

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA – CTEC  
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Alexsandra Maria da Silva

**Análise do sistema de abastecimento de água da cidade de Palmeira do  
Índios-AL através de simulação hidráulica**

Maceió, AL

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CENTRO DE TECNOLOGIA – CTEC

ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

**Análise do sistema de abastecimento de água da cidade de Palmeira do Índios-AL através de simulação hidráulica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Professor orientador: Professor Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza.

Professora coorientadora: Daysy Lira Oliveira Cavalcanti.

Maceió, AL

2022

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale CRB4 - 661

- S586a      Silva, Alexandra Maria da.  
              Análise do sistema de abastecimento de água da cidade de Palmeira dos Índios-AL através de simulação hidráulica / Alexandra Maria da Silva. – 2022.  
              59. : il. color.
- Orientador: Vladimir Caramori Borges de Souza.  
Co-orientadora: Daysy Lira Oliveira Cavalcanti.  
Monografia(Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Maceió, 2022.
- Bibliografia: f. 58-59.
1. Sistema de abastecimento de água – Palmeira dos Índios, AL. 2. Modelagem

CDU: 644.6(813.5)



## **Ata de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso**

Ao(s) 20 dias(s) do mês de julho de 2022 realizou-se às 14h00min, por meio de vídeoconferência, a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso da discente Alexsandra Maria da Silva intitulado “Análise do sistema de abastecimento de água da cidade de Palmeira do Índios-AL através de simulação hidráulica”. A Banca Examinadora foi constituída por Vladimir Caramori Borges de Souza (Orientador), Daysy Lira Oliveira Cavalcanti (Coorientadora), Cleuda Custódio Freire e Marllus G. P. das Neves. Após a apresentação da discente pelo orientador, a mesma expôs seu trabalho, sendo, logo a seguir, arguido(a) pelos componentes da Banca Examinadora. O Trabalho de Conclusão de Curso obteve as seguintes notas de cada um dos avaliadores: Cleuda Custódio Freire (9,20) e Marllus G. P. das Neves (9,30), resultando numa média (9,25). Os registros de notas e de solicitação de correções estão documentados nos formulários de notas e de correções, respectivamente, preenchidos pelos avaliadores. E, para constar, foi lavrada a presente ata que vai assinada pelos componentes da Banca Examinadora.

Maceió, 20 de julho de 2022.

---

Vladimir Caramori Borges de Souza  
(Orientador - CTEC/UFAL)

---

Daysy Lira Oliveira Cavalcanti  
(Coorientadora – CTEC/UFAL)

---

Cleuda Custódio Freire  
(CTEC/UFAL)

---

Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves  
(CTEC/UFAL)



## DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

### FORMULÁRIO DE CORREÇÕES

<b>Título:</b>	Análise do sistema de abastecimento de água da cidade de Palmeira do Índios-AL através de simulação hidráulica				
<b>Discente:</b>	Alexsandra Maria da Silva				
<b>Orientador:</b>	Vladimir Caramori Borges de Souza				
<b>Coorientadora:</b>	Daysy Lira Oliveira Cavalcanti				
<b>Data:</b>	20/07/2022				
<b>Horário:</b>	14h00min				
<b>Local:</b>	vídeoconferência				
<b>Banca examinadora:</b>	Vladimir Caramori Borges de Souza (Orientador(a) - CTEC/UFAL) Daysy Lira Oliveira Cavalcanti (Coorientador(a) – CTEC/UFAL) E1 – Cleuda Custódio Freire (CTEC/UFAL) E2 – Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves (CTEC/UFAL)				
<b>Sugestões/parecer:</b>	<p>As sugestões foram enviadas a discente.</p>				
<b>Assinaturas:</b>	<table><tr><td><hr/><p>Vladimir Caramori Borges de Souza (Orientador - CTEC/UFAL)</p></td><td><hr/><p>Daysy Lira Oliveira Cavalcanti (Coorientadora – CTEC/UFAL)</p></td></tr><tr><td><hr/><p>Cleuda Custódio Freire (CTEC/UFAL)</p></td><td><hr/><p>Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves (CTEC/UFAL)</p></td></tr></table>	<hr/> <p>Vladimir Caramori Borges de Souza (Orientador - CTEC/UFAL)</p>	<hr/> <p>Daysy Lira Oliveira Cavalcanti (Coorientadora – CTEC/UFAL)</p>	<hr/> <p>Cleuda Custódio Freire (CTEC/UFAL)</p>	<hr/> <p>Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves (CTEC/UFAL)</p>
<hr/> <p>Vladimir Caramori Borges de Souza (Orientador - CTEC/UFAL)</p>	<hr/> <p>Daysy Lira Oliveira Cavalcanti (Coorientadora – CTEC/UFAL)</p>				
<hr/> <p>Cleuda Custódio Freire (CTEC/UFAL)</p>	<hr/> <p>Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves (CTEC/UFAL)</p>				



## DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

### FORMULÁRIO DE REGISTRO DE NOTAS

<b>Título:</b>	Análise do sistema de abastecimento de água da cidade de Palmeira do Índios-AL através de simulação hidráulica
<b>Discente:</b>	Alexsandra Maria da Silva
<b>Orientador(a):</b>	Vladimir Caramori Borges de Souza
<b>Coorientador(a):</b>	Daysy Lira Oliveira Cavalcanti
<b>Data:</b>	20/07/2022
<b>Horário:</b>	14h00min
<b>Local:</b>	vídeoconferência
<b>Banca examinadora:</b>	Vladimir Caramori Borges de Souza (Orientador(a) - CTEC/UFAL) Daysy Lira Oliveira Cavalcanti (Coorientador(a) – CTEC/UFAL) E1 – Cleuda Custódio Freire (CTEC/UFAL) E2 – Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves (CTEC/UFAL)

#### Parecer:

Deverão ser dadas notas ao trabalho (de zero a 10) considerando o desempenho do(a) discente nas 3 áreas apresentadas no quadro abaixo.

Conteúdo do Trabalho	Apresentação da Escrita do Trabalho	Apresentação Oral e Arguição do Trabalho
<b>CT</b>	<b>AET</b>	<b>AOT</b>

A nota final por avaliador, denominada **NFA**, será calculada da seguinte forma:

$$\mathbf{NFA = (0,6 \times CT + 0,2 \times AET + 0,2 \times AOT)}$$

$$\mathbf{E1: NFA = (0,6 \times 9,5 + 0,2 \times 8,5 + 0,2 \times 9,0) = 9,20}$$

$$\mathbf{E2: NFA = (0,6 \times 9,5 + 0,2 \times 9,0 + 0,2 \times 9,0) = 9,30}$$

A nota final obtida pelo(a) discente, denominada **NF**, será a média aritmética das notas dos avaliadores:

$$\mathbf{NF=9,25}$$

#### Assinaturas:

\_\_\_\_\_  
Vladimir Caramori Borges de Souza  
(Orientador - CTEC/UFAL)

\_\_\_\_\_  
Daysy Lira Oliveira Cavalcanti  
(Coorientadora – CTEC/UFAL)

\_\_\_\_\_  
Cleuda Custódio Freire  
(CTEC/UFAL)

\_\_\_\_\_  
Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves  
(CTEC/UFAL)

## **AGRADECIMENTOS**

Nada teria sido possível sem a permissão de Deus e por isso agradeço a Ele pela conquista da graduação e pelos amigos que advindos através dela.

Aos meus pais que fizeram de tudo para que tivesse as oportunidades que eles não tiveram. As minhas irmãs que sonham junto comigo todos os meus sonhos. Aos meus amigos que me deram apoio e sempre acreditaram que eu iria conseguir e ao Alexandre que esteve ao meu lado durante toda jornada.

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza e coorientadora Daysy Lira Oliveira Cavalcanti, que acreditam na minha escolha e me auxiliaram a concretizar todas as ideias. Aos demais professores que de alguma forma me instruíram a ser uma profissional melhor.

Ao Centro Acadêmico de Engenharia Ambiental e Sanitária – CAEAMB, no qual tive a oportunidade de participar e obter muitos aprendizados.

À Empresa Júnior de Engenharia Ambiental e Sanitária – PROTEQ, que me proporcionou conhecimentos e pessoas com muito a ensinar.

À Enops Engenharia que me proporcionou um estágio repleto de aprendizados e pessoas que irei levar para toda vida, especialmente as engenheiras Gláucia Nascimento e Joana Karoline.

À Companhia de Saneamento de Alagoas por fornecer as informações para a realização do meu trabalho, em especial ao Engenheiro da CASAL, Wanderson, por ter me auxiliado na obtenção das informações e desenvolvimento do trabalho.

## RESUMO

A distribuição de água no Brasil ainda sofre perdas significativas, sejam elas reais ou aparentes. Segundo o SNIS 2019, o Brasil apresenta um índice de perdas de 39,2%. Esse volume perdido impacta financeiramente as companhias e as condições hidráulicas dentro do próprio sistema de abastecimento, pois influi nas pressões dentro das tubulações, que é um aspecto importante para que a água chegue nos pontos mais distantes do sistema. Para que os níveis de perdas sejam reduzidos existem diversas metodologias, ferramentas de análise e equipamentos de controle disponíveis, podendo ser citado a: implantação de equipamentos de monitoramento e controle, e a modelagem hidráulica. Palmeiras dos Índios apresenta um alto índice de perdas e um dos indicativos para tal volume perdido é o rompimento de redes devido à alta pressão no sistema. As ferramentas citadas devem auxiliar na redução do índice de perdas e no controle da pressão se utilizadas para o sistema de abastecimento da cidade de Palmeira dos Índios, em Alagoas, por isso, neste estudo são verificados, através do software Epanet, implantações de Distritos de Medição e Controle (DMCs), válvulas redutoras de pressão (VRP) e a implantação de novas redes.

**Palavras-chave:** Modelagem hidráulica; sistema de abastecimento de água; redução de perdas.

## ABSTRACT

Water distribution in Brazil still suffers significant losses, whether real or apparent. According to the SNIS 2019, Brazil has a loss rate of 39.2%. This lost volume impacts the companies financially and the hydraulic conditions within the supply system itself, as it influences the pressures within the pipes, which is an important aspect for the water to reach the most distant points of the system. In order to reduce the levels of losses there are several methodologies, analysis tools and control equipment available, such as: the implementation of monitoring and control equipment, and hydraulic modeling. Palmeiras dos Índios presents a high rate of losses and one of the indications for this lost volume is the breakage of networks due to high pressure in the system. The tools mentioned above should help to reduce the rate of losses and control pressure if used for the supply system of the city of Palmeira dos Índios, in Alagoas, therefore, in this study we verify, through the Epanet software, the implementation of Measurement and Control Districts (MCDs), pressure reducing valves (PRV) and the implementation of new pipes.

Keywords: Hydraulic modeling; water supply system; loss reduction.

## Índice de Figuras

Figura 1 - Mapa da distribuição de água nas regiões do Brasil, segundo SNIS (2019). .....	11
Figura 2 - Mapa de perdas no abastecimento nas regiões do Brasil, segundo o SNIS (2019). .....	11
Figura 3 - Divisão das perdas no abastecimento de água. ....	15
Figura 4 - Esquema de cálculo de perdas na distribuição de água. ....	16
Figura 5 - Representação dos setores existente dentro de um sistema de abastecimento. .....	22
Figura 6 - Etapas do plano de trabalho.....	24
Figura 7 - Corpos hídricos do município de Palmeira dos Índios. ....	25
Figura 8 - Sistema coletivo de abastecimento de água .....	26
Figura 9- Barragem Carangueja. ....	26
Figura 10- Barragem Caçamba.....	27
Figura 11 - Cadastro técnico das redes.....	29
Figura 12 - Arquivo de simulação .....	29
Figura 13- Áreas de inconsistência do cadastro técnico.....	30
Figura 14 - Áreas a serem excluídas da simulação.....	30
Figura 15 - Reservatório R3. ....	31
Figura 16 - Reservatório R5.....	31
Figura 17 - Localização e cotas dos reservatórios.....	33
Figura 18- Regiões de abastecimento. ....	34
Figura 19- Curva de padrão de consumo utilizada. ....	36
Figura 20 - Classificação dos nós pela elevação. ....	37
Figura 21 - DMCs propostos.....	38
Figura 22- Redes capeadas e locais de novas redes. ....	39
Figura 23 - Controle VRP DMC 3. ....	39
Figura 24- Pressão no nó imediatamente após a VRP do DMC 3. ....	40
Figura 25 - Resultados de pressão da primeira simulação. ....	41
Figura 26 - Pressão nos nós após a inserção das cotas dos reservatórios. ....	42
Figura 27 - Pressão dos nós para a demanda de 0,071 L/s. ....	42
Figura 28 – Trechos de rede que apresentam perda de carga crítica.....	43
Figura 29 - Trechos de rede que apresentam velocidade crítica. ....	43
Figura 30- Região de abastecimento Centro - Reservatório R4.....	44
Figura 31 - Velocidade da água na região de abastecimento Centro.....	45
Figura 32 - Pressões na região 2 - Reservatórios R2 e R4.....	45
Figura 33 - Pressão nos nós da região de abastecimento 03 - Reservatório R2. ....	46
Figura 34 - Pressões do sistema com redução de perdas. ....	47
Figura 35 - Velocidade nas redes após a redução de perdas. ....	47
Figura 36 - Comportamento do sistema após a implantação dos DMCs e VRPs. ....	48
Figura 37- Nós selecionados para verificação de pressão.....	48
Figura 38 - Pressões nos nós no cenário 01. ....	49
Figura 39 - Pressões nos nós no cenário 02. ....	50
Figura 40- Pressões nos nós no cenário 03. ....	51
Figura 41- Trechos com altos valores de perda de carga antes do reforço. ....	52
Figura 42- Trechos de rede após a inserção de reforço de rede. ....	53

Figura 43- Perdas de carga na região do reservatório R6. ....	53
Figura 44- Perda de carga na região do reservatório R6 após realização de reforço. .	54
Figura 45 - Perda de carga no trecho 5005 antes da implantação do reforço de rede.	54
Figura 46 - Perda de carga no trecho 5005 após realização de reforço de rede.....	55
Figura 47 - Reforços de rede e redes. ....	55
Figura 48- Sistema com reforços de rede. ....	56

## **Índice de Quadros**

Quadro 1- Calculated Components of Unavoidable Annual Real Losses UARL.....	19
Quadro 2- Capacidade dos reservatórios.....	34
Quadro 3 - Informações inseridas em cada cenário.....	35

## Sumário

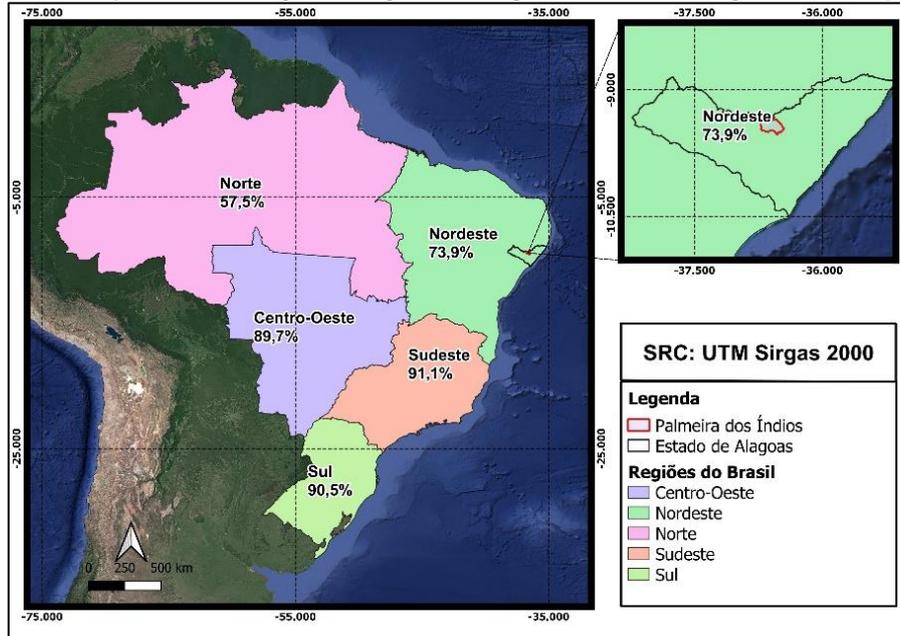
1. Introdução .....	10
2. Objetivo .....	13
2.1 Objetivo geral .....	13
2.2 Objetivo específico .....	13
3. Fundamentação teórica .....	14
3.1 Abastecimento de água pública .....	14
3.1 Perdas de água em sistemas de abastecimento .....	15
3.2 Controle de pressão .....	19
3.3 Simulação hidráulica de redes de abastecimento de água .....	20
3.4 Setorização .....	21
3.4.2 Setores de Manobra .....	22
3.4.3 Distritos de Medição e Controle (DMC) .....	22
4. Metodologia .....	24
4.1 Caracterização da área de estudo .....	24
4.2 Coleta de dados .....	28
4.3 Adequação do cadastro técnico para a modelagem .....	28
4.4 Modelagem hidráulica .....	32
4.4.1 Cenário 1 – Sistema atual .....	33
4.4.2 Cenário 2 – Alteração da demanda .....	36
4.4.3 Cenário 3 – Implantação de Macromedidores e VRPs .....	37
4.5 Comparação dos resultados da modelagem .....	40
5. Resultados .....	41
6. Conclusões .....	57
7. Referências .....	58

## 1. Introdução

Segundo o relatório da Organização das Nações Unidas (ONU), do ano de 2019, até o momento o consumo de água no mundo cresce 1% ao ano desde a década de 1980. Esse crescimento se dá devido a modificações dos padrões de consumo, aumento populacional e desenvolvimento socioeconômico. Para os próximos anos não se tem perspectivas de mudanças no comportamento da curva de demanda e acredita-se que até 2050 se tenha um crescimento de demanda de 30% em relação ao consumo atual (ONU, 2019). O crescimento do consumo de água se dá principalmente pela indústria e pelo uso doméstico. No entanto, a má distribuição do recurso faz com que pelo menos uma vez ao ano 4 bilhões de pessoas sofram grave escassez de água (ONU, 2019).

De acordo com Art. 11-B da Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020, que altera a Lei Nº 11.445 (lei do saneamento), de 05 de janeiro de 2007, até 31 de dezembro de 2033, 99% da população brasileira deve ser atendida com água potável. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), até o ano de 2019, o Brasil possuía 83,7% da população atendida. Na Figura 1 é possível verificar que as regiões Norte e Nordeste apresentam as menores porcentagens de população abastecida, estando a cidade de Palmeira dos Índios, cidade na qual será realizado o presente estudo, inserida no Nordeste brasileiro.

