



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DIVISÃO DE AGRICULTURA

CURSO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

Monografia Científica

**Aplicação do EPANET 2.0 no Desenho e Desenvolvimento da Rede de Distribuição de
Água de Matchelene-Posto Administrativo de Limpopo- Província de Gaza**

Autor: Abychel de Newton Salvador Machava

Tutor: Philipa Nomagugu NCumbe

Lionde, Julho de 2023



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia científica sobre *Aplicação do Epanet no desenho e desenvolvimento da rede de distribuição de água de Matchelene-Posto administrativo de Limpopo- Província de GAZA*, apresentado ao Curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Divisão de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Monografia científica defendida e aprovada no dia 02 de Agosto de 2023

Juri

Supervisor Philipa Nomagugu Ncube.

(Eng. Philipa Nomagugu Ncube Mcs)

Avaliador 1 Algardaz Mabunda.

(Eng. Algardaz Mabunda)

Avaliador 2 Orlando Alberto Couve.

(Eng. Orlando Couve Mcs)



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia científica sobre Aplicação do Epanet no desenho e desenvolvimento da rede de distribuição de água de Matchelene-Posto administrativo de Limpopo- Província de GAZA, apresentado ao Curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Divisão de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural do trabalho de culminação do curso em forma de monografia em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Autor: Abychel de Newton Salvador Machava

Tutor: Philipa Nomagugu NCumbe

Lionde, Junho de 2023



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Declaração

Declaro por minha honra que este Protocolo de Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu tutor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final.

Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, _____ de _____ de _____

_____.

(Abychel de Newton Salvador Machava)

Índice

LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE EQUAÇÕES	VII
DEDICATÓRIA	VIII
Agradecimentos	IX
LISTA DE ABREVIATURAS/SÍMBOLOS/ACRÓNIMOS.....	X
RESUMO	XI
Abstract.....	i
1. INTRODUÇÃO	2
2.1. Objetivos	2
2.2. Problema e Justificativa	3
2.3. Hipóteses	4
3. REVISÃO DA LITERATURA	6
3.1. Sistemas de abastecimento de água	6
3.1.1. Elementos de um sistema de abastecimento de água	7
3.1.2. Armazenamento e reservatórios	8
3.1.3. Classificação dos reservatórios	9
3.2. Rede de distribuição de água	10
3.2.1. Classificação das redes de distribuição de água.....	11
3.3. Perdas de água.....	14
3.3.1. Classificação das perdas de agua	15
3.4. Gestão da Pressão	16
3.5. Zonas de pressão	17
3.6. Modelos de Simulação	18
3.7. Epanet	19
3.7.1. Caracterização do EPANET 2.0.....	20
3.7.2. Limitações.....	20
3.7.3. Padrões temporais	21
3.8 Kobo Collect	21
3.8. 1. Perdas de carga	21
3.8.2. Variáveis hidráulicas.....	22
3.8.3. Classificação das perdas de carga	22
3.8.4. Cálculo da perda de carga distribuída	24
3.8.5. Cálculo da perda de carga localizada utilizando a expressão geral.....	25
3.8.6. Expressão da perda de carga localizada para alargamentos e estreitamentos	26
4. METODOLOGIA	28

4.1.	Descrição da área de estudo	28
4.1.1.	Descrição do pequeno sistema de abastecimento de água de Matchelene	28
4.2.	Materiais	29
4.3.	Colecta de dados	29
4.3.1.	Identificação dos pontos críticos da rede de distribuição de Matchelene.	29
4.3.2.	Mapeamento dos contadores	30
4.3.3.	Determinação dos consumos.....	30
4.3.4.	Conversão dos dados.....	30
4.3.5.	Mapeamento do local	30
4.4.	Dimensionamento da rede usando Epanet	31
4.4.1.	Configuração das predefinições	31
4.4.2.	Calibração da rede.....	31
4.5.	Medição da pressão e velocidade em pontos críticos da rede de distribuição	31
4.6.	Comparação de resultados	32
4.7.	Simulação do sistema de abastecimento de água de Matchelene.....	32
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1.	Levantamento dos dados de pressão e velocidade na tubulação ao longo da rede de distribuição;.....	33
5.2.	Relação entre os dados de campo os dados das simulações para teste do desempenho da rede. 35	
5.3.	Nível de precisão dos dados das simulações feitas pelo epanet;.....	37
5.4.	Vantagens do uso das simulações do epanet na melhoria da gestão de uma rede de abastecimento;.....	41
6.	CONCLUSÃO	45
7.	RECOMENDAÇÕES	46
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
9.	ANEXOS	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Elementos de um sistema de abastecimento	7
Figura 2: Esquema de uma rede ramificada	12
Figura 3 Rede ramificada com traçado em espinha de peixe (a) e com traçado em grelha (b)	12
Figura 4 Esquema de uma rede malhada com quatro anéis ou malhas	13
Figura 5 Esquema de uma rede em blocos	14
Figura 6: Gráfico das pressões obtidas pela epanet e as pressões no campo. (Fonte: Autor 2002).	35
Figura 7: Gráfico das velocidades obtidas no campo e na epanet. (Fonte: Autor 2002)	36
Figura 8: Gráfico das médias das pressões no campo e na epanet. (Fonte: Autor 2002).	36
Figura 9: Gráfico das médias das velocidades no campo e no epanet.	36
Figura 10 Atribuição de consumos aos nos DIUANA, (2015)	39
Figura 11 planta ilustrativa dos pontos de medição de velocidade (Fonte: Autor 2002).	43
Figura 12 planta ilustrativa dos clientes do sistema de abastecimento de Matchelene (Fonte: Autor 2002).	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de rugosidade para alguns tipos de tubos mais comuns.	22
Tabela 2 : Valores do coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams em função do tipo de material. ..	25
Tabela 3: Materiais que foram usados durante a realização o estudo.	29
Tabela 4: Dados da velocidade e pressão	33

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 fórmula de Reynolds (Fonte: Viana, 2022).	23
Equação 2 fórmula de perda de carga de Darcy.....	24
Equação 3 fórmula de perda de carga de Hazen Williams.....	24
Equação 4 fórmula geral de perda de carga localizada	25
Equação 5 fórmula de perda de carga localizada para alargamento	26
Equação 6 fórmula de perda de carga localizada para estreitamentos.....	26

DEDICATÓRIA

*Dedico o presente trabalho aos meus pais
Salvador Machava e Henriqueta Abílio Balate,
que sem medir esforços fizeram tudo para minha
educação integral.*

Agradecimentos

A finalização deste trabalho corresponde à concretização de uma etapa importante na minha vida pessoal e académica. Em primeiro lugar, agradeço a Deus por tudo que a minha família é, a minha mãe que foi a pessoa que me ensinou e me motivou nos estudos desde pequeno, ao meu pai, sempre disposto a acompanhar e me ajudar em meus desafios académicos.

Agradeço a minha família por todo o apoio, conselho, incentivos, e acompanhamento até hoje. A família macanjo que me acompanharam desde o início da minha formação, aos meus colegas e amigos da faculdade, agradeço por todo apoio e pelos momentos que juntos vivemos.

A toda equipe dos professores em especial os da engenharia hidráulica e agrícola e água rural que se empenharam em ensinar e transmitir seu conhecimento, agradeço também ao pessoal da Fipag xai-xai, que permitiu e ajudou-me na recolha de dados para o meu trabalho, em especial os engenheiros, Sérgio Malembane e Joaquim Nhancume pela disponibilidade e partilha de informação e conhecimentos desde o início das minhas actividades.

A minha orientadora Eng. Philipa Cumbe quero agradecer pela sua disponibilidade, aconselhamento, e ajuda na revisão científica ao longo do trabalho efetuado, o meu muito obrigado.

LISTA DE ABREVIATURAS/SÍMBOLOS/ACRÓNIMOS

m^3/h – metro cubico por hora

EPA – Environment Protection Agency

ETA – Estação de Tratamento de Água

IWA – International Water Association

km – quilometro

kpa – quilo pascais

m. c. a – Metro coluna de água

m/s – Metros por segundo

mg/l - miligramas por litro

RDA – Rede de Distribuição de Água

Re – Numero de Reynolds

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

VRP – Válvula Redutora de Pressão

ZMC – Zonas de Medição e Controle

RESUMO

O melhoramento do fornecimento de água nos sistemas de tratamento e abastecimento de água através da gestão da rede de distribuição é de extrema importância para o fornecimento adequado de água aos clientes. A eficiência de um sistema de distribuição pode ser melhorada através de diagnósticos de gestão de sistemas de abastecimento. Este trabalho tinha como objectivo avaliar a eficiência do uso de um instrumento de apoio à gestão e tomada de decisão visando a previsão antecipada na rede de abastecimento de água do pequeno sistema de Matchelene. Com vista ao alcance destes objectivos uma série de processos metodológicos foram desenvolvidos para caracterizar os factores que influenciam nas baixas pressões de água nas extremidades do sistema de distribuição, modelar e escolher o melhor modelo que se adequa nesta situação. Sendo que foi necessário identificar e focar nos pontos críticos da rede de distribuição, efectuar as medições pressão, determinar a velocidade ao longo da tubagem da rede e proceder com a simulação da pressão e velocidade na rede com recurso ao software EPANET 2.0, Ao fim do estudo observou-se que a média dos dados obtidos da pressão na epanet foi de 94.98 e para a rede 19.38, para a velocidade a média encontrada foi de 0.11 para epanet e 0.38 para a rede e com isso uma diferença absoluta de cerca de 92 m.c.a em alguns pontos para os casos das simulações em relação aos dados de campo correspondentes a 94 % para os casos de pressão, e uma diferença absoluta de 1.09 m/s dos dados de campo contra 0.1 m/s dos dados da simulação nos casos de velocidade sendo isso resultado da grande variação dos diâmetros e acessórios na rede, fugas excessivas, excesso de ligações, falhas de conectividade. No caso do nosso sistema foi de grande utilidade pois permitiu-nos conhecer e entender mais da rede, tendo nos dado uma visão geral sobre o funcionamento integrado da mesma em condições ideais, o que nos permitira fazer melhorias em pontos específicos para mitigação do problema das baixas pressões, e também uma melhor implementação de uma expansão ou redimensionamento da rede.

Palavras-chave: *Abastecimento, simulação, pressão, gestão.*

Abstract

Improving the supply of water in water treatment and supply systems through the management of the distribution network is of utmost importance for the adequate supply of water to customers. The efficiency of a distribution system can be improved through supply system management diagnostics. The objective of this work was to evaluate the efficiency of the use of an instrument to support management and decision making aiming at the anticipated forecast in the water supply network of the small system of Matchelene. In order to achieve these objectives, a series of methodological processes were developed to characterize the factors that influence the low water pressures at the ends of the distribution system, model and choose the best model that fits in this situation. Since it was necessary to identify and focus on the critical points of the distribution network, carry out pressure measurements, determine the speed along the network piping and proceed with the simulation of pressure and speed in the network using the EPANET 2.0 software, At the end of the study, it was observed that the average of the data obtained from the pressure in the epanet was 94.98 and for the network 19.38, for the speed the average found was 0.11 for the epanet and 0.38 for the network and with that an absolute difference of about of 92 m.c.a in some points for the cases of the simulations in relation to the field data corresponding to 94 % for the cases of pressure, and an absolute difference of 1.09 m/s of the field data against 0.1 m/s of the simulation data in the speed cases, this being the result of the wide variation of diameters and accessories in the network, excessive leaks, excess connections, connectivity failures. The systematic use of simulation models is certainly a valuable technical aid in the study of the system's response to alternative consumption scenarios or operational conditions. In the case of our system, it was very useful because it allowed us to know and understand more about the network, having given us an overview of its integrated functioning in ideal conditions, which allowed us to make improvements in specific points to mitigate the problem of low pressures, and also a better implementation of a network expansion or resizing.

Keywords: Supply, simulation, pressure, management.

1. ANTECEDENTES DE INVESTIGAÇÃO

A extrema importância da água como elemento natural indispensável à vida é reconhecida desde a existência do homem sobre a terra. A criação dos SAA data desde a época antes de Cristo em Minou onde foram descobertos restos de tubagens de 1400 a.c ainda em funcionamento, e estas eram fitas de argila. (Mays, 2000).

Segundo Ormsbee (2006), não é de hoje que vem se procurando mecanismos de desenvolvimento de *softwares* para dimensionamento de sistemas de abastecimento de água, e os primeiros datam da década de 70.

Em Moçambique, a modelação de sistemas de abastecimento de água com programas computacionais é pouco usada devido às condições das nossas redes de distribuição que são mal estruturadas desde o momento da sua concepção. Nos dias de hoje existem vários *softwares* de modelação hidráulica dos sistemas de abastecimento de água, entre eles destacam-se o EPANET da USEPA (Agência para a Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América) O lançamento pela USEPA do EPANET, que foi desenvolvido por Lewis Rossman, em 1993, e encontra-se disponível de forma gratuita e com código fonte aberto, o que representa certa vantagem porque apresenta todos os itens dos outros programas e não ter limites de uso na sua versão grátis. O Epanet, atualmente na versão 2.0, dispõe de uma comunidade de utilizadores à escala mundial, devido às suas capacidades de modelação hidráulica e de qualidade de água.

1.0. INTRODUÇÃO

A água potável no mundo é o recurso natural mais escasso e imprescindível à vida humana, e sua disponibilidade em quantidade e qualidade suficiente, requer grandes investimentos e infraestruturas para satisfazer a demanda , (Alves e Pinto, 2004). É neste contexto da gestão do abastecimento de água que é cada vez mais importante descobrir maneiras eficientes para minimizar as perdas, e garantir uma melhor eficiência de distribuição à população.

Para dimensionar um bom sistema de abastecimento é prever a vida útil, ou um horizonte de projecto para o abastecimento tendo em conta que as canalizações, acessórios e instalações enfrentam o processo de envelhecimento e desgaste, contribuindo efetivamente para a perda de água tratada, Fatores como rugosidade do material, diâmetro das tubulações, pressão nos nós e perda de carga, contribuem para a necessidade contínua de reparos e manutenção.

De acordo com Hoogsteen (1993) citado por Araújo, *et al.*, (2006) Os problemas do sistema de distribuição de água, é frequentemente decorrente de altas pressões, transientes hidráulicos, influências externas como tráfego, acidez do solo, envelhecimento natural do material da tubulação e sedimentação de materiais particulados nas tubulações.

Desta forma às entidades gestoras devem encontrar soluções tecnológicas de eficiência socioeconómica, técnica e ambiental, para um bom desempenho no que diz respeito à gestão da água. Para tal é necessário que estejam definidos padrões de quantidade e qualidade consistentes.

2.1. Objetivos

Geral

- ❖ Analisar a eficiência da aplicação do EPANET 2.0 no desenho e desenvolvimento de uma rede de distribuição de Posto Administrativo de Matchelene.

Específico

- ❖ Aferir o nível de precisão dos dados das simulações feitas pelo epanet;
- ❖ Fazer o levantamento dos dados de pressão e velocidade na tubulação ao longo da rede de distribuição;
- ❖ Demonstrar a relação entre os dados de campo os dados das simulações para teste do desempenho da rede.

