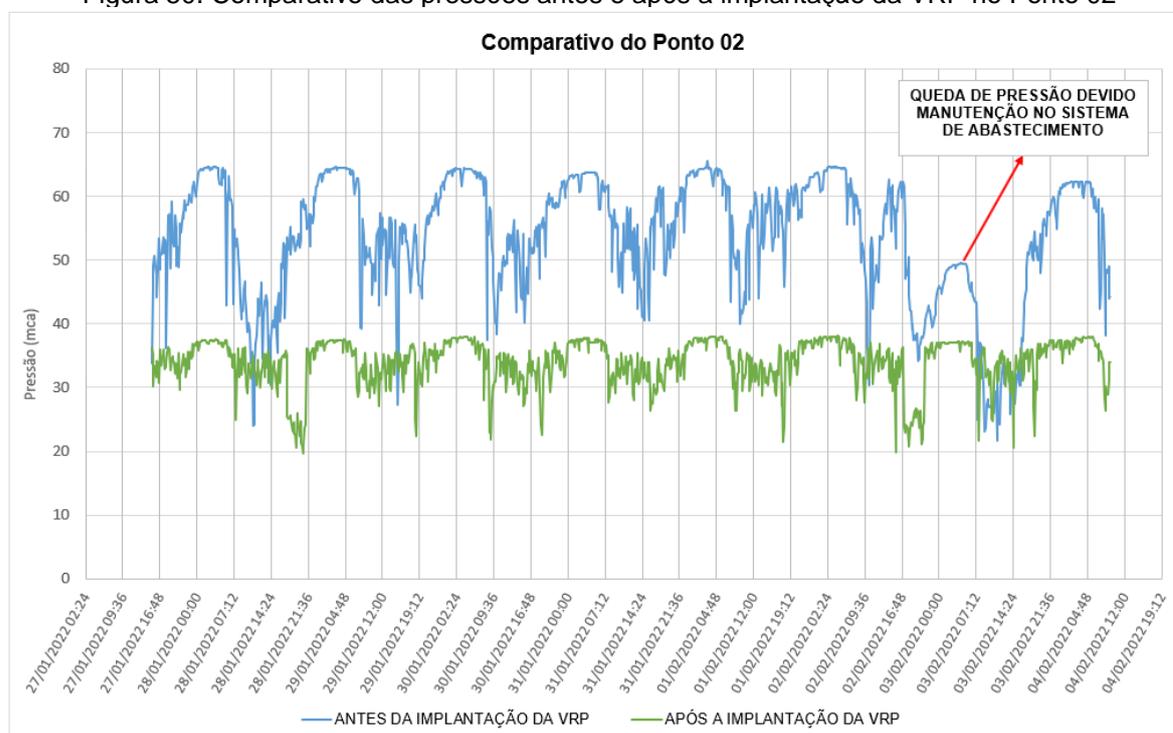
Para efeito comparativo das pressões antes e após a implantação da VRP de ação direta, a Figura 49 e a Figura 50 apresentam respectivamente as pressões do Ponto 01 e do Ponto 02.

Figura 49. Comparativo das pressões antes e após a implantação da VRP no Ponto 01



Fonte: Autor, 2024.

Figura 50. Comparativo das pressões antes e após a implantação da VRP no Ponto 02



Fonte: Autor, 2024.

Conforme pode ser observado, as pressões que anteriormente a implantação da VRP variavam entre 35 e 70 mca passaram a variar entre 25 e 43 mca, atingindo 20 mca em alguns períodos do dia.

A Tabela 6 apresenta de forma resumida a pressão estática teórica, considerando a cota de nível do ponto em relação a cota do reservatório, e as pressões mínimas, médias e máximas coletadas nos pontos 01 e 02 antes e após a implantação da VRP.

Tabela 6. Resumo das pressões antes e após a implantação da VRP

Ponto	Pressão Estática Teórica (mca)	ANTES DA IMPLANTAÇÃO DA VRP			APÓS A IMPLANTAÇÃO DA VRP		
		Pressão Mínima* (mca)	Pressão Média (mca)	Pressão Máxima (mca)	Pressão Mínima (mca)	Pressão Média (mca)	Pressão Máxima (mca)
01	72,80	35,89	61,27	69,81	30,20	40,22	43,60
02	66,80	23,95	55,97	65,46	19,70	34,00	38,10

* Não foi considerado o período em que ocorreram manutenções no sistema.

Fonte: Autor, 2024.