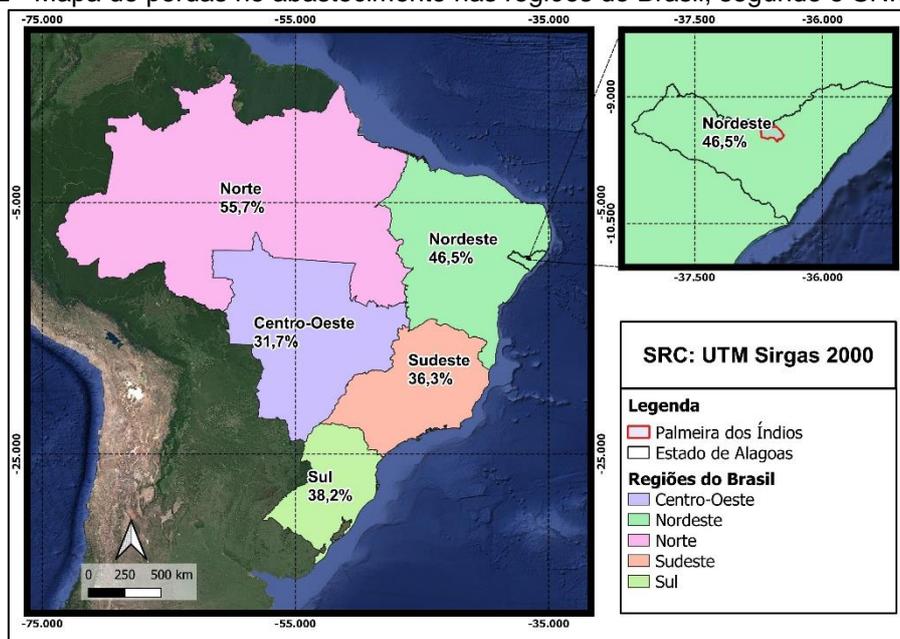
Figura 1 - Mapa da distribuição de água nas regiões do Brasil, segundo SNIS (2019).



Dados: SNIS (2019).

Ainda segundo o SNIS, o Norte e o Nordeste apresentam alto índice de perdas durante a distribuição de água, a média do valor de perdas por região é apresentado na Figura 2. Na cidade de Palmeira dos Índios o índice calculado é 65,60% (PMSB, 2021). Referente a este valor, o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) indica que não são levadas em consideração perdas nos reservatórios, o que pode fazer com que o índice seja ainda maior do que o calculado.

Figura 2 - Mapa de perdas no abastecimento nas regiões do Brasil, segundo o SNIS (2019).



Dados: SNIS (2019).

A redução de perdas nos sistemas de abastecimento é um dos caminhos para se ampliar a cobertura do sistema de abastecimento. Esta iniciativa consiste em analisar os pontos críticos do sistema através de softwares de simulação hidráulica, criando cenários com possíveis intervenções na rede, assim como, o controle das pressões internas do sistema, busca por pontos de vazamento e redução de consumo não autorizado.

Este estudo utilizou dados fornecidos pela Companhia de Saneamento de Alagoas – CASAL e através destes arquivos foi possível definir alterações no sistema visando melhorar o controle de volume, tornando mais verídico o índice de perdas, e a pressão do sistema. Como algumas informações não foram obtidas dentro do prazo de desenvolvimento do trabalho, adaptações foram realizadas para tornar o estudo possível, o que torna as sugestões aqui dispostas não aplicáveis em campo sem um estudo aprofundado, levando em consideração todas as variáveis contidas no sistema.

## **2. Objetivo**

### **2.1 Objetivo geral**

Analisar o sistema de abastecimento de água do município de Palmeira dos Índios e verificar os impactos no sistema devido a instalação de equipamentos hidráulicos.

### **2.2 Objetivo específico**

- Avaliar a eficiência da implantação de novas redes e equipamentos hidráulicos;
- Verificar a interferência de setorizações propostas e suas influências para a adequação da distribuição de água, tendo como referência a NBR 12.218/17;
- Avaliar os impactos da redução de perdas.

### 3. Fundamentação teórica

Diversos fatores naturais influenciam a disponibilidade hídrica e consequentemente o abastecimento de água. Esses fatores juntamente com a gestão dos recursos hídricos vertem para o desequilíbrio do balanço hídrico (Atlas Águas, 2021). Nas regiões Nordeste e Sudeste os sistemas integrados, abastecimento subterrâneo e superficial, são adotados principalmente por estes locais terem uma capacidade de produção local de água que não atende à demanda (Atlas Águas, 2021). Ao longo do trabalho são abordados tópicos referentes ao sistema de abastecimento público, redução de perdas e simulação hidráulica.

#### 3.1 Abastecimento de água pública

Para a elaboração de um projeto de abastecimento público um estudo de concepção deve ser realizado de acordo com a NBR 12.218. A norma que foi atualizada em 2017, determina as diretrizes a serem obedecidas para a elaboração do sistema de redes de distribuição em sistemas de abastecimento público. Especifica que as pressões devem encontrar-se no intervalo de 10 a 50 mca (metro de coluna de água) dentro das redes de distribuição e velocidades entre 0,6 e 3,5 m/s, sendo o diâmetro mínimo dos condutos de 50 mm. Para a perda de carga recomenda-se utilizar a fórmula de Darcy Weisbach, Equação I. No entanto, na prática se utiliza mais frequentemente para condutos forçados a equação de Hazen Williams, Equação II.

$$(I) \quad h = \frac{f.v^2}{D.2.g}$$

Onde:

- h é a perda de carga unitária em m/m;
- f é o coeficiente de atrito em m<sup>-1</sup>;
- v é a velocidade média do escoamento em m/s; e
- D diâmetro interno do tubo em m.

$$(II) \quad h = \frac{10,65*Q^{1,85}}{C^{1,85}*D^{4,87}}$$

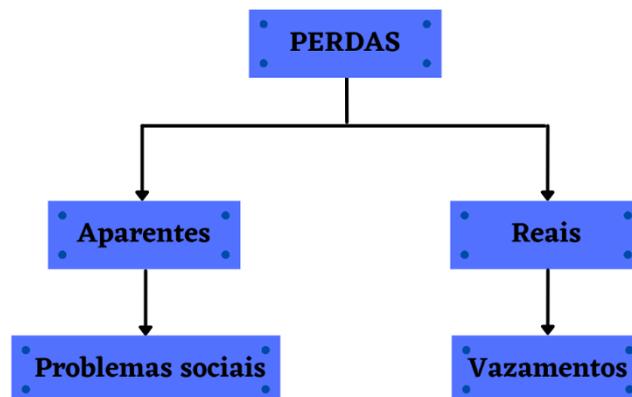
Onde:

- $h$  é a perda de carga unitária em m/m;
- $Q$  é a vazão em  $m^3/s$ ;
- $C$  o coeficiente de rugosidade;
- $D$  diâmetro interno do tubo em m.

### 3.1 Perdas de água em sistemas de abastecimento

Perda de água em sistemas de abastecimento pode ser definida como a água que foi tratada e direcionada à distribuição, mas não foi consumida. As perdas de água ocorrem devido aos problemas físicos das redes ou por consumo não autorizado. Tanto as perdas físicas como as perdas por consumo não autorizado causam impactos negativos ao financeiro das companhias. Ao longo de muito tempo se divergiu em relação ao conceito de perdas em sistemas de abastecimento, mas depois da criação da Water Loss Task Force a definição ficou unânime. Desta forma apresenta-se na Figura 3 uma representação esquemática dos tipos de perdas.

Figura 3 - Divisão das perdas no abastecimento de água.



Fonte: Adaptado de SNIS.

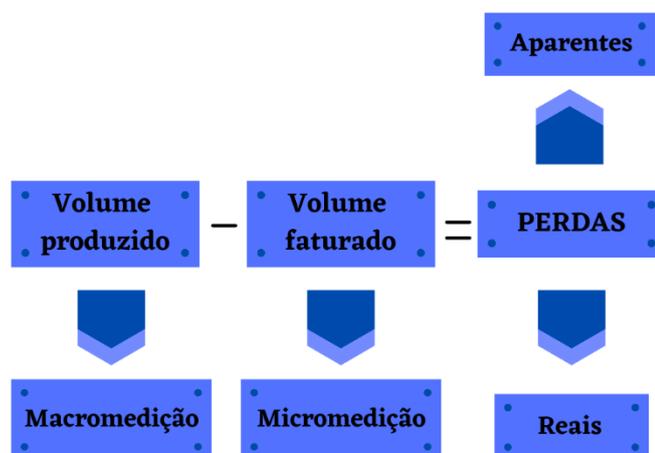
As perdas aparentes envolvem quesitos sociais e conscientização da população, já as perdas reais são problemas nas redes, muitas vezes vazamentos, pressões altas que fazem a rede romper ou diâmetros reduzidos que aumentam a perda de carga. Estes vazamentos podem ser divididos entre visíveis, não visíveis e inerentes. Os não visíveis são os mais difíceis de serem resolvidos pois demandam tecnologias diferentes dos vazamentos visíveis e mais tempo para cessar. O volume perdido nos vazamentos é intrínseco à

pressão, quanto maior a pressão mais volume se perde, sendo necessário um bom controle de pressão para que se perca o menor volume possível.

Um estudo publicado pelo Instituto Trata Brasil (TONETO JUNIOR et al., 2013) apontou que uma redução de 10% nas perdas das companhias brasileiras agregaria R\$ 1,3 bilhão à receita operacional com água. No entanto, é necessário ressaltar que as perdas são diferentes de desperdício e que é necessário trabalhar nas duas frentes para que seja possível a universalização do abastecimento de água, tendo em vista que a água é um bem finito.

Para determinar o índice de perda é necessário quantificar o volume que está sendo produzido e o volume que está sendo consumido. Na Figura 4 encontra-se um esquema indicando o cálculo de perdas baseado no IN<sub>049</sub> do SNIS, índice pelo qual é calculado o volume de água perdido durante a distribuição.

Figura 4 - Esquema de cálculo de perdas na distribuição de água.



Fonte: Adaptado de SNIS.

Observa-se no esquema da Figura 4, que para se contabilizar as perdas é necessário que sejam realizadas macro e micromedições. A macromedição ocorre através de macromedidores que podem ser instalados na saída de reservatórios, em adutoras ou em uma rede específica, com o objetivo de medir a vazão disponível. Considerando o conceito de volume de controle, os Distritos de Medição e Controle (DMCs) são uma ferramenta eficaz para o melhor monitoramento de volume funcionando da seguinte forma: uma região com determinado número de imóveis e quilometragem de rede é mantido isolado das

demais partes do sistema, de modo que é instalado um macromedidor no DMC, sendo possível verificar o quanto entrou de água no DMC. A micromedição permite saber o quando foi consumido por cada imóvel, fazendo uma subtração do volume macromedido na entrada do DMC se tem o índice de perda da região.

A micromedição é realizada através da hidrometração. Onde hidrômetros instalados nas residências contabilizam o volume consumido em um determinado intervalo de tempo. A soma dos volumes contabilizados em cada medidor residencial representa o volume consumido total da área de controle.

Bezerra ( 2013) cita como ferramenta para redução de perdas a auditoria da água, onde as perdas são calculadas a partir do balanço hídrico. Farley e Trow (2003) indicam quais são os componentes do balanço hídrico utilizado: volume fornecido ao sistema, volume de água faturado medido, volume de água faturado não medido, volume de água não medido e não faturado, volume de consumo não autorizado, volume de perdas por submedição, volume de vazamentos na rede, volume de extravasamento em reservatórios e volume de vazamento em ramais prediais. Todos estes possuem técnicas diversas para a obtenção.

Apesar de parecer bastante suficiente, o IN<sub>049</sub> não leva em consideração vários fatores que interferem nos valores obtidos como valores de perdas e por isso são analisados de forma mais específica quando utilizado o índice bruto de perdas lineares, o índice de perdas por ligação, o índice de perdas inevitáveis e o índice de vazamentos na infraestrutura. Cada um deles apresenta uma análise mais específica para cada uma das características explicitadas nas seguintes equações:

- Índice bruto de perdas lineares (SNIS):

$$(III) \quad IN_{050} = \frac{V_F - V_{CA}}{EXT \cdot D}$$

Onde:

O IN<sub>050</sub> é obtido em m<sup>3</sup>/km/dia;

VF é o volume fornecido (m<sup>3</sup>);

VCA é o volume de consumo autorizado (m<sup>3</sup>);

EXT é a extensão da rede (km); e

D é a duração do período de referência (dias).

- Índice bruto de perdas lineares (IWA):

$$(IV) \quad OP_{28} = \frac{1000 \cdot P_{reais}}{EXT \cdot T / 24}$$

Onde:

$OP_{28}$  é obtido em L/km/dia com o sistema em pressão;

$P_{reais}$  é o volume de perdas reais em (m<sup>3</sup>);

$EXT$  a extensão da rede (km); e

$T$  é o tempo médio de pressurização do sistema (dias).

- Índice de perdas por ligação (SNIS):

$$(V) \quad IN_{051} = \frac{V_F - V_{CA}}{Ligação}$$

Onde:

$IN_{051}$  é dado em litros/ligação/dia;

- Índice de perdas por ligação (IWA):

$$(VI) \quad OP_{23} = \frac{(V_F - V_{CA}) \cdot 365}{Ligação \cdot D}$$

Onde:

$OP_{23}$  é dado em m<sup>3</sup>/ligação/ano; e

$D$  é a duração do período de referência em dias.

- Perda real inevitável:

$$(VII) \quad PRI = (18 \cdot EXT + 0,8 \cdot Ligações + 25 \cdot C_{ramal} \cdot Ligações) \cdot P$$

Onde:

$PRI$  é dado em litros/dia;

$EXT$  é a extensão da rede em km;

$Ligações$  serão consideradas apenas as ativas;

$C_{ramal}$  é o comprimento médio da ligação em km; e

$P$  é a pressão média do setor em mca.

Os coeficientes utilizados na equação são provenientes do quadro

1.

Quadro 1- Calculated Components of Unavoidable Annual Real Losses UARL.

Infrastructure Component	Background Losses	Reported Bursts	Unreported Bursts	UARL Total	Units
Mains	9.6	5.8	2.6	18	Litres/km mains/ Day/metre of pressure
Service Connections, meters at edge of street	0.60	0.04	0.16	0.80	Litres/Connection/ day/metre of pressure
Underground pipes between edge of street and customer meters	16.0	1.9	7.1	25	Litres/km u.g. pipe/ Day/metre of pressure

Fonte: S. Hamilton, R. Mckenzie e C. Seago.

- Índice de vazamentos na infraestrutura:

$$(VIII) \quad IVA = \frac{V_F - V_{CA} - V_{PA}}{PRI}$$

Onde:

VPA é o volume de perdas aparentes em m<sup>3</sup>.

Após a determinação quantitativa das perdas a atuação para a minimização das perdas é imprescindível, podendo ser através do controle da pressão manutenção dos trechos que apresentam vazamento, simulações hidráulicas e melhorias no sistema como um todo.

### 3.2 Controle de pressão

Em situações em que a topografia apresenta grandes variações e o fluxo se dá do ponto mais alto para o mais baixo, é recorrente que nas regiões de menor cota haja o rompimento das tubulações. Quando o fluxo ocorre no sentido contrário, da cota mais baixa para mais alta, é comum que em períodos de maior consumo no sistema, a pressão não seja suficiente para chegar nos pontos mais altos. Para que isso não ocorra é necessário que se tenha o controle desta pressão.

A pressão influencia diretamente o volume de água das perdas reais, alguns vazamentos são extremamente sensíveis as variações de pressão na rede (BEZERRA,2013). Na teoria FAVAD (*Fixed and Variable Area Discharge Paths*), desenvolvida por May (1994, *apud* Bezerra, 2013), tem-se que tubulações mais rígidas apresentam resistência melhor à variação de pressão. Para desenvolver sua teoria May utilizou a equação IX.

$$(IX) \quad \frac{Q_1}{Q_0} = \frac{P_1^{N_1}}{P_0}$$

Onde:

$Q_0$  é o volume vazado associado à  $P_0$ ;

$P_0$  é a pressão inicial;

$Q_1$  é o volume vazado associado à  $P_1$ ;

$P_1$  é a pressão final; e

$N_1$  é o coeficiente relacionado ao material.

O equipamento para a realização do controle de pressão dentro do sistema de abastecimento é a válvula. O mercado oferece alguns modelos e cada qual exerce sua função. As válvulas mais utilizadas são as redutoras de pressão (VRP), as de alívio ou sustentadoras de pressão, as de redução e retenção, redutora e sustentadora de pressão e válvulas para controle de vazão, controladoras de níveis e ventosas.

As VRPs funcionam através do princípio da perda de carga, elas são responsáveis por reduzir a pressão na rede evitando que a sua jusante as redes rompam e os vazamentos aumentem. Podem ser controladas de forma manual ou através de programas que permitem o acompanhamento a todo instante o funcionamento do equipamento de forma remota.

A válvula de alívio funciona desviando o fluxo do seu caminho habitual após o aumento excessivo de pressão no interior do sistema, o desvio diminui a vazão e conseqüentemente a pressão interna diminui.

### **3.3 Simulação hidráulica de redes de abastecimento de água**

A simulação hidráulica é a utilização de programas computacionais para a realização da concepção ou estudos de viabilidade de modificações em sistemas que podem ser de abastecimento de água, coleta de esgoto, drenagem urbana ou de bacias hidrográficas.

Através destes programas computacionais é possível modelar os sistemas de abastecimento de água e analisar vários cenários, verificando os

impactos hidráulicos causados por cada interferência na rede. Ao longo dos anos os programas se tornaram mais sofisticados, mas o princípio é sempre o mesmo: fazer verificações de perda de carga, pressão e velocidade da água.

Existem diversos programas para a realização da modelagem hidráulica, no entanto, os de código aberto como o Epanet, são mais utilizados já que são gratuitos, porém apresentam algumas limitações como poucas ferramentas que facilitam o traçado de novas redes.

