

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ–UNIFEI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

CLÁUDIO ABIAR LOURENÇO

**DESENVOLVIMENTO DE BANCO DE DADOS PARA SISTEMAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA VISANDO EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA
UTILIZANDO SOFTWARES R E EPANET**

Itajubá - MG

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

CLÁUDIO ABIAR LOURENÇO

**DESENVOLVIMENTO DE BANCO DE DADOS PARA SISTEMAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA VISANDO EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA
UTILIZANDO SOFTWARES R E EPANET**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia da Universidade Federal de Itajubá, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia.

Área de Concentração: Engenharia de Energia.

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

Itajubá- MG

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

**DESENVOLVIMENTO DE BANCO DE DADOS PARA SISTEMAS DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA VISANDO EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA
UTILIZANDO SOFTWARES R E EPANET**

Exame de defesa _____ em 26 de julho de 2022.

BANCA EXAMINADORA:

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

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI

Examinador: Dr. Frederico Fábio Mauad

Universidade de São Paulo – USP

Examinador: Dr. Ivan Felipe Silva dos Santos

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI

Dedico esse trabalho aos meus pais
que sempre me mostraram a importância
do estudo para o desenvolvimento
intelectual e aperfeiçoamento pessoal.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa e aos meus filhos, por sempre me apoiarem.

Ao professor orientador, Fernando das Graças Braga da Silva, por sua paciência, confiança, disponibilidade e atenção no desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora.

À UNIFEI, por ter me proporcionado essa oportunidade.

À Redcope Finep - MCT (0983/10), pelo projeto de desenvolvimento de tecnologias e procedimentos eficientes para gestão hidroelétrica em sistemas de abastecimento de água. Os autores também agradecem à Fapemig, pelo Programa Pesquisador Mineiro PPM- 00755-16 e PPM – -0633-11.

Agradecimentos também ao NUMMARH – Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos e ao LHC (Laboratório de Hídrica Computacional).

Aos meus amigos que me acompanharam no decorrer desta jornada acadêmica.

Minha sincera gratidão a todos.

"A mais honrosa das ocupações é servir o público e ser útil ao maior número de pessoas".

Montaigne.

RESUMO

Atualmente muitos sistemas de abastecimento de água, coletam e monitoram dados diariamente, dentre os quais, podem-se destacar valores de níveis de reservatórios, pressões e demandas, além de dados elétricos de consumo. Os dados gerados se transformam em informações proporcionando o conhecimento necessário para direcionar o gestor no planejamento de ações e tomadas de decisões em geral. Complementarmente o *R* é um Software muito utilizado para análises estatísticas e recentemente em alguns trabalhos foi apresentada uma funcionalidade do *R* de acoplamento ao *Epanet*, como por exemplo: ARANDIA & ECK (2018), MACEDO (2020) e BARBEDO (2021) o que facilitou a análise de diversos cenários hidráulicos. Desta forma esta dissertação tem o objetivo de avaliar a potencialidade dos programas *R* e *Epanet* em Banco de Dados de sistemas de abastecimento de água. Neste intuito considerou-se a metodologia em propor uma simulação de rede de distribuição de água teórica para avaliar cenários e resultados a partir do *R*. Após o acoplamento a rede proposta foi simulada variando-se os níveis do reservatório e das demandas em diversos cenários, assim, obtivemos vários resultados. Foi possível automatizar o processo de análise gerando tabelas, gráficos e dados estatísticos referentes à dispersão das demandas, pressões e vazões resultantes dos nós e dos trechos oriundos de cada variação de consumo e níveis de reservatório. Os resultados obtidos comprovaram a compatibilidade e praticidade do modelo matemático de distribuição de água projetada no *software Epanet simulada* e no *software R*.