2.2. Problema e Justificativa

Os sistemas de abastecimento de água têm a função principal de fornecer água às comunidades tendo em conta um conjunto de recursos (humanos, materiais, financeiros, equipamentos, etc.) que devem ser utilizados eficientemente, (Alegre *et al.*, 2005).

De acordo com Vieira (2013), a pressão da água é definida a qualidade do serviço de distribuição. O controle desta é importante pelo controlo das perdas de água e na proteção contra contaminações exteriores.

Porque as RAA são infraestruturas que estão na sua maioria enterradas no solo, criam dificuldades na inspeção de suas componentes. A inspeção directa para essas redes seria excessivamente dispendiosa, o que leva à necessidade de instrumentos de apoio baseados em modelação e análise (Coelho *et al.*, 2006). Nesta vertente, este estudo pretende debruçar sobre a aplicação do epanet no desenvolvimento da rede de distribuição, sua vantagem no âmbito socioeconómico e de melhoria na gestão da rede, tendo em conta os níveis de pressão da água, o tipo de material usado, seus diâmetros e as condições topográficas do local.

A utilização de simuladores na área de abastecimento de água são uma ajuda técnica valiosa para avaliar o desempenho hidráulico, na medida em que permite estudar diferentes cenários alternativos de consumos ou de condições operacionais (Araújo, 2006).

Para se simular o SAA de Matchelene, utilizou-se a versão mais recente do programa de simulação EPANET 2.0, este que é um simulador eficaz e grátis criado pela U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), dos Estados Unidos da América (Vieira, 2013), e faremos uma análise do desempenho hidráulico da rede neste simulador.

2.3.Hipóteses

H0. Supõe-se que os elevados índices de baixas pressões nos sistemas de distribuição de água estão ligados a sobrecarga das redes, baixo controle de fugas e o desgaste temporário.

H1. Acredita-se que implementação do epanet na modelação de dados de redes de distribuição de água proporciona aos gestores melhor visibilidade sobre a realidade dos sistemas.

2.4.Relevância do estudo

A dinâmica do desenvolvimento das comunidades tem sugerido alterações drásticas na gestão dos sistemas de distribuição de água devido ao uso irracional aliado a má gestão da rede, a água é um recurso de indispensável função na vida. É deste modo que o presente estudo espera dinamizar o desenvolvimento através do contributo no:

Âmbito socioeconómico

Com o crescimento demográfico a nível mundial tem havido um certo desequilíbrio na distribuição e disponibilidade de recursos naturais, em Moçambique, o maior problema na distribuição de água esta aliado ao tipo de material, tipo de relevo, e negligência por parte das entidades gestoras no combate a fugas de água ao longo da rede, pois em algumas redes de abastecimento apenas 50% do total de água e produzido é consumida, culminando em avultados custos economicos para empresa gestora. O fornecimento de água ainda apresenta diversos desafios os quais estão ligados a exiguidade de sistemas de abastecimento de água e a ineficiência dos mesmos para a densidade populacional. É desta que, por forma a responder a essa problemática, o presente estudo vislumbra contribuir para a melhoria do acesso a água potável, permitir maior controlo e gestão de recursos hídricos através de utilização de melhores sistemas de triangularmente dos dados para aplicação no campo.

Âmbito académico

O uso racional e equilibrado da água esta directamente ligado a gestão integral da rede de abastecimento, ou seja quanto melhor for a rede menor será a quantidade de água perdida, com a implementação de novas tecnicas de controle de fugas e qualidade da água juntamete com a conscecialização das comunidades nota-se um grande avanco rumo a concervação dos corpos aquáticos. Dai que, com o estudo pretendemos, que a comunidade técnico-científica seja capaz

de realizar acções e criar ferramentas eficazes a manipulação de dados que visem reduzir perdas nos sistemas de abastecimento de água.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Sistemas de abastecimento de água

De acordo com Magalhães (2004), sistemas de abastecimento de água é uma instalação que se destina a produção e a distribuição canalizada de água potável para a população, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrado em regime de concessão ou permissão.

De acordo com (Vilas-Boas 2008) um Sistema de Abastecimento de Água e o fornecimento de água à população de acordo com as suas A importância desta e o enorme valor da água para consumo,, sendo que o estudo e a compreensão do funcionamento dos sistemas de abastecimento de água permitem produzir e/ou manter efeitos em áreas fundamentais.

De acordo com Heller, (2010) citado por Lima, (2017), as elevadas perdas de água são o maior problema dos sistemas de abastecimento. isto acontece devido a baixa capacidade de gestão dos sistemas; os poucos recursos para investimentos, sobretudo em ações de desenvolvimento tecnológico na rede de distribuição e na operação dos sistemas; a cultura do aumento da oferta e do consumo individual, sem preocupações com a conservação e o uso racional

Os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) constituem-se como a primeira fase da “condução da água” no seu ciclo de utilização, ao longo da qual são efectuados variados estudos e obras de engenharia. Vilas-Boas, (2008) descreve que os SAA podem dividir-se em quatro fases fundamentais a saber:

- ❖ conjunto de equipamentos e instalações utilizados para a tomada/captação de água;
- ❖ Tratamento (melhoria das características qualitativas da água, dos pontos de vista físico, químico, bacteriológico e organolético);
- ❖ Transporte (transporte da água a partir da captação ou da fase de Tratamento);
- ❖ Armazenamento e Distribuição/Utilização (condução da água para os edifícios e pontos de consumo).

3.1.1. Elementos de um sistema de abastecimento de água

Fundamentalmente, um Sistema de Abastecimento de Água dispõe de unidades de produção, que integram as instalações a montante do primeiro reservatório do sistema, e as de distribuição. Enquanto a captação, a adução de água bruta, tratamento e a adução de água tratada constituem as unidades de produção, as unidades de distribuição incluem os reservatórios e a rede de distribuição. A Figura 1 mostra um esquema simplificado do caminho percorrido pela água desde o manancial, onde é captada, até o consumo a partir da rede de distribuição LIMA, (2017).

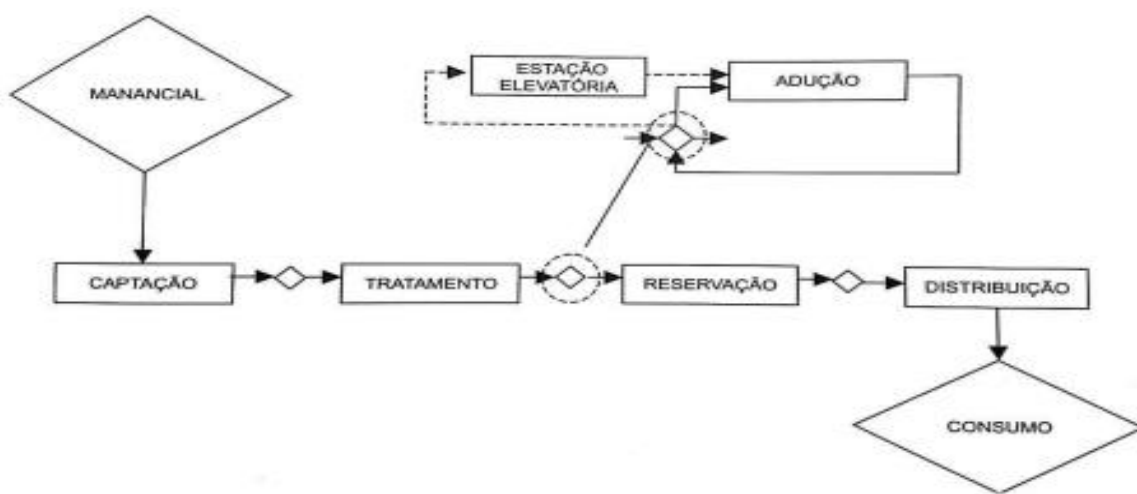


Figura 1: Elementos de um sistema de abastecimento

Fonte: Heller (2010)

Manancial

Manancial é o corpo de água a partir do qual o sistema é alimentado. Além da qualidade da água, são de grande relevância para a escolha de um manancial sua localização, seus custos de instalação e operação, sua capacidade de fornecimento de vazão suficiente para suprir a demanda dentro do período de projeto, entre outros fatores. Os mananciais podem ser dos tipos: subterrâneo (confinado e não confinado); superficial (com e sem acumulação) e água de chuva.

Captação

A captação é o conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto a um manancial, para a retirada de água destinada a um sistema de abastecimento de água). O tipo

de captação varia conforme as condições locais, hidrológicas, topográficas e, no caso das águas subterrâneas, também segundo condições hidrogeológicas. A captação é a primeira fase de um Sistema de Abastecimento de Água, e do seu constante e bom funcionamento depende o desempenho de todas as fases subsequentes. Vilas-Boas, (2008).

❖ As captações de **águas superficiais**

❖ As captações de **águas subterrâneas**

A captação da água (Cortês, 2015) até a estação de tratamento dependendo das condições topográficas pode ser feita de duas formas através da gravidade ou então por pressão através de bombas.

Adução

A canalização que se encarrega de transportar água, interligando as unidades que precedem a rede de distribuição, é denominada adutora. As adutoras podem ser de água bruta ou de água tratada, em função da água que transportam.

Estações elevatórias

Em função do relevo local, pode-se fazer necessário recalcar água para que atinja unidades que estejam em níveis mais elevados. Tal atribuição é desempenhada pelas estações elevatórias, que são classificadas segundo o tipo de água recalçada (bruta ou tratada) e o tipo de bomba.

3.1.2. Armazenamento e reservatórios

A necessidade de armazenamento nos SAA resulta da impossibilidade econômica das adutoras serem projetadas para garantirem o abastecimento em qualquer circunstância de funcionamento e também para garantir um abastecimento mais econômico estavel por gravidade, estes que sao colocados geralmente a montante da rede também são uteis em prédios situados em zonas em que a pressão da rede seja insuficiente, ou de instalações comerciais ou industriais que necessitem de uma certa quantidade de água armazenada (Vilas-Boas, 2008).

O armazenamento num Sistema de Abastecimento de Água é uma função de ordem hidráulica, com reflexos em termos económicos e de segurança. Esta função é atribuída aos reservatórios, cujas finalidades serão então:

- ❖ Regularização entre os caudais transportados pela adução e os caudais distribuídos ao longo da rede;
- ❖ Constituição de uma reserva a ser utilizada em situações de carácter extraordinário (acidentes na captação, avarias em condutas, cortes de energia, substituição de bombas, ou situações de combate a incêndios);
- ❖ Homogeneização de características da água distribuída quando a qualidade da água na origem é variável;
- ❖ Equilíbrio de pressões nas redes de distribuição (manter pressão mínima ou constante na rede);

Com a finalidade de compensar as variações entre as vazões de adução, que em geral variam pouco, e as vazões de consumo, que oscilam substancialmente em função do dia e da hora, são instalados reservatórios no sistema de distribuição, que devem ainda condicionar as pressões na rede MEDEIROS, (2022). Os reservatórios em relação ao terreno pode ser engradados, semi-enterados, elevados, apoiados ou stande pipe. MEDEIROS, (2009).

3.1.3. Classificação dos reservatórios

Segundo (Vilas-Boas, 2008) Os reservatórios podem ser classificados tendo em conta os seguintes aspectos:

- ❖ **Função** (reservatórios de distribuição ou reservatórios de regularização);
- ❖ **Localização em relação ao sistema abastecedor;**

Reservatórios de origem

Reservatórios de extremidade

Forma (circular, elíptica, quadrada ou retangular);

- ❖ **Número de células** (duas ou mais células para ser possível o faseamento da sua construção,);
- ❖ **Materiais Construtivos utilizados** (betão armado ou pré-esforçado, alvenaria, aço e outros).

Sempre que possível deve se usar adutoras gravíticas, e de adutoras elevatórias para uma estação elevatória a partir da qual o transporte de água é feito por recurso a meios mecânicos (bombas hidráulicas). As estações elevatórias são assim utilizadas na necessidade de vencer condições topográficas desfavoráveis, o uso de abastecimento por pressão apresenta desvantagens como o aumento das despesas de operação devido aos gastos com energia, vulnerabilidade a interrupções e falhas no fornecimento de energia, exigência de operação e manutenção.

3.2. Rede de distribuição de água

A RAA representa a fase final de um sistema de abastecimento de água, na qual se procede ao fornecimento de água a populacional. A distribuição é efectuada por intermédio de condutas , que devem ser dimensionadas (caudal, pressão e diâmetro) de modo a permitir o fornecimento de água às instalações dos edifícios (prédios, moradias, escolas, hospitais,) em quantidade suficiente, pressão adequada e qualidade desejável. (EOS, 2022)

Defini-se rede de distribuição como sendo o conjunto de condutas destinadas a conduzir a água até os pontos de tomada das instalações prediais, ou os pontos de consumo público, de forma contínua e segura . Destas destacam-se as tubulações – troncos e de distribuição (NB 594/77, 2022; Magalhaes, 2004)

Conforme a NBR 12218/1994, citado por Costa, (2015) a rede de distribuição de água potável é parte do sistema de abastecimento destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendadas. É o componente do sistema de abastecimento de água que demanda maior custo.

Segundo TSUTYA, (2006) cerca de 50 a 75% do custo total de todas as obras de abastecimento é relativa à rede de distribuição, por serem de difícil acesso, pois são obras enterradas que se distribuem sob as vias públicas, as redes de distribuição são normalmente negligenciadas. Entretanto, por ser a parte do sistema mais próximo, a população abastecida merece uma atenção especial, de maneira a garantir água de qualidade e diminuir perdas de água.

De acordo com EOS, (2022), numa rede de distribuição de água é possível encontrar dois tipos de condutas: as principais (instaladas de preferência na proximidade de edifícios com maiores exigências,) e as secundárias. Para definir as ramificações que irão construir a rede secundária tem de se ter em conta alguns aspetos económicos e técnicos.

3.2.1. Classificação das redes de distribuição de água

As redes de distribuição são geralmente compostas por tubulações principais (tubulações tronco ou mestras), essas redes são abastecidas por um reservatório de montante, ou por um sistema de reservatórios misto (um reservatório de montante e um de jusante), ou, ainda, diretamente da adutora com um reservatório de jusante Tsutya, (2006), A partir dessas tubulações, partem as secundárias, as quais são de menor diâmetro e têm por finalidade o abastecimento de água dos ramais prediais.

Os dois principais tipos de redes são: **redes ramificadas** e as **redes malhadas**.

De acordo com o traçado

❖ Ramificada

Nesse tipo de rede, o abastecimento se dá a partir de uma tubulação tronco, sendo este alimentado por um reservatório ou por meio de uma estação elevatória, onde a distribuição da água é feita diretamente de uma tubulação secundária. É possível conhecer o sentido da vazão em qualquer trecho da rede Costa, (2015). O inconveniente desse tipo de rede se deve ao fato de que qualquer interrupção em um trecho da rede prejudica todo o abastecimento nas tubulações situadas à jusante desta. Portanto, estas somente devem ser utilizadas quando a topografia local e os pontos de abastecimento não permitem o traçado com redes de malhas. Esse tipo de traçado é utilizado em pequenas cidades, pequenas áreas, comunidades de desenvolvimento linear, pouca largura urbana.

