

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA HÍDRICA

**Avaliação de Estratégias Operacionais Visando a Sustentabilidade Hídrica e Energética
de Rede de Distribuição de Água Real do Sul de Minas Gerais**

João Paulo Gonçalves

Itajubá (MG)

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA HÍDRICA

João Paulo Gonçalves

**Avaliação de Estratégias Operacionais Visando a Sustentabilidade Hídrica e Energética
de Rede de Distribuição de Água Real do Sul de Minas Gerais**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hídrica como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Hídrica.

Área de Concentração: Gestão de Sistemas Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva

Itajubá (MG)

2019

Dedico este trabalho à Deus que me vem todo o esforço e vontade de superar. E também as pessoas que lutam e reconhecem suas dificuldades e que jamais desistem de lutar por acreditar em si mesmo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde pela oportunidade de enfrentar cada desafio em minha vida, guiando meus passos ao longo de toda esta pesquisa, além de prover o sentimento de dedicação a esse trabalho.

A minha família que sempre foi minha base e amparo nos momentos de dúvidas e dificuldades, por compreenderem minha decisão, dando-me força para jamais desistir.

Agradeço ao professor e Dr. Fernando das Graças Braga da Silva, pelos ensinamentos, pela orientação, conselhos por possibilitar a pesquisa nessa área de concentração, cuja em sua ausência não seria possível realizar os estudos voltados a esse tema. Obrigado por toda atenção, dedicação e conhecimento compartilhados.

Agradeço a todos os professores que ministraram as disciplinas durante o curso de mestrado, agregando informações de ótima qualidade e ensinamentos. Propondo informações de forma diretas ou indiretamente na construção desse trabalho.

Agradeço ao Projeto Redecope Finep – MCT (Ref. 0983/10) - Ministério da Ciência e Tecnologia intitulado “Desenvolvimento de tecnologias eficientes para a gestão hidro energética em sistemas de abastecimento de água” e Programa Pesquisador Mineiro da Fapemig pelo PPM - 00755-16 além de ser grato ao NUMMARH- Núcleo de Modelagem em Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hidricos da UNIFEI.

A todas as pessoas que contribuíram para esse trabalho direto ou indiretamente, sendo impossível agradecer a todos.

RESUMO

A conservação e a boa gestão hídrica são fundamentais para o desenvolvimento sustentável, qualidade e transporte de um bem cada vez mais precioso que é a água, que torna-se cada vez mais escassa. A conservação desse recurso hídrico é uma tarefa complexa quando relacionada com a demanda, que aumenta com o crescimento populacional, desta maneira uma boa gestão é fundamental para realizar determinadas análises das possíveis situações que ocasionam a diminuição desse recurso. O trabalho aqui proposto é subsidiado por informações obtidas em estudos anteriores do grupo NUMMARH – Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos obtidas a partir de companhias distribuidoras de água de sistema real, com o objetivo de fundamentar um procedimento de análise operacional de uma rede de distribuição de água com o intuito de estabelecimento de melhoria do custo x benefício através da utilização de proposta de operação de dispositivos hidromecânicos no sistema. O trabalho foi realizado em seis etapas: seleção da rede real para o estudo, estudo da ferramenta EPANET, levantamento de dados para o desenvolvimento do estudo, modelagem da rede, simulações computacionais usando o EPANET e análise dos resultados. As simulações são feitas com o uso do software EPANET onde são propostos cenários com diferentes combinações focando, principalmente a questão de redução de pressões à luz de norma técnicas associadas a perdas de água e custos financeiros. Os resultados demonstraram que ocorreram melhorias nas pressões nos cenários com atribuição de válvulas e bombas, e através destas informações estabeleceu-se um melhor custo benefício em uma rede existente. Avalia-se que o trabalho contribui na aquisição de conhecimentos para procedimentos de análise aplicada a rede real, pois a maior parte dos estudos encontrados na literatura, mesmo com análises computacionais mais complexas, são aplicadas em redes teóricas de tamanho reduzido.

Palavras-chave: Rede de distribuição. Análise operacional. Redução de pressão.

ABSTRACT

The conservation and good water management are fundamental for the sustainable development, quality and transport of an increasingly precious asset that is water that becomes increasingly scarce. The conservation of this water resource is a complex task when it comes to demand, which increases with population growth, so for good management it is fundamental to carry out certain analyzes of possible situations that reduce the resource that is increasingly essential for population development. The work proposed is supported by information obtained from previous studies of the group NUMMARH Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos obtained from real system water distribution companies, in order to base a procedure of operational analysis of a water distribution network with the purpose of establishing improvement of cost x benefit through the use of proposal of operation of hydromechanical devices in the system. The work was carried out in six stages: selection of the real network for the study, study of the EPANET tool, data collection for the development of the study, network modeling, computational simulations using EPANET and results analysis. The simulations are done with the use of EPANET software where scenarios with different combinations are proposed, focusing mainly on the issue of pressure reduction in the light of standard techniques associated with water losses and financial costs. The results demonstrated that there were improvements in the pressures in the scenarios with valve and pump assignments, and through this information to establish a better cost benefit in an existing network. It is evaluated that the work contributes to the acquisition of knowledge for analysis procedures applied to the real network, since most of the studies found in the literature, even with more complex computational analyzes, are applied theoretical networks of reduced size.

Keywords: Distribution network. Operational analysis. Pressure reduction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Setor de abastecimento típico.....	18
Figura 2 – Sistema das ações de perdas reais	21
Figura 3 – Etapas desenvolvidas no trabalho	31
Figura 4 – Rede em estudo pertencente a um setor de abastecimento em Minas Gerais	33
Figura 5 – (a) Rede em estudo sem alteração; (b) Gráfico de isolinhas sem controle de pressão	37
Figura 6 – Gráfico de pressão da rede no cenário 01	37
Figura 7 – (a) Sem inserção de válvula; (b) Com inserção de uma válvula	38
Figura 8 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 02 com inserção de uma válvula	39
Figura 9 – (a) Cenário sem alteração de válvula; (b) Inserção de duas válvulas	40
Figura 10 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 03 com inserções de duas válvulas.....	40
Figura 11 – (a) Sem inserção de válvula; (b) Com inserção de três válvulas.....	41
Figura 12 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 04 com inserções de três válvulas.....	42
Figura 13 – (a) Sem inserção de válvula; (b) Com inserção de quatro válvulas	43
Figura 14 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 05 com inserção de quatro válvulas.....	44
Figura 15 – Instalação de bomba na região com maiores altitudes no trecho 96 com o RNF= 957 metros	45
Figura 16 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 06 com inserção de bomba	46
Figura 17 – Instalação de uma válvula associado a rede com bomba com o RNF= 957 metros	47
Figura 18 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 07 com inserção de bomba	48
Figura 19 – Instalação de duas válvulas a rede com uma bomba com o RNF=957 metros	49
Figura 20 – Gráfico comparativo de pressão entre cenário 01 e 08 com inserção de bomba ..	50
Figura 21 – Instalação de três válvulas a rede com bomba com o RNF= 957 metros	50
Figura 22 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 09 com inserção de bomba	51

Figura 23 – Instalação de quatro válvulas a rede com bomba no trecho 96 com o RNF = 957 metros	52
Figura 24 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 10 com inserção de uma bomba	53
Figura 25 – (a) Sem alteração do RNF; (b) Com alteração RNF = 957 para RNF = 954 metros	54
Figura 26 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 11	55
Figura 27 – Colocação de válvula redutora de pressão e alteração do reservatório a 954 metros	56
Figura 28 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 09 com inserção de uma válvula	57
Figura 29 – Colocação de duas válvulas redutoras de pressão e alteração do RNF= 954 metros	57
Figura 30 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 13 com inserção de duas válvulas.....	58
Figura 31 – Colocação de três válvulas redutoras de pressão e alteração do reservatório a 954 metros	59
Figura 32 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 14 com inserção de três válvulas.....	60
Figura 33 – Colocação de quatro válvulas redutoras de pressão e alteração do reservatório a 954 metros	61
Figura 34 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 15 com inserção de quatro válvulas.....	62
Figura 35 – Instalação de uma bomba na região com maiores no trecho 96 com o RNF= 954 metros	63
Figura 36 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 16 com inserção de bomba	63
Figura 37 – (a) Sem alteração da altura do RNF= 957 metros; (b) Alterando para RNF = 949 metros	64
Figura 38 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 17	65
Figura 39 – Colocação de válvula redutora de pressão e alteração do RNF = 949 metros	66
Figura 40 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 18 com inserção de uma válvula	67

Figura 41 – Colocação de duas válvulas redutoras de pressão e alteração do RNF =949 metros	67
Figura 42 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 19 com inserção de duas válvulas.....	68
Figura 43 – Colocação três válvulas redutora de pressão e alteração do RNF = 949 metros...	69
Figura 44 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 20 com inserção de três válvulas.....	70
Figura 45 – Colocação quatro válvulas redutoras de pressão e alteração do reservatório a 949 metros	71
Figura 46 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 21 com inserção de quatro válvulas.....	72
Figura 47 – Instalação de bomba na região com maiores altitudes no trecho 96 com o RNF= 949 metros	73
Figura 48 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 22 com inserção de bomba	74
Figura 49 – (a) Sem alteração do RNF. (b) Alteração da altura do RNF de 957 para 944 metros	75
Figura 50 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 23	76
Figura 51 – Colocação de válvula redutora de pressão e alteração do RNF = 944 metros	77
Figura 52 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 24 com inserção de uma válvula	77
Figura 53 – Colocação de duas válvulas redutoras de pressão e alteração do RNF = 944 metros	78
Figura 54 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 25 com inserção de duas válvulas.....	79
Figura 55 – Colocação três válvulas redutora de pressão e alteração do reservatório a 949 metros	80
Figura 56 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 26 com inserção de três válvulas.....	81
Figura 57 – Colocação três válvulas redutoras de pressão e alteração do reservatório a 944 metros	82
Figura 58 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 27 com inserção de quatro válvulas.....	83

Figura 59 – Instalação de bomba na região com maiores altitudes no trecho 96 com o RNF= 944 metros	84
Figura 60 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 28 com inserção de bomba	85
Figura 61 – Instalação de uma válvula e uma bomba com o RNF=944 metros.....	86
Figura 62 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 29 com inserção de uma bomba	87
Figura 63 – Instalação de duas válvulas e uma bomba na trecho 96 com o RNF= 944 metros	88
Figura 64 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 30 com inserção de bomba	89
Figura 65 – Instalação de três válvulas com uma bomba no trecho 96 com RNF= 944 metros	90
Figura 66 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 31 com inserção de bomba	90
Figura 67 – Instalação de quatro válvulas, e uma bomba no trecho 96 com o RNF= 944 metros	91
Figura 68 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 32 com inserção de bomba	92
Figura 69 – Instalação de quatro válvulas com bombas no trecho 96 e 13 com o RNF=944 metros	93
Figura 70 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 33 com inserção duas bombas	94
Figura 71 – Instalação de três válvulas com bomba no trecho 96 e 13 com o RNF = 940 metros	95
Figura 72 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 34 com inserção de duas bombas.....	96
Figura 73 – Instalação de quatro válvulas e uma bomba no trecho 96 com o RNF= 940 metros	97
Figura 74 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 35 com inserção de bomba	98
Figura 75 – Investimento estimado para melhoria de rede de distribuição com relação a cada cenário	99
Figura 76 – Rede com os devidos equipamentos e aplicação da reabilitação	107

Figura 77 – Gráfico comparativo de pressão entre cenário 35 utilizando técnica de reabilitação da rede.....	108
Figura 78 – Rede com os devidos equipamentos e aplicação da reabilitação	109
Figura 79 – Gráfico comparativo de pressão entre cenário 35 utilizando técnica de reabilitação da rede.....	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relações dos investimentos atribuídas ao cenário 09 e 10	100
Tabela 2 – Equipamentos atribuídos ao cenário 09 e todos os investimentos.....	101
Tabela 3 – Equipamentos atribuídos ao cenário 10 e todos os investimentos.....	101
Tabela 4 – Relações dos investimentos atribuídas ao cenário 32 e 33	102
Tabela 5 – Equipamentos atribuídos ao cenário 32 e todos os investimentos.....	102
Tabela 6 – Equipamentos atribuídos ao cenário 33 e todos os investimentos.....	103
Tabela 7 – Relações dos investimentos atribuídas ao cenário 34.....	103
Tabela 8 – Equipamentos atribuídos ao cenário 34 e todos os investimentos.....	104
Tabela 9 – Relações dos investimentos atribuídas ao cenário 35.....	104
Tabela 10 – Equipamentos atribuídos ao cenário 35 e todos os investimentos.....	105
Tabela 11 – Valores de rugosidade absoluto equivalente	106

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
2.	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral.....	17
2.2	Objetivos específicos	17
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3.1	Redes de distribuição de água	18
3.2	Técnicas de detecção de perdas de água em sistemas de distribuição	20
3.3	Planejamento de reabilitação de rede	22
3.4	Ferramentas computacionais e simulação	24
3.4.1	EPANET	25
3.4.2	Hidrocad	29
3.4.3	Watercad	29
4.	METODOLOGIA.....	31
4.1	Etapa 01: Seleção da rede geral para o estudo.....	31
4.2	Etapa 02: Estudo da ferramenta EPANET de forma mais aprofundada	32
4.3	Etapa 03: Levantamento de dados para auxiliar o desenvolvimento do estudo ...	32
4.4	Etapa 04: Definições dos cenários e modelagem da rede	33
4.5	Cálculo das perdas.....	34
4.6	Etapa 05: Simulações computacionais em rede de água com o uso do EPANET .	34
4.7	Etapa 06: Análise de resultados de simulação de cenários e construção de recomendação conhecimentos adquiridos	35
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1	RNF 957 metros (original)	36
5.1.1	Inserção de uma válvula no trecho 1	38
5.1.2	Inserção de duas válvulas nos trechos 1 e 65	39
5.1.3	Inserção de três válvulas nos trechos 1, 65 e 62	41
5.1.4	Inserção de quatro válvulas nos trechos 1, 65, 62 e 113.....	43
5.1.5	RNF 957 metros com uma bomba no trecho 96	44
5.1.6	Inserção de bomba no trecho 96 e uma válvula no trecho 1.....	46
5.1.7	Inserção de duas válvulas nos trechos 1 e 65 e uma bomba no trecho 96	48
5.1.8	Inserção de três válvulas nos trechos 1 ,65 e 62 e uma bomba no trecho 96	50
5.1.9	Inserção de quatro válvulas nos trechos 1, 65, 62 e 113 e uma bomba no 96	52

5.2	RNF 954 metros	54
5.2.1	Inserção de uma válvula no trecho 1	55
5.2.2	Inserção de duas válvulas nos trechos 1 e 65	57
5.2.3	Inserção de três válvulas nos trechos 1, 65 e 62	59
5.2.4	Inserção de quatro válvulas nos trechos 1, 65, 62, 113	60
5.2.5	RNF 954 metros com uma bomba no trecho 96	62
5.3	RNF 949 metros	64
5.3.1	Inserção de uma válvula no trecho 1	65
5.3.2	Inserção de duas válvulas nos trechos 1 e 65	67
5.3.3	Inserção de três válvulas nos trechos 1 ,65 e 62	69
5.3.4	Inserção de quatro válvula nos trechos 1, 65, 62 e 113	71
5.3.5	RNF 949 metros com uma bomba no trecho 96	72
5.4	RNF 944 metros	74
5.4.1	Inserção de uma válvula no trecho 1	76
5.4.2	Inserção de duas válvulas nos trechos 1 e 65	78
5.4.3	Inserção de três válvulas nos trechos 1 ,65 e 62	80
5.4.4	Inserção de quatro válvula nos trechos 1, 65, 62 e 113	82
5.4.5	RNF 944 metros com uma bomba no trecho 96	84
5.4.6	Inserção de uma válvula nos trechos 1 e uma bomba no trecho 96.....	86
5.4.7	Inserção de duas válvulas nos trechos 1 e 65 e uma bomba no trecho 96	87
5.4.8	Inserção de três válvulas nos trechos 1, 65 e 62 e uma bomba no trecho 96	89
5.4.9	Inserção de quatro válvulas nos trechos 1, 65, 62 e 113 e uma bomba trecho 96	91
5.4.10	RNF 944 metros com quatro válvulas e duas bombas em diferentes trechos	93
5.5	RNF 940 metros com três válvulas e duas bombas em diferentes trechos	95
5.6	RNF 940 metros com quatro válvulas e duas bombas no trecho 96	97
5.7	Custo de investimentos e análises de melhoria de pressão.....	98
5.8	Reabilitação da rede de distribuição de água.....	106
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	110
	REFERÊNCIAS	112
	APÊNDICE A	113

1. INTRODUÇÃO

Gestão hídrica é fundamental para o desenvolvimento sustentável sendo responsável pela qualidade e transporte de um bem cada vez mais precioso a água, que se torna cada vez mais escassa. Segundo Vieira (2013) muitos fatores podem contribuir para a falta de eficiência de um sistema de distribuição de água para abastecimento, entre eles destacam-se a falta de investimentos no setor, especificamente no desenvolvimento de estudos que trata a minimizar as perdas, bem como garantir a qualidade da água que depende de conhecimento técnico de muitos gestores e técnicos envolvidos em sistemas hídricos.

Segundo Castro (2012) a escassez de recursos hídricos em qualidade e quantidade torna-se cada vez mais problemática em órgãos públicos e privados, sendo as perdas um grave problema. As causas para essas possíveis perdas são variáveis, agravados por mudanças climáticas que afetam a disponibilidade de água para todos os setores da sociedade. Esse problema impacta em perdas de produção para as empresas, racionamento e redução de água para a população, além de temas sobre racionamento ou economia. Trata-se de mapear riscos e os componentes que envolvem o sistema de distribuição que englobam o assunto.

A falta de medidores e de qualificação profissional, segundo Reis (2017), para o sistema de abastecimento de água, gera um desperdício deste bem tão valioso, na captação armazenamento e distribuição gerando grandes prejuízo. O controle ao desperdício torna-se uma ação complexa, onde todos os planejamentos e investimentos concentram-se apenas em setores individuais da rede de distribuição. Diante disso, as companhias responsáveis pelo abastecimento de água vêm adotando medidas e alternativas importantes, objetivando um gerenciamento mais eficaz do sistema (REIS, 2017).

O foco dos estudos são as redes de distribuição de água que vem apresentado porcentagens representativas de perdas, que se tornam mais importantes pelo próprio processo de expansão urbana.

Os estudos desenvolvidos propõem um procedimento de análise de sistemas práticos de metodologia de distribuição de água, possibilitando a determinação de parâmetros sistemas físicos de distribuição de água, levando em consideração a minimização de custos de implantação.

Realizaram-se simulações buscando melhorias para cenários que ilustram pressões fora do padrão recomendado pela norma, trabalhando no limite máximo de pressão, pois segundo a norma técnica brasileira ABNT NBR 12.218 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) as pressões dinâmicas e estáticas, deverão obedecer aos limites mínimo e

máximo pré-estabelecidos conforme a topografia aproximadamente 10 a 50 metros de coluna d'água (m.c.a). Importante salientar que essas pressões são os limites, podendo as pressões de trabalho adequar-se a cada situação.

Estes cenários foram avaliados com auxílio de uma ferramenta computacional (EPANET) na estratégia de minimizar as pressões em uma rede real na busca que estes cenários atendam a pressão recomendada, serão alterados a altura do reservatório principal, instalações de válvulas e bombas e troca de tubulações com os respectivos diâmetros.

O procedimento foi testado em sistema de distribuição de água real do sul de Minas Gerais e os cenários testados a luz de análise de pressões que se relacionam com perdas e custo de investimento nas estruturas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento de uma rede de distribuição de água real, visando eficiência e sustentabilidade hídrica e energética através de cenários com auxílio do Software EPANET propondo melhorias através modelagem e otimização.

2.2 Objetivos específicos

Os principais desenvolvimentos para o objetivo específico deste trabalho são:

- a) Adquirir conhecimento sobre a rede real em estudo;
- b) Estabelecer critérios para estruturação de cenários de simulação;
- c) Sintetizar conhecimentos para melhoria de operação do sistema como um todo, desenvolvendo proposto de procedimento metodológico para melhoria de eficiência hidroenergética de redes de distribuição de água.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Redes de distribuição de água

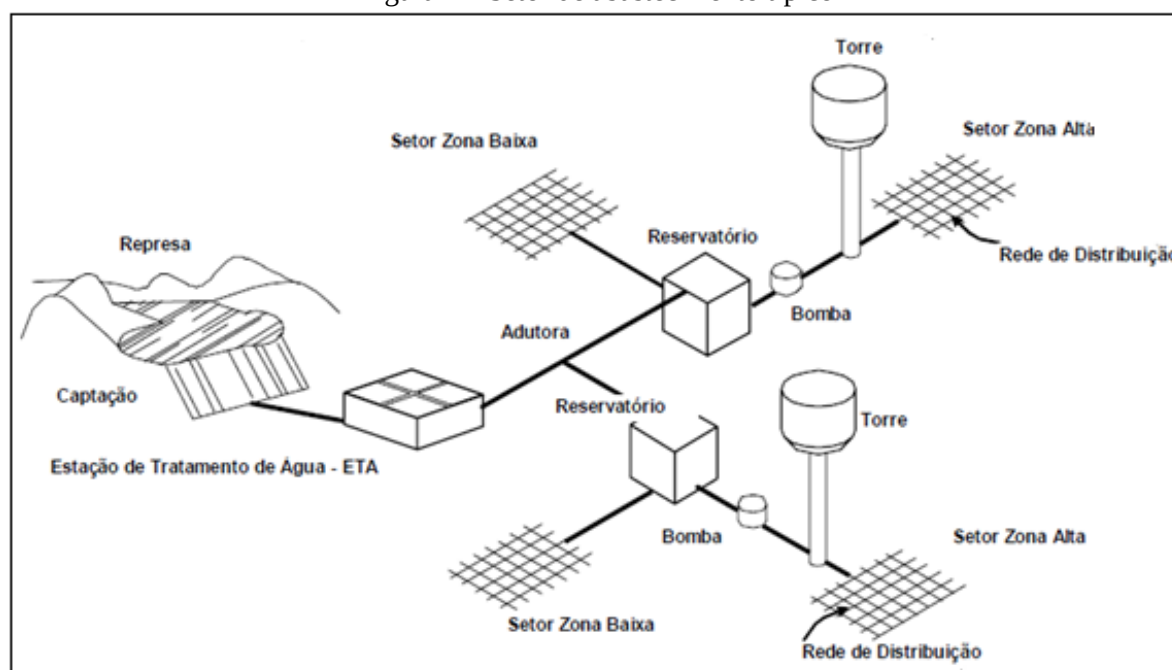
O crescente esforço para operar sistemas de abastecimento de água e atender aos requisitos de qualidade definidos pelas agências de abastecimento, que demanda uma abordagem integrada para lidar com as novas ameaças e desafios, mais especificamente para problemas relacionados à qualidade da água em redes de distribuição (FERNANDES, 2004).

Segundo Soares et al. (2004) a adequação dos setores de abastecimento existentes não é uma tarefa simples, é preciso levar em consideração as condições topográficas e o perfil dos consumidores.

Toda rede de abastecimento de água existente apresenta alguma parcela de perda por vazamento na distribuição. A quantificação dos vazamentos distribuídos ao longo da rede pode ser feito por meio de inclusão de modelos de pressão x vazamento nas análises hidráulica.

De acordo com Soares et al. (2004) o sistema de distribuição de água corresponde a uma determinada área, sendo abastecida a partir de uma derivação de adutora ou reservatório, com diretrizes principais a definição das zonas de pressão, com influência das principais unidades que atendem ao setor representado na Figura 1, abastecimento típico onde se exemplifica um esquema.

Figura 1 – Setor de abastecimento típico



Fonte: Soares et al. (2004)

Um sistema de distribuição de água é formado por um conjunto de tubulações, acessórios (conexões), reservatórios, bombas hidráulicas, segundo Justino e Nogueira (2013) para garantir o atendimento dentro de condições sanitárias, de vazão e pressão apropriadas, a cada um dos diversos pontos de consumo de uma cidade ou setor. A partir desta rede são alimentados, por meio de ramais de ligação que assegura o abastecimento por tubulações predial de água, desde a rede pública até ao limite da propriedade a servir, os diversos edifícios ou instalações utilizando uma metodologia de solução do dimensionamento de um sistema de distribuição de água em malhas.

No entanto, um dos principais desafios segundo Fontana e Moraes (2015), para os gestores de abastecimento de água é o controle de perdas causadas por vazamentos, pressões e cargas hidráulicas nos nós, além de ocorrência devido a incrustações e mudança da rugosidade em virtude do envelhecimento dos tubos. O controle de perdas tem se tornado de grande interesse mundial devido à crescente tendência internacional para a sustentabilidade, eficiência econômica e a proteção do ambiente.

O modelo de setorização desenvolvido por Fontana e Moraes (2015) para controles que é capaz de minimizar o número de válvulas de fechamento, e ao mesmo tempo maximizar os benefícios gerados aos usuários pela setorização das redes de distribuição para a realização de manutenção necessária. A setorização da rede torna mais fácil qualquer atividade de manutenção, além de atingir um número menor de unidades de consumo e quanto menor o setor de manobras, menores serão as chances da ocorrência de interrupções no abastecimento, porém a demasiada utilização de válvulas de fechamento pode encarecer o sistema, seja por sua implantação, seja por sua manutenção.

As redes de distribuição de água são sistemas que constituem, segundo os estudos realizados por Pinnto et al. (2017) condutos, junções e outros equipamentos específicos para viabilizar o transporte de água entre uma fonte ou reservatório e os pontos de consumo em residências, comércio e indústrias. Em seu trabalho foi utilizado o algoritmo MINPGA (Multiscale Island Injection Genetic Algorithm) que constituiu aplicado ao problema de otimização de RDA (Rede de distribuição de Água). O MINPGA utiliza a técnica de nichos de Pareto em conjunto com a técnica de múltiplas ilhas. Os nichos de Pareto são avaliados a fim de se resolver situações de conflito entre duas soluções para decidir qual delas será considerada melhor.

As soluções descritas por Pinnto et al. (2017) com funções matemáticas e mostraram que o MINPGA é um algoritmo acurado e preciso. Acurado no sentido de que as soluções encontradas em dada geração se mostraram cada vez mais próximas das soluções obtidas na

geração subsequente. Preciso, pois, foi verificada uma pequena magnitude da diferença entre a solução sub-ótima dada pelo algoritmo e a solução ótima analítica do problema-teste, tendo em alguns casos convergido para a solução ótima.

3.2 Técnicas de detecção de perdas de água em sistemas de distribuição

Os vazamentos nas redes de distribuição de água podem ser divididas segundo Misiunas (2008) em vazamentos não aparentes, que incluem vazamentos em juntas hidrantes; e os vazamentos correspondentes aos rompimentos informados e não informados ao responsável pelos serviços de distribuição.

A análise de redes de distribuição de água consiste na forma mais eficiente de prevenção, Formigo e Chaudhry (2008) demonstram que o comportamento das vazões e perdas de carga nos trechos, pressões e cargas hidráulicas nos nós quando ocorrem modificações devido a incrustações, mudança da rugosidade comprometem a vida útil da tubulação, vazamentos e quebras, entre outras situações comuns às redes.

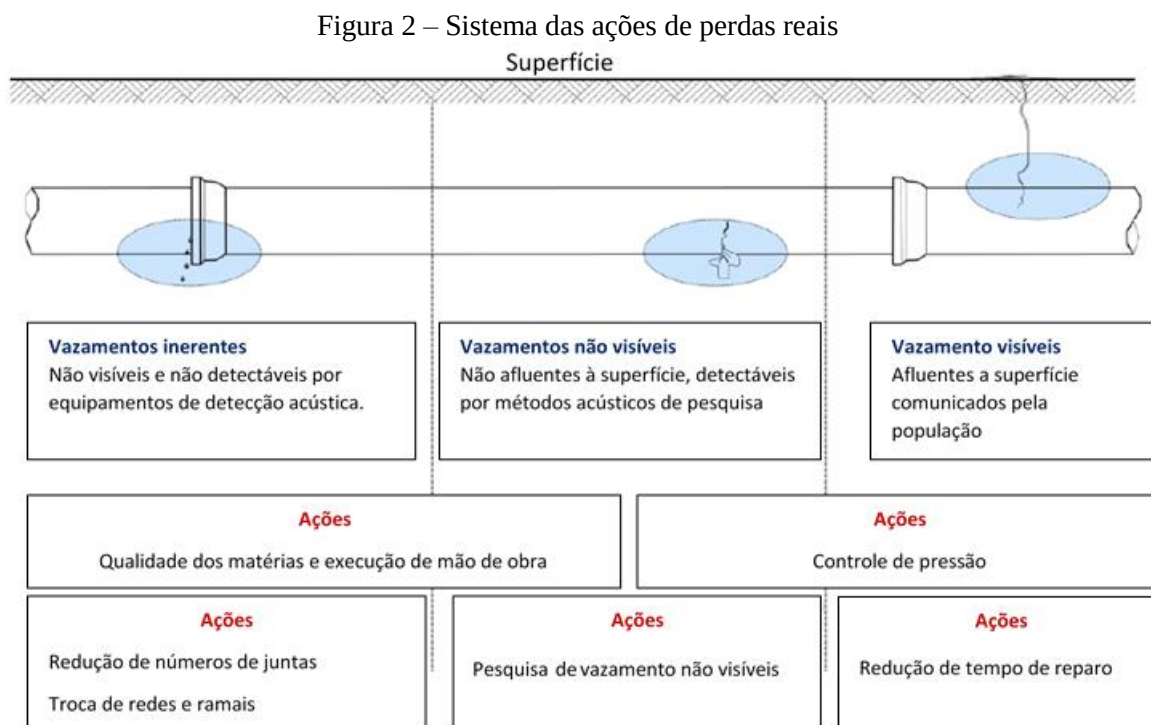
Segundo os estudos de Formigo e Chaudhry (2008) comparou-se os métodos Newton-Raphson, Teoria Linear, Híbrido e Gradiente. O método Newton-Raphson depende principalmente dos valores iniciais para que apresente uma convergência rápida, a falta desses valores pode ser crítica em sistemas mais complexos. O método da Teoria Linear emprega aproximações lineares sucessivas da equação de perda de carga nos trechos, produzindo bons resultados. Estes requisitos são ainda mais importantes em estudos mais específicos da rede, como análise de perdas por vazamentos e avaliação da confiabilidade do sistema. O método Híbrido são resultados da união de dois ou mais métodos citados. O Método do Gradiente efetua a união de técnicas de minimização numérica com o método Newton-Raphson, que resultou em um algoritmo muito eficiente e que resulta na utilização em quase todos os pacotes de simuladores hidráulicos atualmente disponíveis como: EPANET, WATERCAD, SARA, MIKENET, PIPENET.

Segundo Orellana (2011) no processo de distribuição, as tubulações com o passar do tempo, acabam por apresentar um alto grau de tuberculização, aumentando a rugosidade interna e reduzindo o diâmetro hidráulico, ocasionando frequentes problemas de qualidade da água e pressões abaixo da mínima recomendada. Assim a satisfação dos clientes com o serviço diminui, e os custos de manutenção e operação do sistema aumentam.

A detecção de vazamento tornou-se trabalho rotineiro para as indústrias de abastecimento de água Xu et al (2014) afirmam que pode ser significativamente melhorada se

for usado um método de detecção de vazamento ideal, que exige uma combinação de instrumentos de detecção e modelos de previsão de falha de tubulação. As abordagens de detecção de vazamento pode gerar ruído quando a água flui através de um orifício ou fratura de tubos na distribuição.

O ruído pode se propagar ao longo do tubo e do solo, portanto, capturar o ruído ajudará a minimizar os vazamentos, conforme Figura 2.



Fonte: adaptado de Fundação Nacional de Saúde (2014)

Na Figura 2 observa-se que as ações importantes para combater o vazamentos e redução das perdas na rede de distribuição, são fundamentais para o controle de pressão e, principalmente a qualidade dos materiais, sendo essencial para a execução da obra, estas ações reduzem os três tipos de vazamentos reduzindo o tempo de reparo e dos consertos.

Segundo Pinheiro (2014) a perda de carga tem grandes influencias no processo de distribuição, no estudo realizado no Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LEMHS) da UFRGS. Os dados obtidos no experimento foram confrontados com os dados calculados EPANET; não sendo possível estabelecer uma generalização dos diferentes encontros entre a perda de carga média e calculada, variando em trecho e número de Reynolds. Levando apenas em consideração pressão tratando-se de uma avaliação de perda de carga experimental.

No estudo realizados em laboratório Pinheiro (2014) concluíram que a perda de carga é parâmetro fundamental para o dimensionamento de qualquer obra hidráulica envolvendo condutos forçados, desde simples instalações hidros sanitárias prediais até grandes estações de recalque e que em instalações reais de redes de distribuição convencionais, simplificações não devem causar efeitos na mesma ordem de grandeza do que na rede do LENHS-IPH, devido ao grande número de acessórios, a sobreposição de efeitos das singularidades e a variação do comportamento dos coeficientes de perda.

Os três tipos de falhas presentes em sistemas de distribuição e armazenamento de água segundo Araújo (2015) são:

- a) Vazamentos presentes antes do reservatório (alimentação da residência), sejam eles causados por rupturas na tubulação ou dispositivos abertos;
- b) Vazamentos presentes no reservatório, que podem ser causados por rupturas nas paredes do tanque;
- c) E, finalmente, vazamentos presentes nos dispositivos finais ou na tubulação após o reservatório.

3.3 Planejamento de reabilitação de rede

O processo de reabilitação é um dos métodos mais rápidos para o atendimento frente a crescente demanda por água tratada e, iniciar a reabilitação, requer tratar e trabalhar a rede existente que, na maioria dos casos, é mais onerosa e de execução mais complexa que a implantação de um novo sistema, em virtude das dificuldades oriundas do pouco espaço disponível no subsolo.

Os investimentos atribuídos a rede de distribuição para retomada das condições satisfatórias são determinados após a implantação de revestimentos internos das tubulações, com aplicações de limpeza das tubulações, substituição dos tubos ou até a possibilidade de duplicação de trechos para melhoria do sistema de distribuição.

O envelhecimento das tubulações de água é inevitável devido a vida útil, aumentando cada vez mais os vazamentos, envolvendo principalmente os custos de operação e manutenção, nos problemas de regularidade do fornecimento de água, na qualidade e no volume de água perdida, acarretando uma diminuição da eficiência do sistema. No processo de reabilitação é preciso realizar um bom planejamento para analisar e classificar as áreas que necessitam de reabilitação utilizando os dados cadastrais, e indicadores de desempenhos.

A importância da conservação do sistema de distribuição de água é fundamental, Segundo os estudos de Orellana (2011) o envelhecimento dos sistemas de abastecimento de água é inevitável à medida que seus componentes atingem o final da vida útil, a quantidade de vazamentos tende a aumentar e, como consequência, os custos de operação e manutenção, na qualidade da água e no volume de água perdida, ocasionam um decréscimo da eficiência do sistema.

O processo de reabilitação, segundo Orellana (2011), causa controvérsias para os gestores dos serviços de saneamento, que acabam por apresentar um alto grau de tuberculização, que aumenta a rugosidade interna e reduzem o diâmetro hidráulico, ocasionando frequentes problemas de qualidade da água e pressões abaixo da mínima recomendada, pois se há consenso sobre os efeitos negativos gerados pela deterioração das redes de distribuição, não há a mesma certeza quanto à decisão de reabilitá-las.

Em um estudo realizado no setor de abastecimento de Abranches (2009) relatou que a troca de alguns trechos e algumas providencias como limpeza no setor de abastecimento e substituição de 4.130 metros de rede e aplicação de revestimento em resina epóxi em 775 metros de tubulação foi bastante eficiente. Após a execução do serviço notou-se a redução de 2,16 m³ apresentando um ganho de 440 L/h x Km de rede reabilitada.

A complexidade do problema de reabilitação segundo Cheung e Reis (2006) em sistemas de distribuição de água envolve critérios técnicos, econômicos e institucionais. Os aspectos estão associados aos indicadores que avaliam o desempenho do sistema em relação ao número de interrupções atual e futura. Os aspectos econômicos estão relacionados ao aumento dos custos de manutenção e operação decorrentes dos processos de deterioração do sistema.

As redes de abastecimento de água existentes apresentam algumas parcelas de perdas por vazamento na distribuição. Segundo Soares et al. (2004) os vazamentos distribuídos ao longo da rede pode ser feita por meio da inclusão de modelos pressão e vazamento nas análises hidráulicas. A calibração de um modelo de rede de distribuição de água é um procedimento preliminar a ser adotado antes de qualquer análise de reabilitação ou operação de sistemas existentes com o objetivo de identificar os seus parâmetros e assim poder avaliar, por meio de simulações hidráulicas.

De acordo com Cheung e Reis (2006) a reabilitação ocorrerá se os indicadores de desempenho técnico apresentarem abaixo dos padrões normais, se os custos e benefícios estiverem desbalanceados, e se houver exigência institucional. A manutenção da tubulação pode ser planejada de várias formas, dependendo da natureza do problema, da atitude do operador, e da gravidade da situação.

Os métodos de reabilitação são essenciais para preservação da pavimentação ou intervenção de outras infraestruturas envolvidas, por forma de minimização de custos e interrupções de abastecimentos e transtornos a terceiros.

Segundo Thornton, Sturm e Kunkel (2008) o planejamento para manutenção das tubulações pode ser de várias formas realizada em frequências de tempo variáveis, dependendo da natureza do problema, da atitude do operador, e da gravidade da situação. Alguns dos programas de manutenção mais frequentes para compensar as perdas são os de controle da corrosão, de revestimento e de substituição da tubulação.

3.4 Ferramentas computacionais e simulação

As ferramentas computacionais são de extrema importância para o processamento de grande volume de informações, que são essenciais para as técnicas de modelagem computacional, portanto, sem o uso dos softwares de simulação a técnica de modelagem seria inviável. Segundo Olaia (2012) existem vários modelos computacionais que permitem obter um nível nos resultados de acordo com o pretendido, tais como o Hidrocad, Epanet, Watercad, Strumap, Synergee Water e o INSSAA.

A seguir são apresentadas as especificações para três exemplos de ferramentas computacionais de processamento de dados: Epanet, Hidrocad e Watercad.

O processo de escolha do modelo a utilizar devem-se ter em conta vários aspectos Segundo Pinto (2010):

- a) O custo;
- b) A facilidade de utilização;
- c) A operacionalidade e flexibilidade do programa;
- d) A robustez do modelo;
- e) A velocidade de processamento;
- f) As componentes representadas;
- g) A interface com o utilizador;
- h) As características do modelo de qualidade;
- i) A integração com bases de dados de CAD, SIG e SCADA;
- j) O apoio técnico e a documentação.