Palavras-chaves: Análise estatística, banco de dados, *Epanet*, redes hidráulicas, simulação de redes, *software R*,

ABSTRACT

Currently, many water supply systems collect and monitor data daily, among which we can highlight values of reservoir levels, pressures, demands, in addition to electrical consumption data. The generated data becomes information providing the necessary knowledge to direct the manager to carry out actions and decision-making in general. In addition, R is a software widely used for statistical analysis and recently in some works, a functionality of R coupling to Epanet was presented, such as: ARANDIA and ECK (2018), MACEDO (2020) and BARBEDO (2021) fact that facilitates the analysis of various hydraulic scenarios. Thus, this dissertation aims to evaluate the potential use of R and Epanet in a database of water supply systems, for this purpose it was considered for the methodology to propose a theoretical water distribution network and evaluate scenarios simulation and the results from R. After coupling, the proposed network was simulated with the variation of the reservoir level and demands in several different scenarios, thus obtaining several results. It was possible to automate the analysis process, generating graphical tables and statistical data regarding the dispersion of demands, pressures and flows resulting in the nodes and in the stretches from each demand variation and reservoir levels that were stored. The results obtained proved the compatibility and practicality of the mathematical model of water distribution designed in the Epanet software simulated in the R software.

Keywords: Statistical analysis, database, Epanet, hydraulic networks, network simulation, R software.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS.....	19
2.1. Objetivos Específicos.....	19
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
3.1. Aspectos gerais de sistemas de distribuição de água.....	20
3.2. Banco de Dados aplicados a sistemas de abastecimento.....	22
3.2.1. Sistema de Gerenciamento da Infraestrutura da Rede de Abastecimento com auxílio do SIG.....	22
3.2.2. Sistemas de aquisição de dados aplicados em redes de abastecimento de água... 	23
3.2.3. Sistemas de automação associado a banco de dados em redes de distribuição de água.....	23
a) Sistemas <i>SCADA</i> aplicados a redes de abastecimento.....	24
b) Sistema <i>SCADA</i> baseado na nuvem para aplicação em uma rede de abastecimento.....	24
c) Sistema de monitoramento e controle em tempo real em sistemas de distribuição de água para melhoria da eficiência operacional.....	25
d) Sistema de decomposição de tensor duplo para dados <i>SCADA</i> para uso em Redes de abastecimento.....	26
e) Sistema Embarcado.....	27
3.2.4. Sistema <i>ZigBee</i>, sistema de coleta, visualização e organização dos dados obtidos a partir do transdutor de pressão.....	27
3.2.5. Sistema de abastecimento de água sustentável: desenvolvimento esquemático da Coleta de dados usando a Internet dos equipamentos (<i>IoT</i>)	28
3.2.6. Sistema de obtenção de dados e controle remoto com medidores inteligentes....	29

3.3. Rede modelada com <i>R</i> com demanda de consumo de água.....	29
3.3.1. Plotagem de uma rede no <i>R</i>.....	31
3.3.2. Estudos de calibração de redes de abastecimento com <i>Epanet x R</i>.....	32
3.3.3. Avaliação hidráulica de rede teórica com o acoplamento <i>Epanet x R</i>.....	34
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1. Fase 1-Estudo do <i>Software R</i>.....	37
4.2. Fase 2-Estudos do <i>software Epanet</i>.....	38
4.3 Fase 3-Acoplamento de <i>Epanet</i> ao <i>R</i>.....	39
4.4. Fase 4-Metodologia do acoplamento <i>Epanet x R</i> para Banco de Dados.....	41
4.5. Fase 5-Simulação dos cenários e armazenamento dos resultados.....	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
5.1. Primeira aplicação da rede (Cenário 1)	47
5.2. Segunda aplicação da rede (Cenário 2)	51
5.3. Terceira aplicação da rede (Cenário 3)	53
5.4. Quarta aplicação da rede (Cenário 4)	57
5.5. Quinta aplicação da rede (Demanda Diária)	62
6. CONCLUSÃO.....	67