Gobbo *et al.* (2023) obteve redução de pressão em 31,18% para horário de máxima pressão ao realizar a validação de uma VRP em campo. Freitas *et al.* (2007) apontou redução aproximada de 21,15% para pressões médias e 25,00% para pressões máxima, em estudo realizado no Setor Freguesia do Ó na região metropolitana de São Paulo.

Para a presente pesquisa, a redução da pressão média foi de 34,36% para o ponto 01 e 39,25% para o ponto 02, e a redução da pressão máxima foi de 37,54% para o ponto 01 e 41,80% para o ponto 02.

A Tabela 7 apresenta a variância e o desvio padrão calculados a partir dos dados coletados. É possível de observar que há uma redução de ambos parâmetros quando comparado antes e após a implantação da VRP, comprovando a regularidade, ou a menor dispersão ou até a regularização das pressões após a implantação da VRP.

Tabela 7. Variância e desvio padrão dos dados coletados.

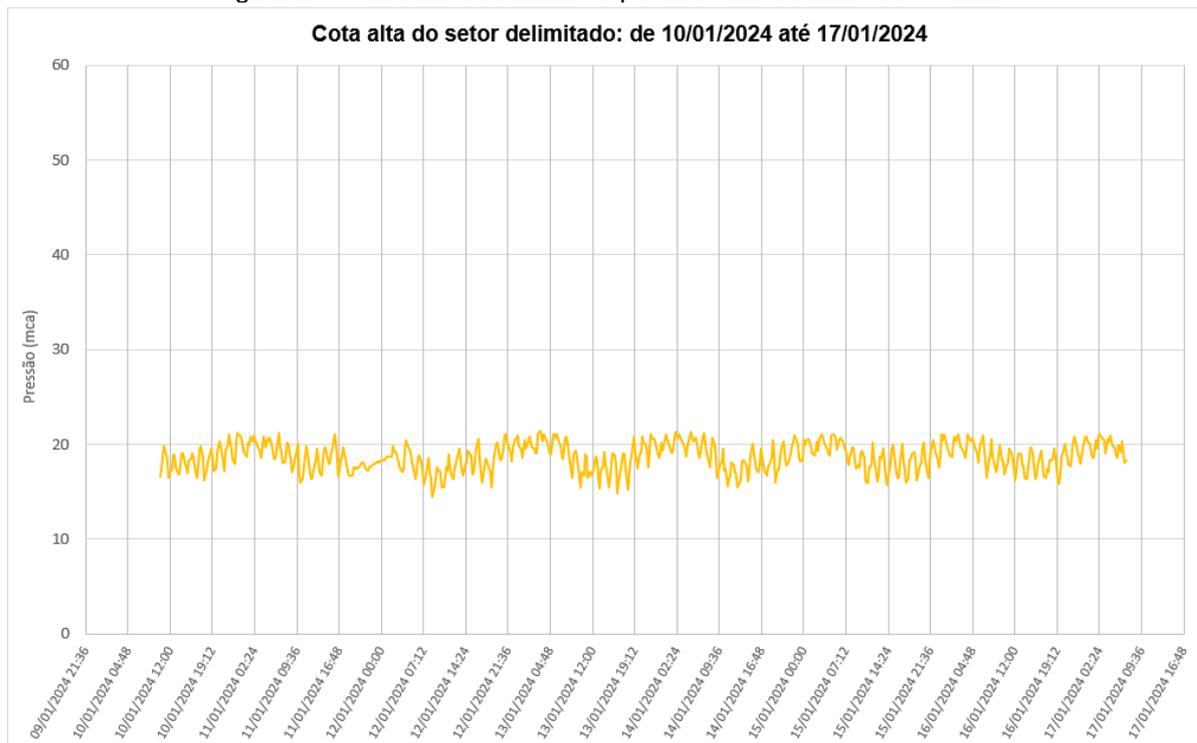
Ponto	ANTES DA IMPLANTAÇÃO DA VRP		APÓS A IMPLANTAÇÃO DA VRP	
	Variância (V)	Desvio Padrão (DP)	Variância (V)	Desvio Padrão (DP)
1	49,54	7,04	5,44	2,33
2	59,78	7,73	11,69	3,42

* Não foi considerado o período em que ocorreram manutenções no sistema.

Fonte: Autor, 2024.

Conforme a campanha de coletas de pressões instantâneas, utilizando manômetro, antes da implantação da VRP, a qual teve o intuito de verificar as pressões em cotas altas do setor, sendo a menor pressão registrado de 33 mca, para complementar a validação dos resultados, após a implantação da VRP foi realizada a instalação de um datalogger de pressão em uma residência localizada na cota alta do setor delimitado, ou seja, um ponto crítico. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 51.