3.4.1 EPANET

Segundo Rocha, Castro e Araújo (2011) o EPANET é um software de uso livre, desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), dos Estados Unidos da América, e robusto, porém por ser bastante eficaz é utilizado em projetos de redes de distribuição de água. Sendo assim, é capaz de promover a fusão das rotinas de otimização e do cálculo hidráulico, pelo fato de ser incorporado a outros programas, adaptando-se assim às necessidades do usuário.

O procedimento iterativo de avaliação hidráulica descrito por Soares et al. (2004) que considera as perdas por vazamento e a dependência das demandas com a pressão, utilizando o simulador hidráulico EPANET 2, com vistas à calibração em termos dos parâmetros do modelo de vazamentos, bem como dos coeficientes de perda de carga localizada relativa a componentes hidráulicos presentes na rede, comprovaram a necessidade das companhias de saneamento em utilizar ferramentas computacionais que representem as condições de campo com um nível de realismo maior.

Em um estudo desenvolvido por Costa, Castro e Araújo (2006) sobre a metodologia de otimização em redes de distribuição de água apresentado e baseada em dois estágios: a simulação e obtenção dos parâmetros hidráulicos através do EPANET e os ajustes dos diâmetros onde se formula um problema de programação linear, objetivando um menor custo. É demonstrado que essa metodologia de otimização difere das outras que já foram publicadas para a análise de sistemas de redes malhadas, e o procedimento de otimização acontece em fases distintas em relação ao método de obtenção das variáveis hidráulicas.

O método utilizado por Neves e Leite (2008) foi um estudo de um edifício de 12 pisos, numa primeira fase fez-se aquilo que é corrente, dimensionamento das tubulações, cálculo da pressão nos nós e a análise da velocidade média. O EPANET mostrou grande flexibilidade de execução e respostas em simulações em cenários, potenciando tentativas de otimização.

Uma pesquisa operacional de simulação realizada por Ishihara et al. (2009) expõe as condições de saneamento em que a população do bairro Novo Horizonte em Barcarena - PA se encontra. A concepção de um sistema para aplicação dos métodos de dimensionamento de rede de abastecimento de água consiste de dimensionamento pelos métodos do Seccionamento Fictício e PNL 2000 modificado, foi simulado as redes dimensionadas e a existente, com o auxílio do software EPANET, comparado a hidrodinâmica da rede, com os resultados gerados na simulação, avaliou-se as condições do sistema de abastecimento existente, caracterizando as

formas de uso da água na comunidade, além de se levantar outros aspectos sociais, econômicos e ambientais.

Faria, Calijuri e Oliveira (2009) faz a integração dos softwares SPRING e EPANET e aplica para o município de Viçosa – MG, na simulação de pressão e vazão de uma rede de abastecimento de água, causada pela expansão da rede já existente auxiliando o gerenciador da rede sobre as demandas de pressão e vazão do novo sistema de abastecimento.

Segundo Faria, Calijuri e Oliveira (2009) no software EPANET existe a falta de um ambiente gráfico, apropriado para a digitalização da rede sobre uma imagem de satélite, bem como a obtenção das características espaciais dos nós da rede. A solução para esses problemas, podem ser realizadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Um SIG é projetado para a coleta, o armazenamento e a análise de objetos e fenômenos onde a localização geográfica é uma característica importante ou fundamental para as análises. É demonstrado que a combinação das ferramentas SPRING e EPANET é eficaz na aquisição, representação, manipulação dos dados e gerenciamento de um sistema de abastecimento de água de um município.

O procedimento proposto de simulações hidráulicas por Farina, Creaco e Franchini (2014) envolve a aplicação de simulação de forma iterativa, introduzindo uma correção adequada da rugosidade do tubo em cada iteração através do modelo EPANET para representar perdas de carga precisas nos tubos levando em consideração as posições reais dos usuários ao longo da tubulação. Em dois estudos de caso da cidade de Gênova, mostrou que a nova abordagem é mais precisa em redes ramificadas com grande tubo, que nos casos de uma descrição muito detalhada do sistema de rede de tubulação, o uso de demanda tradicional ou real produz quase os mesmos resultados.

Segundo Gebrim (2013) um sistema de abastecimento de água é composto por diversas estruturas com diferentes funções que interligam e operam de forma conjunta para transportar água para dentro de padrões de qualidade, do manancial até o usuário. É utilizado em seu trabalho o software EPANET, que é um programa de grande utilização em todo o mundo, capaz de realizar simulações em tempo estendido do comportamento hidráulico e da qualidade da água em redes de tubulação pressurizada.

O estudo elaborado por Gebrim (2013) demonstra que o comportamento mais lento da de maneira individual pode ser explicado pelo procedimento de cálculo utilizado pelo simulador hidráulico, e que o EPANET possui a possibilidade através do usuário de definir a frequência de realização dos cálculos hidráulicos e que os cálculos são de forma automática, em intervalos

menores que o determinado pelo usuário, sempre que os reservatórios do sistema estabeleçam uma regularidade.

Algumas ações com o objetivo da redução das perdas de água em sistemas de abastecimento segundo Tack et al. (2014), utilizam ferramentas de modelagem hidráulica e técnicas experimentais de campo. As simulações efetuadas pelo EPANET geram respostas importantes tais como, vazão e pressão na rede, velocidade, perda de carga, entre outros. Para que estas respostas estejam corretas para tomadas de decisão, elas ainda precisam passar por uma análise, denominado calibração que consiste em comparar os valores simulados pelo EPANET com os valores levantados em campo. Concluíram que a maneira de gerenciar um projeto é basicamente planejar e acompanhar sua execução, visando atingir os objetivos dentro de parâmetros pré-determinados.

Os modelos computacionais de qualidade de água permitem complementar os processos de monitoramento de campo segundo Suse, Yoshikawa e Luvizotto Júnior (2014), facilitando o diagnóstico extensivo da qualidade de água nas redes de distribuição, tornando possível executar com segurança evitar a deterioração da qualidade de água em todos os pontos da rede aplicando medidas necessárias para otimização do processo.

A realização do estudo sobre a ferramenta de domínio desenvolvida no trabalho de Suse, Yoshikawa e Luvizotto Júnior (2014) EPANET-MSX (EPANET Multi-Species Extension, 2008), utiliza a análise de casos hipotéticos que permitiram avaliar as possibilidades de simulação. E como conclusão no trabalho elaborado, a utilização desta ferramenta em problemas reais poderá demonstrar operações da rede hidráulica para melhoria da qualidade de água, evitando descargas de grandes volumes de água para esta finalidade circulação de “zonas mortas” ou com baixas velocidades.

No estudo de Mohammad et al. (2015), foi analisado a área de Banani, uma rede de distribuição da capital de Bangladesh, Daca, foi utilizado um arquivo AutoCAD, que foi exportado e modelada usando o EPANET, o valor do modelo (DWAAS) Water Supply & Sewerage Authority (DWASA) são significativamente semelhantes. A verificação cruzada foi feita para garantir sua precisão e os erros foram resolvidos. O sistema de distribuição existente na área de Banani é capaz de suprir a demanda média diária e a demanda diária máxima. Assim, o modelo foi concluído e, após a calibração necessária, os resultados finais foram gerados.

O trabalho de desenvolvido por Gomes et al. (2016) tem como objetivo utilizar o EPANET em um sistema predial de abastecimento de água, e a edificação escolhida para análise é o bloco de Engenharia Civil/Física do Campus VIII da Universidade Estadual da Paraíba. O programa foi simulado para os banheiros de um piso da edificação, onde por fim, foi aferida a

velocidade dentro dos condutos, no qual nenhuma foi superior a 1,5 m/s. A principal interferência do software neste tipo de utilização é que não é linear, ou seja, os cálculos são utilizados em termos probabilísticos, assim não são compatíveis com o princípio da continuidade dos nós, porém, o programa se demonstrou de grande versatilidade onde considerou as perdas de cargas localizadas.

Um dos métodos apresentados por Saqib, Mysorewala e Cheded (2017) trata de nova abordagem multimodal e multi-escala para detecção e localização de vazamentos em redes de tubulações de água com sensores de vibração, são usados para localizar o vazamento dentro deste segmento. Para validar a eficácia da abordagem que necessita de dados de pressão e vibração utiliza-se o software EPANET que inclui vazão e pressão em vários pontos da tubulação, em seguida integrou o modelo de vibração no MATLAB, já que a EPANET não inclui modelos para medições de vibração. Os resultados extensivos da simulação mostram a eficácia do esquema proposto no fornecimento de detecção e localização precisas de vazamentos.

Os estudos da ferramenta EPANET segundo Ramana e Chekka (2018) são eficientes em redes de distribuição de água, com uma ampla gama de aplicações não havendo limites para expansão. Usufruindo de uma série de componentes físicos e não-físicos de modelação de uma rede de distribuição de água disponibilizado pelo programa para otimização do sistema por métodos computacionais com informações de dados provenientes da rede.

A operação ideal de um sistema de abastecimento de água segundo León-Celi et al. (2018) a redução do custo total de energia determinada por uso de bombas. Se a estação de bombeamento ainda não tiver bombas definidas, então a energia consumida é obtida a partir da vazão, portanto a questão básica está relacionada a determinação da vazão mínima e da altura de bombeamento necessária para satisfazer os requisitos de vazão e pressão mínima na rede.

Uma das despesas operacionais mais significativas em uma rede de distribuição de água é o custo do bombeamento, León-Celi et al. (2018) levam em consideração a maneira de minimizar os custos é determinar a taxa de fluxo ideal para cada estação de bombeamento enquanto mantém o custo de energia minimizado. Levando em princípio conhecido como curva para metodologia de otimização de rede, aplicando através de um algoritmo de busca direta baseado na abordagem Hooke-Jeeves é testado em dois estudos de caso utilizando a ferramentas EPANET. Os dois estudos de caso demonstram os benefícios da abordagem no desenvolvimento de políticas ótimas de operação de bombas.

O modelo hidráulico empregado por Goulart (2015) e Santos (2016) desenvolve o aprimoramento de iterações do método de calibração de redes de distribuição de água proposto

Silva (2003) trata-se implementação técnica de algoritmo genético, calibrando duas redes de distribuição de água reais da cidade de São Carlos (SP), e ajustando parâmetros, principalmente de rugosidades e de vazamentos. Assim, foram desenvolvidos e introduzidos o estudo de demanda nodal na tentativa de melhorar os resultados de calibração do algoritmo genético desenvolvido por Silva (2003) em FORTRAN, que efetua o estudo sobre calibração de duas rede “Monte Carlo” e a segunda rede real é um setor da cidade de Cambuí (MG).

Os dados testadas foram realizadas no simulador Epanet, a fim de comparar os resultados obtidos pelos Algoritmo Genético empregando as variáveis de decisão, rugosidade e demanda obtidas em cada um dos modelos de calibração. Os dados foram aplicados em outras redes, e os valores de pressão calculados estão em geral, bem próximos dos valores observados por Silva (2003), apresentando menores desvios para o padrão de consumo mínimo.

3.4.2 Hidrocad

De acordo com Monteiro (2017) o Hidrocad é um software para simulação hidráulica é executada em regime permanente e não é possível efetuar a análise da qualidade da água na referida simulação, e possui a capacidade de simular redes de emergências e serviços de incêndios e conseguir interagir diretamente com o AutoCAD. O programa possui uma interfase intuitiva, fácil de aprender e usar com ferramentas versáteis que reduzem o tempo de projeto e evitam o retrabalho, utilizado na empresa para projetos hidráulicos.

Segundo Olaia (2012), o Hidrocad possibilita realizar cálculos e dimensionar redes de distribuição de água, o conceito deste modelo está preparado para o cálculo de redes ramificadas, malhadas ou mistas, sendo um programa flexível, que se adapta a diversos tipos de situações, podendo ser aplicada tanto para pequenas quanto grandes redes de abastecimento. O modelo geométrico utilizado pelo programa é importado diretamente do Autocad e os demais são definidos no próprio programa.

3.4.3 Watercad

O Watercad é um modelo de gestão e distribuição de água, que possibilita a modelagem hidráulica, da operação e da qualidade da água. Desenvolvido pela Bentley, toda a descrição do modelo apresenta uma série de vantagens, em relação às outras ofertas disponíveis, com maior destaque para sua grande capacidade de integração com outros softwares, reconhecendo arquivos como do AutoCAD, da plataforma GIS e até planilhas. Sendo possível

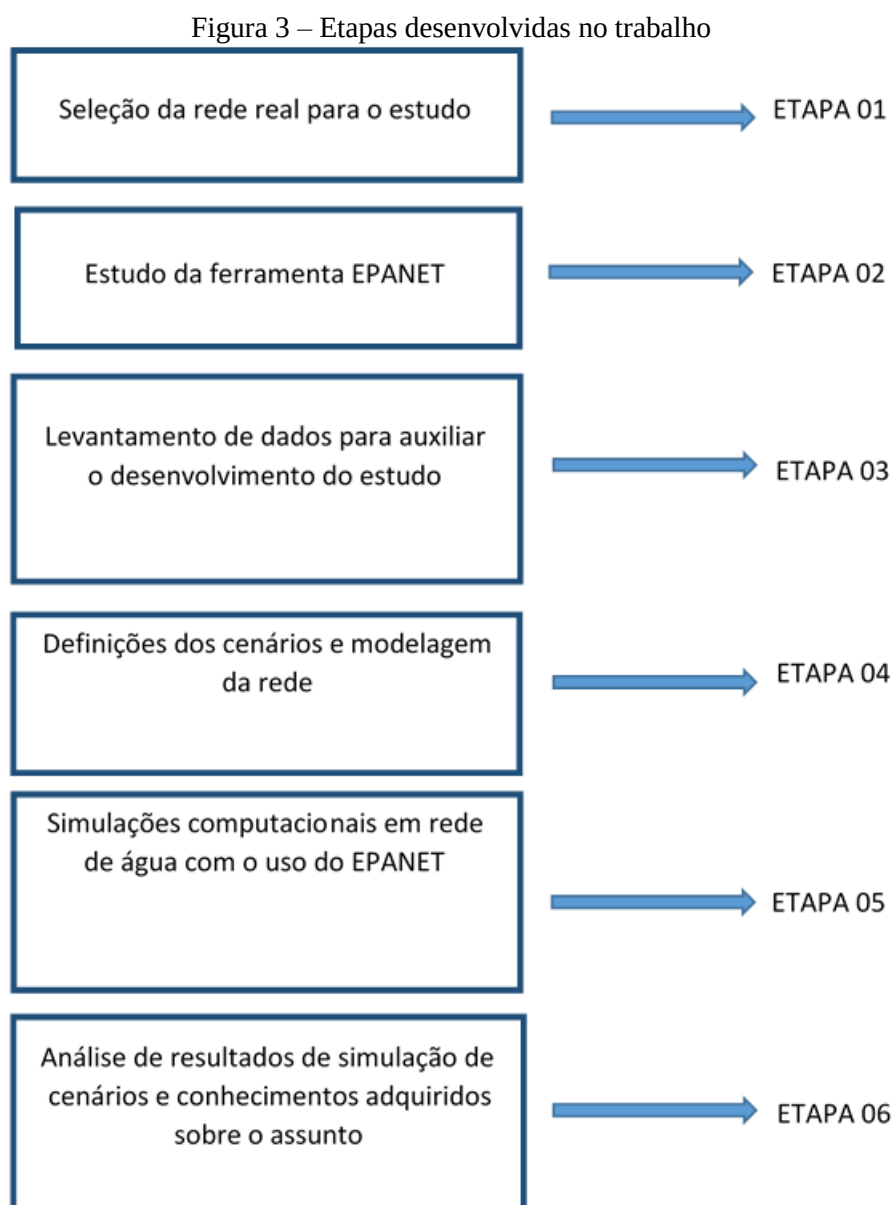
também exportar a rede traçada nele para arquivos do AutoCAD e do Epanet (DIUANA; OGAWA, 2015).

Segundo Olaia (2012), o Watercad permite analisar os problemas mais comuns aliados à gestão e à manutenção de sistemas de distribuição de água. Ele auxilia as empresas de serviços a analisar, os processos de transporte de contaminantes na rede, o consumo de energia e a gestão de custos financeiros. Por outro lado, o Watercad auxilia as empresas de serviços a analisar, dimensionar e otimizar os sistemas de distribuição de água.

Segundo Neves (2007), através do Watercad pode-se visualizar graficamente informações e técnicas, comerciais e operacionais permitindo à empresa estabelecer planos de ação cujos resultados esperados passam pela redução dos custos de manutenção, diminuição de perdas pela identificação de concentração de vazamentos e pela melhoria da imagem junto aos clientes e dos serviços prestados.

4. METODOLOGIA

O desenvolvimento do trabalho divide-se em seis etapas, conforme Figura 3.



Fonte: autor (2019)

4.1 Etapa 01: Seleção da rede geral para o estudo

A rede foi selecionada com base na continuidade dos trabalhos do Grupo NUMMARH. Trata-se de uma rede real do sul de Minas Gerais que consiste de atividades de calibração e testes dos equipamentos no laboratório da UNIFEI, de modo a garantir a confiabilidade das informações coletadas em campo.

4.2 Etapa 02: Estudo da ferramenta EPANET de forma mais aprofundada

O programa EPANET trata-se de uma ferramenta para análise hidráulica de redes de distribuição de água capaz de auxiliar no combate as perdas na distribuição e no controle dos gastos de energia elétrica, podendo ser aplicadas em sistemas já implantados ou de ampliações segundo Reis (2017). O programa realiza simulações estática e dinâmica do comportamento hidráulico e da qualidade da água em redes pressurizadas permitindo a visualização dos valores de pressão em cada trecho, as pressões nos nós e o nível de água nos reservatórios. O software Epanet, foi detalhadamente estudado por meio de manuais técnicos e consulta aos sites dos criadores. Muitas atividades de simulações e redes teóricas também foram feitas como forma de treinamento.

4.3 Etapa 03: Levantamento de dados para auxiliar o desenvolvimento do estudo

As principais informações foram retiradas do trabalho de Fortes (2016) e Santos (2016), que desenvolveram seus trabalhos na rede real escolhida. Nestes trabalhos foram obtidos dados de campo, modelagem em simulação do sistema além do balanço hídrico.

Nos trabalhos de Fortes (2016) e Santos (2016) consistiu de medições atribuídas em 7 dias consecutivos, que permitiu avaliar e analisar o perfil de consumo, vazão e pressão, parâmetros elétricos, além do levantamento de informações junto ao escritório do SAAE local.

Nestes trabalhos a rede de água ilustrada na Figura 4 foi construída e constituída de 117 nós, 121 trechos com duas zonas de pressão zona alta e zona baixa, que apresenta uma variação altimétrica de aproximadamente 89 m, com variando a cota 957 m ao ponto mais baixo 867,37 m. Um esquema mais detalhado dessa rede encontra-se ilustrado no Apêndice A. As simulações básicas feitas em condição natural hidráulica demonstram faixa de pressões acima do que recomenda a norma, provocando grandes vazamentos e baixa eficiência hídrica e energética.

Os cenários ilustram pressões fora do padrão recomendado pela norma, trabalhando no limite máximo de pressão, pois segundo a norma técnica brasileira ABNT NBR 12.218 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) as pressões dinâmicas e estáticas, deverão obedecer aos limites mínimo e máximo pré-estabelecidos conforme a topografia aproximadamente 10 a 50 metros de coluna d'água (mca).

Os cenários foram, principalmente, baseados em:

- a) Alteração de níveis de reservatórios;
- b) Inserção de válvulas redutoras de pressão PRV (Pressure Reducing Valve) no sistema;
- c) Inserção de bombas no sistema
- d) Alterações das tubulações
- e) Revitalização das tubulações.

4.5 Cálculo das perdas

Para análise das perdas modelou-se em função das pressões específicas em relação a rede em estudo que trata da equação. Baseada nos estudos de Tucciarelli, Criminisi e Termini (1999) e Silva (2003), que desenvolveram um método baseado em pressões para monitorar perdas em uma rede, essas perdas podem ser expressas pela seguinte fórmula:

$$\sum_{i=1}^{nós} Perdas = P_{media}^{0,5} \times 7,27 \quad (1)$$

Onde as perdas são representadas em percentual e a pressão média (P media), a média aritmética das pressões nos nós da rede.

A somatória das perdas em relação a um valor atributo a média de todas as perdas elevado ao fator que multiplica um valor de 7,27 é estabelecido conforme as características da rede em estudo, para os equilíbrios de distribuições dos nós.

4.6 Etapa 05: Simulações computacionais em rede de água com o uso do EPANET

As simulações com os dados coletados foram realizadas com o software EPANET, o programa fornece informações técnicas que possibilita realizar simulações hidráulicas de acordo com o sistema implantado, para atender os melhores parâmetros específicos em norma e viabilidade econômica. Desta maneira o software propõe melhorias a gestão econômica, e também a rentabilidade, a otimização dos recursos a gestão e estatística que fornece indicações sobre o tempo de uso de cada equipamento.

4.7 Etapa 06: Análise de resultados de simulação de cenários e construção de recomendação conhecimentos adquiridos

A estratégia do estudo foi de a partir do cenário original, obtendo-se novos cenários que foram estabelecidos com o intuito de verificar a melhor operação do sistema de modo que a rede operar com pressões dentro da norma. Em função das características particulares da rede de água buscou-se analisar os resultados em termos de pressão, que está intimamente ligado a perdas e custos do sistema. Pelo estudo ser conduzido em rede real a aquisição de experiência foi muito oportuna.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados quatro Reservatório de Nível Fixo (RNF) a partir de 957 metros que é o nível do reservatório original e as outras alterações de níveis para 954, 949 e 944 metros conforme as recomendações e o limite de pressão estabelecidos em norma, após o equilíbrio de pressão é possível novas mudanças do nível de reservatório.

Será alterado o nível do reservatório porque, diminuindo a altura, diminui-se a pressão, e com isso será feito essa modificação para verificar os valores de pressão. Primeiro altera o nível do reservatório, se essas modificações não forem suficientes, será buscado outra alternativa.

Na fase de teste e reconhecimento da rede em estudo, foi estabelecido em princípio de estudo a existência de booster em locais isolados e com pouco tempo de funcionamento, em locais de poucas residências, deste modo não foi considerado, e as válvulas totalmente abertas.

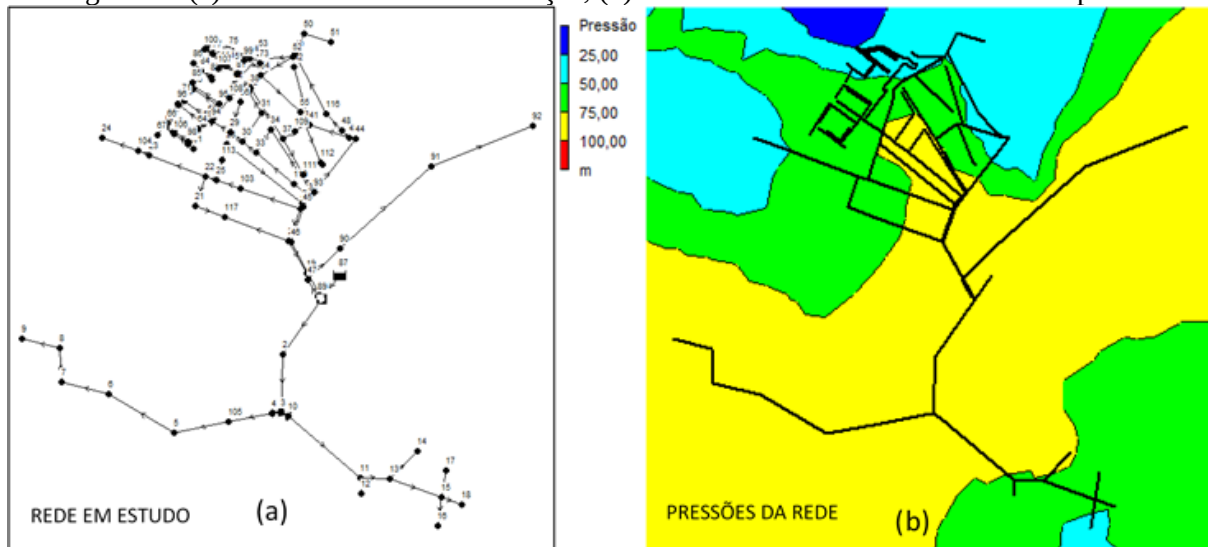
5.1 RNF 957 metros (original)

A rede divide-se em duas zonas de pressão zona alta e zona baixa, que apresenta uma variação altimétrica de aproximadamente 89 m, correspondente a cota 957 m e ao ponto mais baixo de 867,37 m. Conforme descrito detalhadamente em materiais e métodos, o setor contém 117 nós, 121 trechos. As zonas de pressão obtidas por meio do software EPANET, a partir de estudos anteriores são representadas por gráficos de isolinhas na Figura 5. Na Figura 5 (a) representa uma rede real com as pressões fora do estabelecido em norma, e a Figura 5 (b) apresenta a mesma rede, no gráfico de pressões, chamado isolinhas. A rede encontra-se fora dos padrões estabelecidos, a norma com limites mínimo e máximo conforme a topografia aproximadamente 10 a 50 metros de coluna d'água (m.c.a).

É observado que, para a maioria dos nós, o limite de pressão é ultrapassado, e deste modo é essencial que as pressões fiquem em equilíbrio, e através do software EPANET é possível visualizar os principais pontos que necessitam de ajuste.

É importante levar em consideração que os dados coletados em estudos anteriores, foram afetados pelos vazamentos, no começo da medições, e conseqüentemente isso poderá afetar algumas precisões de leitura.

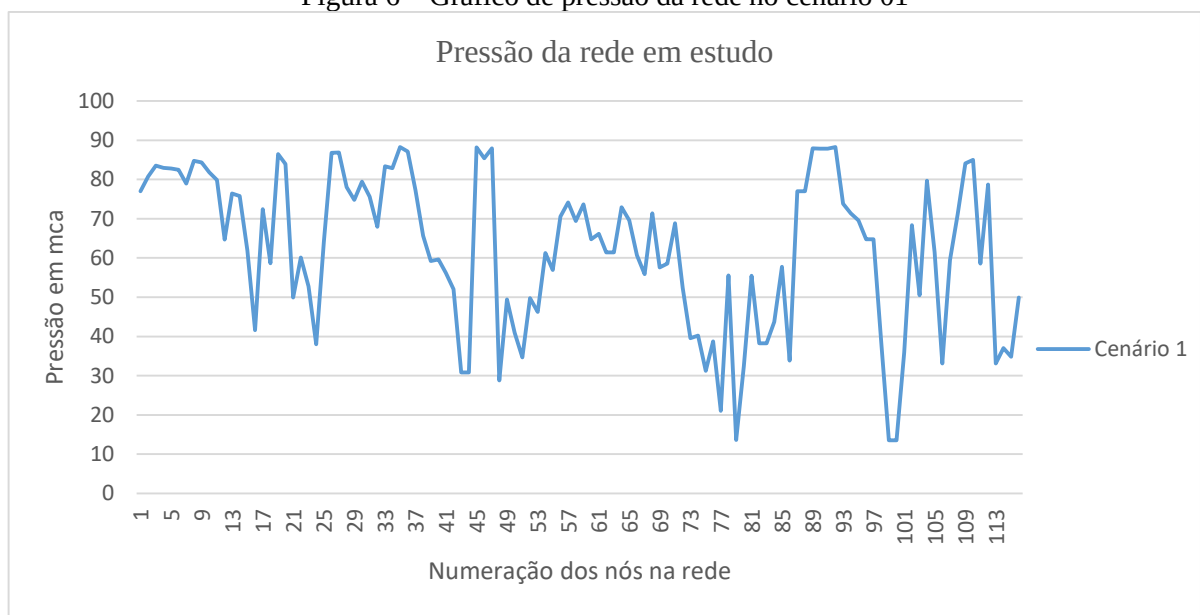
Figura 5 – (a) Rede em estudo sem alteração; (b) Gráfico de isolinhas sem controle de pressão



Fonte: autor (2019)

Na Figura 6 é demonstrado um gráfico com os dados de pressão coletados para cada nó no setor estudado, resultado dos monitoramentos do sistema de distribuição no cenário 01 Figura 5. Este monitoramento, demonstra os resultados de pressão dos nós e com esses valores é possível realizar alterações para buscar valores de pressão conforme a norma. Analisando o gráfico, é possível observarmos que as pressões nos nós estão fora do que especifica em norma (10 a 50 mca). Através destes resultados será buscado alterações para alcançar a pressão conforme a recomendação norma.

Figura 6 – Gráfico de pressão da rede no cenário 01



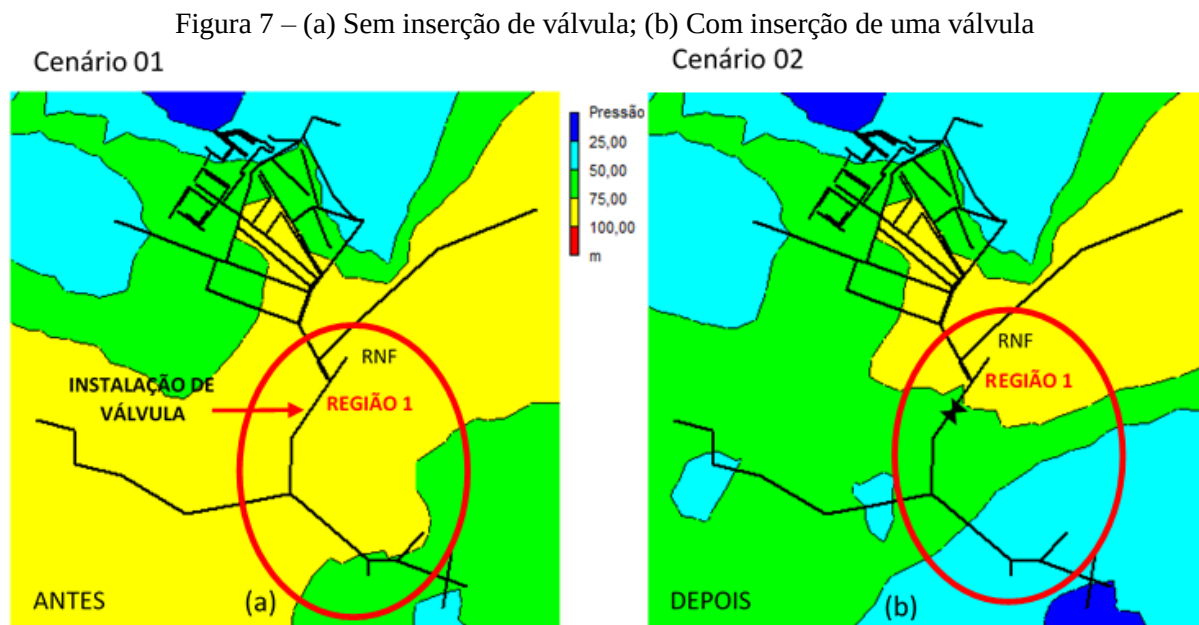
Fonte: autor (2019)

Em todo o comportamento das pressões distribuídas na rede em estudo apenas 26,72% dos nós atenderam a recomendação da norma.

5.1.1 Inserção de uma válvula no trecho 1

No cenário 02, será inserido uma válvula na rede com a altura do reservatório RNF = 957 m. Para redução das altas pressões o que recomenda-se é a inserção de válvulas redutoras de pressão ou válvulas de controle de pressão a jusante, PRV (*Pressure Reducing Valve*) que tem a função de diminuir o surgimento de vazamento em relação da pressões elevadas.

A Figura 7 (a) representa o cenário 01 rede original, sem a inserção de válvula e sem controle de pressão. Na Figura 7 (b) representa-se a inserção de uma válvula no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a e com o reservatório estável. Observa-se na Figura 7 (b) com relação a Figura 7 (a) alguns pontos de pressão em destaque. A inserção de uma válvula, resulta em uma alteração de pressão bem expressiva, destacando uma região 1 para comparação, entre cenário 01 e 02, verifica-se que muitos pontos se encontravam na variação de 75 a 100 m.c.a no cenário 01 e agora no cenário 02, houve uma diminuição expressiva desses pontos com alta pressão.

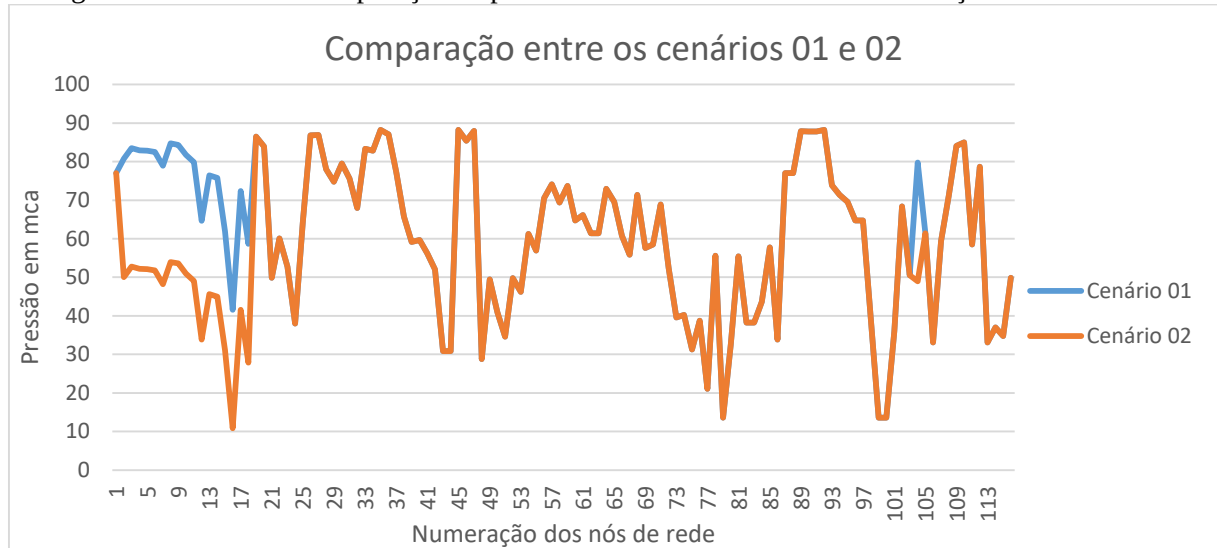


Fonte: autor (2019)

Na Figura 8 é demonstrado um gráfico comparativo entre o cenário 01 e 02, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de uma válvula ao sistema de distribuição,

que resulta em pequenas alterações atribuídas à maioria dos nós, não sendo o suficiente para o equilíbrio de pressão.

Figura 8 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 02 com inserção de uma válvula

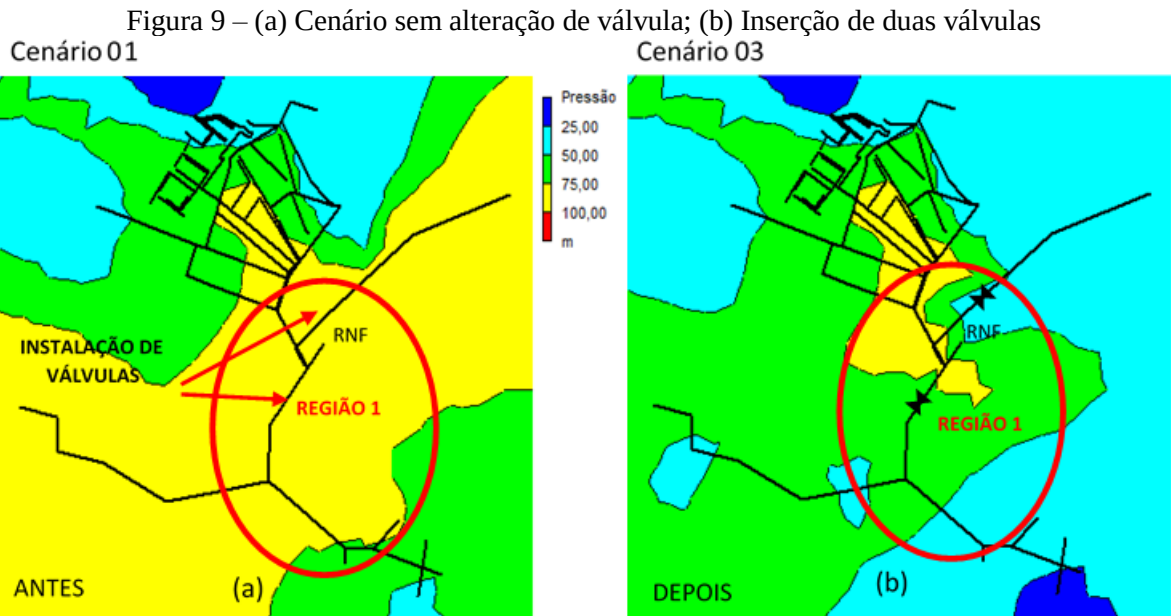


Fonte: autor (2019)

No cenário 01 as pressões médias correspondentes a rede são de $PM = 62,28$ m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, e com o reservatório estável $RNF = 957$ metros. Depois da inserção de uma válvula com representação no cenário 02 ocorre uma tendência em reduzir as pressões médias para $PM = 57,51$ m.c.a, e as perdas foram de 55,13 % com redução de 2,24% com poucas melhorias, e baixa eficiência não resultando em equilíbrio ideal a rede de distribuição.

5.1.2 Inserção de duas válvulas nos trechos 1 e 65

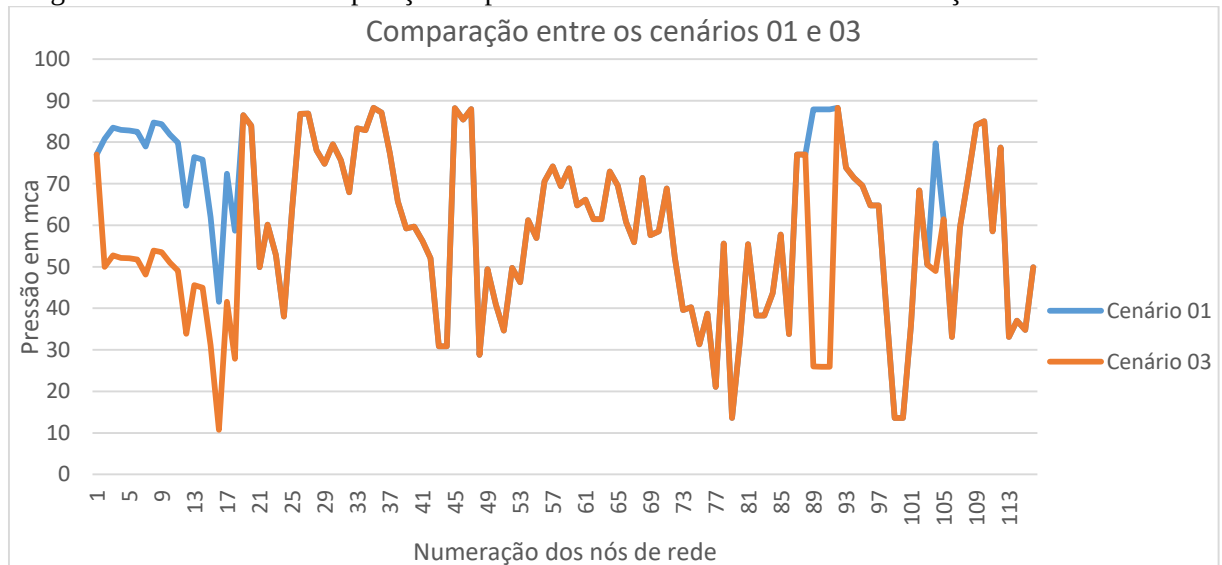
O cenário sem inserção da válvula é ilustrado na Figura 9 (a). A Figura 9 (b) demonstra o cenário 03, com a inserção de duas válvulas, uma no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a outra no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a e com o reservatório estável. Observa-se na Figura 9 (a) alguns pontos de pressão em destaque, a colocação das válvulas em pontos específicos demonstra que ocorre uma alteração bem expressiva. Destacando a região 1 na Figura 9 (a) e comparando essa mesma região na Figura 9 (b), é verificado que aparecem mais pontos com pressões dentro do permitido em norma.