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Exemplo de um sistema de distribuição.....	21
Figura 2 -Tipos de redes de distribuição.....	22
Figura 3 -Exemplo de Banco de Dados no SIG.....	23
Figura 4 -Reconstrução de dados.....	26
Figura 5 -Previsão de demanda.....	30
Figura 6 -Plotagem de rede no <i>R</i>	31
Figura 7 -Pressão x Cenários.....	33
Figura 8 -Cálculos de erros	33
Figura 9 -Dispersão de pressão dos nós	35
Figura 10 -Fluxograma da metodologia geral.....	36
Figura 11 -Exemplo da tela do <i>R Studio</i>	38
Figura 12 -Rede proposta.....	39
Figura 13 -Fluxograma da metodologia final	44
Figura 14 (a) -Tabela de demandas gerada no <i>Epanet</i>	46
Figura 14 (b) -Tabela de trechos gerados no <i>Epanet</i>	46
Figura 15 -Equivalência entre tabelas <i>Epanet</i> do <i>R</i>	47
Figura 16 -Tabela de dados dos nós para o cenário 1.....	48
Figura 17 -Dispersão de demanda e pressão dos nós para o cenário 1.....	48
Figura 18 -Tabela de dados dos trechos para o cenário 1.....	49
Figura 19 -Dispersão de vazão por trechos para o cenário 1	49
Figura 20 -Tabela do trecho 1 para o cenário 1.....	50
Figura 21 -Vazão do trecho 1 para o cenário 1.....	50

Figura 22- Tabela de dados dos nós para o cenário 2.....	51
Figura 23- Dispersão de demanda e pressão dos nós para o cenário 2.....	51
Figura 24- Tabela de dados dos trechos para o cenário 2.....	52
Figura 25- Dispersão de vazão por trechos para o cenário 2.....	52
Figura 26- Tabela do trecho 1 para o cenário 2	53
Figura 27- Vazão do trecho 1 para o cenário 2.....	53
Figura 28- Tabela de dados dos nós para o cenário 3.....	54
Figura 29- Dispersão de demanda e pressão dos nós para o cenário 3.....	54
Figura 30- Tabela de dados dos trechos para o cenário 3.....	55
Figura 31- Dispersão de vazão por trechos para o cenário 3.....	55
Figura 32- Tabela do trecho 1 para o cenário 3.....	56
Figura 33- Vazão do trecho 1 para o cenário 3.....	56
Figura 34- Tabelas dos nós para o cenário 4(a)	57
Figura 35- Tabelas dos nós para o cenário 4(b)	57
Figura 36- Dispersão de demanda dos nós para os cenários 4(a) e (b)	58
Figura 37- Dispersão de pressão dos nós para os cenários 4(a) e (b)	58
Figura 38- Tabelas de dados dos trechos para o cenário 4(a)	59
Figura 39- Tabelas de dados dos trechos para o cenário 4(b)	59
Figura 40- Dispersão de vazão por trechos para os cenários 4(a) e (b)	60
Figura 41- Tabelas do trecho 1 para o cenário 4 (a)	60
Figura 42- Tabelas do trecho 1 para o cenário 4 (b)	60
Figura 43- Vazão do trecho 1 para os cenários 4 (a) e (b)	61
Figura 44- Dispersão da demanda diária por nó	62

Figura 45 -Vazão do trecho 1 diário (saída do reservatório)	63
Figura 46 -Nível diário do reservatório.....	63
Figura 47 -Dispersão da vazão diária por trechos.....	64
Figura 48 -Dispersão da pressão diária por nó.....	64
Figura 49 -Banco de dados SQL SERVER (Nós)	66
Figura 50 -Banco de dados <i>SQL SERVER</i> (Trechos).....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Parâmetros físicos dos nós	40
Tabela 2 -Parâmetros físicos dos trechos.....	41
Tabela 3 -Resumo dos resultados dos cenários 1, 2, 3, 4(a) e 4(b)	62
Tabela 4 -Resultados do cenário 5 (Demanda diária)	65
Tabela 5 -Desvio padrão da demanda diária.....	65