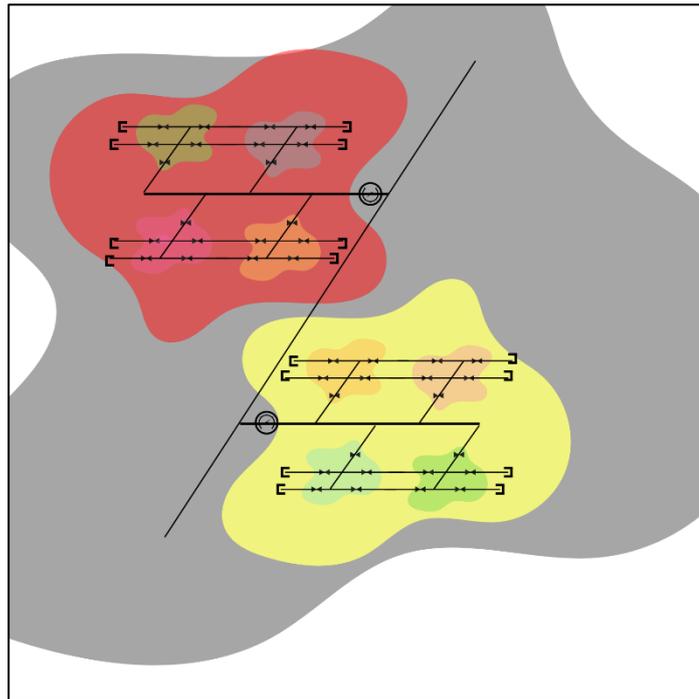
Para a realização da modelagem hidráulica é necessário se ter um bom cadastro de rede, equipamentos e demanda nos nós do sistema. Assim, tem-se uma simulação mais próxima da realidade e cada ação avaliada terá resultados muito próximos do real.

### **3.4 Setorização**

A criação de setores de medição visa maior flexibilização quanto manobras, medições e manutenções. A setorização dos sistemas também está descrita na NBR 12.218/17, podendo ser realizada a criação de setores de manobras e setores de medição e controle. Apesar de ser descrito pela norma, as características de cada sistema determinarão os parâmetros de cada setor, quando será criado um setor de medição e ou um setor de manobra. Existem ainda, dentro das companhias, os setores comerciais que já não correspondem as características hidráulicas do sistema, mas, as características sociais e econômicas. Sempre que possível deve-se tentar a que os setores comerciais e hidráulicos sejam correspondentes.

Na Figura 5 tem-se a representação destes setores, onde as pequenas manchas coloridas são os setores de manobra, as manchas maiores que podem englobar vários setores de manobra são os distritos de medição e controle (DMC), por último, os setores comerciais que podem abranger vários DMCs.

Figura 5 - Representação dos setores existente dentro de um sistema de abastecimento.



Fonte: Autora (2022).

### 3.4.2 Setores de Manobra

Os setores de manobra são a menor região do sistema e segundo a NBR 12.218/17 deve apresentar as seguintes características:

- A extensão da rede variar entre 7 e 35 Km de rede;
- O número de economias deve estar entre 600 e 3000; e
- Deve possuir uma área entre 40.000 e 200.000 m<sup>2</sup>.

### 3.4.3 Distritos de Medição e Controle (DMC)

Os distritos de medição e controle (DMCs) são citados na norma como setores de medição e podem ser nomeados de algumas outras formas. No entanto, o objetivo será sempre o mesmo, verificar o volume de entrada em uma determinada região e comparar este valor com as micromedições.

Assim como os setores de manobra, a norma faz algumas especificações quanto as características que um DMC deve apresentar:

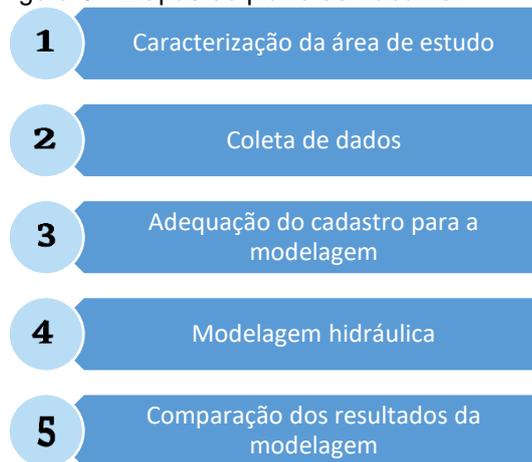
- Preferencialmente deve abranger o mesmo tipo de economia;
- Sua estanqueidade não deve ocorrer com a utilização de mais de 20 válvulas;

- Deve conter no máximo 25 km de rede;
- Alimentação do setor deve ser feita com o menor número de entradas possíveis;
- Não é necessário a utilização de equipamentos fixos para a medição de vazão, pode-se utilizar equipamentos instalados para a medição em períodos específicos.

## 4. Metodologia

Tendo sido definidos os objetivos do estudo, neste tópico determinam-se quais as etapas necessárias para a sua realização e obtenção dos resultados esperados apresentados no tópico a seguir. Na Figura 6 tem-se a divisão das atividades em 5 etapas.

Figura 6 - Etapas do plano de trabalho.



Fonte: Autora (2022).

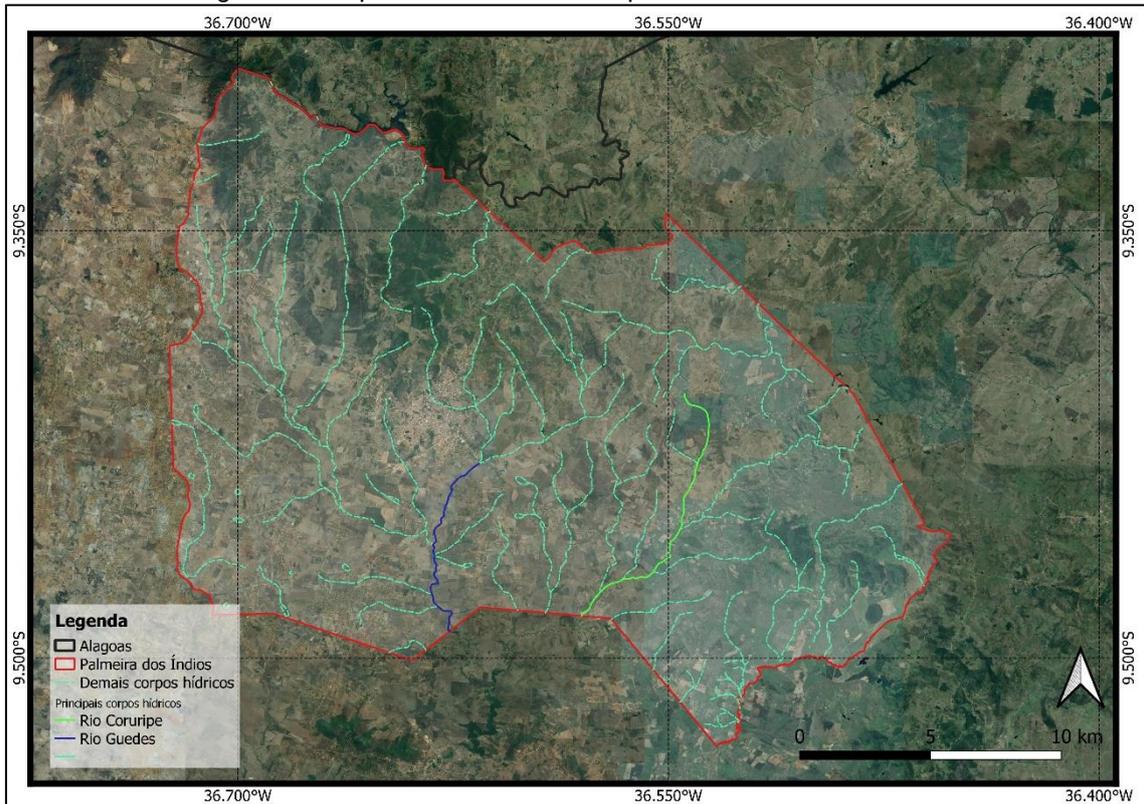
### 4.1 Caracterização da área de estudo

O município de Palmeira dos Índios está localizado no Agreste alagoano, sendo a quarta maior cidade do Estado e fica a 135km da capital Maceió. Segundo o IBGE, a cidade tinha uma população de 72.661 habitantes, em 2019. Com essa população foi calculada a demanda de água, cuja média de consumo diário da população é de 88L/hab.dia, segundo o SNIS.

A cidade foi escolhida como local de estudo devido às características do sistema de abastecimento e por estar em desenvolvimento de projeto com o intuito de reduzir as perdas durante a distribuição. O projeto executivo visa à instalação de Distritos de Medição e Controle (DMC's), válvulas redutoras de pressão e macromedidores.

A hidrografia do município é composta pelos rios Coruripe, Panelas e dos riachos Guedes e Ribeira. Representados na Figura 07 tem-se o Rio Coruripe e o Riacho Guedes. Ainda assim, não possui corpos hídricos capazes de abastecer a cidade.

Figura 7 - Corpos hídricos do município de Palmeira dos Índios.

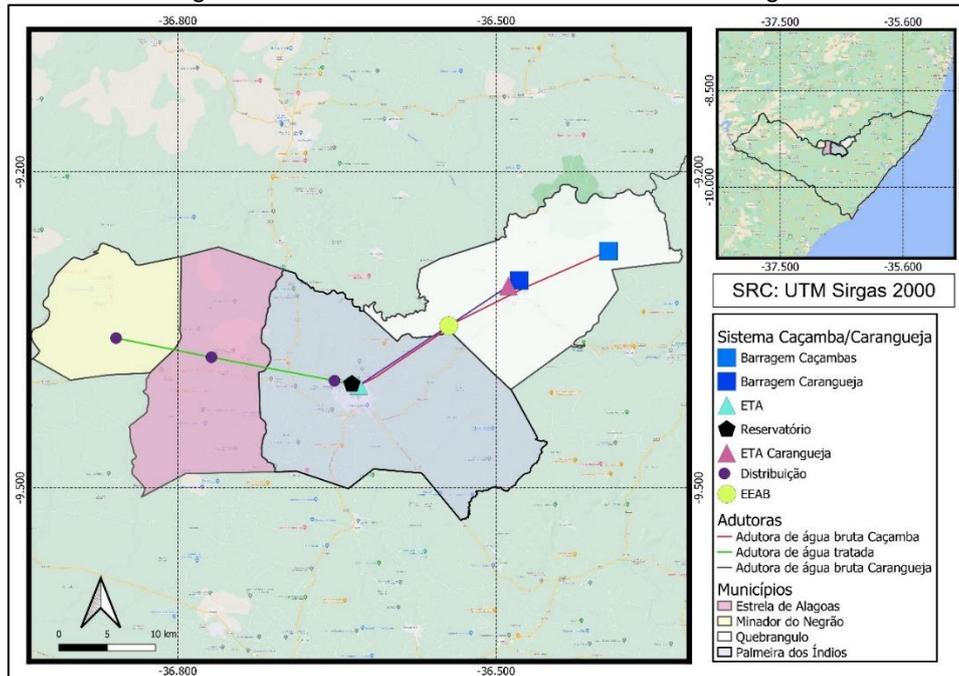


Dados: SEMARH (2022).

Para atender sua demanda, o município está inserido no sistema coletivo de abastecimento de água Carangueja/Caçamba, que abastece os municípios de Quebrangulo, Estrela de Alagoas e Minador do Negrão. Por estar localizada em uma região de pouca disponibilidade hídrica, esta característica faz com que a redução de perdas durante a distribuição seja de fundamental importância para a universalização do acesso a água.

O sistema coletivo que faz o abastecimento da zona urbana da cidade possui duas captações, ambas no município de Quebrangulo: barragem Carangueja e a barragem Caçamba, que dão nome ao sistema. A água é tratada e posteriormente é armazenada em 6 reservatórios, destes reservatórios a água vai para a rede de distribuição. Na Figura 8 temos a disposição dos municípios no mapa que compõem o sistema de abastecimento Carangueja/Caçamba, assim como, os constituintes hidráulicos.

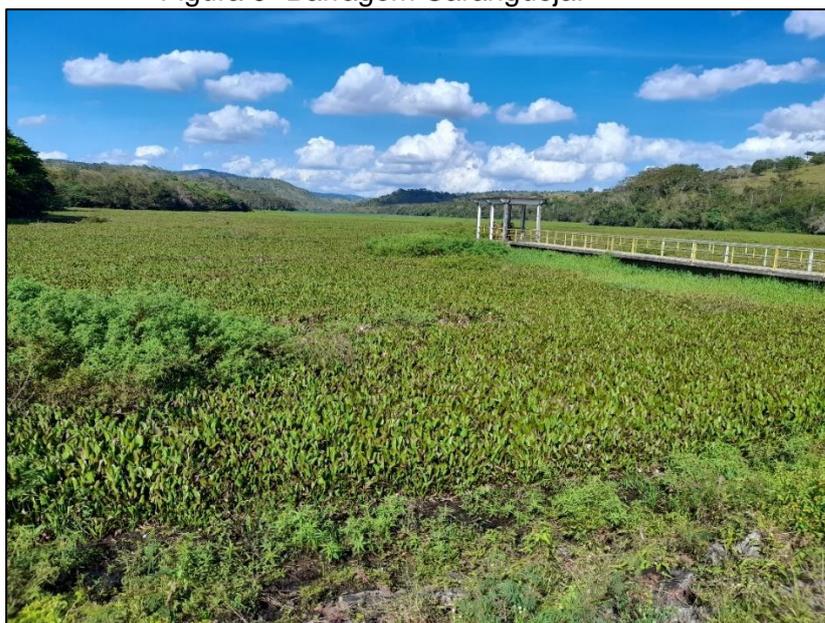
Figura 8 - Sistema coletivo de abastecimento de água



Fonte: CASAL (2010), adaptado.

Na barragem Carangueja, Figura 9, é realizada a captação e o tratamento de parte da água necessária para abastecer os municípios que compõem o sistema. O volume captado é dividido em água bruta e em água que é tratada na ETA, localizada nas proximidades da barragem. A água bruta é direcionada ao tratamento em Palmeira dos Índios, já a água tratada é direcionada parte para abastecimento de Quebrangulo e outra também para a ETA de Palmeira.

Figura 9- Barragem Carangueja.



Fonte: Cavalcante (2021).

A Barragem Caçamba, Figura 10, faz a captação de água para a utilização em Palmeira dos Índios, passando pela estação elevatória, localizada na Barragem Carangueja.

Figura 10- Barragem Caçamba



Fonte: Cavalcante (2021).

O SNIS (2019) aponta que o município conta com 313.160 metros de rede, onde a predominância de material é de PVC e ferro, que apresentam pontos de baixa e elevada pressão.

Para o presente estudo será analisado apenas o município de Palmeira dos Índios, ainda que esteja inserido em um sistema maior de distribuição de água. A caracterização do município escolhido foi realizada através de visitas a Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), em Maceió, e ao corpo técnico responsável pelos estudos de perdas na companhia, juntamente com o estudo do PMSB.

Ainda segundo o SNIS 2019, a cidade apresenta 65,9% de índice de perdas. O volume faturado informado é de 224.437 m<sup>3</sup>/mês, então, estima-se que o volume produzido seja de 371667,672 m<sup>3</sup>/mês. Considerando um valor médio de R\$ 5,372 por m<sup>3</sup>, a companhia deixa de faturar, aproximadamente, R\$ 790.923,17.

## **4.2 Coleta de dados**

A distribuição de água do município de Palmeira dos Índios era de responsabilidade da Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) no momento em que este trabalho foi iniciado. Desta forma, através de solicitação por meio de ofício, foi disponibilizado acesso às informações necessárias para a realização do presente trabalho.

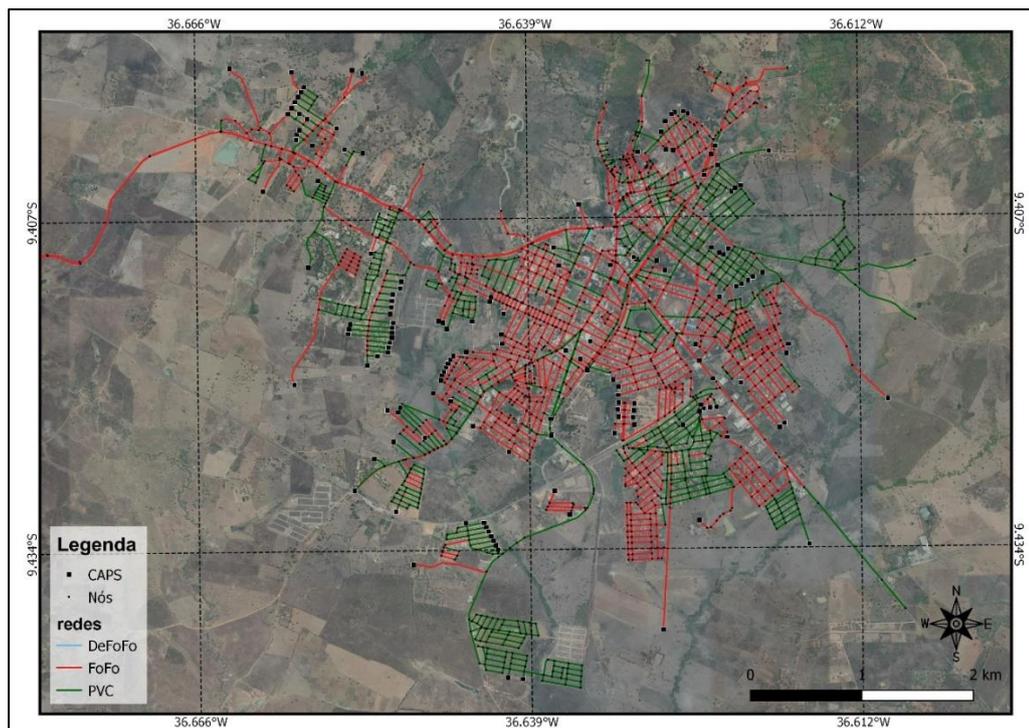
Foram necessários para a realização das análises, o cadastro técnico das redes antes das intervenções, projeção dos setores de abastecimento e DMCs e informações dos equipamentos projetados para serem instalados. No presente momento o sistema passa por levantamento de informações para a calibração do modelo, desta forma, não há tempo hábil para as proposições serem implantadas e novas medições serem feitas para a calibração do modelo. Os arquivos foram disponibilizados por meio digital.

## **4.3 Adequação do cadastro técnico para a modelagem**

A realização da modelagem hidráulica através de software exige que alguns parâmetros sejam atendidos. Alguns destes parâmetros são: toda rede deve ter um nó de início e um nó de fim, todas as redes precisam ter diâmetro e rugosidade, não devem existir redes soltas ou nós que estejam desconectados da rede, é necessário que todos os nós tenham cota, entre outros. Ao receber os arquivos do cadastro técnico todas as informações devem ser revisadas e ajustadas para que a modelagem seja possível. Para esta etapa será utilizado outro software gratuito, Qgis, que possui algumas ferramentas de processamento de vetores e raster que auxiliam na busca pelas redes que estão desconectadas dos demais trechos, nós órfãos, geometrias de pontos que não estão conectadas a uma geometria de linha, ou duplicados.