Figura 51. Pressões coletadas no ponto crítico do setor delimitado.



Fonte: Autor, 2024.

A média das pressões no ponto crítico, após a implantação da VRP, foi de 18,66 mca, e conforme pode ser observado, em não ocorreram períodos em que a pressão ficou abaixo de 10,20 mca, ou 100 kPa.

Com os resultados das medições de pressão realizadas após a implantação da VRP de ação direta foi possível de comprovar a viabilidade de implantação e a regularização das pressões.

5.6 INDICADORES E PAYBACK

Conforme os custos apresentados na Tabela 5, é possível de observar que o valor total estimado para execução das intervenções e implantação da VRP foi de R\$ 16.680,13.

Conforme citado anteriormente, a instalação da VRP foi realizada sem o *bypass* projetado, e a caixa de abrigo foi executada com aduelas de concreto utilizadas em poços de visita, ocasionando positivamente em uma determinada economia de custo, e negativamente no sentido operacional.

Entretanto, considerando o projeto executado conforme a Figura 35 em conjunto com as intervenções necessárias e as informações do sistema comercial apresentadas na Tabela 3, em que a área delimitada possui 29 ligações e consumo médio de 600 m³ por mês, através das equações (5), (6) e (7) foram obtidos os indicadores apresentados na sequência.

$$\text{Custo por ligação} \left(\frac{R\$}{\text{lig}} \right) = R\$ 575,18/\text{lig}$$

$$\text{Custo por habitante} \left(\frac{R\$}{\text{hab}} \right) = R\$ 143,80/\text{hab.}$$

$$\text{Custo por m}^3 \text{ faturado anual} \left(\frac{R\$}{\text{m}^3/\text{ano}} \right) = R\$ 2,32/\text{m}^3/\text{ano}$$

Considerando que o custo de produção de 1 m³ de água é de R\$ 2,24, baseando-se em dados do SNIS de 2022, e que o valor mínimo faturado para 1 m³ é de R\$ 3,75 para a categoria residencial, conforme o último reajuste tarifário realizado pela ARES-PCJ, obtém-se um valor positivo de R\$ 1,51/m³. Dessa forma, através da

equação (8) o retorno dos investimentos (*payback*) para o presente estudo será de aproximadamente 18 meses conforme apresentado na sequência.

$$\text{Payback(Anos)} = \frac{2,32}{1,51} \sim 1,5 \text{ anos ou } 18 \text{ meses}$$

Por outro lado, com a redução das pressões no sistema de abastecimento de água, além de atender as normas vigentes, a vida útil das tubulações é prolongada, e tanto a quantidade de vazamentos não visíveis futuros, quanto as perdas de água com os vazamentos não visíveis existentes, poderá ser menor. Além disso, a quantidade de manutenções com o rompimento de redes possivelmente irá reduzir, impactando diretamente dos custos mensais da autarquia. Com isso, certamente o *payback* será menor do que os 18 meses calculado.

A Tabela 8 apresenta os custos estimativos para execução de 1 (um) reparo de tubulação rompida. Destaca-se a data base e referência de preços é a mesma adotada na Tabela 5.

