

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TIAGO LAMENHA DE FREITAS

ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO HIDRÁULICO ENTRE
O PROJETO E A OBRA DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Recife
2018

TIAGO LAMENHA DE FREITAS

ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO HIDRÁULICO ENTRE
O PROJETO E A OBRA DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
Linha de pesquisa: Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

F866e Freitas, Tiago Lamenha de.
Estudo comparativo do desempenho hidráulico entre o projeto e a obra de uma rede de distribuição de água / Tiago Lamenha de Freitas. - 2018.
95 folhas, il., tabs., gráf.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2018.
Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Vazão. 3. Pressão. 4. EPANET. 5. Fator de pesquisa.
I. Azevedo, José Roberto Gonçalves de (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-367



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO HIDRÁULICO ENTRE O
PROJETO
E A OBRA DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

defendida por

Tiago Lamenha de Freitas

Considera o candidato APROVADO

Recife, 18 de junho de 2018

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo – UFPE
(orientador)

Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra – UFPE
(examinador externo)

Prof. Dr. Jaime Joquim da Silva Pereira Cabral – UFPE
(examinador interno)

*Dedico esta obra à minha família,
base do meu passado, presente e futuro.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, professores e colegas da UFPE, por todo o apoio, ensinamentos compartilhados e desafios lançados, e por estarem comigo nesta jornada.

Aos colegas engenheiros da Companhia Pernambucana de Saneamento – Compesa, pela ajuda através da disponibilização dos dados necessários.

Aos meus colegas e superiores da Caixa Econômica Federal, por todo o apoio.

À minha esposa e aos meus filhos, por todo o incentivo, ajuda, e confiança, e por terem compreendido as ausências e privações necessárias durante o curso.

Aos meus pais e irmãos, por todo o investimento e apoio depositados ao longo de minha vida acadêmica.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo tecer um comparativo entre as obras projetadas e realizadas em uma rede do Sistema de Abastecimento de Água da cidade do Recife-PE. Para isto foram coletadas as informações referentes ao projeto original e às obras executadas, através do cadastro técnico, comparando-as entre si, através de indicadores de vazão e pressão apresentados em seus modelos hidráulicos simulados com a utilização do *software* EPANET. Foram comparados os cenários pré-definidos pelos projetistas, envolvendo a situação atual e um modelo de controle com condições mais críticas, tendo sido comparadas entre si as redes projetada e executada de cada um destes cenários. Os valores de pressão do modelo hidráulico da rede executada foram ainda comparados com os dados reais obtidos ao longo do ano de 2016 pelo sistema de monitoramento da companhia de saneamento local, constante de válvula redutora de pressão (VRP) com leitura de pressão na entrada e na saída, além de medidor de pressão localizado no ponto crítico (PC) de pressão da rede. Demonstrou-se que as alterações executadas durante as obras não interferiram no desempenho hidráulico da rede, tendo ocorrido pequenas variações de pressão, com variações de vazão maior em alguns trechos, o que já era esperado por se tratar de uma rede malhada, porém sem interferir no balanço de massa dos nós e nas vazões totais da rede. Porém as variações de pressão entre o modelo hidráulico da rede executada, aliadas ao alto valor do fator de pesquisa, podem indicar a existência de considerável índice de perdas físicas, sendo recomendada a busca por vazamentos na rede.

Palavras-chave: Vazão. Pressão. EPANET. Fator de pesquisa.

ABSTRACT

The purpose of the present work is to weave a cross between the works designed and carried out in a network of the water supply system of the city of Recife-PE. For this was collected the information pertaining to the original project and the works performed, through the technical register, compared them with each other, through the indicators of flow and pressure presented in their simulated hydraulic models with the use of the EPANET software. The scenarios defined by the designers were compared, involving the current situation and a control model with more critical conditions, having been compared to each other the networks designed and executed in each of these scenarios. The pressure values of the hydraulic model of the network performed were also compared with the actual data obtained during the year of 2016 by the monitoring system of the local sanitation company, constant of pressure reducing valve (PRV) with pressure reading in the input and output, in addition to the pressure gauge located at the critical point of the network pressure. It was demonstrated that the changes carried out during the works did not interfere with the hydraulic performance of the network, with minor variations in pressure, with variations of higher flow in some parts, which was expected to be a meshed network, but without interfering with the mass balance of the nodes and the total flows of the network. However, the pressure variations between the hydraulic model of the network implemented, allied to the high value of the research factor, can indicate the existence of a considerable index of physical losses, being recommended the search for leaks in the network.

Keywords: Flow. Pressure. EPANET. Research factor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Mapa geral de distribuição da Gerência Centro	32
Figura 02 - Distrito 42 – Localização geográfica	34
Figura 03 - Setores comerciais do D-42	35
Figura 04 - Representação da solução projetada, indicando apenas o S619.....	39
Figura 05 - Tela do sistema de monitoramento da Compesa	79
Figura 06 - Configuração das vazões	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 -Pressões diárias em mca na entrada da VRP ao longo de 2016 – Distrito 42	81
Gráfico 02 -Pressões diurnas em mca na entrada da VRP ao longo de 2016 – Distrito 42	81
Gráfico 03 -Pressões noturnas em mca na entrada da VRP ao longo de 2016 – Distrito 42	82
Gráfico 04 -Pressões diárias em mca na saída da VRP ao longo de 2016 – Distrito 42	83
Gráfico 05 -Pressões diurnas em mca na saída da VRP ao longo de 2016 – Distrito 42	83
Gráfico 06 -Pressões noturnas em mca na saída da VRP ao longo de 2016 – Distrito 42	84
Gráfico 07 -Pressões diárias em mca no ponto crítico ao longo de 2016 – Distrito 42	85
Gráfico 08 -Pressões diurnas em mca no ponto crítico ao longo de 2016 – Distrito 42	85
Gráfico 09 -Pressões noturnas em mca no ponto crítico ao longo de 2016 – Distrito 42	86
Gráfico 10 -Médias mensais para o FP do Distrito 42 no ano de 2016	87

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 - Indicador Percentual (IP)	25
Equação 02 - Índice de Perdas de Faturamento (IP _f)	26
Equação 03 - Índice de Perdas na Distribuição (IP _d)	26
Equação 04 - Índice de Perdas por Ligação por dia (IP _L)	26
Equação 05 - Índice de Perda de Água por Extensão de Rede (IP _e)	26
Equação 06 - Fator de pesquisa (FP)	29
Equação 07 - Variação de pressão para os panoramas A e B	43
Equação 08 - Variação de pressão para os panoramas C e D	43
Equação 09 - Variação de vazão para os panoramas A e B	44
Equação 10 - Variação de vazão para os panoramas C e D	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Quantidade de água por habitante por estado brasileiro	16
Tabela 02 - Parcelas de água que entram no sistema	25
Tabela 03 - Categorias de desempenho técnico de uma rede de distribuição	26
Tabela 04 - Dados físicos e operacionais da rede de distribuição da UMC entre 2012 e 2016	35
Tabela 05 - Distribuição da tubulação pré-existente no D-42	36
Tabela 06 - Coeficientes de rugosidade considerados	37
Tabela 07 - Coeficientes de rugosidade para os cenários 2 e 4	38
Tabela 08 - Demonstrativo dos panoramas de comparação	42
Tabela 09 - Variação das pressões Panorama A – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes ..	46
Tabela 10 - Variação das pressões Panorama A – R. Gen. Góes Monteiro	46
Tabela 11 - Variação das pressões Panorama A – R. Eng. José Apolinário	47
Tabela 12 - Variação das pressões Panorama A – Av. Pinheiros	48
Tabela 13 - Variação das pressões Panorama A - R. Suely Luna Menelau	49
Tabela 14 - Variação das pressões Panorama B – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes ..	50
Tabela 15 - Variação das pressões Panorama B – R. Gen. Góes Monteiro	50
Tabela 16 - Variação das pressões Panorama B – R. Eng. José Apolinário	51
Tabela 17 - Variação das pressões Panorama B – Av. Pinheiros	51
Tabela 18 - Variação das pressões Panorama B – Rua Suely Luna Menelau	52
Tabela 19 - Variação das pressões Panorama C – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes ..	53
Tabela 20 - Variação das pressões Panorama C – R. Gen. Góes Monteiro	54
Tabela 21 - Variação das pressões Panorama C – R. Eng. José Apolinário	54
Tabela 22 - Variação das pressões Panorama C – Av. Pinheiros	55
Tabela 23 - Variação das pressões Panorama C – Rua Suely Luna Menelau	56
Tabela 24 - Variação das pressões Panorama D – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes ..	57
Tabela 25 - Variação das pressões Panorama D – R. Gen. Góes Monteiro	57
Tabela 26 - Variação das pressões Panorama D – R. Eng. José Apolinário	58
Tabela 27 - Variação das pressões Panorama D – Av. Pinheiros	58
Tabela 28 - Variação das pressões Panorama D – Rua Suely Luna Menelau	59
Tabela 29 - Variação das vazões Panorama A – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes	61
Tabela 30 - Variação das vazões Panorama A – R. Gen. Góes Monteiro	61

Tabela 31 - Variação das vazões Panorama A – R. Eng. José Apolinário	61
Tabela 32 - Variação das vazões Panorama A – Av. Pinheiros	62
Tabela 33 - Variação das vazões Panorama A – R. Suely Luna Menelau	63
Tabela 34 - Variação das vazões Panorama B – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes	64
Tabela 35 - Variação das vazões Panorama B – R. Gen. Góes Monteiro	64
Tabela 36 - Variação das vazões Panorama B – R. Eng. José Apolinário	65
Tabela 37 - Variação das vazões Panorama B – Av. Pinheiros	65
Tabela 38 - Variação das vazões Panorama B – Rua Suely Luna Menelau	66
Tabela 39 - Variação das vazões Panorama C – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes	67
Tabela 40 - Variação das vazões Panorama C – R. Gen. Góes Monteiro	67
Tabela 41 - Variação das vazões Panorama C – R. Eng. José Apolinário	68
Tabela 42 - Variação das vazões Panorama C – Av. Pinheiros	68
Tabela 43 - Variação das vazões Panorama C – Rua Suely Luna Menelau	69
Tabela 44 - Variação das vazões Panorama D – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes	70
Tabela 45 - Variação das vazões Panorama D – R. Gen. Góes Monteiro	70
Tabela 46 - Variação das vazões Panorama D – R. Eng. José Apolinário	71
Tabela 47 - Variação das vazões Panorama D – Av. Pinheiros	71
Tabela 48 - Variação das vazões Panorama D – Rua Suely Luna Menelau	72
Tabela 49 - Comparativo entre trechos de maior variação de vazões no Panorama C .	74
Tabela 50 - Balanço de massa na tubulação da rede projetada do cenário 1	74
Tabela 51 - Balanço de massa na tubulação da rede executada do cenário 1.....	75
Tabela 52 - Comparativo entre trechos de maior variação de vazões no Panorama D .	76
Tabela 53 - Balanço de massa na tubulação da rede projetada do cenário 4	76
Tabela 54 - Balanço de massa na tubulação da rede executada do cenário 4	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	18
1.2	Objetivos	19
1.2.1	Objetivo geral.....	19
1.2.2	Objetivos específicos.....	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	Sistemas Públicos de Abastecimento de água	21
2.2	Setorização	23
2.3	Perdas	24
2.4	Pressões Mínimas e Máximas	28
2.5	Fator de pesquisa	28
2.6	EPANET	29
3	METODOLOGIA	31
3.1	Obtenção de informações do projeto e da obra	31
3.2	Definição do objeto de estudo	33
3.3	Análise da rede antiga	36
3.4	Rede projetada	37
3.5	Rede executada	39
3.6	Comparativo entre as redes	41
3.6.1	Panoramas estudados.....	41
3.6.2	Comparação entre as pressões nos nós das simulações hidráulicas.....	42
3.6.3	Comparação entre as vazões nos trechos das simulações hidráulicas	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1	Comparativo entre as pressões da rede projetada e da rede executada	45
4.1.1	Panorama A.....	45
4.1.2	Panorama B.....	49
4.1.3	Panorama C.....	53
4.1.4	Panorama D.....	56
4.1.5	Resumo das análises.....	60
4.2	Comparativo entre as vazões da rede projetada e da rede executada	60
4.2.1	Panorama A.....	60
4.2.2	Panorama B.....	63
4.2.3	Panorama C.....	66
4.2.4	Panorama D.....	70

4.2.5	Resumo das análises.....	73
4.3	Verificação do balanço de massa em nós específicos da rede projetada e da rede executada	73
4.3.1	Panorama C.....	73
4.3.2	Panorama D.....	75
4.4	Análise da variação de pressões entre a rede executada e o sistema de monitoramento	77
4.5	Cálculo do fator de pesquisa (FP).....	87
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
5.1	Conclusões	89
5.2	Recomendações	91
5.2.1	Cadastro Técnico.....	91
5.2.2	Substituição de toda a rede antiga em cimento amianto	91
5.2.3	Redução de perdas no Distrito 42	92
	REFERÊNCIAS	93

1 INTRODUÇÃO

O sistema de distribuição de água tratada da cidade do Recife conta atualmente com mais de 2.500 km de extensão de rede, com diâmetros variando de 50 a 1.500 mm. Sua estrutura principal é constituída por grandes anéis, que recebem água de vários mananciais. Estes grandes anéis, por sua vez, são divididos em 32 distritos, segmentos do sistema de abastecimento de água que, muitas vezes, são menores que um bairro da cidade (ABF/ETEP, 2010).

Esta rede de distribuição vinha apresentando nos últimos anos capacidade de transporte e de pressão incompatíveis com a demanda e com os volumes disponibilizados, ocasionando frequentes paralisações na distribuição, por causa de constantes estouros e manobras, além de elevado índice de perdas físicas e de faturamento, devido a uma série de fatores, quais sejam: 1) precária situação da tubulação da rede; 2) ausência de setores de medição e controle, o que facilitaria a macromedição; 3) falta de um melhor controle da operação e gerenciamento das pressões, com áreas devidamente isoladas hidráulicamente; e 4) percentual de hidrometração ainda insatisfatório, com parque de hidrômetros antigo. Enfim, estes e outros fatores vêm contribuindo para criar um ambiente propício ao crescimento descontrolado das perdas do sistema de abastecimento de água do Recife. Estas perdas atingiram o percentual de 44,57% para as perdas de faturamento, e de 50,83% para as perdas físicas em dezembro de 2016 (ABF/ETEP, 2010).

Esta questão torna-se ainda mais urgente pelo fato de Pernambuco ser a Unidade da Federação com a menor quantidade de água por habitante no Brasil, como demonstra Barth (2002) na tabela 01.

Visando extrapolar o problema ao longo do tempo, foi calculada a estimativa da população em cada distrito para o ano de 2030. Para o Recife, a taxa de crescimento populacional é pequena, atingindo 0,51% ao ano até 2030, sendo aproximadamente 0,7% no primeiro quinquênio e 0,3% no último. Entre os censos de 1991 e 2000, a taxa foi de 1,02% (ABF/ETEP, 2010). Esse planejamento visando as condições futuras deve ser levado em consideração durante o processo de projeto devido à longa vida útil de um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) e ao grande valor dos ativos (SITZENFREI *et al.*, 2014).

De um modo geral, a demanda por água na região é predominantemente de ordem residencial, conforme se pode observar no “Estudo de Demanda por Água na RMR”, documento elaborado para a Companhia Pernambucana de Saneamento - Compesa em 2006 (ABF/ETEP, 2010). Visto isto, foi possível estimar as demandas por distrito de distribuição. As demandas são estimadas com base na projeção da população, em valores de consumo residencial *per capita*, na incidência de consumos não residenciais e em valores atribuídos às perdas.

Tabela 01 – Quantidade de água por habitante por estado brasileiro

Abundância (acima de 20mil m ³ /hab/ano)		Rico (entre 5mil e 10mil m ³ /hab/ano)	
Roraima	1.747.011	Piauí	9.609
Amazonas	878.930	Espírito Santo	7.236
Amapá	678.930	Equilíbrio (entre 2,5mil e 5mil m ³ /hab/ano)	
Acre	369.306	Bahia	3.029
Mato Grosso	258.243	São Paulo	2.914
Pará	217.059	Pobre (entre 1,5mil e 2,5mil m ³ /hab/ano)	
Tocantins	137.667	Ceará	2.437
Rondônia	132.819	Rio de Janeiro	2.316
Mato Grosso do Sul	39.186	Rio Grande do Norte	1.782
Goiás	39.186	Distrito Federal	1.753
Rio Grande do Sul	20.799	Alagoas	1.752
Muito Rico (entre 10mil e 20mil m ³ /hab/ano)		Sergipe	1.744
Maranhão	17.185	Crítico (inferior a 1,5mil m ³ /hab/ano)	
Santa Catarina	13.663	Paraíba	1.437
Paraná	13.432	Pernambuco	1.320
Minas Gerais	12.326		

Fonte: Barth (2002)

Com a estimativa da população futura e o dimensionamento da demanda de água para atender tal população, foram calculadas as vazões por distrito necessárias para a cidade do Recife no ano de 2030. Além disso, levou-se em consideração a entrada na rede da água proveniente do sistema Pirapama, que acrescentou em julho de 2011 cerca de 5 metros cúbicos de água tratada por segundo aos sistemas de abastecimento de água do Grande Recife, elevando as pressões no sistema. Concluiu-se que era indispensável reduzir e controlar as perdas, para que a entrada de novas ofertas de água significasse efetivamente a

eliminação do sistema de rodízio do abastecimento, que já perdurava por mais de duas décadas.

Para o funcionamento equilibrado e controlado do sistema de distribuição de água da cidade do Recife está sendo executada pela Compesa a implantação definitiva da setorização da rede de distribuição. Segundo Morrison *et al.* (2007), o conceito de setorização equivale-se ao de Distrito de Medição e Controle, sendo um isolamento total da tubulação de setores da rede de distribuição, ou distritos, através do fechamento de válvulas ou isolamento total da tubulação, onde a quantidade de água que entra e que sai pode ser medida. Tal empreendimento inclui, além da setorização da distribuição de água tratada, manutenção e adequação dos alimentadores e da rede, e implantação de anéis secundários. Segundo Gomes (2009a), alimentação é a origem da rede de distribuição, normalmente coincidindo com o ponto inicial do sistema.

Os projetos dos alimentadores e da ampliação e adequação das novas redes de distribuição atendem aos requisitos estabelecidos nas normas da Compesa e da ABNT, e são compostas por memórias descritivas, memórias de cálculo (relatório gerado pelo programa EPANET e por planilhas em MS Excel), estimativa de custo, diagrama unifilar das conexões e peças especiais e plantas com o traçado de alimentadores.

Quando da conclusão das obras, e em conformidade com os projetos em execução, todos os alimentadores de distritos serão dotados de medidor de vazão do tipo eletromagnético, de inserção, conforme definição da Compesa, que já providenciou a aquisição destes equipamentos, que serão instalados em caixas de proteção construídas segundo o padrão definido pela própria Compesa.

Também está em implantação um sistema de efficientização operacional dos vários componentes do sistema (como as estações elevatórias, reservatórios e poços), macromedição com controle de vazões e pressões. Tal investimento proporcionará equalização das pressões e otimização operacional e hidroenergética, possibilitando o controle e redução das perdas e de consumo de energia elétrica através de medidas operacionais que são descritas por Gomes (2009b) como necessárias para o combate às perdas de energia, a saber:

- Ajuste dos equipamentos;
- Diminuição da potência dos equipamentos;
- Implantação de sistema de controle operacional;

- Automação do sistema de abastecimento de água.

De fato, o conhecimento dos valores de pressão permite o gerenciamento adequado do sistema, incluindo vazamentos, intrusão de água e controle de demanda (RIDOLFI *et al.*, 2014).

Assim, este trabalho visa à comparação entre as simulações realizadas no momento de projeto e o resultado final obtido pelos sistemas de controle operacional após a realização das obras.

1.1 Justificativa

O trabalho baseia-se na necessidade de se realizar obras de ampliação e/ou adequação das atuais redes de distribuição de água que contam com elevados índices de perdas, além da capacidade de vazão e pressão incompatíveis com as demandas atuais.

Esta necessidade, juntamente com a limitação de recursos governamentais disponibilizados para as obras, traz a obrigação de que os projetos de engenharia apresentem soluções otimizadas, de modo a possibilitar uma maior e melhor oferta do produto água, minimizando “os custos de implantação e operação, sem comprometimento dos aspectos técnicos, sociais e ambientais” (GOMES, 2009b, p.7), propiciando assim um melhor atendimento à população.

Apresenta-se no Brasil, de acordo com o último relatório do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (BRASIL, 2016), um índice de cobertura de rede de abastecimento urbano da ordem de 93,2%, e um índice médio de perdas físicas da ordem de 36,7%. Em Pernambuco, nas áreas abastecidas pela Compesa, os índices em dezembro de 2016 foram de 89% de cobertura e 49,11% de perdas físicas (COMPESA, 2016).