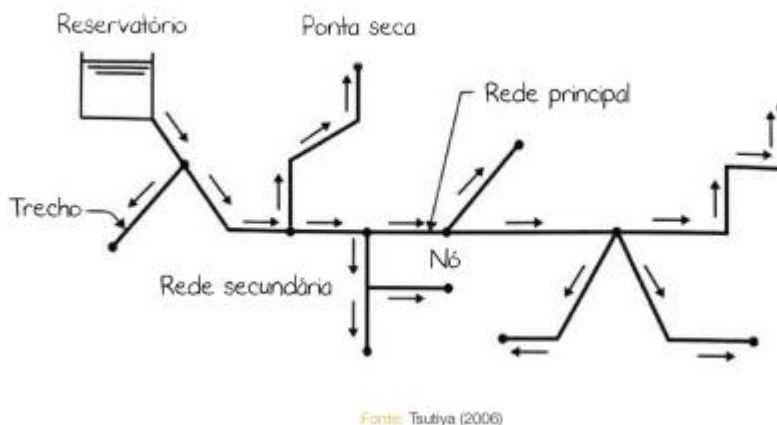


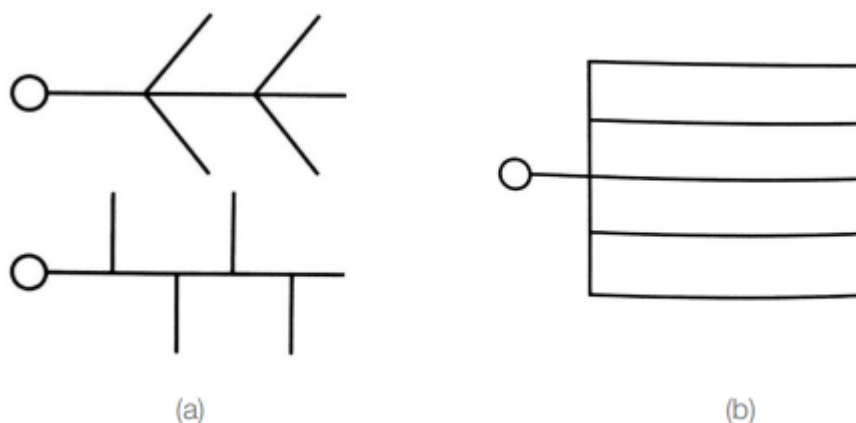
Figura 2: Esquema de uma rede ramificada

Fonte: Tsutya, (2006)

As redes ramificadas podem ainda ser classificadas conforme a disposição das suas tubulações principais em:

Redes em espinha de peixe: onde a partir de uma tubulação principal central são derivadas, em outras formas de ramificação, as outras tubulações principais. Esse traçado é normalmente utilizado em áreas com desenvolvimento linear; e

Redes em grelha: apresentam suas tubulações principais ordenadas em paralelo, onde são ligadas em uma extremidade a uma outra tubulação principal que a alimenta.



Fonte: Tsutya (2006)

Figura 3 Rede ramificada com traçado em espinha de peixe (a) e com traçado em grelha (b)

Fonte: Tsutya, (2006)

❖ **Malhada**

Nesse tipo de rede, suas tubulações principais formam anéis ou blocos, dessa maneira existem mais de um caminho para que se possa abastecer qualquer ponto do sistema e, assim, é possível uma maior flexibilidade quanto à demanda e eventual manutenção na rede e, dessa forma, com o mínimo de interrupção no fornecimento de água, esse tipo de rede é normalmente utilizado em grandes cidades, grandes áreas, comunidades com desenvolvimento concêntrico (Costa, (2015).

Rede malhada em anéis é o tipo de rede utilizada na maioria das cidades, seu funcionamento pode ser muito bom, desde que tenha sido bem projetada, sua medição de vazão é mais trabalhosa que nas redes em blocos, por necessitarem de um maior número de registros.

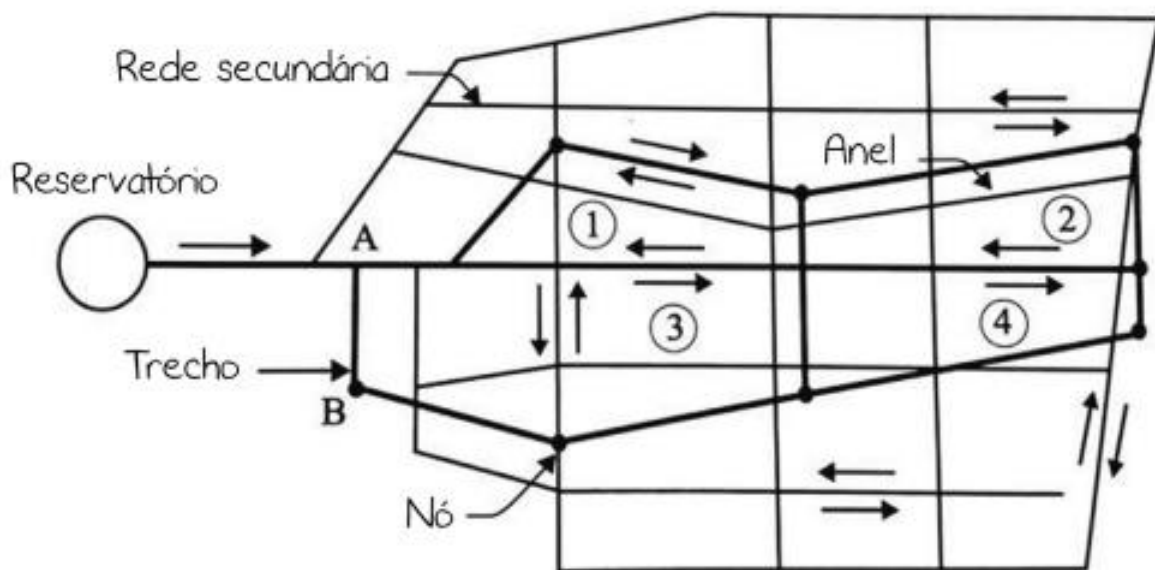


Figura 4 Esquema de uma rede malhada com quatro anéis ou malhas

Fonte: Porto (1998)

Rede malhada em blocos, sua facilidade quanto ao controle de perdas se deve ao fato de as redes internas, dispostas em blocos, serem alimentadas apenas por dois pontos, favorecendo sua medição.

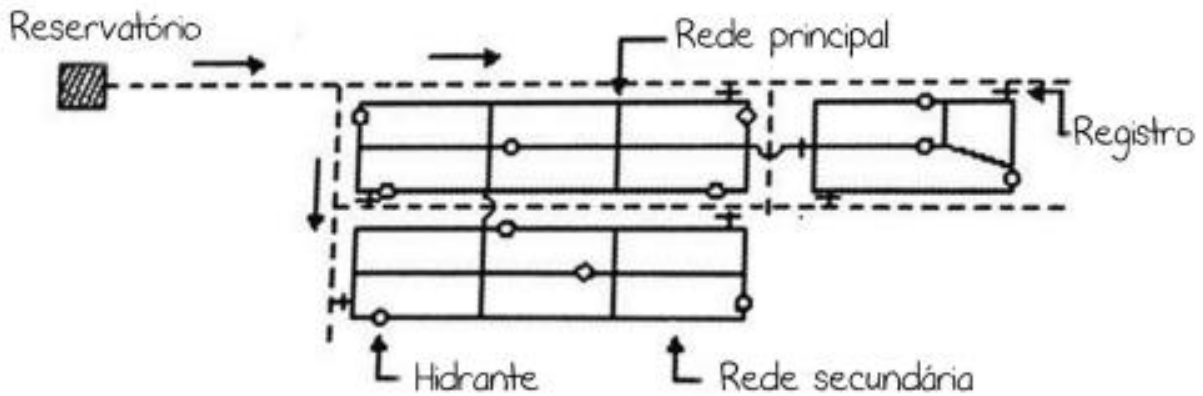


Figura 5 Esquema de uma rede em blocos

Fonte: JWWA, (2003)

3.3. Perdas de água

O maior problema encontrado em todo o sistema de abastecimento é a perda de água especificamente os vazamentos, as ligações clandestinas e erros de medição são os mais expressivos EOS, (2017).

O controle dessas perdas é uma actividade essencial em uma empresa de abastecimento, pois envolve diretamente receitas e despesas.

Estima-se que, até 2025, mais de 8 mil milhões de pessoas, em cerca de 48 países, irão enfrentar stress hídrico ou situações de escassez de água. A par desta realidade os dados do Banco Mundial revelam que mais de 32 mil milhões de metros cúbicos de água tratada são perdidos anualmente nos sistemas de distribuição de água, em consequência da existência de fugas e perdas. Cortês, (2015).

De acordo com (ABES, 2013), Um dos principais indicadores de ineficiência da operação dos sistemas de abastecimento de água é o índice de perdas. Com valores médios que beiram os 60% em Moçambique, decrescendo, é verdade, mas a uma velocidade extremamente baixa, o combate às perdas de água transformou-se em um grande desafio dos operadores públicos e privados.

No momento de tentativa de retomada dos investimentos do setor de saneamento, percebe-se claramente que grande parte de nossos operadores públicos, principalmente, apresentam condições insuficientes do ponto de vista de gestão para planejar e implementar as ações necessárias para enfrentar o problema.

As perdas são classificadas em físicas e não físicas. A primeira se refere a água que não chega ao consumidor devido aos vazamentos, e as segundas representam a água consumida e não contabilizada. Isso ocorre por causa de fraudes ou falhas nos hidrômetros ou ligações clandestinas ou não cadastradas.

De acordo com o referido por Morais e Almeida (2007) a International Water Association (IWA), qualquer reflexão acerca das perdas de água deve, em primeiro lugar, começar por esclarecer os tipos de fugas e perdas associados à distribuição de água.

3.3.1. Classificação das perdas de água

O conceito de perdas nos sistemas de abastecimento de água inclui duas categorias de acordo com ABES, (2013):

A “**perda de água física**” ou “**real**”, quando o volume de água disponibilizado no sistema de distribuição pelas operadoras de água não é utilizado pelos clientes, sendo desperdiçado antes de chegar às unidades de consumo, e A “**perda de água comercial**” ou “**aparente**” quando o volume utilizado não é devidamente computado nas unidades de consumo, sendo cobrado de forma inadequada.

Perdas Reais: constituem as perdas físicas de água a partir dos sistemas de distribuição, incluem fugas e transbordo de armazenamento. Como mencionado por Thornton (2002), estas perdas não são de facto reais, uma vez que, apenas representam o retorno de água para a bacia hidrográfica, implicando, no entanto, custos consideráveis de transporte e tratamento de água que não têm retorno para as Entidades Gestoras. As fugas são o tipo mais comum de perdas reais e podem ocorrer como consequência de inúmeras razões, das quais se destacam as seguintes. Thornton, (2002).

- ❖ Uso inadequado de materiais antes da instalação;
- ❖ Condições ambientais, tais como temperaturas baixas
- ❖ Vibrações originadas pelo tráfego;
- ❖ Colocação incorreta na vala;
- ❖ Instalações inadequadas;
- ❖ Transitórios de pressão;
- ❖ Flutuações de pressão;
- ❖ Materiais impróprios;
- ❖ Excessos de pressão;
- ❖ Corrosão;

Perdas Aparentes: Por vezes, também designadas como perdas de “**papel**”, consistem em volumes de água que são consumidos, mas que não são devidamente contabilizados e que, acontecem como resultado de erros de mediação, erros de dados do sistema de faturação ou consumos não autorizados ou ilegais. Estas perdas penalizam as Entidades Gestoras dos sistemas de abastecimento de água e alteram os dados sobre os padrões de consumo dos utilizadores; Thornton, (2002).

3.4.Gestão da Pressão

Segundo Alegre *et al.* (2005), a gestão activa das pressões é um factor determinante no controlo das perdas de água, visto que tem um papel fundamental no caso dos caudais totais de perdas, bem como nos consumos e nas taxas de roturas em condutas.

Geralmente é atribuído um valor mínimo de pressão ao sistema de abastecimento, quando se trata da situação mais desvantajosa de consumos e nos pontos mais críticos da rede. Durante o período no turno em que o consumo é menor, as pressões têm tendência a aumentar, pelo que devem ser reduzidas ainda mais, do que no período diurno. A gestão das pressões significa redução de perdas de água, conseqüentemente a redução do número de roturas é uma melhor gestão dos consumos Alegre *et al.*, (2005).

A pressão a que está submetido o sistema de distribuição de água é um dos principais factores que influenciam o número de vazamento, por isso, o gerenciamento das pressões na distribuição traz uma ampla gama de benefícios, é fundamental para a redução das perdas reais Lambert e Thornton, (2012).

A gestão da pressão em redes de distribuição de água pode ser conseguida através da optimização do funcionamento de estações elevatórias com grupos de elevação com velocidade variável, recorrer à divisão da rede por patamares de pressão em função das condições topográficas, e ainda através da instalação de dispositivos de redução da pressão (VRP). Apesar de poderem ser usados em conjunto, o primeiro método, à partida será mais adequado quando existem estações elevatórias ligadas directamente à rede de distribuição de água (além de permitir reduzir as perdas de água, reduz os consumos energéticos); o segundo método aplica-se sobretudo quando a redução da pressão na rede se pretende permanente ou durante um período alargado de tempo; por último, o terceiro método tem a vantagem de poder ser implementado em qualquer zona da rede de distribuição de água e permitir ajustar a pressão a jusante ao consumo efectivo, de forma permanente ou ao longo do tempo Alegre *et al.*, (2005); Thornton *et al.*,(2008).

Ao haver uma gestão activa de pressões, as entidades gestoras vão poder reduzir o seu caudal de perdas de água, vão poder reduzir o seu consumo em dispositivos que estão sujeitos à pressão do sistema público, vão estabilizar a pressão existente no sistema de distribuição, vão proteger a parte infra-estrutural da rede de abastecimento e vão reduzir a ocorrência de roturas Alegre *et al.*, (2005).

Segundo Marques (2011), a pressão máxima nas redes de distribuição, medida ao nível do solo, é de 60 m.c.a, e a pressão mínima varia em parte do tipo de urbanização, mais concretamente, do número de pisos acima do solo das edificações a abastecer, assim a pressão mínima foi calculada pela expressão:

$$H = 10 + 4n \quad (1)$$

Onde, H a pressão mínima em m.c.a.

N é o número de pisos acima do solo.

3.5.Zonas de pressão

De acordo com Costa, (2015). As zonas de pressão em redes de distribuição são cada uma das partes em que a rede é subdividida, visando impedir que a pressão dinâmica mínima e estática máxima ultrapassem os limites recomendados e pre-estabelecidos. Nota-se, então, que uma rede pode ser dividida em quantas zonas de pressão forem necessárias, a fim de satisfazer as condições técnicas das redes de distribuição.

Convencionalmente, as zonas de pressão em redes de abastecimento de água potável estão situadas entre 15 e 50 mca (metros de coluna d'água), tolerando-se até 60 mca em até 10% da área e até 70 mca em até 5% da mesma zona, como pressão estática máxima, até 10 mca em 10% e até 8 mca em 5% da mesma zona para pressão dinâmica mínima. Em circunstâncias especiais, para populações de até 5000 hab, pode-se trabalhar com até 6 mca com justificativas, garantindo que não ocorrerá riscos de contaminação da rede. Costa, (2015).