Fonte: autor (2019)

Na Figura 10 é demonstrado um gráfico de pressões resultantes no cenário 03 de maneira comparativo com o cenário 01, e é verificado pequenas alterações atribuídos a maioria dos nós, estas alterações não foram suficientes com o acréscimo de duas válvulas ao sistema de distribuição não sendo o suficiente para o equilíbrio de pressão. Observa-se que, em alguns nós, as pressões permanecem acima do que recomenda a norma.

Figura 10 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 03 com inserções de duas válvulas



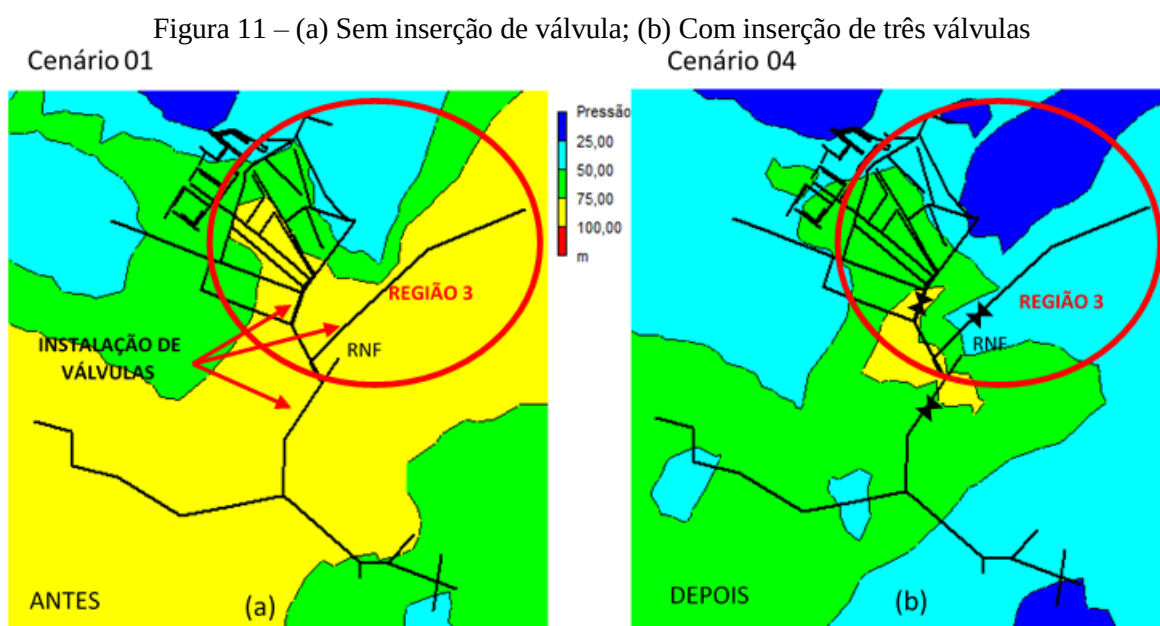
Fonte: autor (2019)

No cenário 01 as pressões médias correspondentes a rede são de $PM = 62,28$ m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, e com o altura do reservatório estável. Depois da inserção de

duas válvulas com representação no cenário 03 ocorre uma tendência em reduzir as pressões médias para $PM = 55,89$ m.c.a, e as perdas foram de 54,35 % com redução de 3,02 % e com poucas melhorias, e baixa eficiência não resultando em equilíbrio ideal a rede de distribuição.

5.1.3 Inserção de três válvulas nos trechos 1, 65 e 62

No cenário 04 é inserido três válvulas, mantendo a altura do reservatório RNF= 957 metros. A Figura 11 (a) representa o cenário 01 da rede original, sem modificação e a Figura 11 (b) demonstra o cenário 04, com a inserção três válvulas, uma no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a outra no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a, e a terceira que liga o trecho 62 com diâmetro de 150 mm e parâmetro de controle de 76 m.c.a.



Fonte: autor (2019)

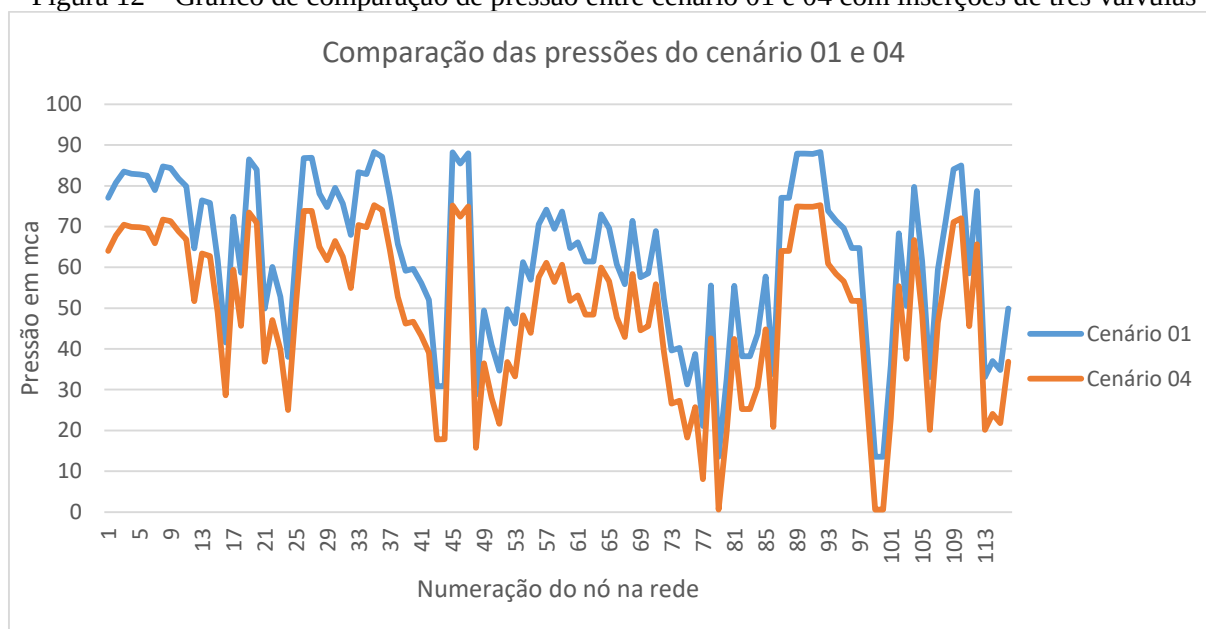
Observa-se na Figura 11 (b) com relação a Figura 11 (a) alguns pontos de pressão em destaque. A inserção de três válvulas, resulta em uma alteração de pressão bem expressiva. Destacando uma região 3, que apresenta pontos que se aproximavam de 100 m.c.a, agora se aproximam de 75 m.c.a. Observa-se no cenário 04, próximo ao reservatório que ainda existe pontos com pressões elevadas, que estão fora do que recomenda a norma.

Em relação à região 3 as pressões diminuíram cada vez mais, que é observado no cenário 04 uma concentração em azul escuro com a variação de 0 a 25 m.c.a, de acordo com a norma o mínimo é 10 mca.

Na Figura 12 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre o cenário 01 e 04, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de três válvulas redutoras de pressão ao sistema de distribuição que resulta na alteração da pressão da rede.

Observa-se em alguns nós que a pressão encontra-se abaixo do que recomenda a norma 10 m.c.a e outros permaneceram acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressão na rede.

Figura 12 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 04 com inserções de três válvulas

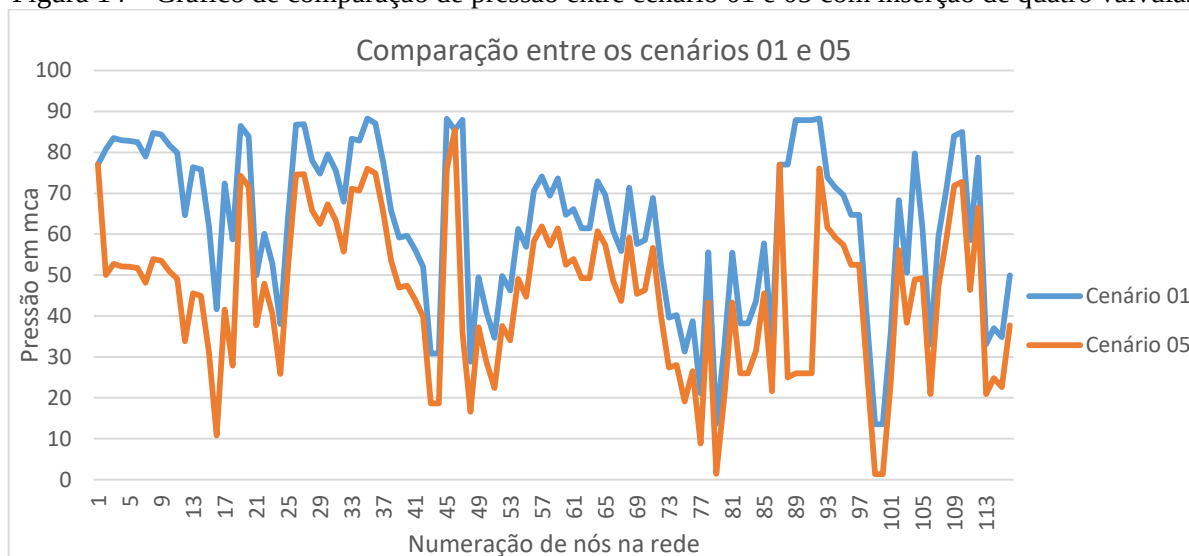


Fonte: autor (2019)

No cenário 01 as pressões medias correspondentes a rede são de $PM = 62,28$ m.c.a e as perdas na faixa de 57,37 %, com altura do reservatório estável de $RNF = 957$ metros. Depois da inserção de três válvulas com representação no cenário 04 ocorre uma tendência em reduzir as pressões médias $PM = 49,28$ m.c.a, e as perdas foram de 51,03 % com redução de 6,33 % com poucas melhorias, e baixa eficiência não resultando em equilíbrio ideal a rede de distribuição devido à baixa concentração de pressão em trechos isolados.

Na Figura 14 é demonstrado um gráfico comparativo entre o cenário 01 e 05, com atribuição de quatro válvulas redutoras de pressão ao sistema de distribuição que resulta na alteração da pressão ao longo da rede. O gráfico faz um comparativo entre os cenários e demonstra que houve pequenas alterações na maioria dos nós, estas alterações não foram suficientes para o equilíbrio das pressões. Observa-se em alguns nós que a pressão se encontra abaixo do que recomenda a norma 10 m.c.a e outros permaneceram acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressões na rede.

Figura 14 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 05 com inserção de quatro válvulas



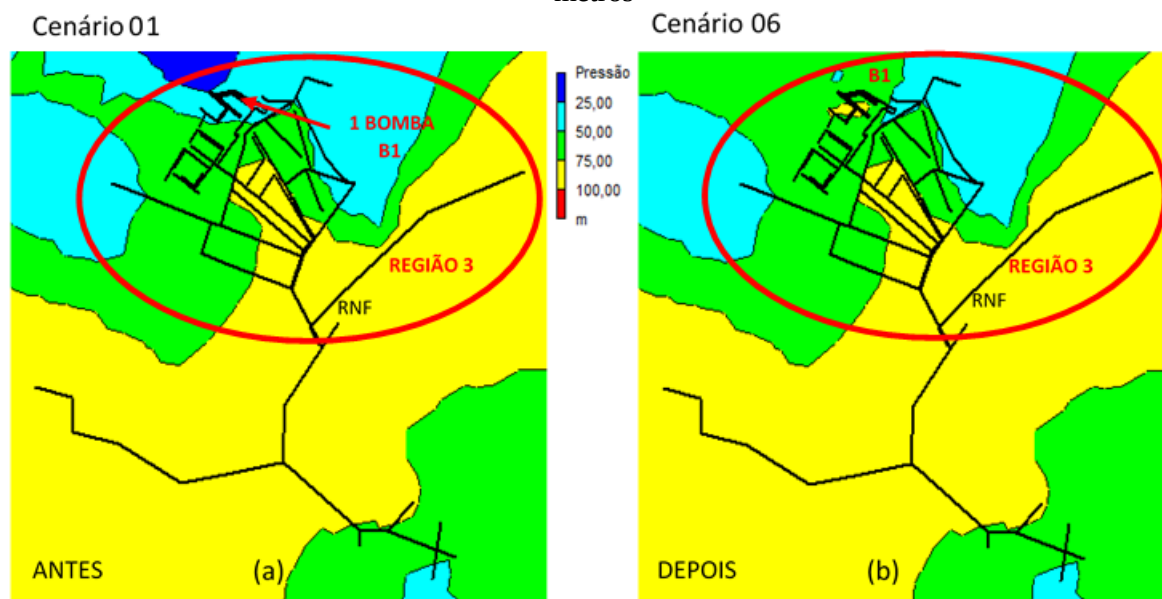
Fonte: autor (2019)

No cenário 01 as pressões médias PM = 62,28 m.c.a com perdas na faixa de 57,37 %, e com o reservatório estável RNF=957 metros. Depois da inserção de quatro válvulas com representação no cenário 05 ocorre uma tendência em reduzir a pressões médias PM = 45,53 m.c.a, e as perdas foram de 49,05 % com redução de 8,32 %.

5.1.5 RNF 957 metros com uma bomba no trecho 96

Como as simulações demonstraram que as alterações da altura do reservatório não atenderam a recomendação da norma, será buscado outras formas de alterações. No cenário 06, demonstrado na Figura 15, será inserido uma bomba TH-16 de 3 cv, 3500 r.p.m, trifásica no trecho 96 mantendo o nível.

Figura 15 – Instalação de bomba na região com maiores altitudes no trecho 96 com o RNF= 957 metros



Fonte: autor (2019)

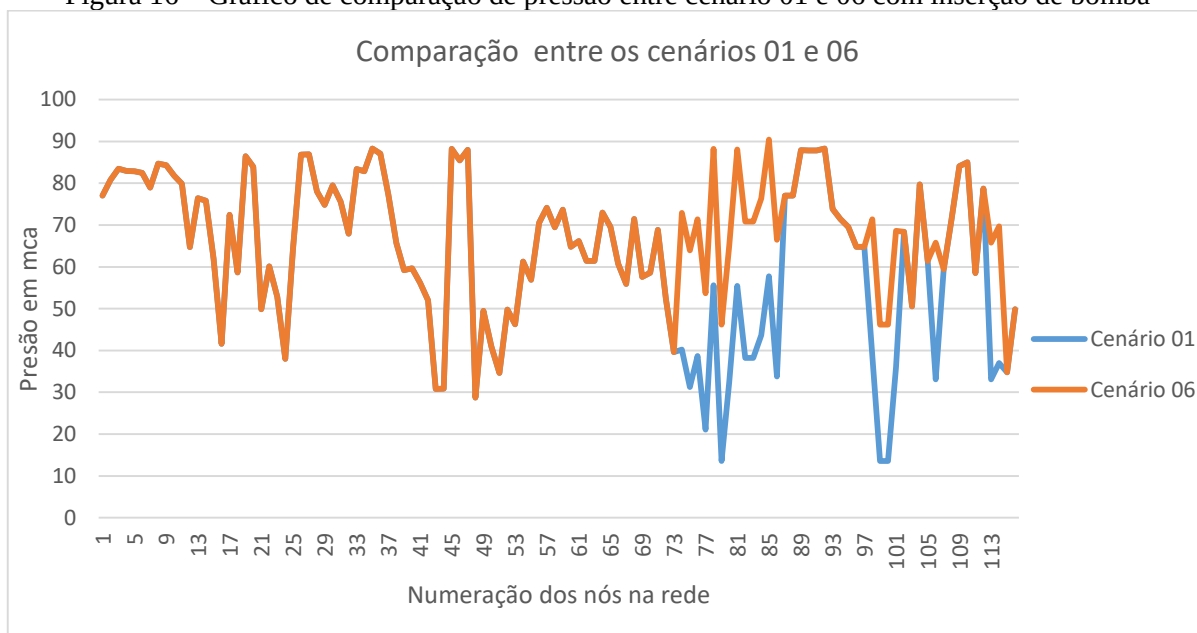
Na Figura 15, é representado uma comparação entre o cenário 06 com o cenário 01. O cenário 06 é o resultado de uma inserção de uma bomba na região com maiores altitudes no trecho 96 com o reservatório RNF = 957 metros, reforçando a pressão nos pontos mais altos que eventualmente ficam mais despressurizadas.

Comparando os dois cenários, verifica-se uma melhoria na pressão no ponto mais alto, mas ainda existem pontos com excesso de pressão.

As pressões encontram-se em grandes concentrações em toda rede de distribuição, o que recomenda é atribuir novos métodos para equilíbrio na rede de distribuição, o mais próximo das recomendações estabelecidas pela norma.

Na Figura 16 é demonstrado um gráfico comparativo entre o cenário 06 e 01. É verificado pequenas alterações atribuídas a maioria dos nós, que aumentam as pressões nos trechos que mais necessitam. Observa-se em alguns nós que a pressão encontra-se acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressão na rede.

Figura 16 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 06 com inserção de bomba



Fonte: autor (2019)

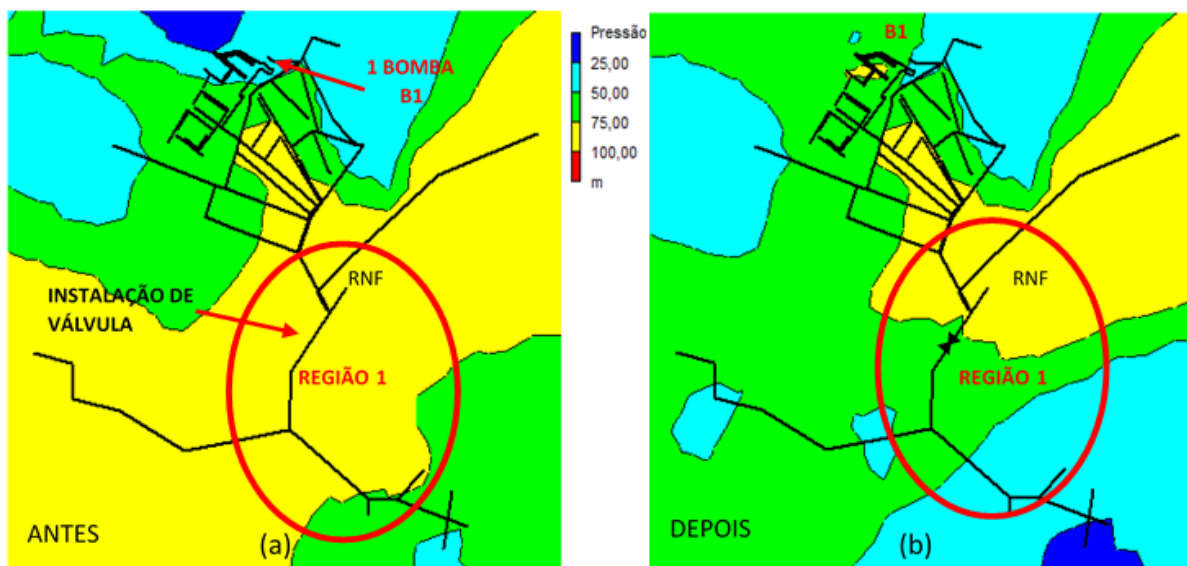
No cenário 01 as pressões médias correspondentes a rede são de $PM = 62,28$ m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, e altura do reservatório estável $RNF = 957$ metros. Depois da inserção de uma bomba com representação no cenário 06, com a colocação da bomba resultou em um aumento de pressão $PM = 67,91$ m.c.a, e as perdas foram de 59,91 % com redução de - 2,53 %, não sendo ideal ao sistema de distribuição com um aumento de pressão superior ao cenário 01.

5.1.6 Inserção de bomba no trecho 96 e uma válvula no trecho 1

A impossibilidade de alteração da cota do reservatório, reflete diretamente sobre os locais da rede que se encontra com baixa pressão, consequentemente impossibilita qualquer diminuição de pressão nos locais com excesso. Desta maneira o que se recomenda é a inserção de bombas nos trechos com baixa pressão junto com as válvulas, de modo a explorar ao máximo o potencial de redução de pressão das válvulas, reforçando a pressão nos pontos mais altos que eventualmente ficam mais despressurizadas.

A Figura 17 representa o cenário 01 rede original, com colocação de uma válvula que interligada ao trecho a 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a. com a inserção de uma bomba TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica no trecho 96 mantendo o nível do reservatório estável.

Figura 17 – Instalação de uma válvula associado a rede com bomba com o RNF= 957 metros
Cenário 01 Cenário 07



Fonte: autor (2019)

Na Figura 17, verifica-se uma comparação do cenário 07 com o cenário 01. A inserção de uma válvula, associado com uma bomba resulta em uma alteração de pressão. Destacando uma região 1 uma diminuição das pressões, verifica-se que muitos pontos se encontravam na variação de 75 a 100 mca no cenário 01 e agora no cenário 07, houve uma diminuição expressiva desses pontos com alta pressão.

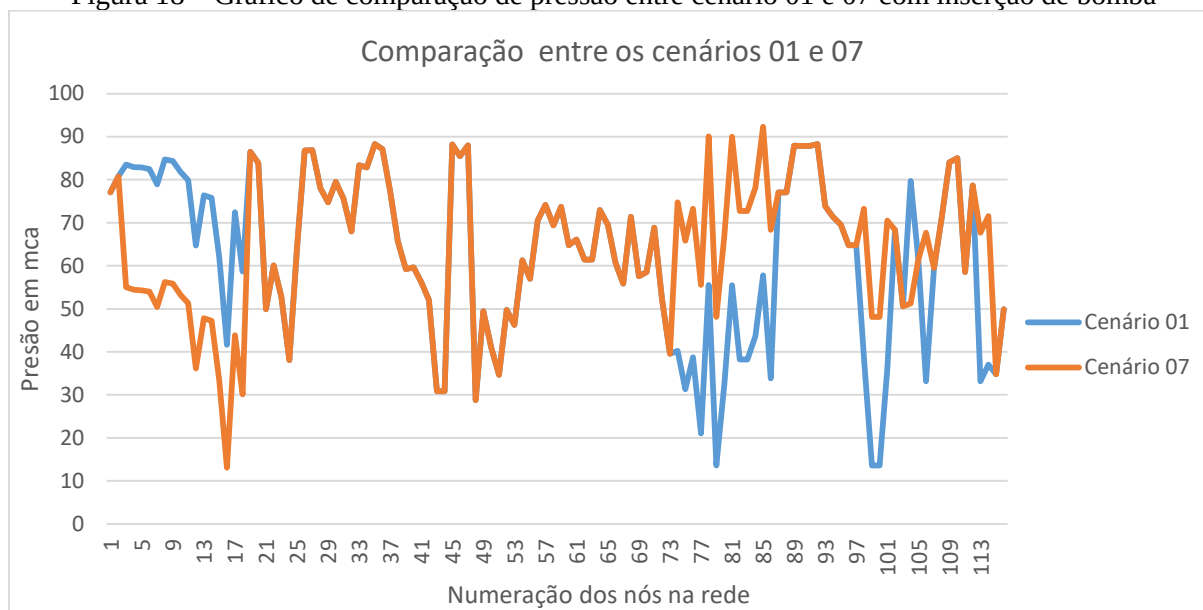
O cenário 07 é o resultado de uma inserção de bomba na região com maiores altitudes entre no trecho 96 com o RNF= 957 metros, reforçando a pressões nos pontos mais altos que eventualmente ficam mais despressurizados.

Comparando os dois cenários, verifica-se pouca melhoria na pressão no ponto mais alto, mas ainda existem pontos com excesso de pressão. É destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Na Figura 18 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre os cenários 07 e 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de uma bomba e com atribuição de uma válvula mais o ajuste da cota do reservatório, diminuindo a pressão em grandes concentrações.

Observa-se em alguns nós que a pressão se encontra acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressões na rede.

Figura 18 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 07 com inserção de bomba



Fonte: autor (2019)

No cenário 01 as pressões médias PM = 62,28 m.c.a com perdas na faixa de 57,37 % e altura do reservatório estável RNF = 957 metros. Depois da inserção de uma bomba e mais o acréscimo de uma válvula com representação no cenário 07, a combinação dos equipamentos não resultou em equilíbrio, aumento ainda mais as pressões na rede para PM = 64,05 m.c.a, e as perdas foram de 58,18 % com redução de -0,80 % não sendo ideal ao sistema de distribuição com um aumento de pressão superior ao cenário 01.

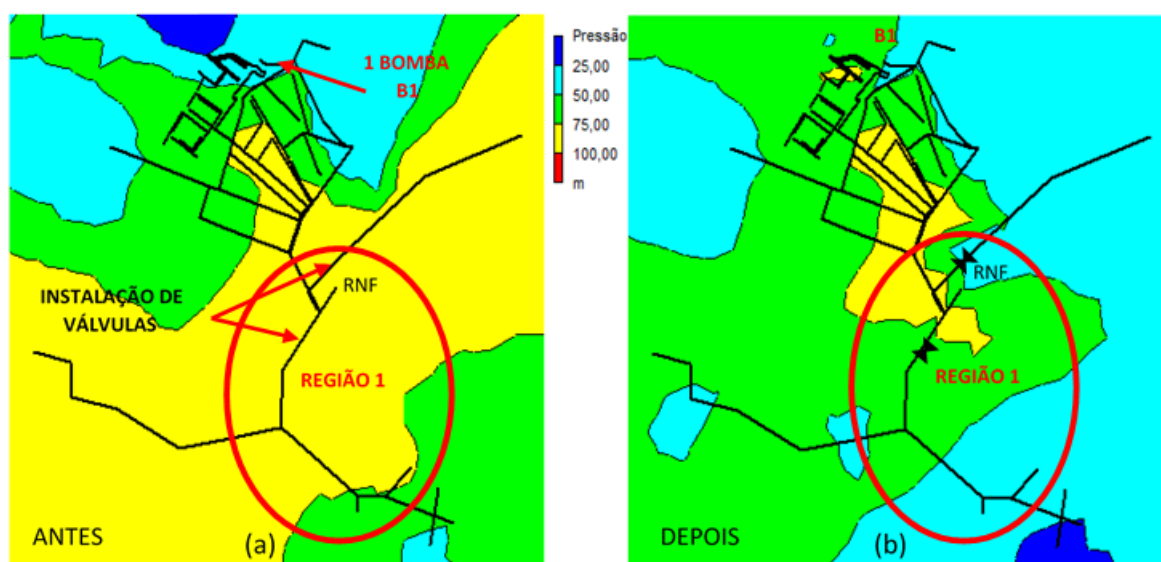
5.1.7 Inserção de duas válvulas nos trechos 1 e 65 e uma bomba no trecho 96

A Figura 19 representa o cenário 01 rede original com duas válvulas, uma no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a outra no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a. com a inserção de uma bomba TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica no trecho 96 mantendo o nível do reservatório estável. Na Figura 19, verifica-se uma comparação do cenário 08 com o cenário 01. A inserção de duas válvulas, associado a bomba resulta em uma alteração de pressão. Destacando uma região 1 uma diminuição das pressões, verifica-se que muitos pontos se encontravam na variação de 75 a 100 mca no cenário 01 e agora no cenário 08, houve uma diminuição expressiva desses pontos com alta pressão.

O cenário 08 é o resultado de uma inserção de bomba na região com maiores altitudes entre o trecho 96 com o reservatório a 957 metros, reforçando a pressão nos pontos mais altos

que eventualmente ficam mais despressurizadas. Comparando os dois cenários, verifica-se pouca melhoria na pressão no ponto mais alto, mas ainda existem pontos com excesso de pressão. É destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Figura 19 – Instalação de duas válvulas a rede com uma bomba com o RNF=957 metros
Cenário 01



Fonte: autor (2019)

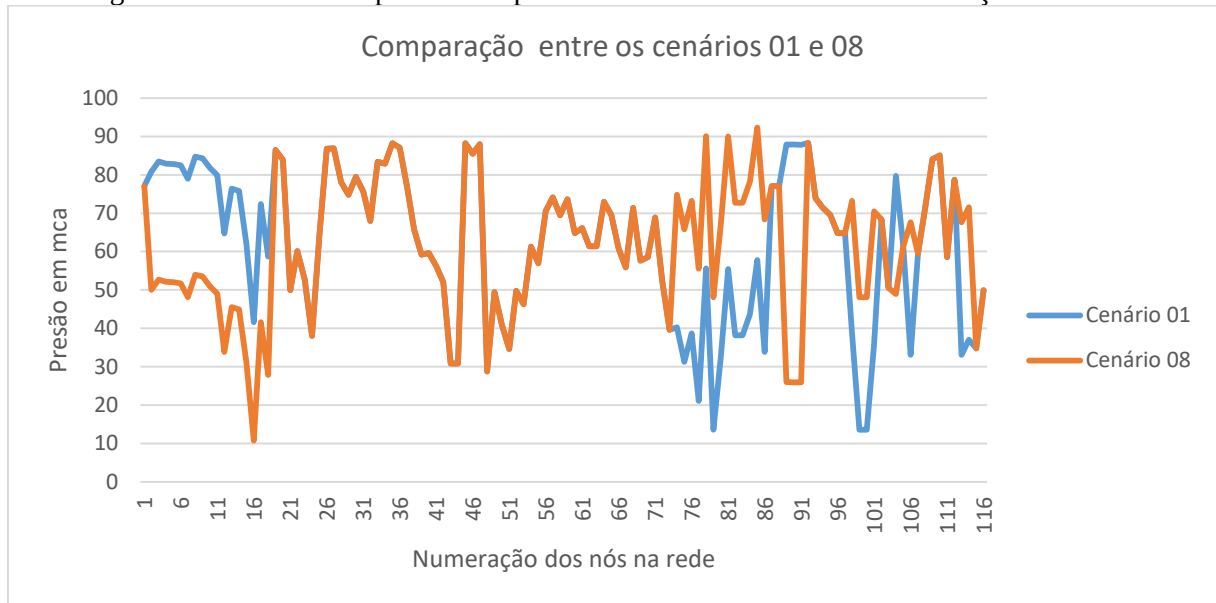
Em relação à região 1 as pressões nas áreas mais altas diminuíram com o acréscimo de duas válvulas e com a inserção de uma bomba, o que é observado no cenário 08 uma concentração em azul escuro com a variação de 0 a 25 m.c.a, de acordo com a norma o mínimo é 10 m.c.a.

Na Figura 20 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre os cenários 08 e 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com a inserção de uma bomba mais a atribuição de duas válvulas diminuindo a pressão em grandes concentrações.

Observa-se em alguns nós que a pressão se encontra acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressões na rede.

No cenário 01 as pressões medias correspondentes a rede são $PM = 62,28$ m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, e altura do reservatório estável $RNF = 957$ metros. Depois da inserção de uma bomba e mais o acréscimo de duas válvulas em diferentes trechos com representação no cenário 08, a combinação dos equipamentos não resultou em equilíbrio, aumento ainda mais as pressões na rede para $PM = 64,95$ m.c.a, e as perdas foram de 58,59 % com redução de -1,21 % não sendo ideal ao sistema de distribuição com um aumento de pressão superior ao cenário 01.

Figura 20 – Gráfico comparativo de pressão entre cenário 01 e 08 com inserção de bomba

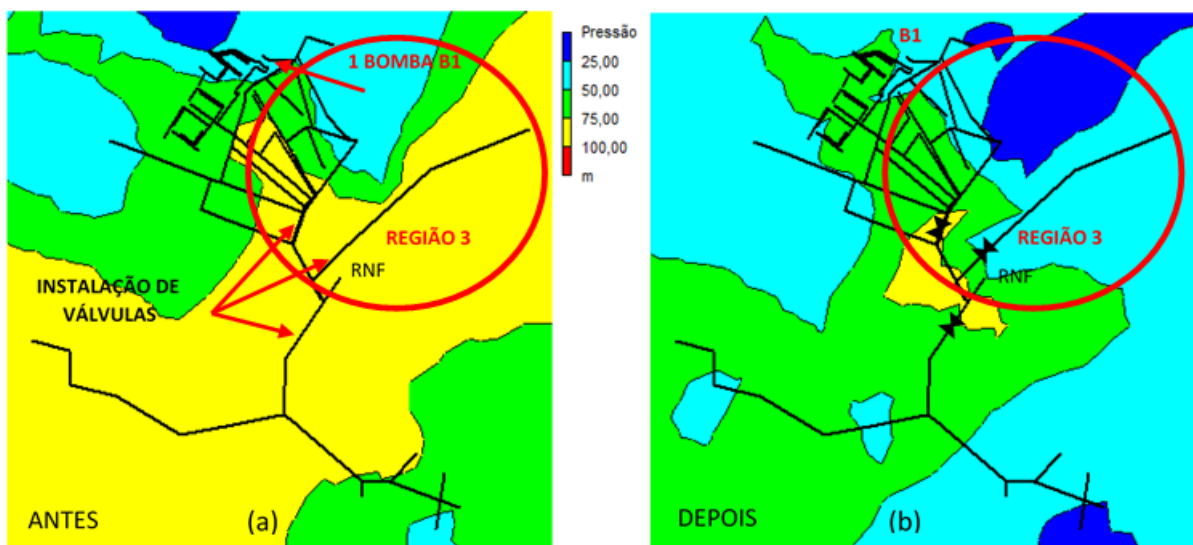


Fonte: autor (2019)

5.1.8 Inserção de três válvulas nos trechos 1, 65 e 62 e uma bomba no trecho 96

A Figura 21 representa o cenário 01 rede original, com a inserção três válvulas, uma no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a. outra no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a, e a terceira que liga o trecho 62 com diâmetro de 150 mm e parâmetro de controle de 76 m.c.a. e com a inserção de uma bomba TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica no trecho 96 mantendo o nível do reservatório estável.

Figura 21 – Instalação de três válvulas a rede com bomba com o RNF= 957 metros
Cenário 01 Cenário 09



Fonte: autor (2019)

Na Figura 21, verifica-se uma comparação do cenário 09 com o cenário 01. A inserção de três válvula, associado a bomba que resulta em uma alteração de pressão. Destacando uma região 3 que representa a diminuição das pressões, verifica-se que muitos pontos se encontravam na variação de 75 a 100 m.c.a no cenário 01 e agora no cenário 09, houve uma diminuição expressiva desses pontos com alta pressão.

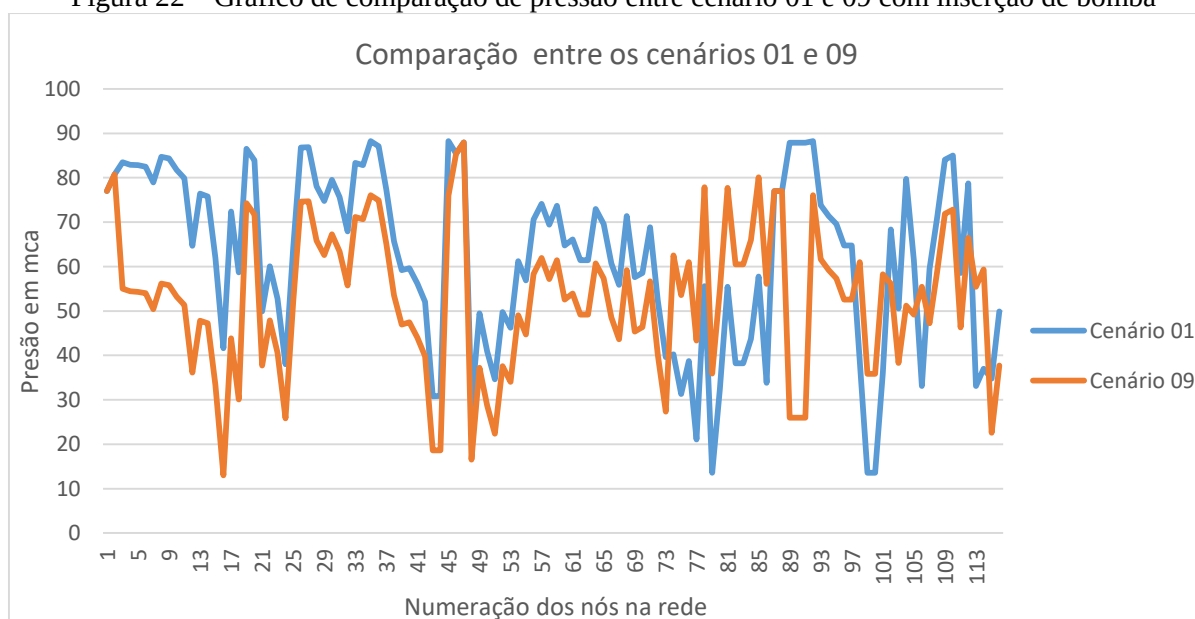
O cenário 09 é o resultado de uma inserção de bomba na região com maiores altitudes no trecho 96 com o reservatório a 957 metros, reforçando a pressão nos pontos mais altos que eventualmente ficam mais despressurizadas.

Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão no ponto mais alto e baixas concentrações de pressão de maneiras isoladas, mas ainda existem pontos com excesso de pressão, e destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Em relação à região 1 as pressões nas áreas mais altas diminuiram com o acréscimo de três válvulas e com a inserção de uma bomba, o que é observado no cenário 09 uma concentração em azul escuro com a variação de 0 a 25 m.c.a, de acordo com a norma o mínimo é 10 m.c.a.

Na Figura 22 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre os cenários 09 e 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de uma bomba com atribuição de três válvulas, diminuindo a pressão em grandes concentrações. Observa-se em alguns nós que a pressão se encontra acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressões, em alguns nós a melhoria das pressões tendendo-se a estabelecer um equilíbrio.