Ainda segundo a companhia de saneamento local, havia em Pernambuco, em dezembro de 2016, 27 municípios, com população total de 289.638 habitantes, em situação de colapso, além de 25 municípios, com população total de 784.600 habitantes, em situação de pré-colapso no abastecimento de água (COMPESA,

2016), tornando ainda mais necessárias ações que visem o melhor aproveitamento do recurso.

Segundo Gomes (2009b, p.8), as perdas de água têm se agravado ao longo do tempo por vários fatores: “envelhecimento das instalações, expansões desordenadas dos sistemas urbanos de abastecimento, ausência de sistemas adequados de medição e problemas de gestão operacional”. Observa-se, então, no estado a real necessidade de investimentos na adequação e modernização do sistema de abastecimento de água, visando à elevação dos índices de cobertura populacional e qualidade da distribuição, com redução das perdas.

A Compesa executa atualmente em diversos distritos da rede de distribuição de água da cidade do Recife obras de ampliação e adequação, que consistem em substituição e/ou implantação de tubos, válvulas, macromedidores e micromedidores, além de um sistema de eficientização e monitoramento remoto do sistema. Estas atividades fazem parte da setorização da rede de distribuição, com o objetivo de se isolar hidráulicamente cada subsetor do Recife a fim de melhor controlar o abastecimento de água na cidade.

1.2 Objetivos

Os objetivos deste trabalho foram divididos em objetivos gerais e específicos, sendo a seguir especificados:

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o Distrito 42 do Sistema de Abastecimento de Água do Recife (SAA-Recife), comparando a rede projetada e a rede executada pela concessionária local de saneamento.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar as pressões nos nós da rede projetada face às recomendações das normas vigentes;
- Analisar as pressões nos nós da rede executada face às recomendações das normas vigentes;
- Analisar as variações de pressão, em pontos específicos da rede executada, comparando-as com as simulações hidráulicas;
- Analisar os fatores de pesquisa obtidos na rede executada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os conceitos abordados neste trabalho são a seguir explanados, de acordo com a revisão bibliográfica pesquisada.

2.1 Sistemas Públicos de Abastecimento de água

Segundo Gomes (2009a), os sistemas urbanos de abastecimento de água são formados, em geral, pela captação, tratamento, estação elevatória, adução, reservatórios, rede de distribuição e ligações prediais.

É uma rede complexa composta por vários componentes mecânicos, hidráulicos e eletromecânicos (GHEISI *et al.*, 2014, tradução nossa).

Tardelli Filho (2006) detalha os componentes de um SAA da seguinte forma:

- Manancial: fonte de retirada de água superficial ou subterrânea para abastecimento. Deve ter a qualidade da água adequada e fornecer vazão suficiente para atender a demanda de água no período de projeto.
- Captação: conjunto de estruturas e equipamentos construídos ou montados junto ao manancial para retirada de água destinada ao sistema de abastecimento.
- Estações Elevatórias: conjunto de obras e equipamentos destinados a recalcar a água para a unidade seguinte.
- Adutora: canalização que se destina a conduzir água entre as unidades que precedem a rede de distribuição. Não distribuem água aos consumidores.
- Estação de tratamento de água: unidade destinada a tratar a água de modo a adequar as suas características aos padrões de potabilidade.
- Reservatório: é o elemento do sistema de distribuição de água destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição.
- Rede de distribuição: parte do sistema de abastecimento de água formada de tubulações e conexões, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendada.

Motta (2010) incluiu como elemento o Ramal Domiciliar, que se trata da ligação entre a rede de distribuição e os consumidores.

Como foi especificada nos objetivos deste trabalho, esta pesquisa se concentrará na rede de distribuição, detalhando os projetos, obras de ampliação/adequação e operação de um dos distritos da rede de distribuição do Recife. As normas técnicas produzidas pela ABNT que tratam sobre o tema são as seguintes:

- ABNT NBR 12211:1992 (ABNT, 1992) – Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água – Procedimento;
- ABNT NBR 12214:1992 (ABNT:1992) – Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público – Procedimento;
- ABNT NBR 12217:1994 (ABNT:1994) – Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público – Procedimento;
- ABNT NBR 12218:2017 (ABNT:2017) – Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público — Procedimento;
- ABNT NBR 12586:1992 (ABNT:1992) – Cadastro de sistema de abastecimento de água – Procedimento;
- ABNT NBR ISO 24510:2012 (ABNT:2012) – Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto — Diretrizes para a avaliação e para a melhoria dos serviços prestados aos usuários;
- ABNT NBR ISO 24512:2012 (ABNT:2012) – Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto — Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de água e para a avaliação dos serviços de água potável.

Foram encontradas, ainda, referências sobre o tema em livros, como “Sistemas de Abastecimento de Água” (GOMES, 2009a) e nos manuais de hidráulica. E tornou-se necessário, também, o estudo dos *softwares* utilizados nas simulações hidráulicas, como o EPANET (ROSSMAN, 2009).

2.2 Setorização

A divisão de um determinado SAA em setores, também chamados Distritos de Medição e Controle (DMC), consiste no isolamento total da tubulação de uma determinada área, onde a quantidade de água que entra e sai pode ser medida (MORRISON *et al.*, 2007).

Para a NBR 12.218 (ABNT, 2017), um DMC é uma “área delimitada e isolável, que possibilita a gestão do sistema por meio de monitoramento, medição e controle de vazões e/ou pressões, permitindo definir indicadores operacionais, avaliar e controlar perdas”. Deve levar em consideração a viabilidade técnica, econômica e financeira, bem como as características locais, e minimizar os custos de instalação e manutenção do sistema, procurando seguir a topologia natural e as fronteiras hidráulicas, tendo como base as zonas de pressão e outros subsistemas existentes.

ABNT (2017) recomenda, ainda, o seccionamento das redes limítrofes, evitando a utilização de válvulas de fechamento, a instalação de medidores de vazão em todas as entradas e saídas, medidores de pressão nos pontos críticos, e alimentação pelo menor número de pontos possível.

Para Motta (2010), estes distritos devem ser definidos levando-se em conta, principalmente, as condições topográficas e o perfil dos consumidores na área a ser atendida. E têm por objetivo “dividir a rede de distribuição em zonas definidas e isoladas de modo que as vazões possam ser monitoradas nas entradas de cada área, permitindo identificar a ocorrência de vazamentos e arrebentamento nas redes”.

A setorização é considerada um dos requisitos básicos para o controle dos sistemas de abastecimento de água (BARRETO *et al.*, 2006).

As condições mínimas para implantação de um DMC são (TARDELLI FILHO, 2006):

- Tamanho médio entre 1.000 e 5.000 ligações;
- Área estanque sem fluxo entre áreas vizinhas;
- Existência de ponto de medição de vazão e pressão na entrada.

Para a ABNT (2017) os critérios recomendados para proporcionar controle e eficiência são:

- “Máximo de 5.000 ligações;
- Extensão máxima de 25 km de rede do DMC.”

Barreto *et al.* (2006) demonstraram que a setorização melhora significativamente a oferta de água na rede de distribuição, reduzindo a ocorrência de pressões abaixo do mínimo estabelecido na NBR 12218/1994, que é de 10 mca, bem como a faixa entre 10 e 15 mca. Em contrapartida, aumentou sensivelmente a ocorrência de pressões entre 15 e 32 mca.

2.3 Perdas

De acordo com Alegre *et al.* (2005), podemos definir perdas de água como a diferença entre a água entregue no sistema de abastecimento e o somatório de consumos.

Segundo Gomes (2009a) o consumo autorizado divide-se em faturado e não faturado, que, por sua vez, podem ser subdivididos em medido e não medido. Os tipos de consumo podem ser definidos como:

- Consumo autorizado faturado medido: é o que a empresa de abastecimento cobra, relativo às medições dos hidrômetros;
- Consumo autorizado faturado não medido: corresponde ao estimado pela companhia de abastecimento em decorrência das ligações autorizadas sem hidrômetro, seja um consumidor de baixa renda ou não;
- Consumo autorizado não faturado medido: trata-se do uso de água pela própria empresa de abastecimento, incluindo a água utilizada nas lavagens de filtros, reservatórios e demais componentes do sistema, bem como do abastecimento de entidades filantrópicas e/ou hospitais que venham a ter o pagamento dispensado.
- Consumo autorizado não faturado e não medido: empregado no combate a incêndios, no atendimento a comunidades de baixa renda, entre outros.

Na tabela 02 observa-se o parcelamento do total de águas que entram no sistema, com os tipos de consumo e de perdas.

Perdas de água são as águas não contabilizadas somando-se as perdas reais e as perdas aparentes. Segundo Motta (2010), perdas reais são decorrentes de

vazamentos de adutores, redes de distribuição, ramais prediais e reservatórios (extravasamento). Já as perdas aparentes são oriundas de volumes consumidos, mas não contabilizados, em decorrência de fraudes, erros de medição e ligações clandestinas. São também denominadas de perdas comerciais (TARDELLI FILHO, 2006).

Tabela 02 – Parcelas de água que entram no sistema

Volume de água no setor	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido (incluir água exportada)	Água faturada	
			Consumo faturado não medido (estimado)		
		Consumo autorizado não faturado	Consumo não faturado medido (usos próprios, caminhão pipa etc)		
			Consumo não faturado não medido (combate a incêndios, favelas etc)		
	Perda de água	Perdas aparentes		Uso não autorizado (fraudes e falhas de cadastro)	Água não faturada
				Erros de medição (macro e micromedição)	
		Perdas reais		Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição	
				Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição	
				Vazamentos nos ramais	
				(a montante do ponto de medição)	

Fonte: GOMES (2009b)

Segundo Gomes (2009b), as perdas reais e aparentes podem ser quantificadas através de alguns indicadores, a saber:

- a) Indicador Percentual (IP): relação entre o volume total perdido (reais mais aparentes) com o volume total aduzido ao sistema. Pode ser representado pela equação 01:

$$IP(\%) = \frac{\text{Volume perdido}}{\text{Volume produzido}} \times 100 \quad (01)$$

- b) Índice de Perdas de Faturamento (IPf): indicador de ineficiência do sistema, em termos econômicos. É expresso pelam equação 02:

$$IPf = \frac{\text{Volume (produzido + importado - de serviço)} - \text{volume faturado}}{\text{Volume de água (produzido + importado - de serviço)}} \quad (02)$$

c) Índice de Perdas na Distribuição (IP_d):

$$IPd = \frac{\text{Volume (produzido + importado - de serviço)} - \text{volume consumido}}{\text{Volume de água (produzido + importado - de serviço)}} \quad (03)$$

d) Índice de Perdas por Ligação por dia (IP_L):

$$IPL = \frac{\text{Volume perdido anual}}{\text{Número de ligações} \times 365} \text{ (L/ligação/dia)} \quad (04)$$

e) Índice de Perda de Água por Extensão de Rede (IP_e):

$$IPE = \frac{\text{Volume perdido anual}}{\text{Extensão de rede} \times 365} \text{ (m}^3\text{/Km de rede/dia)} \quad (05)$$

Liemberg *et al.* (2018, tradução nossa) separam o desempenho técnico de uma rede de distribuição em categorias, de acordo com o resultado das perdas por ligação por dia, em litros, conforme tabela 03:

Tabela 03 – Categorias de desempenho técnico de uma rede de distribuição

Categoria de desempenho técnico		Perdas reais em litros/ligação/dia (quando o sistema está pressurizado em uma pressão média de:)				
		10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
Países desenvolvidos	A		<50	<75	<100	<125
	B		50 – 100	75 – 150	100 – 200	125 – 250
	C		100 – 200	150 – 300	200 – 400	250 – 500
	D		>200	>300	>400	>500
Países em desenvolvimento	A	<50	<100	<150	<200	<250
	B	50 – 100	100 – 200	150 – 300	200 – 400	250 – 500
	C	100 – 200	200 – 400	300 – 600	400 – 800	500 – 1000
	D	>200	>400	>600	>800	>1000

Adaptado de: Liemberg *et al.* (2018, tradução nossa)

A interpretação das bandas A a D segundo Liemberg *et al.* é a seguinte:

A – Uma redução adicional das perdas pode ser antieconômica, a menos que haja escassez.

B – Possibilidades de melhoria adicional.

C – Gestão deficiente de fugas, tolerável apenas se os recursos forem abundantes e baratos.

D – Uso muito ineficiente de recursos, indicativo de más manutenção e condição do sistema em geral.

Segundo Hamilton *et al.* (2006, tradução nossa), o nível das perdas pode ser influenciado por muitos fatores, incluindo as condições do solo, os materiais dos tubos, o regime de pressão etc. As condições do solo podem ter um grande efeito tanto nas perdas reais quanto na capacidade destas perdas serem identificadas e localizadas na superfície. A seleção correta dos materiais dos tubos e as especificações adequadas para a instalação dos mesmos, visando atender às diferentes condições do solo, bem como a implementação de modernos métodos de controle e detecção de vazamentos, podem ajudar a reduzir as perdas totais.

Tricarico *et al.* (2014, tradução nossa) considera que os vazamentos precisam ser minimizados porque podem afetar os custos operacionais do sistema, além de representar um volume perdido de recursos hídricos. Adachi *et al.* (2014, tradução nossa) acrescenta que a perda por vazamento é um problema sério para os serviços de água das cidades em crescimento dos países em desenvolvimento, principalmente porque o vazamento causa perda econômica, risco de contaminação e carga ambiental excessiva em termos de recursos hídricos e consumo de energia operacional.

Ishido *et al.* (2014, tradução nossa) conclui que a demora na detecção e reparo de um cano de água com falha pode levar a uma grande quantidade de perda de água e sérios danos à infraestrutura perto da falha.

2.4 Pressões Mínimas e Máximas

Gomes (2009a) considera que devem ser estabelecidos limites inferior e superior de pressão nas tubulações. O limite inferior deve ser garantido para assegurar que a água “chegue aos pontos de consumo com uma carga suficiente para vencer as perdas nas instalações prediais e alcançar as torneiras com a vazão adequada”. Já o estabelecimento de um limite superior reduz o custo energético de bombeamento e o custo das tubulações requeridas, além de diminuir as possibilidades de ruptura nas tubulações e as perdas de água.

Do ponto de vista da necessidade de redução de vazamentos, é correto dizer que a pressão mínima permissível deve ser utilizada em todos os casos durante o maior tempo possível (HAMILTON *et al.*, 2006, tradução nossa). Kanakoudis *et al.* (2014, tradução nossa) assegura que as concessionárias de água que recentemente seguiram a política de gerenciamento de pressão estão descobrindo que há vantagens como reduzir as taxas de vazamento e os custos de reparo de ruptura.

A NBR 12.218 (ABNT, 2017) estabelece que a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras seja de 400 kPa, podendo chegar a 500 kPa em regiões com topografia acidentada. Já a pressão dinâmica mínima deve ser de 100 kPa, referenciada ao nível do terreno. A pressão estática disponível configura a “pressão em determinado ponto da tubulação, referenciada ao nível do terreno, sob condição de consumo nulo”. Já a pressão dinâmica é obtida sob condição de consumo.

A Compesa, através da Norma Interna SOP-92 (Compesa, 2004), estabelece como limites para a pressão dinâmica mínima e pressão estática máxima os valores de 6 e 30 mca respectivamente, podendo a pressão estática máxima chegar a 40 mca em cidades com grandes irregularidades topográficas quando for feito estudo preliminar de alternativas baseado em aspectos econômicos e operacionais.

2.5 Fator de pesquisa

O fator de pesquisa (FP), segundo Rezende (2006), é a razão entre a vazão mínima noturna de uma área e sua vazão média diária, expressa em percentual.

Bressani (2011) considera o FP um indicador da existência de vazamentos na área estudada, sendo expresso pela equação 06:

$$FP = (Vazão\ mínima\ noturna / Vazão\ média) \times 100 \quad (06)$$

Santos (2013) considera o FP como um parâmetro com fortes indicações sobre a existência de vazamentos no setor. Valores de FP acima de 0,30 já indicam a existência de vazamentos economicamente detectáveis, sendo que quanto maior o valor, maior o potencial de vazamentos não visíveis, havendo a necessidade de trabalhos de pesquisa acústica.

2.6 EPANET

A modelagem hidráulica de redes de distribuição de água é uma parte extremamente importante do fornecimento de água confiável e acessível a grandes populações (KSHIRSAGAR *et al.*, 2014, tradução nossa).

EPANET é um “programa computacional que permite simular o comportamento hidráulico de um sistema pressurizado de distribuição de água ao longo do tempo” (GOMES, 2009a). É utilizado para obtenção de valores de vazão nos trechos, pressão nos nós e altura nos reservatórios, além de parâmetros de qualidade da água ao longo da rede de distribuição, como a concentração de elementos químicos.

Foi desenvolvido pela *U. S. Environmental Protection Agency* (USEPA), sendo um simulador de sistemas de água amplamente testado e com boa credibilidade (ROSSMAN, 2009).

Pode ser utilizado como ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição de água para abastecimento, permitindo que se conheça melhor o sistema de abastecimento com relação a suas variáveis hidráulicas (vazão e pressão). É um programa de grandes valia e versatilidade cada vez mais utilizado por profissionais de diferentes países, e também uma grande ferramenta pedagógica

para auxiliar o ensino de hidráulica pressurizada de sistemas de distribuição. (GOMES, 2009a).

É o programa de modelagem hidráulica e de qualidade da água mais empregado no mundo. Sua versão para a língua portuguesa falada e escrita no Brasil é uma iniciativa do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS), do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) (ROSSMAN, 2009).

3 METODOLOGIA

Para este trabalho foi realizada a avaliação da rede de distribuição de um distrito do sistema de abastecimento de água do Recife, através da comparação dos indicadores de oferta (vazão e pressão) apresentados e pelos modelos hidráulicos das redes projetada e executada, além da comparação deste último com os dados coletados pelo sistema de monitoramento da Compesa.

Tal revisão foi feita após a conclusão do cadastramento técnico no distrito em referência, tendo em vista que a rede executada não necessariamente obedece ao previsto no projeto executivo, podendo ocorrer variações quanto aos comprimentos, diâmetros e materiais previstos devido a necessidades de alterações encontradas no decorrer das obras. Portanto foi realizada a comparação entre a rede projetada e a rede executada, identificando e conceituando as divergências, e fazendo nova simulação com o *software* e os parâmetros do projeto original, a fim de se obter um cenário de simulação hidráulica de projeto com a situação do cadastro.

3.1 Obtenção de informações do projeto e da obra

Em reuniões presenciais com o corpo técnico da Compesa foram coletadas informações acerca do sistema de abastecimento de água do Recife, das obras de adequação que estão sendo executadas, e do sistema de controle operacional da concessionária. Tais reuniões foram fundamentais para a ciência dos dados disponíveis, visando à definição do objeto de estudo.

Nestas reuniões, foram disponibilizados os projetos executivos, simulações hidráulicas e cadastros técnicos referentes aos distritos localizados na zona sul da cidade do Recife, pois estes distritos estavam com as obras de setorização mais adiantadas, podendo dispor dos dados de operação. Os distritos disponibilizados foram os de número 38, 39, 41, 42, 44A, 44B, 45, 46, 48, 48A e 49.

A figura 01 apresenta a localização geográfica dos distritos em referência dentro da Gerência Centro.

Figura 01 – Mapa geral de distribuição da Gerência Centro



Fonte: Compesa (2016)

Mostrou-se necessário conhecer os projetos das redes disponibilizadas, bem como as eventuais alterações que tiverem ocorrido durante a fase de obras, visto que estas alterações poderiam alterar o comportamento hidráulico da rede, com repercussões nas vazões e pressões disponibilizadas. Sendo assim, o levantamento de informações procurou:

- Levantar e conhecer o projeto proposto para as redes em pré-análise, através dos projetos executivos e dos modelos hidráulicos;
- Levantar os dados previstos de oferta (vazão e pressão) do sistema de abastecimento de água;
- Identificar os materiais, diâmetros e comprimentos da tubulação efetivamente executada através do cadastro técnico e das plantas de obra;
- Buscar informações preliminares de quais distritos contavam com os dados reais de operação do sistema após a obra de setorização.