Na Figura 11 tem-se o cadastro técnico das redes, nós e CAPs.

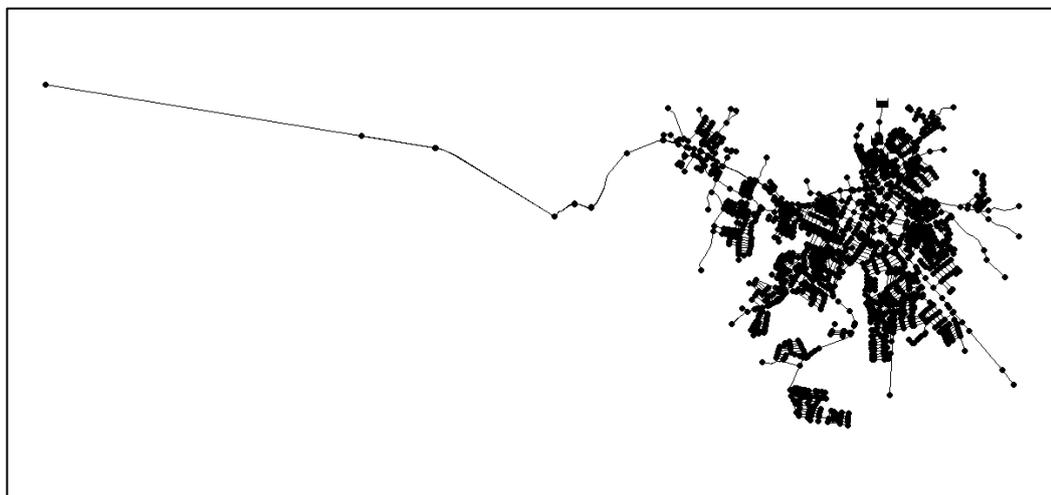
Figura 11 - Cadastro técnico das redes.



Dados: CASAL (2022).

Foi concedido também um arquivo de simulação, conforme Figura 12.

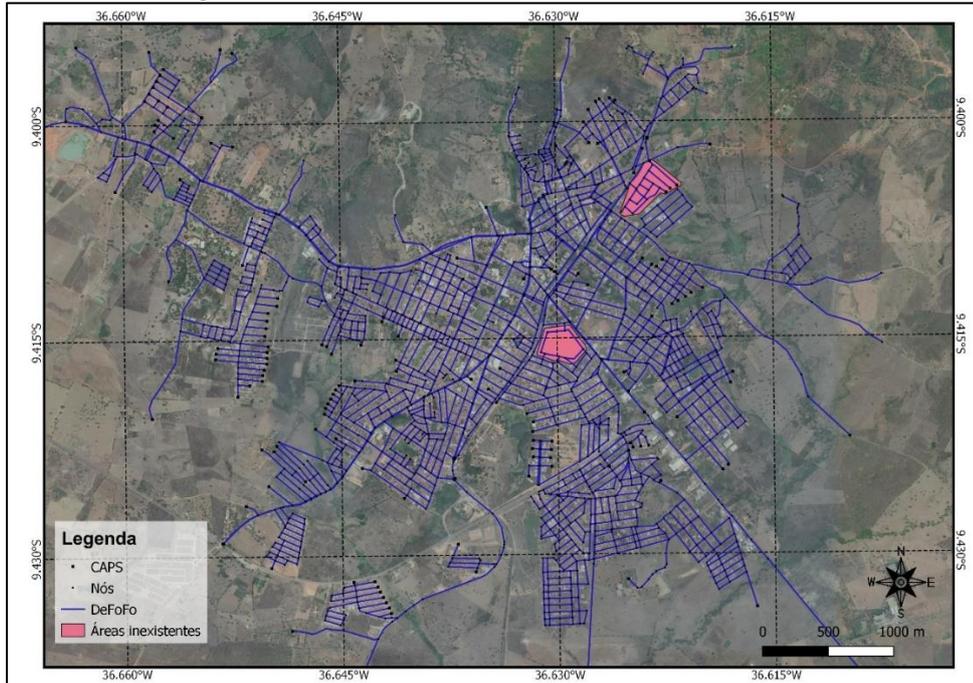
Figura 12 - Arquivo de simulação



Fonte: Autora (2022).

Destas redes, foram identificadas duas regiões que apresentam inconsistências em campo. Apesar de estarem no cadastro técnico, em campo, nenhuma destas redes existe. Estas áreas estão apresentadas na Figura 13 e não serão consideradas na simulação.

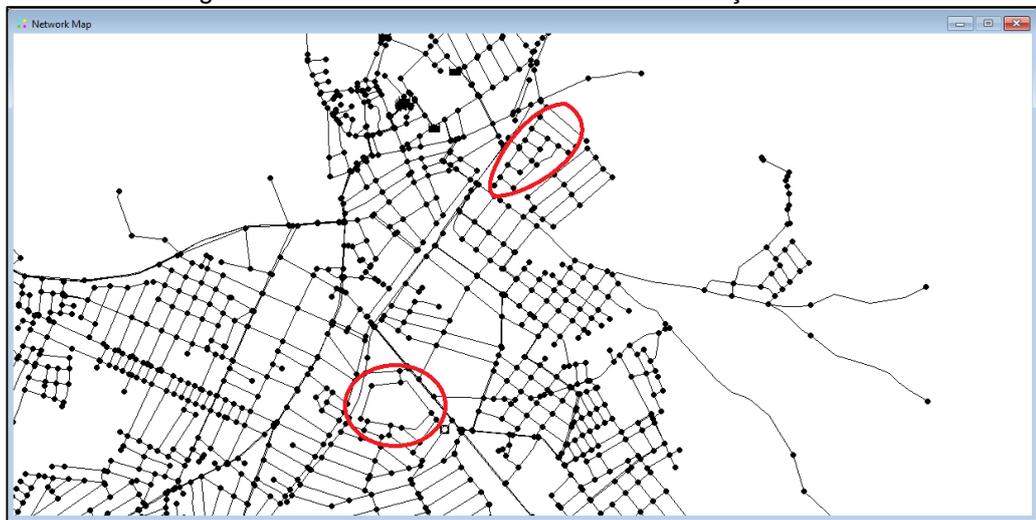
Figura 13- Áreas de inconsistência do cadastro técnico.



Dados: CASAL (2022).

Estas redes também foram identificadas no arquivo de simulação, Figura 14, e foram excluídas para a execução da simulação.

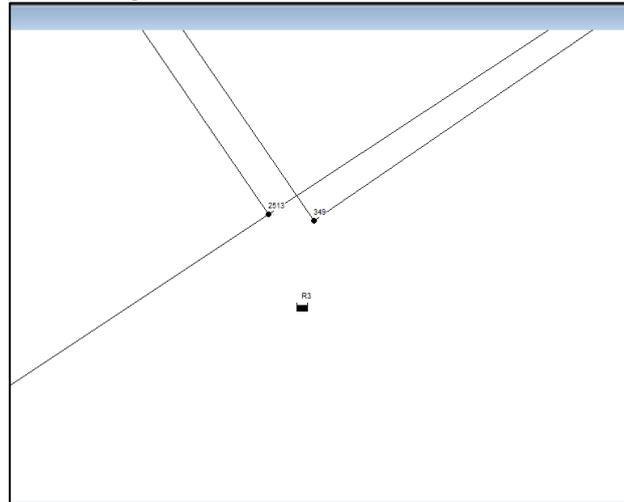
Figura 14 - Áreas a serem excluídas da simulação.



Fonte: Autora (2022).

Ao analisar o cadastro nota-se ausência de informação no reservatório R3, Figura 15, que se encontra totalmente desconectado da rede. Ao ser consultada, a companhia informou que o reservatório não está em funcionamento.

Figura 15 - Reservatório R3.

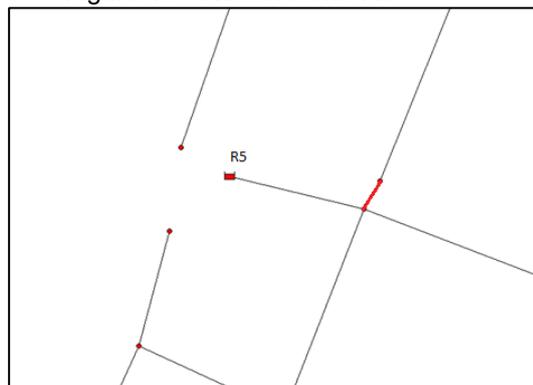


Fonte: Autora (2022).

O reservatório R6 se encontra conectado a uma rede de 60 mm de diâmetro, ao ser consultada a companhia confirmou o diâmetro e informou que a rede possui esse diâmetro por ser um reservatório de pequeno porte. Outro fator importante para todos os reservatórios são as cotas, em nenhum dos reservatórios esta informação foi encontrada dentro do arquivo de simulação, porém, o shape de nós continha as informações, exceto pelo reservatório R5, que foi obtida através do software *Google Eart* e foi inserida na tabela de reservatórios do Epanet.

Além dos fatores já citados, em uma região próxima ao reservatório R5 foi possível identificar uma descontinuidade na rede, Figura 16, fazendo com que o reservatório ficasse desconectado do sistema. Segundo a companhia, este trecho existe e é do mesmo material e diâmetro da rede que sai do reservatório, por isso, a rede foi inserida no modelo.

Figura 16 - Reservatório R5



Fonte: Autora (2022).

O trecho de rede ausente na Figura 16 existe devido à ausência de um arquivo de identificação dos registros, desta forma, a sua representação na simulação hidráulica é feita através de um pequeno trecho de rede. Neste caso, o trecho de rede que representa o registro estava ausente, causando a descontinuidade da rede.

Como a companhia possui as informações dos registros em um site de uso interno, foi criado um shape específico para os registros, que ao final será repassado para a companhia.

Os registros serão importantes para a simulação das regiões de abastecimento da cidade, pois, através da abertura e do fechamento deles são feitas as manobras para o abastecimento.

#### **4.4 Modelagem hidráulica**

A simulação hidráulica ocorrerá através do software Epanet, que foi desenvolvido pela U. S. Environmental Protection Agency (USEPA), e no Brasil foi traduzido pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

O Epanet será utilizado para a simulações hidráulicas por ser um software gratuito e de fácil utilização. O programa permite que sejam modelados sistemas pressurizados onde são inseridas as informações de cadastro (rede, nós, bombas, válvulas e reservatórios) e são obtidos os valores de perda de carga em cada trecho, pressão em cada nó, nível dos reservatórios de nível variado, velocidade do fluido, entre outros. É possível ainda que a simulação seja realizada no modo estático e no modo dinâmico, sendo que neste último é possível acompanhar as variações do sistema ao longo do dia.

Para a realização correta da simulação é necessário que sejam definidos os padrões de consumo e inseridas as curvas de operações das bombas. Caso o sistema tenha alguma peculiaridade em relação ao funcionamento de equipamento as configurações de controle também devem ser inseridas. No município em questão as informações de padrão de consumo e das bombas não estão disponíveis. A curva padrão é construída através de dados obtidos através de equipamentos de medição de pressão e vazão durante 7 dias ininterruptos.

O modelo utilizado conta com nós, redes e reservatórios. Os nós apresentam uma coluna de identificação e uma de elevação. As redes apresentam uma coluna de identificação, uma de nó inicial, uma de nó final, uma de comprimento, uma de diâmetro e uma de rugosidade. Já os reservatórios são as mesmas informações dos nós.

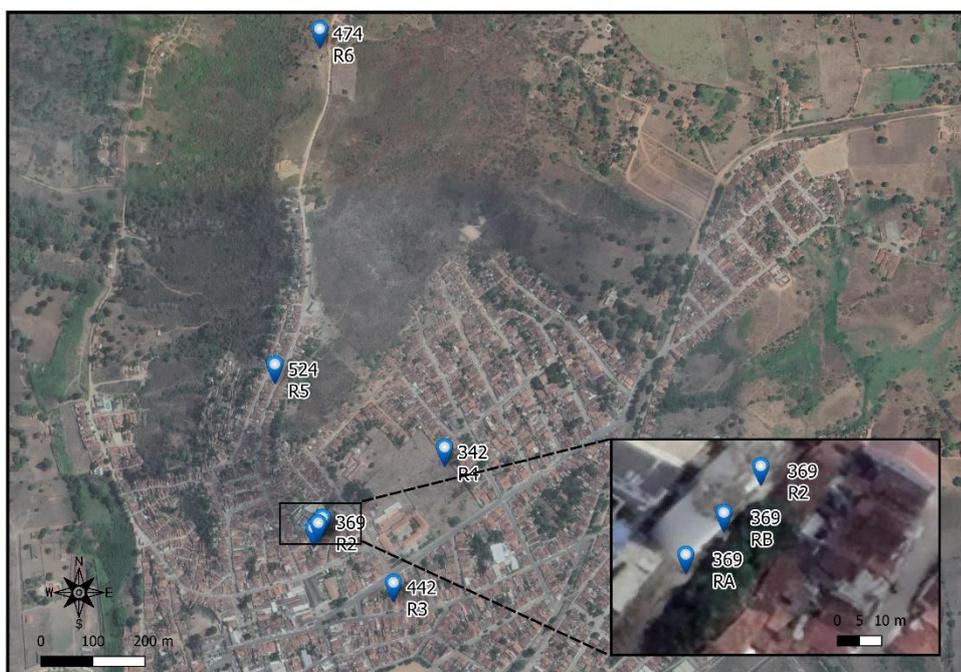
Foram analisados três cenários de simulação, o primeiro deles é sem qualquer interferência na rede, o segundo simulou uma redução de 50% nas perdas do sistema e no terceiro foram analisadas implantações de DMCs, assim como, a implantação de válvulas redutoras de pressão (VRPs).

Para a criação do cenário 3 deverá ser considerado que a CASAL utilização como padrão o número de ligações por DMC entre 2.000 e 3.000 de ligações e a rede deve ter extensão entre 11 e 18km.

#### 4.4.1 Cenário 1 – Sistema atual

Atualmente o sistema possui 2.639 trechos de redes, 59% deles são de ferro fundido (FoFo) e 58,46% dos trechos possuem diâmetro de 60mm. Estas redes distribuem água a partir de 7 reservatórios: RA, RB, R2, R3, R4, R5 e R6. Todos os reservatórios estão localizados na região com maior cota, Figura 17.

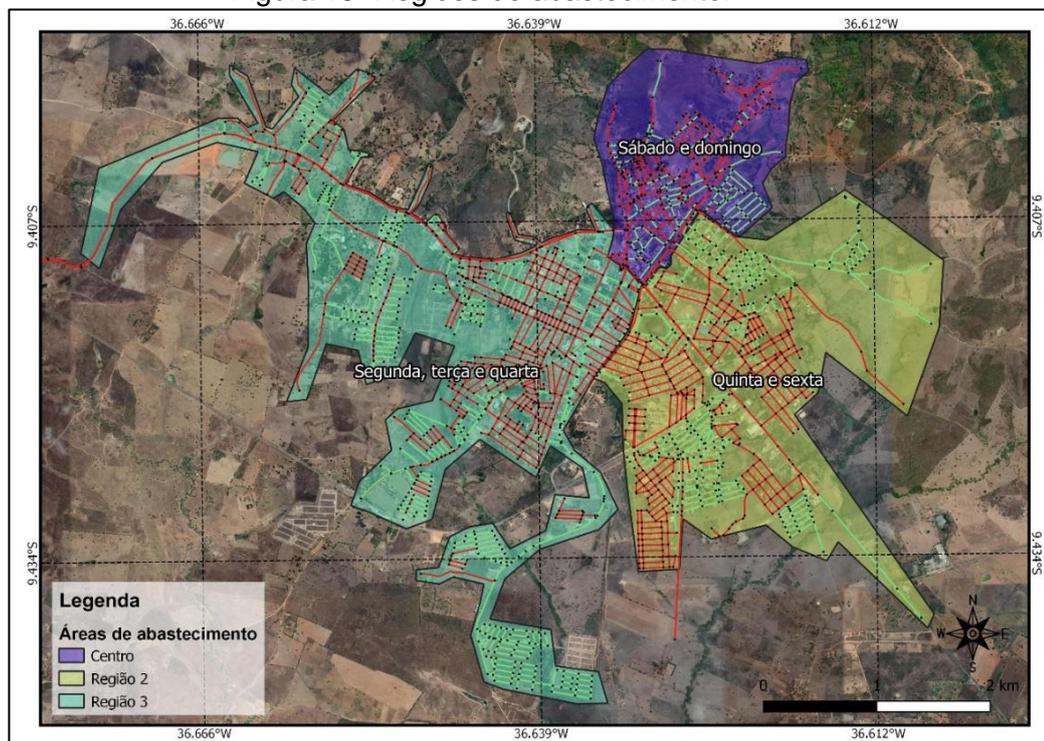
Figura 17 - Localização e cotas dos reservatórios.



Fonte: Autora (2022).

Por não conseguir atender a demanda de todo município ao mesmo tempo, o sistema trabalha de forma intermitente, Figura 18.

Figura 18- Regiões de abastecimento.



Dados: CASAL (2022).

Os reservatórios possuem capacidade conforme descrito no quadro 2. As segundas, terças e quartas o reservatório 2 distribui água na região 03, as quintas e sextas o reservatório R4 é aberto para abastecer a região 2 e aos sábados e domingos para a região do Centro da cidade. O RA e RB permanecem fechados e o R3 está desativado e além disso, não possui informação no cadastro que identifique a conexão dele com a rede. O R5 e R6 possuem baixa capacidade, por isso, permanecem abertos todo tempo.

Quadro 2- Capacidade dos reservatórios.

Reservatório	Capacidade (m <sup>3</sup> )
RA	1.400
RB	1.400
R2	Não informado
R3 (desativado)	350
R4	500

R5	700
R6	50

Fonte: PMSB (2021).

O centro da cidade apresenta condições críticas de abastecimento, sendo necessário analisar medidas que normalizem o abastecimento na região. As áreas de abastecimento são delimitadas por válvulas de gaveta que são abertas e fechadas de acordo com o rodízio.

Para a simulação, atualmente, a companhia utiliza um único arquivo de simulação, que será utilizado para a caracterização do cenário 01. O município também não conta com DMCs instalados.