Figura 22 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 09 com inserção de bomba



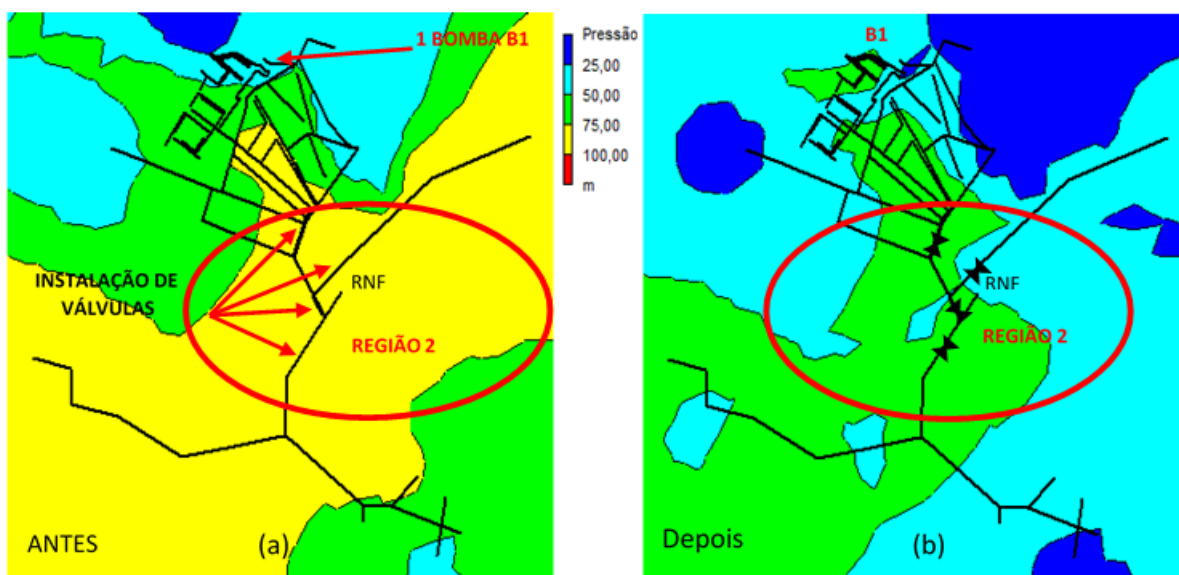
Fonte: autor (2019)

No cenário 01 as pressões medias são $PM = 62,28$ m.c.a e as perdas de 57,37 %, com o reservatório estável a $RNF=957$ metros. Depois da intervenção de uma bomba e mais o acréscimo de três válvulas em diferentes trechos com representação no cenário 09, a combinação dos equipamentos resultou poucas quedas de pressões para $PM = 52,98$ m.c.a, e as perdas foram de 52,91 % com redução de 4,45 % não sendo ideal ao sistema de distribuição.

5.1.9 Inserção de quatro válvulas nos trechos 1, 65, 62 e 113 e uma bomba no 96

A Figura 23 representa o cenário 01 rede original, com colocação de quatro válvulas uma no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a e outra no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a e outra que liga o trecho 62 com diâmetro de 150 mm e parâmetro de controle de 76 m.c.a, a quarta válvula no trecho 113 com diâmetro de 50 mm e parâmetro de controle de 25 m.c.a. e com a inserção de uma bomba TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica no trecho 96 mantendo o nível do reservatório.

Figura 23 – Instalação de quatro válvulas a rede com bomba no trecho 96 com o $RNF = 957$ metros
Cenário 01



Fonte: autor (2019)

Na Figura 23, verifica-se uma comparação do cenário 10 com o cenário 01 com a inserção de quatro válvula, associado a bomba que resulta em uma alteração de pressão. Destacando uma região 1 diminuindo a média das pressões entre 75 a 100 m.c.a.

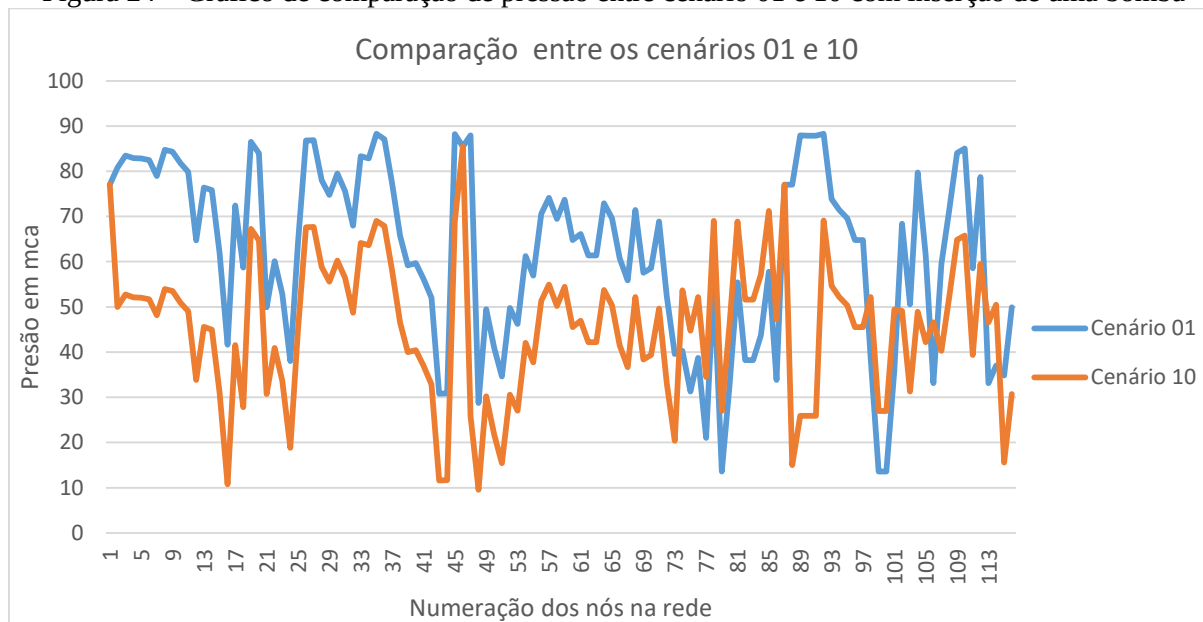
O cenário 10 é o resultado de uma inserção de bomba na região com maiores altitudes no trecho 96 com o RNF = 957 metros, reforçando a pressão nos pontos mais altos que eventualmente ficam mais despressurizadas.

Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão no ponto mais alto e baixas concentrações de pressão de maneiras isoladas, mas ainda existem pontos com excesso de pressão, e destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Em relação à região 1 as pressões nas áreas mais altas diminuíram com o acréscimo de quatro válvulas e com a inserção de uma bomba, o que é observado no cenário 10 uma concentração em azul escuro com a variação de 0 a 25 m.c.a, de acordo com a norma o mínimo é 10 m.c.a.

Na Figura 24 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre os cenário 10 e 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de uma bomba com atribuição de quatro válvulas e com a inserção de uma bomba, diminuindo a pressão em grandes concentrações.

Figura 24 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 10 com inserção de uma bomba

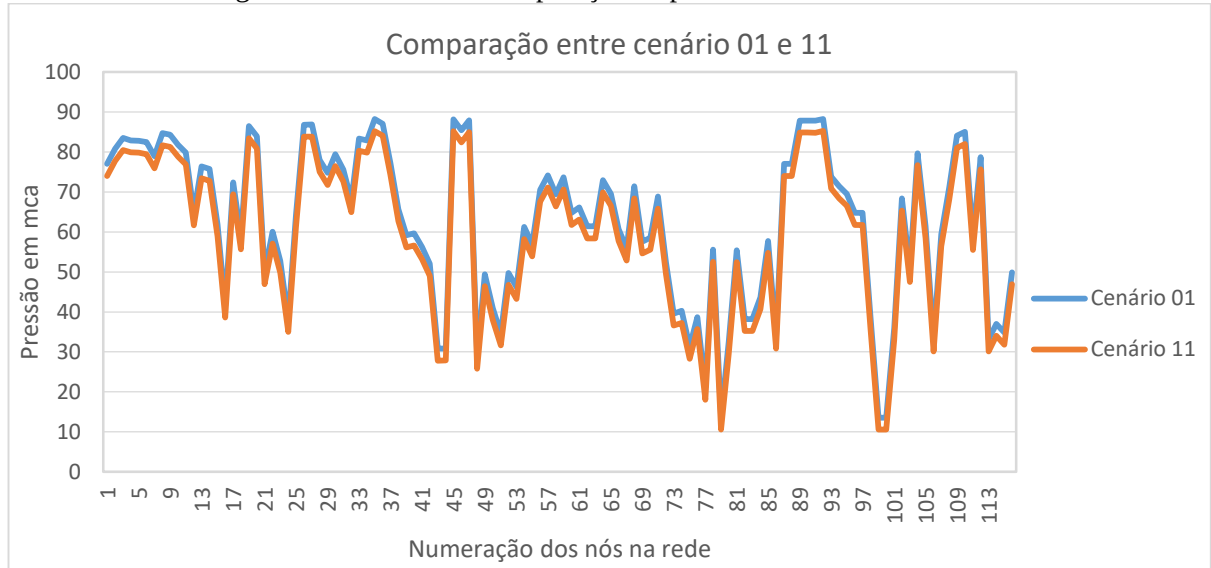


Fonte: autor (2019)

No cenário 01 as pressões medias correspondentes a rede são de PM = 62,28 m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, e altura do reservatório estável RNF= 957 metros. Depois da inserção de uma bomba e mais o acréscimo de quatro válvulas em diferentes trechos conforme a representação no cenário 10, a combinação dos equipamentos resultou em melhorias de pressões PM = 45,54 m.c.a, e as perdas foram de 49,06 % com redução de 8,30 %, com bons

Na Figura 26 é demonstrado um gráfico comparativo entre o cenário 01 e 11, é verificado pequenas alterações atribuídas a maioria dos nós, estas alterações não foram suficientes para o equilíbrio de pressões.

Figura 26 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 11



Fonte: autor (2019)

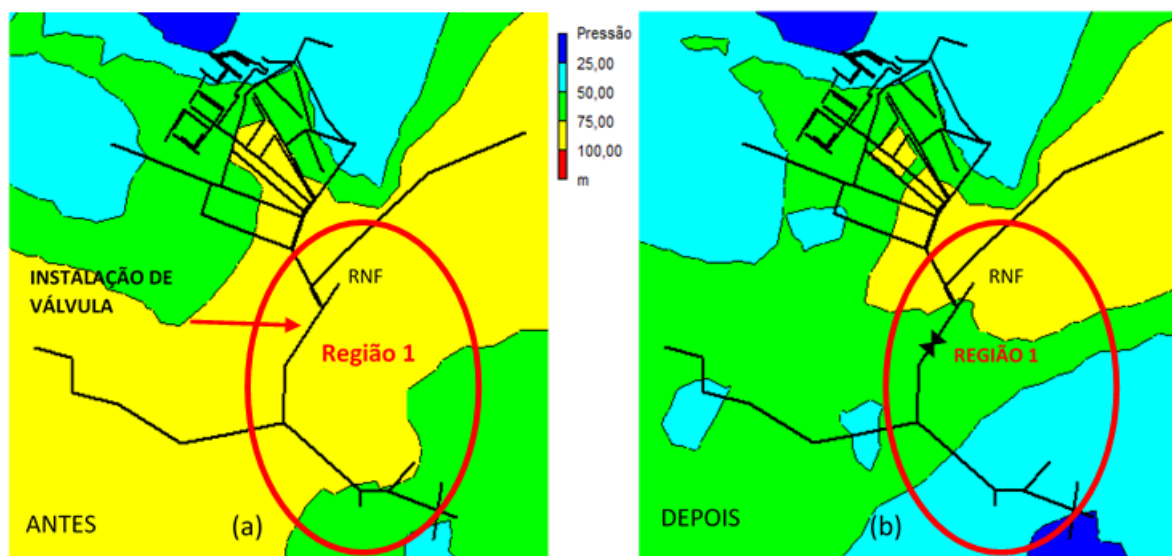
No cenário 01 as pressões medias correspondentes a rede são de $PM = 62,28$ m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável $RNF = 957$ metros. E no cenário 11 com a alteração da alteração do reservatório $RNF = 954$ metros que resultou em poucas melhorias de pressões na rede para $PM = 59,28$ m.c.a, e as perdas foram de 55,97 % com redução de 1,40 % não sendo ideal ao sistema de distribuição.

5.2.1 Inserção de uma válvula no trecho 1

A colocação das quatro válvulas com nível $RNF = 957$ metros não foi o suficiente para o equilíbrio das pressões. Esta situação precisa ser melhor gerenciada e o que recomenda é fazer novas alterações, até estabelecer a pressão conforme a recomendação da norma.

A Figura 27 (a) representa o cenário 1 rede original com o $RNF = 957$ metros, e sem inserções de válvulas e com pressão descontrolada. Na Figura 27 (b) representa-se o cenário 12 com o $RNF = 954$ metros a inserção de uma válvula no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a.

Figura 27 – Colocação de válvula redutora de pressão e alteração do reservatório a 954 metros
Cenário 01



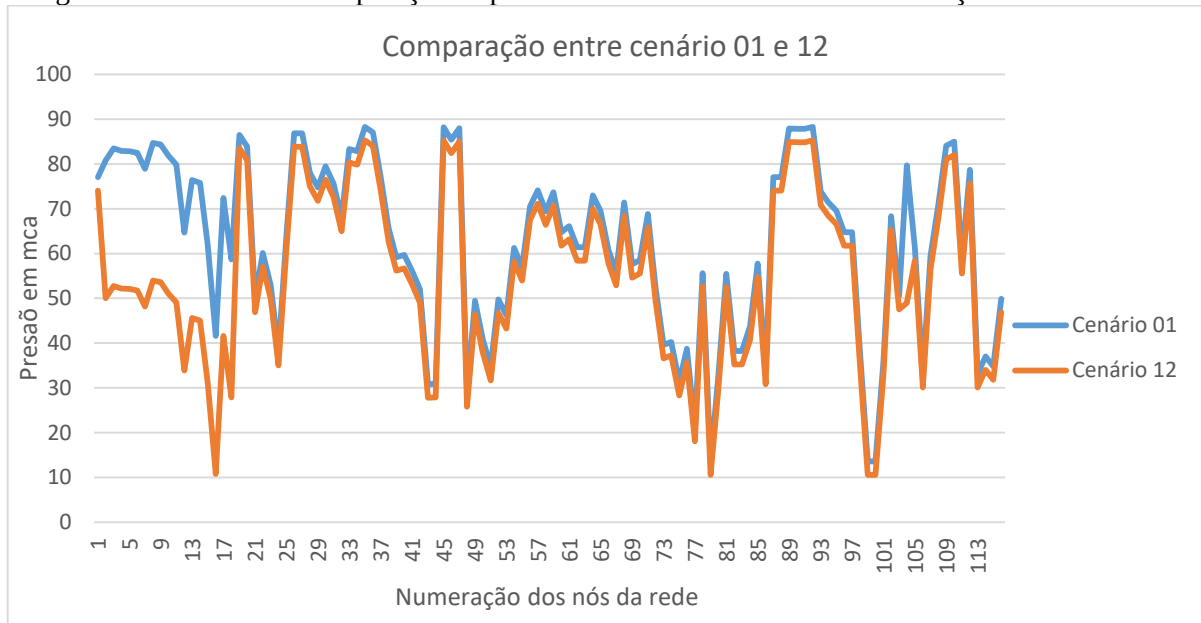
Fonte: autor (2019)

Observa-se na Figura 27 (b) com relação a Figura 27 (a), alguns pontos em destaque. O cenário 12 é o resultado da modificação da altura do RNF, que estava a 957 metros, e agora se encontra a 954 metros, com a inserção de uma válvula.

Comparando os dois cenários verifica-se que houve uma melhoria em alguns pontos, mas ainda existem pontos com excesso de pressão.

Na Figura 28 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões resultantes no cenário 01 e 12, este comparativo é atribuído ao gráfico com a inserção de uma válvula e ajuste da cota do reservatório que resulta em poucas alterações atribuídos a maioria dos nós, não sendo o suficiente para o equilíbrio das pressões. No cenário 01 as pressões medias correspondentes a rede são de $PM = 62,28$ m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável $RNF = 957$ metros. E no cenário 12 com a alteração do reservatório $RNF = 954$ metros mais o acréscimo de uma válvula que resultou em poucas melhorias de pressões na rede para $PM = 54,97$ m.c.a, e as perdas foram de 53,90 % com redução de 3,47 % não sendo ideal ao sistema de distribuição.

Figura 28 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 09 com inserção de uma válvula

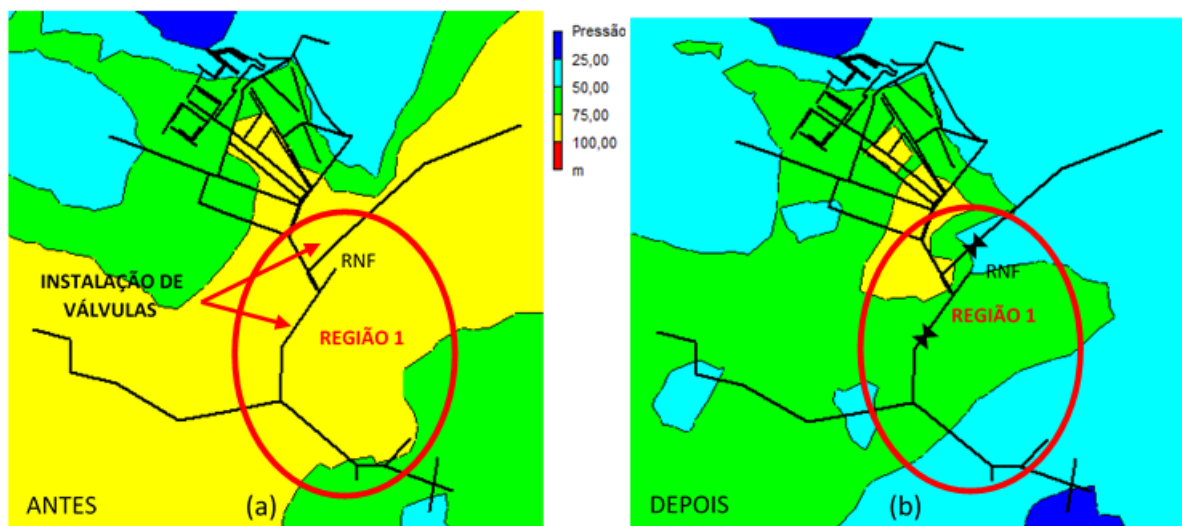


Fonte: autor (2019)

5.2.2 Inserção de duas válvulas nos trechos 1 e 65

A Figura 29 (a) representa o cenário 1 rede original com o RNF = 957 metros, e sem inserções de válvulas e com pressão descontrolada. Na Figura 29 (b) representa-se o cenário 13 com o a alteração RNF = 954 metros com a inserção de duas válvulas, uma no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a e outra válvula no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a.

Figura 29 – Colocação de duas válvulas redutoras de pressão e alteração do RNF= 954 metros
Cenário 01

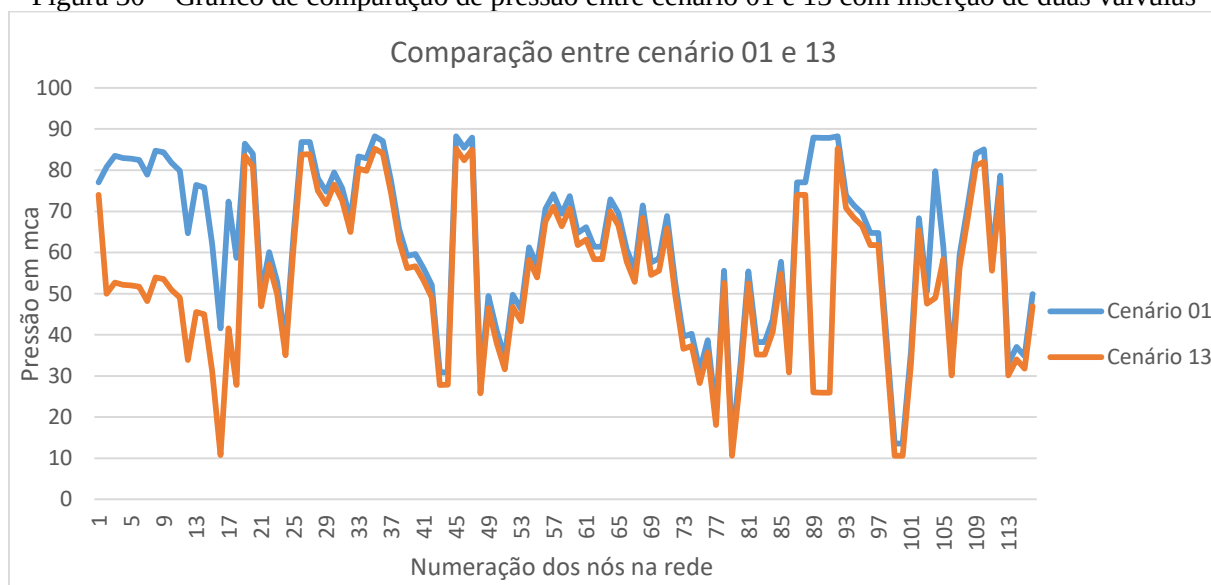


Fonte: autor (2019)

Observa-se na Figura 29 (a) com relação a Figura 29 (b) alguns pontos de pressão em destaque. O cenário 13 é o resultado da modificação da altura do RNF = 957 metros, e agora se encontra a RNF = 954 metros, e também é instalado duas válvulas redutoras de pressão. Comparando os dois cenários, é possível verificar que houve melhoria na pressão em alguns pontos, mais ainda existem pontos com excesso de pressão.

Na Figura 30 é demonstrado um gráfico comparativo entre o cenário 01 e 13, com valores de pressão ao longo da rede. O gráfico faz um comparativo entre os cenários monitorados, demonstrado que houve pequenas alterações na maioria dos nós, com atribuição de duas válvulas e mais o ajuste da cota do reservatório que resulta em poucas alterações da pressão da rede.

Figura 30 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 13 com inserção de duas válvulas



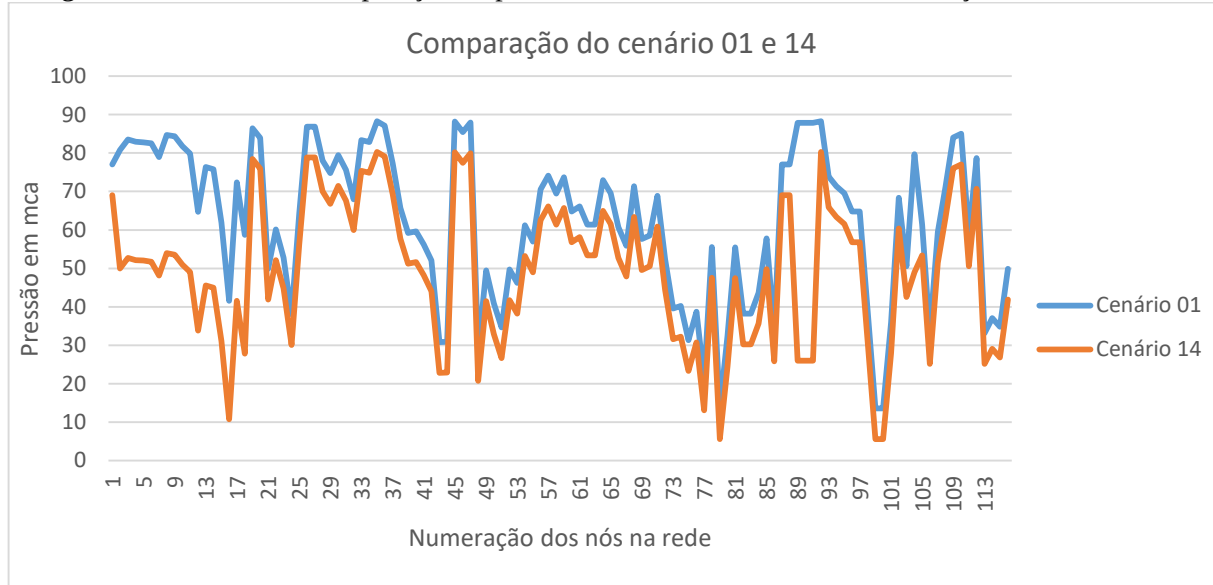
Fonte: autor (2019)

No cenário 01 as pressões médias correspondentes a rede são $PM = 62,28$ m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, e altura do reservatório estável $RNF = 957$ metros. No cenário 13 demonstra a alteração da alteração do reservatório $RNF = 954$ metros mais o acréscimo de duas válvulas que resultou em poucas melhorias de pressões na rede para $PM = 53,44$ m.c.a, e as perdas foram de 53,14 % com redução de 4,23 % não sendo ideal ao sistema de distribuição.

demonstrado que houve pequenas alterações na maioria dos nós, com atribuição de três válvulas mais o ajuste da cota do reservatório, que resulta em pouca alteração da pressão da rede.

Observa-se em alguns nós que a pressão se encontra abaixo do que recomenda a norma 10 m.c.a e outros permaneceram acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressões na rede.

Figura 32 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 14 com inserção de três válvulas



Fonte: autor (2019)

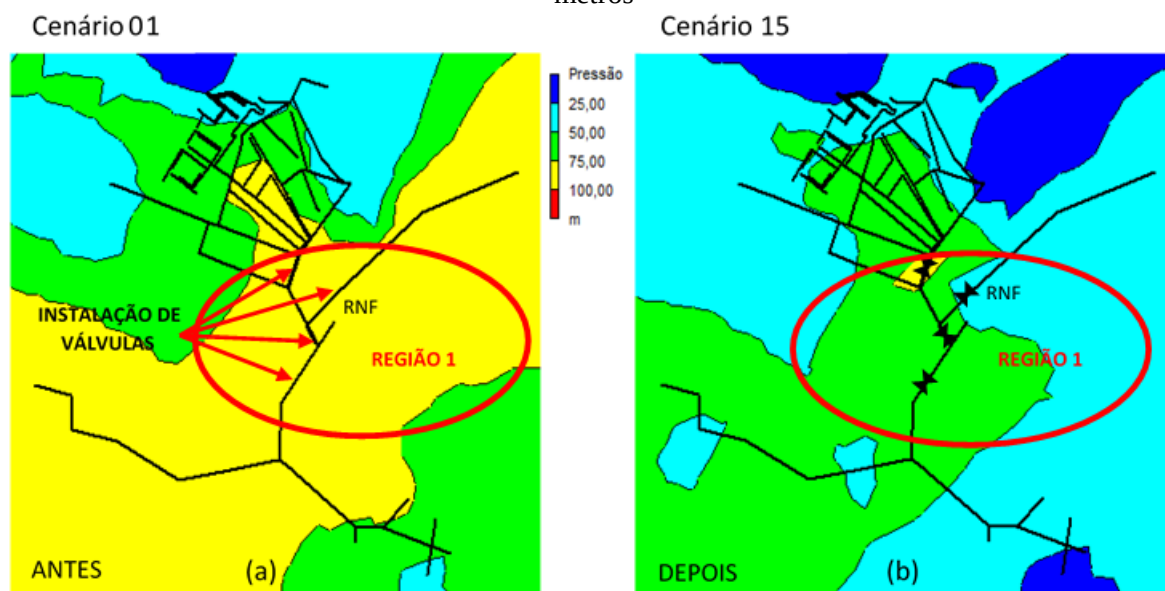
No cenário 01 as pressões medias correspondentes a rede são de PM = 62,28 m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável RNF= 957 metros. E no cenário 14 com a alteração da alteração do reservatório RNF = 954 metros mais o acréscimo de três válvula que resultou em poucas melhorias de pressões na rede para PM = 49,35 m.c.a, e as perdas foram de 51,07 % com redução de 6,30 % não sendo ideal ao sistema de distribuição devido à baixa concentração de pressão em trechos isolados.

5.2.4 Inserção de quatro válvulas nos trechos 1, 65, 62, 113

Na Figura 33 (a) é demonstrado o cenário antes da inserção das válvulas. A Figura 33 (b) demonstrado no cenário 15, com a inserção de quatro válvulas uma no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a outra no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a e a terceira que liga o trecho 62 com diâmetro de 150

e parâmetro de controle de 76 m.c.a, e por último a quarta válvula no trecho 113 com diâmetro de 50 mm e parâmetro de controle de 25 m.c.a.

Figura 33 – Colocação de quatro válvulas redutoras de pressão e alteração do reservatório a 954 metros



Fonte: autor (2019)

Na Figura 33, verifica-se uma comparação do cenário 15 com o cenário 01. O cenário 15 é o resultado da modificação da altura do RNF = 957 metros, e agora se encontra RNF = 954 metros, com a instalado quatro válvulas.

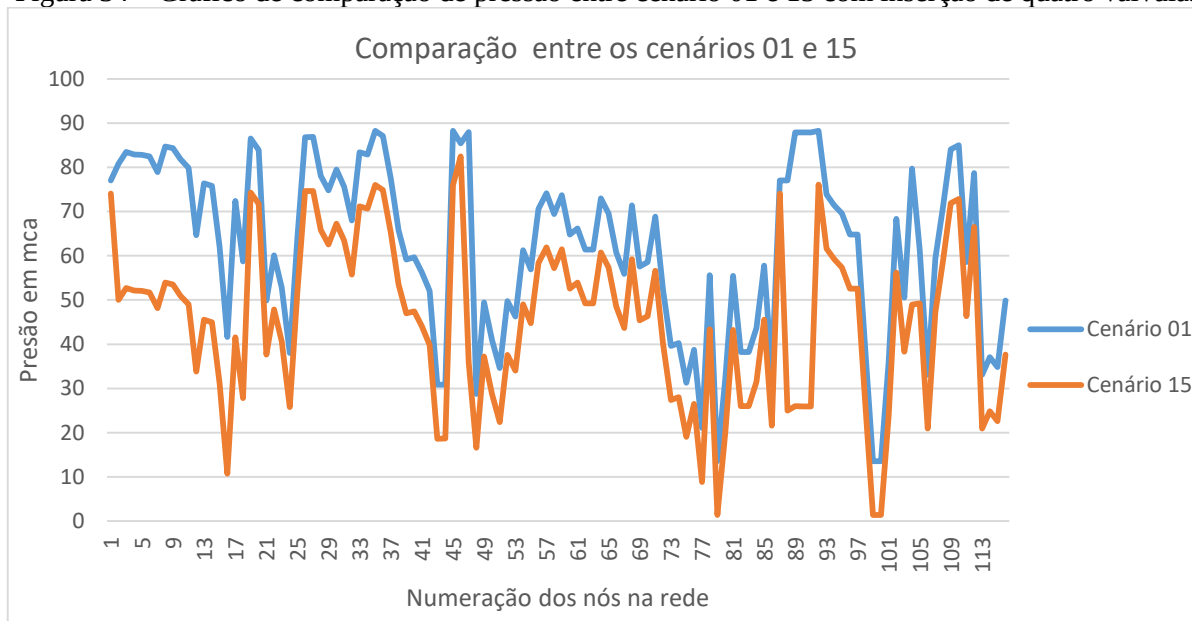
Comparando os dois cenários, verifica que houve melhoria expressiva das pressões em alguns pontos, e ainda existem pontos com excesso de pressão.

Em relação à região 1 as pressões nas áreas mais altas diminuíram cada vez mais, o que é observado no cenário 15 uma concentração em azul escuro com a variação de 0 a 25 mca, de acordo com a norma o mínimo é 10 m.c.a.

Na Figura 34 é demonstrado um gráfico comparativo entre os cenários 01 e 15, com valores de pressão ao longo da rede, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de quatro válvulas e ajuste da cota do reservatório que resulta em pouca alteração da pressão.

Observa-se em alguns nós que a pressão se encontra abaixo do que recomenda a norma 10 m.c.a e outros permaneceram acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressões na rede.

Figura 34 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 15 com inserção de quatro válvulas



Fonte: autor (2019)

No cenário 01 as pressões são $PM = 62,28$ m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com o reservatório estável $RNF = 957$ metros. E no cenário 15 com a alteração do reservatório $RNF = 954$ metros mais o acréscimo de quatro válvula que resultou em melhorias de pressões $PM = 45,45$ m.c.a, e as perdas foram de 49,00 % com redução de 8,36 % não sendo ideal ao sistema de distribuição devido à baixa concentração de pressão em trechos isolados.

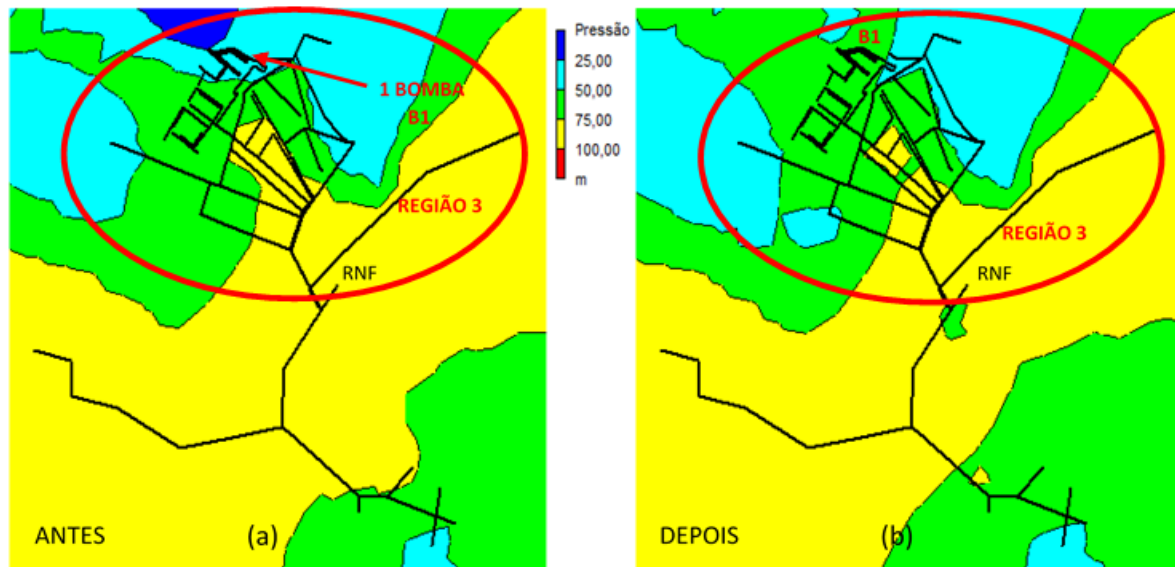
5.2.5 RNF 954 metros com uma bomba no trecho 96

Como as simulações demonstraram que as alterações da altura do reservatório não atenderam a recomendação da norma, será buscado outras formas de alterações.

A Figura 35 (a) representa o cenário 1 rede original com o $RNF = 957$ metros, sem modificação, na Figura 35 (b) representa o cenário 01 com colocação de uma bomba TH-16 de 3 cv, 3500 r.p.m, trifásica no trecho 96 e com o $RNF = 954$ metros.

Na Figura 35 verifica-se uma comparação do cenário 01 com o cenário 16. O cenário 16 é o resultado de uma inserção de bomba na região com maiores altitudes no trecho 96 com o $RNF = 954$ metros, reforçando a pressão nos pontos mais altos que eventualmente ficam mais despressurizadas. Comparando os dois cenários, verifica-se pouca melhoria na pressão no ponto mais alto, mas ainda existem pontos com excesso de pressão. Observa-se que a pressão gerada ficou acima do que representa a situação do cenário 01. Destacando-se na região 3 pouca alteração expressiva próximo ao reservatório e alguns pontos isolados.

Figura 35 – Instalação de uma bomba na região com maiores no trecho 96 com o RNF= 954 metros
Cenário 01

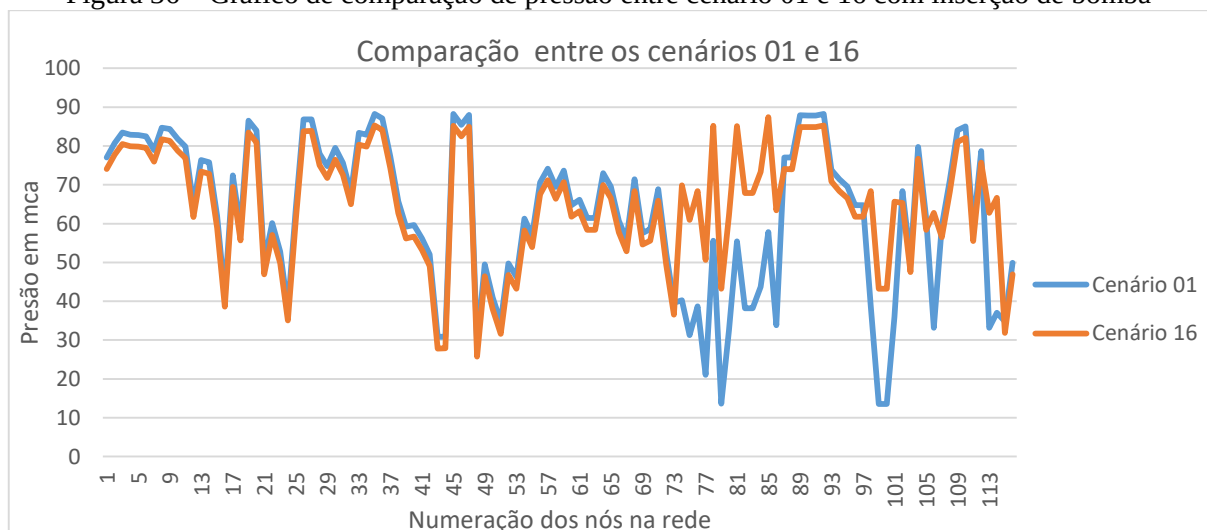


Fonte: autor (2019)

Não sendo suficiente para um equilíbrio de pressões no sistema, desta forma recomenda-se novos ajustes do reservatório.

Na Figura 36 é demonstrado um gráfico comparativo entre o cenário 01 e 16. É verificado pequenas alterações a maioria dos nós, que atribuíram para o aumento das pressões.

Figura 36 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 16 com inserção de bomba



Fonte: autor (2019)

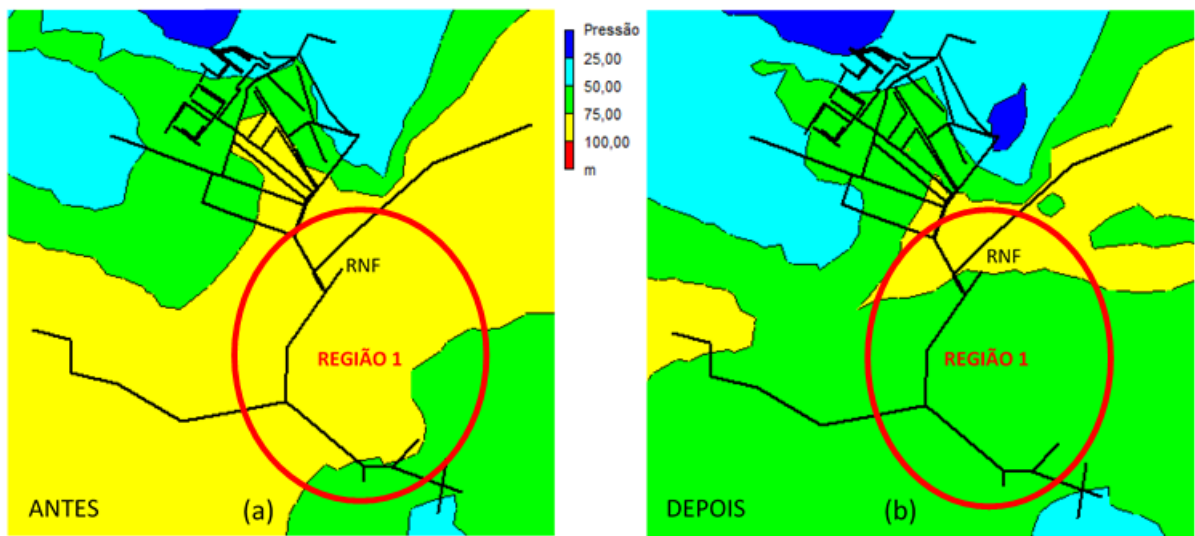
No cenário 01 as pressões medias correspondentes são $PM = 62,28$ m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com o reservatório estável $RNF = 957$ metros. E no cenário 16 com a alteração $RNF = 954$ metros, com a inserção de uma bomba que resultou em um aumento de

pressão na rede para $PM = 64,90$ m.c.a, e as perdas foram de 58,57 % com redução de -1,19 % não sendo ideal ao sistema de distribuição com aumento de pressão superior ao cenário 01.