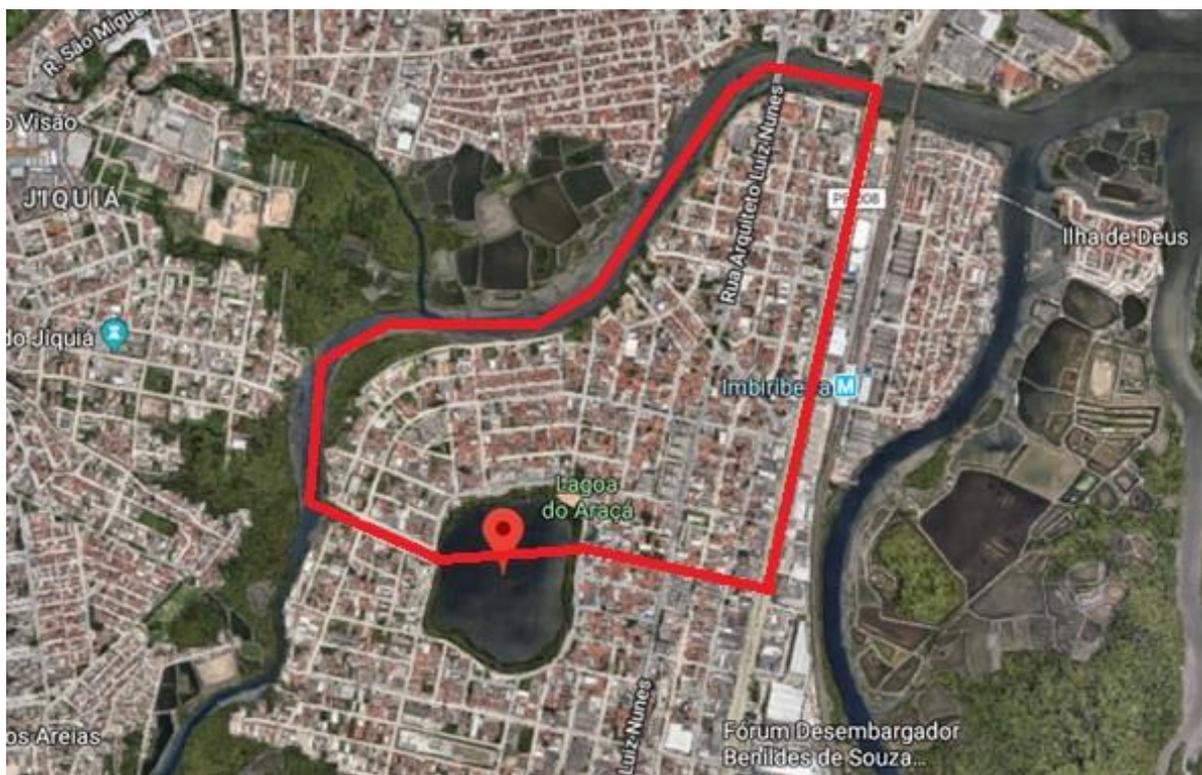
Visto isso, foram preliminarmente definidos quais os distritos da rede que estavam aptos a ser objeto do estudo.

3.2 Definição do objeto de estudo

A obtenção de informações objeto do subitem anterior mostrou que haviam sido concluídas as obras nos distritos 41, 42 e 45. Devido à maior disponibilidade de dados operacionais no Distrito 42 foi decidido que este seria o objeto de estudo desta pesquisa.

O Distrito 42 situa-se na região oeste da cidade do Recife, no bairro da Imbiribeira. É limitado pela avenida Mal. Mascarenhas de Moraes a leste, avenida Nicolau Copérnico ao norte, rio Tejipió a oeste e avenida José Ferreira e ruas Cônego Lira, Padre Carlos Leôncio, Pianista Isnar Mariano, José Nogueira, Engenheiro José Brandão Cavalcante e Amélia Xavier Sampaio ao sul. Ocupa uma área aproximada de 95,1 ha e contava com uma população estimada de 8.544 habitantes em 2010. Para o ano de 2030 a população estimada é de 9.641 habitantes (ABF/ETEP, 2010). A figura 02 mostra a localização do Distrito 42.

Figura 02 - Distrito 42 – Localização geográfica



(Fonte: Google Maps, 2018, alterado)

Conta com suas obras da rede de distribuição e alimentadores concluídas, além de três pontos de monitoramento da Compesa com dados disponíveis relativos à pressão e vazão no sistema, referentes a todo o ano de 2016, salvo eventuais falhas de medição ou de comunicação do aparelho com o sistema de controle operacional. Seu alimentador principal está localizado no cruzamento das ruas Zeferino Pinho e Olívia Menelau, e consiste de uma interligação de DN 300 mm no alimentador de DN 1.200 mm. Dispõe de medidor de vazão eletromagnético do tipo carretel.

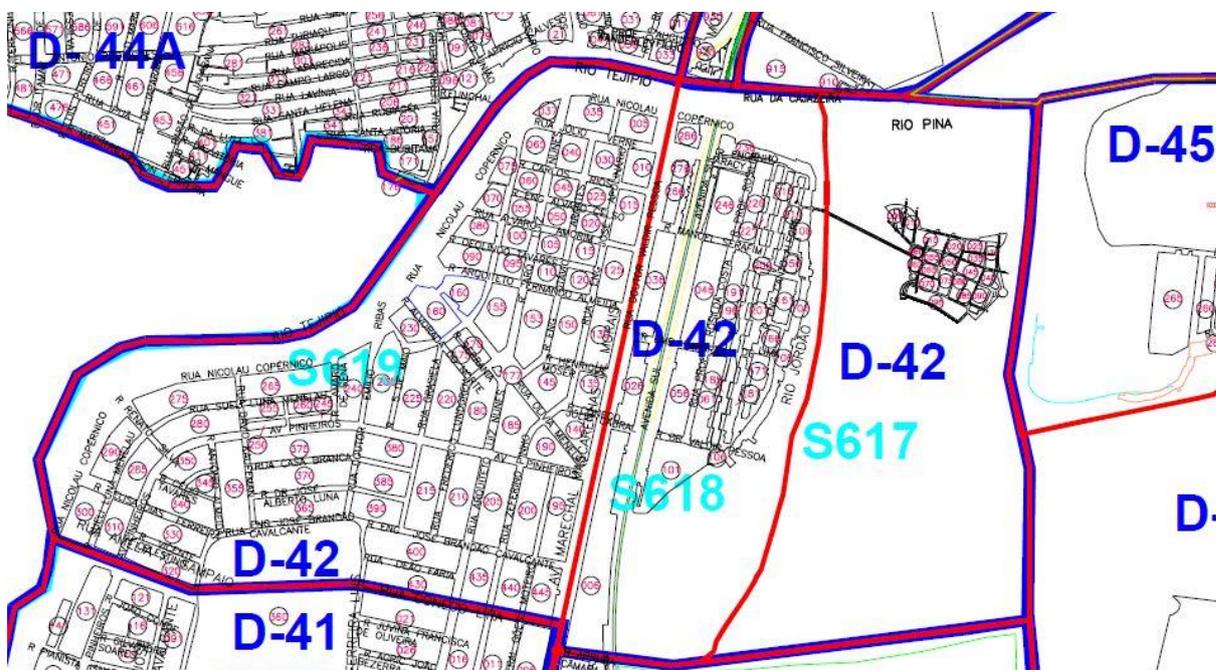
Possui três setores comerciais, a saber:

- S619 – situado a oeste da av. Mal. Mascarenhas de Moraes;
- S618 – Situado entre a av. Mal Mascarenhas de Moraes e o manguezal;
- S617 – Comunidade intitulada 'Ilha de Deus', situada dentro do manguezal.

O distrito situa-se, de acordo com a divisão dentro da Gerência de Controle Operacional da Compesa, na Diretoria Regional Metropolitana (DRM), Gerência Centro (GNM Centro), Unidade de Negócio Metropolitana Centro (UMC).

Pode-se observar na figura 03 a divisão dos três setores comerciais que compõem o D-42.

Figura 03 – Setores comerciais do D-42.



Fonte: Compesa

Podemos ver na tabela 04 a evolução nos dados físicos e comerciais da UMC entre os anos de 2012 e 2016, de acordo com os relatórios do Sistema de Informações Operacionais da Compesa, dados coletados sempre no mês de dezembro:

Tabela 04 – Dados físicos e operacionais da rede de distribuição da UMC entre 2012 e 2016.

Ano	Números de Ligações Ativas	Número de Economias Ativas	População Abastec. (Hab)	Volume Distribuído (m ³)	Per Cap. Médio (L/hab.dia)	Índice de Perdas Faturamento (%)	Índice de Perdas Físicas (%)
2012	92.343	171.078	558.763	6.705.127	387,10	58,67	63,20
2013	88.223	169.400	550.858	5.192.092	304,05	47,95	54,51
2014	88.881	175.423	496.132	6.214.148	404,04	56,26	62,42
2015	89.558	180.260	510.926	5.907.038	372,95	52,57	59,24
2016	91.536	185.987	524.011	6.545.420	402,94	58,44	62,00

Fonte: COMPESA (2012 a 2016)

3.3 Análise da rede antiga

A rede pré-existente no Distrito 42 consistia de tubulação e conexões com longo tempo de uso e materiais e diâmetros diversos, inadequados à necessidade local e futura do setor. Foram encontrados diâmetros variando desde 75 até 1200 mm, nos seguintes materiais: aço (menos de 1%), cimento amianto (15,89%), ferro fundido (10,62%), PVC (72,27%) e PVC DEFOFO (menos de 1%), além de 7,26 metros de rede com material desconhecido. A tabela 05 mostra a base cadastral existente.

Tabela 05 – Distribuição da tubulação pré-existente no D-42.

DIÂMETRO (mm)	MATERIAL						EXTENSÃO (m)
	Aço	Cimento Amianto	PVC DEFOFO	Ferro Fundido	PVC	Desconhecido	
75*					2.963,75		2.963,75
85					71,55	2,06	73,61
100		1.357,38		96,75	11.266,48		12.720,61
150		2.135,56		2,82	1.525,82	5,20	3.669,40
200				1.949,56	54,24		2.003,80
250				118,01			118,01
300			182,94	167,27			350,21
400	77,33						77,33
750				3.972,46			3.972,46
1200				1.544,61			1.544,61
TOTAL	77,33	3.492,94	182,94	7.851,48	15.881,84	7,26	27.493,79

Fonte: (ABF/ETEP, 2010)

A alimentação do distrito era feita através de uma derivação da linha de 1.200 mm conhecida por Anel do Araçá, porém com diversos pontos de interligação com outros distritos, inclusive com ligação às duas linhas de 750 mm na avenida Marechal Mascarenhas de Moraes, abastecidas pelo sistema Gurjaú/Matapagipe (ABF/ETEP, 2010).

Os coeficientes de rugosidade dos tubos foram sensivelmente alterados devido à idade dos mesmos, sendo adotados valores referentes a tubulações com vinte anos de idade, conforme tabela 06:

Tabela 06 – Coeficientes de rugosidade considerados

Material	Descrição	Coeficientes de rugosidade (20 anos)
F.F.	Ferro Fundido	105
C.A.	Cimento Amianto	120
DEFOFO	PVC (Diâmetro Equivalente a Ferro Fundido)	130
PVC	PVC	130
DESC.	Desconhecido	106
PEAD	Polietileno de Alta Densidade	130
DEFOFO Projetado	PVC (Equivalente a F.F.)	140
PVC Projetado	PVC	140
F.F. Projetado	Ferro Fundido	130

Fonte: (ABF/ETEP, 2010)

3.4 Rede projetada

Como o projeto de setorização anterior havia sido elaborado na década de 1970, foi necessária a adequação de diversos parâmetros de projeto para a elaboração de novo modelo hidráulico e novo dimensionamento. Uma adequação, e talvez a principal, foi a implantação de um Setor de Medição e Controle (SMC).

De acordo com a NBR 12.218/2017, para proporcionar controle e eficiência, um DMC deve apresentar uma das seguintes características:

- “Máximo de 5.000 ligações;”
- “Extensão máxima de 25 km de rede do DMC.”

Além dessas características, Santos (2013) aponta como recomendações:

- “Área estanque, não se admitindo fluxo entre áreas vizinhas;”
- “Existência de ponto de medição de vazão e pressão na entrada.”

Os cadastros técnico e comercial da concessionária apontavam a existência de aproximadamente 1.400 ligações e 22 km de rede de distribuição, sendo este distrito habilitável para a implantação do DMC de acordo com os parâmetros apresentados.

O estudo realizado (ABF/ETEP, 2010) simulou quatro cenários considerando um alcance do projeto até o ano de 2030, a saber:

- Cenário 1: considerou as condições de projeto, com perda real de 25% da vazão total e coeficientes de rugosidade da tubulação pré-existente consideradas na idade de 20 anos, conforme tabela 06, resultou em uma pressão mínima de 11,20 mca.
- Cenário 2: rugosidades diminuídas em 20 unidades em relação ao cenário 1, de modo a analisar o comportamento da rede em uma situação mais crítica. As rugosidades consideradas foram as constantes da tabela 07. Para este cenário, as pressões tiveram seu valor mínimo em 10,72 mca, sendo consideradas satisfatórias.
- Cenário 3: rugosidade da rede correspondentes a 20 anos ou mais, com perda de 700 L/lig.dia. A pressão mínima encontrada foi de 10,87 mca.
- Cenário 4: simulação considerando a redução das rugosidades em 20 unidades, conforme tabela 07, e a perda de 700 L/lig.dia. A pressão mínima encontrada foi de 10,27 mca, o que atendeu aos estabelecidos pela norma da Compesa e pela NBR 12.218:2017.

Tabela 07 – Coeficientes de rugosidade para os cenários 2 e 4

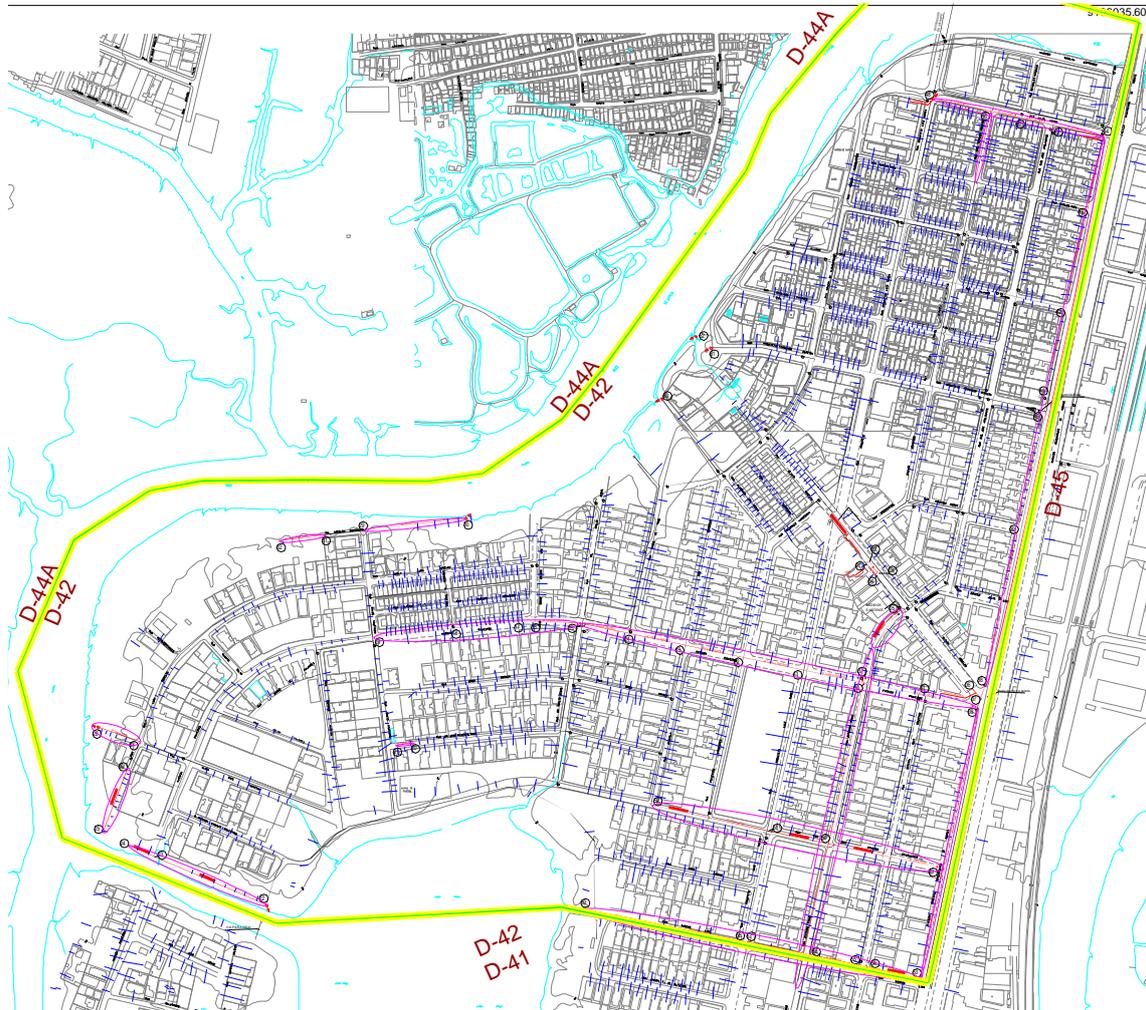
Material	Descrição	Coeficientes de Rugosidade - cenários 2 e 4
F.F.	Ferro Fundido	85
C.A	Cimento Amianto	100
DEFOFO	PVC (equivalente a F.F.)	110
PVC	PVC	110
DESC.	Desconhecido	86
PEAD	Polietileno Alta Densidade	110
DEFOFO Projetado	PVC (equivalente a F.F.)	130
PVC Projetado	PVC	130
F.F. Projetado	PVC	105

Fonte: (ABF/ETEP, 2010)

O dimensionamento da tubulação foi baseado no cenário 1, sendo os demais cenários utilizados para verificações de funcionamento, simulando as situações extremas descritas acima. Observa-se na figura 04 uma representação da rede de

distribuição projetada. Vale salientar que na fase de projeto, apenas o S619 faria parte do Distrito 42, sendo os demais setores incluídos durante as obras.

Figura 04 - Representação da solução projetada, indicando apenas o S619.



Fonte: (ABF/ETEP, 2010)

3.5 Rede executada

De acordo com o cadastro técnico, obtido em reuniões com a construtora responsável pelas obras e com a Compesa, alguns trechos não foram executados fidedignamente em relação ao projeto. Tais alterações se deram por impossibilidade de obras em determinado trecho da av. Mal. Mascarenhas de Moraes, pela necessidade de se incluir o abastecimento dos setores S617 e S618, além de outras

necessidades pontuais, e foram executadas sob solicitação e/ou autorização da Compesa e registradas em diário de obra.

Os setores S617 e S618 seriam inicialmente abastecidos pelo Distrito 48A, porém por motivos de maior proximidade e pressões disponíveis, foi solicitada pela equipe técnica da Compesa a alteração para o abastecimento pelo Distrito 42.

As demais alterações pontuais são a seguir relatadas:

- Av. Mal. Mascarenhas de Moraes, entre a R. Cônego Lira e a R. Arq. Fernando Almeida – Neste trecho foi verificado que a tubulação existente de cimento amianto com 150 mm de diâmetro não foi trocada por impossibilidade de obras nas calçadas, tubulação esta que foi considerada na simulação do cadastro técnico.
- Av. Mal. Mascarenhas de Moraes, entre a R. Arq. Fernando Almeida e a R. Júlio Verne – o projeto previa a substituição da tubulação existente por uma tubulação de 150 mm de diâmetro de PVC DEFOFO. A tubulação executada foi de 100 mm de diâmetro de ferro fundido.
- R. Cônego Lira, na intersecção com a R. Gen. Góes Monteiro – foi realizada a ligação entre dois trechos de tubulação que seriam independentes de acordo com o projeto original.
- R. Gen. Góes Monteiro, entre a R. Cônego Lira e a Av. Pinheiros – a tubulação de 100 mm de diâmetro de PVC existente, que não seria trocada, foi substituída por uma de 150 mm de diâmetro de PVC DEFOFO para reforçar o abastecimento na av. Mal. Mascarenhas de Moraes.
- R. Eng. José Apolinário, entre a R. Cônego Júlio Cabral e a R. Júlio Verne - a tubulação de 85 mm de diâmetro de PVC existente, que não seria trocada, foi substituída por uma de 150 mm de diâmetro de PVC DEFOFO para reforçar o abastecimento na av. Mal. Mascarenhas de Moraes.
- R. Eng. José Apolinário, entre a R. Henrique Moser e a R. Arq. Fernando Almeida – Foi incluído um tubo de 85 mm de diâmetro de PVC para contemplar o abastecimento dos setores comerciais S617 e S618. Estas localidades seriam abastecidas através da tubulação do Distrito 48A, porém durante a obra, por motivos técnicos, a Compesa decidiu que a alimentação se daria pelo Distrito 42.

- R. Suely Luna Menelau, entre a R. David Kauffman e R. Pastor Amaro - a tubulação de 150 mm de diâmetro de PVC existente, que não seria trocada, foi substituída por uma de 100 mm de diâmetro de PVC DEFOFO.