Tabela 8. Custos estimativos para execução de 1 (um) reparo de tubulação rompida

ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	VALOR UNIT. C/ BDI	VALOR TOTAL
1	REPARO ROMPIMENTO DE REDE 50 MM (VALA DE 3,50 X 1,80 m)				
1.1	LUVA DE CORRER PVC JE PBA - DN 50 MM (SABESP HM01891)	unid.	2,00	R\$ 17,72	R\$ 35,44
1.2	TUBO PVC JEI PBA - CL20 - DN 50 MM (SABESP HM01918)	m	3,00	R\$ 33,18	R\$ 99,54
1.3	DEFINIÇÃO E DEMARCAÇÃO DA ÁREA DE REPARO COM DISCO DE CORTE (SABESP 70190008)	m	10,60	R\$ 7,56	R\$ 80,14
1.4	LEVANTAMENTO DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA (SABESP 70090001)	m ²	6,30	R\$ 28,24	R\$ 177,91
1.5	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALAS OU CAVAS COM PROFUNDIDADE DE ATÉ 2,00 M (CPOS/CDHU 07.02.020)	m ³	9,45	R\$ 12,89	R\$ 121,81
1.6	PREPARO DE FUNDO DE VALA COM LARGURA MENOR QUE 1,5 M (ACERTO DO SOLO NATURAL) (SINAPI 101616)	m ²	6,30	R\$ 8,50	R\$ 53,55
1.7	ATERRO DE VALAS, POÇOS E CAVAS COMPACTADO MECANICAMENTE (SABESP 70030019)	m ³	9,45	R\$ 11,21	R\$ 105,93
1.8	TRANSPORTE DE SOLO DE 1ª E 2ª CATEGORIA POR CAMINHÃO ATÉ O 2º KM (CPOS/CDHU 05.10.020)	m ³	0,95	R\$ 9,56	R\$ 9,03
1.9	CARREGAMENTO MECANIZADO DE SOLO DE 1ª E 2ª CATEGORIA (CPOS/CDHU 05.10.010)	m ³	0,95	R\$ 5,92	R\$ 5,59
1.10	TAXA DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO EM ATERRO, TIPO SOLO/TERRA (CPOS/CDHU 05.09.007)	m ³	0,95	R\$ 30,32	R\$ 28,65
1.11	SUB-BASE EM BRITA OU MACADAME HIDRÁULICO (SABESP 70090084)	m ³	0,95	R\$ 201,14	R\$ 190,08

Continua...

Tabela 8. Custos estimativos para execução de 1 (um) reparo de tubulação rompida (continuação)

1.12	EMULSÃO ASFÁLTICA RR2C (SINAPI 96402)	m ²	6,30	R\$ 3,47	R\$ 21,86
1.13	CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO (E=5CM) (SABESP 70090088)	m ³	0,32	R\$ 2.032,92	R\$ 640,37
1.14	ENGENHEIRO CIVIL DE OBRA PLENO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES (SINAPI 90778)	h	4,00	R\$ 148,60	R\$ 594,40
1.15	ENCARREGADO GERAL COM ENCARGOS COMPLEMENTARES (SINAPI 90776)	h	8,00	R\$ 45,84	R\$ 366,72
1.16	ENCANADOR OU BOMBEIRO HIDRÁULICO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES (SINAPI 88267)	h	8,00	R\$ 39,20	R\$ 313,60
1.17	AUXILIAR DE ENCANADOR OU BOMBEIRO HIDRÁULICO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES (SINAPI 88248)	h	16,00	R\$ 33,54	R\$ 536,64
TOTAL				R\$ 3.381,27	

Fonte: Autor, 2024.

Para 1 (um) reparo o valor estimado é de R\$ 3.381,27. Conforme apresentado anteriormente, no ano de 2021, antes da implantação da VRP, ocorreram 2 (dois) reparos de vazamentos em tubulações, totalizando R\$ 6.762,54, ou seja, 40,54% do custo de implantação da VRP e das intervenções.

Com a regularização das pressões, a tendência é diminuir a incidência dos rompimentos de tubulações, gerando assim uma economia ao longo do ano. Dessa forma, subtraindo essa economia de R\$ 6.762,54 por ano, do custo para implantação da VRP, resulta em R\$ 9.917,59, que através das equações (7) e (8) são obtidos os indicadores apresentados na sequência.

$$\text{Custo por } m^3 \text{ faturado anual} \left(\frac{R\$}{m^3/\text{ano}} \right) = R\$ 1,38/m^3/\text{ano}$$

$$\text{Payback}(\text{Anos}) = \frac{1,38}{1,51} \sim 0,91 \text{ anos ou 11 meses}$$

Portanto, adotando a economia dos custos com manutenções de tubulações rompidas, o *payback* é reduzido para 11 meses.

Vale lembrar que essa análise deve ser realizada de forma específica para cada caso, uma vez que as características do local em conjunto com a quantidade de intervenções necessárias e ligações existentes influenciam diretamente no resultado.

6 CONCLUSÕES

O estudo realizado possibilitou a delimitação de uma área de com uma única entrada de abastecimento, na qual foi instalada uma válvula redutora de pressão do tipo ação direta, devido a necessidade de regularização das pressões.

Com a implantação da VRP foi possível de verificar o funcionamento satisfatório da mesma em uma área reduzida. Com a regulação da válvula, as pressões que anteriormente estavam atingindo até 70 mca, passaram a apresentar pressões variando entre 25 e 40 mca, com máximas de 43 mca.

As pressões atingidas após a implantação do estudo resultaram em pressões mais estáveis, de acordo com a norma e, além disso, solucionou a notificação recebida pela Agencia Reguladora ARES-PCJ, evitando o pagamento de multas.