QUADROS

Quadro 1 -Sistema de abastecimento de água.....	20
Quadro 2 -Principais comandos utilizados.....	42
Quadro 3 -Principais comandos básicos.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMR - Leitura Automática do Medidor

DCL - Camada de comunicação de dados

EEAB- Estação elevatória de água bruta

EEAT- Estação elevatória de água tratada

ETA- Estação de tratamento de água

Hardwares - Parte física dos sistemas de informática

IoT- Internet dos equipamentos

MySQL- Sistema de gerenciamento de banco de dados

RTM - Controle da qualidade e quantidade da água por monitoramento em tempo real

RTU- Unidade Terminal Remota

SCADA - Sistema de aquisição de dados

SIG- Sistema de informação geográfica

SQL -Linguagem de consulta estruturada

TCP/IP- Conjunto de protocolos usados na comunicação de dados da *internet*

TI - Tecnologia da informação

Web- Sistema de informações ligadas através de hipermídia

WDS - Sistemas de distribuição de água

WSN- Sensores sem fio

Sd- Desvio padrão

Softwares - Programas

ZigBee - sistema de coleta e visualização de dados

1. INTRODUÇÃO

Em sistemas de abastecimento de água, o controle de perdas é uma atividade operacional importantíssima constantemente aperfeiçoada por empresas de saneamento, pois o seu controle está diretamente relacionado a sua receita e despesas com energia, combustíveis, produtos químicos e mão de obra. Por se tratar de um recurso finito seu monitoramento torna-se imprescindível para a continuidade da humanidade.

Entender o comportamento da variação de consumo de água é de fundamental importância para soluções mais seguras e econômicas na gestão, operação, manutenção, ampliação e dimensionamento de sistemas de abastecimento. O ritmo ascendente populacional influencia na complexidade desses sistemas. Assim, é primordial conhecer o comportamento do sistema de abastecimento por meio de informações devidamente compiladas que sirvam de subsídios para estudos de planejamento e controle operacional

Os Bancos de Dados são estruturas de suma importância utilizadas nos sistemas hídricos, pois geram históricos para serem utilizadas como conhecimentos por gestores na tomada de decisões e planejamentos futuros.

Os dados são coletados por sensores ao longo da rede de distribuição, transmitidos e processados por sistemas de *hardwares* e *softwares*. Este controle deve ser centralizado e seguro em uma plataforma *web* (Sistema de informações ligadas através de hipermídia) que permite a visualização dos dados adquiridos e o monitoramento através de acesso remoto e certificado. Esta *interface* (ligação física ou lógica entre dois sistemas) deve apresentar informações instantâneas sobre a operação da rede de abastecimento, auxiliando na tomada de decisões relativas ao atendimento de falhas a clientes em tempo hábil, contribuindo para a redução nos índices de perdas de água no sistema.

O *Epanet* e o *R* são softwares gratuitos, o *Epanet* foi desenvolvido para realizar simulações hidráulicas, o *R* permite a instalação de diferentes pacotes, de acordo com a área de estudo. Por se tratarem de duas ferramentas confiáveis, a utilização simultânea de ambos promove bons resultados.

Esta pesquisa visa o desenvolvimento de uma metodologia para banco de dados em sistemas de abastecimento de água utilizando o *software R* integrado ao *software Epanet*. A interface entre os programas foi elaborada para analisar uma rede hidráulica virtual produzida no *software Epanet*, com dados semelhantes a uma rede real, produzindo simulações com a variação do nível do reservatório e demandas, com o propósito de armazenar e analisar estatisticamente os dados da rede.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para suporte a banco de dados, que forneça elementos confiáveis para que um gestor de recursos hídricos possa armazenar, manipular e simular dados relevantes em seu sistema de abastecimento de água usando o acoplamento do software *Epanet* com o software *R*, visando a eficiência hidroenergética.