Os demais trechos de abastecimento foram executados conforme o projeto elaborado.

3.6 Comparativo entre as redes

Após atualizado o modelo hidráulico no *software* EPANET com os dados obtidos no cadastro técnico e nas reuniões com a Compesa e com a construtora (rede executada), foi feita nova simulação dos cenários 1 (situação hidráulica padrão) e 4 (situação mais crítica).

A primeira simulação, utilizando o cenário 1 da rede executada, visou comparar os dados de vazão e pressão na rede, de modo a verificar qual a margem de erro entre o modelo hidráulico e os dados reais. Já com a segunda, onde foi utilizado o pior cenário do projeto original (cenário 4), procurou-se verificar se as alterações realizadas comprometeriam os resultados da rede no cenário futuro.

Para realizar a comparação hidráulica entre a rede projetada e a rede executada foi implantada no *software* EPANET a situação referente ao cadastro técnico obtido junto à empresa contratada para realizar as obras de setorização, considerando-se os mesmos parâmetros hidráulicos do EPANET adotados pelo projetista quando do desenvolvimento do projeto original dos cenários 1 e 4.

Assim, foram obtidos os modelos hidráulicos referentes à rede executada no cenário 1, considerado o parâmetro para elaboração do projeto da rede de distribuição, e no cenário 4, considerado o mais desfavorável.

3.6.1 Panoramas estudados

Para estudo das variações entre as pressões e vazões dos modelos hidráulicos foram elaborados quatro panoramas de comparação, a saber:

- Panorama A: comparação entre os cenários 1 e 4 da rede projetada.
- Panorama B: comparação entre os cenários 1 e 4 da rede executada.
- Panorama C: comparação entre o cenário 1 da rede projetada e o cenário 1 da rede executada.
- Panorama D: comparação entre o cenário 4 da rede projetada e o cenário 4 da rede executada.

A tabela 08 demonstra os objetos de comparação de cada panorama:

Tabela 08 – Demonstrativo dos panoramas de comparação

Panorama	Rede Projetada		Rede executada	
	Cenário 1	Cenário 4	Cenário 1	Cenário 4
A	X	X		
B			X	X
C	X		X	
D		X		X

Fonte: Autor

3.6.2 Comparação entre as pressões nos nós das simulações hidráulicas

Para a comparação, foram adotados como locais de referência os nós e trechos existentes nas ruas que sofreram as maiores alterações em relação ao projeto original. As ruas adotadas foram as seguintes:

- Av. Mal. Mascarenhas de Moraes;
- Rua Gen. Góes Monteiro;
- Rua Eng. José Apolinário;
- Av. Pinheiros;
- Rua Suely Luna Menelau.

Observou-se na rua Eng. José Apolinário a inserção na rede executada de dois novos nós, além da exclusão de um nó do projeto, tendo o total de nós mudado de 12 para 13. Porém, para efeito da comparação das pressões nos nós, foram considerados apenas os nós que não foram alterados. Na rua Suely Luna Menelau ressalta-se o fato de na mesma estar situado o ponto crítico (PC), ponto de mais

baixa pressão da rede de distribuição do distrito, conforme informação obtida na Compesa.

Para os panoramas A e B, a variação de pressão foi obtida através da equação 07:

$$V(\%) = \frac{P_4 - P_1}{P_1} \times 100 \quad (07)$$

Onde:

V(%) = Variação percentual;

P4 = Pressão disponível no cenário 4 para o nó em questão; e

P1 = Pressão disponível no cenário 1 para o nó em questão.

Para os panoramas C e D, a variação de pressão foi obtida através da equação 08:

$$V(\%) = \frac{PRE - PRP}{PRP} \times 100 \quad (08)$$

Onde:

V(%) = Variação percentual;

PRE = Pressão disponível na rede executada para o nó em questão;

PRP = Pressão disponível na rede projetada para o nó em questão.

3.6.3 Comparação entre as vazões nos trechos das simulações hidráulicas

Para o comparativo das vazões foram considerados os mesmos panoramas e ruas dos comparativos das pressões, conforme descrito no item 3.7. Observou-se a inclusão de novos trechos nas ruas Gen. Góis Monteiro (passou de três para cinco), na rua Eng. José Apolinário (de dez para onze) e na rua Suely Luna Menelau (de seis para sete). Porém, para efeito da comparação das vazões nos trechos, foram considerados apenas os trechos que não foram alterados.

Este comparativo está sendo apresentado para efeito de análise, porém os resultados não tem efeito hidráulico significativo. Em uma rede de distribuição de

água o que importa para o consumidor é que ele receba água com vazão e pressão adequadas, não importando o sentido da vazão no tubo de distribuição.

Para os panoramas A e B, a variação da vazão foi calculada através da equação 09:

$$V(\%) = \frac{Q^4 - Q_1}{Q_1} \times 100 \quad (09)$$

Onde:

V(%) = Variação percentual;

Q4 = Vazão disponível no cenário 4 para o tubo em questão;

Q1 = vazão disponível no cenário 1 para o tubo em questão.

Para os panoramas C e D, a variação da vazão foi calculada através da equação 10 :

$$V(\%) = \frac{QRE - QRP}{QP} \times 100 \quad (10)$$

Onde:

V(%) = Variação percentual;

QRE = Vazão disponível na rede executada para o tubo em questão; e

QRP = Vazão disponível na rede projetada para o tubo em questão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados das simulações e comparativos entre as pressões e vazões em cada um dos panoramas e ruas selecionadas, além dos balanços de massa nos nós onde ocorreram as maiores variações de vazão.

Também é demonstrada a análise comparativa entre as pressões do modelo hidráulico e as pressões encontradas na rede de abastecimento, e o cálculo do fator de pesquisa (FP).

4.1 Comparativo entre as pressões da rede projetada e da rede executada

Neste tópico é demonstrado o comparativo entre as pressões das redes projetada e executada nas ruas selecionadas, em cada um dos panoramas de estudo.

4.1.1 Panorama A

Este panorama visou a obtenção da variação percentual entre as pressões disponíveis nos cenários 1 e 4 da rede projetada, nas ruas supramencionadas.

Os resultados obtidos estão descritos a seguir e demonstrados nas tabelas 09 a 13:

- a) Av. Mal. Mascarenhas de Moraes: as pressões variaram entre -4,82% e -4,44%, com média de -4,58%. As menores pressões encontradas foram de 11,82 mca no cenário 1 e 11,25 mca no cenário 4.

Tabela 09 – Variação das pressões Panorama A – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes

Nó	Pressão no Cenário 1 (mca)	Pressão no Cenário 4 (mca)	Variação (%)
8646	11,82	11,25	-4,82%
8673	11,92	11,35	-4,78%
10246	12,15	11,60	-4,53%
75023	12,16	11,60	-4,61%
10669	12,16	11,61	-4,52%
7333	12,29	11,73	-4,56%
7332	12,39	11,84	-4,44%
7315	12,39	11,84	-4,44%
7314	12,49	11,93	-4,48%
7313	12,69	12,12	-4,49%
7299	12,19	11,61	-4,76%
		Média:	-4,58%

Fonte: Autor

- b) Rua Gen. Góes Monteiro: as pressões variaram entre -5,16% e -4,53%, com média de -4,74%. As menores pressões encontradas foram de 11,82 mca no cenário 1 e 11,22 mca no cenário 4.

Tabela 10 – Variação das pressões Panorama A – R. Gen. Góes Monteiro

Nó	Pressão no Cenário 1 (mca)	Pressão no Cenário 4 (mca)	Variação (%)
10383	11,83	11,22	-5,16%
247997	11,82	11,25	-4,82%
10391	11,94	11,38	-4,69%
10390	12,15	11,59	-4,61%
10390A	12,15	11,59	-4,61%
10240	12,15	11,60	-4,53%
		Média:	-4,74%

Fonte: Autor

- c) Rua Eng. José Apolinário: as pressões variaram entre -4,68% e -3,97%, com média de -4,48%. As menores pressões encontradas foram de 12,18 mca no cenário 1 e 11,61 mca no cenário 4.

Tabela 11 – Variação das pressões Panorama A – R. Eng. José Apolinário

Nó	Pressão no Cenário 1 (mca)	Pressão no Cenário 4 (mca)	Variação (%)
7772	12,35	11,86	-3,97%
7771	12,35	11,86	-3,97%
7505	12,49	11,94	-4,40%
7505A	12,49	11,94	-4,40%
7487	12,59	12,01	-4,61%
7487A	12,59	12,01	-4,61%
7486	12,58	12,01	-4,53%
7486A	12,58	12,01	-4,53%
7485	12,18	11,61	-4,68%
7485A	12,18	11,61	-4,68%
7471	12,18	11,61	-4,68%
7384	12,18	11,61	-4,68%
		Média:	-4,48%

Fonte: Autor

- d) Av. Pinheiros: as pressões variaram entre -8,22% e -4,53%, com média de -5,92%. As menores pressões encontradas foram de 11,32 mca no cenário 1 e 10,39 mca no cenário 4.

Tabela 12 – Variação das pressões Panorama A – Av. Pinheiros

Nó	Pressão no Cenário 1 (mca)	Pressão no Cenário 4 (mca)	Variação (%)
127004	11,32	10,39	-8,22%
126922	11,32	10,40	-8,13%
248492	11,42	10,50	-8,06%
126826	11,42	10,50	-8,06%
126806	11,54	10,63	-7,89%
126805	11,55	10,65	-7,79%
126831	11,69	10,81	-7,53%
126795	11,74	10,89	-7,24%
10209	11,88	11,09	-6,65%
8727	12,10	11,40	-5,79%
10229	12,18	11,52	-5,42%
10230A	12,19	11,53	-5,41%
10230	12,19	11,54	-5,33%
10231	12,20	11,55	-5,33%
10232A	12,20	11,55	-5,33%
10232	12,20	11,55	-5,33%
10233	12,24	11,62	-5,07%
8649	12,27	11,67	-4,89%
8576	12,21	11,63	-4,75%
10236	12,24	11,68	-4,58%
10237	12,15	11,60	-4,53%
10247	12,16	11,60	-4,61%
10239	12,15	11,60	-4,53%
10242	12,15	11,60	-4,53%
10245A	12,15	11,60	-4,53%
10245	12,15	11,60	-4,53%
		Média:	-5,92%

Fonte: Autor

- e) Rua Suely Luna Menelau: as pressões variaram entre -8,95% e -5,51%, com média de -7,78%. As menores pressões encontradas foram de 11,28 mca no cenário 1 e 10,27 mca no cenário 4.

Tabela 13 – Variação das pressões Panorama A - R. Suely Luna Menelau

Nó	Pressão no Cenário 1 (mca)	Pressão no Cenário 4 (mca)	Variação (%)
8498	12,26	11,58	-5,55%
250486	12,15	11,48	-5,51%
126793	11,71	10,83	-7,51%
126814	11,60	10,62	-8,45%
254534	11,49	10,49	-8,70%
126823	11,38	10,38	-8,79%
248494	11,38	10,38	-8,79%
127002	11,28	10,27	-8,95%
		Média:	-7,78%

Fonte: Autor

Neste panorama, como esperado, foram observadas variações negativas nas pressões. Tais variações ficaram entre -8,95% e -3,97%, com média de -5,54%. Tais variações foram ocasionadas pelas condições mais críticas do cenário 4 em relação ao cenário 1.

4.1.2 Panorama B

Este panorama visou a obtenção da variação percentual entre as pressões disponíveis nos cenários 1 e 4 da rede executada, nas ruas supramencionadas.

Os resultados obtidos estão descritos a seguir e demonstrados nas tabelas 14 a 18:

- a) Av. Mal. Mascarenhas de Moraes: as pressões variaram entre -3,63% e -3,07%, com média de -3,27%. As menores pressões encontradas foram de 11,73 mca no cenário 1 e 11,31 mca no cenário 4.

Tabela 14 – Variação das pressões Panorama B – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes

Nó	Pressão no Cenário 1 (mca)	Pressão no Cenário 4 (mca)	Variação (%)
8646	11,73	11,31	-3,58%
8673	11,84	11,41	-3,63%
10246	12,06	11,66	-3,32%
75023	12,07	11,67	-3,31%
10669	12,07	11,67	-3,31%
7333	12,18	11,79	-3,20%
7332	12,28	11,89	-3,18%
7315	12,28	11,90	-3,09%
7314	12,39	12,01	-3,07%
7313	12,59	12,20	-3,10%
7299	12,09	11,70	-3,23%
		Média:	-3,27%

Fonte: Autor

- b) Rua Gen. Góes Monteiro: as pressões variaram entre -3,66% e -3,32%, com média de -3,49%. As menores pressões encontradas foram de 11,74 mca no cenário 1 e 11,31 mca no cenário 4.

Tabela 15 – Variação das pressões Panorama B – R. Gen. Góes Monteiro

Nó	Pressão no Cenário 1 (mca)	Pressão no Cenário 4 (mca)	Variação (%)
10383	11,83	11,41	-3,55%
247997	11,74	11,31	-3,66%
10391	11,84	11,41	-3,63%
10390	12,06	11,65	-3,40%
10390A	12,06	11,65	-3,40%
10240	12,06	11,66	-3,32%
		Média:	-3,49%

Fonte: Autor

- c) Rua Eng. José Apolinário: as pressões variaram entre -3,22% e -2,78%, com média de -2,93%. As menores pressões encontradas foram de 12,10 mca no cenário 1 e 11,71 mca no cenário 4.

Tabela 16 – Variação das pressões Panorama B – R. Eng. José Apolinário

Nó	Pressão no Cenário 1 (mca)	Pressão no Cenário 4 (mca)	Variação (%)
7771	12,24	11,90	-2,78%
7505	12,42	12,06	-2,90%
7505A	12,42	12,06	-2,90%
7487	12,51	12,14	-2,96%
7487A	12,51	12,14	-2,96%
7486	12,51	12,13	-3,04%
7486A	12,51	12,13	-3,04%
7485	12,10	11,71	-3,22%
7485A	12,10	11,71	-3,22%
7471	12,10	11,71	-3,22%
7384	12,10	11,71	-3,22%
NP-11	14,82	14,49	-2,23%
NP-12	14,80	14,44	-2,43%
		Média:	-2,93%

Fonte: Autor

- d) Av. Pinheiros: as pressões variaram entre -6,53% e -3,31%, com média de -4,65%. As menores pressões encontradas foram de 11,33 mca no cenário 1 e 10,59 mca no cenário 4.

Tabela 17 – Variação das pressões Panorama B – Av. Pinheiros

Nó	Pressão no Cenário 1 (mca)	Pressão no Cenário 4 (mca)	Variação (%)
127004	11,33	10,59	-6,53%
126922	11,33	10,59	-6,53%
248492	11,43	10,69	-6,47%
126826	11,43	10,70	-6,39%
126806	11,55	10,83	-6,23%
126805	11,57	10,85	-6,22%
126831	11,71	11,01	-5,98%
126795	11,75	11,09	-5,62%
10209	11,85	11,23	-5,23%
8727	12,02	11,45	-4,74%
10229	12,11	11,58	-4,38%
10230A	12,12	11,59	-4,37%
10230	12,12	11,60	-4,29%

Tabela 17 – Variação das pressões Panorama B – Av. Pinheiros (continuação)

Nó	Pressão no Cenário 1 (mca)	Pressão no Cenário 4 (mca)	Variação (%)
10231	12,13	11,61	-4,29%
10232A	12,13	11,61	-4,29%
10232	12,13	11,61	-4,29%
10233	12,17	11,68	-4,03%
8649	12,20	11,73	-3,85%
8576	12,14	11,70	-3,62%
10236	12,16	11,74	-3,45%
10237	12,07	11,67	-3,31%
10247	12,08	11,67	-3,39%
10239	12,06	11,66	-3,32%
10242	12,06	11,66	-3,32%
10245A	12,06	11,66	-3,32%
10245	12,06	11,66	-3,32%
		Média:	-4,65%

Fonte: Autor

e) Rua Suely Luna Menelau: as pressões variaram entre -6,77% e -4,59%, com média de -6,09%. As menores pressões encontradas foram de 11,37 mca no cenário 1 e 10,60 mca no cenário 4.

Tabela 18 – Variação das pressões Panorama B – Rua Suely Luna Menelau

Nó	Pressão no Cenário 1 (mca)	Pressão no Cenário 4 (mca)	Variação (%)
8498	12,20	11,64	-4,59%
250486	11,80	11,16	-5,42%
126793	11,80	11,15	-5,51%
126814	11,69	10,94	-6,42%
254534	11,58	10,82	-6,56%
126823	11,47	10,70	-6,71%
248494	11,47	10,70	-6,71%
127002	11,37	10,60	-6,77%
		Média:	-6,09%

Fonte: Autor

Neste panorama, em consonância com o anterior, foram observadas variações negativas nas pressões entre -6,77% e -2,23%, com média de -4,13%.

Tais variações foram ocasionadas pelas condições mais críticas do cenário 4 em relação ao cenário 1.

4.1.3 Panorama C

Este panorama visou a obtenção da variação percentual entre as pressões disponíveis nas redes projetada e executada, no cenário 1, nas ruas supramencionadas.

Os resultados obtidos estão descritos a seguir e demonstrados nas tabelas 19 a 23:

- a) Av. Mal. Mascarenhas de Moraes: as pressões variaram entre -0,90% e -0,67%, com média de -0,79%. A menor pressão encontrada no cadastro foi de 11,73 mca, ante mínimo de 11,82 mca no projeto.

Tabela 19 – Variação das pressões Panorama C – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes

Nó	Pressão na rede projetada (mca)	Pressão na rede executada (mca)	Variação (%)
8646	11,82	11,73	-0,76%
8673	11,92	11,84	-0,67%
10246	12,15	12,06	-0,74%
75023	12,16	12,07	-0,74%
10669	12,16	12,07	-0,74%
7333	12,29	12,18	-0,90%
7332	12,39	12,28	-0,89%
7315	12,39	12,28	-0,89%
7314	12,49	12,39	-0,80%
7313	12,69	12,59	-0,79%
7299	12,19	12,09	-0,82%
		Média:	-0,79%

Fonte: Autor

- b) Rua Gen. Góes Monteiro: as pressões variaram entre -0,84% e 0,00%, com média de -0,62%. A menor pressão encontrada no cadastro foi de 11,74 mca, ante mínimo de 11,82 mca no projeto.

Tabela 20 – Variação das pressões Panorama C – R. Gen. Góes Monteiro

Nó	Pressão na rede projetada (mca)	Pressão na rede executada (mca)	Variação (%)
10383	11,83	11,83	0,00%
247997	11,82	11,74	-0,68%
10391	11,94	11,84	-0,84%
10390	12,15	12,06	-0,74%
10390A	12,15	12,06	-0,74%
10240	12,15	12,06	-0,74%
		Média:	-0,62%

Fonte: Autor

- c) Rua Eng. José Apolinário: as pressões variaram entre -0,89% e -0,56%, com média de -0,64%. A menor pressão encontrada no cadastro foi de 12,10 mca, ante mínimo de 12,18 mca no projeto.

Tabela 21 – Variação das pressões Panorama C – R. Eng. José Apolinário

Nó	Pressão na rede projetada (mca)	Pressão na rede executada (mca)	Variação (%)
7771	12,35	12,24	-0,89%
7505	12,49	12,42	-0,56%
7505A	12,49	12,42	-0,56%
7487	12,59	12,51	-0,64%
7487A	12,59	12,51	-0,64%
7486	12,58	12,51	-0,56%
7486A	12,58	12,51	-0,56%
7485	12,18	12,10	-0,66%
7485A	12,18	12,10	-0,66%
7471	12,18	12,10	-0,66%
7384	12,18	12,10	-0,66%
		Média:	-0,64%

Fonte: Autor

- d) Av. Pinheiros: as pressões variaram entre -0,74% e 0,17%, com média de -0,39%. A menor pressão encontrada no cadastro foi de 11,33 mca, ante mínimo de 11,32 mca no projeto.

Tabela 22 – Variação das pressões Panorama C – Av. Pinheiros

Nó	Pressão na rede projetada (mca)	Pressão na rede executada (mca)	Variação (%)
127004	11,32	11,33	0,09%
126922	11,32	11,33	0,09%
248492	11,42	11,43	0,09%
126826	11,42	11,43	0,09%
126806	11,54	11,55	0,09%
126805	11,55	11,57	0,17%
126831	11,69	11,71	0,17%
126795	11,74	11,75	0,09%
10209	11,88	11,85	-0,25%
8727	12,10	12,02	-0,66%
10229	12,18	12,11	-0,57%
10230A	12,19	12,12	-0,57%
10230	12,19	12,12	-0,57%
10231	12,20	12,13	-0,57%
10232A	12,20	12,13	-0,57%
10232	12,20	12,13	-0,57%
10233	12,24	12,17	-0,57%
8649	12,27	12,20	-0,57%
8576	12,21	12,14	-0,57%
10236	12,24	12,16	-0,65%
10237	12,15	12,07	-0,66%
10247	12,16	12,08	-0,66%
10239	12,15	12,06	-0,74%
10242	12,15	12,06	-0,74%
10245A	12,15	12,06	-0,74%
10245	12,15	12,06	-0,74%
		Média:	-0,39%

Fonte: Autor

- e) Rua Suely Luna Menelau: as pressões variaram entre -2,88% e 0,80%, com média de 0,17%. A menor pressão encontrada no cadastro foi de 11,37 mca, ante mínimo de 11,28 mca no projeto.