5.3 RNF 949 metros

O RNF será agora de 949 metros, essa simulação será denominada cenário 17 a Figura 37 (a) representa o cenário 01 da rede original, com a cota do RNF=957 metros sem controle de pressão. Na Figura 37 (b) é demonstrado os resultados relativos ao RNF =949 metros.

Figura 37 – (a) Sem alteração da altura do RNF= 957 metros; (b) Alterando para RNF = 949 metros
Cenário 01 Cenário 17



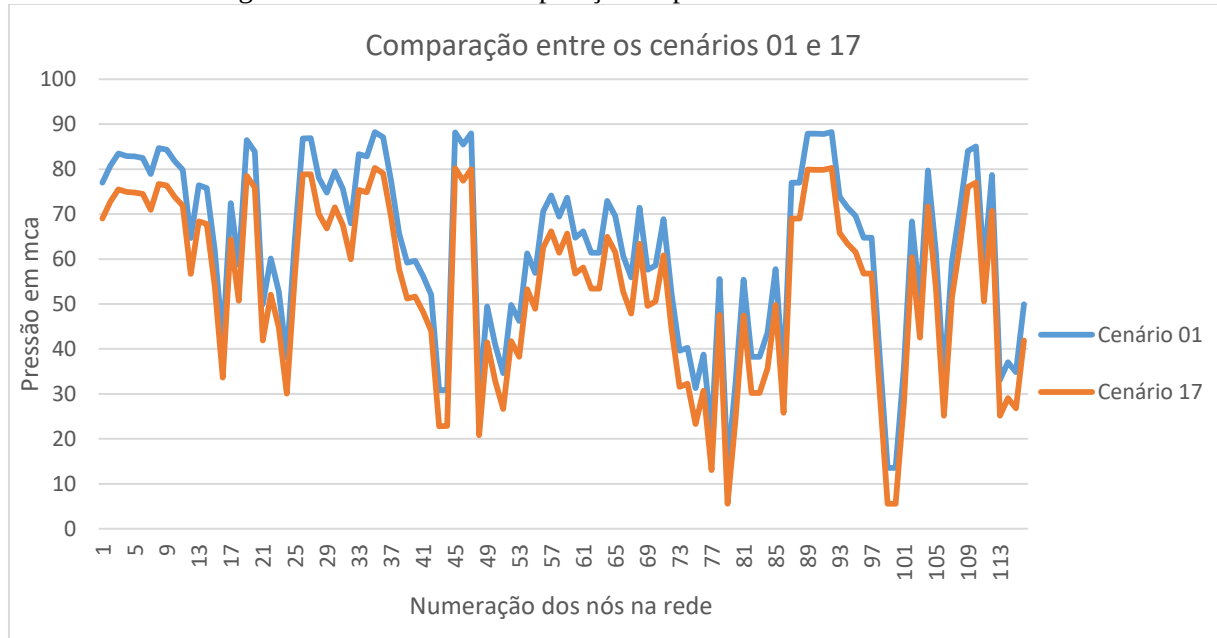
Fonte: autor (2019)

Observa-se na Figura 37 (a) com relação a Figura 37 (b), destacando-se a região 1, que houve uma diminuição de pressão, entre 75 a 100 m.c.a para a variação de 50 a 75 m.c.a, com uma melhoria expressiva. Essa melhoria de pressão perto do reservatório, verificando que para o nível 949 metros o cenário 17 houve uma alteração bem expressiva de pressão próximo ao reservatório, que representa uma melhoria bem expressiva em relação ao cenário 01.

Na Figura 38 é demonstrado um gráfico comparativo entre os cenários 01 e 17, com valores de pressão ao longo da rede, resultantes dos monitoramentos atribuídos ao cenário 01. O gráfico faz um comparativo entre os cenários monitorados, demonstrando que houve pequenas alterações na maioria dos nós, mas estas alterações não foram suficientes para o equilíbrio de pressões.

Observa-se em alguns nós que a pressão se encontra abaixo do que recomenda a norma 10 m.c.a e outros permaneceram acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressões na rede.

Figura 38 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 17



Fonte: autor (2019)

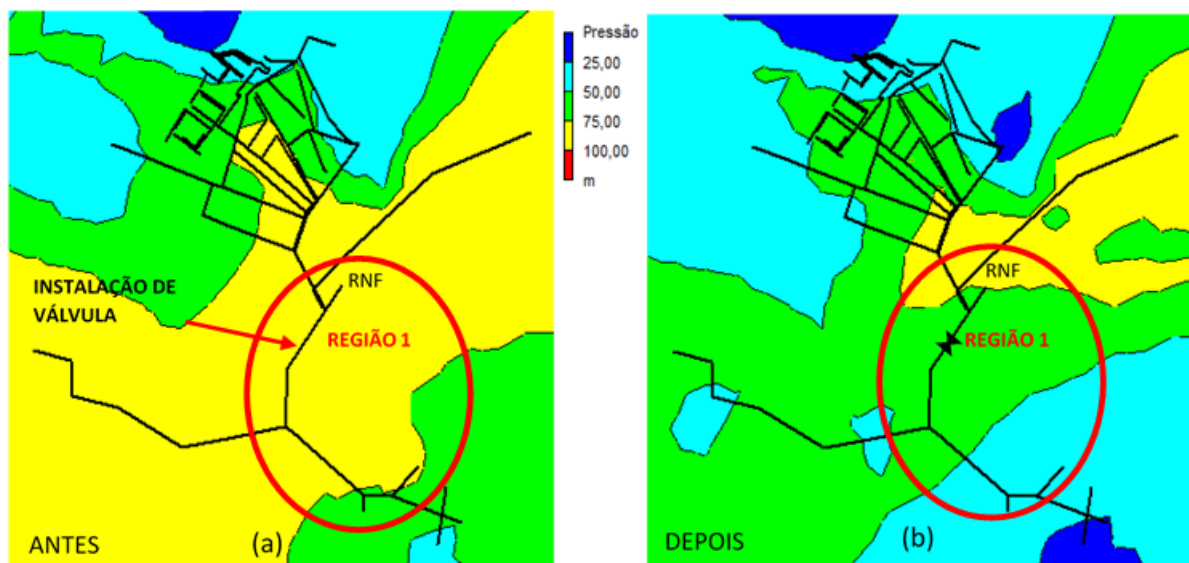
No cenário 01 as pressões medias são $PM = 62,28$ m.c.a e perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável $RNF = 957$ metros. E no cenário 17 com a alteração do reservatório $RNF = 949$ metros com poucas melhorias de pressões $PM = 54,28$ m.c.a, e as perdas foram de 53,56 % com redução de 3,81 % não sendo ideal ao sistema de distribuição.

5.3.1 Inserção de uma válvula no trecho 1

A Figura 39 (a) representa-se o cenário 1 rede original com o $RNF = 957$ metros, com pressão descontrolada. Na Figura 39 (b) representa-se a inserção de uma válvula no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a. e com o $RNF = 949$ metros.

Na Figura 39, verifica-se uma comparação do cenário 18 com o cenário 01. O cenário 18 é o resultado da modificação da altura do RNF, que estava a 957 metros, e agora se encontra a 949 metros, com a instalado uma válvula. Comparando os dois cenários, é possível verificar que houve melhoria das pressões em alguns pontos, mas ainda existem pontos com excesso de pressão.

Figura 39 – Colocação de válvula redutora de pressão e alteração do RNF = 949 metros
Cenário 1 Cenário 18



Fonte: autor (2019)

Em relação à região 1 as pressões nas áreas mais altas diminuíram cada vez mais, o que é observado no cenário 18 uma concentração em azul escuro com a variação de 0 a 25 m.c.a, de acordo com a norma o mínimo é 10 m.c.a.

Na Figura 40 é demonstra-se um gráfico comparativo entre os cenários 01 e o cenário 18, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de uma válvula e ajuste da cota do reservatório que resulta em pouca alteração da pressão da rede.

Observa-se em alguns nós que a pressão se encontra abaixo do que recomenda a norma 10 m.c.a e outros nós permaneceram acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressões na rede.

No cenário 01 as pressões medias são de $PM = 62,28$ m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com reservatório estável $RNF = 957$ metros. E no cenário 18 com a alteração do reservatório $RNF = 949$ metros mais o acréscimo de uma válvula que resultou em poucas melhorias de pressões $PM = 50,75$ m.c.a, e as perdas foram de 51,79 % com redução de 5,58 % não sendo ideal ao sistema de distribuição.

Na Figura 41, verifica-se uma comparação do cenário 19 com o cenário 01. O cenário 19 é o resultado da modificação da altura do RNF, que estava a 954 m, e agora se encontra a 949 m, e também é instalado uma segunda válvula.

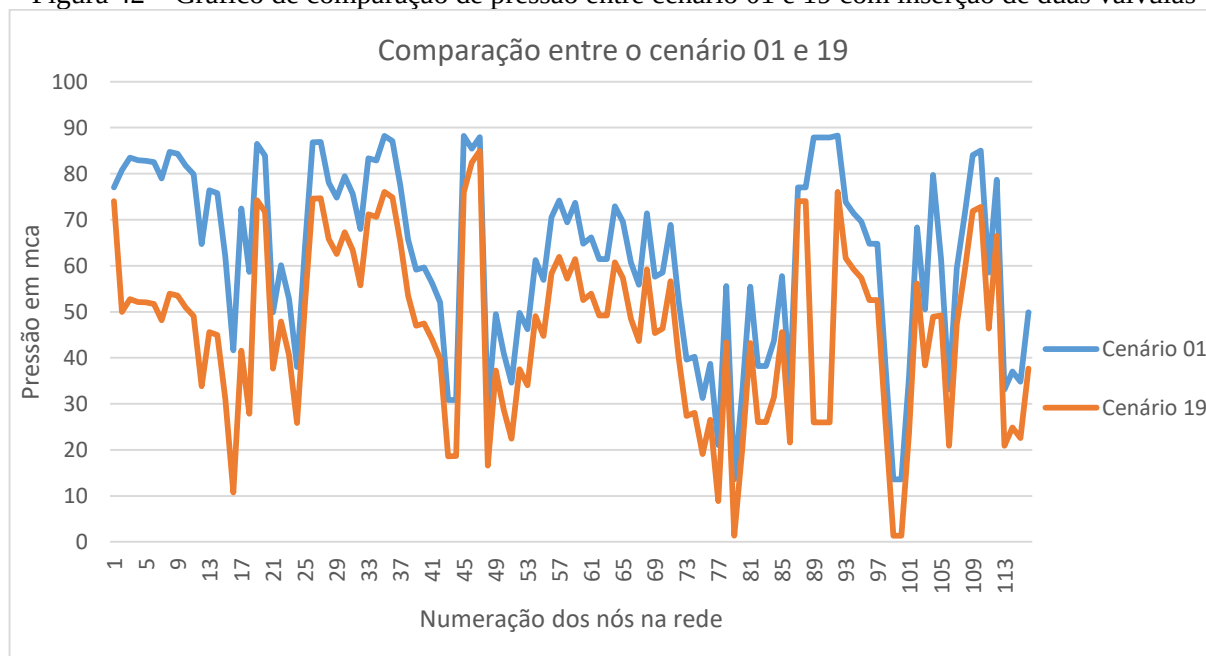
Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão no ponto mais alto e baixas concentrações de pressão de maneiras isoladas, mas ainda existem pontos com excesso de pressão, e destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Observa-se uma concentração em azul escuro nas área mais altas não sendo ideal ao sistema de distribuição ocorrendo uma diminuição gradativamente de pressão com a variação de 0 a 25 mca, de acordo com a norma o mínimo é 10 mca.

Na Figura 42 é demonstrado um gráfico comparativo de pressão no setor estudado ao longo da rede resultantes do monitoramento atribuído ao cenário 01 com o cenário 19, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de duas válvulas e ajuste da cota do reservatório que resulta em pouca alteração da pressão da rede.

Observa-se em alguns nós que a pressão encontra-se abaixo do que recomenda a norma 10 m.c.a e outras permaneceram acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressão na rede.

Figura 42 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 19 com inserção de duas válvulas



Fonte: autor (2019)

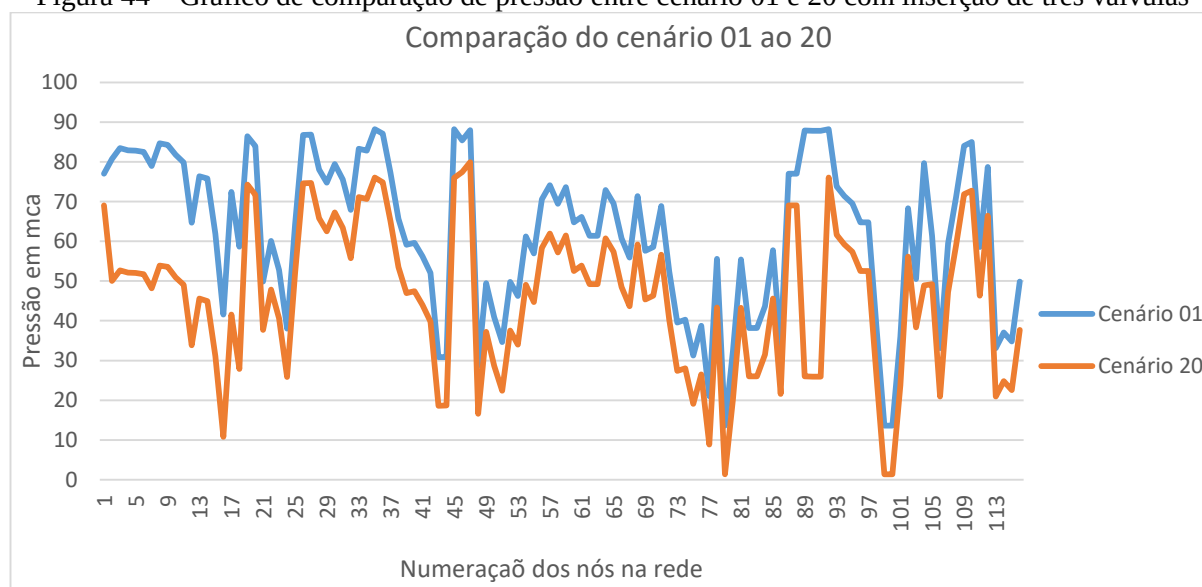
No cenário 01 as pressões medias são $PM = 62,28$ m.c.a e perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável $RNF = 957$ metros. E no cenário 19 com a alteração do

Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão no ponto mais alto e baixas concentrações de pressão de maneiras isoladas, mas ainda existem pontos com excesso de pressão, e destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Observa-se em alguns nós que a pressão encontra-se abaixo do que recomenda a norma 10 m.c.a e outros permaneceram acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressão na rede.

Na Figura 44 é demonstrado um gráfico comparativo entre os cenário 20 e o cenário 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de três válvulas e ajuste da cota do reservatório que resulta em pouca alteração da pressão da rede.

Figura 44 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 20 com inserção de três válvulas



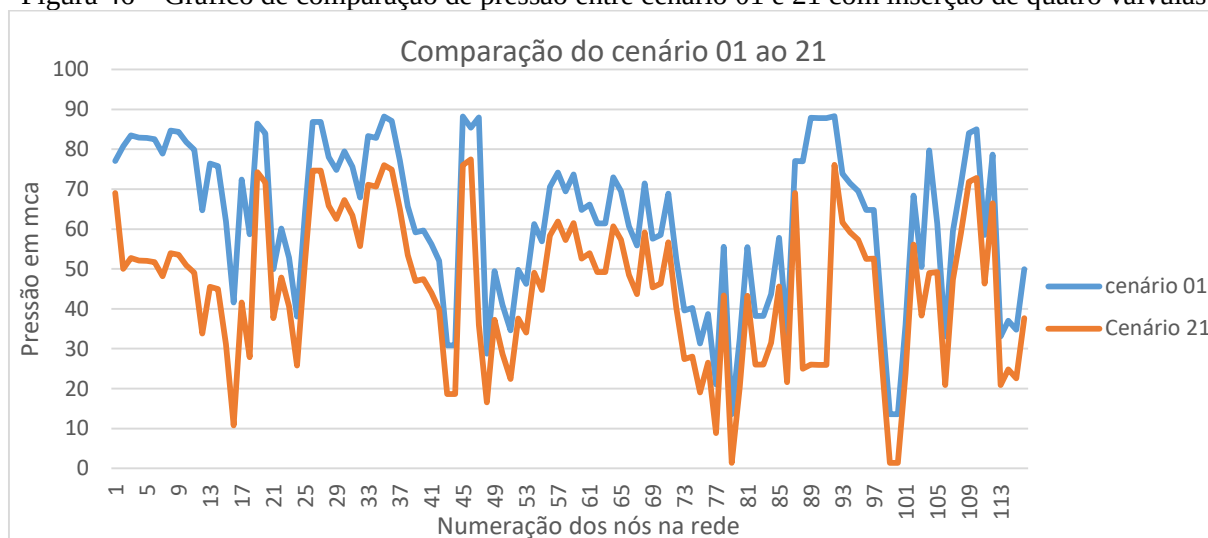
Fonte: autor (2019)

No cenário 01 as pressões medias correspondentes a rede PM = 62,28 m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável RNF= 957 metros. E no cenário 20 com a alteração do reservatório RNF = 949 metros mais o acréscimo de três válvula que resultou em poucas melhorias de pressões na rede para PM = 46,08 m.c.a, e as perdas foram de 49,35 % com redução de 8,02 % não sendo ideal ao sistema de distribuição devido à baixa concentração de pressão em trechos isolados.

Na Figura 46 é demonstrado um gráfico comparativo entre o cenário 21 e o cenário 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de quatro válvulas e ajuste da cota do reservatório que resulta em pouca alteração da pressão da rede.

Observa-se em alguns nós que a pressão se encontra abaixo do que recomenda a norma 10 m.c.a e outros nós permaneceram acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressões na rede.

Figura 46 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 21 com inserção de quatro válvulas



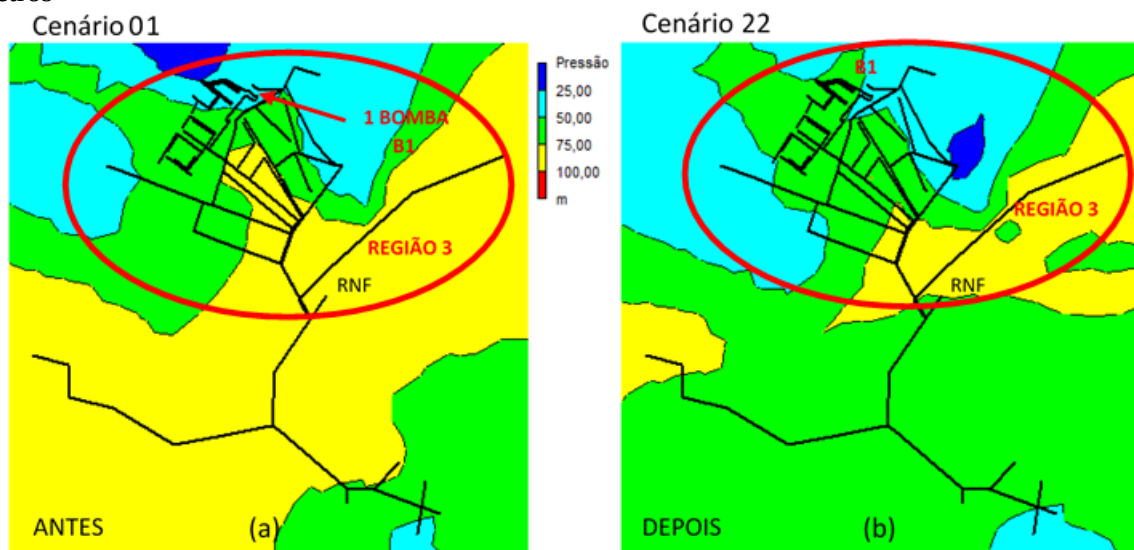
Fonte: autor (2019)

No cenário 01 as pressões são $PM = 62,28$ m.c.a com perdas na faixa de 57,37 %, com o reservatório estável $RNF = 957$ metros. No cenário 21 altera o reservatório para $RNF = 949$ metros mais o acréscimo de quatro válvula que resultou em melhorias de pressões $PM = 45,32$ m.c.a, e as perdas foram de 48,94 % com redução de 8,43% não sendo ideal ao sistema de distribuição devido à baixa concentração de pressão em trechos isolados.

5.3.5 RNF 949 metros com uma bomba no trecho 96

No cenário 22, será inserido uma bomba entre no trecho 96 com o $RNF = 949$ metros a Figura 47 representa o cenário 01 rede original, com colocação de uma bomba TH-16 de 3 cv, 3500 r.p.m, trifásica liga o trecho 96 e com o $RNF = 949$ metros.

Figura 47 – Instalação de bomba na região com maiores altitudes no trecho 96 com o RNF= 949 metros



Fonte: autor (2019)

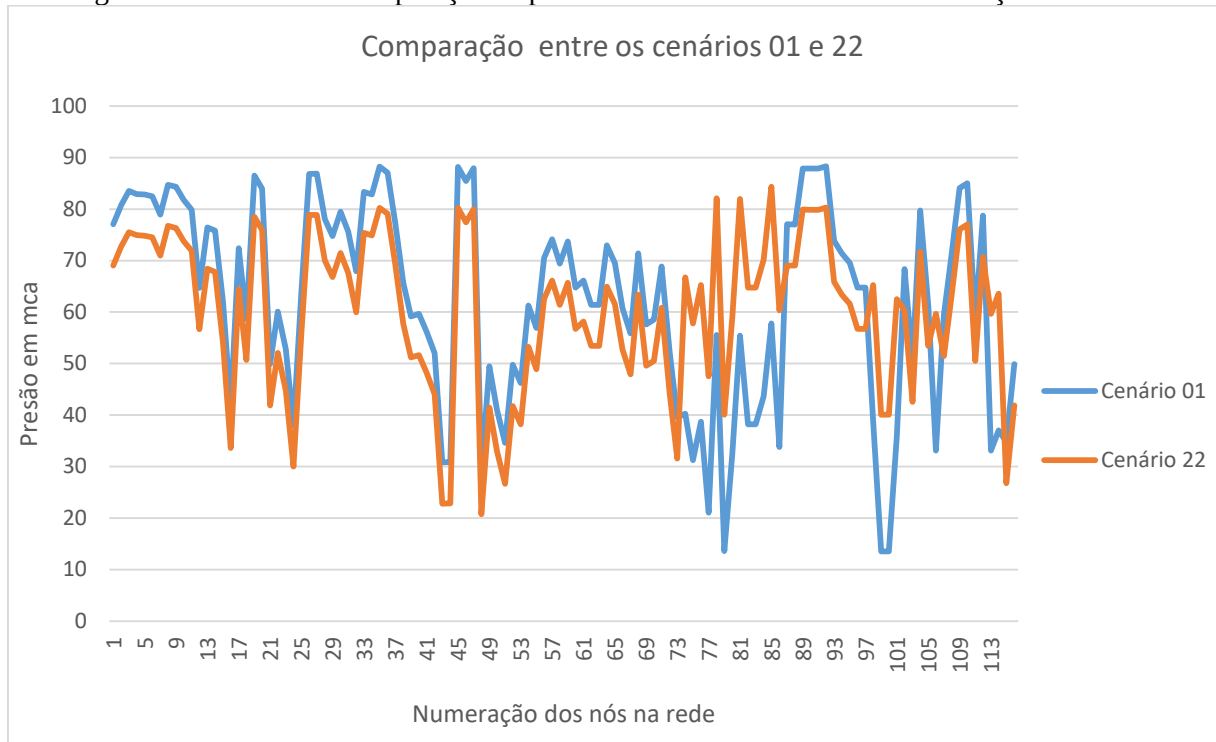
Na Figura 47, verifica-se uma comparação do cenário 22 com o cenário 01. O cenário 22 é o resultado de uma inserção de bomba na região com maiores altitudes no trecho 96 com o RNF = 949 metros, reforçando a pressão nos pontos mais altos que eventualmente ficam mais despressurizadas.

Observa-se uma concentração em azul escuro na área superiores a região 1 mais alguns pontos espalhados, não sendo ideal ao sistema de distribuição ocorrendo uma diminuição gradativamente de pressão.

Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão no ponto mais alto e baixas concentrações de pressão de maneiras isoladas, mas ainda existem pontos com excesso de pressão, e destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Na Figura 48 é demonstrado um gráfico comparativo entre o cenário 22 e 01. É verificado pequenas alterações atribuídas a maioria dos nós, estas alterações atribuíram para o aumento das pressões em pontos isolados, com tendência de melhoria de pressão em alguns pontos. No cenário 01 as pressões são $PM = 62,28$ m.c.a com perdas na faixa de 57,37 %, com o reservatório estável RNF= 957 metros. No cenário 22 altera o reservatório para RNF = 949 metros com a inserção de uma bomba que resultou em melhorias de pressões $PM = 60,23$ m.c.a, e as perdas foram de 57,42 % com redução de 0,95 % não sendo ideal ao sistema de distribuição.

Figura 48 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 22 com inserção de bomba



Fonte: autor (2019)

5.4 RNF 944 metros

No cenário 23, foi alterado apenas a altura do reservatório de nível fixo para 944 metros. Como a altura de 949 metros não alcançou a pressão recomendada, será simulado uma altura de 944 metros para verificar se alcança a pressão recomendada em norma.

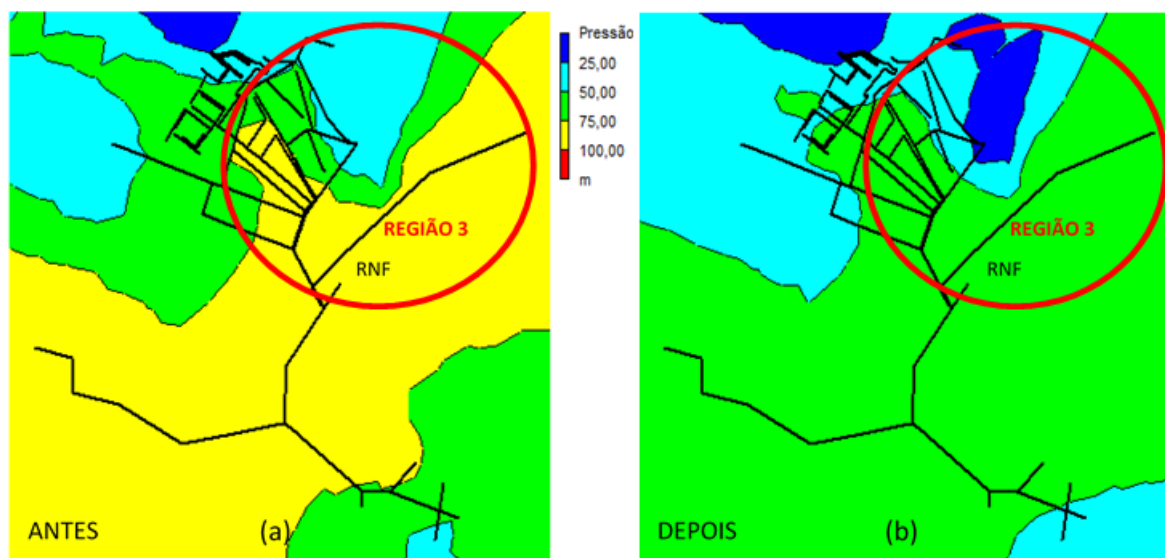
A Figura 49 (a) representa o cenário 01 rede original, com a cota do RNF= 957 metros sem controle de pressão. Na Figura 49 (b) é demonstra-se os resultados relativos a configuração do RNF = 944 metros.

O cenário 23 com ajuste da cota RNF = 944 metros demonstra-se uma melhoria bem significativa das pressões comparando-se ao cenário 01.

Verifica-se que houve uma diminuição de pressão em toda a região, para comparação destaca-se uma região 3, e é observado uma diminuição da pressão, que no cenário 01 se aproximava de 100 m.c.a, e agora o ponto com maior pressão se aproxima de 75 m.c.a.

A comparação dos gráficos de isolinha em relação ao cenário 01, é verificado que ocorreu uma melhoria significativa, resultando em pressões mais próximas da norma, esse ajuste mudou todo o comportamento do sistema de distribuição.

Figura 49 – (a) Sem alteração do RNF. (b) Alteração da altura do RNF de 957 para 944 metros
Cenário 01 Cenário 23



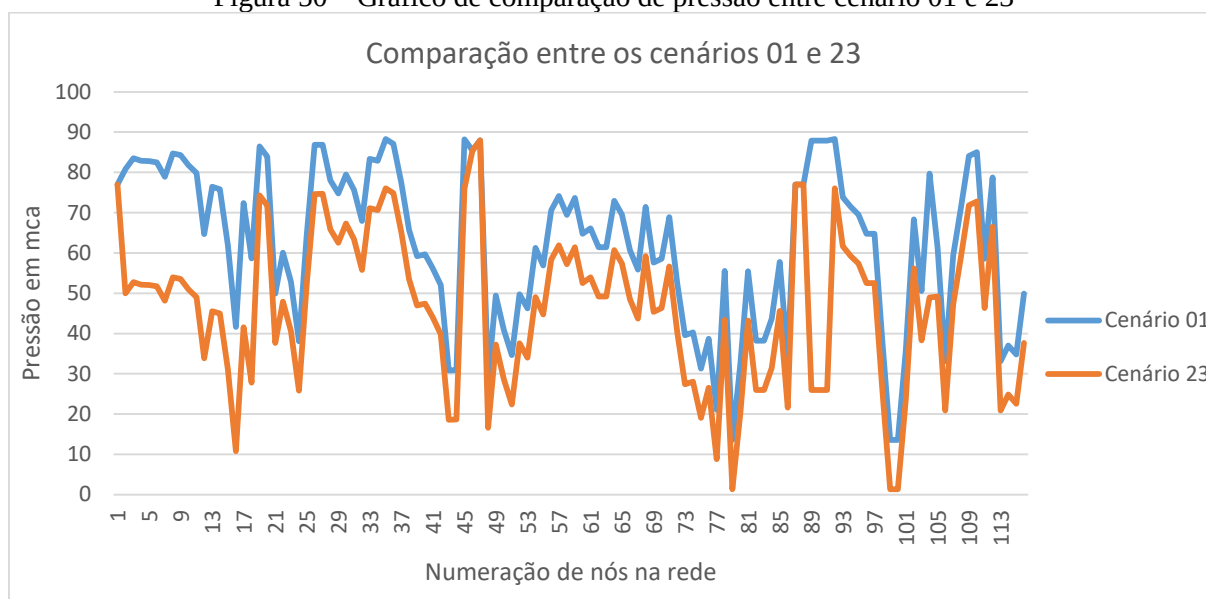
Fonte: autor (2019)

A diminuição da cota no reservatório alterou uma grande parte da rede, porém em relação à região 3 as pressões que já se encontravam nos limites permitidos no cenário 01 diminuíram cada vez mais e esta situação não é ideal ao sistema de distribuição. Analisando a região 3 é observado pontos que variavam de 25 a 50 m.c.a e agora encontra-se com a variação de 0 a 25 m.c.a, de acordo com a norma o mínimo é 10 mca,

Na Figura 50 é demonstrado um gráfico comparativo entre o cenário 01 e 23, com valores de pressão ao longo da rede, resultantes do monitoramento atribuído ao cenário 01. O gráfico faz um comparativo que expressa a pressão a ser monitorada entre os cenários e demonstra que houve pequenas alterações na maioria dos nós, mas estas alterações não foram suficientes para o equilíbrio de pressões. Observa-se em alguns nós que a pressão encontra-se abaixo do que recomenda a norma e outros nós permaneceram acima de 50 m.c.a.

No cenário 01 apresenta-se as pressões medias correspondentes a rede em $PM = 62,28$ m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável $RNF = 957$ metros. E no cenário 23 com a alteração do nível do reservatório $RNF = 944$ metros, resultou em poucas melhorias de pressões na rede para $PM = 46,43$ m.c.a, e as perdas foram de 49,53 % com redução de 7,83 % não sendo ideal ao sistema de distribuição devido à baixa concentração de pressão em trechos isolados.

Figura 50 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 23



Fonte: autor (2019)

Conforme se pode observar, algumas partes da rede permanecem com pressões abaixo do mínimo que se pretendia garantir, por tanto a elevação das pressões nesses nós para 10 m.c.a, significaria exceder a pressão a 60 m.c.a em outros nós, desta forma o que recomenda é a inserção de bombas nos locais que mais necessitam de pressão.

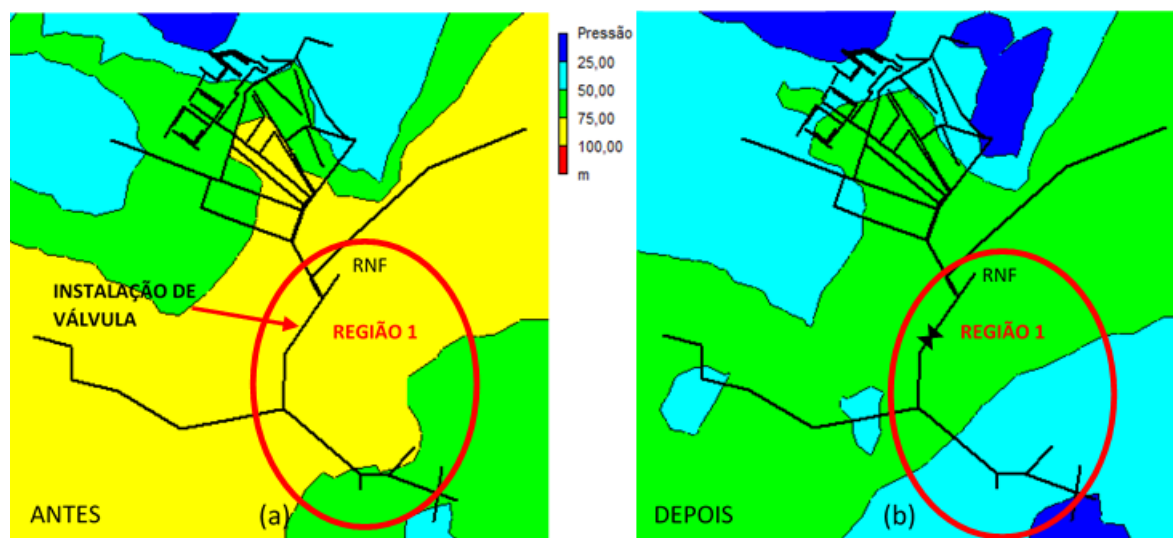
5.4.1 Inserção de uma válvula no trecho 1

A Figura 51 (a) representa o cenário 1 rede original com o nível 957 metros, e sem inserções de válvulas e com a pressão descontrolada. Na Figura 51 (b) representa-se a inserção de uma válvula no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a. e com ajuste do RNF=944 metros.

Na Figura 51, verifica-se uma comparação do cenário 24 com o cenário 01. O cenário 24 é o resultado da modificação da altura do RNF, que estava a 954 metros, e agora se encontra a 944 metros, com a inserção de uma válvula. Comparando os dois cenários, é verificado que houve melhoria na pressão em alguns pontos, mas ainda existem pontos com excesso de pressão.

Observa-se uma concentração em azul escuro na área inferior a região 1 mais alguns pontos espalhados não sendo ideal ao sistema de distribuição ocorrendo uma diminuição gradativamente de pressão.

Figura 51 – Colocação de válvula redutora de pressão e alteração do RNF = 944 metros
Cenário 01 Cenário 24



Fonte: autor (2019)

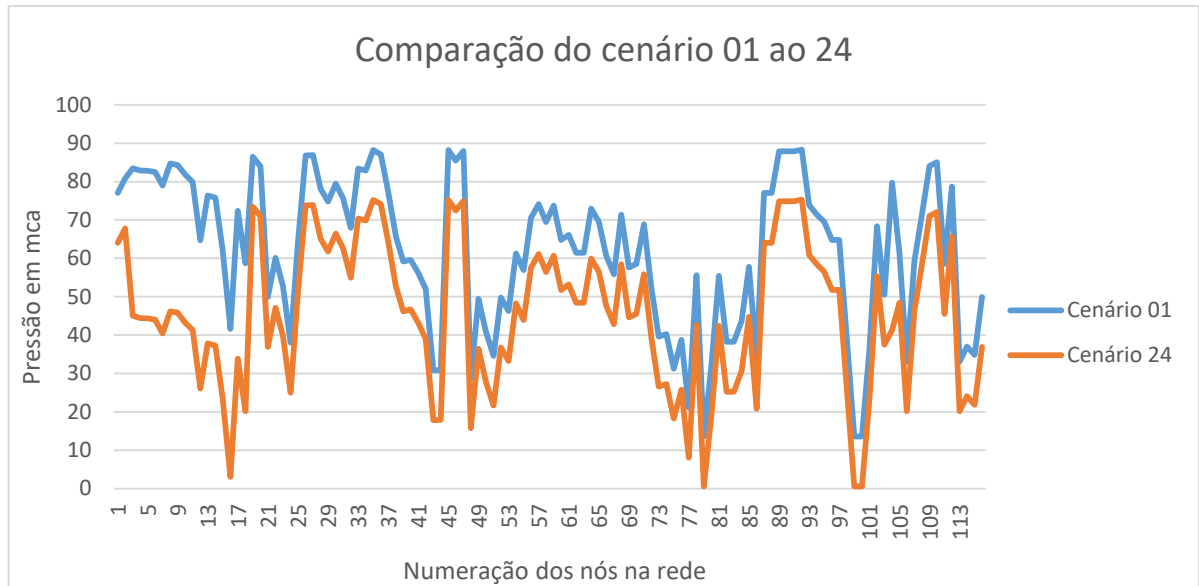
No cenário 24 apresenta-se uma alteração bem expressiva próximo ao reservatório e alguns pontos isolados, demonstra-se uma melhoria bem significativa das pressões comparando-se ao cenário 01 diminuindo a pressão que destaca-se em área amarela diminuindo toda a pressão com concentrações entre 75 - 100 m.c.a.