2.1. Objetivos específicos

- Propor uma rede teórica no *Epanet* para aplicação da metodologia de armazenamento e manipulação de dados, utilizando interface *Epanet x R*;
- Testar a eficácia da metodologia para o banco de dados tendo em vista a capacidade de armazenamento e manipulação de informações utilizando o *Epanet x R*;
- Fazer análises estatísticas dos resultados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil demonstra grande ineficiência na distribuição de água pelas várias regiões do país. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, ano base 2019), quase 40% (39,2%) de toda água potável captada não chega de forma oficial às residências.

Segundo Heller, Pádua (2010, p. 615), a rede de distribuição é parte do sistema de abastecimento de água constituído por um conjunto de tubulações e acessórios, a fim de fornecer água potável a consumidores continuamente com qualidade, quantidade e pressão adequadas. O sistema é composto por captação, ETA, EEAB, EEAT, rede de tubulações, conexões e reservatórios como descrito no **Quadro 1**.

Quadro 1- Sistema de abastecimento de água.

Captação	Rio, lago, poço
Redes	Água bruta e ou água tratada
Reservatórios	Água bruta e ou água tratada
ETA	Estação de tratamento de água
EEAB	Estação de bombeamento água bruta
EEAT	Estação de bombeamento água potável

Fonte-Autor (2022)

3.1. Aspectos gerais de sistemas de distribuição de água

De acordo com TSUTIYA (2005), um sistema de abastecimento é composto por várias etapas até que a água chegue às torneiras dos consumidores:

- **Etapa 1-** A Captação é dimensionada e construída para funcionar em qualquer época do ano. Deve ainda permitir a retirada de água para o sistema de abastecimento em quantidade suficiente e com a melhor qualidade possível;

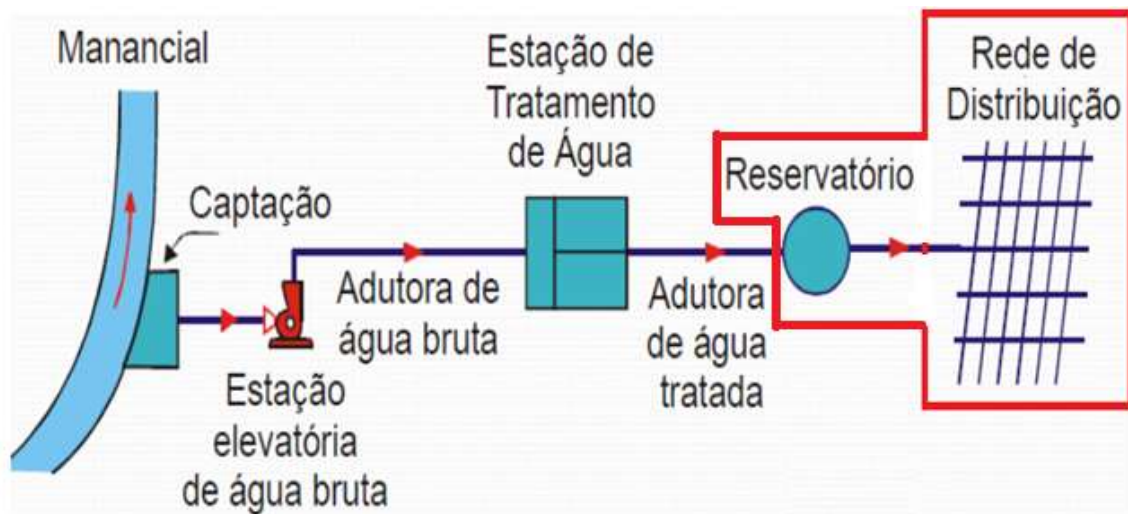
- **Etapa 2-** Na Estação de Tratamento de água ETA o tratamento da água é feito através de processos físicos, químicos e biológicos, exigidos por normas internacionais;

- **Etapa 3-** Estações Elevatórias de água bruta EEAB e tratada EEAT, possuem a função de deslocar a água para níveis mais altos, para um melhor abastecimento da rede hídrica;

- **Etapa 4-** Os Reservatórios de armazenamento têm a função de garantir o fornecimento de água sem interrupção, aliando equilíbrio às pressões existentes na rede de distribuição de água, assegurando assim a eficiência das estações elevatórias;

• **Etapa 5-** Rede de Distribuição é um componente do sistema de abastecimento de água, constituído por um conjunto de tubulações e acessórios, a fim de fornecer água potável (originada dos reservatórios), ininterruptamente, com qualidade, quantidade e pressão adequadas. É de extrema importância que se tenha uma rede de distribuição de boa qualidade, prevenindo vazamentos e retrabalho. Verifica-se um exemplo completo de uma rede de distribuição ilustrado na **Figura 1**.