O PMSB indica que o consumo *per capita* do município é de 88 L/hab.dia. Também é indicado que o volume faturado por mês é de 224.437m<sup>3</sup> por mês. Considerando 65,6% de perdas estima-se através da equação X que a ETA produza 371.667,672 m<sup>3</sup> por mês, com isso são calculadas no Quadro 3 as demandas para os três cenários.

$$(X) \quad \text{Volume produzido (m}^3\text{/mês)} = \text{Vol. Fat} + \text{Vol. Fat} \times \text{Perdas}$$

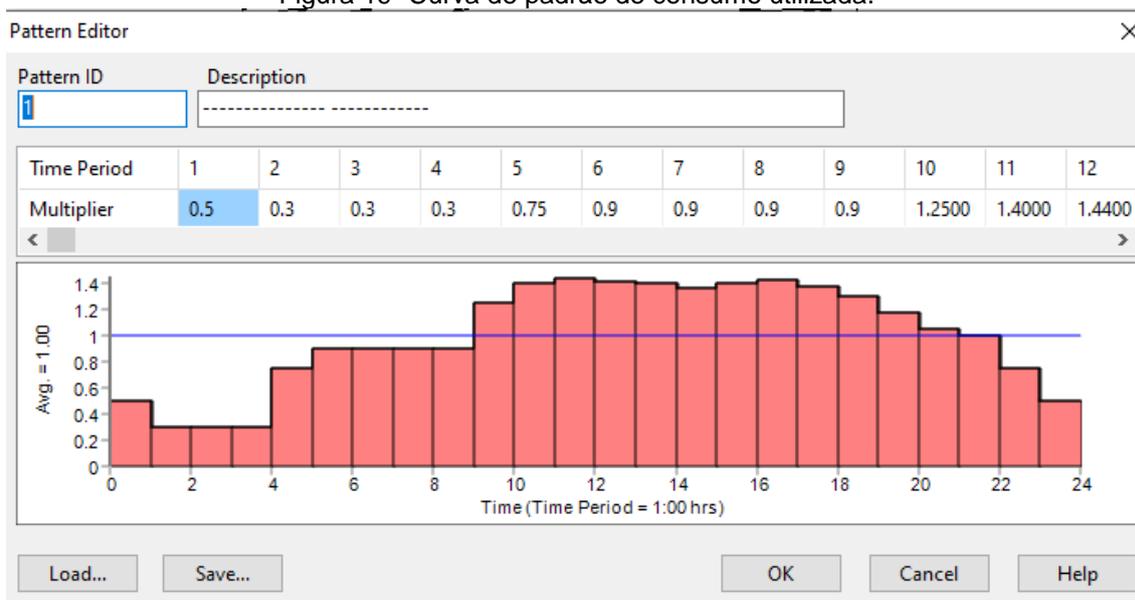
Quadro 3 - Informações inseridas em cada cenário.

População	72661		
Volume faturado	224437	m <sup>3</sup>	
Nós	2004		
	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03
Perdas	0,656	0,328	0,656
Volume produzido (m <sup>3</sup> )	371667,67	298052,34	371667,67
Vazão (L/s)	143,39	114,99	143,39
Demanda/nó (L/s)	0,072	0,057	0,072

Fonte: Autora (2022).

Como o município não possui curva de padrão de consumo, foi utilizada a curva de padrão de consumo do bairro Cruz das Almas, em Maceió, adaptada. Para sua utilização não houveram verificações de similaridade entre as características do bairro com o município. A adaptação consistiu em preencher os valores ausentes na curva pré-existente. A curva de padrão de consumo utilizada é apresentada na Figura 19. Este padrão foi utilizado nos três cenários e representa horários de maior e menor consumo no sistema.

Figura 19- Curva de padrão de consumo utilizada.



Fonte: Autora (2022).

#### 4.4.2 Cenário 2 – Alteração da demanda

Baseado nos resultados obtidos através da simulação das três regiões de abastecimento, assim como uma análise do sistema como um todo, o cenário 2 simula a alteração na demanda de água do sistema. Neste cenário a demanda do sistema considera que o índice de perdas reduza em 50%. O intuito é verificar se apenas com a redução das perdas, sem implantação de novas redes e equipamentos, o sistema se tornará eficiente.

A redução do índice de perda se daria através da realização de reparos na rede em regiões de ocorrência de vazamentos. Para a identificação destes vazamentos deve-se utilizar equipamentos de sondagem, já que o solo da região não permite que os vazamentos aflorem, pois, a água vazada infiltra para camadas mais profundas do solo.

A alteração da demanda se utilizando novamente a Equação X. No lugar de considera 65,6% de perdas é considerado 32,8%, gerando um novo volume produzido e distribuído nos nós.

Desta forma, a demanda utilizada é 0,0569 L/s em cada um dos nós.

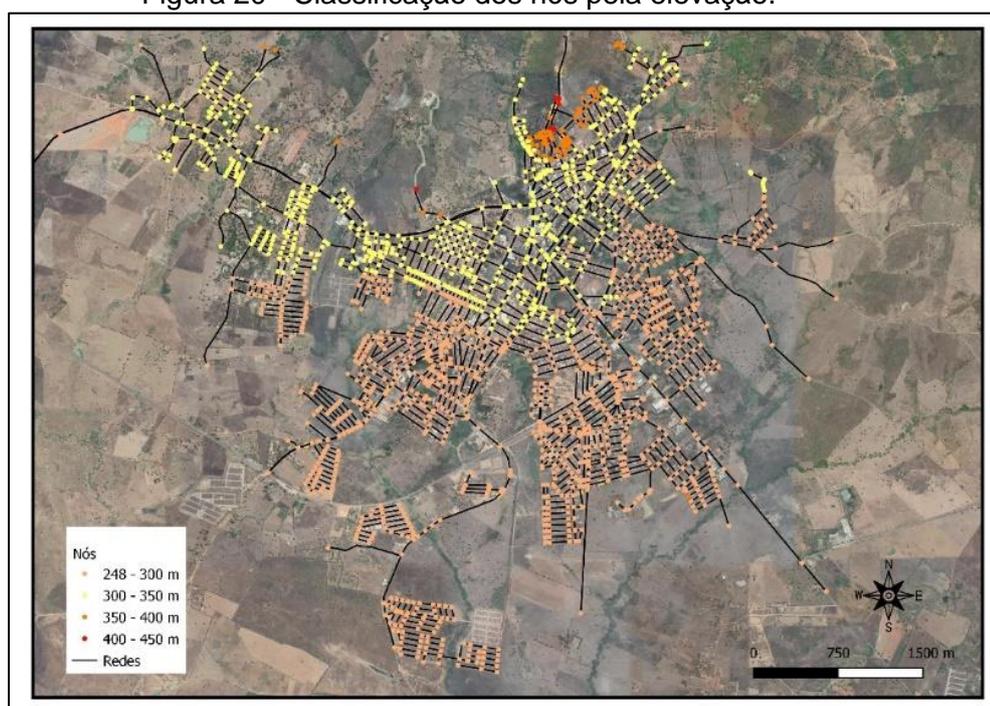
#### 4.4.3 Cenário 3 – Implantação de Macromedidores e VRPs

Este cenário considera a demanda atual do sistema, instalação de macromedidores e válvulas redutoras de pressão (VRPs) nas regiões onde a pressão se encontra elevada.

A demanda a ser considerada é de 0,071 L/s em cada um dos nós. O número de ligações por distrito de medição e controle não é especificado e norma, no entanto, a CASAL utiliza como parâmetro DMCs com o número de ligações entre 2.000 e 4.000 ligações. O número de ligações por DMC informado no PMSB é de 18.679 ligações, isso resultaria em 6,22 DMCs, neste caso, é sugerido a implantação de 6 DMCs, com em média 3.113 economias. A princípio esta informação não será relevante para a simulação, já que os imóveis não se encontram georreferenciados, mas este valor será considerado para a criação dos DMCs e implantação de VRP.

A concepção dos DMCs foi baseada levando em consideração principalmente a cota que se encontram os nós. Os nós encontram-se divididos em 4 faixas de elevação, Figura 20, com um intervalo de aproximadamente 50 m. Os DMCs preferencialmente devem ser traçados de forma que fique em uma região de cotas sem grandes variações.

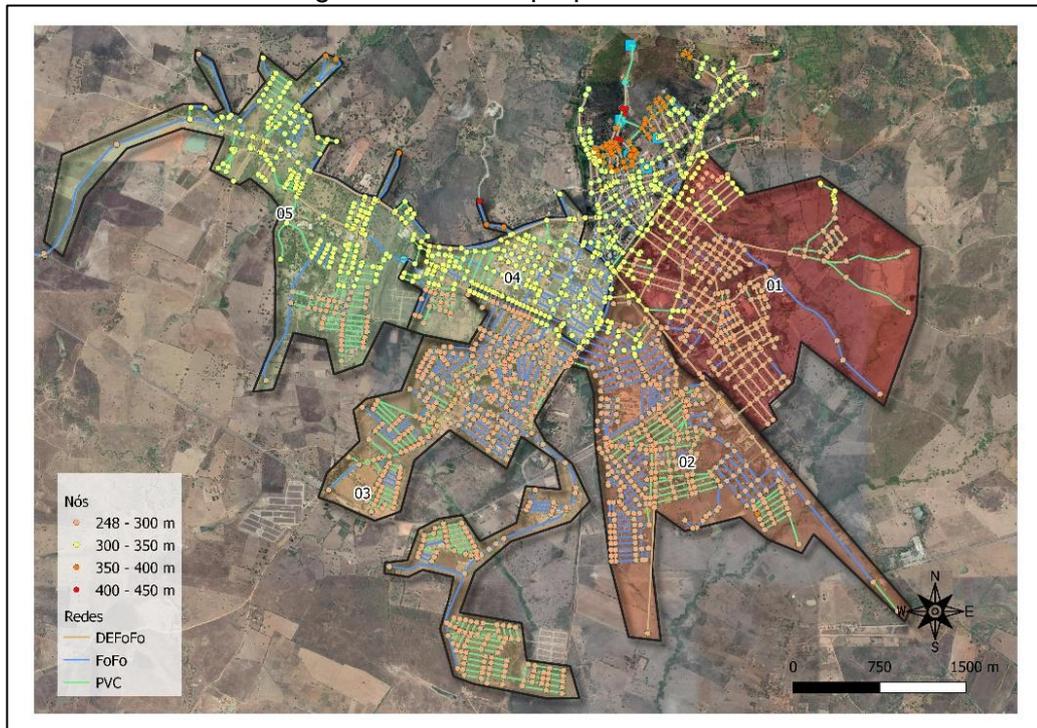
Figura 20 - Classificação dos nós pela elevação.



Dados: CASAL (2022).

Utilizando como referências as cotas e as pressões apresentadas durante a simulação os DMCs foram demarcados e são apresentados na Figura 21.

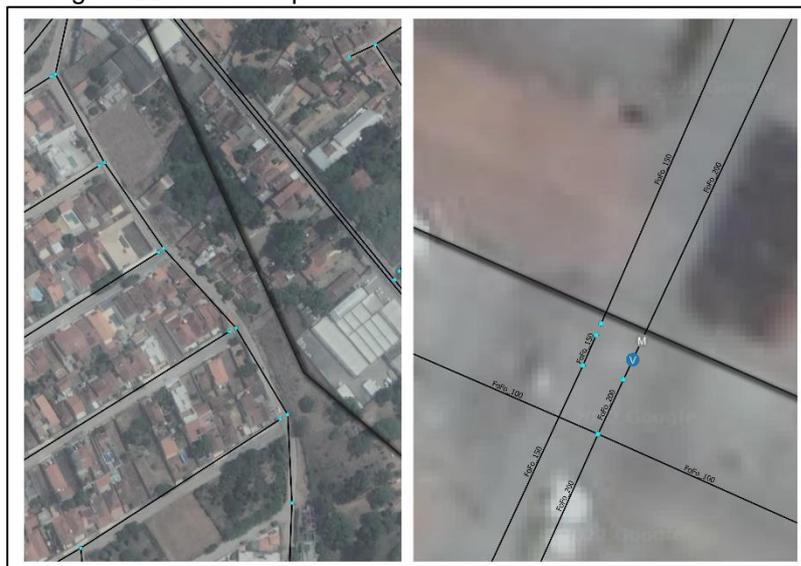
Figura 21 - DMCs propostos.



Dados: CASAL (2022).

Para a efetivação dos DMCs será necessário o capeamento de redes que impossibilitam o funcionamento independente das regiões propostas, Figura 22. Após a realização do capeamento foram encontrados pontos onde a pressão caiu significativamente devido a interrupção no caminho da água, e por isso, é proposto a implantação de trechos de redes, em sua maioria de diâmetro pequeno, para a garantia do abastecimento.

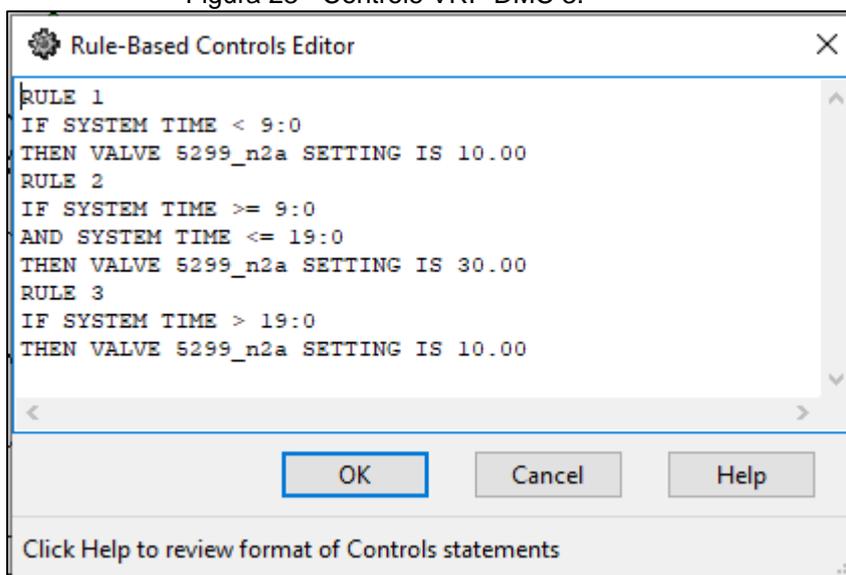
Figura 22- Redes capeadas e locais de novas redes.



Fonte: Autora (2022).

A pressão foi modificada através de VRPs a serem implantadas, a VRP a ser instalada no DMC 3 precisou de controles para garantir a pressão adequada ao longo dia, o controle inserido no Epanet está descrito na Figura 23.

Figura 23 - Controle VRP DMC 3.

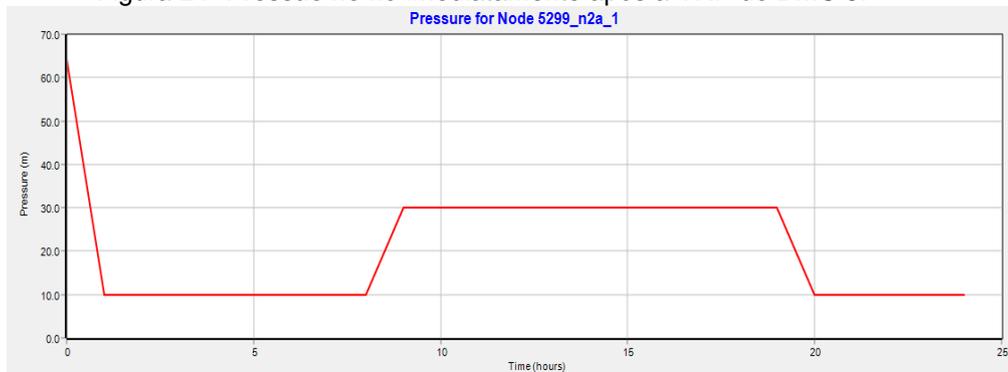


Fonte: Autora (2022).

Ao utilizar o controle descrito anteriormente o nó imediatamente após a VRP apresenta o comportamento detalhado na Figura 24. Das 00:00 até as 09:00 e das 19:00 as 24:00 o sistema tem um consumo menor, o que consiste na elevação da pressão dentro do sistema e por isso a VRP deve liberar menos pressão. Já das 09:00 as 19:00 o consumo no sistema aumenta e é necessário

uma pressão maior para garantir o abastecimento em todo sistema e por isso a VRP permite que a pressão suba.

Figura 24- Pressão no nó imediatamente após a VRP do DMC 3.



Fonte: Autora (2022)

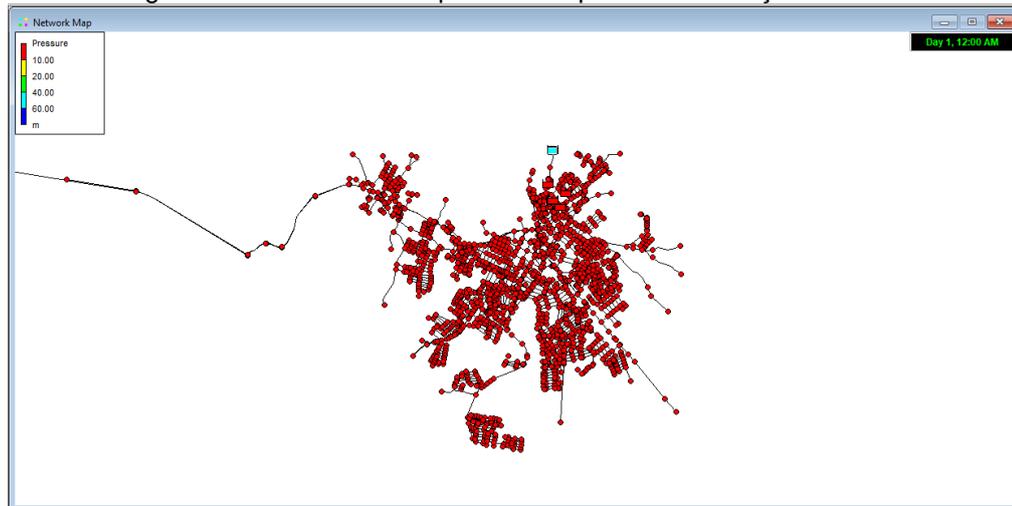
#### 4.5 Comparação dos resultados da modelagem

Após cada simulação hidráulica foi feita uma verificação das pressões e das perdas de carga nas tubulações. Os valores encontrados foram confrontados os valores de referência da norma e comparados aos valores obtidos nas demais simulações.

## 5. Resultados

Na primeira tentativa de execução do modelo disponibilizado pela CASAL o software não obteve sucesso e não gerou resultados. Após a remoção das redes identificadas como inexistentes e nós soltos, o modelo gerou o primeiro resultado, Figura 25, onde as pressões obtidas foram todas negativas.