Durante a etapa de implantação da VRP, a equipe de campo enfrentou dificuldades durante a execução da intervenção de prolongamento de rede, devido ao cadastro não estar compatível com o campo, entretanto, foi realizada com sucesso.

Vale lembrar que no ponto de instalação da VRP, por ela possuir diâmetro de 25 mm (1"), não é atendido aos requisitos da norma NBR 12.218/2017 em relação ao diâmetro mínimo exigido para condutos secundários, no qual é estabelecido diâmetro mínimo de 50 mm, entretanto o presente caso pode ser justificado devido a necessidade de redução de pressão, mas devido ao diâmetro reduzido a probabilidade de entupimentos aumenta, devendo ser realizadas limpezas e verificações do filtro da VRP com maior frequência.

Destaca-se que a VRP implantada não permite a automatização, entretanto, em futuros estudos pode ser levado em consideração a instalação de dataloggers de montante e jusante em conjunto com hidrômetros com saída pulsada, permitindo assim a criação de um DMC e o monitoramento da vazão e pressão em tempo real. Além disso visando atender ao diâmetro mínimo exigido por norma, também pode ser considerada a avaliação da performance quando utilizada a VRP de ação direta diâmetros maiores.

A área delimitada possui 29 ligações e consumo médio total de água de 600 m³ por mês. Os custos estimativos para a implantação da VRP e intervenções totalizaram R\$ 16.680,13, o que resulta em cerca de R\$ 575,18/ligação, R\$ 143,80/habitante ou ainda R\$ 2,32/m³ de água faturada anualmente.

Considerando o faturamento mínimo para a categoria residencial, estima-se um retorno dos investimentos (*payback*) para o presente estudo de aproximadamente 18 meses. Dando importância a economia com as manutenções do rompimento de tubulações, o retorno reduz para aproximadamente 11 meses. Entretanto, levando em conta a redução das pressões, o prolongamento da vida útil das tubulações e a redução das perdas de água, certamente o *payback* será menor.

Em geral, o presente estudo viabilizou a regularização de pressão para uma região com topografia acidentada, com baixo consumo, que é uma realidade em diversos municípios do Brasil, e irá servir como referência para os próximos casos semelhantes no município. Além disso, é estimada uma economia de R\$ 6.762,54/ano com a manutenção de tubulações rompidas devido altas pressões, reduzindo conseqüentemente, impactos ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA REGULADORA ARES – PCJ. **Estatuto Social**. Disponível em: <<https://www.arespcj.com.br/public/media/arquivos/1685101919-estatuto2023.pdf>>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NB 594**: Elaboração de projeto hidráulico de redes de distribuição para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1977.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 2017. 23p.
- AZEVEDO NETTO, José Martiniano de; FERNANDEZ, Miguel Fernandez y. **Manual de Hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015. 632p.
- BEREGULA, Renato Leandro; SILVA, Fernando Rodrigues da. Equipamento de baixo custo para monitoramento de pressões em sistemas de abastecimento de água. **Eng Sanit Ambient**, v. 25, n. 6, p. 809-820, 2020.
- BERMAD. **Válvula Redutora de Pressão Modelo 42 LP (Ação Direta)**. Disponível em: <<https://www.bermad.com/app/uploads/sites/8/WW-42-LP.pdf>>
- BERMAD. **Válvula Redutora de Pressão Modelo 720 PD**. Disponível em: <https://www.bermad.com/app/uploads/sites/8/BC-720-PD-V-VARedutora-de-Pressao-Proporcional-mod.720-PD-V-VA_Ficha-Tecnica.pdf>
- BERMAD. **Válvula Redutora de Pressão Modelo VA-601**. Disponível em: <<https://www.bermad.com/app/uploads/sites/8/WW-VA-601-.pdf>>
- BRASIL. FUNASA. **Manual de saneamento**. Brasília, 2006. 408 p.
- BRASIL. **Lei nº. 11.445**, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>
- BRASIL. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Série Histórica**. Brasília: SNIS, 2021.
- BUI, Xuan Khoa; KANG, Doosun. A strategy for sustainable urban water management using water network partitioning with optimal booster pump configuration: A case study. **Sustainable Cities and Society**, v. 90, 2023.
- CAESB. **Projeto Executivo. Rede de Distribuição de Água. Centro Urbano. Recanto das Emas/DF**. Disponível em: <<https://www.terracap.df.gov.br/index.php/component/attached/?task=download&id=4657>>. Acesso em 19 jan. 2024.