Figura 1- Exemplo de um sistema de distribuição.



Fonte- Tsutiya (2005)

Tipos de redes de distribuição

Segundo FURUSAWA (2011) existem três tipos; ramificadas, malhadas e ou mistas como ilustrado na **Figura 2**:

- **Ramificada:** há um duto principal longitudinal que se ramifica para ambos os lados. Só há um percurso possível entre o reservatório e qualquer ponto da rede (escoamento unidirecional);
- **Malhada:** conjunto de tubulações que formam um circuito fechado, ou seja, fecham sobre si mesmos constituindo malhas. Permite escoamento bidirecional;
- **Mistas:** corresponde a configuração em que se misturam, numa mesma rede de distribuição, as duas configurações anteriores. Dessa maneira, é possível ocorrer escoamento unidirecional e bidirecional simultaneamente.

Figura 2- Tipos de redes de distribuição.



Fonte-Autor (2022)

3.2. Banco de Dados aplicado a sistemas de abastecimento

O banco de dados basicamente constitui uma estrutura com grande capacidade de armazenamento, através de uma ferramenta de busca, permite acessar as informações nele contidas de forma simples, organizada e possibilitando análises estatísticas (DATE, 2003).

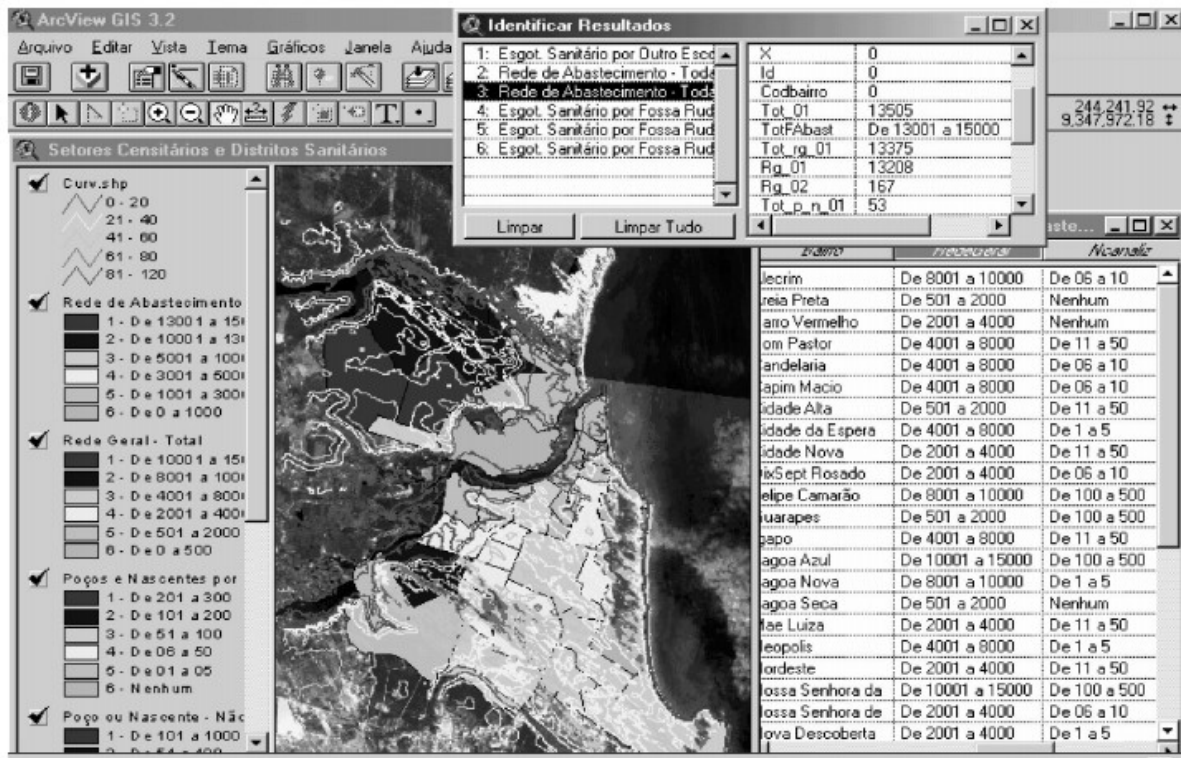
O *MySQL* é um sistema de gerenciamento de banco de dados, que utiliza a linguagem padrão *SQL* responsável pela manipulação de registros em bancos de dados relacionais (MILANE, 2006).