Tabela 23 – Variação das pressões Panorama C – Rua Suely Luna Menelau

Nó	Pressão na rede projetada (mca)	Pressão na rede executada (mca)	Variação (%)
8498	12,26	12,20	-0,49%
250486	12,15	11,80	-2,88%
126793	11,71	11,80	0,77%
126814	11,60	11,69	0,78%
254534	11,49	11,58	0,78%
126823	11,38	11,47	0,79%
248494	11,38	11,47	0,79%
127002	11,28	11,37	0,80%
		Média:	0,17%

Fonte: Autor

Neste panorama foram observadas variações nas pressões entre -0,90% e 0,80%, com média de -0,42%. Apenas um único trecho da rua Suely Luna Menelau apresentou uma variação de -2,88%. Tais variações indicam que as alterações executadas na obra não alteraram do ponto de vista operacional o desempenho hidráulico da rede.

4.1.4 Panorama D

Este panorama visou a obtenção da variação percentual entre as pressões disponíveis nas redes projetada e executada, no cenário 4, nas ruas supramencionadas.

Os resultados obtidos estão descritos a seguir e demonstrados nas tabelas 24 a 28:

- a) Av. Mal. Mascarenhas de Moraes: as pressões variaram entre 0,42% e 0,78%, com média de 0,57%. A menor pressão encontrada foi de 11,31 mca, ante mínimo de 11,25 mca no projeto.

Tabela 24 – Variação das pressões Panorama D – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes

Nó	Pressão na rede projetada (mca)	Pressão na rede executada (mca)	Variação (%)
8646	11,25	11,31	0,53%
8673	11,35	11,41	0,53%
10246	11,60	11,66	0,52%
75023	11,60	11,67	0,60%
10669	11,61	11,67	0,52%
7333	11,73	11,79	0,51%
7332	11,84	11,89	0,42%
7315	11,84	11,90	0,51%
7314	11,93	12,01	0,67%
7313	12,12	12,20	0,66%
7299	11,61	11,70	0,78%
		Média:	0,57%

Fonte: Autor

- b) Rua Gen. Góes Monteiro: as pressões variaram entre 0,26% e 1,69%, com média de 0,67%. A menor pressão encontrada foi de 11,31 mca, ante mínimo de 11,22 mca no projeto.

Tabela 25 – Variação das pressões Panorama D – R. Gen. Góes Monteiro

Nó	Pressão na rede projetada (mca)	Pressão na rede executada (mca)	Variação (%)
10383	11,22	11,41	1,69%
247997	11,25	11,31	0,53%
10391	11,38	11,41	0,26%
10390	11,59	11,65	0,52%
10390A	11,59	11,65	0,52%
10240	11,60	11,66	0,52%
		Média:	0,67%

Fonte: Autor

- c) Rua Eng. José Apolinário: as pressões variaram entre 0,34% e 1,08%, com média de 0,91%. A menor pressão encontrada foi de 11,71 mca, ante mínimo de 11,61 mca no projeto.

Tabela 26 – Variação das pressões Panorama D – R. Eng. José Apolinário

Nó	Pressão na rede projetada (mca)	Pressão na rede executada (mca)	Variação (%)
7771	11,86	11,90	0,34%
7505	11,94	12,06	1,01%
7505A	11,94	12,06	1,01%
7487	12,01	12,14	1,08%
7487A	12,01	12,14	1,08%
7486	12,01	12,13	1,00%
7486A	12,01	12,13	1,00%
7485	11,61	11,71	0,86%
7485A	11,61	11,71	0,86%
7471	11,61	11,71	0,86%
7384	11,61	11,71	0,86%
		Média:	0,91%

Fonte: Autor

- d) Av. Pinheiros: as pressões variaram entre 0,44% e 1,92%, com média de 0,97%. A menor pressão encontrada foi de 10,59 mca, ante mínimo de 10,39 mca no projeto.

Tabela 27 – Variação das pressões Panorama D – Av. Pinheiros

Nó	Pressão na rede projetada (mca)	Pressão na rede executada (mca)	Variação (%)
127004	10,39	10,59	1,92%
126922	10,40	10,59	1,83%
248492	10,50	10,69	1,81%
126826	10,50	10,70	1,90%
126806	10,63	10,83	1,88%
126805	10,65	10,85	1,88%
126831	10,81	11,01	1,85%
126795	10,89	11,09	1,84%
10209	11,09	11,23	1,26%
8727	11,40	11,45	0,44%
10229	11,52	11,58	0,52%
10230A	11,53	11,59	0,52%
10230	11,54	11,60	0,52%
10231	11,55	11,61	0,52%
10232A	11,55	11,61	0,52%

Tabela 27 – Variação das pressões Panorama D – Av. Pinheiros (continuação)

Nó	Pressão na rede projetada (mca)	Pressão na rede executada (mca)	Variação (%)
10232	11,55	11,61	0,52%
10233	11,62	11,68	0,52%
8649	11,67	11,73	0,51%
8576	11,63	11,70	0,60%
10236	11,68	11,74	0,51%
10237	11,60	11,67	0,60%
10247	11,60	11,67	0,60%
10239	11,60	11,66	0,52%
10242	11,60	11,66	0,52%
10245A	11,60	11,66	0,52%
10245	11,60	11,66	0,52%
		Média:	0,97%

Fonte: Autor

- e) Rua Suely Luna Menelau: as pressões variaram entre -2,79% e 3,21%, com média de 2,03%. A menor pressão encontrada foi de 10,60 mca, ante mínimo de 10,27 mca no projeto.

Tabela 28 – Variação das pressões Panorama D – Rua Suely Luna Menelau

Nó	Pressão na rede projetada (mca)	Pressão na rede executada (mca)	Variação (%)
8498	11,58	11,64	0,52%
250486	11,48	11,16	-2,79%
126793	10,83	11,15	2,95%
126814	10,62	10,94	3,01%
254534	10,49	10,82	3,15%
126823	10,38	10,70	3,08%
248494	10,38	10,70	3,08%
127002	10,27	10,60	3,21%
		Média:	2,03%

Fonte: Autor

Neste panorama foram observadas variações nas pressões entre 0,26% e 3,21%, com média de 1,06%. Apenas um único trecho da rua Suely Luna Menelau apresentou uma variação de -2,79%. Tais variações indicam que as alterações

executadas na obra não alteraram do ponto de vista operacional o desempenho hidráulico da rede.

4.1.5 Resumo das análises

Em geral, pôde-se observar que as variações de pressão tiveram em 83% da amostra pesquisada valores absolutos inferiores a 5%, tendo inclusive ocorrido variações positivas nas pressões, principalmente no cenário 4, podendo ser constatado que as alterações nas tubulações não trouxeram prejuízo hidráulico à rede.

Faz-se necessário observar ainda que todas as pressões simuladas, inclusive no cenário mais desfavorável, ficaram acima do patamar de 10 mca.

4.2 Comparativo entre as vazões da rede projetada e da rede executada

Neste tópico é demonstrado o comparativo entre as vazões das redes projetada e executada nas ruas selecionadas, em cada um dos panoramas de estudo.

4.2.1 Panorama A

Este panorama visou a obtenção da variação percentual entre as vazões disponíveis nos cenários 1 e 4 da rede projetada, nas ruas supramencionadas.

Os resultados obtidos estão descritos a seguir e demonstrados nas tabelas 29 a 33:

a) Av. Mal. Mascarenhas de Moraes:

Tabela 29 – Variação das vazões Panorama A – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes

Tubo	Vazão no Cenário 1 (L/s)	Vazão no Cenário 4 (L/s)	Variação (%)
20889	0,65	0,70	7,69%
20888	2,38	2,67	12,18%
72843	-3,84	-3,89	1,30%
72844	-2,05	-1,92	-6,34%
17512	2,15	2,04	-5,12%
17507	1,14	0,81	-28,95%
17506	-0,84	-1,43	70,24%
17488	-0,69	-1,18	71,01%
17487	-1,03	-1,52	47,57%
17486	-0,88	-1,31	48,86%
		Média:	21,85%

Fonte: Autor

b) Rua Gen. Góes Monteiro:

Tabela 30 – Variação das vazões Panorama A – R. Gen. Góes Monteiro

Tubo	Vazão no Cenário 1 (L/s)	Vazão no Cenário 4 (L/s)	Variação (%)
20868	0,29	0,32	10,34%
10390A	0,58	0,63	8,62%
20867	0,61	0,68	11,48%
		Média:	10,15%

Fonte: Autor

c) Rua Eng. José Apolinário:

Tabela 31 – Variação das vazões Panorama A – R. Eng. José Apolinário

Tubo	Vazão no Cenário 1 (L/s)	Vazão no Cenário 4 (L/s)	Variação (%)
17993	-0,63	-0,79	25,40%
7505A	-0,32	-0,46	43,75%
17706	-0,30	-0,42	40,00%
7487A	-0,20	-0,29	45,00%
17689	-0,18	-0,24	33,33%
7486A	-0,07	-0,11	57,14%
17688	-0,05	-0,06	20,00%

Tabela 31 – Variação das vazões Panorama A – R. Eng. José Apolinário (continuação)

Tubo	Vazão no Cenário 1 (L/s)	Vazão no Cenário 4 (L/s)	Variação (%)
7485A	0,06	0,07	16,67%
17687	0,08	0,12	50,00%
17673	-0,11	-0,05	-54,55%
		Média:	27,67%

Fonte: Autor

d) Av. Pinheiros:

Tabela 32 – Variação das vazões Panorama A – Av. Pinheiros

Tubo	Vazão no Cenário 1 (L/s)	Vazão no Cenário 4 (L/s)	Variação (%)
127434	-0,58	-0,63	8,62%
127344	-1,47	-1,49	1,36%
251429	-1,51	-1,58	4,64%
127231	-2,68	-2,97	10,82%
127207	2,94	3,18	8,16%
127236	3,36	3,63	8,04%
127206	4,69	5,08	8,32%
127308	7,92	8,92	12,63%
20640	-9,50	-10,69	12,53%
20661	-8,09	-9,30	14,96%
20662	-9,15	-10,49	14,64%
10230A	-9,17	-10,53	14,83%
20663	-9,19	-10,58	15,13%
20664	-5,25	-6,48	23,43%
10232A	-5,27	-6,52	23,72%
20665	-5,36	-6,64	23,88%
20669	-3,97	-4,98	25,44%
20670	-4,32	-5,24	21,30%
20671	-3,83	-4,48	16,97%
20672	-3,02	-3,33	10,26%
20682	-3,26	-3,69	13,19%
72561	1,40	1,95	39,29%
20675	-0,38	0,05	-113,16%
20677	-1,12	-0,79	-29,46%
20680	-1,26	-0,95	-24,60%

Tabela 32 – Variação das vazões Panorama A – Av. Pinheiros (continuação)

Tubo	Vazão no Cenário 1 (L/s)	Vazão no Cenário 4 (L/s)	Variação (%)
10245A	-1,28	-1,00	-21,88%
20681	-1,30	-1,04	-20,00%
		Média:	4,56%

Fonte: Autor

e) Rua Suely Luna Menelau:

Tabela 33 – Variação das vazões Panorama A - R. Suely Luna Menelau

Tubo	Vazão no Cenário 1 (L/s)	Vazão no Cenário 4 (L/s)	Variação (%)
Tubulação 19067	0,53	0,03	-94,34%
Tubulação 127224	-1,44	0,22	-115,28%
Tubulação 127227	1,02	0,16	-84,31%
Tubulação 252821	0,54	0,08	-85,19%
Tubulação 253950	0,14	0,02	-85,71%
Tubulação 251431	0,07	0,02	-71,43%
		Média:	-89,38%

Fonte: Autor

Neste panorama foram observadas variações nas vazões entre -115,28% e 71,01%, com média de 2,01%.

4.2.2 Panorama B

Este panorama visou a obtenção da variação percentual entre as vazões disponíveis nos cenários 1 e 4 da rede executada, nas ruas supramencionadas.

Os resultados obtidos estão descritos a seguir e demonstrados nas tabelas 34 a 38:

a) Av. Mal. Mascarenhas de Moraes:

Tabela 34 – Variação das vazões Panorama B – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes

Tubo	Vazão no Cenário 1 (L/s)	Vazão no Cenário 4 (L/s)	Variação (%)
20889	0,39	0,32	-17,95%
20888	1,86	2,06	10,75%
72843	-2,90	-3,54	22,07%
72844	-0,97	-1,40	44,33%
17512	1,07	1,53	42,99%
17507	-0,12	-0,09	-25,00%
17506	0,42	0,20	-52,38%
17488	0,57	0,45	-21,05%
17487	0,06	-0,13	-316,67%
17486	0,09	-0,08	-188,89%
		Média:	-50,18%

Fonte: Autor

b) Rua Gen. Góes Monteiro:

Tabela 35 – Variação das vazões Panorama B – R. Gen. Góes Monteiro

Tubo	Vazão no Cenário 1 (L/s)	Vazão no Cenário 4 (L/s)	Variação (%)
TP-13	-1,03	-1,17	13,59%
TP-14	1,29	1,54	19,38%
20868	1,58	1,86	17,72%
10390A	1,87	2,18	16,58%
20867	1,89	2,22	17,46%
		Média:	16,95%

Fonte: Autor

c) Rua Eng. José Apolinário:

Tabela 36 – Variação das vazões Panorama B – R. Eng. José Apolinário

Tubo	Vazão no Cenário 1 (L/s)	Vazão no Cenário 4 (L/s)	Variação (%)
17993	-1,89	-2,47	30,69%
7505A	-1,59	-2,14	34,59%
17706	-1,57	-2,09	33,12%
7487A	-1,47	-1,97	34,01%
17689	-1,45	-1,92	32,41%
7486A	-1,34	-1,79	33,58%
17688	-1,31	-1,74	32,82%
7485A	-1,20	-1,61	34,17%
17687	-1,18	-1,56	32,20%
17673	-1,26	-1,58	25,40%
TP-19	-0,37	-0,59	59,46%
		Média:	34,77%

Fonte: Autor

d) Av. Pinheiros:

Tabela 37 – Variação das vazões Panorama B – Av. Pinheiros

Tubo	Vazão no Cenário 1 (L/s)	Vazão no Cenário 4 (L/s)	Variação (%)
127434	-0,60	-0,65	8,33%
127344	-1,53	-0,65	-57,52%
251429	-1,57	-1,65	5,10%
127231	-2,74	-3,04	10,95%
127207	3,01	3,27	8,64%
127236	3,43	3,71	8,16%
127206	4,80	5,20	8,33%
127308	6,52	7,22	10,74%
20640	-8,16	-8,98	10,05%
20661	-8,66	-9,6	10,85%
20662	-9,72	-10,78	10,91%
10230A	-9,74	-10,83	11,19%
20663	-9,76	-10,87	11,37%
20664	-5,34	-6,47	21,16%
10232A	-5,36	-6,52	21,64%
20665	-5,46	-6,63	21,43%
20669	-3,87	-5,05	30,49%

Tabela 37 – Variação das vazões Panorama B – Av. Pinheiros (continuação)

Tubo	Vazão no Cenário 1 (L/s)	Vazão no Cenário 4 (L/s)	Variação (%)
20670	-4,15	-5,31	27,95%
20671	-3,52	-4,57	29,83%
20672	-2,53	-3,44	35,97%
20682	-2,76	-3,80	37,68%
72561	2,51	2,63	4,78%
20675	1,33	1,34	0,75%
20677	-0,70	-1,04	48,57%
20680	-0,83	-1,20	44,58%
10245A	-0,85	-1,25	47,06%
20681	-0,88	-1,29	46,59%
		Média:	17,61%

Fonte: Autor

e) Rua Suely Luna Menelau:

Tabela 38 – Variação das vazões Panorama B – Rua Suely Luna Menelau

Tubo	Vazão no Cenário 1 (L/s)	Vazão no Cenário 4 (L/s)	Variação (%)
19067	2,67	2,87	7,49%
TP-20	-2,15	-2,32	7,91%
127224	-1,44	-1,71	18,75%
127227	1,02	1,27	24,51%
252821	0,54	0,63	16,67%
253950	0,14	0,18	28,57%
251431	0,07	0,09	28,57%
		Média:	18,92%

Fonte: Autor

Neste panorama foram observadas variações nas vazões entre -316,67% e 59,46%, com média de 9,56%.

4.2.3 Panorama C

Este panorama visou a obtenção da variação percentual entre as vazões disponíveis nas redes projetada e executada, no cenário 1.

Os resultados obtidos estão descritos a seguir e demonstrados nas tabelas 39 a 43:

a) Av. Mal. Mascarenhas de Moraes:

Tabela 39 – Variação das vazões Panorama C – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes

Tubo	Vazão na rede projetada (L/s)	Vazão na rede executada (L/s)	Variação (%)
20889	0,65	0,39	-40,00%
20888	2,38	1,86	-21,85%
72843	-3,84	-2,90	-24,48%
72844	-2,05	-0,97	-52,68%
17512	2,15	1,07	-50,23%
17507	1,14	-0,12	-110,53%
17506	-0,84	0,42	-150,00%
17488	-0,69	0,57	-182,61%
17487	-1,03	0,06	-105,83%
17486	-0,88	0,09	-110,23%
		Média:	-84,84%

Fonte: Autor

b) Rua Gen. Góes Monteiro:

Tabela 40 – Variação das vazões Panorama C – R. Gen. Góes Monteiro

Tubo	Vazão na rede projetada (L/s)	Vazão na rede executada (L/s)	Variação (%)
20868	0,29	1,58	444,83%
10390A	0,58	1,87	222,41%
20867	0,61	1,89	209,84%
		Média:	292,36%

Fonte: Autor

c) Rua Eng. José Apolinário:

Tabela 41 – Variação das vazões Panorama C – R. Eng. José Apolinário

Tubo	Vazão na rede projetada (L/s)	Vazão na rede executada (L/s)	Variação (%)
17993	-0,63	-1,89	200,00%
7505A	-0,32	-1,59	396,88%
17706	-0,30	-1,57	423,33%
7487A	-0,20	-1,47	635,00%
17689	-0,18	-1,45	705,56%
7486A	-0,07	-1,34	1.814,29%
17688	-0,05	-1,31	2.520,00%
7485A	0,06	-1,20	-2.100,00%
17687	0,08	-1,18	-1.575,00%
17673	-0,11	-1,26	1.045,45%
		Média:	406,55%

Fonte: Autor

d) Av. Pinheiros:

Tabela 42 – Variação das vazões Panorama C – Av. Pinheiros

Tubo	Vazão na rede projetada (L/s)	Vazão na rede executada (L/s)	Variação (%)
127434	-0,58	-0,60	3,45%
127344	-1,47	-1,53	4,08%
251429	-1,51	-1,57	3,97%
127231	-2,68	-2,74	2,24%
127207	2,94	3,01	2,38%
127236	3,36	3,43	2,08%
127206	4,69	4,80	2,35%
127308	7,92	6,52	-17,68%
20640	-9,50	-8,16	-14,11%
20661	-8,09	-8,66	7,05%
20662	-9,15	-9,72	6,23%
10230A	-9,17	-9,74	6,22%
20663	-9,19	-9,76	6,20%
20664	-5,25	-5,34	1,71%
10232A	-5,27	-5,36	1,71%
20665	-5,36	-5,46	1,87%
20669	-3,97	-3,87	-2,52%
20670	-4,32	-4,15	-3,94%

Tabela 42 – Variação das vazões Panorama C – Av. Pinheiros (continuação)

Tubo	Vazão na rede projetada (L/s)	Vazão na rede executada (L/s)	Variação (%)
20671	-3,83	-3,52	-8,09%
20672	-3,02	-2,53	-16,23%
20682	-3,26	-2,76	-15,34%
72561	1,40	2,51	79,29%
20675	-0,38	1,33	-450,00%
20677	-1,12	-0,70	-37,50%
20680	-1,26	-0,83	-34,13%
10245A	-1,28	-0,85	-33,59%
20681	-1,30	-0,88	-32,31%
		Média:	-19,80%

Fonte: Autor

e) Rua Suely Luna Menelau:

Tabela 43 – Variação das vazões Panorama C – Rua Suely Luna Menelau

Tubo	Vazão na rede projetada (L/s)	Vazão na rede executada (L/s)	Variação (%)
19067	0,53	2,67	403,77%
127224	-1,44	-1,44	0,00%
127227	1,02	1,02	0,00%
252821	0,54	0,54	0,00%
253950	0,14	0,14	0,00%
251431	0,07	0,07	0,00%
		Média:	67,30%

Fonte: Autor

Neste panorama foram observadas variações nas vazões entre -2.100,00% e 2.500,00%, com média de 72,65%. As variações menores que -100% indicam que houve, além da variação da vazão, mudança no sentido do escoamento.