De acordo com NB - 594 / 77, (2022), A área abastecida com pressões estáticas superiores a 50 m.c.a. poderá corresponder até a 10% da área da zona de pressão, desde que não seja ultrapassada uma opressão de 60 m.c.a. e até 5% da área da zona de pressão desde que não seja ultrapassada uma pressão de 70 m.c.a.

Diz ainda que a área abastecida com pressão dinâmica inferior a 15 m.c.a. poderá corresponder até a 10% da área da zona de pressão, desde que a pressão mínima seja superior a 10 m.c.a. e até 5% da área da zona de pressão desde que a pressão mínima seja superior a 8 m.c.a. e que

além disso as áreas sujeitas a pressão inferior a 15 m.c.a. apresentem uma pressão estática máxima menor que 15% da pressão dinâmica mínima.

A gestão da pressão é um instrumento fundamental para uma adequada implementação de um sistema de gestão de fugas. O volume de água perdido numa fuga está diretamente relacionado com a pressão do sistema, isto é, quanto maior a pressão, maior o volume de água perdido pela fuga. Em muitas situações o que acontece é que a pressão no sistema é superior à necessária, principalmente no período noturno Gomes, (2011).

Como refere Cardoso, (2013) uma gestão adequada da pressão pode diminuir consideravelmente o volume total de perdas. Apesar de uma redução da pressão acarretar uma perda de factoração (redução do consumo), uma diminuição da pressão para além de permitir reduzir o volume de perdas, pode também permitir aumentar a oferta do sistema de abastecimento sem que isso implique uma expansão do sistema, manter ou reduzir os pontos de captação de água, diminuir o incómodo para os utilizadores, bem como, diminuir os custos de produção

A otimização da pressão nas redes de distribuição pode ser atingida fazendo um correto uso das estações elevatórias com grupos de elevação com velocidade variável. Este método é mais indicado quando existem estações elevatórias ligadas à rede Gomes, (2011).

Um outro método, aconselhado para situações em que se pretende que a redução da pressão seja permanente, ou durante um longo período de tempo, consiste em dividir corretamente a rede por patamares de pressão, de acordo, com as condições topográficas do terreno. Cortês, (2015). Para além destas, existem outras soluções diferentes que podem passar pela utilização de bombas de velocidade variável, câmaras de perda de carga ou válvulas reductoras de pressão (VRP), sendo este último, o método comumente utilizado por ser o que confere melhores resultados a menor custo.

3.6. Modelos de Simulação

Segundo (Coelho 2006), os modelos de simulação são ferramentas que permitem, com uma analisar e prever o comportamento hidráulico da água do sistema a partir das características dos seus componentes, da sua forma de operação e dos consumos solicitados. Esses modelos a simulação de cenários variados, com suficiente aproximação.

A simulação do comportamento do sistema pode ser utilizada para prever a sua resposta face a condições operacionais e ambientais, para que os problemas possam assim ser antecipados e as soluções avaliadas (Coelho *et al.*, 2006).

Para a realização de simulações hidráulicas da rede existem aplicativos como waterGEMS, WaterCAD desenvolvido pela *Haestad Methods*, que em Agosto de 2004, fundiu-se a *Bentley Systems*, e o EPANET da U.S. *Environmental Protection Agency* (EPA). Estes que oferecem aos profissionais uma maior rapidez na execução dos modelos e análise com maior nível de detalhe.

3.7.Epanet

De acordo com Rossman, (2002), o EPANET é um software que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água de sistemas de distribuição em pressão.

O EPANET 2.0. É um simulador amplamente testado e credível, que beneficia há cerca de uma década que tem sido usada em todo mundo para a realização de simulações (Loureiro e Coelho, 2004).

De acordo com Fernando, *et al.*, (2015) em ambiente Windows, o EPANET fornece um ambiente integrado para editar dados de entrada da rede, executar simulações hidráulicas e de qualidade da água e visualizar os resultados em vários formatos. Estes últimos incluem a possibilidade de visualizar mapas da rede com codificação a cores, tabelas de dados, gráficos de séries temporais e gráficos de isolinhas.

De acordo com Silva (2008), dentro dos programas disponíveis para a simulação de redes de abastecimento de água destaca-se o EPANET, Este simulador é, hoje em dia, um dos mais fiáveis softwares para este tipo de estudos, permitindo um melhor planeamento das redes bem como o seu funcionamento, uma vez que é capaz de nos apresentar resultados para variadas situações tais como executar simulações estáticas ou dinâmicas.

Segundo EOS, (2022) o epanet trata-se de um sistema de apoio à análise de sistemas de distribuição que permite melhorar o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água para consumo humano. O software contém dois módulos integrados que calculam a solução para o sistema hidráulico de redes pressurizadas e permitem rastrear constituintes reativos e não reativos dentro do sistema.

3.7.1. Caracterização do EPANET 2.0

Segundo Loureiro e Coelho (2004) o EPANET é um programa de computador que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade de água de sistemas de distribuição em pressão.

A simulação estática é aquela que permite reproduzir as características do sistema simulado para um dado cenário de consumos, como se deles fornecessem uma fotografia. Já a simulação dinâmica é utilizada em sistemas de distribuição de água, quando é efetuada uma simulação da evolução do sistema ao longo do tempo, através de uma sequência de equilíbrio hidráulico obtida para sucessivos instantes.

Segundo Loureiro e Coelho (2004) o EPANET 2.0 apresenta ambiente gráfico integrado que permite:

- Editar os dados descritivos da rede e dos cenários a modelar;
- Executar simulações hidráulicas e de qualidade da água;
- Calibrar o modelo e visualizar os resultados em vários formatos.

Acrescenta ainda que o EPANET 2.0 pode ser utilizado para:

- Desenvolver programas de amostragem ou planos estratégicos para o estudo da perda de desinfetantes e formação de subprodutos;
- Avaliar estratégias de aperfeiçoamento da qualidade de água, tais como a alteração da origem das águas dentro de um sistema multi-fontes;
- Modificar horários de bombeamento e enchimento/esvaziamento de reservatórios para redução de custos energéticos e tempos de percurso.

3.7.2. Limitações

- Não permite a análise da qualidade da água a mais do que uma espécie em simultâneo;
- Não permite inserir uma distribuição dos consumos ao longo da rede de forma automática;
- É necessário a utilização de alguns artifícios para ultrapassar alguns pormenores como a simulação da entrada de água num reservatório de cota fixa;
- Admissão de caudal nulo para situações hidrostáticas ou aceitar um reservatório completamente vazio;
- Não permite a colocação de acessórios e não considera perdas de cargas e nem por fugas. Silva, (2008).

3.7.3. Padrões temporais

Um padrão de tempo é uma colecção de multiplicadores que podem ser aplicados a uma quantidade para permitir que varie com o tempo. O intervalo de tempo usado em todos os padrões é definido com as opções de tempo do projecto nesse intervalo, uma quantidade permanece em um nível constante, igual ao produto de seu valor nominal e o multiplicador do padrão para esse intervalo. Embora todos os padrões de tempo devam utilizar o mesmo intervalo de tempo, cada um pode ter um número diferente de períodos. Quando o relógio da simulação excede o número de períodos em um padrão, o padrão volta ao primeiro período novamente.

3.8 Kobo Collect

Os trabalhos de cadastros podem ser realizados com recurso a aplicativo KoboCollect este que é baseado no aplicativo ODK Collect de código aberto e é usado para coleta de dados primários em emergências humanitárias e outros ambientes de campo desafiadores. Com esse aplicativo, você insere dados de entrevistas ou outros dados primários - online ou offline, sua maior vantagem é que não há limites para o número de formulários, perguntas ou envios que podem ser salvos em seu dispositivo.

O (*KoBoCollect*) apresenta como vantagem a substituição dos formulários em papel tradicionais por formulários eletrônicos que permitem o envio de conteúdos em texto, dados numéricos, dados de GPS, entre outros

O processo de cadastros irá decorrer com a ajuda de um analista de consumo e em simultâneo com a entrega de faturas de consumo do mês anterior, ao analista caberá o fornecimento das informações referentes ao número de cliente e indicação das casas, sendo que o cadastrador vai introduzir os dados de entrada e avaliar as condições de anomalia presentes no contador.

3.8.1. Perdas de carga

O termo perda de carga refere-se à perda de energia que um fluido, em uma tubulação sob pressão, sofre em razão de vários fatores como o atrito deste com uma camada estacionária aderida à parede interna do tubo ou em razão da turbulência devido às mudanças de direção do traçado (Viana, 2022).

A perda de carga num tubo é a perda de energia dinâmica do fluido devido à fricção das partículas do fluido dentro da tubulação. Podem ser contínuas, ao longo dos condutos regulares, acidental ou localizada, devido a circunstâncias particulares, como um estreitamento, uma alteração de direção, a presença de uma válvula, e muito mais.

Baral, (2018), defini perda de carga como sendo a resistência ao escoamento devido ao atrito entre o fluido e a tubulação, mas que pode ser maior ou menor devido a outros fatores tais como o tipo de fluido (viscosidade do fluido), ao tipo de material do tubo, o diâmetro do tubo e a quantidade de conexões e registros.

3.8.2. Variáveis hidráulicas

- Comprimento da tubulação
- Diâmetro da tubulação (d)
- Velocidade (v)
- Rugosidade
- Tempo de uso
- Viscosidade do fluido

3.8.3. Classificação das perdas de carga

As perdas de carga podem ser de dois tipos:

- ❖ Perdas de carga distribuídas ou Primárias e
- ❖ Perdas de carga localizadas ou Secundárias.

Perdas de carga distribuídas – e aquele que ocorre durante todo o percurso da tubulacao fazendo com que a pressão total vá diminuindo gradativamente ao longo do comprimento.

As perdas de carga distribuídas ocorrem ao longo dos trechos retos da tubulação devido ao atrito. Estas são influenciadas pelo diâmetro e comprimento do tubo, a rugosidade da parede, as propriedades do fluido, a massa específica, a viscosidade, e a velocidade de escoamento. Andrade, (2016).

A tabela a seguir apresenta os valores de rugosidade para alguns tipos de tubos mais comuns. Andrade, (2016).

Tabela 1: Valores de rugosidade para alguns tipos de tubos mais comuns.

Materiais	Rugosidade absoluta
Aço comercial novo	0.045
Aço Laminado novo	0.04 a 0.10
Aço Soldado novo	0.05 a 0.10
Aço Soldado limpo usado	0.15 a 0.20
Aço Soldado moderadamente oxidado	0.4

Aço ou ferro galvanizado	0.15
Ferro forjado	0.05
Ferro Fundido novo	0.25 a 0.50
Ferro Fundido com leve oxidacao	0.30
Ferro Fundido velho	3 a 5
Ferro Fundido oxidado	1 a 1.5
Cimento amianto novo	0.025
Concreto centrifugado novo	0.16
Concreto armado liso, vários anos de uso	0.2 a 0.3
Concreto com acabamento normal	1 a 3
Concreto protendido Freyssinet	0.04
Cobre, Latao, aço revestido de epóxi, PVC, plásticos em geral, tubos extrudados	0.0015

Fonte Andrade, (2016)

Dentre as propriedades do fluido, a viscosidade é a mais importante na dissipação de energia. Além de ser proporcional a perda de carga, sua relação com as forças de inércia do escoamento fornece um número adimensional, o número de Reynolds “Re” que é o parâmetro que indica o regime de escoamento.

Para tubulações de seção circular, o número de Reynolds é calculado conforme a equação abaixo, e é admitido o valor de 2100 como limite de transição entre o escoamento laminar e turbulento.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

Equação 1 fórmula de Reynolds (Fonte: Viana, 2022).

Onde:

ρ – Densidade do Fluido (kg/m³)

V – Viscosidade Cinemática (m²/s)

D – Dimensão linear características (diâmetro hidráulico)

μ – viscosidade dinâmica (Pa.s)

3.8.4. Cálculo da perda de carga distribuída

Para o cálculo de perda de carga nesta simulação vou recorrer ao uso da fórmula geral de perda de carga descrita por Darcy.

Fórmula universal de Darcy

$$\Delta h = f * \left(\frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g} \right)$$

Equação 2 fórmula de perda de carga de Darcy

Onde:

- Δh é a perda de carga distribuída (m);
- f é o fator de atrito (adimensional);
- L é o comprimento da tubulação (m);
- D é o diâmetro da tubulação (m);
- v é a velocidade média do escoamento (m/s);
- g é a aceleração da gravidade (m/s²);

Expressão usando a fórmula de Hazen-Williams

Esta fórmula é usada para o cálculo de perdas de carga e leva consigo um coeficiente de rugosidade 'C' tabelado para cada tipo de material da tubagem.

$$\Delta h = 10,643 * Q^{1,85} * C^{-1,85} * D^{-4,87} * L$$

Equação 3 fórmula de perda de carga de Hazen Williams

Onde:

- Δh é a perda de carga distribuída (m);
- Q é a vazão do fluido (m³/s);
- C é o coeficiente de rugosidade (m^{0,367}/s), tabela 2;
- D é o diâmetro da tubulação (m);
- L é o comprimento da tubulação (m).

Tabela 2 Valores do coeficiente de rugosidade de hazem-wiliams em função do tipo de material.

Material	C
Aço corrugado	60
Aço com juntas lock ba, em serviço	90
Aço rebatido, tubos novos	110
Aço soldado, tubos novos	130
Aço soldado com revestimento especial	130
Concreto com bom acabamento	130
Ferro fundido, novos	130
Ferro dundido, usados	90
Madeiras em aduela	120
Acco com juntas lock-bar, tubos novos	130
Acco galvanizado	125
Acco rebitado, em uso	85
Aço soldado, em uso	90
Cobre	130
Concreto, acabamento comum	120
Ferro fundido, após 15-20 anos de uso	100
Ferro fundido revestido de cimento	130
Tubos extrudados, PVC	150

Fonte Andrade, (2016)

3.8.4. Perda de Carga Localizada ou Secundária - É causado pelos acessórios de canalização, isto é, as diversas peças necessárias para a montagem da tubulação e para o controle do fluxo do escoamento. O escoamento sofre perturbações bruscas em válvulas, curvas, reduções, expansões, emendas entre outros, o que resulta em maior perda de carga. Barral, (2022)

Um fato curioso sobre a perda de carga localizada é que sua influência sobre a linha de energia ocorre tanto a montante como a jusante da localização do acessório presente na tubulação, e cada componente apresenta um valor específico de perda de carga, conforme mostra a tabela abaixo. Andrade, (2016).

3.8.5. Cálculo da perda de carga localizada utilizando a expressão geral

Para este calculo da perda de carga vai se recorrer a formula geral de de calculo de perda localizada

$$\Delta h = k * \left(\frac{v^2}{2 * g} \right)$$

Equação 4 formula geral de perda de carga localizada

Onde:

- K é um coeficiente (adimensional) e será estudado em várias situações, a seguir;
- V é uma velocidade de referência (m/s);
- g é a aceleração da gravidade (m²/s).