Na Figura 52 é demonstrado um gráfico comparativo entre os cenários 24 com o cenário 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de uma válvula e ajuste da cota do reservatório que diminuído a pressão com concentrações entre 75 – 100 mca. Observa-se em alguns nós que a pressão encontra-se abaixo do que recomenda a norma 10 m.c.a e outros nós permaneceram acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressão na rede.

No cenário 01 apresenta-se as pressões medias correspondentes a rede em PM = 62,28 m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável RNF= 957 metros. Depois da alteração do reservatório RNF = 944 metros e acréscimo de uma válvula no cenário 24, resultou em poucas melhorias de pressões na rede para PM = 45,54 m.c.a, e as perdas foram de 49,06% com redução de 8,31 % não sendo ideal ao sistema de distribuição devido à baixa concentração de pressão em trechos isolados.

Conforme se pode observar, algumas partes da rede permanecem com pressões abaixo do mínimo que se pretendia garantir, por tanto a elevação das pressões nesses nós para 10 m.c.a, significaria exceder a pressão a 60 m.c.a em outros nós, desta forma o que recomenda é a inserção de bombas nos locais que mais necessitam de pressão.

Figura 52 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 24 com inserção de uma válvula

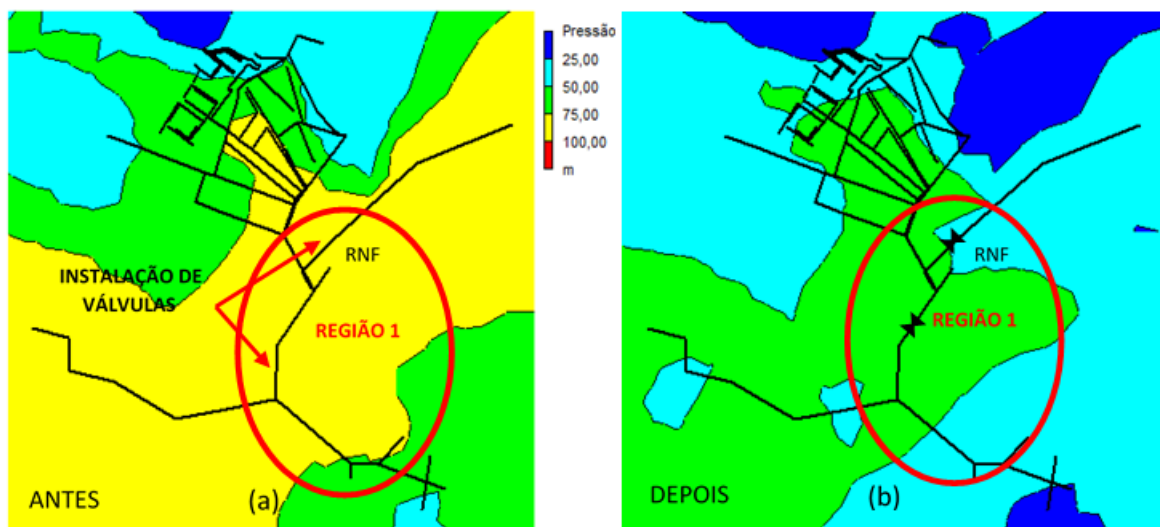


Fonte: autor (2019)

5.4.2 Inserção de duas válvulas nos trechos 1 e 65

Na Figura 53 (a) é demonstrado o cenário antes da inserção das válvulas. A Figura 53 (b) demonstra o cenário 25, com a inserção de duas válvulas, uma no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a. e outra no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a. e com o ajuste do RNF= 944 metros.

Figura 53 – Colocação de duas válvulas redutoras de pressão e alteração do RNF = 944 metros
Cenário 01
Cenário 25



Fonte: autor (2019)

Na Figura 53, verifica-se uma comparação do cenário 25 com o cenário 01. O cenário 25 é o resultado da modificação da altura do RNF, que estava a 954 metros, e agora se encontra a 944 m, e também é instalado uma segunda válvula. Comparando os dois cenários, é verificado que houve melhoria na pressão em alguns pontos, mas ainda existem pontos com excesso de pressão.

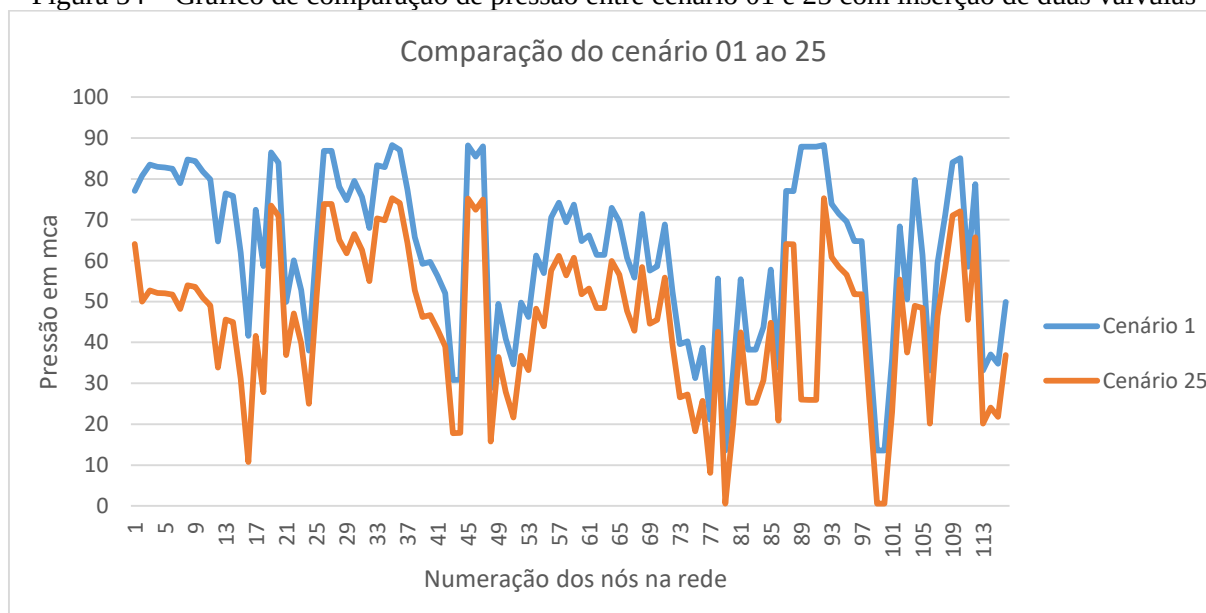
Observa-se uma concentração em azul escuro na área inferior a região 1 mais alguns pontos espalhados não sendo ideal ao sistema de distribuição ocorrendo uma diminuição gradativamente de pressão.

Alteração bem expressiva próximo ao reservatório e alguns pontos isolados, demonstra-se uma melhoria bem significativa das pressões comparando-se ao cenário 01 diminuindo a pressão que destaca-se em área amarela com concentrações entre 75 - 100 m.c.a para a variação de 50 a 75 m.c.a havendo uma melhoria expressiva.

Na Figura 54 é demonstrado um gráfico comparativo entre os cenários 01 e 25, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de duas válvulas e ajuste da cota do reservatório diminuindo a pressão em grandes concentrações 75 – 100 mca.

Observa-se em alguns nós que a pressão encontra-se abaixo do que recomenda a norma 10 m.c.a e outros nós permaneceram acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressão na rede.

Figura 54 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 25 com inserção de duas válvulas



Fonte: autor (2019)

Na Figura 55, verifica-se uma comparação do cenário 26 com o cenário 01. O cenário 26 é o resultado da modificação da altura do RNF, que estava a 954 metros, e agora se encontra a 944 metros, e também é instalado uma terceira válvula.

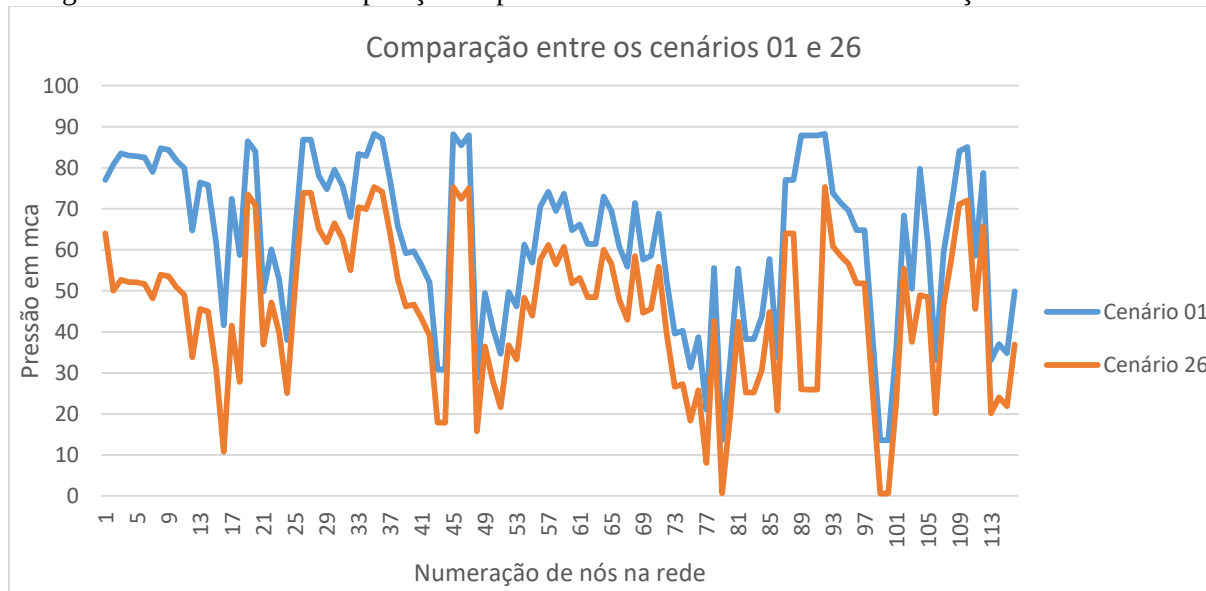
Comparando os dois cenários, é verificado que houve melhoria na pressão em alguns pontos, mas ainda existem pontos com excesso de pressão. É destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Observa-se uma concentração em azul escuro na área superior a região 3 mais alguns pontos espalhados não sendo ideal ao sistema de distribuição ocorrendo uma diminuição gradativamente de pressão.

Na Figura 56 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre os cenário 26 de e o cenário 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de três válvulas e ajuste da cota do reservatório diminuído a pressão em grandes concentrações 75 – 100 m.c.a.

Observa-se em alguns nós que a pressão encontra-se abaixo do que recomenda a norma 10 m.c.a e outros nós permaneceram acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressão na rede.

Figura 56 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 26 com inserção de três válvulas



Fonte: autor (2019)

No cenário 01 apresenta-se as pressões medias correspondentes a rede em PM = 62,28 m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável RNF= 957 metros. Depois da alteração do reservatório RNF = 944 metros e acréscimo da terceira válvula no cenário 26 que resultou em poucas melhorias de pressões na rede para PM = 45,29 m.c.a, e as

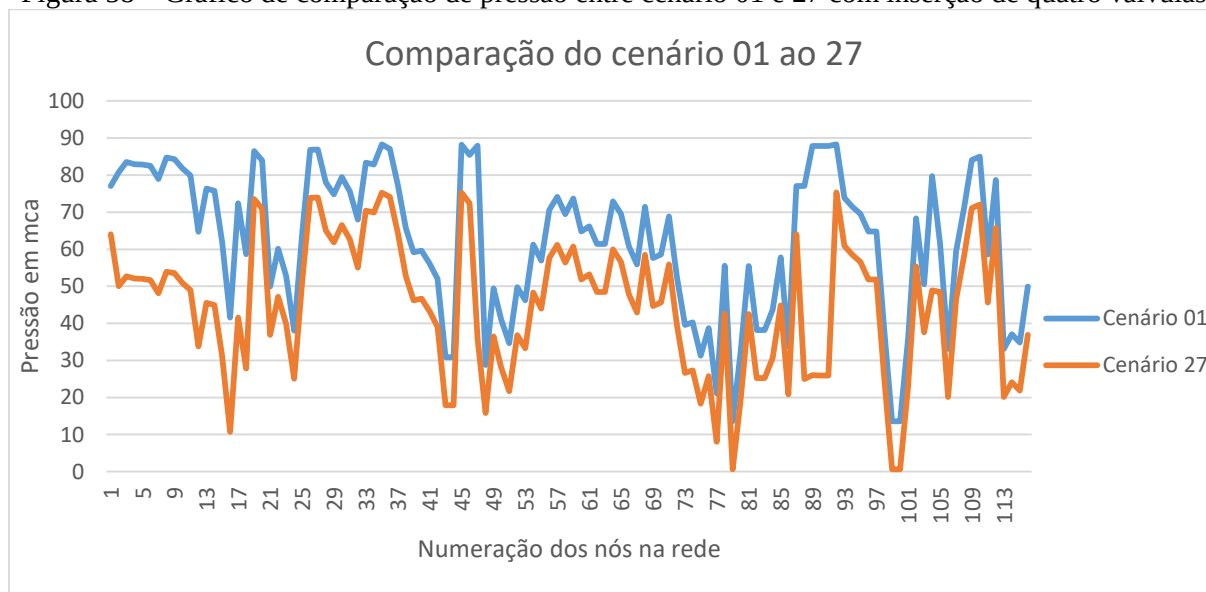
Observa-se uma concentração em azul escuro na área inferior a região 1 mais alguns pontos espalhados não sendo ideal ao sistema de distribuição ocorrendo uma diminuição gradativamente de pressão.

Observa-se que a alteração do nível de reservatório em cada cenário não foi o suficiente para o equilíbrio da rede, e da mesma forma alterando somente das válvulas as pressões permanecem em poucas concentrações entre 75 - 100 m.c.a.

Na Figura 58 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre o cenário 27 e o cenário 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de quatro válvulas e ajuste da cota do reservatório diminuindo a pressão em grandes concentrações 75 – 100 m.c.a.

Observa-se em alguns nós que a pressão se encontra abaixo do que recomenda a norma e outros nós permaneceram acima de 50 m.c.a, estas alterações não foram o suficiente para o equilíbrio das pressões na rede.

Figura 58 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 27 com inserção de quatro válvulas



Fonte: autor (2019)

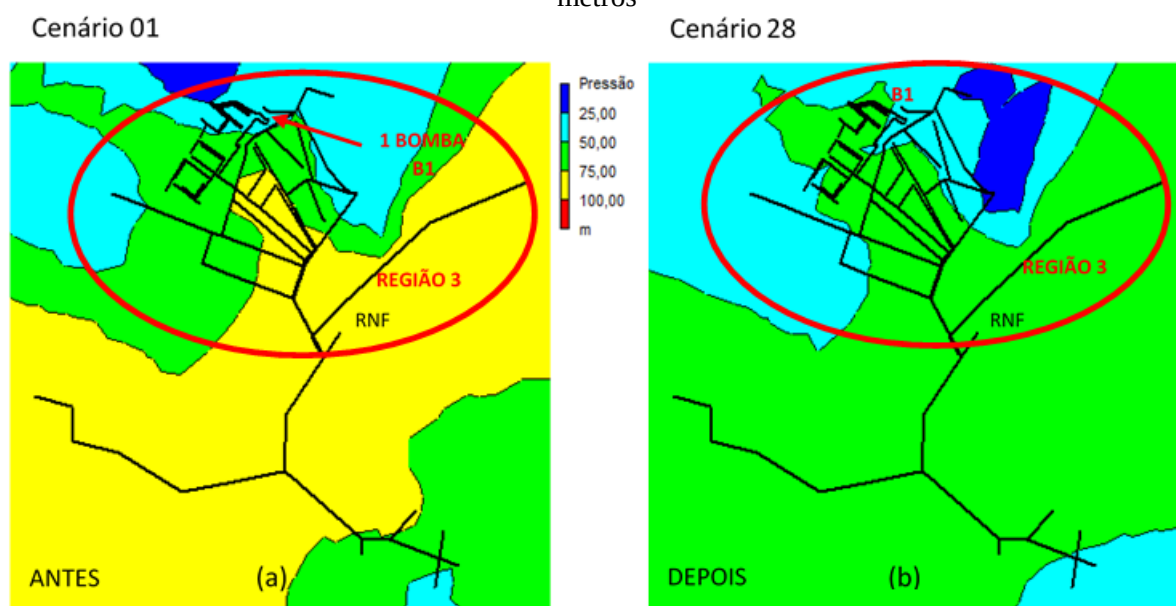
No cenário 01 apresenta-se as pressões medias correspondentes a rede em PM = 62,28 m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável RNF= 957 metros. Depois da alteração do reservatório RNF = 944 metros e acréscimo da terceira válvula cenário 27, resultou em poucas melhorias de pressões na rede para PM = 45,29 m.c.a, e as perdas foram de 48,92 % com redução de 8,45 % não sendo ideal ao sistema de distribuição devido à baixa concentração de pressão em trechos isolados.

Conforme se pode observar, algumas partes da rede permanecem com pressões abaixo do mínimo que se pretendia garantir, por tanto a elevação das pressões nesses nós para 10 m.c.a, significaria exceder a pressão a 60 m.c.a em outros nós, desta forma o que recomenda é a inserção de bombas nos locais que mais necessitam de pressão.

5.4.5 RNF 944 metros com uma bomba no trecho 96

Na Figura 59 (a) é demonstrado o cenário antes da inserção das válvulas. A Figura 59 (b) representa o cenário 28 com colocação de uma bomba TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica no trecho 96 com o RNF= 944 metros.

Figura 59 – Instalação de bomba na região com maiores altitudes no trecho 96 com o RNF= 944 metros



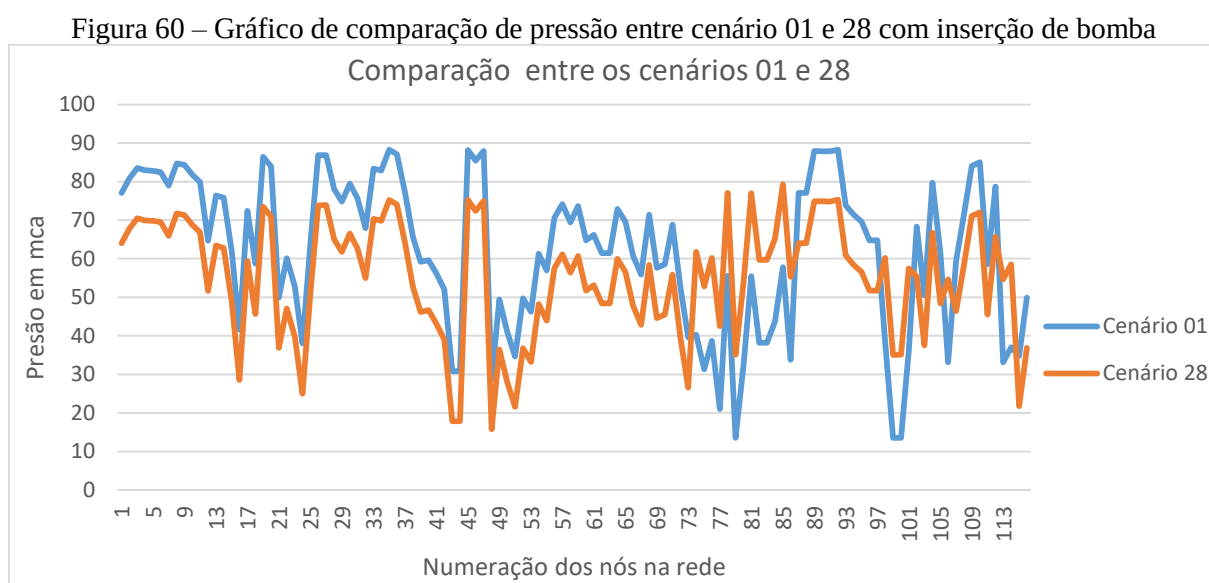
Fonte: autor (2019)

Na Figura 59, verifica-se uma comparação do cenário 28 com o cenário 01. O cenário 28 é o resultado de uma inserção de bomba na região com maiores altitudes entre o trecho 96 com o RNF = 944 metros, reforçando a pressão nos pontos mais altos que eventualmente ficam mais despressurizadas.

Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão no ponto mais alto e baixas concentrações de pressão de maneiras isoladas, mas ainda existem pontos com excesso de pressão, e destacado uma região para demonstrar esses pontos.

A alteração bem expressiva na rede de distribuição, demonstra-se uma melhoria bem significativa das pressões comparando-se ao cenário 01 diminuindo a pressão que se destaca em área com concentrações entre 75 - 100 m.c.a.

Na Figura 60 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre os cenário 28 e o cenário 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de uma bomba e com o ajuste da cota do reservatório diminuindo a pressão em grandes concentrações 75 – 100 mca. Observa-se em alguns nós a melhoria das pressões tendendo-se a estabelecer um equilíbrio de pressão conforme a exigência estabelecida em norma.

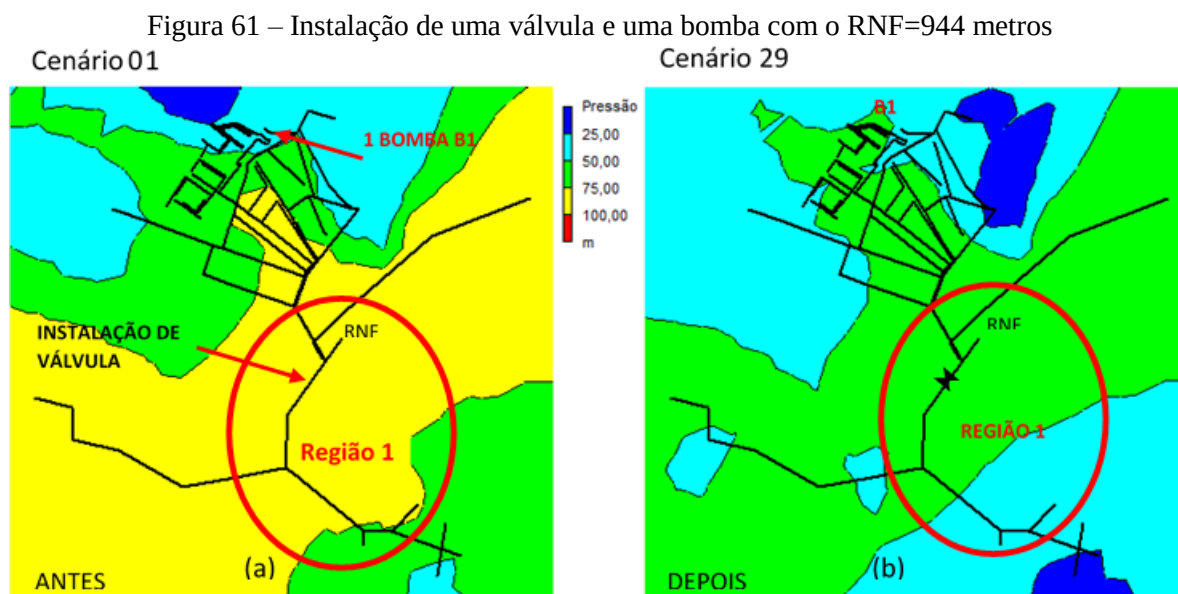


Fonte: autor (2019)

No cenário 01 apresenta-se as pressões medias correspondentes a rede em PM = 62,28 m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com o reservatório estável a RNF= 957 metros. E no cenário 28 com a alteração do reservatório RNF = 944 metros e acréscimo de uma bomba, que resultou em poucas melhorias de pressões na rede para PM = 55,23 m.c.a, e as perdas foram de 54,03% com redução de 3,34 % não sendo ideal ao sistema de distribuição.

5.4.6 Inserção de uma válvula nos trechos 1 e uma bomba no trecho 96

A Figura 61 representa o cenário 01 rede original, com colocação de uma válvula que interligada ao trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a com o RNF= 944 metros e com a uma bomba TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica no trecho 96.



Fonte: autor (2019)

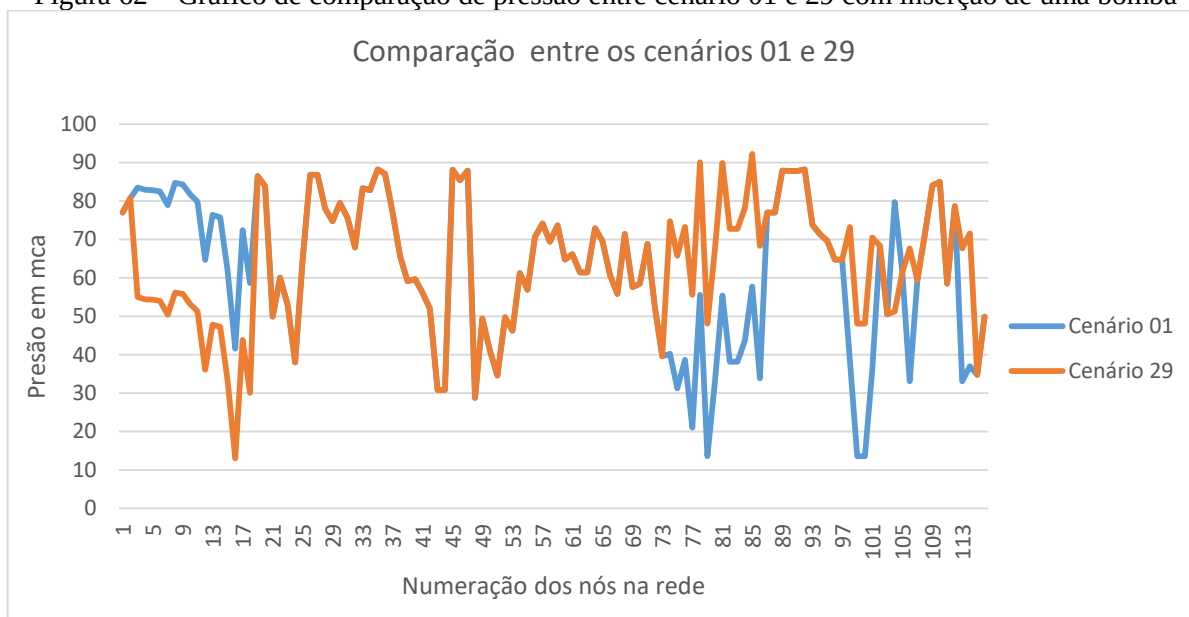
Na Figura 61, verifica-se uma comparação do cenário 29 com o cenário 01. A inserção de uma válvula, associado a bomba resulta em uma alteração de pressão. Destacando uma região 1 para comparação, entre cenário 01 e 29, verifica-se que muitos pontos se encontravam na variação de 75 a 100 m.c.a no cenário 01 e agora no cenário 29, houve uma diminuição expressiva desses pontos com alta pressão.

O cenário 29 é o resultado de uma inserção de bomba na região com maiores altitudes no trecho 96 com o reservatório a 944 metros, reforçando a pressão nos pontos mais altos que eventualmente ficam mais despressurizadas.

Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão no ponto mais alto e baixas concentrações de pressão de maneiras isoladas, mas ainda existem pontos com excesso de pressão, e destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Na Figura 62 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre os cenário 29 e 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de uma bomba com atribuição de uma válvula e com o ajuste da cota do reservatório, diminuindo a pressão em grandes concentrações.

Figura 62 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 29 com inserção de uma bomba



Fonte: autor (2019)

No cenário 01 apresenta-se as pressões medias correspondentes a rede em PM = 62,28 m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável RNF= 957 metros. E no cenário 29 com a alteração do reservatório RNF = 944 metros com uma bomba na região de maiores altitudes e acréscimo de uma válvula, resultou em aumento de pressão na rede para PM = 64,05 m.c.a, com ganho de pressão 58,18 % com redução de - 0,80 % não sendo ideal ao sistema de distribuição com um aumento de pressão superior ao cenário 01.

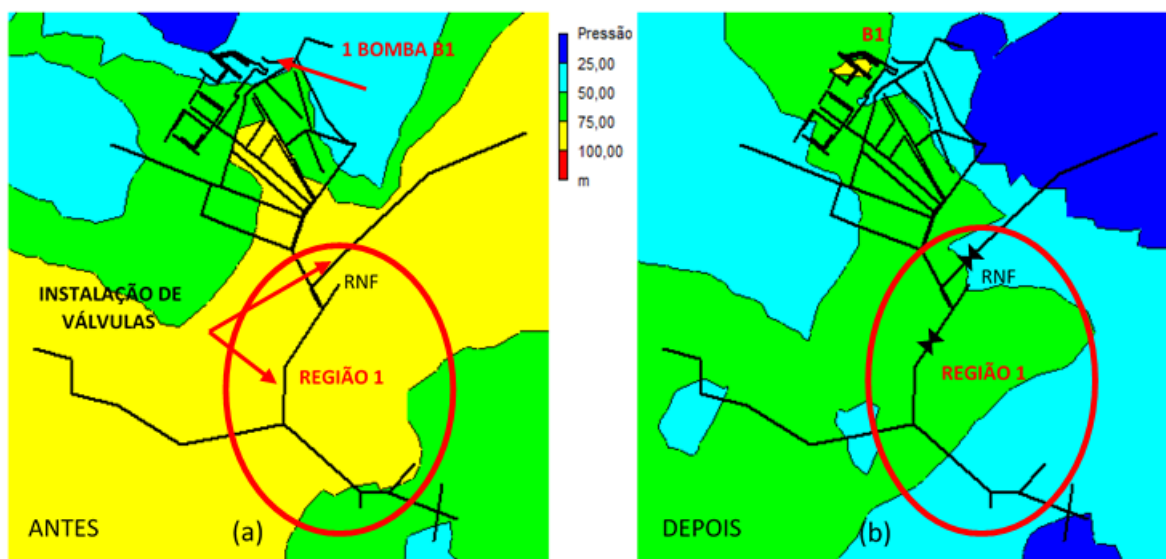
5.4.7 Inserção de duas válvulas nos trechos 1 e 65 e uma bomba no trecho 96

A Figura 63 representa o cenário 01 rede original, com a inserção de duas válvulas, uma no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a outa outra no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a. e com a ajuste do RNF= 944 metros com a inserção de uma bomba TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica no nó trecho 96.

Na Figura 63, verifica-se uma comparação do cenário 30 com o cenário 01. A inserção de duas válvulas, associado a bomba resulta em uma alteração de pressão.

Destacando uma região 1 para comparação, entre cenário 01 e 30, verifica-se que muitos pontos se encontravam na variação de 75 a 100 mca no cenário 01 e agora no cenário 30, houve uma diminuição expressiva desses pontos com alta pressão, apenas uma concentração de pressão na área mais alta.

Figura 63 – Instalação de duas válvulas e uma bomba na trecho 96 com o RNF= 944 metros
Cenário 01 Cenário 30



Fonte: autor (2019)

O cenário 30 é o resultado de inserção de válvulas em trechos isolados e uma bomba na região com maiores altitudes no trecho 96 com o reservatório a 944 metros, reforçando a pressão nos pontos mais altos que eventualmente ficam mais despressurizadas.

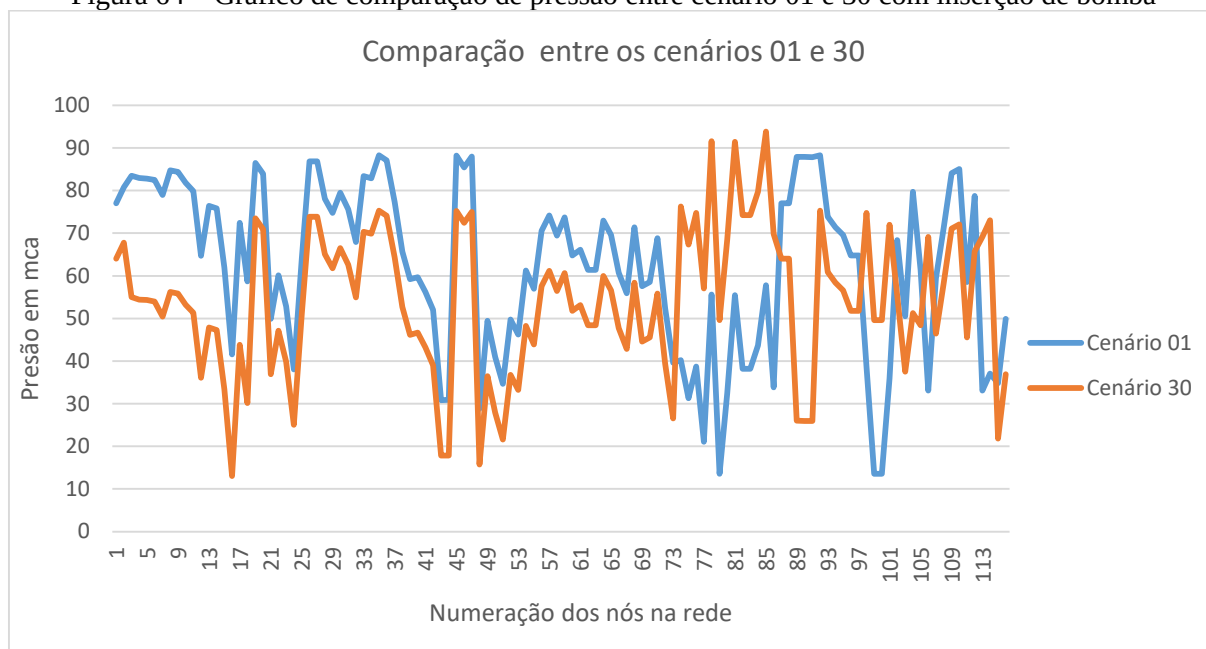
Observa-se uma concentração em azul escuro na área inferior a região 1 mais alguns pontos espalhados não sendo ideal ao sistema de distribuição ocorrendo uma diminuição gradativamente de pressão.

Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão no ponto mais alto e baixas concentrações de pressão de maneiras isoladas, mas ainda existem pontos com excesso de pressão, e destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Na Figura 64 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre os cenário 30 e 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de uma bomba com atribuição de duas válvulas e ajuste do nível do reservatório, diminuindo a pressão em grandes concentrações.

No cenário 01 apresenta-se as pressões medias correspondentes a rede em $PM = 62,28$ m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável $RNF = 957$ metros. E no cenário 30 com a alteração do reservatório $RNF = 944$ metros com uma bomba na região de maiores altitudes e acréscimo de duas válvulas, resultou em diminuição de pressão na rede para $PM = 54,19$ m.c.a, com perdas de pressão 53,51 % com redução de 3,85 % não sendo ideal ao sistema de distribuição.

Figura 64 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 30 com inserção de bomba



Fonte: autor (2019)

5.4.8 Inserção de três válvulas nos trechos 1, 65 e 62 e uma bomba no trecho 96

A Figura 65 representa o cenário 01 rede original, com colocação de uma válvula no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a outra no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a, e a terceira que liga o trecho 62 com diâmetro de 150 mm e parâmetro de controle de 76 m.c.a. e com o ajuste do RNF= 944 metros com a inserção de uma bomba TH-16 de 3 cv, 3500 r.p.m, trifásica no nó trecho 96.

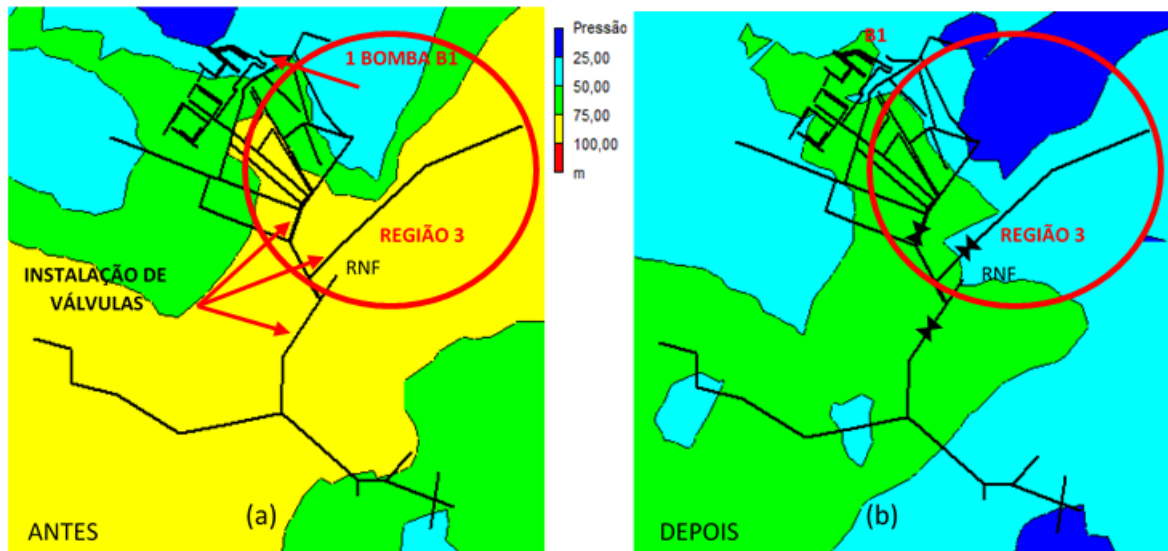
Na Figura 65, verifica-se uma comparação do cenário 31 com o cenário 01. A inserção de três válvula, associado a bomba resulta em uma alteração de pressão.

Destacando uma região 3 para comparação, entre cenário 01 e 31, verifica-se que muitos pontos se encontravam na variação de 75 a 100 m.c.a no cenário 01 e agora no cenário 31, houve uma diminuição expressiva desses pontos com alta pressão.

Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão no ponto mais alto e baixas concentrações de pressão de maneiras isoladas, mas ainda existem pontos com excesso de pressão, e destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Observa-se uma concentração em azul escuro na área inferior a região 3 mais alguns pontos espalhados não sendo ideal ao sistema de distribuição ocorrendo uma diminuição gradativamente de pressão.