O *SGBD* é o conjunto de programas de computador responsável pelo gerenciamento de uma base de dados (MILANE, 2006).

3.2.1. Sistema de Gerenciamento da Infraestrutura da Rede de Abastecimento usando o SIG (Sistema de Informação Geográfica).

O processo de modelagem teórica, estruturação e formas de armazenamento de um banco de dados *SQL SERVER* (gerencia dados para captação), começa pela sua localização espacial seguido de informações de suas características físicas como diâmetro, tubulações, bombas, testes de vazão, análises químicas e etc (PETTA et al., 2010). Exemplos de modelagem de Banco de Dados Geográficos é um conjunto de consultas espaciais que demonstram a potencialidade do sistema como uma ferramenta de apoio à decisão e análise. Existem diversas ferramentas de SIG disponíveis no mercado, a utilização do *software (ArcView®)*, possui facilidade de importação de dados de outros sistemas, possibilidade de desenvolvimento de ferramentas de consulta e verificação dos dados (PETTA et al., 2010). Como *SQL* é possível criar as estruturas básicas de armazenamento, como tabelas e índices. Também há comandos específicos da linguagem para o controle e segurança relacionados a um banco de dados geográficos ilustrado na **Figura 3**.

Figura 3- Exemplo de banco de dados no SIG.



Fonte- Petta et al (2010)

3.2.2. Sistemas de aquisição de dados aplicados em redes de abastecimento de água

Atualmente a comunicação entre os sensores instalados em pontos estratégicos, a dispositivos de automação com sistema de monitoramento e aquisição de dados são realizadas através de uma TCP/IP (rede privada por conjunto de protocolos) e utilizam qualquer meio compatível com o protocolo, como cabo UTP (cabo par trançado), fibra óptica ou ondas de rádio (AUTOR, 2022).

3.2.3. Sistemas de automação associado a banco de dados em redes de distribuição de água

Em um ambiente moderno de TI (tecnologia da informação), a automação deve ser capaz de dar suporte às operações, melhorar o gerenciamento da infraestrutura, simplificar a tomada de decisões para reduzir os custos de energia, dar manutenção e minimizar as faltas. Em caso de indisponibilidade, assegurar a continuidade dos serviços, incluindo (cópia de dados no próprio local e ou nas nuvens), soluções de energia de emergência para o centro de controle da operação, bem como outras medidas vitais para permanente abastecimento da população (Autor 2022).

a) Sistema SCADA aplicado a redes de abastecimento

O sistema *SCADA* é a abreviação de *Supervisory Control and Data Acquisition* (Supervisão Controle e Aquisição de Dados). Ele é usado para monitorar e controlar plantas ou equipamentos em indústrias como telecomunicações, controle de água e esgoto, energia, refinarias e transporte de petróleo e gás. Esses sistemas se encarregam de transferir os dados entre o computador central *SCADA* e os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) responsáveis por coletar e enviar os dados para o sistema (GUIDI, 2010).