3.8.6. Expressão da perda de carga localizada para alargamentos e estreitamentos

➤ Alargamento brusco

A mudança de diâmetro de uma tubulação pode ser gradual ou de maneira abrupta, a equação abaixo é usada para a perda de carga localizada para alargamentos bruscos.

$$\Delta h = \frac{(v_1 - v_2)}{2 \cdot g} = \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \right]^2 \cdot \left(\frac{v_1^2}{2 \cdot g} \right)$$

Equação 5 formula de perda de carga localizada para alargamento

Onde:

- $[1 - (A_1/A_2)]^2 = K$
- V₁ é a velocidade na seção de menor diâmetro (m/s);
- A₁ é a área na seção de menor diâmetro (m²);
- A₂ é a área na seção de maior diâmetro (m²).

➤ Estreitamento brusco

Já na contração brusca, o fluido se afasta da fronteira sólida na forma de uma contração do jato e, então se expande para preencher totalmente a seção de menor diâmetro a jusante, a equação abaixo é usada para a perda de carga localizada para alargamentos bruscos.

$$\Delta h = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \cdot \left(\frac{v_2^2}{2 \cdot g} \right)$$

Equação 6 formula de perda de carga localizada para estreitamentos

Onde:

- $(1/C_c - 1)^2 = K$
- V₁ é a velocidade na seção de maior diâmetro (m/s);

- $C_c = A_0/A_2$, sendo A_0 é área na seção contraída e A_2 a área na seção a montante

4. METODOLOGIA

4.1. Descrição da área de estudo

Matchelene localiza-se no distrito do Limpopo está situado na parte sul da província de Gaza, em Moçambique. A sua sede é a povoação de Nuvunguene. Este distrito foi criado pela Lei 3/2016, de 6 de Maio que reestruturou a divisão administrativa da área envolvente da cidade de Xai-Xai. Tem limites geográficos, a norte com o distrito de Chibuto, a leste com os distritos de Chongoene e Xai-Xai, a sul com o Oceano Índico e a oeste é limitado pelo distrito de Bilene. O distrito está dividido em três postos administrativos: Chissano (transferido do distrito de Bilene), Chicumbane e Zonguene (transferidos do antigo distrito do Xai-Xai). É caracterizado por um clima tropical húmido com temperaturas médias anuais acima de 25°C e por solos machongos na sua maior extensão.



4.1.1. Descrição do pequeno sistema de abastecimento de água de Matchelene

O PSAA é localizado no Posto Administrativo de Julius Nyerere, Distrito de Limpopo. É constituído por um reservatório elevado de 100m³ e 01 furo. Tem uma capacidade instalada de 33.2m³/h e uma potência instalada de 11Kw. Tem uma extensão de rede de distribuição de cerca de 4km de vários diâmetros 5m de conduta adutora de material HDPE de 90mm de diâmetro. Com cerca de 405 clientes, o PSAA possui 06 fontanários dos quais 05 inoperacionais. FIPAG (2021).

4.2. Materiais

Tabela 3: Materiais que foram usados durante a realização o estudo.

Tipo de Material	Funcionalidade
Flexímetro	Para fazer as leituras de caudal e velocidade na tubulação;
Manómetro de pressão	Para fazer as leituras das pressões na rede;
Software kobocollect	Para captação das coordenadas;
Caderno e Esferográfica	Para anotar os dados de campo;
Pá	Para a escavação e localização dos tubos;
Pano	Para a limpeza do tubo e remoção da lama;
Chave de tubo	Para a remocação das torneiras e montagem do manómetro;
Fita Teflon	Para fixação do manómetro nas torneiras;
Computador com ferramenta Microsoft	Para digitação e processamento de dados;
Software epanet	para produção do projeto e execução da simulação;
Google Earth	Para o desenho inicial do projeto, obtenção das cotas e das distâncias;
Arc GIS	Para a produção de mapas;

4.3. Colecta de dados

4.3.1. Identificação dos pontos críticos da rede de distribuição de Matchelene.

Os pontos críticos são os locais que foram indicados para se fazer as leituras de pressão e velocidade ao longo da rede de distribuição, apos a escolha destes pontos com o auxilio de alguns canalizadores e com alguns membros da entidade gestora fez se a escavação dos pontos marcados para a instalação do instrumento de colheita para os dados de velocidade. No campo, no âmbito da realização dos cadastros, fez se o aviso prévio as famílias responsáveis de pontos de colheita de pressão para a autorização da realização das actividades, acompanhado por um membro da entidade gestora e com os acessórios de medição de pressão (manómetro) procedeu-se a colheita de dados, o processo foi repetido 3 dias consecutivos em cada ponto para garantir melhores resultados.

4.3.2. Mapeamento dos contadores

O Mapeamento dos contadores foi o enquadramento da informação geográfica da localização dos contadores de água, instalados para os clientes com a devida especificação do número de cliente, a indicação do tipo de anomalia presente, e o estado físico e de funcionamento do mesmo. Esses dados foram usados não só para a contabilização dos clientes e o mapeamento geográfico de distribuição na rede, mas também para facilitação do processo de localização e intervenção em casos de avaria ou substituição, serviu também para se criar uma base de dados completa e mais detalhada para facilitar e melhorar os serviços de abastecimento de água e gestão da rede. Este processo foi realizado através do (CooBoKollect), este que é um aplicativo grátis de código aberto para sistemas android, de fácil uso e de extrema valia pela sua capacidade de limite de formulário variados, que fornecesse as coordenadas com uma precisão de cerca de 3.7 m.

Etapas do mapeamento

- ❖ Definição de ferramentas de coleta de dados;
- ❖ Capacitação do pessoal envolvido no processo;
- ❖ Execução do trabalho de campo e compilação dos dados;
- ❖ Produção de mapas espaciais dos cadastros feitos.

4.3.3. Determinação dos consumos

Depois de realizados os cadastros e georeferenciamento dos clientes, para a determinação dos consumos recorreu-se aos dados fornecidos pela FIPAG, referentes aos consumos mensais dos meses de novembro, dezembro e janeiro, ($m^3/mês$) que foram fornecidos divididos por expensões. O sistema de abastecimento de Matchelene é composto por 5 expensões que estão divididas e agrupadas de acordo com sua proximidade para facilitar o processo de entrega de faturas.

4.3.4. Conversão dos dados

Devido as ramificações da rede existem vários nós, cujos valores de consumo foram resultantes da divisão dos consumos da expensão pelo número de nós existentes nela, e depois foram convertidos de ($m^3/mês$) para (m^3/h) dividindo por 720.

4.3.5. Mapeamento do local

Esta fase compreendeu visitas de reconhecimento ao campo, visualizações do local e desenho da rede no software (Google Earth), onde além de fazer o desenho também foram obtidos os dados referentes as cotas/ elevações e as distancias das tubulações a serem usadas na

implementação do projeto. Esta foi a fase mais crucial pois os dados obtidos no Google Earth foram os dados de entrada no epanet para a realização da simulação.

4.4. Dimensionamento da rede usando Epanet

4.4.1. Configuração das pré-definições

A quando do dimensionamento da rede no epanet foi necessário configurar algumas pré definições que regeram todo o trabalho como os prefixos dos identificadores, as propriedades dos reservatórios de nível fixo e variado, e as condições hidráulicas tais como o tipo de equação a ser usada no dimensionamento.

Para o dimensionamento deste sistema foi usada a equação de perda de carga de Darcy-Weisbachou.

4.4.2. Calibração da rede

Para este processo inseriu-se a imagem no software epanet e fez-se o desenho da rede, colocou-se os reservatórios de nível fixo e variado, bombas, curvas, válvulas, nós e troços, também foram incluídos os dados de entrada de dimensionamento referentes as cotas, diâmetros, comprimentos, rugosidade, e consumos bases. Para a obtenção dos relatórios de dados de velocidade, pressão.

4.5. Medição da pressão e velocidade em pontos críticos da rede de distribuição

A metodologia que foi adotada para a obtenção de dados de calibração consistiu á colocação de manómetros para a medição da pressão em alguns pontos-chave da rede. Os pontos foram selecionados na rede devido a sua situação crítica, onde verificou-se alguns problemas, tais como o baixo índice ou falta de pressão.

Para a medição da velocidade foi usado o medidor de fluxos ultrassónico (flexim F601) para a obtenção dos dados da velocidade de escoamento da água dentro da tubulação. Também foram identificados pontos de colheita de dados ao longo dos extremos da rede para a avaliar os níveis de cobertura em termos de pressão nas horas de pico e de menor consumo, e também ao longo da rede nas ramificações para o controle da velocidade e pressão.

Foram marcados no total 14 pontos ao longo da rede para colheita dos dados de velocidade e de pressão, e serão feitas três repetições em cada ponto para cada período de medição para segurança dos dados.

4.6.Comparação de resultados

Pós ter-se colhido os dados do sistema de abastecimento de água de Matchelene, recorrendo-se ao programa de modelação de dados Excel e os dados da simulação obtidos através do *EPANET 2.0*, fez se gráficos comparativos ilustrando a situação ideal apresentada pelo epanet e a situação real encontrada no campo, para posterior análise.

4.7.Simulação do sistema de abastecimento de água de Matchelene.

Na simulação do sistema de abastecimento, introduziu-se todos os dados do sistema em funcionamento no *EPANET 2.0* com o objectivo de comparar o estado do funcionamento do sistema actualmente. O *EPANET* permitiu obter os valores da pressão e velocidade da água, em cada nó e nos trechos, a altura de água no reservatório e para o efeito foi necessário o levantamento de dados do sistema de abastecimento de água. Os dados do sistema foram obtidos com base no mapa do sistema. Para a realização da simulação foram necessários os diâmetros das condutas em cada trecho, nós, numero de válvulas, cotas do terreno e cota do reservatório. A simulação teve como finalidade mostrar o estado ideal do sistema.

Este processo pode dar as diretrizes para a melhoria operacional e para o funcionamento normal e seguro do sistema de abastecimento e de água de Matchelene.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Levantamento dos dados de pressão e velocidade na tubulação ao longo da rede de distribuição;

Tabela 4: Dados da velocidade e pressão

Pontos	Dados do epanet		Dados da rede no campo	
	Pressão	Velocidade	Pressão	Velocidade
1	90.29	0.1	12.236	0.62
2	92.27	0.06	20.394	0.4
3	91.27	0.01	25.493	0.14
4	93.26	0.04	22.434	0.23
5	93.26	0.13	20.394	0.72
6	95.4	0.06	27.533	0.44
7	94.19	0.1	20.394	0.58
8	94.19	0.1	24.473	0.45
9	99.04	0.6	19.375	0.28
10	96.1	0.13	22.434	0.72
11	96.1	0.13	17.335	0.36
12	99.45	0.03	18.355	0.14
13	97.46	0.06	15.296	0.17
14	97.41	0.02	5.098	0.08

A tabela acima representa os dados referentes a velocidade e pressão obtidos a partir da simulação e de ensaios realizados no campo. Nos dados da simulação temos uma máxima de 99.45 mca e uma mínima de 91.27 mca, contra a máxima de 27.533 mca e a mínima de 5.098 mca nos dados obtidos representando uma diferença de 94 %. Para os casos de velocidade obtida a partir da simulação temos uma máxima de 0.13 m/s e uma mínima de 0.01m/s contra a máxima de 0.72 m/s e uma mínima de 0.04 m/s para a rede de abastecimento.

Pressões

De acordo com NBR 12218, (1994) O nível máximo das pressões na rede de distribuição deve ser de 500 kPa, e a mínima de 100 kPa. Tendo em conta as limitações da rede. Trechos de condutos principais que não abastecem consumidores ou tubulações secundárias não estão

sujeitos aos limites de pressão descritos acima, mas devem ser verificados quanto à estabilidade estrutural e à segurança sanitária.

Torres, (2019), O dimensionamento correto de uma rede hídrica deve assegurar o caudal nominal previsto em cada ponto de consumo de água, independentemente das exigências dos utilizadores e das condições de funcionamento. Tanto que, convém manter e assegurar uma pressão, no ponto de utilização, compreendida entre 1,5 e 3 bar.

Alves, (2019), Assume que a pressão máxima, estática ou de serviço em qualquer ponto de utilização não deve ultrapassar os 600 kPa medida ao nível do solo e não é aceitável grande flutuação de pressões em cada nó do sistema, impondo-se uma variação máxima ao longo do dia de 300 kPa.

Apesar da nossa rede apresentar resultados de pressão menores aos indicados por norma, podem ser considerados como estaveis em alguns pontos tendo em conta a degradação da própria rede, o envelhecimento das condutas, alteração das rugosidades, diâmetro internos, e variação de diâmetros. Sendo ainda necessário implementar-se melhorias na rede para a estabilização da pressão em todos os pontos, e alcance dos padrões de pressão estipulados pela norma NBR12218.

Velocidade

Aquando do dimensionamento de qualquer projecto de uma rede, para garantir uma boa eficiência de distribuição a que se considerar alguns aspectos ligados a velocidade e para impedir o sobre dimensionamento exagerado das condutas, evitar a permanência da água muito tempo nas condutas e reduzir as incrustações nas paredes das condutas.

Segundo o NBR 12218, (1994). A velocidade mínima nas tubulações da rede deve ser de 0,6 m/s, e a máxima, de 3,5 m/s. Estes limites referem-se às demandas máximas diárias no início e no final da etapa de execução da rede.

Para evitar fenómenos de desgaste rápido dos aparelhos e acessórios da rede de distribuição, recomenda-se que a velocidade de fluxo nas tubagens não exceda o valor limite de 2 m/s, sabendo que este é directamente proporcional ao diâmetro. Torres, (2019).

Para Alves, (2019), Uma dica importante para a minimização de custos e escolha certa dos diâmetros das tubulações sabendo que a velocidade de escoamento para o caudal de ponta não

deve ser inferior a 0,30 m/s e nas condutas onde não seja possível verificar este limite devem prever-se dispositivos adequados para descarga periódica.

5.2. Relação entre os dados de campo os dados das simulações para teste do desempenho da rede.

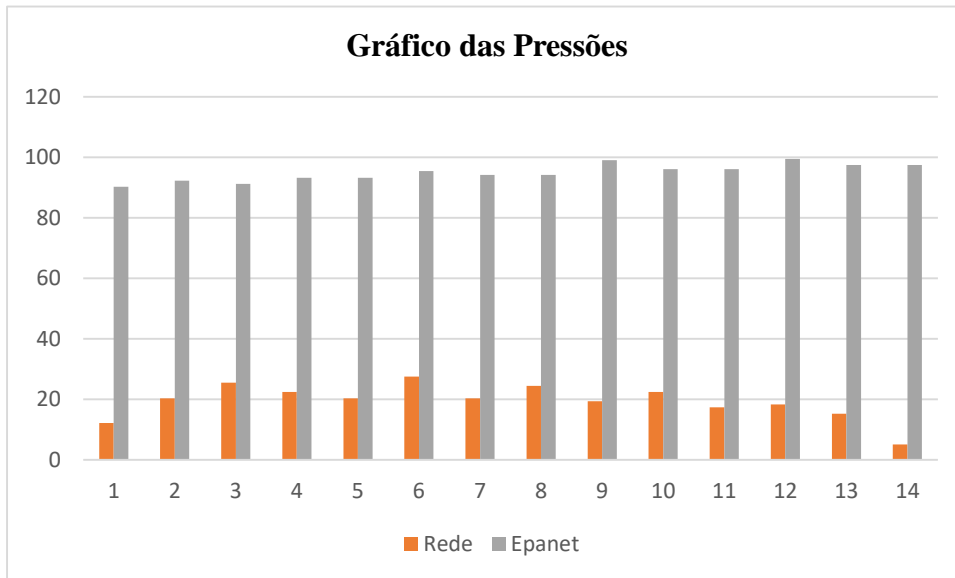


Figura 6: Gráfico das pressões obtidas pela epanet e as pressões no campo. (Fonte: Autor 2002).