Tais variações indicam que as alterações executadas na obra merecem ser melhor estudadas, de modo a verificar se a demanda em cada nó continua sendo atendida.

4.2.4 Panorama D

Este panorama visou a obtenção da variação percentual entre as vazões disponíveis nas redes projetada e executada, no cenário 4.

Os resultados obtidos estão descritos a seguir e demonstrados nas tabelas 44 a 48:

a) Av. Mal. Mascarenhas de Moraes:

Tabela 44 – Variação das vazões Panorama D – Av. Mal. Mascarenhas de Moraes

Tubo	Vazão na rede projetada (L/s)	Vazão na rede executada (L/s)	Variação (%)
20889	0,7	0,32	-54,29%
20888	2,67	2,06	-22,85%
72843	-3,89	-3,54	-9,00%
72844	-1,92	-1,4	-27,08%
17512	2,04	1,53	-25,00%
17507	0,81	-0,09	-111,11%
17506	-1,43	0,2	-113,99%
17488	-1,18	0,45	-138,14%
17487	-1,52	-0,13	-91,45%
17486	-1,31	-0,08	-93,89%
		Média:	-68,68%

Fonte: Autor

b) Rua Gen. Góes Monteiro:

Tabela 45 – Variação das vazões Panorama D – R. Gen. Góes Monteiro

Tubo	Vazão na rede projetada (L/s)	Vazão na rede executada (L/s)	Variação (%)
20868	0,32	1,86	481,25%
10390A	0,63	2,18	246,03%
20867	0,68	2,22	226,47%
		Média:	317,92%

Fonte: Autor

c) Rua Eng. José Apolinário:

Tabela 46 – Variação das vazões Panorama D – R. Eng. José Apolinário

Tubo	Vazão na rede projetada (L/s)	Vazão na rede executada (L/s)	Variação (%)
17993	-0,79	-2,47	212,66%
7505A	-0,46	-2,14	365,22%
17706	-0,42	-2,09	397,62%
7487A	-0,29	-1,97	579,31%
17689	-0,24	-1,92	700,00%
7486A	-0,11	-1,79	1.527,27%
17688	-0,06	-1,74	2.800,00%
7485A	0,07	-1,61	-2.400,00%
17687	0,12	-1,56	-1.400,00%
17673	-0,05	-1,58	3.060,00%
		Média:	584,21%

Fonte: Autor

d) Av. Pinheiros:

Tabela 47 – Variação das vazões Panorama D – Av. Pinheiros

Tubo	Vazão na rede projetada (L/s)	Vazão na rede executada (L/s)	Variação (%)
127434	-0,63	-0,65	3,17%
127344	-1,49	-0,65	-56,38%
251429	-1,58	-1,65	4,43%
127231	-2,97	-3,04	2,36%
127207	3,18	3,27	2,83%
127236	3,63	3,71	2,20%
127206	5,08	5,20	2,36%
127308	8,92	7,22	-19,06%
20640	-10,69	-8,98	-16,00%
20661	-9,30	-9,60	3,23%
20662	-10,49	-10,78	2,76%
10230A	-10,53	-10,83	2,85%
20663	-10,58	-10,87	2,74%
20664	-6,48	-6,47	-0,15%
10232A	-6,52	-6,52	0,00%
20665	-6,64	-6,63	-0,15%

Tabela 47 – Variação das vazões Panorama D – Av. Pinheiros (continuação)

Tubo	Vazão na rede projetada (L/s)	Vazão na rede executada (L/s)	Variação (%)
20669	-4,98	-5,05	1,41%
20670	-5,24	-5,31	1,34%
20671	-4,48	-4,57	2,01%
20672	-3,33	-3,44	3,30%
20682	-3,69	-3,80	2,98%
72561	1,95	2,63	34,87%
20675	0,05	1,34	2.580,00%
20677	-0,79	-1,04	31,65%
20680	-0,95	-1,20	26,32%
10245A	-1,00	-1,25	25,00%
20681	-1,04	-1,29	24,04%
		Média:	98,89%

Fonte: Autor

e) Rua Suely Luna Menelau:

Tabela 48 – Variação das vazões Panorama D – Rua Suely Luna Menelau

Tubo	Vazão na rede projetada (L/s)	Vazão na rede executada (L/s)	Variação (%)
19067	0,03	2,87	9.466,67%
127224	0,22	-1,71	-877,27%
127227	0,16	1,27	693,75%
252821	0,08	0,63	687,50%
253950	0,02	0,18	800,00%
251431	0,02	0,09	350,00%
		Média:	1.853,44%

Fonte: Autor

Neste panorama foram observadas variações nas vazões entre -2.400,00% e 9.466,67%, com média de 355,35%. As variações menores que 100% indicam que houve, além da variação da vazão, mudança no sentido do escoamento.

Tais variações indicam que as alterações executadas na obra merecem ser melhor estudadas, de modo a verificar se a demanda em cada nó continua sendo atendida.

4.2.5 Resumo das análises

Como esperado por se tratar de uma rede malhada, foram observadas variações de vazão, inclusive com mudança de sentido de fluxo em alguns trechos. As variações dos panoramas A e B não foram consideradas importantes do ponto de vista prático. Já as maiores variações encontradas nos Panoramas C e D indicam que as diferenças entre as redes projetada e executada merecem ser melhor estudadas sob os aspectos hidráulicos.

4.3 Verificação do balanço de massa em nós específicos da rede projetada e da rede executada

Em função das grandes variações de vazão demonstradas nos panoramas C e D procurou-se verificar se as condições hidráulicas nos trechos de maiores variações em cada uma das ruas estudadas continuaram respeitando a lei de conservação de massa.

Foram verificadas as variações de vazão, diâmetro e velocidade nos trechos de maior variação percentual, e as vazões de entrada, saída e demanda dos nós a montante e a jusante destes trechos, aferindo se o somatório das vazões que chegam aos nós menos as vazões que saem é igual à demanda requerida pelos nós.

Os resultados são demonstrados a seguir.

4.3.1 Panorama C

Foram encontradas velocidades abaixo de 0,40 m/s, mínimo previsto conforme NBR 12218:2017 (ABNT, 2017), nos trechos em questão tanto no projeto quanto no cadastro. A tabela 49 mostra os dados das ruas selecionadas.

Tabela 49 – Comparativo entre trechos de maior variação de vazões no Panorama C

Trecho estudado	Varição vazão (L/s)	Varição vazão (%)	Diâmetro Projeto (mm)	Diâmetro Cadastro (mm)	Velocidade Projeto (m/s)	Velocidade Cadastro (m/s)
Av. Mal. Mascarenhas de Moraes – 17488	1,26	-182,61%	150	100	0,04	0,07
Rua Gen. Góes Monteiro – 20868	1,29	444,83%	100	150	0,04	0,09
Rua Eng. José Apolinário – 17688	1,26	2.520,00%	85	150	0,01	0,07
Av. Pinheiros – 20675	1,71	-450,00%	150	100	0,02	0,08
Rua Suely Luna Menelau – 19067	2,14	403,77%	150	150	0,03	0,34

Fonte: Autor

Os balanços de massa dos nós indicaram que, mesmo nos casos com grande variação de vazão, os mesmos encontram-se equilibrados, com o somatório de vazões de entrada no nó subtraído do somatório de vazões de saída do nó sendo igual à demanda requerida pelo próprio nó.

Foram analisados os nós a montante e a jusante de cada um dos trechos indicados acima, tanto na rede projetada quanto na rede executada, com resultados coerentes em todos, conforme demonstrado nas tabelas 50 e 51.

Tabela 50 – Balanço de massa na tubulação da rede projetada do cenário 1

Rua	Nó	Vazão de entrada (L/s)	Vazão de saída (L/s)	Demanda no nó (L/s)	Balanço de massa (L/s)
Av. Mal. Mascarenhas de Moraes	7315	0,84	0,76	0,08	0,00
Av. Mal. Mascarenhas de Moraes	7314	1,24	1,03	0,21	0,00
Rua Gen. Góes Monteiro	10391	0,29	0,00	0,29	0,00
Rua Gen. Góes Monteiro	10390	0,58	0,29	0,29	0,00
Rua Eng. José Apolinário	7485	0,11	0,00	0,11	0,00
Rua Eng. José Apolinário	7486A	0,07	0,05	0,02	0,00
Av. Pinheiros	10239	1,78	1,64	0,14	0,00
Av. Pinheiros	10240	1,12	0,99	0,14	-0,01

Tabela 50 – Balanço de massa na tubulação da rede projetada do cenário 1 (continuação)

Rua	Nó	Vazão de entrada (L/s)	Vazão de saída (L/s)	Demanda no nó (L/s)	Balanço de massa (L/s)
Rua Suely Luna Menelau	8498	2,96	2,44	0,53	-0,01
Rua Suely Luna Menelau	250486	0,53	0,00	0,53	0,00

Fonte: Autor

Tabela 51 – Balanço de massa na tubulação da rede executada do cenário 1

Rua	Nó	Vazão de entrada (L/s)	Vazão de saída (L/s)	Demanda no nó (L/s)	Balanço de massa (L/s)
Av. Mal. Mascarenhas de Moraes	7315	0,57	0,49	0,08	0,00
Av. Mal. Mascarenhas de Moraes	7314	0,78	0,57	0,21	0,00
Rua Gen. Góes Monteiro	10391	1,58	1,29	0,29	0,00
Rua Gen. Góes Monteiro	10390	1,87	1,58	0,29	0,00
Rua Eng. José Apolinário	7485	1,31	1,20	0,11	0,00
Rua Eng. José Apolinário	7486A	1,34	1,31	0,02	0,01
Av. Pinheiros	10239	2,51	2,37	0,14	0,00
Av. Pinheiros	10240	2,03	1,89	0,14	0,00
Rua Suely Luna Menelau	8498	3,20	2,67	0,53	0,00
Rua Suely Luna Menelau	250486	2,67	2,15	0,53	-0,01

Fonte: Autor

4.3.2 Panorama D

Assim como no panorama anterior, Foram encontradas velocidades abaixo de 0,40 m/s, mínimo previsto conforme NBR 12218:2017 (ABNT, 2017), nos trechos em questão tanto no projeto quanto no cadastro. A tabela 52 mostra os dados das ruas selecionadas.

Tabela 52 – Comparativo entre trechos de maior variação de vazões no Panorama D

Trecho estudado	Variação (L/s)	Variação (%)	Diâmetro Projeto (mm)	Diâmetro Cadastro (mm)	Velocidade Projeto (mm)	Velocidade Cadastro (mm)
Av. Mal. Mascarenhas de Moraes – 17488	1,63	-138,14%	150	100	0,07	0,06
Rua Gen. Góes Monteiro – 20868	1,54	481,25%	100	150	0,04	0,11
Rua Eng. José Apolinário – 17673	1,53	3.060,00%	85	150	0,01	0,09
Av. Pinheiros – 20675	1,29	2.580,00%	150	100	0,003	0,08
Rua Suely Luna Menelau – 19067	2,84	9.466,67%	150	150	0,03	0,37

Fonte: Autor

Os balanços de massa dos nós indicaram que, mesmo nos casos com grande variação de vazão, os mesmos encontram-se equilibrados, com o somatório de vazões de entrada no nó subtraído do somatório de vazões de saída do nó sendo igual à demanda requerida pelo próprio nó.

Foram analisados os nós a montante e a jusante de cada um dos trechos indicados acima, tanto na rede projetada quanto na rede executada, com resultados coerentes em todos, conforme demonstrado nas tabelas 53 e 54.

Tabela 53 – Balanço de massa na tubulação da rede projetada do cenário 4

Rua	Nó	Vazão de entrada (L/s)	Vazão de saída (L/s)	Demanda no nó (L/s)	Balanço de massa (L/s)
Av. Mal. Mascarenhas de Moraes	7315	1,43	1,32	0,11	0,00
Av. Mal. Mascarenhas de Moraes	7314	1,75	1,52	0,23	0,00
Rua Gen. Góes Monteiro	10391	0,32	0,00	0,32	0,00
Rua Gen. Góes Monteiro	10390	0,63	0,32	0,32	-0,01
Rua Eng. José Apolinário	7384	0,29	0,18	0,11	0,00
Rua Eng. José Apolinário	7471	0,22	0,17	0,05	0,00
Av. Pinheiros	10239	1,95	1,78	0,17	0,00
Av. Pinheiros	10240	0,84	0,68	0,16	0,00

Tabela 53 – Balanço de massa na tubulação da rede projetada do cenário 4 (continuação)

Rua	Nó	Vazão de entrada (L/s)	Vazão de saída (L/s)	Demanda no nó (L/s)	Balanço de massa (L/s)
Rua Suely Luna Menelau	8498	3,10	2,55	0,55	0,00
Rua Suely Luna Menelau	250486	0,55	0,00	0,55	0,00

Fonte: Autor

Tabela 54 – Balanço de massa na tubulação da rede executada do cenário 4

Rua	Nó	Vazão de entrada (L/s)	Vazão de saída (L/s)	Demanda no nó (L/s)	Balanço de massa (L/s)
Av. Mal. Mascarenhas de Moraes	7315	0,45	0,34	0,11	0,00
Av. Mal. Mascarenhas de Moraes	7314	0,81	0,58	0,23	0,00
Rua Gen. Góes Monteiro	10391	1,86	1,54	0,32	0,00
Rua Gen. Góes Monteiro	10390	2,18	1,86	0,32	0,00
Rua Eng. José Apolinário	7384	1,58	1,47	0,11	0,00
Rua Eng. José Apolinário	7471	1,63	1,58	0,05	0,00
Av. Pinheiros	10239	2,63	2,46	0,17	0,00
Av. Pinheiros	10240	2,38	2,22	0,16	0,00
Rua Suely Luna Menelau	8498	3,42	2,87	0,55	0,00
Rua Suely Luna Menelau	250486	2,87	2,32	0,55	0,00

Fonte: Autor

Como esperado, em todos os casos os balanços de massa revelaram valores compatíveis com o equilíbrio hidráulico da rede, demonstrando que a grande variação entre os valores apontados para as vazões da rede projetada e a rede executada não interferiram no balanço de massa dos nós a montante e a jusante dos mesmos. Este resultado valida os modelos hidráulicos aplicados no estudo.

4.4 Análise da variação de pressões entre a rede executada e o sistema de monitoramento

A Compesa instituiu no seu Centro de Controle Operacional (CCO) um sistema de monitoramento em tempo real das vazões e pressões disponíveis nos

distritos de rede de abastecimento do Recife. Tais variáveis são acompanhadas por uma válvula redutora de pressão (VRP) instalada na entrada dos distritos, além de medidores de pressão, capazes de medir a pressão e a vazão tanto na entrada quanto na saída da VRP (vazão de entrada, vazão de saída, pressão de entrada e pressão de saída) e em um ou mais pontos de medição na rede, geralmente nos pontos médio e crítico de pressão da rede, conforme previsto no modelo hidráulico.

No Distrito 42 foram instalados os seguintes equipamentos:

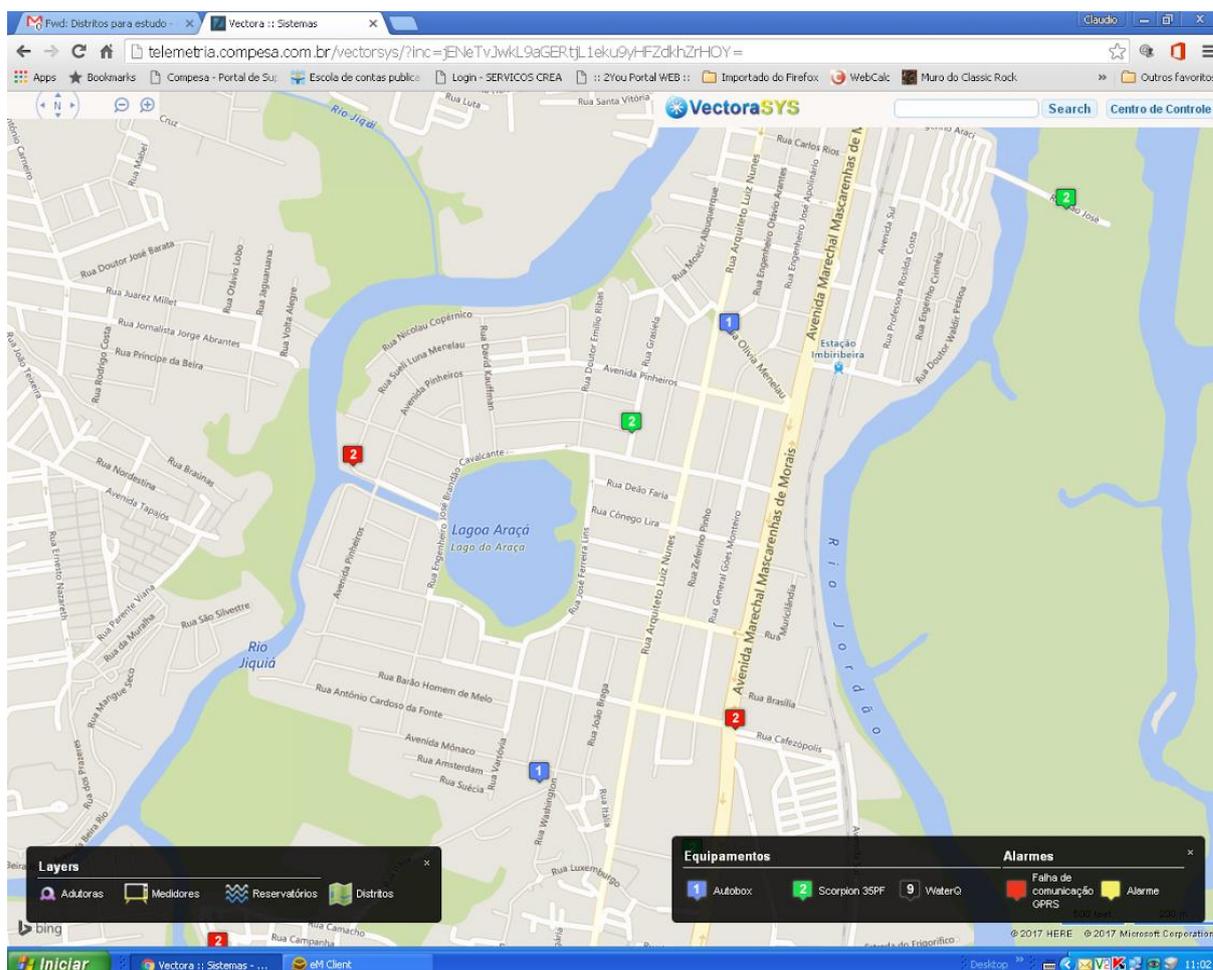
- Válvula redutora de pressão (VRP) – instalada na rua Olívia Menelau, entrada do distrito, tem o objetivo de reduzir as pressões de entrada. Mede as pressões na entrada e na saída da válvula, bem como a vazão.
- Medidores de pressão – Instalados no ponto crítico – PC identificado na simulação hidráulica elaborada quando do projeto (na rua Suely Luna Menelau), no ponto médio de pressão – PM (na rua Grasiela) e na tubulação que abastece os setores comerciais 617 e 618.

A Figura 05 apresenta o mapa de localização dos equipamentos de medição de pressão, obtido da tela do sistema de monitoramento da Compesa:

Para este estudo foi feita a comparação entre os dados de pressão do modelo hidráulico da rede projetada, representando a situação esperada, e os dados obtidos junto à Compesa ao longo do ano de 2016, representando a situação real. Foram consideradas as pressões na entrada e na saída da válvula redutora de pressão (VRP), ponto que efetivamente alimenta a rede de distribuição, e no ponto Crítico da rede (PC).

Vale salientar que o CCO prevê uma redução nas pressões do sistema no período noturno (entre 22h e 05h), considerando que a utilização de água pela população é menor neste período, a fim de se reduzir as perdas no sistema. O sistema foi configurado para pressões na entrada do sistema (saída da VRP) de 11 mca das 05h às 22h, e de 8 mca entre 22h e 05h. A figura 06 mostra a configuração das pressões na tela do sistema.