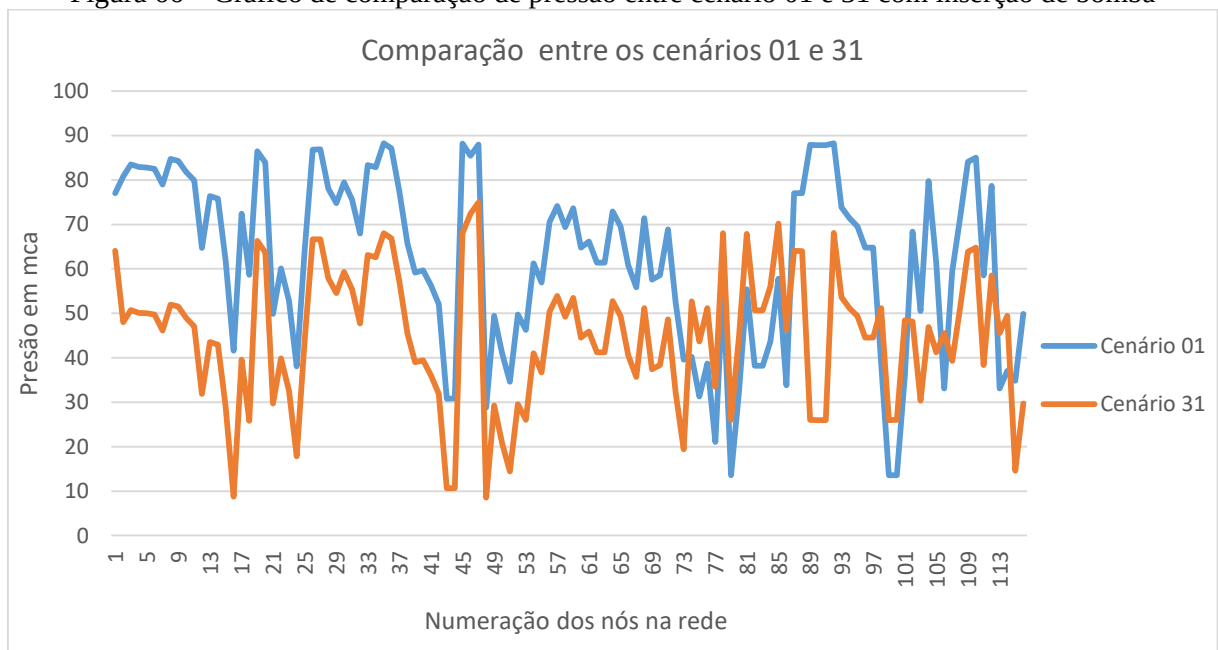
Figura 65 – Instalação de três válvulas com uma bomba no trecho 96 com RNF= 944 metros
Cenário 01



Fonte: autor (2019)

Na Figura 66 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre os cenários 31 e 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de uma bomba com atribuição de três válvulas e com o ajuste da cota do reservatório, diminuído a pressão em grandes concentrações.

Figura 66 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 31 com inserção de bomba



Fonte: autor (2019)

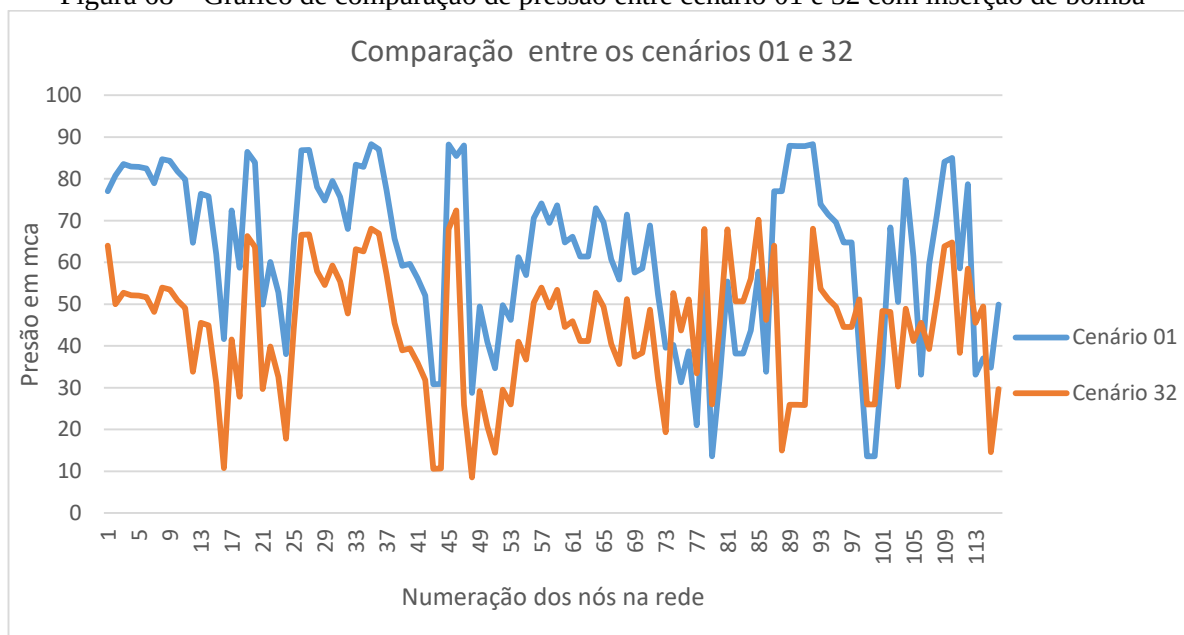
O cenário 32 é o resultado de uma inserção de bomba na região com maiores altitudes entre o trecho 96 com o reservatório a 944 metros, reforçando a pressão nos pontos mais altos que eventualmente ficam mais despressurizadas.

Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão no ponto mais alto e baixas concentrações de pressão de maneiras isoladas, mas ainda existem pontos com excesso de pressão, e destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Observa-se uma concentração em azul escuro na área inferior a região 1 mais alguns pontos espalhados não sendo ideal ao sistema de distribuição ocorrendo uma diminuição gradativamente de pressão.

Na Figura 68 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre os cenário 32 e 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de uma bomba com atribuição de quatro válvula e com o ajuste da cota do reservatório, diminuído a pressão em grandes concentrações.

Figura 68 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 32 com inserção de bomba



Fonte: autor (2019)

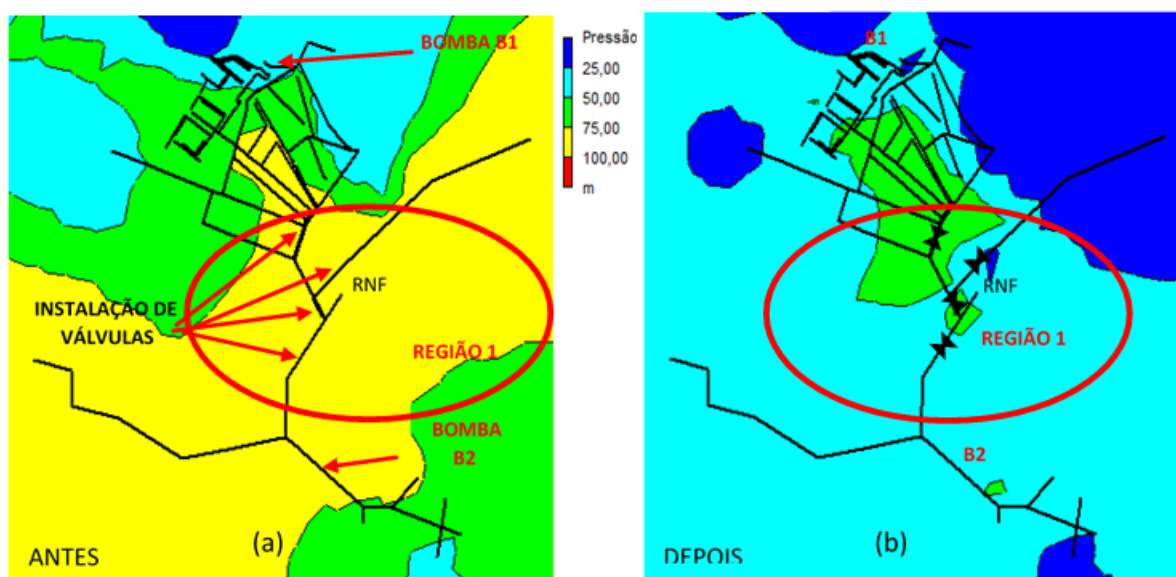
No cenário 01 apresenta-se as pressões medias correspondentes a rede em $PM = 62,28$ m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável $RNF = 957$ metros. E no cenário 32 com a alteração do reservatório $RNF = 944$ metros com a inserção de uma bomba na região de maiores altitudes e acréscimo de três válvula, resultou em diminuição de pressão na rede para $PM = 44,97$ m.c.a, com perdas de pressão 48,75 % com redução de 8,61 % com bons resultados ao sistema de distribuição, através das comparações atribuídas a Figura

68 as pressões corresponderam com boa precisões a rede, respeitando o mínimo 10 m.c.a e apenas alguns trechos com concentração superior a 50 m.c.a

5.4.10 RNF 944 metros com quatro válvulas e duas bombas em diferentes trechos

A Figura 69 representa o cenário 01 rede original, com quatro válvulas uma no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a outra no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a e outra que liga o trecho 62 com diâmetro de 150 mm e parâmetro de controle de 76 m.c.a, a quarta válvula no trecho 113 com diâmetro de 50 mm e parâmetro de controle de 25 m.c.a. com ajuste do RNF= 944 metros e duas bombas uma no trecho 96 e a outra no trecho 13 sendo as duas bombas TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica.

Figura 69 – Instalação de quatro válvulas com bombas no trecho 96 e 13 com o RNF=944 metros
Cenário 01



Fonte: autor (2019)

Na Figura 69, verifica-se uma comparação do cenário 33 com o cenário 01. A inserção de quatro válvula, associado as duas bomba que resulta em uma alteração de pressão. Destacando uma região 1 diminuindo a média das pressões entre 75 a 100 m.c.a.

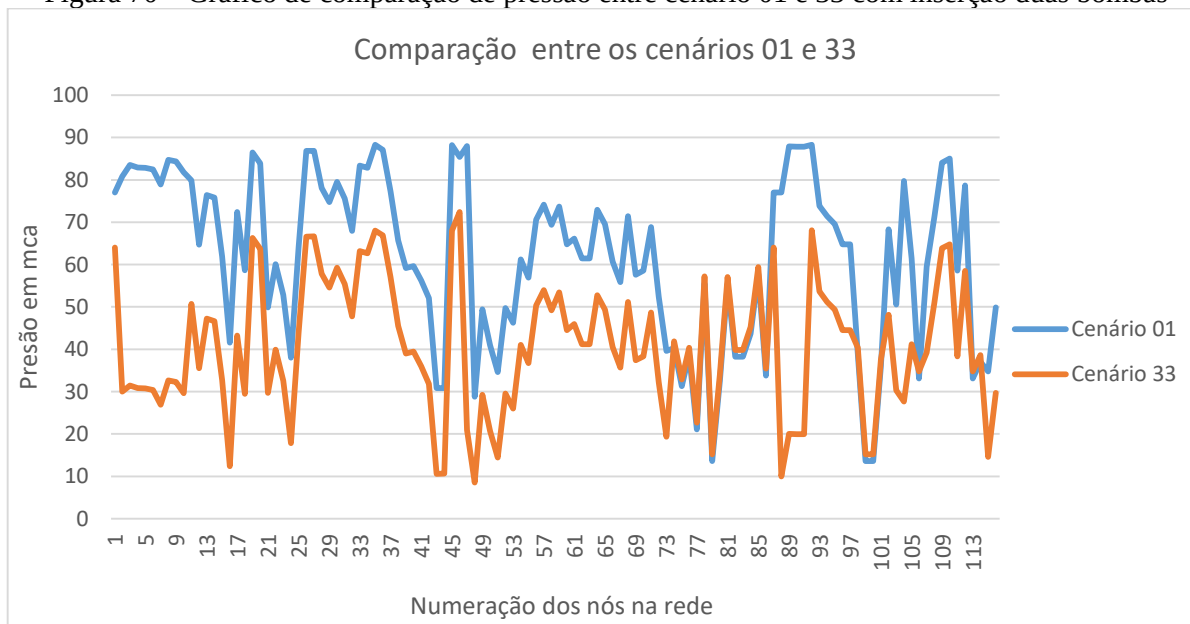
O cenário 33 é o resultado de duas inserção de bomba na região com maiores altitudes entre no trecho 96 e outra bomba no trecho 13 com o reservatório a 944 metros, reforçando a pressão nos pontos mais altos que eventualmente ficam mais despressurizadas.

Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão no ponto mais alto, mas ainda existem pontos com excesso de pressão. É destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Observa-se uma concentração em azul escuro na área inferior a região 1 mais alguns pontos espalhados não sendo ideal ao sistema de distribuição ocorrendo uma diminuição gradativamente de pressão.

Na Figura 70 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre os cenário 33 e 01, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de duas bomba com atribuição de quatro válvula e com o ajuste da cota do reservatório, diminuindo a pressão em grandes concentrações.

Figura 70 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 33 com inserção duas bombas



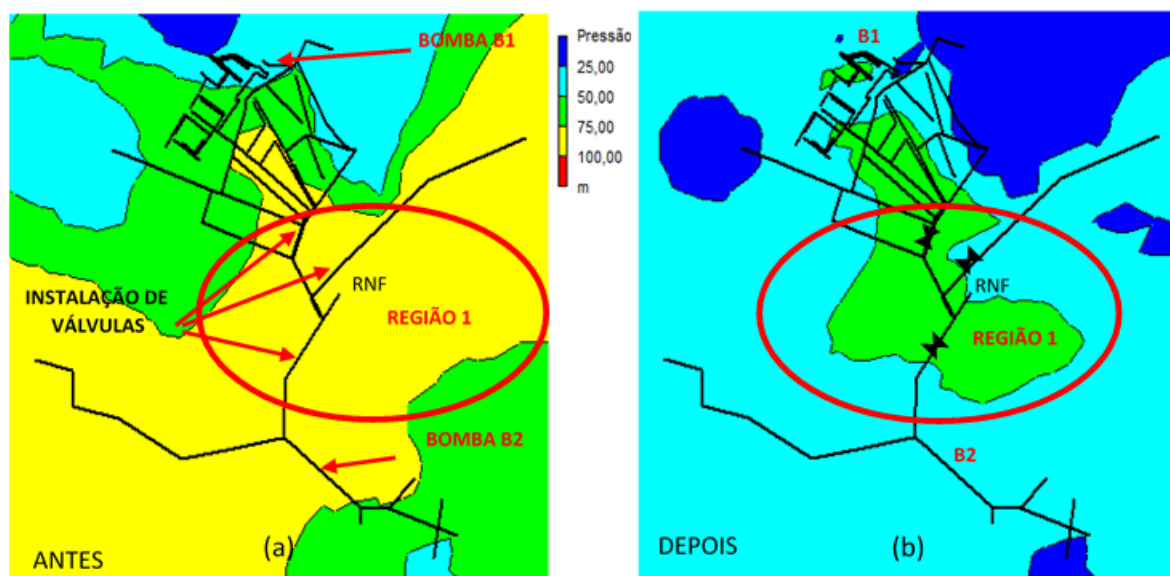
Fonte: autor (2019)

No cenário 01 apresenta-se as pressões medias correspondentes a rede em PM = 62,28 m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável RNF= 957 metros. E no cenário 33 com a alteração do reservatório RNF = 944 metros com duas bomba em trechos diferentes em região de maiores altitudes e acréscimo de quatro válvula, resultou em diminuição de pressão na rede para PM = 40,62 m.c.a, com perdas de pressão 46,33 % com redução de 11,03 % com bons resultados ao sistema de distribuição, através das comparações atribuídas a Figura 70 as pressões corresponderam com boa precisões a rede, respeitando o mínimo 10 m.c.a e apenas alguns trechos com concentração superior a 50 m.c.a.

5.5 RNF 940 metros com três válvulas e duas bombas em diferentes trechos

A Figura 71 representa o cenário 01 rede original, com colocação de uma válvula no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a outra no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a, e a terceira que liga o trecho 62 com diâmetro de 150 mm e parâmetro de controle de 76 m.c.a. e com o ajuste do RNF= 940 metros com a inserção de duas bombas uma no nó 73 a 74 e outra bomba ao nó 10 ao 11 as duas com bomba TH-16 de 3 cv, 3500 rpm, trifásica.

Figura 71 – Instalação de três válvulas com bomba no trecho 96 e 13 com o RNF = 940 metros
Cenário 01 Cenário 34



Fonte: autor (2019)

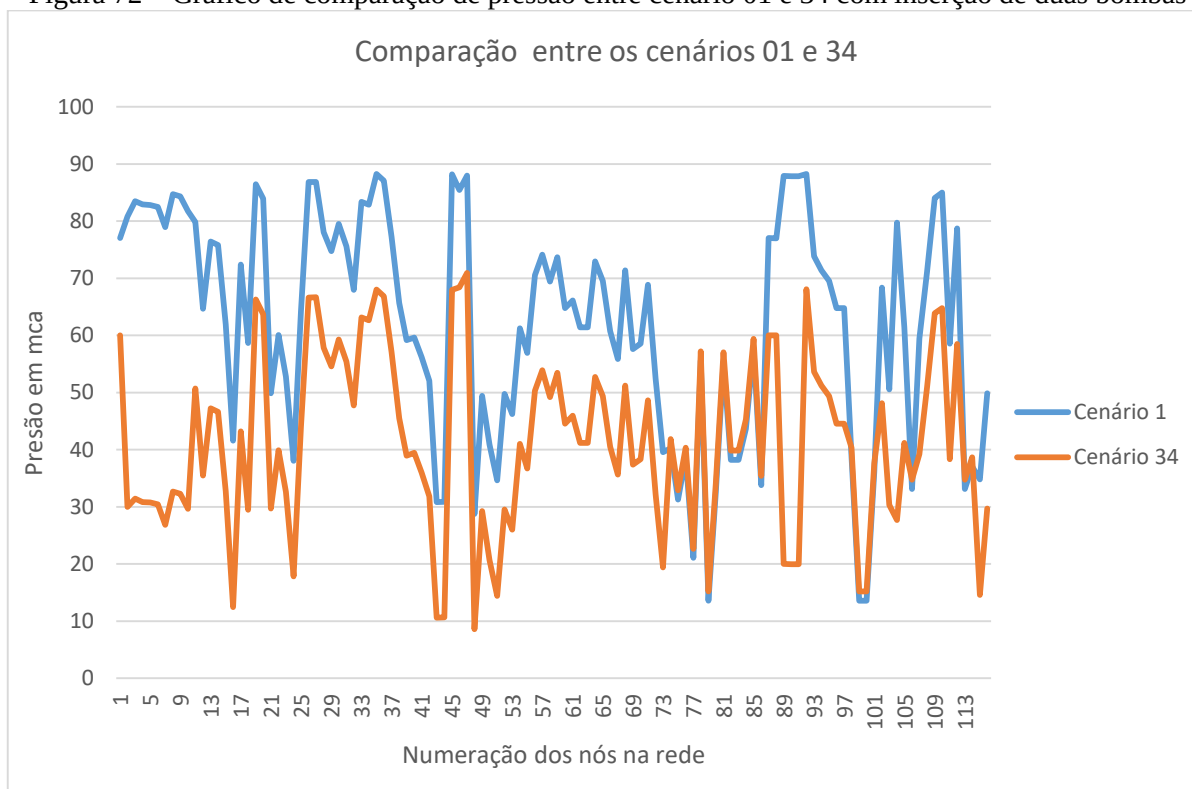
Na Figura 71, verifica-se uma comparação do cenário 34 com o cenário 01. A inserção de três válvula, associado as duas bomba que resulta em uma alteração de pressão, que destaca uma região 1 diminuindo a média das pressões entre 75 a 100 m.c.a.

O cenário 34 é o resultado de duas inserção de bomba na região com maiores altitudes uma entre o trecho 96 e outra bomba ao nó trecho 13 com o reservatório a 940 metros, reforçando a pressão nos pontos mais altos que eventualmente ficam mais despressurizadas, e com três válvulas de controle em trechos diferentes.

Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão no ponto mais alto, mas ainda existem pontos com excesso de pressão. É destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Na Figura 72 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre os cenários 01 e 34, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de duas bombas com atribuição de quatro válvulas e com o ajuste da cota do reservatório, diminuído a pressão em grandes concentrações.

Figura 72 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 34 com inserção de duas bombas



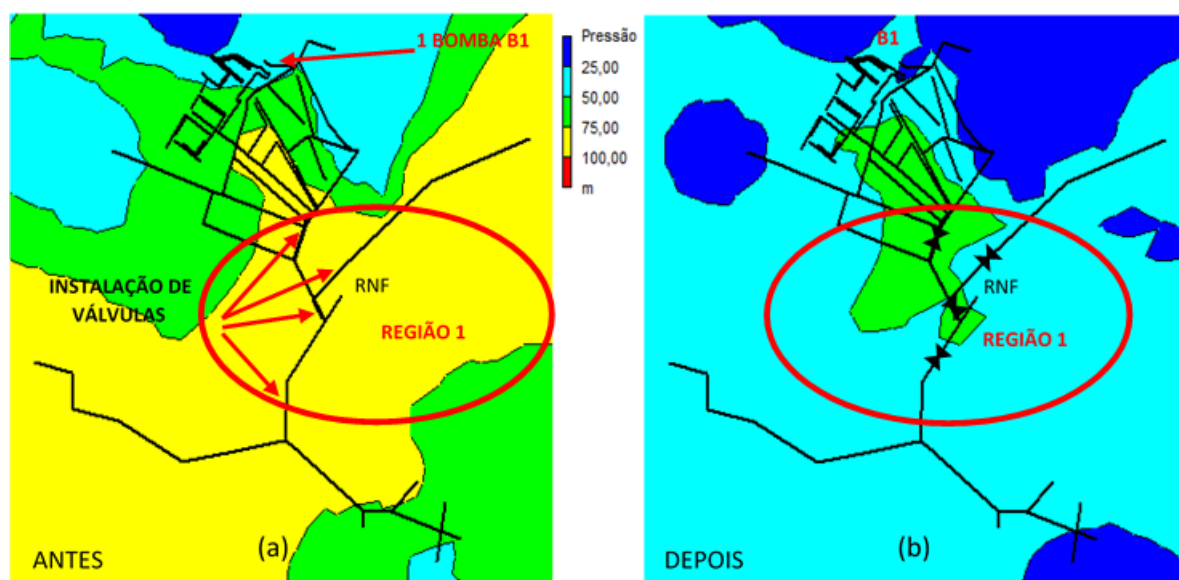
Fonte: autor (2019)

No cenário 01 apresenta-se as pressões médias correspondentes a rede em $PM = 62,28$ m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável $RNF = 957$ metros. E no cenário 34 com a alteração do reservatório $RNF = 940$ metros com duas bombas em trechos diferentes em região de maiores altitudes e acréscimo de três válvulas, resultou em diminuição de pressão na rede para $PM = 41,38$ m.c.a, com perdas de pressão 46,76 % com redução de 10,60 % com bons resultados ao sistema de distribuição, através das comparações atribuídas a Figura 72 as pressões corresponderam com boas precisões a rede, respeitando o mínimo 10 m.c.a e apenas alguns trechos com concentração superior a 50 m.c.a.

5.6 RNF 940 metros com quatro válvulas e duas bombas no trecho 96

A Figura 73 representa o cenário 01 rede original, com colocação de quatro válvulas uma no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a outra no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a e outra que liga o trecho 62 com diâmetro de 150 mm e parâmetro de controle de 76 m.c.a, a quarta válvula no trecho 113 com diâmetro de 50 mm e parâmetro de controle de 25 m.c.a. e com ajuste do RNF= 940 metros com a inserção de duas bombas uma no trecho 96 e outra no trecho 13 as duas bomba com as mesmas características TH-16 de 3 cv, 3500 r.p.m, trifásica.

Figura 73 – Instalação de quatro válvulas e uma bomba no trecho 96 com o RNF= 940 metros
Cenário 01



Fonte: autor (2019)

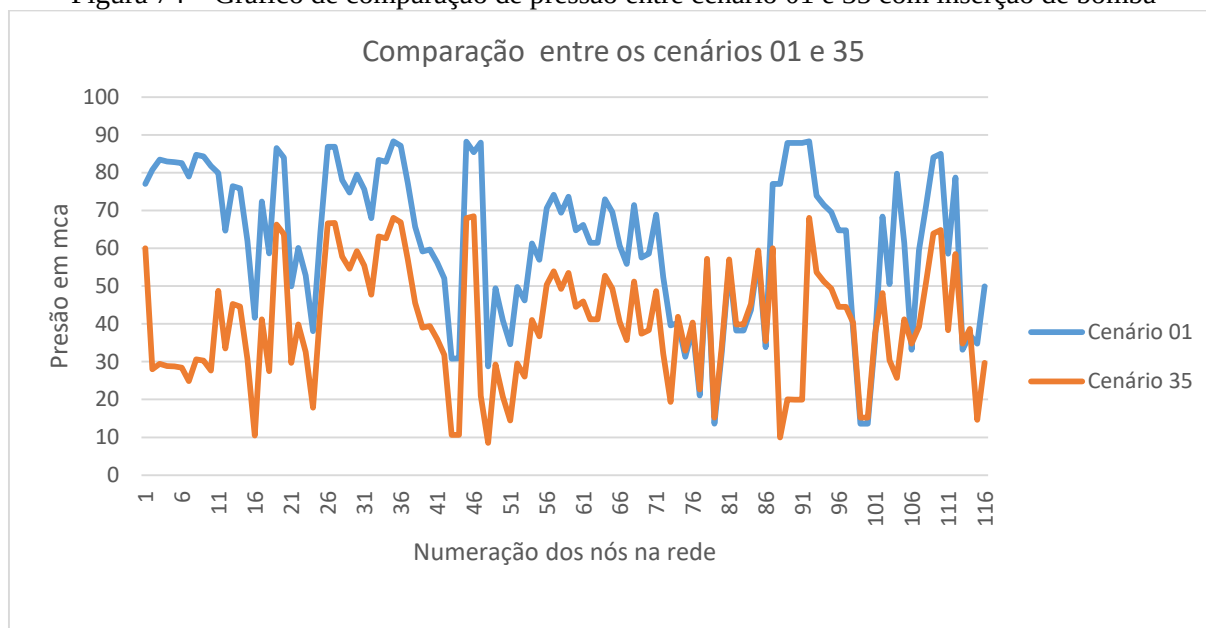
Na Figura 73, verifica-se uma comparação do cenário 35 com o cenário 01. A inserção de quatro válvula, associado a uma bomba que resulta em uma alteração de pressão. Destacando uma região 1 diminuindo a média das pressões entre 75 a 100 m.c.a.

O cenário 35 é o resultado da inserção de bomba na região com maiores altitudes entre o nó trecho 96 e com o reservatório a 940 metros, reforçando a pressão nos pontos mais altos que eventualmente ficam mais despressurizadas.

Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão no ponto mais alto, mas ainda existem pontos com excesso de pressão, e destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Na Figura 74 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre os cenários 01 e 35, este comparativo é atribuído ao gráfico com o acréscimo de uma bomba com atribuição de quatro válvula e com o ajuste da cota do reservatório, diminuído a pressão em grandes concentrações.

Figura 74 – Gráfico de comparação de pressão entre cenário 01 e 35 com inserção de bomba



Fonte: autor (2019)

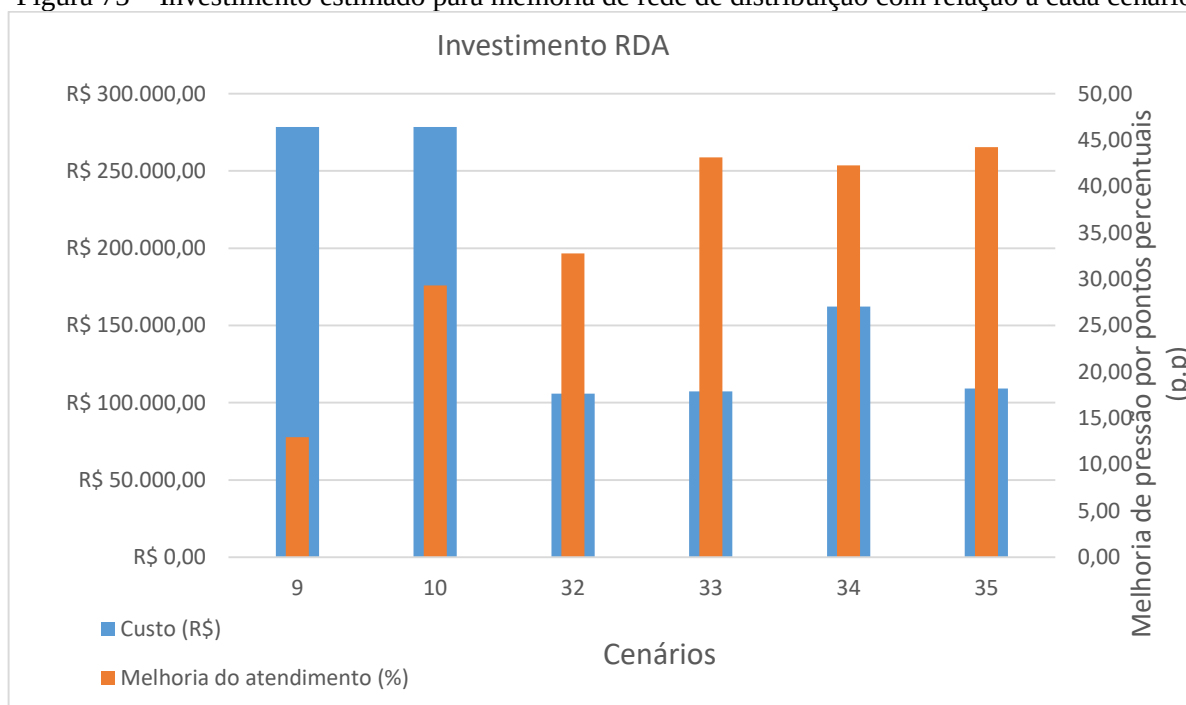
No cenário 01 apresenta-se as pressões medias correspondentes a rede em PM = 62,28 m.c.a e com perdas na faixa de 57,37 %, com à altura do reservatório estável RNF= 957 metros. E no cenário 35 com a alteração do reservatório RNF = 940 metros com uma bomba na região de maiores altitudes e acréscimo de quatro válvula, resultou em diminuição de pressão na rede para PM = 40,21 m.c.a, com perdas de pressão 46,10 % com redução de 11,27 % com bons resultados ao sistema de distribuição, através das comparações atribuídas a Figura 74 as pressões corresponderam com boa precisões a rede, respeitando o mínimo 10 m.c.a e apenas alguns trechos com poucas concentração superior a 50 m.c.a.

5.7 Custo de investimentos e análises de melhoria de pressão

O planejamento e a construção de uma rede de distribuição de água são essenciais para manter a qualidade e a condução de água potável com as pressões adequadas para especificações de cada projeto. A Figura 75 trata-se das relações dos investimentos envolvidos na implantação para as possíveis melhoria em uma rede de distribuição de água (RDA)

representada por cada cenário e a melhoria de pressão por pontos percentuais (p.p). Foram analisados os cenários que mais se aproximaram das pressões recomendadas em norma. Os cenários analisados foram o 09, 10, 32, 33, 34 e 35. Este gráfico foi levantado com base nos dados fornecidos pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil¹. O comparativo a ser representado no gráfico demonstrado na Figura 75 trata-se do comportamento da distribuição de pressões em relação a alterações dos diâmetros, colocação de dispositivos de controle de pressão como bombas e válvulas e alteração do nível do reservatório.

Figura 75 – Investimento estimado para melhoria de rede de distribuição com relação a cada cenário



Fonte: autor (2019)

Visando atingir os objetivos principais foram estabelecidos as seguintes situações:

- a) Regularização e compactação manual do fundo de vala;
- b) Assentamento de tubulação de ferro fundido;
- c) Reaterro de valas com compactação manual das camadas;
- d) Reaterro de vala com compactação mecânica,
- e) Valoração dos quantitativos identificados segundo preços estabelecidos no Sistema Nacional de Preços – SINAPI;

¹ Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 13 jan. 2019.

- f) Análise das condições de menor custo para implantação da rede pública de distribuição de água;
- g) Os custos atribuídos por implantação são compostos pelos custos de materiais envolvidos e serviços realizados nas características de cada terreno.

A relação do comportamento no gráfico demonstrado na Figura 75 oferece uma ampla visão nos estudos com um comparativo de pressões em determinados cenários, esse possível método ajuda a verificar o melhor custo atribuído em investimentos de rede de distribuição. As características necessárias para a determinação dos custos de implantação de uma rede de distribuição de água envolvem os serviços e os custos de material foram abordadas separadamente conforme apresentado nas seções que se seguem. As características levantadas para melhoria atribuídas aos custos de implantação ao cenário 9 e 10 envolve os serviços e custos de material atribuído a Tabela 1.

Tabela 1 – Relações dos investimentos atribuídas ao cenário 09 e 10

Trecho	Cenário 09 e 10	Mudança de Diâmetro	Comprimento (m)	Preço médio (R\$)	Escavação e reaterro	Total (R\$)
Trecho 2	DN 150	DN 75	117,40	2,3	45	R\$ 12.150,90
Trecho 4	DN 100	DN 200	210,77	4,02	45	R\$ 38.128,29
Trecho 6	DN 50	DN 100	28,07	2,87	45	R\$ 3.625,24
Trecho 13	DN 50	DN 100	350,58	2,87	45	R\$ 45.277,41
Trecho 15	DN 50	DN 100	106,58	2,87	45	R\$ 13.764,81
Trecho 17	DN 50	DN 75	196,65	2,3	45	R\$ 20.353,28
Trecho 3	DN 150	DN 50	9,10	1,72	45	R\$ 704,34
Trecho 63	DN 150	DN 75	220,40	2,3	45	R\$ 22.811,40
Trecho 53	DN 75	DN 50	16,00	1,72	45	R\$ 1.238,40
Trecho 54	DN 75	DN 50	45,00	1,72	45	R\$ 3.483,00
Trecho 51	DN 75	DN 50	52,00	1,72	45	R\$ 4.024,80
Trecho 58	DN 75	DN 50	182,30	1,72	45	R\$ 14.110,02
Trecho 59	DN 100	DN200	22,40	4,02	45	R\$ 4.052,16
Trecho 61	DN 150	DN 100	317,70	2,87	45	R\$ 41.030,96
Trecho 69	DN 100	DN 50	271,25	1,72	45	R\$ 20.994,75
Trecho 72	DN 100	DN 50	136,20	1,72	45	R\$ 10.541,88
Trecho 74	DN75	DN 50	72,90	1,72	45	R\$ 5.642,46
Trecho 39	DN 75	DN 50	178,12	1,72	45	R\$ 13.786,49

Fonte: autor (2019)

No cenário 09, a Tabela 2 compõe-se os custos de implantação para diâmetros nominais de 03 válvulas (DN) de 100, 150 e 200, considerando-se para implantação uma bomba de 3,5 cv. No cenário 09 teve atendimento de 39,66 % em relação ao cenário 01 que teve atendimento de 26,72 %, registrando uma melhoria de 12,94 p.p (pontos percentuais).

Tabela 2 – Equipamentos atribuídos ao cenário 09 e todos os investimentos

Cenário 09					
Trecho /nó	Trecho	Diâmetro	Preço médio (R\$)	Escavação e reaterro	Total (R\$)
Trecho 96	Bomba 3,5 cv		R\$ 1.200,00	R\$ 191,32	R\$ 1.391,32
Nó 1	Reservatório elevado		R\$ 3.647,47		R\$ 3.647,47
Trecho 1	Válvulas	DN 100	R\$ 333,30		R\$ 333,30
Trecho 62	Válvulas	DN 150	R\$ 443,91		R\$ 443,91
Trecho 65	Válvulas	DN 200	R\$ 517,90		R\$ 517,90
Porcentagem de atendimento		Anterior	Atual	Melhoria	Total (R\$)
		26,72%	39,66%	12,94 p.p	R\$ 6.333,90

Fonte: autor (2019)

No cenário 10, a Tabela 3 compõe-se os custos de implantação para diâmetros nominais de 04 válvulas (DN) de 50, 100, 150 e 200, considerando-se para implantação uma bomba de 3,5 cv. No cenário 10 teve atendimento de 56,03 % em relação ao cenário 01 que teve atendimento de 26,72 %, registrando uma melhoria de 29,31 p.p (pontos percentuais). Na Tabela 4 são apresentadas as relações dos investimentos atribuídas aos cenários 32 e 33.

Tabela 3 – Equipamentos atribuídos ao cenário 10 e todos os investimentos

Cenário 10					
Trecho /nó	Trecho	Diâmetro	Preço médio (R\$)	Escavação e reaterro	Total (R\$)
Trecho 96	Bomba 3,5 cv		R\$ 1.200,00	R\$ 191,32	R\$ 1.391,32
Trecho 113	Válvulas	DN 50	R\$ 104,72		R\$ 104,72
Trecho 1	Válvulas	DN 100	R\$ 333,30		R\$ 333,30
Trecho 62	Válvulas	DN 150	R\$ 443,91		R\$ 443,91
Trecho 65	Válvulas	DN 200	R\$ 517,90		R\$ 517,90
Porcentagem de atendimento		Anterior	Atual	Melhoria	Total (R\$)
		26,72 %	56,03 %	29,31 p.p	R\$ 2.791,15

Fonte: autor (2019)

Tabela 4 – Relações dos investimentos atribuídas ao cenário 32 e 33

Trecho	Cenário 32, 33	Mudança de Diâmetro	Comprimento (m)	Preço médio (R\$)	Escavação e reaterro	Total (R\$)
Trecho 2	DN 150	DN 75	117,40	2,3	45	R\$ 12.150,90
Trecho 3	DN 150	DN 50	9,10	1,72	45	R\$ 704,34
Trecho 63	DN 150	DN 75	220,40	2,3	45	R\$ 22.811,40
Trecho 53	DN 75	DN 50	16,00	1,72	45	R\$ 1.238,40
Trecho 54	DN 75	DN 50	45,00	1,72	45	R\$ 3.483,00
Trecho 51	DN 75	DN 50	52,00	1,72	45	R\$ 4.024,80
Trecho 58	DN 75	DN 50	182,30	1,72	45	R\$ 14.110,02
Trecho 59	DN 100	DN 200	22,40	4,02	45	R\$ 4.052,16
Trecho 69	DN 100	DN 50	271,25	1,72	45	R\$ 20.994,75
Trecho 72	DN 100	DN 50	136,20	1,72	45	R\$ 10.541,88
Trecho 74	DN75	DN 50	72,90	1,72	45	R\$ 5.642,46
Trecho 39	DN 75	DN 50	178,12	1,72	45	R\$ 13.786,49

Fonte: autor (2019)

No cenário 32, a Tabela 5 compôs-se os custos de implantação para diâmetros nominais de 04 válvulas (DN) de 50, 100, 150 e 200, considerando-se para implantação uma bomba de 3,5 cv e a modificação do nível do reservatório. No cenário 32 teve atendimento de 59,48 % em relação ao cenário 01 que teve atendimento de 26,72 %, registrando uma melhoria de 32,76 p.p (pontos percentuais).