O gráfico acima é ilustrativo da relação dos dados de pressão da simulação do epanet e da rede de distribuição, deixando mais explícito a grande diferença existente entre eles. Sendo que os dados da rede não representam nem 30% dos valores obtidos através da simulação o que afeta significativamente o abastecimento da água na rede.

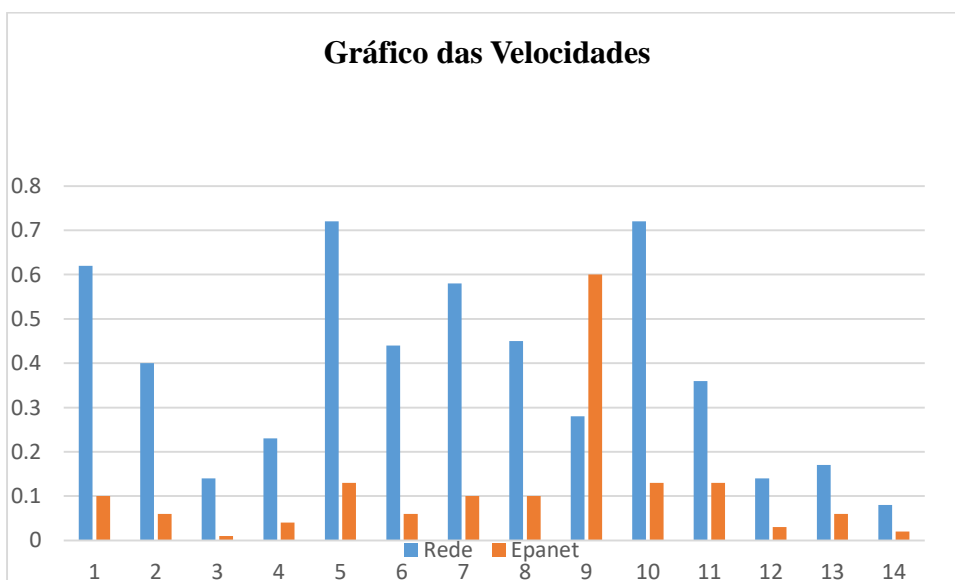


Figura 7: Gráfico das velocidades obtidas no campo e na epanet. (Fonte: Autor 2002)

Este gráfico é ilustrativo da relação dos dados de velocidade da simulação do epanet e da rede. Em que se nota que os dados do epanet são relativamente menores aos da rede, este que é um dos principais indicativos de baixas pressões na rede.

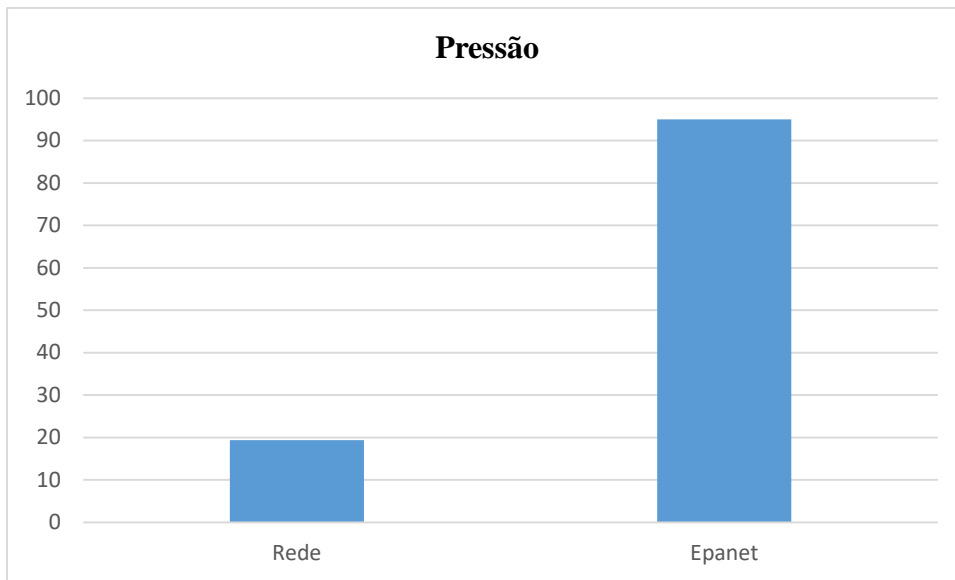


Figura 8: Gráfico das médias das pressões no campo e na epanet. (Fonte: Autor 2002).

O gráfico descrito acima indica as medias das pressões da rede e do epanet, representando uma diferença media de 75,60329 mca entre eles.

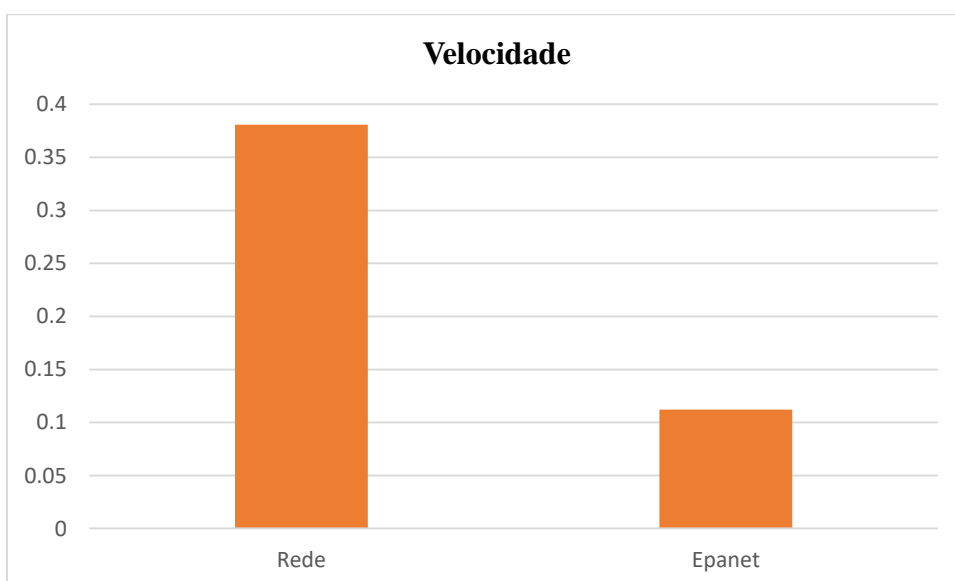


Figura 9: Gráfico das médias das velocidades no campo e no epanet.

O gráfico descrito acima indica as medias das velocidades da rede e do epanet, representando uma diferença média de 0,268571429 m/se entre eles.

O que foi apresentado nos itens a cima foram dados obtidos das simulações do epanet e das visitas ao campo para coleta de dados, mas principalmente da experiência dos autores ao utilizarem deste sistema Epanet. Para efeito de comparação e análise, os dados aqui descritos foram executados em uma plataforma do software epanet 2.0 posteriormente agrupados e organizados em uma planilha de Excel.

Apesar da grande diferença entre os dados do epanet e os dados de campo, a que destacar alguns aspetos que de alguma forma influenciaram para que houvesse tamanha disparidade entre os resultados, como: **A idade do material, o desgaste físico das estruturas e o excesso de fugas ao longo da rede, ligações clandestinas, falhas de conectividade, ligações super longas, o aumento da população e dos clientes, o excesso de acessórios, a variedade de diâmetros e mistura de tubagens de classes e materiais diferentes, o facto do epanet desconsiderar acessórios e perdas de carga, e o alcance do horizonte do projeto do sistema.**

5.3.Nível de precisão dos dados das simulações feitas pelo epanet;

Fontes de erro na modelação

Deve se assumir uma certa margem de discrepancia entre os resultados do modelo e a realidade, levando em consideracao a idade da estrutura e as suas condições operacionais. (Coelho, at all, 2006).

A calibração de um modelo pode ser vista como o ajustamento, até se obter a concordância de valores de pressão e caudal, dos valores das duas grandes fontes de incerteza nos dados originais: a rugosidade interna das condutas e os consumos nominais nos nós, as duas variáveis de base que podem apenas ser estimadas, contrariamente ao comprimento e diâmetro das condutas e aos restantes elementos que podem ser especificamente medidos. Diuana, (2015)

No entanto, são muitas mais as possíveis fontes de erro ou de incerteza nos dados de entrada de um modelo, que poderão contribuir para discrepâncias entre resultados do modelo e medições na rede. Qualquer dessas possíveis origens de erros constitui um potencial parâmetro de calibração, razão pela qual é importante revê-las aqui:

- (i) Coeficiente de rugosidade das condutas.**

Como já foi referido, este é um dos principais factores de incerteza na especificação de um modelo. A estimativa de coeficientes de perda de carga tem justificado a realização de uma grande quantidade de estudos, sendo inúmeras as referências disponíveis sobre os diversos materiais de tubagem, a evolução da perda de carga com a idade (e.g. Cesário, 1985 e Walski et al.,2003) e com outros factores de influência.

A determinação de coeficientes de rugosidade especificamente para o sistema em estudo deverá passar por testes de campo. A introdução de factores corretivos deverá ser cuidadosa e respeitar o princípio de não alterar mais do que um pressuposto de cada vez, sob pena de se perder sensibilidade aos reais efeitos dos ajustes.

Deve manter-se presente que, em sistemas com baixas perdas de carga relativamente frequentes, sobretudo em sectores de distribuição com consumos pouco concentrados, em que a imposição de diâmetros mínimos tem como efeito velocidades muito baixas – o efeito do coeficiente de perda de carga unitária é pouco importante. Cesário (2011). Nestas circunstâncias, um modelo pode fornecer resultados plausíveis mesmo a partir de estimativas pouco trabalhadas dos coeficientes de perda de carga. Tal não significa que esteja calibrado à partida, e que o processo de calibração possa conseqüentemente ser dispensado

(ii) Atribuição de consumos aos nós.

Do que foi mencionado, resulta clara a grande importância, mas também a dificuldade, de uma boa estimativa da distribuição espacial e temporal de consumos. Vários factores contribuem para que a especificação das solicitações seja a principal incógnita de um modelo. Walski et al., (2003). A simplificação assumida à partida, de que o consumo está concentrado nos nós, implica desde logo uma cuidadosa localização destes. Por outro lado, essa concentração provoca perdas de carga diferentes daquelas que ocorreriam se o consumo fosse representado onde efectivamente ocorre, ou seja, nos ramais ao longo das condutas (Figura abaixo). A diferença é tanto maior quanto mais longe esteja situado o consumo em relação ao nó da conduta a que está atribuído.

De modo geral, estas diferenças não são significativas, mas devem ser tomadas em conta na leitura de resultados de modelos que pretendam muito detalhados.

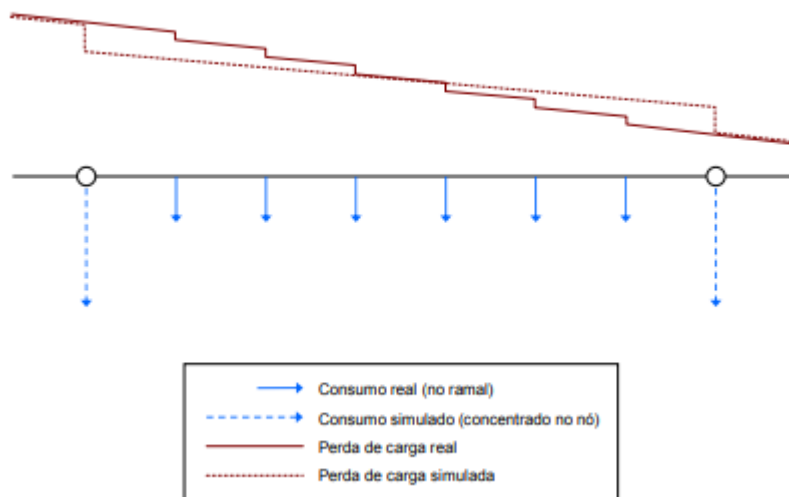


Figura 10 Atribuição de consumos aos nós DIUANA, (2015)

(iii) Diâmetro nominal e diâmetro interno.

Mencionou-se em que é possível o diâmetro nominal de uma tubagem não corresponder ao seu diâmetro interno, seja pela forma de especificação da tubagem utilizada, seja porque existe deposição ou tuberculização no interior da conduta (ver exemplo da Figura).

A solução frequentemente adoptada, quando se verificam reduções difíceis de estimar no diâmetro interno da tubagem, é a de utilizar na primeira aproximação o diâmetro nominal, e ajustar o coeficiente de rugosidade para compensar o efeito da redução de secção útil na perda de carga. Se tal solução for adoptada, não deverá deixar de ser registada no manual do modelo. Deve notar-se que uma alteração no valor do diâmetro tem um efeito muito mais pronunciado na perda de carga unitária resultante, do que a mesma alteração (em termos relativos) no valor da rugosidade.

É contraproducente ajustar simultaneamente os valores do diâmetro e da rugosidade, pois perde-se sensibilidade ao efeito dos ajustes, e aumenta-se desnecessariamente o número de dados a alterar.

O coeficiente de rugosidade é um parâmetro de calibração que permite uma aferição intuitiva da qualidade do modelo, uma vez que tem uma gama de variação expectável. Utilizando o coeficiente C de Hazen-Williams, p.ex., sabe-se à partida que valores inferiores a 40 ou superiores a 150 não são prováveis, o que indicia imediatamente outros problemas no modelo, tais como perdas de carga localizadas devidas a válvulas mal abertas.

(iv) Erros de conectividade.

Na construção de um modelo, podem ocorrer erros de desenho da rede que se reflectem em conectividade errada por comparação com o sistema real – ou seja, representando ligações entre elementos de uma forma que não corresponde à realidade. Estes erros são comuns e podem ocorrer tanto por lapso humano na introdução manual dos dados, como na geração do traçado da rede por via automatizada.

Quando uma rede é desenhada manualmente no simulador, é frequente, p.ex., a inserção de um nó de intersecção num lugar onde duas condutas apenas se cruzam, por tal não ser imediatamente aparente nos desenhos cadastrais de origem. Outros erros de interpretação da informação original, ou erros de especificação por parte do analista, são habituais e podem reflectir-se numa conectividade diferente daquela que ocorre na realidade.

Por outro lado, a geração automatizada do traçado da rede a partir de um SIG ou de cadastro digitalizado pode gerar um grande número de problemas de conectividade alterada, devido ao mecanismo de leitura interpretar erradamente a proximidade de nós e outros factores. Recorde-se que a representação da rede naqueles sistemas digitais nem sempre é realizada com a mesma discretização de condutas, ou utilizando a topologia de troços delimitados por nós em que os modelos de simulação se baseiam. Os algoritmos de exportação utilizam interpretações e adaptações sujeitas a erros. A verificação de conectividade é, nestes casos, uma etapa imprescindível da geração do traçado da rede.