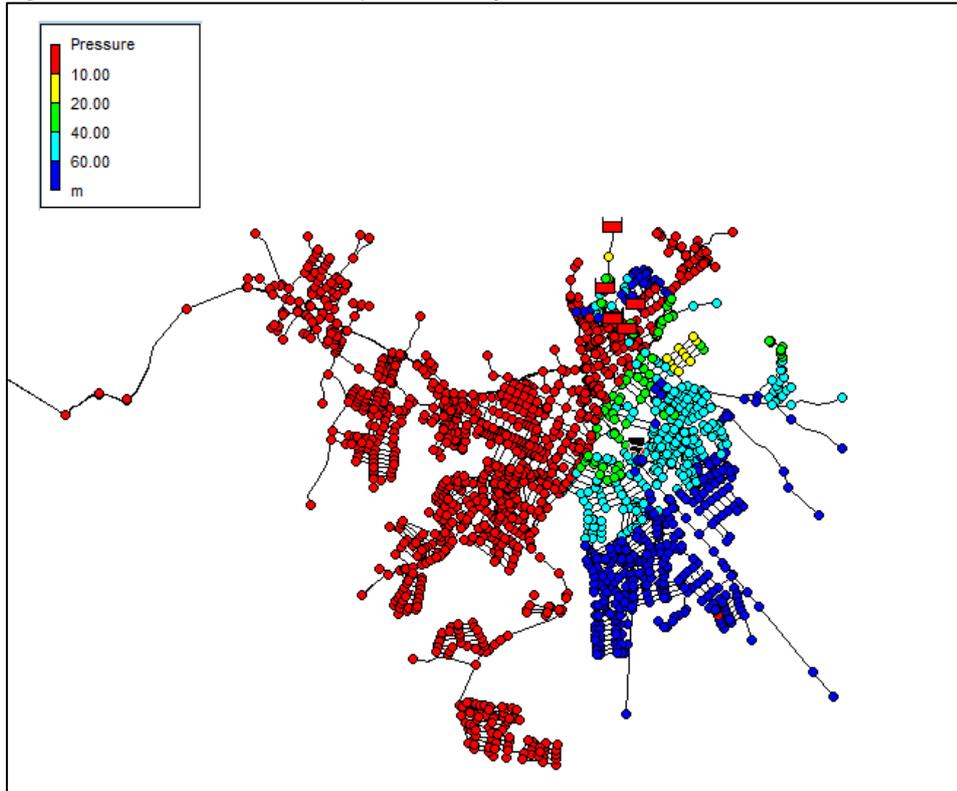
Figura 25 - Resultados de pressão da primeira simulação.



Fonte: Autora (2022).

As pressões negativas ocorreram devido à ausência das cotas dos reservatórios no arquivo inp (arquivo gerado pelo Epanet). Após serem inseridas as cotas, o modelo foi executado novamente, desta vez, apresentou variação na pressão, mas com muitos pontos de pressão negativa. Como as pressões negativas se concentravam em uma região, Figura 26, levantou-se a hipótese de ausência de redes que fizessem a conexão entre as duas regiões.

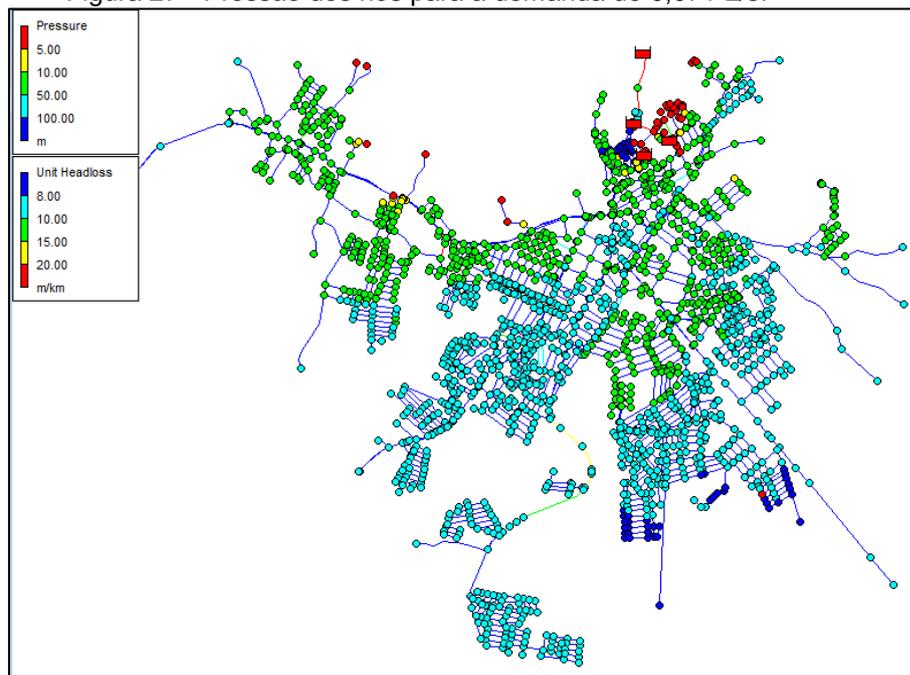
Figura 26 - Pressão nos nós após a inserção das cotas dos reservatórios.



Fonte: Autora (2022).

Após a inserção das redes e os valores de demanda nos nós, o modelo estava apto para a execução da modelagem e ao ser executado novamente gerou resultado, Figura 27, com os valores de pressões mais distribuídos.

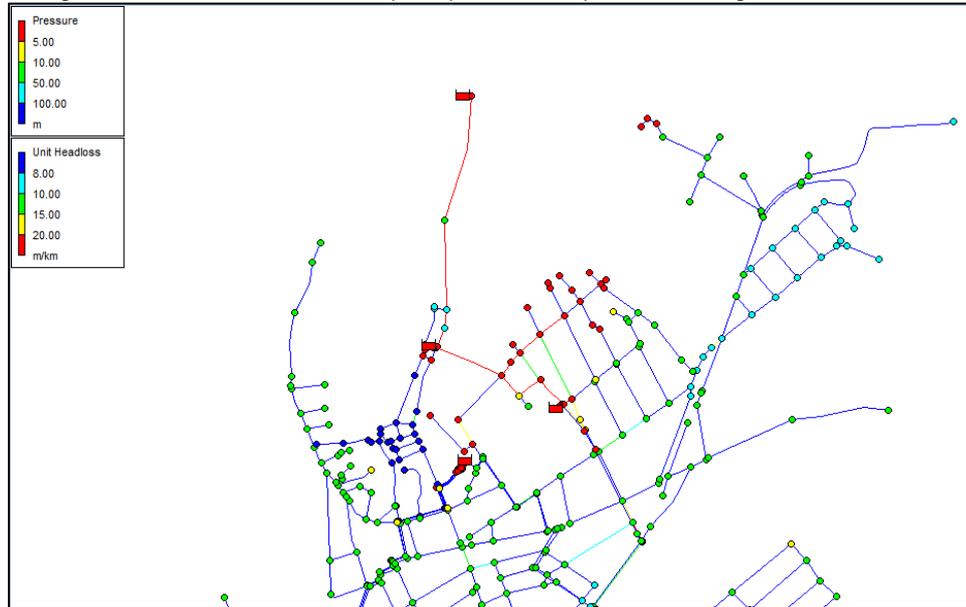
Figura 27 - Pressão dos nós para a demanda de 0,071 L/s.



Fonte: Autora (2022).

Quanto a perda de carga, em sua maioria, as redes apresentaram valores dentro do esperado, até 10 m/km, e em alguns pontos específicos, Figura 28, as redes apresentam uma perda de carga crítica.

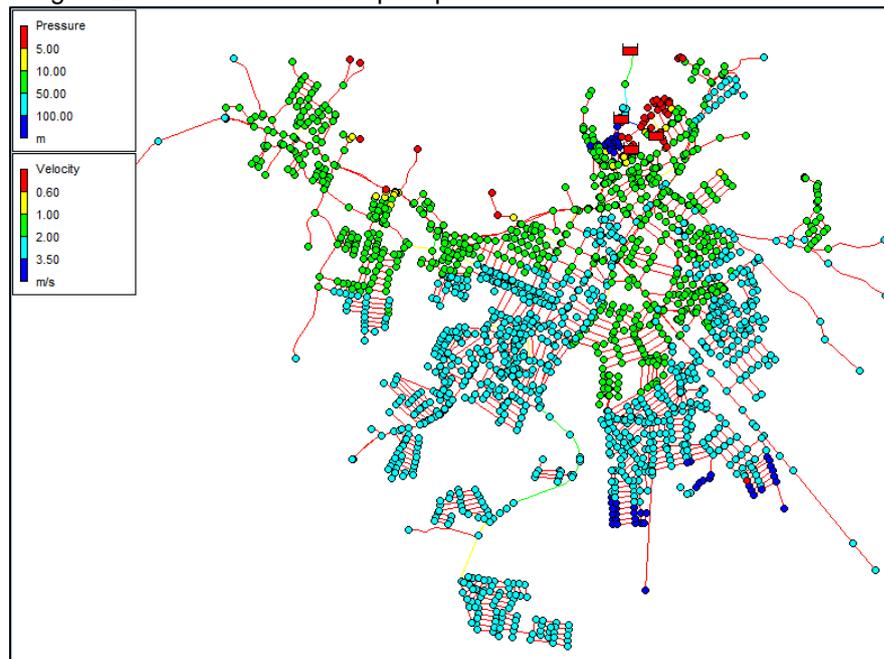
Figura 28 – Trechos de rede que apresentam perda de carga crítica.



Fonte: Autora (2022).

Em relação a velocidade, a maior parte do sistema apresenta valores menores do que o mínimo indicado pela NBR 12.218/2017 (igual a 10 mca), conforme Figura 29.

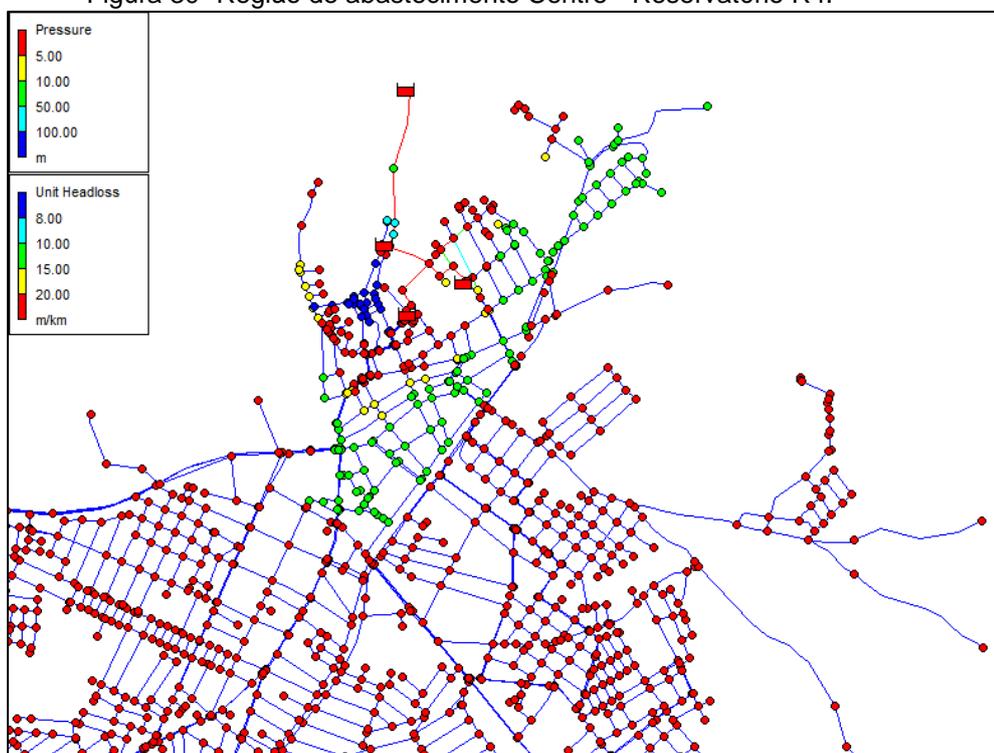
Figura 29 - Trechos de rede que apresentam velocidade crítica.



Fonte: Autora (2022).

A princípio todas as simulações realizadas consideraram o sistema como um todo, no entanto, a companhia opera o sistema através de intermitência nas três regiões representadas na Figura 17. Desta forma, a simulação apresentada na Figura 30, foi considerando a região do centro isolada das demais.

Figura 30- Região de abastecimento Centro - Reservatório R4.

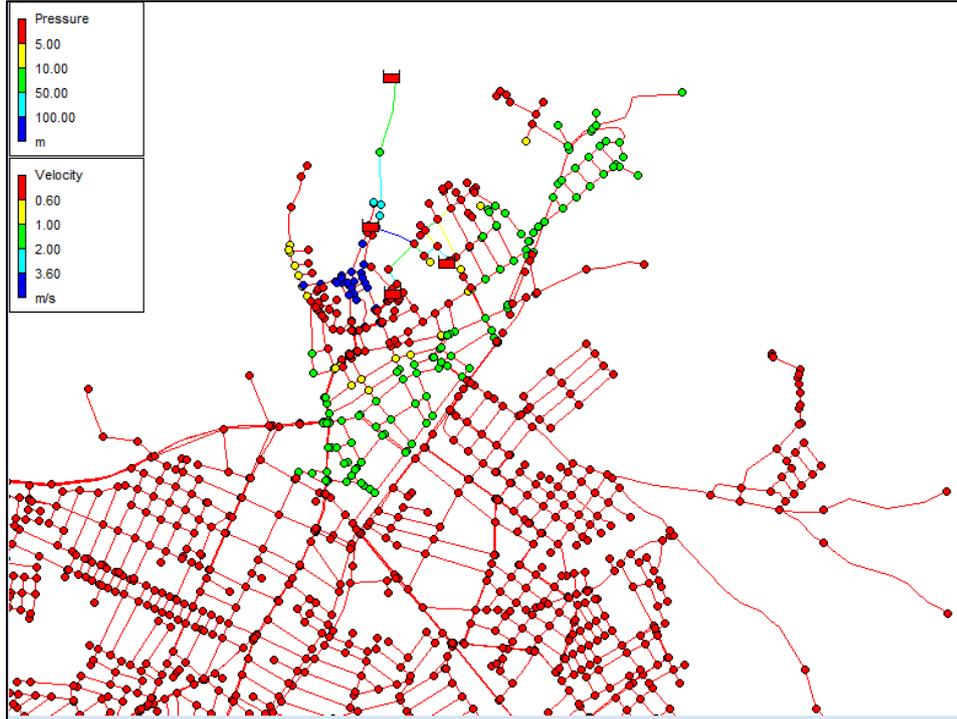


Fonte: Autora (2022).

Nesta região são encontradas pressões abaixo, acima e dentro do intervalo determinado pela norma. O mesmo ocorre com as perdas de carga nas tubulações. Em relação aos reservatórios, mesmo com apenas a região do centro sendo abastecida ele apresenta volume insuficiente para o abastecimento, no entanto, não foi utilizado no modelo a curva do padrão do reservatório devido à ausência dessa informação, o que poderia descrever melhor o comportamento do reservatório ao longo do dia.

A velocidade da água dentro da tubulação também não apresentou significativa melhor ao abastecer apenas a região do centro, como é possível observar na Figura 31.

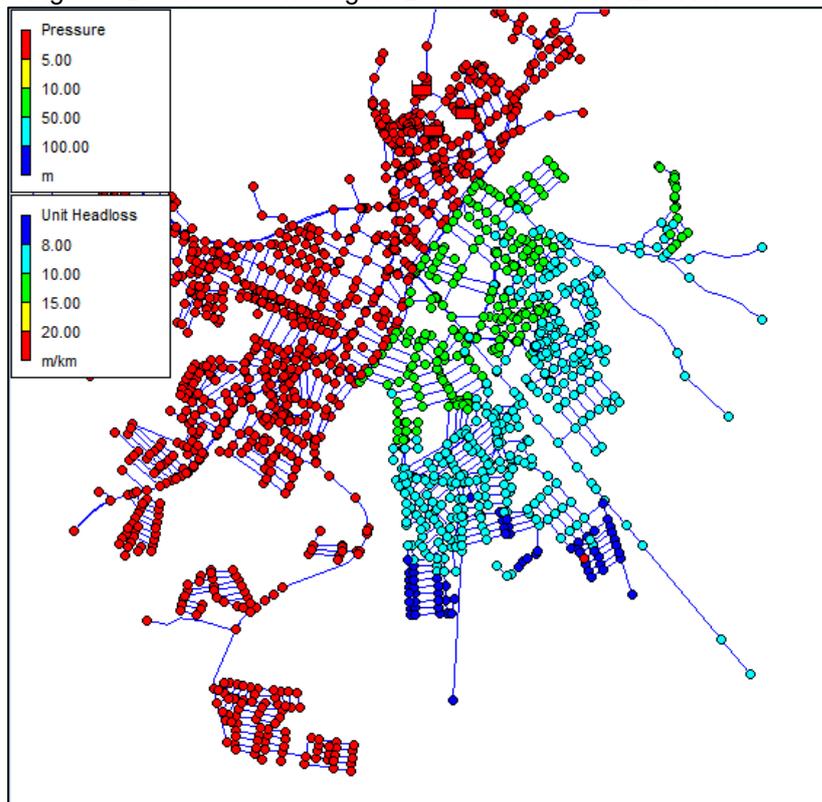
Figura 31 - Velocidade da água na região de abastecimento Centro.



Fonte: Autora (2022).

A região 2 também é abastecida pelos reservatórios R2 e R4 e apresenta o comportamento conforme indicado na Figura 32.

Figura 32 - Pressões na região 2 - Reservatórios R2 e R4.