Tabela 5 – Equipamentos atribuídos ao cenário 32 e todos os investimentos

Cenário 32					
Trecho/ nó	Equipamento	Diâmetros	Preço médio (R\$)	Escavação e reaterro	Total (R\$)
Trecho 96	Bomba 3,5 cv		R\$ 1.200,00	R\$ 191,32	R\$ 1.391,32
Nó 1	Reservatório elevado		R\$ 3.647,47		R\$ 3.647,47
Trecho 113	Válvulas	DN 50	R\$ 104,72		R\$ 104,72
Trecho 1	Válvulas	DN 100	R\$ 333,30		R\$ 333,30
Trecho 62	Válvulas	DN 150	R\$ 443,91		R\$ 443,91
Trecho 65	Válvulas	DN 200	R\$ 517,90		R\$ 517,90
Porcentagem de atendimento		Anterior	Atual	Melhoria	Total (R\$)
		26,72%	59,48%	32,76 p.p	R\$ 6.438,62

Fonte: autor (2019)

No cenário 33, a Tabela 6 compôs-se os custos de implantação para diâmetros nominais de 04 válvulas (DN) de 50, 100, 150 e 200, considerando-se para implantação duas bombas de

3,5 cv e a modificação do nível do reservatório. No cenário 33 teve atendimento de 69,83 % em relação ao cenário 01 que teve atendimento de 26,72 %, registrando uma melhoria de 43,11 p.p. (pontos percentuais). Na Tabela 7 são apresentadas as relações dos investimentos atribuídos ao cenário 34.

Tabela 6 – Equipamentos atribuídos ao cenário 33 e todos os investimentos

Cenário 33					
Trecho/ nó	Equipamentos	Diâmetro	Preço médio (R\$)	Escavação e reaterro	Total (R\$)
Trecho 96	Bomba 3,5 cv		R\$ 1.200,00	191,32	R\$ 1.391,32
Trecho 13	Bomba 3,5 cv		R\$ 1.200,00	191,32	R\$ 1.391,32
Nó 1	Reservatório elevado		R\$ 3.647,47		R\$ 3.647,47
Trecho 113	Válvulas	DN 50	R\$ 104,72		R\$ 104,72
Trecho 1	Válvulas	DN 100	R\$ 333,30		R\$ 333,30
Trecho 62	Válvulas	DN 150	R\$ 443,91		R\$ 443,91
Trecho 65	Válvulas	DN 200	R\$ 517,90		R\$ 517,90
Porcentagem de atendimento		Anterior	Atual	Melhoria	Total (R\$)
		26,72 %	69,83%	43,11 p.p	R\$ 7.829,94

Fonte: autor (2019)

Tabela 7 – Relações dos investimentos atribuídas ao cenário 34

Trecho	Cenário 34	Mudança de Diâmetro	Comprimento (m)	Preço médio (R\$)	Escavação e reaterro	Total (R\$)
Trecho 2	DN 150	DN 100	117,40	2,3	45	R\$ 12.150,90
Trecho 3	DN 150	DN 50	9,10	1,72	45	R\$ 704,34
Trecho 63	DN 150	DN 75	220,40	2,3	45	R\$ 22.811,40
Trecho 53	DN 75	DN 50	16,00	1,72	45	R\$ 1.238,40
Trecho 54	DN 75	DN 50	45,00	1,72	45	R\$ 3.483,00
Trecho 51	DN 75	DN 50	52,00	1,72	45	R\$ 4.024,80
Trecho 58	DN 75	DN 50	182,30	1,72	45	R\$ 14.110,02
Trecho 59	DN 100	DN200	22,40	4,02	45	R\$ 4.052,16
Trecho 61	DN 150	DN 100	317,70	2,87	45	R\$ 41.030,96
Trecho 69	DN 100	DN 50	271,25	1,72	45	R\$ 20.994,75
Trecho 72	DN 100	DN 50	136,20	1,72	45	R\$ 10.541,88
Trecho 74	DN75	DN 50	72,90	1,72	45	R\$ 5.642,46
Trecho 39	DN 75	DN 50	178,12	1,72	45	R\$ 13.786,49

Fonte: autor (2019)

No cenário 34, a Tabela 8 compôs-se os custos implantação para diâmetros nominais de 03 válvulas (DN) de 100, 150 e 200, considerando-se para implantação duas bomba de 3,5 cv e a modificação do nível do reservatório. No cenário 34 teve atendimento de 68,97 % em relação

ao cenário 01 que teve atendimento de 26,72 %, registrando uma melhoria de 42,25 p.p (pontos percentuais).

Tabela 8 – Equipamentos atribuídos ao cenário 34 e todos os investimentos

Cenário 34					
Trecho/ nó	Trecho	Diâmetro	Preço médio (R\$)	Escavação e reaterro	Total (R\$)
Trecho 96	Bomba 3,5 cv		R\$ 1.200,00	191,32	R\$ 1.391,32
Trecho 13	Bomba 3,5 cv		R\$ 1.200,00	191,32	R\$ 1.391,32
Nó 1	Reservatório elevado		R\$ 3.647,47		R\$ 3.647,47
Trecho 1	Válvulas	DN 100	R\$ 333,30		R\$ 333,30
Trecho 62	Válvulas	DN 150	R\$ 443,91		R\$ 443,91
Trecho 65	Válvulas	DN 200	R\$ 517,90		R\$ 517,90
Porcentagem de atendimento		Anterior 26,72 %	Atual 68,97 %	Melhoria 42,25 p.p	Total (R\$) R\$ 7.725,22

Fonte: autor (2019)

Tabela 9 – Relações dos investimentos atribuídas ao cenário 35

Trecho	Cenário 35	Mudança de Diâmetro	Comprimento m	Preço médio (R\$)	Escavação e reaterro	Total (R\$)
Trecho 2	DN 150	DN 50	9,10	1,72	45	R\$ 704,34
Trecho 63	DN 150	DN 75	220,40	2,3	45	R\$ 22.811,40
Trecho 53	DN 75	DN 50	16,00	1,72	45	R\$ 1.238,40
Trecho 54	DN 75	DN 50	45,00	1,72	45	R\$ 3.483,00
Trecho 51	DN 75	DN 50	52,00	1,72	45	R\$ 4.024,80
Trecho 58	DN 75	DN 50	182,30	1,72	45	R\$ 14.110,02
Trecho 59	DN 100	DN200	22,40	4,02	45	R\$ 4.052,16
Trecho 69	DN 100	DN 50	271,25	1,72	45	R\$ 20.994,75
Trecho 72	DN 100	DN 50	136,20	1,72	45	R\$ 10.541,88
Trecho 74	DN75	DN 50	72,90	1,72	45	R\$ 5.642,46
Trecho 39	DN 75	DN 50	178,12	1,72	45	R\$ 13.786,49

Fonte: autor (2019)

No cenário 35, a Tabela 10 compôs-se os custos de implantação para diâmetros nominais de 04 válvulas (DN) de 50, 100, 150 e 200, considerando-se para implantação duas bombas de 3,5 cv e a modificação do nível do reservatório. Mantendo o trecho que liga o nó 43 ao nó 44 e o trecho que liga o reservatório ao nó 1. No cenário 35 teve atendimento de 70,96 % em relação

ao cenário 01 que teve atendimento de 26,72 %, registrando uma melhoria de 44,24 p.p (pontos percentuais).

Tabela 10 – Equipamentos atribuídos ao cenário 35 e todos os investimentos

Cenário 35					
Trecho/ nó	Trecho	Diâmetro	Preço médio (R\$)	Escavação e reaterro	Total (R\$)
Trecho 96	Bomba 3,5 cv		R\$ 1.200,00	191,32	R\$ 1.391,32
Trecho 13	Bomba 3,5 cv		R\$ 1.200,00	191,32	R\$ 1.391,32
Nó 1	Reservatório elevado		R\$ 3.647,47		R\$ 3.647,47
Trecho 113	Válvulas	DN 50	R\$ 104,72		R\$ 104,72
Trecho 1	Válvulas	DN 100	R\$ 333,30		R\$ 333,30
Trecho 62	Válvulas	DN 150	R\$ 443,91		R\$ 443,91
Trecho 65	Válvulas	DN 200	R\$ 517,90		R\$ 517,90
Porcentagem de atendimento		Anterior	Atual	Melhoria	Total (R\$)
		26,72 %	70,96 %	44,24 p.p.	R\$ 7.829,94

Fonte: autor (2019)

A estratégia de substituir os tubos foi adotada porque as pressões estavam altas a ideia substituir os diâmetros em locais estratégicos com objetivo de garantir o controle e a qualidade, durabilidade da rede de distribuição de água. Esta melhoria atribuída aos cenários selecionados só foi possível através das combinações de níveis de reservatório, válvulas e bombas.

A combinação de equipamentos é essencial para diminuir as pressões e principalmente a durabilidade das tubulações e com menos manutenção nas redes de distribuição, observando o gráfico da Figura 75, é possível verificar os cenários com menor custo, entre estes estão os cenários 32, 33,34,35.

Os equipamentos atribuídos para cada cenário só foram suficientes quando utilizadas de maneira combinadas, desta forma as pressões se aproximaram da recomendação estabelecidas em norma.

Os cenários que obtiveram os melhores atendimentos foram os cenário 33, e o cenário 35. No cenário 33 o atendimento foi de 69,83% registrando uma melhoria de 43,10 p.p, (pontos percentuais). No cenário 35 o atendimento foi de 70,96 % registrando uma melhoria de 44,24 p.p (pontos percentuais).

5.8 Reabilitação da rede de distribuição de água

Para o desenvolvimento do processo de reabilitação foram analisados os cenários 32, 33, 34 e 35 no sistema de abastecimento em estudo.

- a) Na etapa de reabilitação é fundamental analisar cada caso e o melhor método a ser atribuído ao sistema.
- b) A reabilitação das redes de água baseia-se em reparações após falhas, pois envolve critérios técnicos, econômicos e institucionais.
- c) Tem que atende as condições e planos de pavimentação de vias, minimizando custos de interrupções de abastecimento e perturbação a terceiros.
- d) Maior durabilidade, aproxima-se do diâmetro real com relação a outros métodos.
- e) A técnica de reabilitação não resolve problemas de vazamento, e nem aumenta a capacidade hídrica.

A técnica de reabilitação neste contexto consistiu de simular a substituição das tubulações originais por outras com material diferente, de modo que sua rugosidade elevada permitisse a redução do excesso de pressões sem a necessidade de implantação de válvulas e consequentemente gerasse um equilíbrio de pressões na rede, bem como o material empregado que permite uma maior durabilidade das tubulações.

Após as análises apresentadas sobre reabilitação verifica-se os cenários que obtiveram melhor desempenho nas etapas de reconhecimento de equipamentos e troca de tubulações, estes cenários que apresentaram melhorias são 32, 33, 34 e 35, com estas relações e os percentuais de melhoria propostos nas tabelas, os cenários que obtiveram melhor custo por atendimento ao consumidores foram os cenários 33 e 35 sendo estes aplicado o processo de reabilitação conforme a Tabela 11.

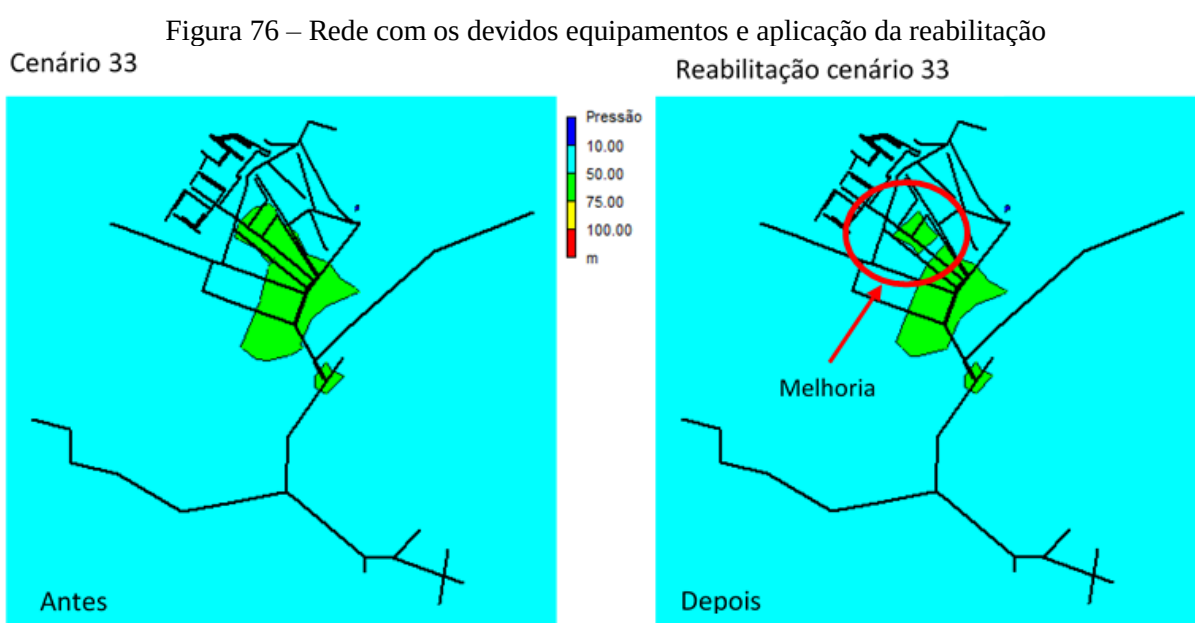
Tabela 11 – Valores de rugosidade absoluto equivalente

Cenário 33 e 35				
Trechos	Material	Rugosidade (mm)	Reabilitação	Rugosidade (mm)
58	Ferro forjado	0.05	Aço rebitado	1
51	Ferro forjado	0.05	Aço rebitado	3
53	Ferro forjado	0.05	Aço rebitado	3
63	Ferro forjado	0.05	Aço rebitado	1

Fonte: Porto (2006)

Na Tabela 11 realizou-se as técnicas de reabilitação para o cenário 33 e 35, sendo que no cenário 35 não necessitou da técnica no trecho 63.

A Figura 76 representa o cenário 33, com colocação de quatro válvulas uma no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a outra no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a e outra que liga o trecho 62 com diâmetro de 150 mm e parâmetro de controle de 76 m.c.a, a quarta válvula no trecho 113 com diâmetro de 50 mm e parâmetro de controle de 25 m.c.a. e com ajuste do RNF= 944 metros com a inserção de uma bombas uma no trecho 96 bomba TH-16 de 3 cv, 3500 r.p.m, trifásica.

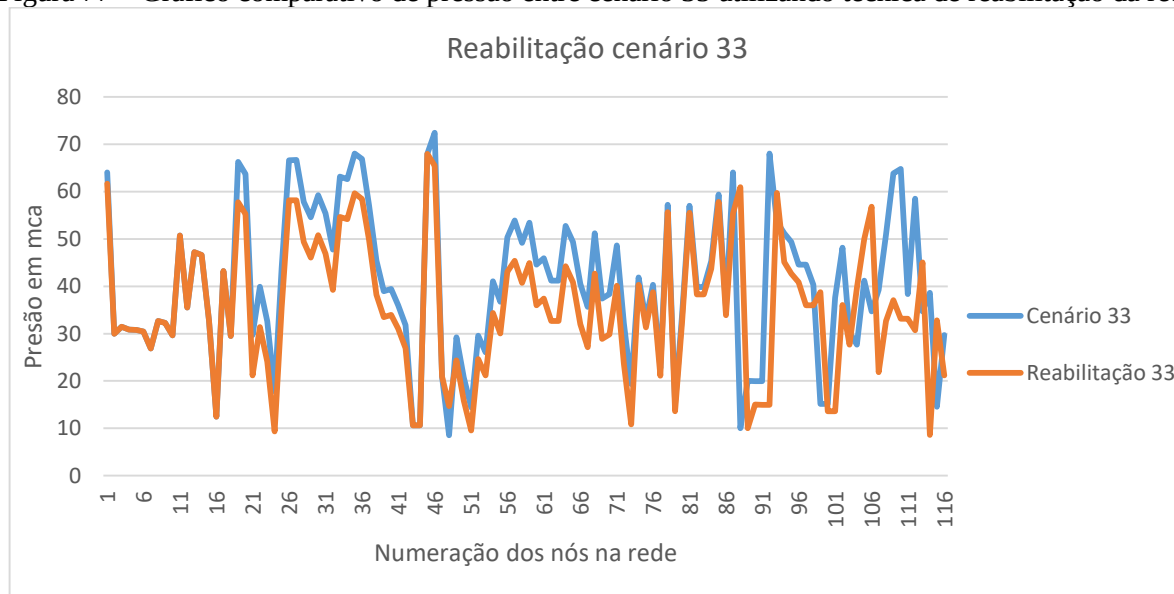


Fonte: autor (2019)

Na Figura 76, verifica-se a comparação do cenário 33, com o mesmo cenário utilizando a técnica de reabilitação. Atribuindo está técnica a quatro trechos que resulta em uma alteração de pressão. Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão de maneira isolada, mas ainda existem pontos com excesso de pressão, e destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Na Figura 77 é demonstrado um gráfico comparativo de pressões entre os cenário 35 e o mesmo cenário que utilizou a técnica de reabilitação, este comparativo é atribuído ao gráfico com a alterações da rugosidade de 4 trechos que resultou na diminuição pressão em boa parte da rede.

Figura 77 – Gráfico comparativo de pressão entre cenário 35 utilizando técnica de reabilitação da rede

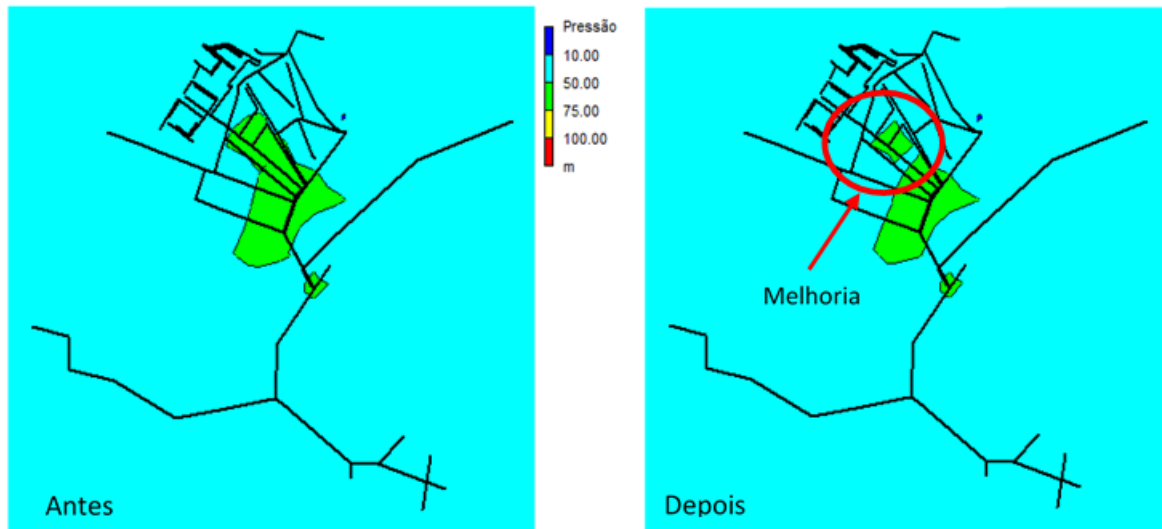


Fonte: autor (2019)

A técnica de reabilitação no cenário 33 teve um atendimento de 78,45 % em relação ao cenário 33 que teve atendimento de 69,83 %, registrando uma melhoria de 7.76 p.p. (pontos percentuais).

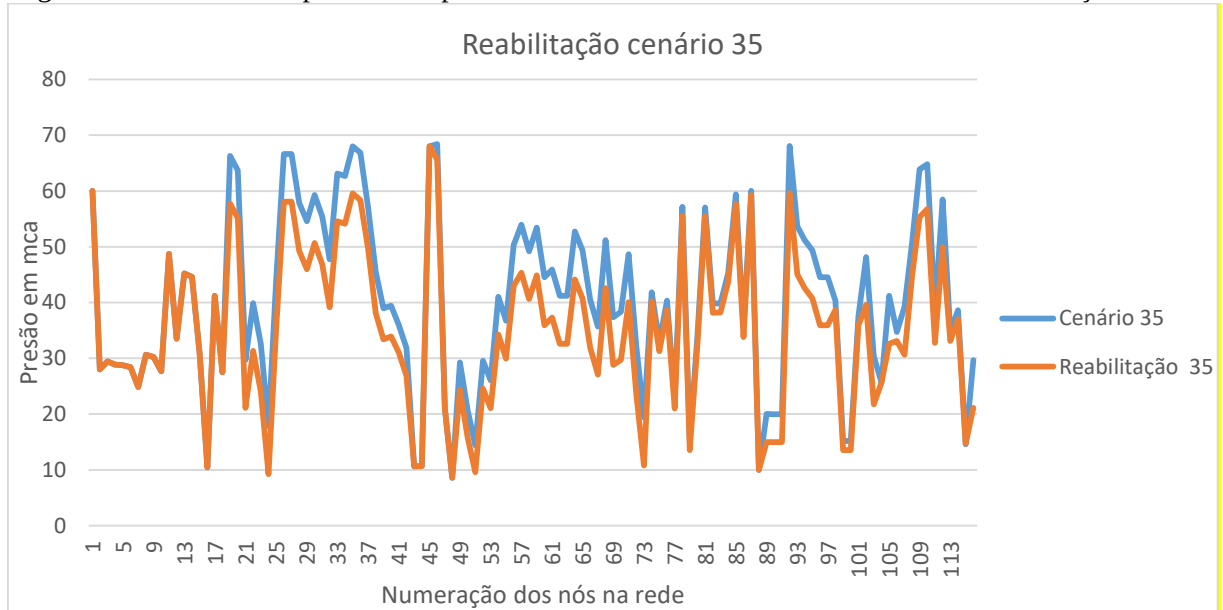
A Figura 78 representa o cenário 35 com colocação de quatro válvulas uma no trecho 1 com diâmetro de 100 mm e parâmetro de controle de 50 m.c.a outra no trecho 65 com diâmetro de 200 mm e parâmetro de controle de 26 m.c.a e outra que liga o trecho 62 com diâmetro de 150 mm e parâmetro de controle de 76 m.c.a, a quarta válvula no trecho 113 com diâmetro de 50 mm e parâmetro de controle de 25 m.c.a. e com ajuste do RNF= 940 metros com a inserção de duas bombas uma no trecho 96 e outra no trecho 13 as duas bomba com as mesmas características TH-16 de 3 cv, 3500 r.p.m, trifásica. Na Figura 79, verifica-se a comparação do cenário 32, com o mesmo cenário utilizando a técnica de reabilitação. Atribuindo está técnica a sete trechos que resulta em uma alteração de pressão. Comparando os dois cenários, verifica-se boas melhorias de pressão de maneira isolada, mas ainda existem pontos com excesso de pressão, e destacado uma região para demonstrar esses pontos.

Figura 78 – Rede com os devidos equipamentos e aplicação da reabilitação
Cenário 35



Fonte: autor (2019)

Figura 79 – Gráfico comparativo de pressão entre cenário 35 utilizando técnica de reabilitação da rede



Fonte: autor (2019)

A técnica de reabilitação no cenário 35 teve um atendimento de 80,17% em relação ao cenário 35 que teve atendimento de 70,69 %, registrando uma melhoria de 9,48 p.p. (pontos percentuais).

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No estudo de análises de pressões de maneira estratégica através da inserção de equipamentos apropriados ao sistema de distribuição. Desta forma foi possível atribuir, com a ferramenta EPANET, diferentes cenários com características de simulação hidráulica de modo a diminuir as principais perdas na distribuição.

Notou-se que a rede em estudo, típica de Minas Gerais tem características topográficas de variações significativas nas elevações em curtos espaços, com isso trazem características particulares a oscilações de pressão nos nós, o que não é notado em regiões mais planas.

A alteração do nível do reservatório foi fundamental para diminuir as pressões nas regiões com cotas menores e maiores valores de pressão, neste caso somente a combinação de várias soluções associadas poderão conduzir a melhor eficiência financeira e hidráulica.

Observando os cenários selecionados e com as devidas melhorias, empregando-se as planilhas do SINAPI (2018), foi possível fazer uma análise das condições de menor custo para implantação da rede de distribuição de água, operando a rede com pressões de acordo com a norma. Mostrou-se necessário a combinação de dispositivos hidromecânicos como bombas, válvulas e a alteração do nível do reservatório em diferentes condições para chegar a bons resultados.

Na análise global definiu-se que os cenários 33 e 35 alcançaram bons resultados, nesses cenários ocorreram alterações do diâmetro de três a quatro trechos conforme Tabela 4 que resultou em diminuição das pressões concentradas na região de cotas mais baixas.

As alterações e investimentos propostos na tabela 6 e na Tabela 10 com detalhes dos equipamentos que contribuíram para melhoria de pressões na rede, (quatro válvulas, uma bomba, e alteração de nível do reservatório) estas alterações representadas na tabelas para o cenário 33 obteve-se um total de investimento de R\$ 107.260,52 e no cenário 35 obteve-se um total de investimento de R\$ 109.219,64, estes investimentos é representado de maneira mais detalhada na Figura 75.

Na Figura 75 representa o cenário 33 com atendimento de 69,83 % em relação ao cenário 01 que teve atendimento de 26,72 %, registrando uma melhoria de 43,11 p.p. (pontos percentuais). Aplicando a técnica de reabilitação das tubulações teve um atendimento de 78,45 % registrando uma melhoria de 7,76 p.p. (pontos percentuais).

Na Figura 75 representa o cenário 35 com atendimento de 70,96 % em relação ao cenário 01 que teve atendimento de 26,72 %, registrando uma melhoria de 44,24 p.p. (pontos

percentuais). Aplicando a técnica de reabilitação das tubulações teve um atendimento de 80,17 % registrando uma melhoria de 9.48 p.p. (pontos percentuais).

Normalmente o estudo de modelagem e otimização de operação de redes de abastecimento de água, devido à complexidade, é realizado em redes teóricas de pequeno porte, sendo o estudo em redes reais de grande porte menos comum. Deste modo o trabalho, mesmo sendo baseado em simulação e análise de cenários foi realizado para uma rede real de tamanho representativo o que permitiu estudar procedimentos iniciais metodológicos para abordar melhoria de eficiência de operação de redes de abastecimento de água.

Recomendam-se futuros estudos com foco em aplicação de métodos de otimização a redes reais de porte médio ou grande para se chegar a melhor eficiência hídrica e energética, especificamente em regiões montanhosas como é o caso deste estudo.

Em simulações com vários cenários, onde pode-se variar a localização de dispositivos redutores de pressão ao longo da rede, visando a diminuição dos altos valores de pressão, é fundamental realizar um estudo mais detalhado de cada região após as inserções de equipamentos, de modo a estabelecer as recomendações exigidas em normas.

Recomenda-se o estudo de análise de viabilidade financeira para diferentes cenários econômicos e realidades financeiras das empresas de saneamento brasileiras.

REFERÊNCIAS

- ABRANCHES, R. **Reabilitação de redes de distribuição de água para abastecimento público: avaliação e controle**. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia: Gestão e Desenvolvimento de Tecnologias Ambientais) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2009.
- ARAÚJO, I. B. Q. **Sistema detector de vazamentos em instalações prediais de água fria**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.218**: projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- CASTRO, C. N. **Gestão das águas: Experiências internacional e brasileira**: análise de oportunidade do projeto. Brasília: IPEA, 2012. 86p.
- CHEUNG, P. B.; REIS, L. F. R. Estudo de objetivos múltiplos para reabilitação otimizada de sistemas de distribuição de água. *In: SEMINÁRIO IBEROAMERICANO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA*, 6., 2006, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: SEREA, p. 1–15, 2006.
- COSTA, L. H. M.; CASTRO, M. A. H.; ARAÚJO, J. K. Dimensionamento econômico de redes de abastecimento de água utilizando o epanet e a linguagem DELPHI. *In: SEMINÁRIO IBEROAMERICANO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA*, 6., 2006, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: SEREA, p. 1–8, 2006.
- DIUANA, F. A.; OGAWA, S. C. C. P. **Análise comparativa dos modelos hidráulicos epanet, watercad e sistema ufc para sistemas de abastecimento de água – Rede de distribuição**. 2015. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- FARIA, S. H.; CALIJURI, M. L.; OLIVEIRA, J. C. Uso de softwares gratuitos (SPRING e EPANET) na simulação de pressão e vazão de uma rede de abastecimento de água. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 14., 2009, Natal. **Anais [...]**. Natal: INPE, p. 3729–3735, 2009.
- FARINA, G.; CREACO, E.; FRANCHINI, M. Using EPANET for modelling water distribution systems with users along the pipes. **Civil Engineering and Enviromental Systems**, Abingdon-on-Thames, v. 31, n. 1, p. 36-50, 2014.
- FERNANDES, C. V. S. Modelagem da qualidade da água em redes de distribuição de água: a influência dos transientes hidráulicos. *In: SEMINÁRIO HISPÂNICO-BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA*, 4., 2004, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: SEREA, p. 1–11, 2004.

FONTANA, M. E.; MORAIS, D. C. Modelo para setorizar redes de distribuição de água baseado nas características das unidades consumidoras. **Produção**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 143–156, 2015.

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

FORTES, L. R. **Análise de Perdas de Água e Relações Energéticas em Sistema de Distribuição de Água Utilizando Metodologia de Balanço Estudo de caso em São Lourenço - MG**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água**. 2 ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

GEBRIM, D. V. B. **Otimização operacional de sistemas de abastecimento de água com objetivo de redução de custo de energia elétrica**. 2013. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

GOMES, B. M. C.; NEVES, Y. T.; CLAUDINO, C. M. A.; SENA, T. S.; SANTOS, L. L.. Uso do EPANET em sistemas predial de abastecimento de água: Análise de campus VIII da UEPB. *In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS*, 1., 2016, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: CONAPESC, p. 1-10, 2016.

GOULART, T. D. C. (2015). **Estudos de Aprimoramento de Algoritmo de Calibração e Aplicação em Rede de Distribuição de Água de Cambuí (MG)**. Itajubá, 197 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Itajubá, Brasil. CD-ROM.

ISHIHARA, J. H.; FERNADES, L. L.; LIMA, A. C. M.; DUARTE, A. A. A. M.; FARIAS, M. A. Avaliação de métodos de dimensionamento de rede de abastecimento de água e estudo das condições de saneamento do bairro novo horizonte em Barcarena - PA. **Revista Traços**, Belém, v. 11, n. 24, p. 61–73, 2009.

JUSTINO, J. D.; NOGUEIRA, E. Estudo e análise de um sistema de distribuição de água: Aplicação do método de Hardy Cross utilizando a equação universal de Darcy-Weisbach e o método de Hazen-Williams. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, v. 22, p. 25–35, 2013.

LEÓN-CELI, C. F.; IGLESIAS-REY, P. L.; MARTÍNEZ-SOLANO F. J. E SAVIC, D. Operation of multiple pumped-water sources with no storage. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 144, n. 9, 2018.

MISIUNAS, D. Failure monitoring and asset condition assessment in water supply systems. 2008. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE: ENVIRONMENTAL ENGINEERING*, 7., 2008, Vilnius. **Proceedings [...]**. Vilnius: Technika, p. 648-655, 2008.

MOHAMMAD, M. M.; CHOWDHURY, A. A.; MUZADDID, R. A.; RAHMAN, M. S. Water distribution system modeling by using EPA-NET Software. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT INNOVATION IN CIVIL ENGINEERING FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT*. 2015, Gazipur. **Proceedings [...]**. Gazipur: IICSD, p. 1-6, 2015.

MONTEIRO, D. F. Avaliação da qualidade do serviço prestado no abastecimento de água na cidade de Porto Novo, Cabo Verde. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Construções Civas) – Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2017.

NEVES, C. L. **Calibração de parâmetros de modelos hidráulicos de redes de distribuição de água para estudos de operação de rede**. 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

NEVES, M. V.; LEITE, S. Utilização do simulador EPANET no estudo de sistemas prediais de abastecimento de água. *In: JORNADAS DE HIDRÁULICA, RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE*, 3., 2008, Porto. **Anais [...]**. Porto: FEUP, p. 119-128, 2008.

OLAIA, A. I. S. **Gestão de sistema de abastecimento de água através de modelação hidráulica**. 2012. Dissertação (Mestre em Engenharia do Ambiente) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2012.

ORELLANA . A. **Contribuição ao estudo do planejamento de reabilitação de redes de distribuição de água**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

PINHEIRO, G. W. **Perda de carga total em rede ramificada de tubulações: comparação entre modelos numérico e experimental**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PINNTTO, M. R.; CASTRO, M. A. H.; BARBOSA, J. M. C.; MAIA JÚNIOR, J. V. F. Dimensionamento econômico otimizado de redes de distribuição de água considerando custos de manutenção. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 145–153, 2017.

PINTO, T. M. V. **Modelação e calibração de um sistema de abastecimento de água**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2010.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4 ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 540 p.

RAMANA, G. V.; CHEKKA, V. S. S. S. Validation and examination of existing water distribution network for continuous supply of water using EPANET. **Water Resources Management**, New York City, v. 32, n. 6, p. 1993-2011, 2018.

REIS, J. M.. **Eficiência energética no sistema de abastecimento água de Conceição do Araguaia-PA**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Faculdade Metropolitana de Anápolis, Anápolis, 2017.

ROCHA, V. A. G. M.; CASTRO, M. A. H.; ARAÚJO, J. K. Análise comparativa entre dois métodos de calibração aplicados à rugosidades de redes de distribuição: MIGHA e RNA. *In:*

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: ABRH, p. 1–15, 2011.

SAQIB, N; MYSOREWALA, M. F; CHEDED, L. A multiscale approach to leak detection and localization in water pipeline network. **Water Resources Management**, New York City, v. 31, n. 12, p. 3829–3842, 2017.

SANTOS, J. **Estudo de modelo de calibração para ajuste de parâmetros de rugosidade, demanda e vazamento visando eficiência hídrica e energética em redes de abastecimento de água. Estudo de caso em São Lourenço - MG.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.

SILVA, F. G. B. **Estudos de calibração de redes de distribuição de água através de algoritmos genéticos.** 2003. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SOARES, A. K.; CHEUNG, P. B.; REIS, L. F. R.; SANDIM, M. P. Avaliação das perdas físicas de um setor da rede de abastecimento de água de Campo Grande-MS via modelo inverso. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 312–321, 2004.

SUSE, R.; YOSHIKAWA, A. M.; LUVIZOTTO JÚNIOR, E. Simulação da qualidade de água em redes de distribuição empregando o EPANET-MSX. **Revista DAE**, São Paulo, n. 197, p. 1-10, 2014.

TACK, H. H.; SILVA JÚNIOR, O. F. P.; GIROL, G. V.; MARCHI, C. E.; ELEOTERO, B. C. Gestão do Projeto Temarp – Técnicas experimentais e de modelagem aplicadas à redução de perdas em sistemas de abastecimento público de água. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, 3., 2014, São Paulo. **Anais [...]**, São Paulo: SINGEP, p. 1–13, 2014.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. **Water Loss Control**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

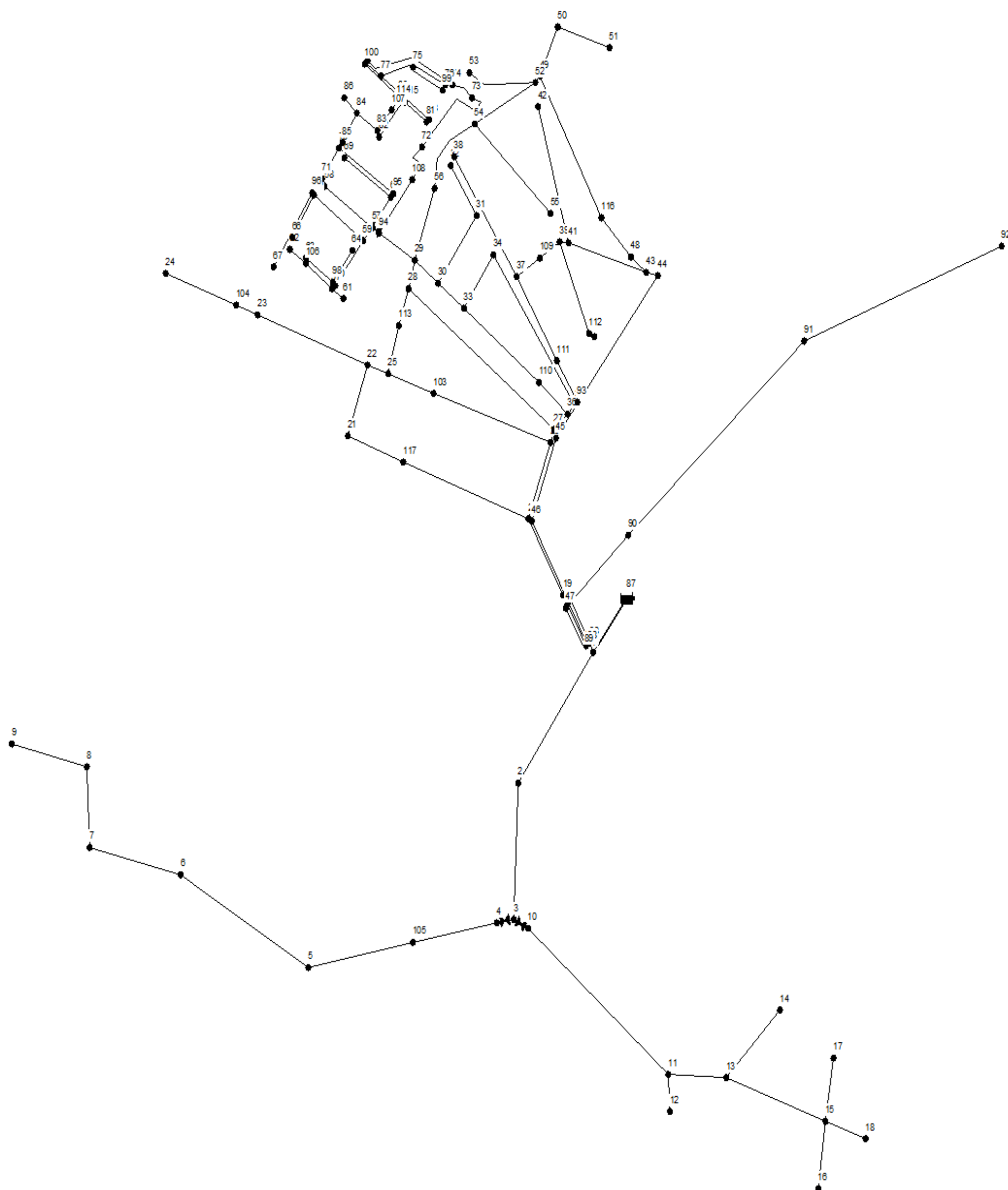
TUCCIARELLI, T.; CRIMINISI, A.; TERMINI, D. Leak analysis in pipeline systems by means of optimal valve regulation. **Journal of Hydraulic Engineering**, Reston, v. 125, n. 3, p. 277 – 285, 1999.

VIEIRA, L. V. A. **Aplicação do modelo de simulação EPANET 2.0 ao estudo das pressões e cloro residual do sistema de abastecimento de água de Angra do Heroísmo.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Sistemas de Água) – Universidade dos Açores, Terceira, 2013.

XU, Q.; LIU, R.; CHEN, Q.; LI, R. Review on water leakage control in distribution networks and the associated environmental benefits. **Journal of Environmental Sciences**, Amsterdam, v. 26, n. 5, p. 955–961, 2014.

APÊNDICE A

Figura I - Rede em estudo pertencente a um setor de abastecimento em Minas Gerais



Fonte: Santos (2006)