Figura 05 – Tela do sistema de monitoramento da Compesa



Fonte: Compesa

Os dados disponibilizados apresentavam as leituras ao longo dos 366 dias do ano de 2016, em intervalos de 15 minutos, totalizando 35.136 leituras no ano. Eventuais falhas de medição foram tratadas estatisticamente na UFPE e disponibilizadas para esta pesquisa. Considerando a distribuição dos períodos diurno e noturno, a distribuição dos dados foi estabelecida da seguinte forma:

- Período diurno: leituras realizadas entre 5h00 e 21h45, totalizando 68 medições ao longo do dia e 24.888 medições em 2016;
- Período noturno: leituras realizadas entre 0h00 e 4h45, e entre 22h00 e 23h45, totalizando 28 medições ao longo do dia e 10.248 medições em 2016.

Figura 06 – Configuração das vazões

32694 - D42 - Olivia Menelau

89550 5328 1001 3406852 (Claro)
 Lat: -8.089766666666667 / Long: -34.9101

Endereço Log Comentários Alt. imagem Mover Comandos Trocar Equip. Grupo

Monitoramento **Parâmetros** Ponto crítico Histórico Arq. Externo

Configurações do Controlador

Setpoints

Semana / Fim de Semana Mod. por Vazão Manual

Semana		Fim de Semana	
Tempo / Pressão (m)		Tempo / Pressão (m)	
1. 00:00	8	1. 00:00	8
2. 05:00	11	2. 05:00	11
3. 22:00	8	3. 22:00	8
4.	0	4.	0
5.	0	5.	0
6.	0	6.	0

Pmax 35 m
 Pmin 30 m
 Qmax 59 m³h
 Qmin 28 m³h
 Qsafe 1

Ref. Fixa 11 m

Controle de Nível

Alto 0 m
 Baixo 0 m

Fonte: Compesa

Os valores monitorados foram os seguintes:

a) Na entrada da VRP:

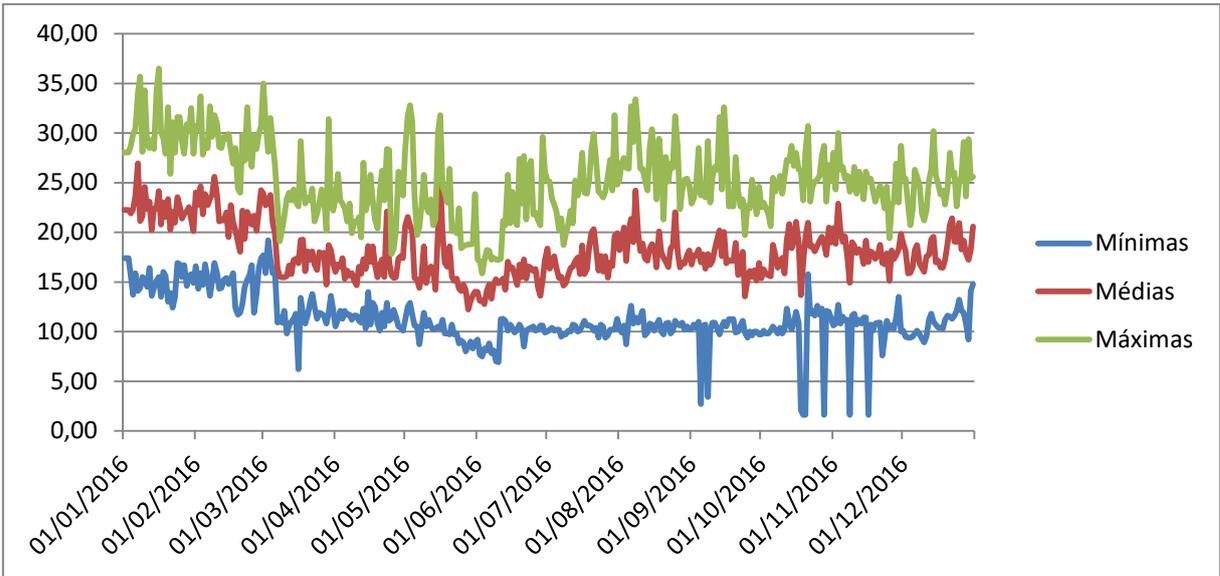
A pressão de entrada da VRP variou de 1,60 a 36,50 mca, com média de 18,15 mca.

No período diurno a pressão variou de 1,60 a 36,50 mca, com média de 19,82 mca. 458 medições (1,84% da amostra) encontraram-se em valores inferiores ao estabelecido para a saída da VRP (11 mca). Em 24.430 leituras (98,16%) o valor encontrado foi igual ou superior.

Já no período noturno, a variação foi de 6,90 a 33,50 mca, com média de 14,09 mca. 8 medições (0,08% da amostra) encontraram-se em valores inferiores ao estabelecido para a saída da VRP (8 mca). Em 10.240 leituras (99,92%) o valor encontrado foi igual ou superior.

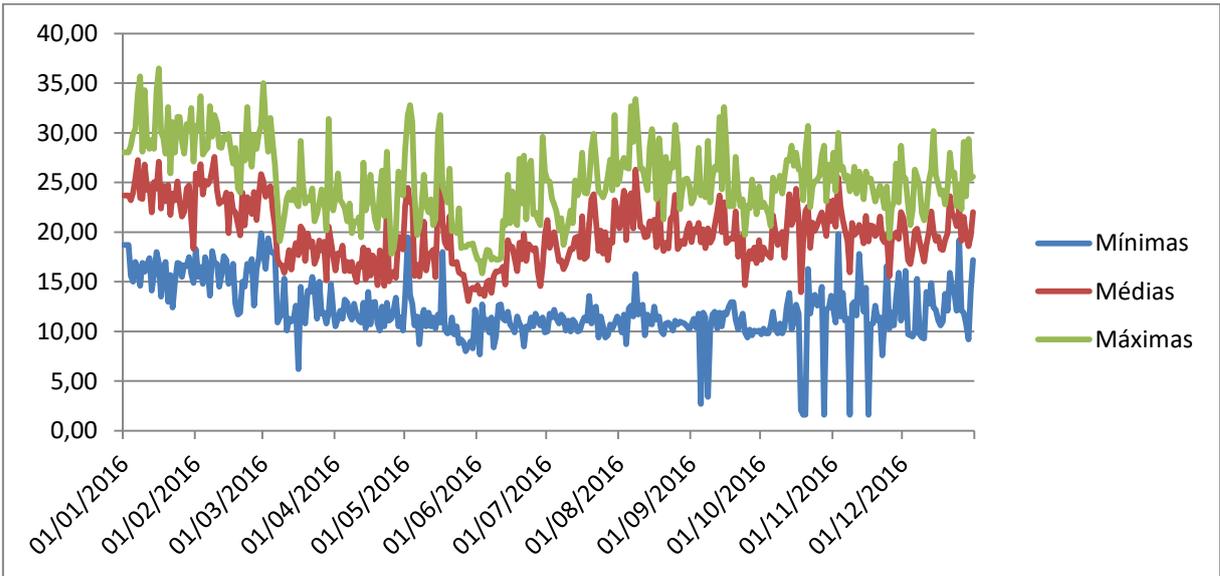
Os gráficos a seguir apresentam a variação das pressões monitoradas ao longo do ano de 2016 na entrada da VRP:

Gráfico 01 – Pressões diárias em mca na entrada da VRP ao longo de 2016 – Distrito 42



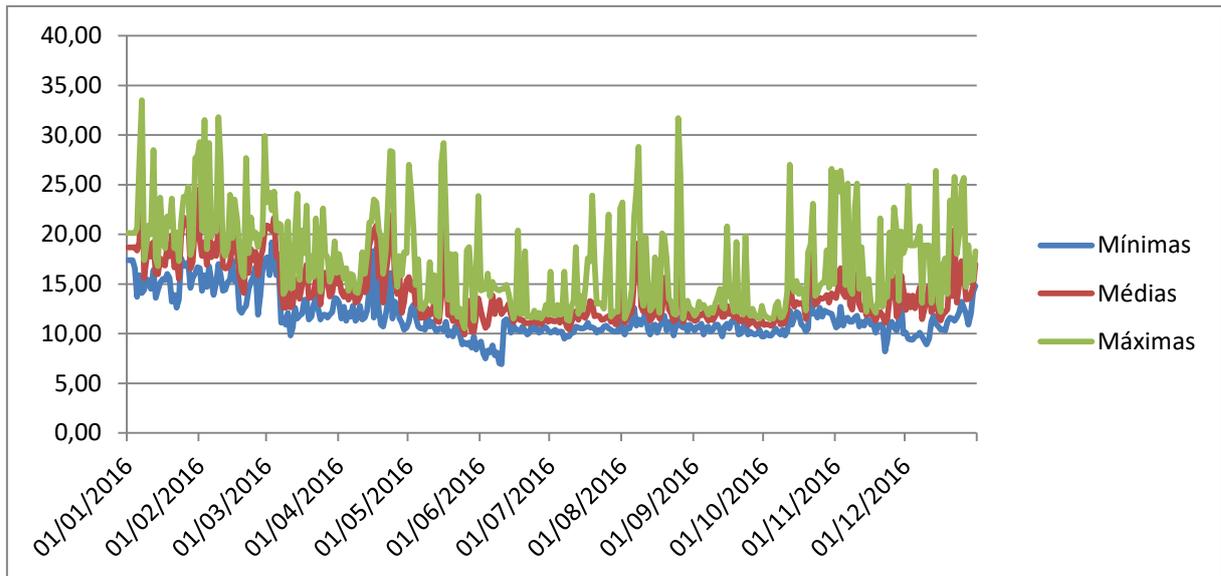
Fonte: Autor

Gráfico 02 – Pressões diurnas em mca na entrada da VRP ao longo de 2016 – Distrito 42



Fonte: Autor

Gráfico 03 – Pressões noturnas em mca na entrada da VRP ao longo de 2016 – Distrito 42



Fonte: Autor

b) Na saída da VRP:

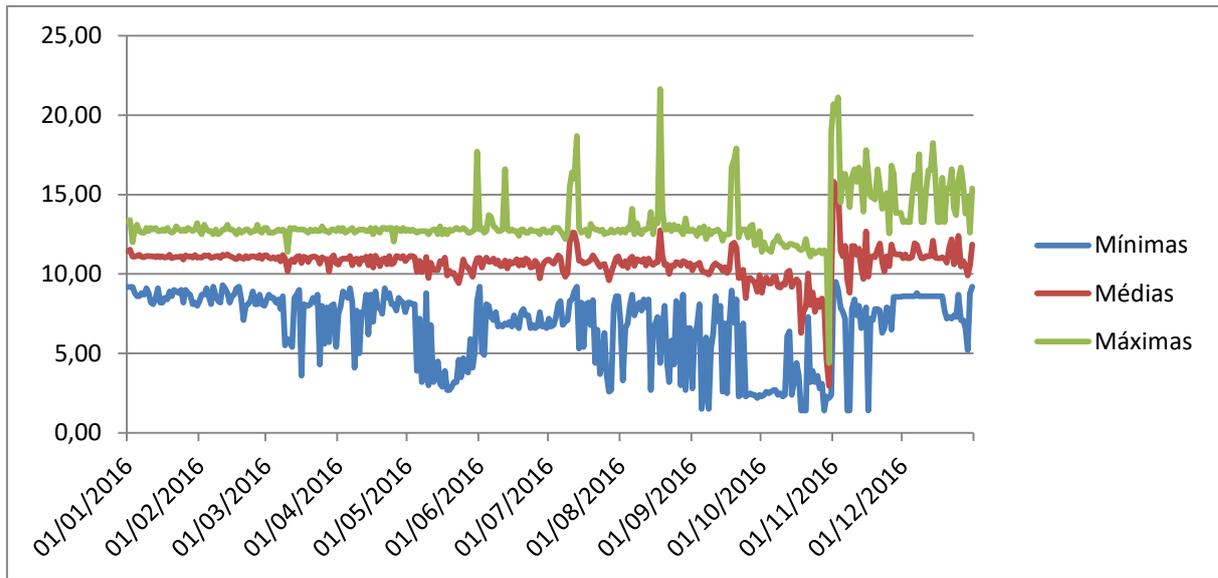
A pressão de saída da VRP variou de 1,40 a 21,63 mca, com média de 10,68 mca.

No período diurno a pressão variou de 1,40 a 21,63 mca, com média de 11,45 mca. 4.532 medições (18,21% da amostra) encontraram-se em valores inferiores ao estabelecido para a saída da VRP (11 mca). Em 20.356 leituras (81,79%) o valor encontrado foi igual ou superior.

Já no período noturno, a variação foi de 2,00 a 21,12 mca, com média de 8,80 mca. 1.910 medições (18,64% da amostra) encontraram-se em valores inferiores ao estabelecido para a saída da VRP (8 mca). Em 8.338 leituras (81,36%) o valor encontrado foi igual ou superior.

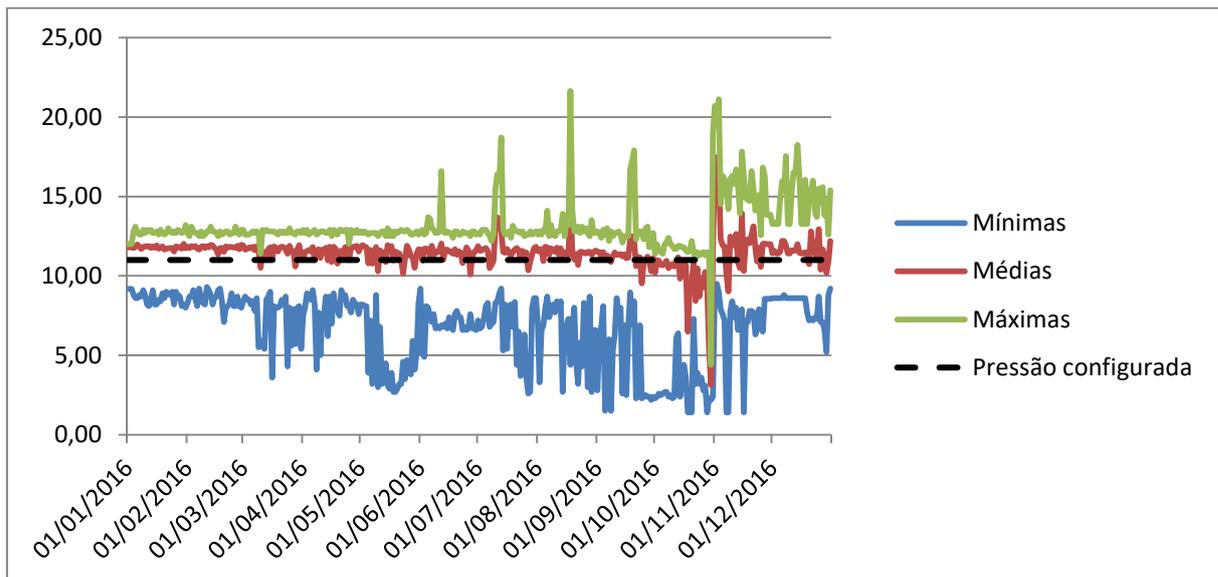
Os gráficos a seguir apresentam a variação das pressões monitoradas ao longo do ano de 2016 na saída da VRP:

Gráfico 04 – Pressões diárias em mca na saída da VRP ao longo de 2016 – Distrito 42



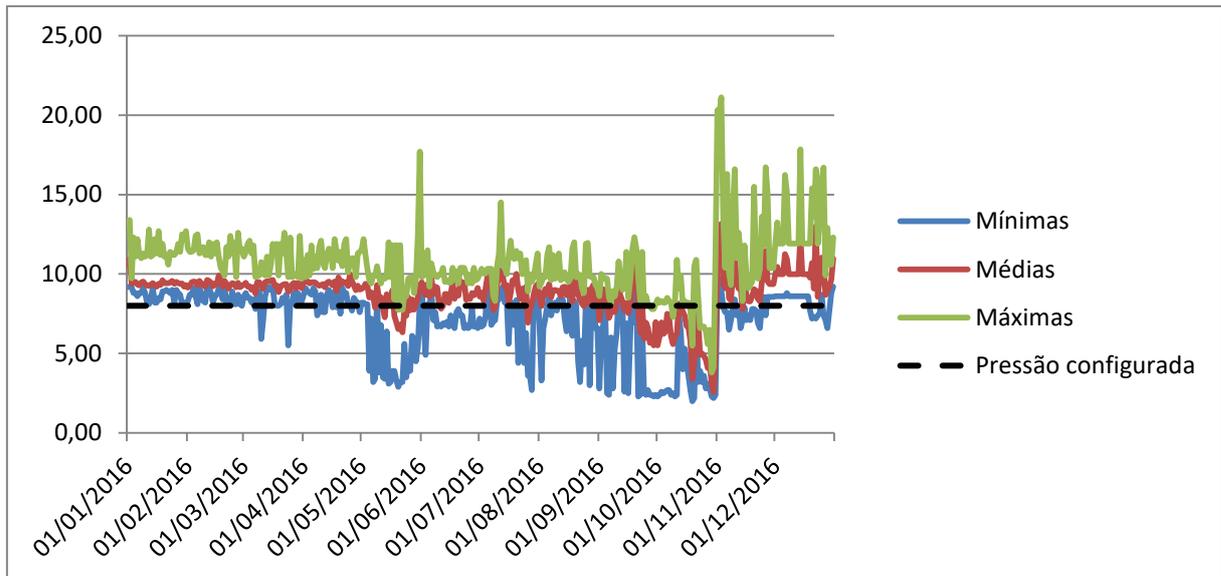
Fonte: Autor

Gráfico 05 – Pressões diurnas em mca na saída da VRP ao longo de 2016 – Distrito 42



Fonte: Autor

Gráfico 06 – Pressões noturnas em mca na saída da VRP ao longo de 2016 – Distrito 42



Fonte: Autor

c) No ponto crítico (PC):

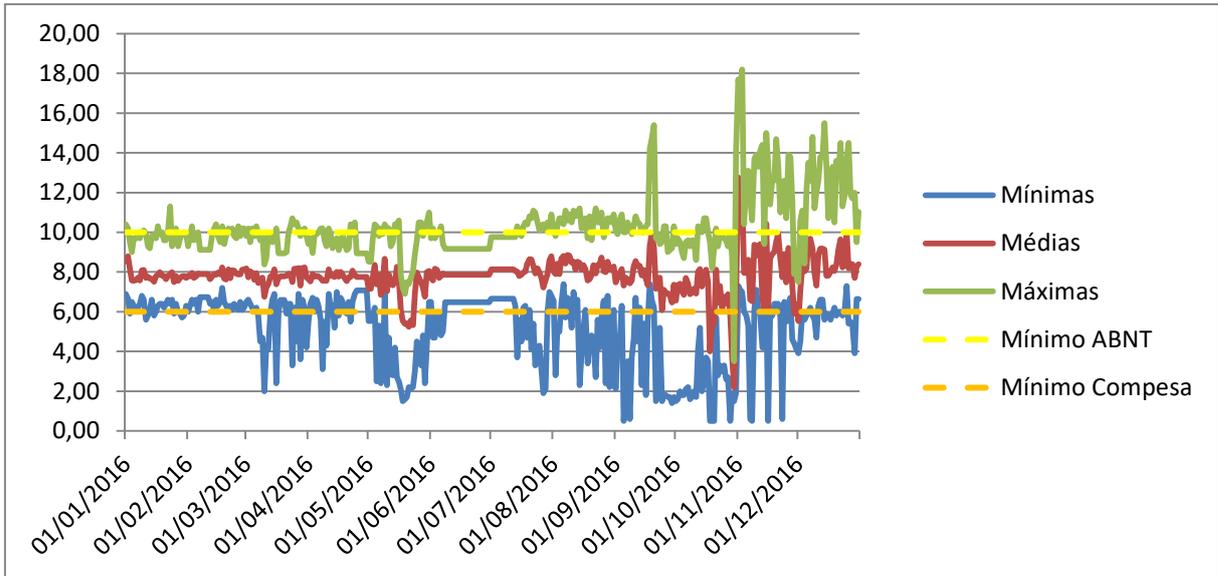
A pressão no ponto crítico variou de 0,50 a 18,20 mca, com média de 7,83 mca.

Levando-se em consideração a pressão mínima de 10 mca estabelecida pela ABNT (2017), as pressões medidas no PC da rede de distribuição ficaram abaixo da mesma em 33.424 medições (95,13% da amostra), sendo maior ou igual em 1.712 medições (4,87%). Já quando o parâmetro é o estabelecido pela Compesa (2004), obteve-se leituras de pressão inferiores a 6 mca em 2.808 medições (7,99% da amostra), enquanto 33.238 leituras (92,01%) resultaram em valores iguais ou maiores.