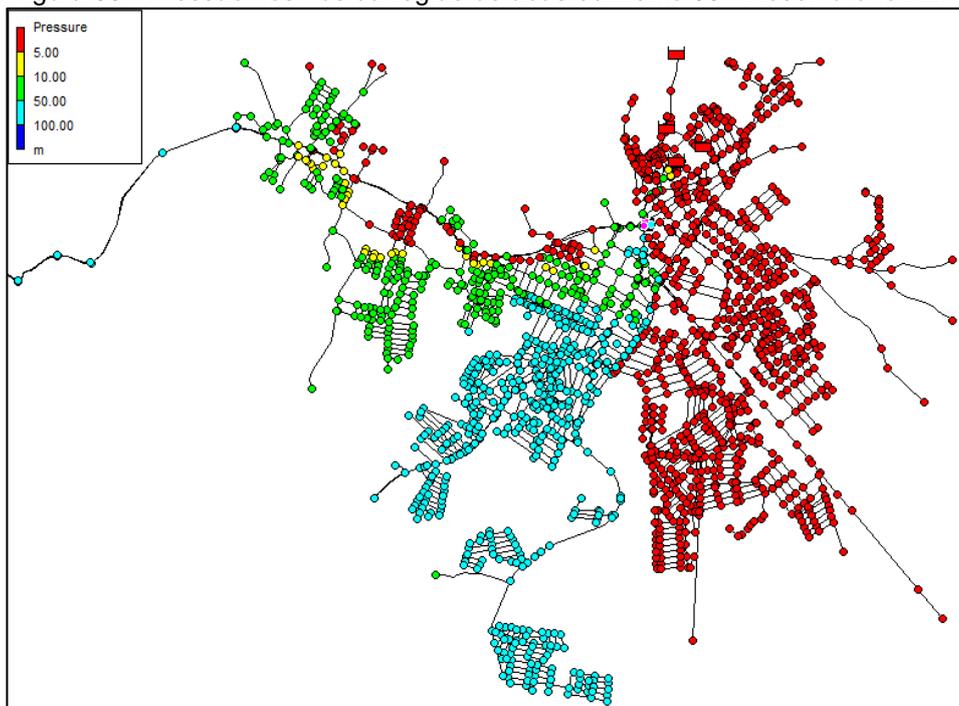


Fonte: Autora (2022).

A região de abastecimento 2 teve um ponto identificado com baixa pressão, no entanto, o valor de cota admitido do ponto difere da faixa encontrada nas proximidades dos nós. Boa parte dos nós desta região apresentam valor de pressão acima do recomendado.

A última região a ser executada foi a região 3, abastecida pelo reservatório R2, no entanto, a rede que abastece a região está conectada a várias redes impossibilitando a simulação apenas da região. Na Figura 33, é possível identificar que a pressão na região do centro não ficou em 0 como a região 2, o resultado obtido só foi possível após a desativação de várias redes na região do centro, desta forma, acredita-se que tal região não funcione de forma separada das demais em campo.

Figura 33 - Pressão nos nós da região de abastecimento 03 - Reservatório R2.

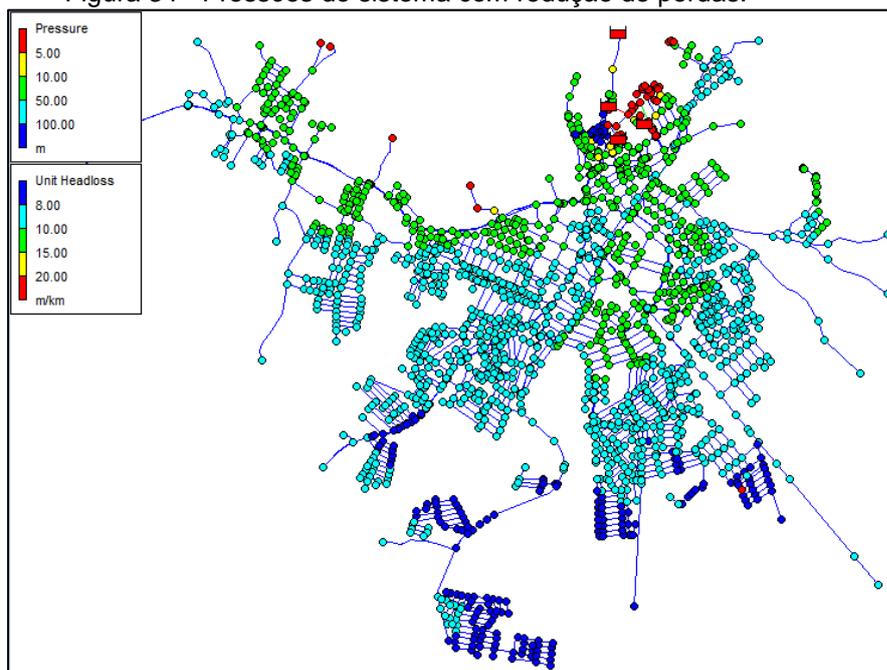


Fonte: Autora (2022).

Assim como a região do centro, a região 3 apresenta pressões abaixo, dentro e acima do intervalo recomendado pela norma, entre 10 mca e 50 mca.

O segundo cenário, a demanda foi modificada para 0,0569 L/s, os resultados são observados na Figura 34.

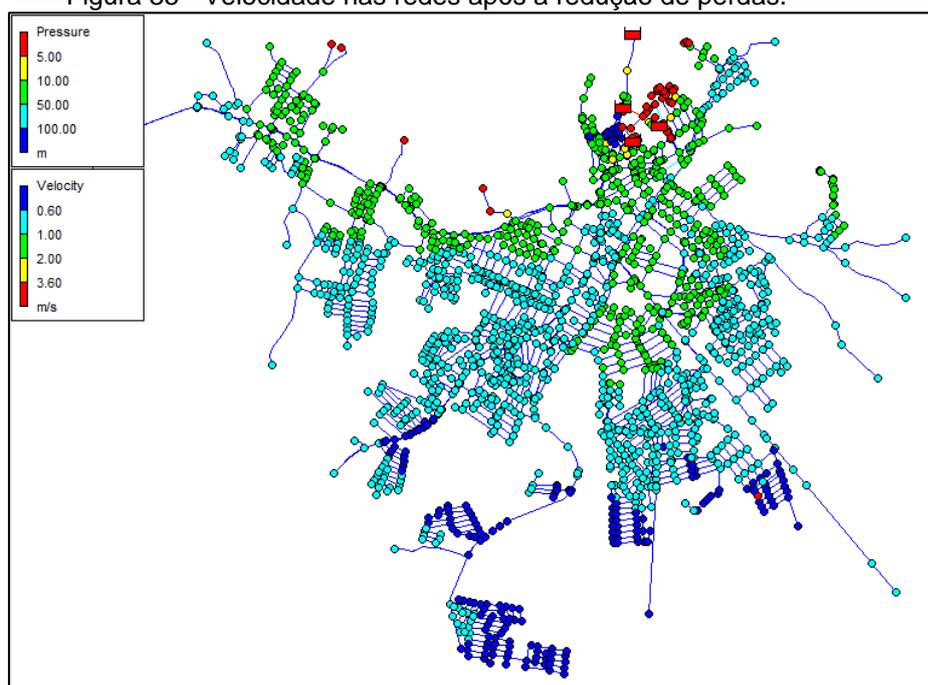
Figura 34 - Pressões do sistema com redução de perdas.



Fonte: Autora (2022).

Nota-se uma variação na pressão, os nós localizados na região dois, que já apresentavam alta pressão, passaram a ter a pressão mais elevada. Nas demais regiões, as modificações não são visualmente perceptíveis. Em relação a velocidade, Figura 35, também não houve variação significativamente positiva ou negativa.

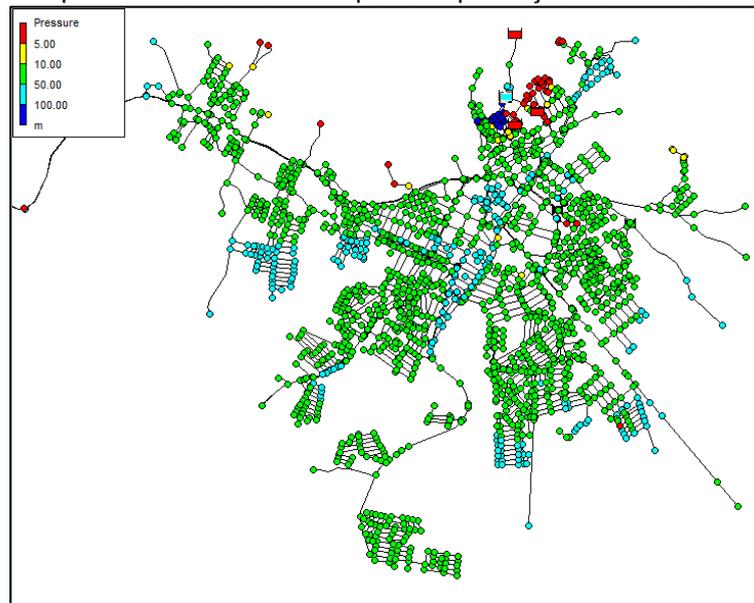
Figura 35 - Velocidade nas redes após a redução de perdas.



Fonte: Autora (2022).

No cenário 03 foi considerado a implantação de 3 VRPs, a inserção de 11 trechos de rede e o capeamento de 32 redes. Ao final, Figura 36, notou-se que algumas regiões permaneceram com elevada pressão, os valores encontrados estão relacionados diretamente a topografia da região. Apesar de serem encontrados valores fora da faixa recomendada pela norma, é possível observar que tais interferências já significam grande avanço para o valor da pressão está dentro dos padrões.

Figura 36 - Comportamento do sistema após a implantação dos DMCs e VRPs.



Fonte: Autora (2022).

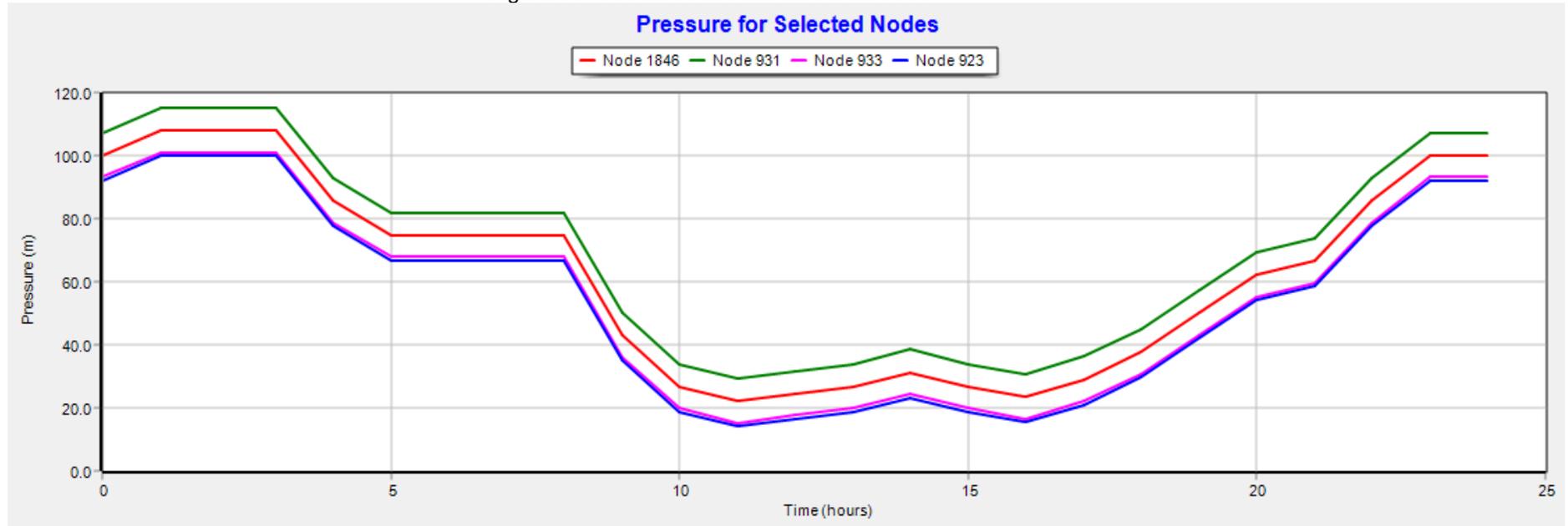
Para verificar o comportamento das pressões ao longo do dia, foram selecionados 4 nós, nó 923, 931, 933 e 1846, de uma região onde se tinha a existência de altas pressões, Figura 37, e foram gerados gráficos de pressão, representados nas Figuras 38, 39 e 40.

Figura 37- Nós selecionados para verificação de pressão.



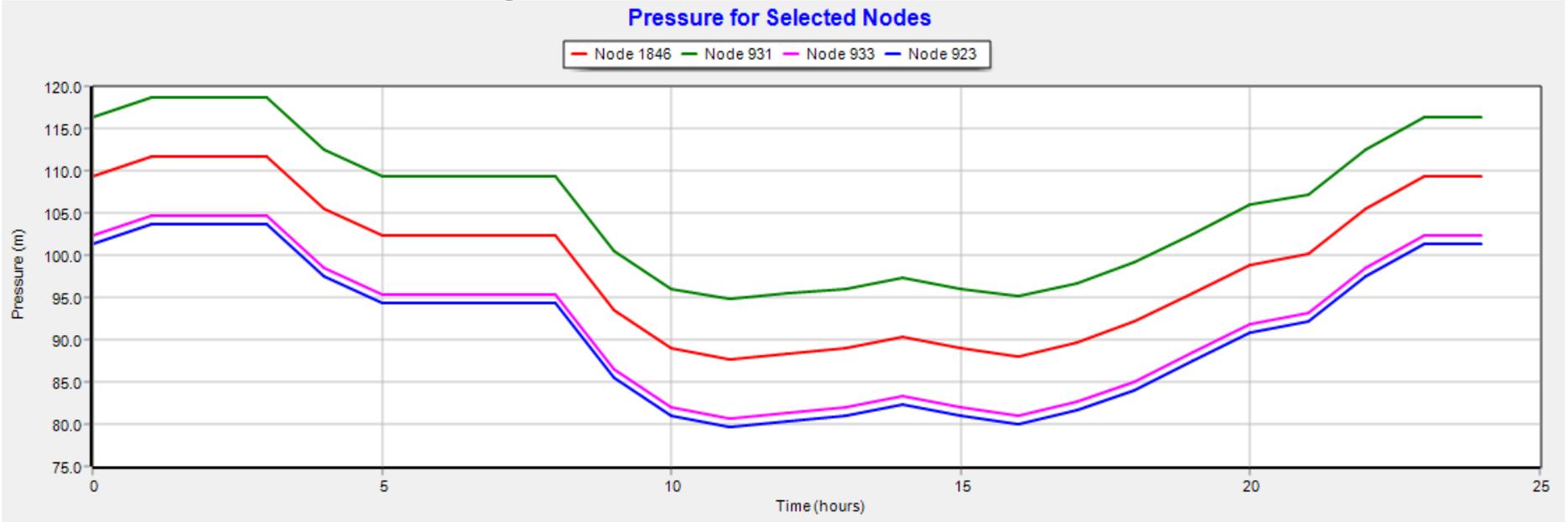
Fonte: Autora (2022).

Figura 38 - Pressões nos nós no cenário 01.



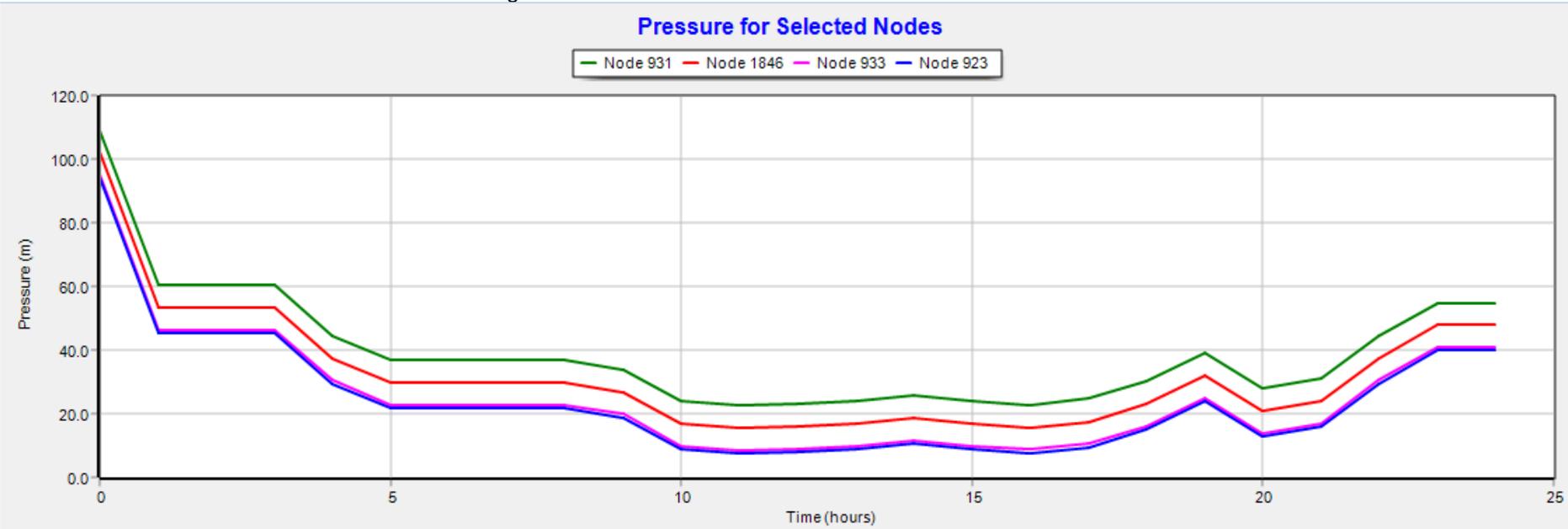
Fonte: Autora (2022).

Figura 39 - Pressões nos nós no cenário 02.



Fonte: Autora (2022).

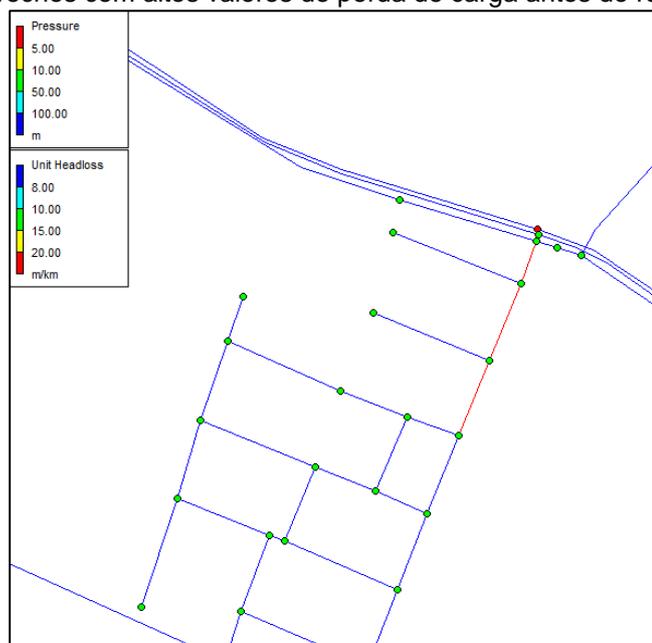
Figura 40- Pressões nos nós no cenário 03.