Os erros de conectividade podem resultar em erro do modelo – o simulador não consegue resolver a rede e dá indicação de que algo está mal especificado – mas podem igualmente resultar num modelo que aparentemente funciona. É nesta acepção que os erros de conectividade constituem um dos aspectos a ter em conta na calibração de um modelo, até porque os resultados da simulação podem ser plausíveis ou com discrepâncias não imediatamente atribuíveis a um problema deste tipo.

Em redes já construídas ou em execução os erros de conectividade podem ser identificados ou representados por conexões mal feitas nas ligações dos tubos com os acessórios (curvas, válvulas, abraçadeiras, etc.) durante a construção da rede ou devido as variações das condições climáticas que causem o desgaste ou envelhecimento rápido do mesmo, também podem ser indicados como sendo as fugas encontradas nas estruturas dos contadores domiciliare distribuídos por toda a rede.

(v) Simplificação da rede.

A simplificação de um sistema para efeitos de modelação, por exemplo através da consideração apenas das condutas com diâmetro superior a 200 mm, pode resultar na eliminação não-intencional de troços cruciais para o funcionamento do sistema. O cálculo do respectivo equilíbrio hidráulico levará a soluções diferentes daquelas que ocorrem na realidade, e à conseqüente impossibilidade em calibrar convenientemente o modelo. Trata-se de um tipo de erro com sintomas semelhantes, à consideração errada do estado de uma válvula, por interpretação incorrecta da informação cadastral, ou por esta não ser fiável.

A eliminação de troços cruciais por simplificação pode ser pontual e resultar de lapsos na leitura que se faz do comportamento hidráulico do sistema aquando da construção do modelo, mas pode também ser mais disseminada, como consequência de uma simplificação exagerada.

(vi) Níveis e condições de operação de reservatórios e instalações elevatórias.

Os desenhos e dados de que se dispõe relativamente à geometria e cotas de reservatórios contêm por vezes imprecisões significativas, resultantes de as telas finais não corresponderem exactamente à obra construída, e de esses documentos não terem sido convenientemente verificados na recepção final. Na construção de um modelo, é aconselhável a verificação *in loco* das dimensões e cotas mais importantes, bem como da geometria e configuração das células. Da mesma forma, a verificação das condições operacionais relativas a níveis – nível de soleira, nível máximo e, caso a entrada seja em queda, nível máximo da conduta de entrada – é fundamental e deve envolver a participação activa dos operadores de rede. O mesmo se poderá dizer das configurações de válvulas (p.ex., consignas de caudal de entrega) e das condições operacionais das instalações elevatórias.

Finalmente, a verificação das curvas das bombas é condição essencial para uma correta modelação do seu funcionamento. A curva de uma bomba com bastantes anos de serviço pode diferir significativamente da especificação original do fabricante, sobretudo se a manutenção do equipamento foi deficitária.

5.4. Vantagens do uso das simulações do epanet na melhoria da gestão de uma rede de abastecimento;

Para determinar que um sistema pode desempenhar adequadamente a sua missão sob as mais variadas condições operacionais, é o objectivo último da boa gestão técnica, nas suas vertentes de planeamento, projecto, operação e manutenção.

No entanto, o desempenho dos sistemas raramente é avaliado na globalidade dos domínios relevantes, e nem sequer é explicitamente definido na prática tradicional de engenharia. Esta parte de abordagens fragmentadas em função de objectivos parcelares ou localizados, e tem dificuldade em formular os seus métodos para a gama completa de condições operacionais que são na realidade encontradas pelos sistemas. (Coelho, a all, 2006).

A utilização sistemática de modelos de simulação é certamente uma ajuda técnica preciosa no estudo da resposta do sistema a cenários alternativos de consumos ou condições operacionais. No entanto, os resultados dos modelos de simulação podem ser bastante complexos e a sua interpretação pouco intuitiva e não imediata, sobretudo na comparação de diversos cenários ou de diferentes configurações do sistema. Um estudo desenvolvido no LNEC neste domínio forneceu uma ferramenta para avaliação normalizada do desempenho que permite a abordagem sistematizada e equilibrada aos diversos domínios que contribuem para o bom desempenho dos sistemas. O método é detalhadamente apresentado por Coelho (1997) e Coelho e Alegre (1998), e é um desenvolvimento de trabalho anterior por Alegre (1988), Alegre e Coelho (1992) e Jowitt e Coelho (1994). A técnica foi mais recentemente alargada a sistemas de drenagem urbana (Cardoso et al., 2004; Cardoso et al., 2004a).

O sistema pretendido à partida (Alegre e Coelho, 1992) deveria ser capaz de, para cada domínio relevante para a gestão técnica das redes de saneamento básico, classificar as suas actividades de acordo com uma escala de mérito ligada seja ao nível do serviço prestado, seja a uma perspectiva específica de desempenho técnico, ou mais geralmente a um objectivo de análise ou projeto.

No caso do nosso sistema foi de grande utilidade pois permitiu-nos conhecer e intender mais da rede, tendo nos dado uma visão geral sobre o funcionamento integrado da mesma em condiciones ideias, o que nos permitira fazer melhorias em pontos específicos para mitigação do problema das baixas pressões, e também uma melhor implementação de uma expansão ou redimensionamento da rede.

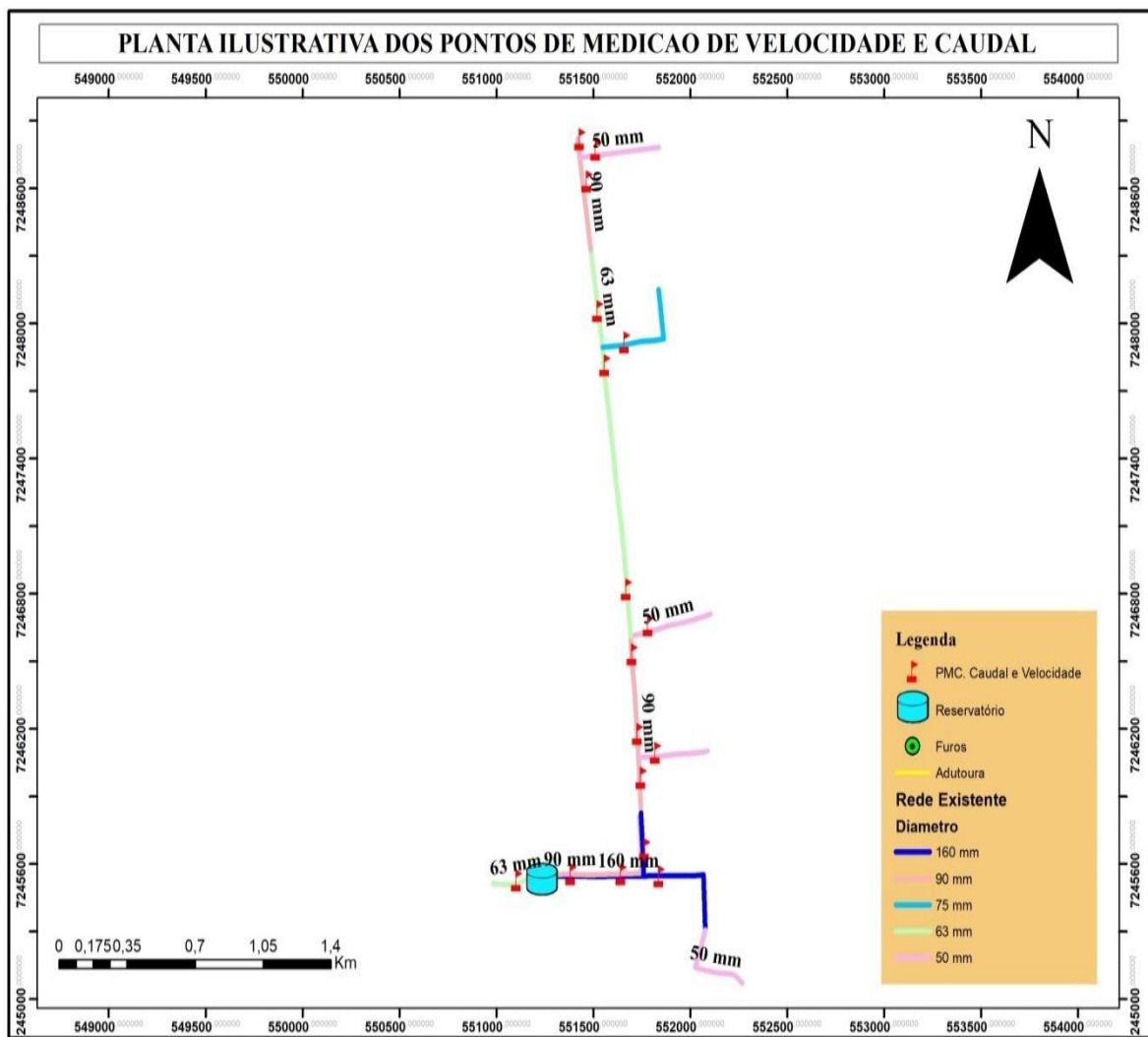


Figura 11 planta ilustrativa dos pontos de medicao de velocidade (Fonte: Autor 2002).

o mapa acima ilustra os pontos escolhidos ao longo da rede para as medições de velocidade e caudal, nota-se que foram feitas medições ao longo do trecho principal e no inicio de cada ramal para garantir os dados de abastecimento referentes a cada parte da rede.

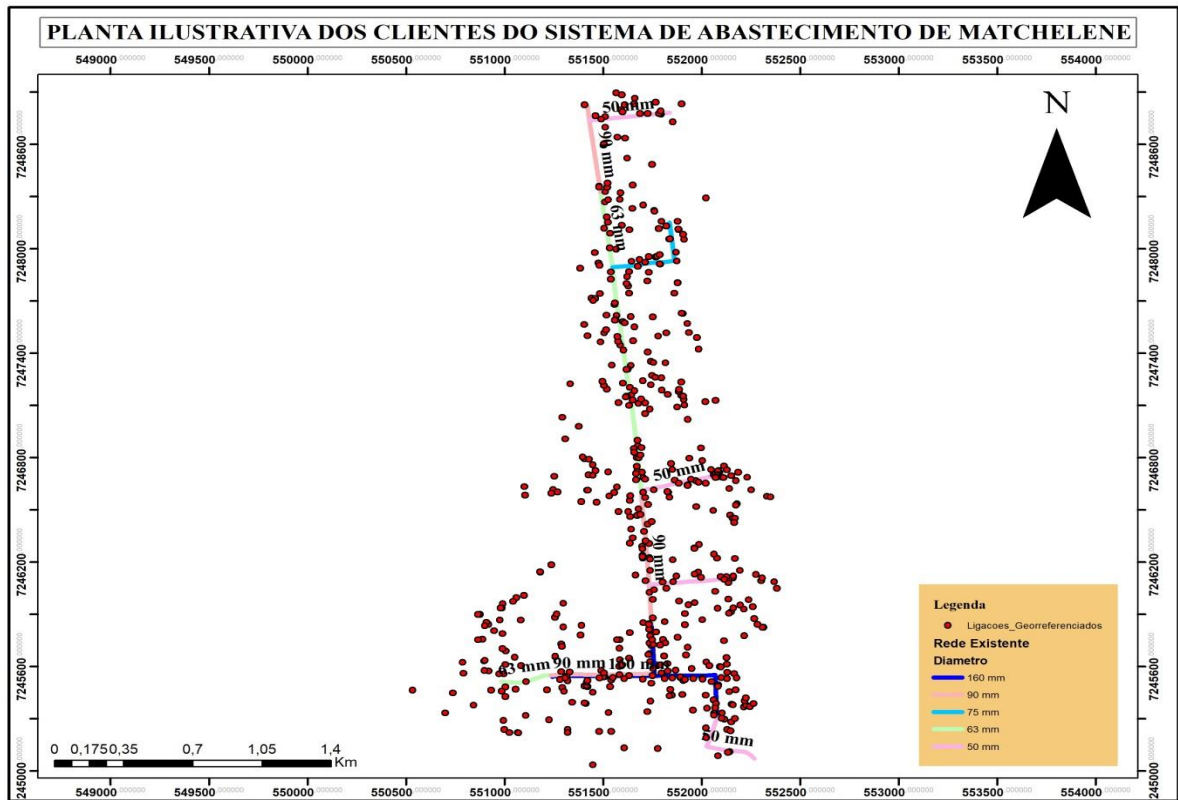


Figura 12 planta ilustrativa dos clientes do sistema de abastecimento de Matchelene (Fonte: Autor 2002).

Neste mapa estão representados todos clientes existentes neste sistema com as devidas informações geográficas referentes aos contadores e os referidos números. Para facilitação da localização em caso de intervenções, para a contabilização efetiva dos clientes e organização da rede.

6. CONCLUSÃO

Pode-se perceber que o Epanet é um programa simples e prático, de interface amigável, fácil utilização e que apesar de não possuir tantas funções, realizou todos os comandos necessários para o dimensionamento e simulação de uma rede de distribuição de água. Esses fatores somados à sua gratuidade justificam o fato de ser tão utilizado atualmente, tanto no mercado como com funções didáticas em universidades.

Analisando a matriz comparativa pode-se perceber que a simulação do epanet obteve valores relativamente maiores aos obtidos no campo. vale também ressaltar que os resultados obtidos, foram muito discrepantes, tendo uma diferença absoluta de cerca de 92 m.c.a em alguns pontos para os casos das simulações em relação aos dados de campo correspondentes a 94 % para nos casos de pressão, e uma diferença absoluta de 1.09 m/s dos dados de campo contra 0.1 m/s dos dados da simulação nos casos de velocidade sendo isso resultado da grande diferença dos diâmetros existentes, fugas desconhecidas e excesso de ligações.

Uma pequena diferença já era esperada, devido as diferentes formas de distribuição de vazões nos nós hidráulicos, e por causa das mudanças na hora da implementação, mas conforme observado, as variações foram muito superiores ao esperado, o que sugere a necessidade de avanço no estudo para avaliar os conceitos, métodos e o porquê das significativas diferenças nos resultados.