CARVALHO JÚNIOR, Roberto de. **Instalações Hidráulicas e o Projeto de Arquitetura**. 13ª edição. São Paulo: Editora Blucher, 2021. 400p.

CLICK GUARULHOS. **Sabesp instala válvulas para regular pressão e preservar meio ambiente**. Disponível em:
<<https://www.clickguarulhos.com.br/2020/07/06/sabesp-instala-valvulas-para-regular-pressao-e-preservar-meio-ambiente/>>. Acesso em: 17 jan. 2024.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Setorização Vila Formosa**. São Paulo: Consórcio Eficiência Centro, 2020.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Tratamento de água**. Disponível em:
<<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>>

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTOS - DAAE. **Implantação da Setorização**. Araraquara: Grupo Novaes Engenharia, 2019.

FERREIRA FILHO, Sidney Seckler. **Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estação de tratamento**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional (GEN), 2020. 463p.

FREITAS, V. V. de. et al. Uma década de controle de pressão nas redes de distribuição da Sabesp. Revista DAE, n. 176, p. 28 - 33, 2007.

GALDI, G. P. et al. Análise comparativa do custo de redes de abastecimento de água em setores urbanos verticais e horizontais. **Eng Sanit Ambient**, v. 27, n. 3, p. 561-570, 2022.

GARÇA ONLINE. Prefeitura contrata empresas para troca de rede de abastecimento e construção de reservatórios. Disponível em:
<<https://www.garcaonline.com.br/2015/03/prefeitura-contrata-empresas-para-troca-de-rede-de-abastecimento-e-construcao-de-reservatorios>>. Acesso em: 17 jan. 2024.

GOBBO, F. M. et al. Automatização de Válvula Redutora de Pressão (VRP) em sistema de abastecimento de água. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 1, p. 3440-3456, 2024.

GONÇALVES, Elton; LIMA, Celso Vieira de. **Controle de Pressões e Operação de Válvulas Reguladoras de Pressão**. Guias práticos – Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água. Volume 4. Brasília. Brasil. Ministério das Cidades, 2007.

HELLER, Léo; PÁDUA, Válter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 3ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016. 870p.

JUNIOR, José do Carmo de Souza; VATAVUK, Paulo. Distritos de medição e controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, v. 16, n. 42, p. 445-470, 2023.

MACÊDO, Jorge Antônio Barros de. **Águas & Águas**. 3ª ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2007. 1027 p.

MANZI, Daniel. **A hidráulica de todo dia no saneamento**. 1ª ed. Curitiba: Appris, 2020. 189p.

MOTTA, Renato Gonçalves da. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MUTIKANGA, E. et al. Investigating water meter performance in developing countries: A case study of Kampala, Uganda. **Water SA**, v. 37, n. 4, p. 567 – 574, 2011.

NAQUA. Estação de tratamento de água compacta. Disponível em: <https://naqua.com.br/portfolio_page/etas/>

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica**. 4ª ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 540 p.

RAMOS, João Miguel Giesta. **Análise e dimensionamento de reservatórios semi-enterrados circulares de betão armado pré-esforçado**. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2009.

SAAE Sorocaba. **Principais adutoras passam a contar com medidores de precisão**. Disponível em: <<https://www.saaesorocaba.com.br/principais-adutoras-passam-a-contar-com-medidores-de-precisao/>>. Acesso em: 17 de jan. 2024.

SAAEC Cerquilho. **Sistema de abastecimento**. Disponível em: <<https://www.saaec.com.br/agua/tratamento-de-agua/>>. Acesso em: 17 de jan. 2024.

SAAESP São Pedro. **Estações de tratamento de água**. Disponível em: <<https://www.saaesp.sp.gov.br/estacao-de-bombeamento/estacoes-de-tratamento-de-agua/>>. Acesso em: 02 de dez. 2023.

SANTOS, K. A. et al. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB. **Eng Sanit Ambient**, v. 22, n. 5, p. 943-952, 2017.

SUZUMURA, Mauricio.; SOARES, Debora. **Maximização da gestão de pressão através da implantação do controle pelo ponto crítico**. CONGRESSO ABES - FENASAN, 2017.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 4ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

VECTORA. **Datalogger de pressão**. Disponível em:
<<http://www.vectora.com.br/portal/produtos.html>>

WIKA. **Catálogo manômetro com tubo Bourdon**. Disponível em:
<https://www.wika.com.br/upload/DS_PM0212_pt_br_98039.pdf>