Fonte: Autora (2022).

Em relação a perda de carga no sistema, no cenário 3 foram inseridas redes de reforço, além das redes utilizadas na implantação dos DMCs, para reduzir a perda de carga em alguns trechos que apresentavam valores maiores que 20m/km. Na Figura 41 são exemplificados trechos críticos que receberam reforços.

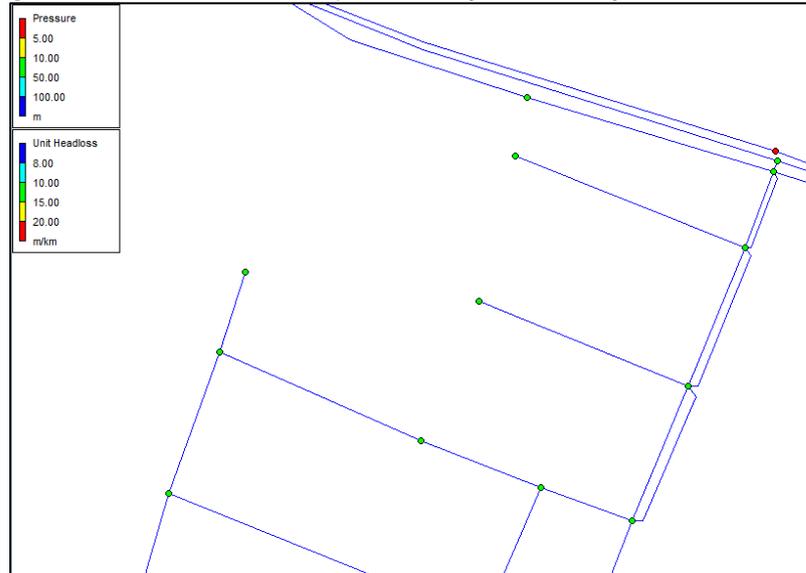
Figura 41- Trechos com altos valores de perda de carga antes do reforço.



Fonte: Autora (2022).

Já na Figura 42 tem-se o reforço proposto e seu efeito no comportamento da rede. Nesta região foram utilizadas rede de 200 e 150mm. Foi verificada também a possibilidade de utilizar apenas um trecho de rede que conectasse a rede que abastece a região com a rede que passa no leito da via, no entanto, os valores obtidos de perda de carga não foram satisfatórios, então foi inserido trecho por trecho e verificado se os valores encontrados já atenderiam, mas só foi possível um bom resultado após a implantação dos três trechos.

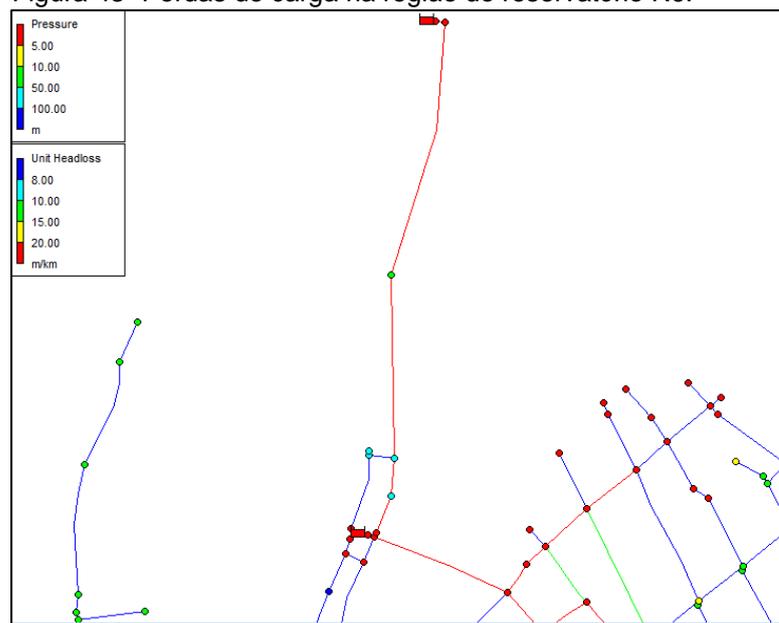
Figura 42- Trechos de rede após a inserção de reforço de rede.



Fonte: Autora (2022).

Outro exemplo de onde foi necessário a utilização de reforço foi na saída do reservatório R6, Figura 43. A rede a ser reduzida a perda de carga possui 60mm de diâmetro e foi reforçada com uma rede de 200mm. Foram verificados diversos diâmetros imediatamente após a saída do reservatório e a implantação de reforços nos demais trechos identificados com alta perda de carga. Foi possível observar que a inserção de alguns reforços prejudicariam as redes a montante e por isso houve necessidade de verificar vários diâmetros e pontos estratégicos de alteração para conseguir obter o melhor resultado.

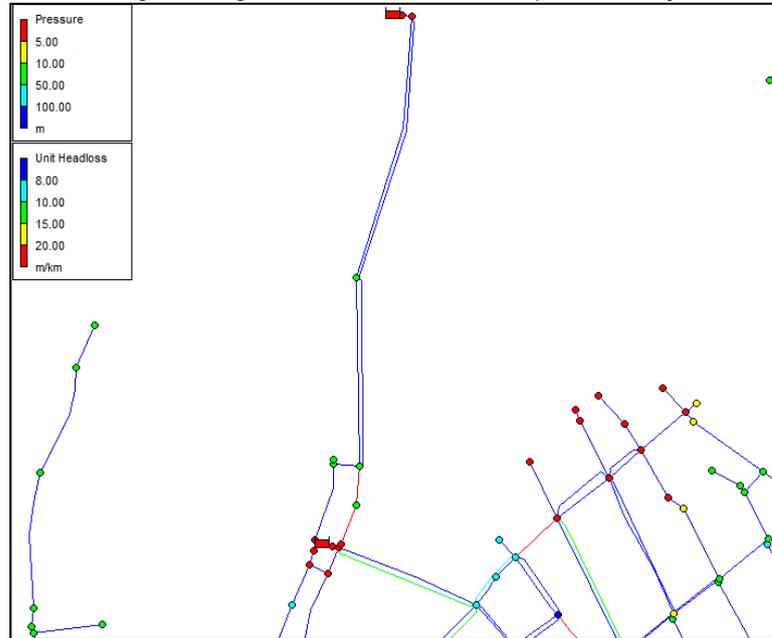
Figura 43- Perdas de carga na região do reservatório R6.



Fonte: Autora (2022).

O reforço foi realizado ao longo da saída do reservatório, Figura 44 e ainda assim, não foram obtidas perdas de carga dentro dos valores de referência em todos os trechos.

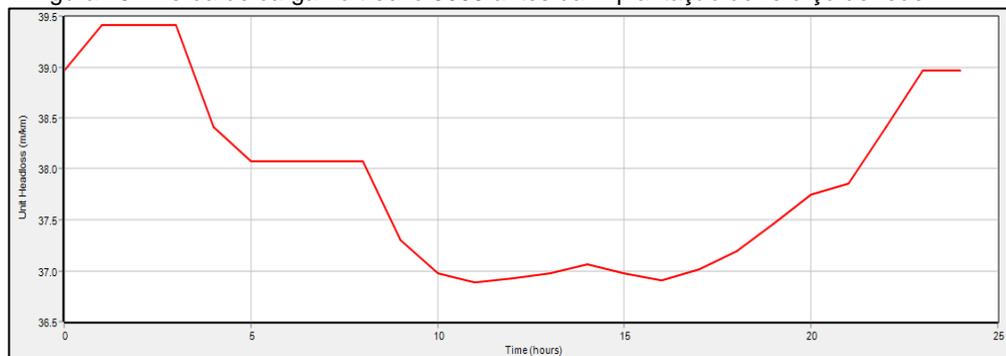
Figura 44- Perda de carga na região do reservatório R6 após realização de reforço.



Fonte: Autora (2022).

Neste trecho pode-se observar o comportamento da perda de carga ao longo do dia. Quando o sistema apresenta um consumo maior, a perda de carga cai significativamente pois a pressão interna também cai. Já em momentos em que o consumo é menor, a perda de carga aumenta, acompanhando o crescimento da pressão no sistema. Primeiro na Figura 45, antes da implantação do reforço de rede.

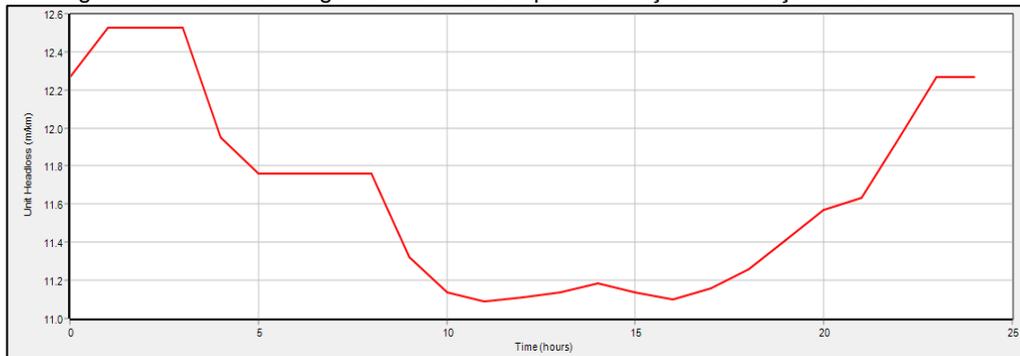
Figura 45 - Perda de carga no trecho 5005 antes da implantação do reforço de rede.



Fonte: Autora (2022).

E na Figura 46, a perda de carga ao longo do dia após a realização do reforço de rede. Os valores de perda de carga apresentam o mesmo comportamento, diminuem quando o consumo aumenta e aumentam quando o consumo cresce. No entanto, a faixa de variação dos valores não significativamente menores que anteriormente.

Figura 46 - Perda de carga no trecho 5005 após realização de reforço de rede.

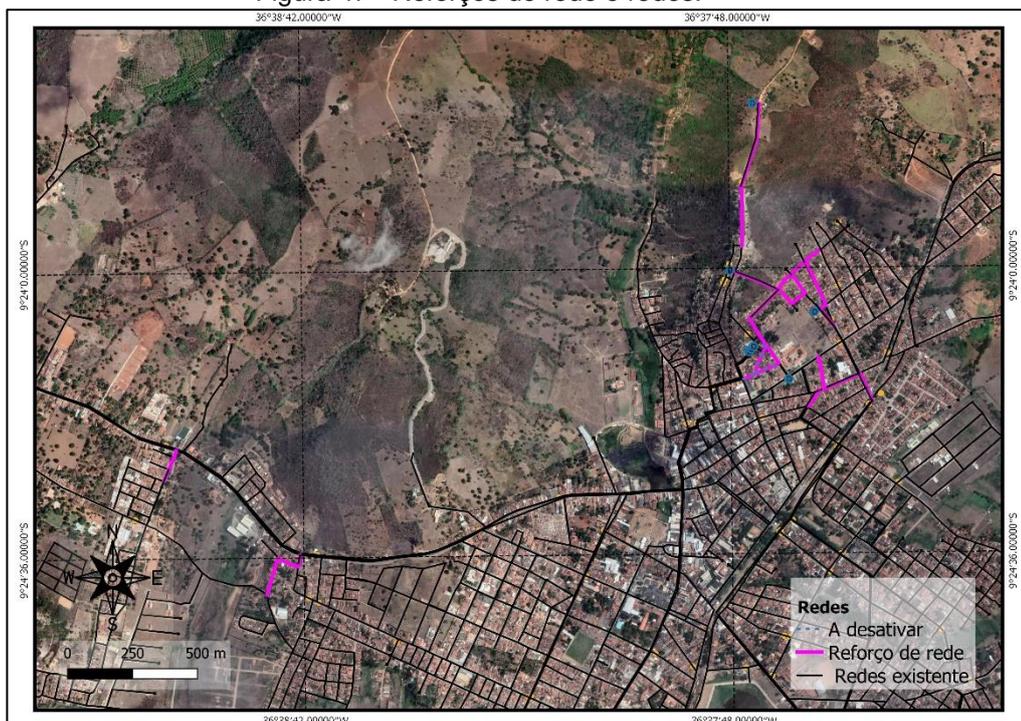


Fonte: Autora (2022).

Apesar de apresentar melhorias na pressão e na perda de carga, alguns trechos ainda apresentam valores que diferem dos desejados.

Ao final, na Figura 47 tem-se o sistema com todas as redes a serem inseridas e redes de reforço.

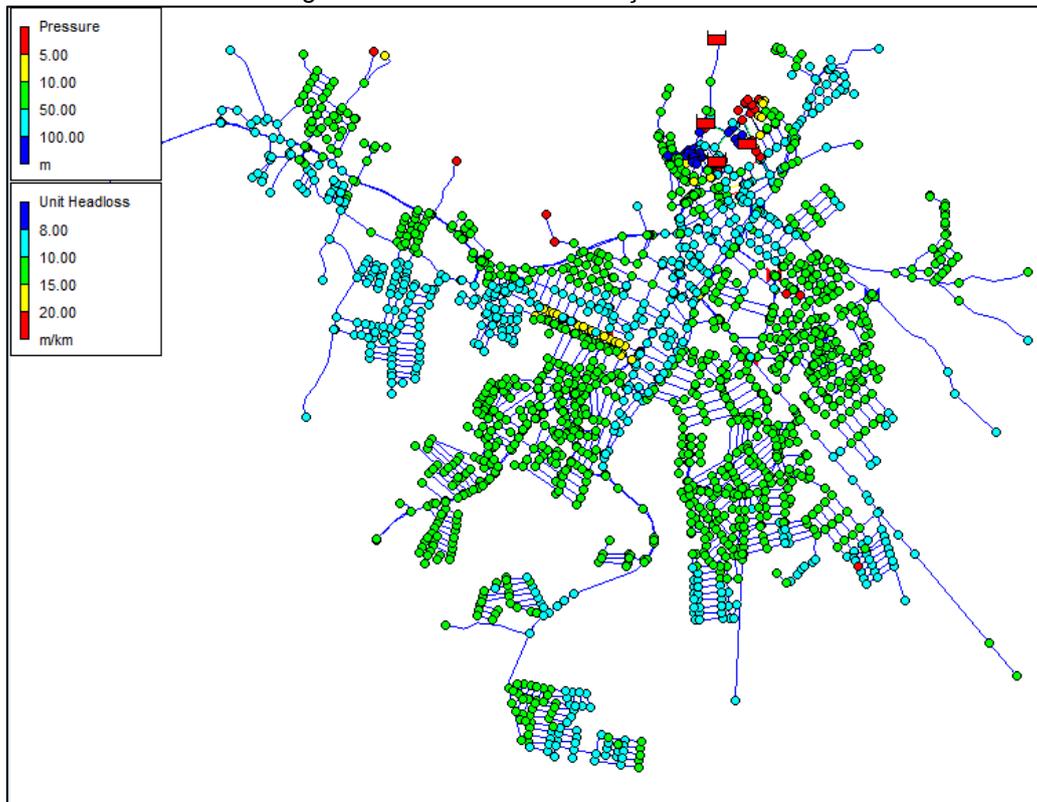
Figura 47 - Reforços de rede e redes.



Fonte: Autora (2022).

Na Figura 48 tem-se os resultados da modelagem hidráulica após todos os reforços serem realizados.

Figura 48- Sistema com reforços de rede.



Fonte: Autora (2022).

## 6. Conclusões

Ao comparar a pressão entre os dois primeiros cenários conclui-se que a pressão aumentará em regiões onde a pressão já é elevada, ainda assim, apenas identificar e reparar os vazamentos existentes não é suficiente para o controle de perdas no sistema como um todo, já que com a pressão elevada, novos vazamentos podem surgir.

No cenário 03 é possível verificar através dos gráficos de pressão dos nós que a utilização de VRPs é de fundamental importância para o sistema dado a característica topográfica. Além disso, as cotas da região implicam na necessidade de criação de DMCs, já que essa diferença de nível impossibilita a homogeneidade das características hidráulicas por uma vasta região.

As melhorias apontadas neste estudo não são as únicas soluções possíveis e ainda não atendem as demandas reais do sistema, tendo em vista que adaptações foram necessárias para o andamento do trabalho, como a não utilização das informações dos reservatórios e uso de uma curva padrão própria da localidade.

A divergência entre o cadastro no Autocad, no shapes e no arquivo de simulação dificulta a distinção do que de fato está implantado no campo. Assim como, as divergências quanto ao funcionamento do sistema, que nem sempre é unânime entre os funcionários da companhia e condizente com os arquivos existentes.

Para que a simulação seja efetiva é necessário que essas informações sejam verificadas em campo, o modelo seja calibrado, e se gere um novo arquivo de simulação contendo as informações de consumo padrão, de volume consumido, funcionamento de bombas e dos reservatórios. Sendo esta a primeira etapa para um projeto de redução de perdas, e então se fazer proposições efetivas para o sistema.

## 7. Referências

ÁGUAS, Agência Nacional de. **Atlas Águas**. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/1d27ae7adb7f4baeb224d5893cc21730>. Acesso em: 16 fev. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. SI: Abnt, 2017.

BÁGGIO, Mário Augusto. **Redução de Perdas em Sistemas de Abastecimento**. Brasília: Funasa, 2014. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/reducao\\_de\\_perdas\\_em\\_saa74.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/reducao_de_perdas_em_saa74.pdf). Acesso em: 17 jan. 2022.

BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; CHEUNG, Peter Batista. **Perdas de Água**: tecnologias de controle. João Pessoa: Editora da Ufpb, 2013.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Brasília, 15 jul. 2020. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm). Acesso em: 17 jan. 2022.

EY, Consorcio. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Palmeira dos Índios: -, 2021.

OLIVEIRA, Gesner; SCAZUFCA, Pedro; SOUZA, Mariana Orsini Machado de. **Cenário para Investimentos em Saneamento no Brasil Após aprovação do Novo Marco Legal do Saneamento**. São Paulo: -, 2020. Disponível em: [http://tratabrasil.org.br/images/estudos/Relato%CC%81rio\\_Completo.pdf](http://tratabrasil.org.br/images/estudos/Relato%CC%81rio_Completo.pdf). Acesso em: 17 jan. 2022.

SANEAMENTO, Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em. **Epanet**. 2020. Disponível em: <http://ct.ufpb.br/lenhs/contents/menu/epanet>. Acesso em: 17 jan. 2022.

SNIS, Secretaria Nacional de Saneamento -. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento, 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagnostico-SNIS-AE-2019-Capitulo-06.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2022 FARLEY, M.; TROW, S. 2003.

Losses in Water Distribution Networks - A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control. IWA Publishing