7. RECOMENDAÇÕES

para resolução e mitigação dos problemas de baixas pressões nos pontos marcados referentes aos extremos da rede recomenda-se a entidade gestora deste sistema de abastecimento e aos usuários deste software de modelação de rede que:

- ✓ Faça um novo projecto de dimensionamento a partir da população existente e tendo em conta um novo horizonte de projecto, os novos níveis demográficos da região em causa, que considerem também a qualidade do material usado em relação as condições geológicas para as quais será usado.
- ✓ Que faça a abertura de um novo furo de abastecimento, com uma capacidade de produção e índice de qualidade melhores que o actual, incluindo um reservatório elevado com uma capacidade de armazenamento que supra com as necessidades dos consumidores, e que garanta a melhor gestão dos custos de energia.
- ✓ Aos usuários do epanet que prestem especial atenção ao facto do mesmo não colocar acessórios e desconsiderar perdas de carga, sendo necessário fazer o dimensionamento contando com uma certa margem de erro e majoração nos materiais de campo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABES. (2013). *Abastecimento de Água*. Obtido de ABES.
- Cardoso, A. N. (2013). *Reduction of real waterlosses in Water Supply Systems*. Pressure Optimization.
- Cortês, A. S. (2015). *Fugas e Perdas em Sistemas de Abastecimento*. Coimbra: faculdade de ciencia e tecnologia universidade de coimbra .
- Crouch, D. P. (1993). *Water Management in Ancient Greek Cities*. Oxford University Press, New York, EUA.
- Costa, A. g. (2015). *sistemas de abastecimento der agua*. Fortaleza, CE: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.
- Coelho, S., Alegre H. (2002) A Avaliação do Desempenho Técnico de Sistemas de Saneamento Básico através da Simulação. Comunicação apresentada no curso de formação sobre simulação de sistemas Públicos de Abastecimento de Água. LNEC, Lisboa
- Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto. *Diário da República n.º164 – I Série*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Açores.
- Decreto Regulamentar n 23/95 de 23 de Agosto. *Diário da República nº194 – I Série – B*. Diário da República.
- EOS. (11 de abril de 2022). Obtido de EOS: <https://www.eosconsultores.com.br/epanet/>
- Gomes, R. J. (2011). *Modelação matemática como ferramenta de gestão e exploração de sistemas de distribuição de água*. Coimbra (Portugal): Universidade de Coimbra.
- Magalhaes, M. A. (2004). *manual de abastecimento de agua* . engenharia e projectos .
- MARTINHO N., COSTA C., MARIANO T., MOURATO S. (2006). Aplicacao de um modelo de simulação hidráulica e da qualidade de água no sistema de abastecimento de Abadia. In: 8º Congresso da água, Figueira da Foz, 13-17 de marco de 2006.
- TSUTYA, M. T. (2006). *ABASTECIMENTO DE AGUA* . Departamento de Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: 4ª ed. São Paulo.
- Viana, D. (24 de 05 de 2022). *guia de engenharia* . Obtido de <https://www.guiadaengenharia.com/perda-carga/>
- Vilas-Boas, P. R. (2008). *modelacao de uma rede de abastecimento de agua*. universidade do porto .
- Sousa, E., (2001). Saneamento Ambiental I, Sistemas de Distribuição de Água. Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Secção de Hidráulica e dos Recursos Hídricos e Ambientais. Lisboa.

Sá Marques, J. A. A. e Sousa, J. J. O. (2011). Hidráulica Urbana – Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais. 3ª Edição, Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.

SILVA, K. R. G., KISHI, R. T. (2003). Modelagem matemática do cloro em redes de distribuição de água. Saneare. Vol. 19, 26-40.

<http://www.lahc.ufc.br/md/Rede-agua-UFRJ.pdf>

<http://epanet-curso.lnec.pt/artigos/GT4.pdf>

9. ANEXOS

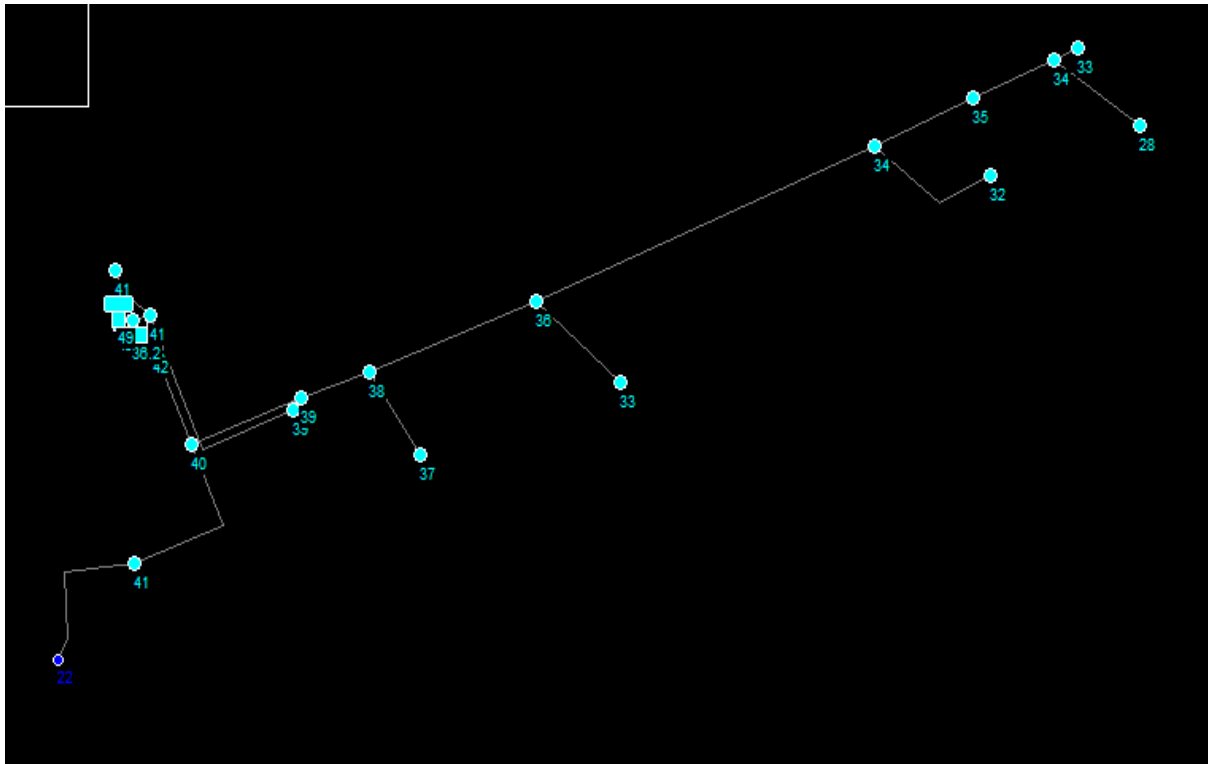
Anexo 1: Análise descritiva dos dados de pressão

	Pressão	
	Rede	Epanet
Média	19.37457143	94.97785714
Erro padrão	1.534298038	0.746693207
Mediana	20.394	94.795
Modo	20.394	93.26
Desvio padrão	5.740817587	2.793870154
Variância da amostra	32.95698657	7.80571044
Curtose	1.918821015	-0.843489538
Assimetria	-1.131743699	0.016807109
Intervalo	22.435	9.16
Mínimo	5.098	90.29
Máximo	27.533	99.45
Soma	271.244	1329.69
Contagem	14	14
Nível de confiança(95.0%)	3.314649391	1.613132601

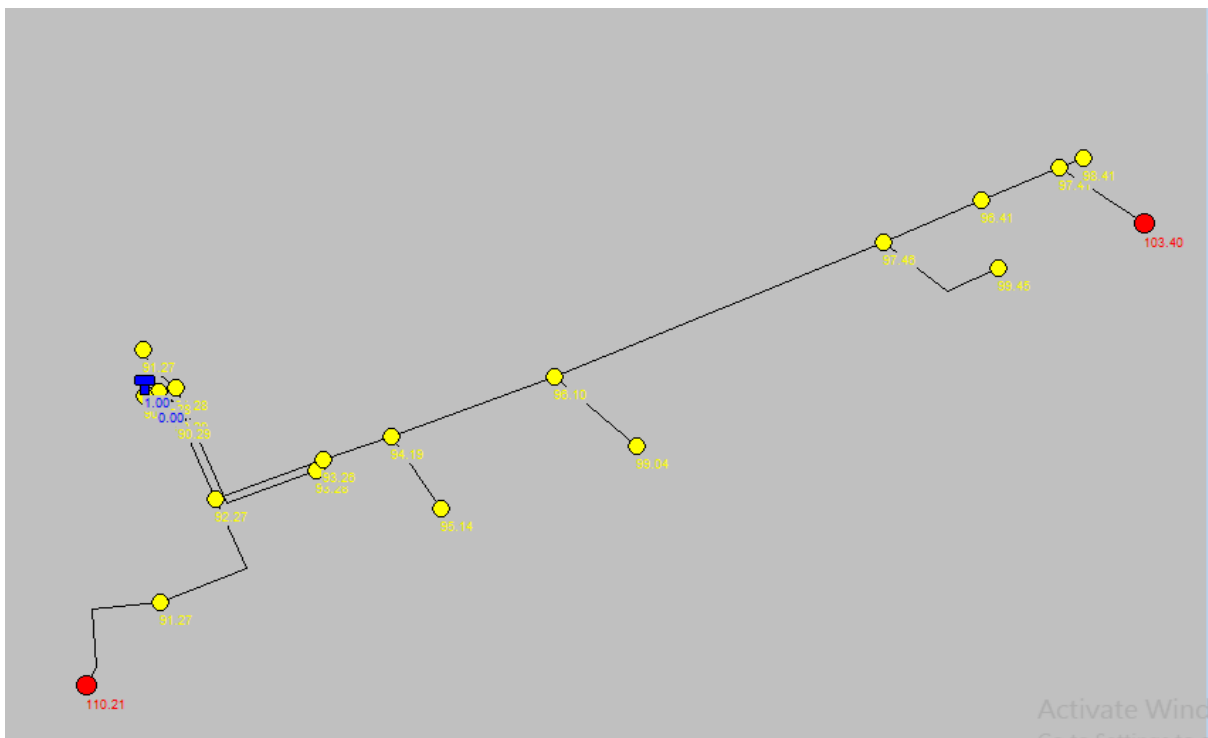
Anexo 2: Análise descritiva dos dados de velocidade. (Fonte: Autor 2002).

	Velocidade	
	Rede	Epanet
Média	0.38071429	0.11214286
Erro padrão	0.05836099	0.03911351
Mediana	0.38	0.08
Modo	0.14	0.1
Desvio padrão	0.21836682	0.14634935
Variância da amostra	0.04768407	0.02141813
Curtose	-1.2102885	11.3443134
Assimetria	0.27044429	3.23299815
Intervalo	0.64	0.59
Mínimo	0.08	0.01
Máximo	0.72	0.6
Soma	5.33	1.57
Contagem	14	14
Nível de confiança(95.0%)	0.12608125	0.0844996

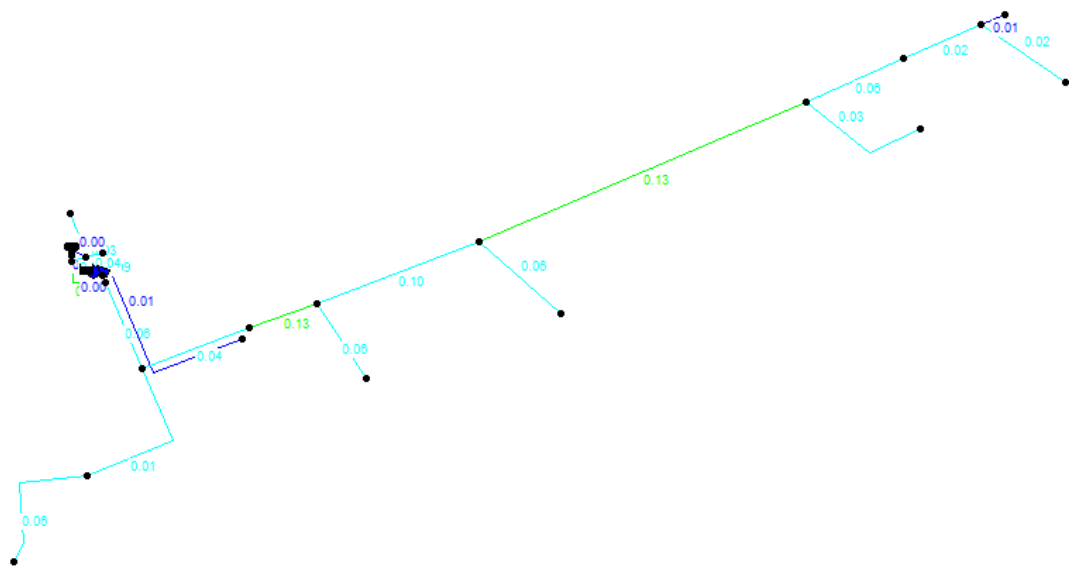
Anexo 3: Mapa ilustrativo da distribuição das cotas ao longo da rede (Epanet). (Fonte: Autor 2002).



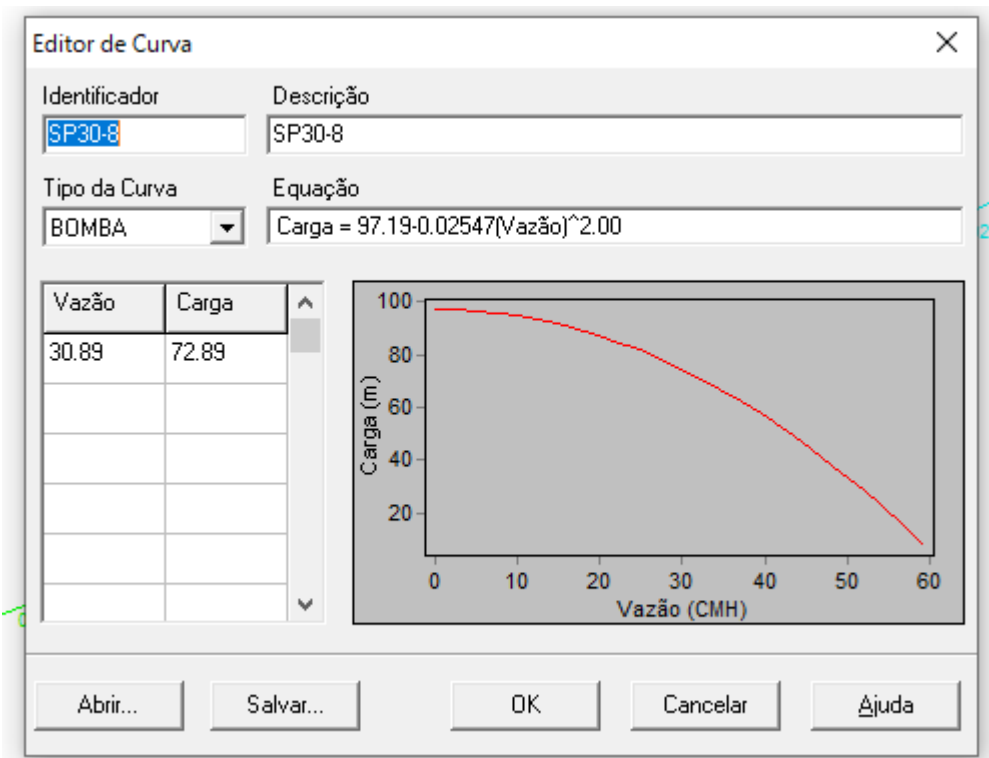
Anexo 4. Mapa ilustrativo da distribuição das pressões ao longo da rede (Epanet). (Fonte: Autor 2002).



Anexo 5: mapa ilustrativo da distribuição das velocidades ao longo da rede (Epanet). (Fonte: Autor 2002).



Anexo 6: Mapa ilustrativo da curva da bomba usada na simulação do sistema de abastecimento de Matchelene. (Fonte: Autor 2002).



Anexo 8: Mapa ilustrativo da curva da bomba usada no dimensionamento da RAA de Matchelene. (Fonte: Autor 2002).