O modelo hidráulico previa uma pressão no PC de 11,37 mca para o cenário 1 e de 10,60 mca para o cenário 4 (ABF/EETEP, 2010).

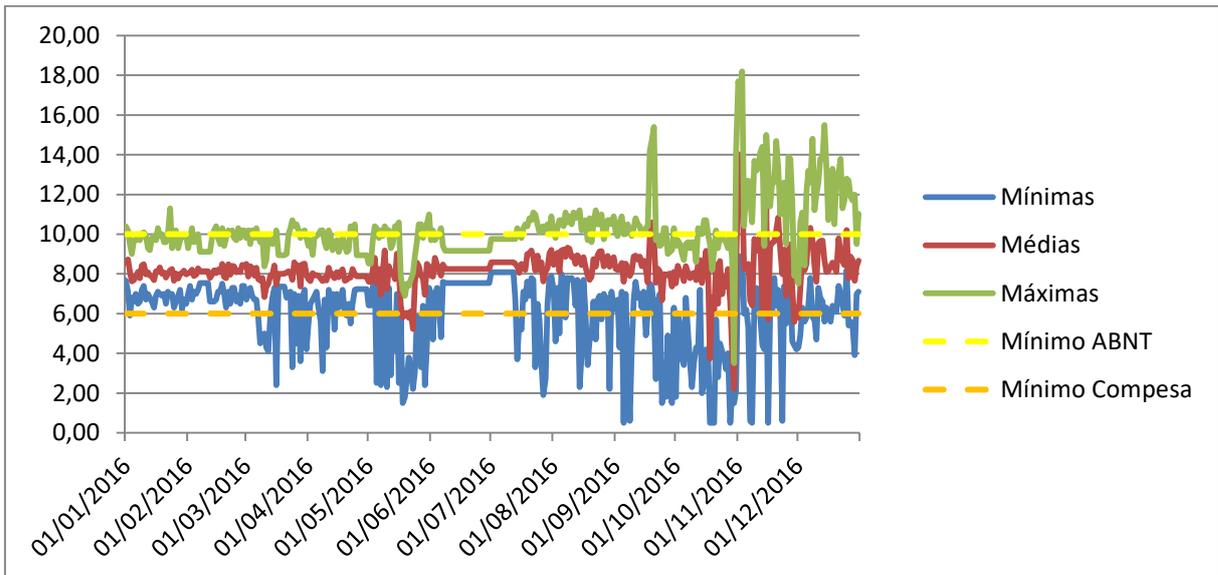
Os gráficos a seguir apresentam a variação das pressões monitoradas ao longo do ano de 2016:

Gráfico 07 – Pressões diárias em mca no ponto crítico ao longo de 2016 – Distrito 42



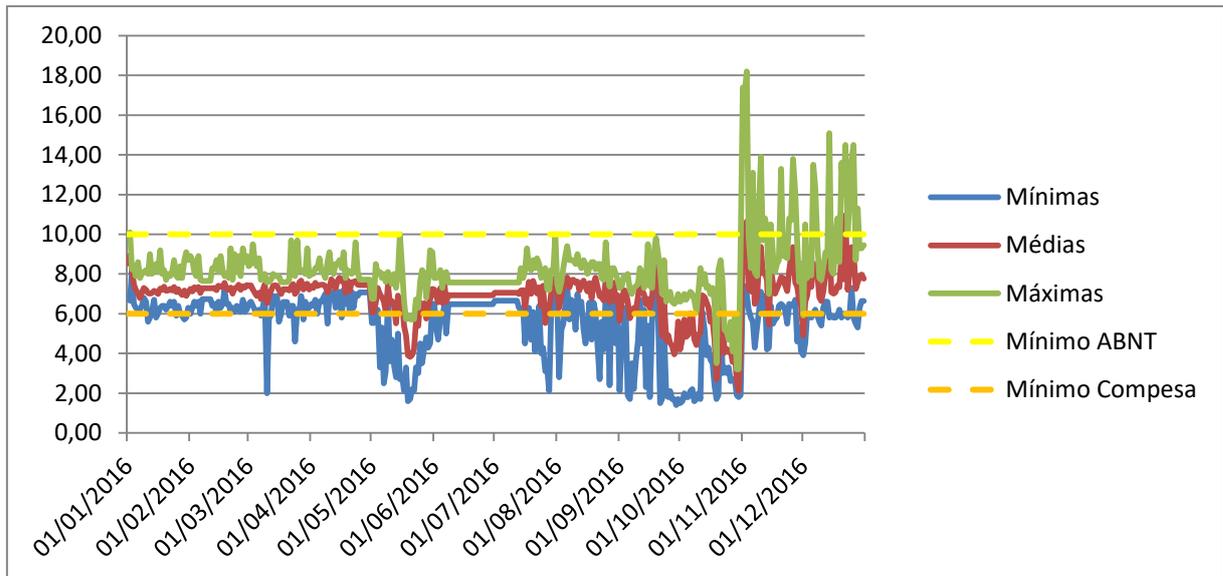
Fonte: Autor

Gráfico 08 – Pressões diurnas em mca no ponto crítico ao longo de 2016 – Distrito 42



Fonte: Autor

Gráfico 09 – Pressões noturnas em mca no ponto crítico ao longo de 2016 – Distrito 42



Fonte: Autor

Observa-se pelos dados que os valores apresentados na entrada da rede, ou seja, a pressão que a VRP recebe do alimentador, pode ser considerada compatível com as necessidades da rede. Apenas em 466 leituras (1,33% da amostra) a pressão de entrada foi menor do que a pressão configurada para a saída da VRP. Porém no caso da saída da VRP e do PC pode-se observar uma maior dificuldade em se manter os valores de pressão na rede compatíveis com a normatização vigente.

Na VRP, em 6.442 casos (18,33%) a pressão de saída estava menor do que a configurada para o horário. No PC, em 2.808 medições (7,99%) o valor da pressão foi menor do que o mínimo estabelecido pela Compesa (6 mca), enquanto em 33.424 medições (95,13%) o valor da pressão foi menor do que o recomendado pela ABNT (10 mca).

Tais resultados podem significar que, apesar dos recentes investimentos realizados pela Compesa na rede de distribuição do Distrito 42, o mesmo deve ter seus indicadores de pressão mais bem estudados, visando uma solução que promova melhores e mais constantes índices de abastecimento ao longo do tempo.

4.5 Cálculo do fator de pesquisa (FP)

Para o cálculo do fator de pesquisa do Distrito 42, a base de dados fornecida pela Compesa, e tratada estatisticamente conforme já explanado, foi trabalhada de modo a se obter a relação entre a vazão mínima noturna e a vazão média diária.

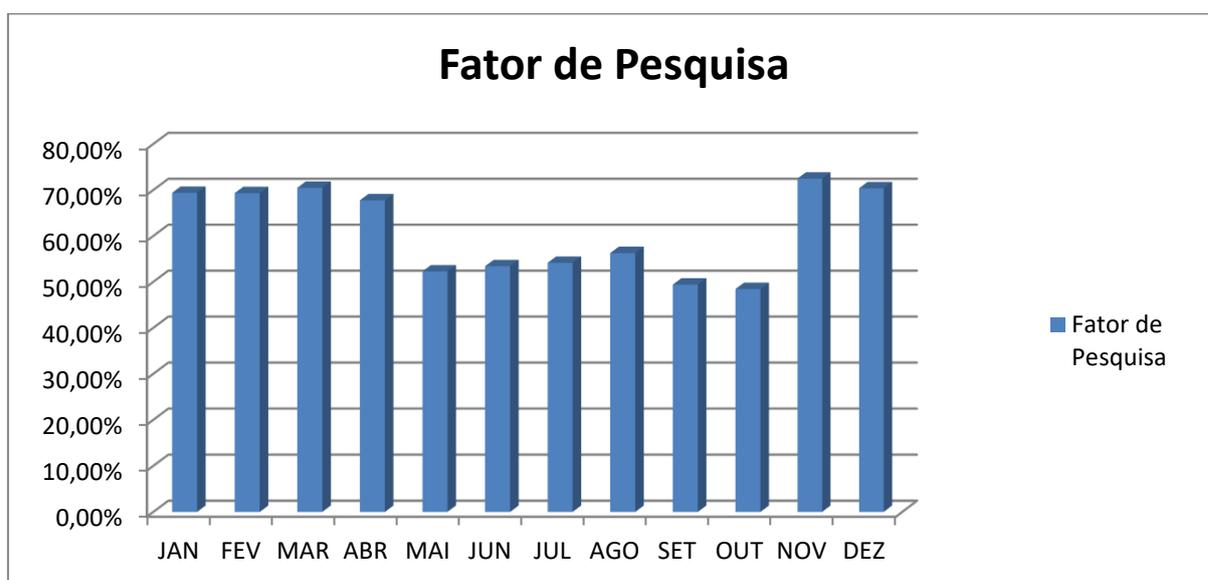
Saliente-se que os dados de vazão foram obtidos na VRP instalada na entrada do distrito, único ponto de medição disponível, portanto apresentam os valores para todo o Distrito 42, não sendo possível a segmentação do mesmo em setores menores.

Para o cálculo da vazão mínima noturna, a exemplo dos dados de pressão, foram considerados os dados obtidos entre 0h00 e 4h45, e entre 22h00 e 23h45. Para o cálculo da média diária, entre 0h00 e 23h45. Foram calculadas também a média mensal e a média anual do FP.

Ao longo de 2016, os valores diários do FP variaram entre 11,99% (em 19/08) e 110,62% (em 07/11), com média de 61,09%. As médias mensais variaram entre 48,44% (em outubro) e 72,46% (em novembro). Em dois casos (0,55% da amostra) os valores diários estiveram abaixo de 30%, estando acima deste patamar em 364 dias (99,45% da amostra) ao longo de 2016.

O gráfico a seguir demonstra a evolução do FP ao longo de 2016:

Gráfico 10 – Médias mensais para o FP do Distrito 42 no ano de 2016



Fonte: Autor

Os valores demonstrados neste item podem estar representando a ocorrência de elevados índices de perdas físicas na rede de distribuição, sejam estas ocasionadas por uso não autorizado, erros de macromedição e/ou vazamentos. Estas perdas, caso estejam realmente ocorrendo, podem também ser a causa para os já apontados casos em que a pressão no ponto de leitura esteja abaixo do estabelecido.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seguir são apresentadas as conclusões e recomendações deste trabalho.

5.1 Conclusões

Este trabalho analisou o Distrito 42 do sistema de abastecimento de água da cidade do Recife, cujas obras de adequação foram realizadas pela Companhia Pernambucana de Saneamento – Compesa, visando à melhoria do abastecimento de água da população.

Na simulação da rede foram considerados quatro cenários hidráulicos distintos, representando a situação atual e possíveis alterações futuras quanto à rugosidade dos tubos, devido ao uso da rede, e às perdas físicas.

Analisando os nós da rede projetada, observou-se que todos os dados estavam de acordo com os valores mínimo e máximo recomendados pelas normas em todas as simulações realizadas.

Devido a dificuldades e situações não previstas, a obra teve que ser modificada em relação ao projeto, não o obedecendo fidedignamente. Os cenários que representam a situação atual e a mais desfavorável também foram simulados para a rede executada. A análise dos resultados das simulações da rede executada também satisfaz as recomendações das normas vigentes.

A Compesa mantém, na rede de distribuição do distrito estudado, quatro pontos de monitoramento de pressão, conectados e transmitindo os dados de leitura para o Centro de Controle Operacional em intervalos de quinze minutos. Analisando os resultados desses dados pôde-se observar que, contrariamente às simulações da rede executada, as leituras reais em três dos quatro pontos da rede apresentaram em muitos casos resultados em desacordo com as recomendações das normas vigentes. A Compesa estabeleceu como pressão de saída da válvula redutora de pressão (VRP) os valores de 11 mca no período diurno, e 8 mca no período noturno. Porém, em 1.285 leituras (5,16% da amostra) no período diurno, e 177 leituras (1,73%) no período noturno, estas pressões mínimas não estavam disponíveis sequer na entrada da VRP. Na saída da VRP, as pressões lidas estavam abaixo

destes valores mínimos em 5.373 leituras (21,59%) no período diurno, e 2.659 leituras (25,95%) no período noturno. Ressalte-se que estes valores foram estabelecidos pela Compesa visando a pressão mínima estabelecida pela mesma em sua normatização, que é de 6 mca na rede de distribuição, pois com os mesmos dificilmente se obteria o valor mínimo recomendado pela Norma Técnica NBR:12218:2017, que é de 10 mca.

No ponto crítico, as leituras apresentaram 2.808 (7,99%) casos em que a pressão ficou abaixo de 6 mca, 33.424 (95,13%) casos abaixo de 10 mca, e 34.458 (98,07%) casos em que a pressão ficou abaixo de 11,37 mca, valor este que foi simulado para a pressão da rede executada para o ponto em questão.

Com isso podemos concluir que, apesar das alterações proferidas durante a execução das obras não terem trazido prejuízos operacionais à rede de distribuição do Distrito 42, há uma considerável divergência entre os resultados esperados e obtidos quanto à pressão nos pontos de leitura, principalmente no ponto crítico da Rede.

Também foram calculados, com base nos dados de vazão obtidos a cada quinze minutos na saída da VRP, ponto de entrada da rede de distribuição, os valores do fator de pesquisa do Distrito 42 ao longo do ano de 2016. Como observado, as médias mensais para o FP variaram entre 48,44% e 72,46%. Os valores diários variaram entre 11,99% e 110,62%.

O FP esteve abaixo de 30% apenas em dois dias durante o ano de 2016, perfazendo um total de 364 dias (99,45% da base amostral) acima do valor de 30%, considerado um indicador da existência de vazamentos economicamente detectáveis. A média para o ano, considerando-se os cálculos mensais, foi de 61,13%. Este valor é maior do que o dobro do aceitável.

Podemos então concluir que a variação de pressão entre os dados simulados no modelo hidráulico e os dados obtidos em campo, aliada à grande variação entre os valores encontrados para o fator de pesquisa, denota a possibilidade de haver um grande índice de perdas físicas na rede.

5.2 Recomendações

Este tópico visa trazer sugestões de ação para a concessionária, a fim de se corrigir os problemas apontados nos capítulos anteriores. São elas:

5.2.1 Cadastro Técnico

Foram encontradas diversas dificuldades na identificação dos materiais constantes da rede de distribuição do Distrito 42. A tubulação, apresentada pelo projetista como sendo a pré-existente, apresentou inconsistências com a tubulação encontrada durante as obras; e o cadastro técnico pós-obra (*as built*), apresentado pela construtora, apresentou divergências que precisaram ser sanadas pelos corpos técnicos da Compesa e da construtora. Sendo assim, é recomendado que a Compesa mantenha o cadastro técnico de seus sistemas de abastecimento de água atualizado e de fácil acesso.

5.2.2 Substituição de toda a rede antiga em cimento amianto

O cimento amianto é um material que, por questões de saúde pública, está sendo banido das redes de abastecimento de água no Brasil. Tal material não é mais aceito de acordo com a normatização vigente, devendo os tubos deste material serem substituídos por outros de materiais aceitos, como ferro fundido e PVC, a depender dos critérios técnicos, custos, vida útil etc.

5.2.3 Redução de perdas no Distrito 42

Recomenda-se que a Compesa efetue a redução de perdas no Distrito 42 do Sistema de Abastecimento de Água do Recife, através da busca por vazamentos e/ou consumos não autorizados, além de possíveis erros de macromedição, visando à melhoria dos índices de vazão e pressão no distrito.

REFERÊNCIAS

- ABF/ETEP. **Memorial Descritivo da “Modelagem Hidráulica e Projeto de Setorização” do Distrito 42**, elaborado pelo Consórcio ABF/ETEP para a Compesa em maio de 2010, e fornecido em reunião para coleta de dados em setembro de 2017.
- ADACHI, S. TAKAHASHI, S. KURISU, H. TADOKORO, H. **Estimating Area Leakage in Water Networks Based On Hydraulic Model and Asset Information**. WDSA, 2014.
- ALEGRE, H. COELHO, S. T. ALMEIDA, M.C. VIEIRA, P. **Controlo de Perdas de Água em Sistemas Públicos de Adução e Distribuição**. Instituto Regulador de Água e Resíduos. Portugal, 2005, 328p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.214: Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.217: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público – Procedimento**. Rio de Janeiro: 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.586: Cadastro de sistema de abastecimento de água – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 24510: Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto — Diretrizes para a avaliação e para a melhoria dos serviços prestados aos usuários**. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 24512: Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto — Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de água e para a avaliação dos serviços de água potável**. Rio de Janeiro, 2012.
- BARRETO, G. GOMES, D. GUTIERREZ, L. PEREIRA, J. **Impacto da Setorização no Abastecimento de Água em Áreas Urbanas**. João Pessoa: VI SEREA -

Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, 2006.

BARTH, F. T. **Aspectos institucionais do gerenciamento de recursos hídricos.** In REBOUÇAS, A. C. *et al.* **Águas doces do Brasil.**: Capital ecológico, uso e conservação. 2ª ed. São Paulo: Escrituras Editora e Distribuidora de Livros Ltda., 2002.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema nacional de informações sobre saneamento – SNIS: Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – base 2014.** Brasília: SNSA/MCIDADE, 2016.

BRESSANI, F. **Elaboração de procedimentos para redução das perdas de água nos sistemas de abastecimento dos municípios.** Dissertação (mestrado em Tecnologia do Meio Ambiente) – Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2011.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO - COMPESA. **Norma Interna SOP-92.** Recife, 2004.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO - COMPESA. **Relatório do Sistema de Informações Operacionais – SIP.** Recife, 2016.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO - COMPESA. **Relatório do Sistema de Informações Operacionais – SIP.** Recife, 2015.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO - COMPESA. **Relatório do Sistema de Informações Operacionais – SIP.** Recife, 2014.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO - COMPESA. **Relatório do Sistema de Informações Operacionais – SIP.** Recife, 2013.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO - COMPESA. **Relatório do Sistema de Informações Operacionais – SIP.** Recife, 2012.

GHEISI, A. NASER, G. **A Surrogate Measure for Multi-Component Failure Based Reliability Analysis of Water Distribution Systems.** WDSA, 2014.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água – Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias.** 3. ed, João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 2009a, 277p.

GOMES, H. P. **Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento – Análise Econômica de Projetos.** 2. ed, João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 2009b, 145p.

HAMILTON, S. MCKENZIE, R. SEAGO, C. **A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems.** UK house of commons report, 2006.

ISHIDO, Y. TAKAHASHI, S. **A New Indicator for Real-Time Leak Detection in Water Distribution Networks: Design and Simulation Validation.** WDSA, 2014.

KANAKOUDIS, V. GONELAS, K. **Applying Pressure Management to Reduce Water Losses in Two Greek Cities' WDSs: Expectations, Problems, Results and Revisions.** WDSA, 2014.

KSHIRSAGAR, S. GRAYMAN, W. CHENEVEY, B. SHETTI, A. GUPTA, S. BEDINGHAUS, B. MYLROIE, S. **Development Of Real-Time Drinking Water Distribution Systems (DWDS) Modeling Technology Using The EPANET Extended Period Simulation (EPS) Modeling Toolkit.** International Conference of Hydroinformatics. City College of New York, 2014.

LIEMBERGER, R. BROTHERS, K. LAMBERT, A. MCKENZIE, R. RIZZO, A. WALDRON, T. **Water Loss Performance Indicators.** 2018

MORRISON, J. TOOMS, S. ROGERS, D. **DMA Management Guidance Notes.** IWA, 2007.

MOTTA, R. G. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público.** Dissertação (mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

REZENDE, F. **Identificação e mitigação de perdas de água em rede de distribuição através do monitoramento e controle de pressões.** Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.

RIDOLFI, E. SERVILI, F. MAGINI, R. NAPOLITANO, F. RUSSO, F. ALFONSO, L. **Artificial Neural Networks and Entropy-Based Methods to Determine Pressure Distribution in Water Distribution Systems.** WDSA, 2014.

ROSSMAN, L.A. **EPANET 2 Manual do usuário.** Tradução Heber Pimentel Gomes e Moisés Menezes Salvino. Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 2009.

SANTOS, D. D. **Avaliação da metodologia para controle de perdas de água em sistema de distribuição no Recife-PE.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SITZENFREI, R. MAIR, M. RAUCH, W. **Stability of Traditional Urban Water Systems – Integrated Assessment of Transitions Scenarios.** WDSA, 2014.

TARDELLI FILHO, J. **Controle e redução de perdas.** In: TSUTIYA, M. T. *et al.* Abastecimento de Água. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

TRICARICO, C. MORLEY, M. S. GARGANO, R. KAPELAN, Z. DE MARINIS, G. SAVIC, D. GRANATA, F. **Optimal Water Supply System Management by Leakage Reduction and Energy Recovery.** WDSA, 2014.