O controle supervísório e a aquisição de dados executam funções distintas: o supervísório realiza o controle remoto de dispositivos como bombas e válvulas, e a aquisição de dados obtém informações como vazão e pressão de sensores remotos.

b) Sistema SCADA baseado na nuvem para aplicação em rede de abastecimento

O conceito de um monitoramento de rede de abastecimento de água baseado no armazenamento em nuvem (uma vasta rede de servidores remotos ao redor do globo que são conectados e operam como um único ecossistema) denominado *RiskBuster*, garante a confidencialidade e a integridade dos dados de monitoramento *SCADA* coletados pelos sensores usando a inovadora tecnologia Intel *Software Guard Extension SGX*. A adoção dessa tecnologia de computação dá ênfase à necessidade da implementação de mecanismos de segurança confiáveis em serviços baseados na tecnologia de nuvem (CERULLO et al., 2016).

Os dados adquiridos pelos sensores são então transmitidos para *DCL* (camada de comunicação de dados), consiste em um *Data Logge* (equipamento registrador de dados) permitindo uma comunicação segura entre *RTUs* (unidades de terminais remotas), um sistema de controle para o monitoramento por meio de camadas heterogêneas de comunicação. Adota diferentes meios de tecnologias de comunicação física (ou seja, com ou sem fio), vários equipamentos são implantados em torno do *WSN* (sensores sem fio), cada um é responsável por um grupo de sensores instalados nas proximidades (CERULLO et al., 2016).

Posteriormente, todos os dados dos sensores coletados pelas *DCL* são fornecidos às máquinas *gateway* (funciona como um portão entre duas redes, esse tipo de ferramenta serve para intermediar a troca de dados entre elas, transmitir os dados do sensor adquiridos para a nuvem).

O *gateway* atua como uma ponte entre a infraestrutura crítica de *WSN* e a nuvem, fornecendo interfaces para os dois protocolos de comunicação, um para a infraestrutura e outro para a nuvem (CERULLO et al., 2016).

c) Sistema de monitoramento e controle em tempo real em sistemas de distribuição de água para melhoria da eficiência operacional.

O sistema integrado de abordagem instantânea permite a criação acelerada de modelos hidráulicos mais realistas baseando-se nas informações cadastrais, aliado ao monitoramento e controle em tempo real contribui significativamente para a eficiência operacional (KARA et al., 2015).

O *RTM* é o controle de qualidade e quantidade da água por monitoramento em tempo real desempenha um papel importante na gestão dos *WDSs* (sistemas de distribuição) é a proteção da saúde dos consumidores (KARA et al., 2015). *RTM* pode ser usado para monitoramento e análise de parâmetros de qualidade para garantia de água própria para o consumo humano. Além disso, o sistema *RTM* envia informações aos operadores para que possam interromper o abastecimento afim de diminuir perdas, minimizar os riscos de desabastecimento e o fornecimento de água fora dos padrões de qualidade (KARA et al., 2015).

O *WDS* da cidade de Antalya na Turquia é monitorado e controlado por um *RTM* avançado utilizando o sistema de aquisição de dados *SCADA*.

O sistema *RTM* controla automaticamente as bombas e válvulas possui ainda alarmes de segurança caso algum dos parâmetros de qualidade tais como, turbidez, pH, temperatura e cloro residual para que sempre estejam dentro dos padrões de qualidade.

Além do consumo hidroenergético o sistema também monitora o nível do reservatório, o funcionamento das bombas das estações elevatórias e a posição das válvulas da rede (abertas, fechadas e parcialmente abertas (KARA et al., 2015).

Além dos aplicativos de modelagem hidráulica e de qualidade da água, os conjuntos de dados coletados também são armazenados no centro *SCADA* para avaliação e também fornece um GIS (sistema de informação geográfica avançada) capaz de fornecer informações detalhadas sobre *WDS* e rede de tubos comprimento, diâmetro, localização, elevação dos nós, layout e conexões (KARA et al., 2015).

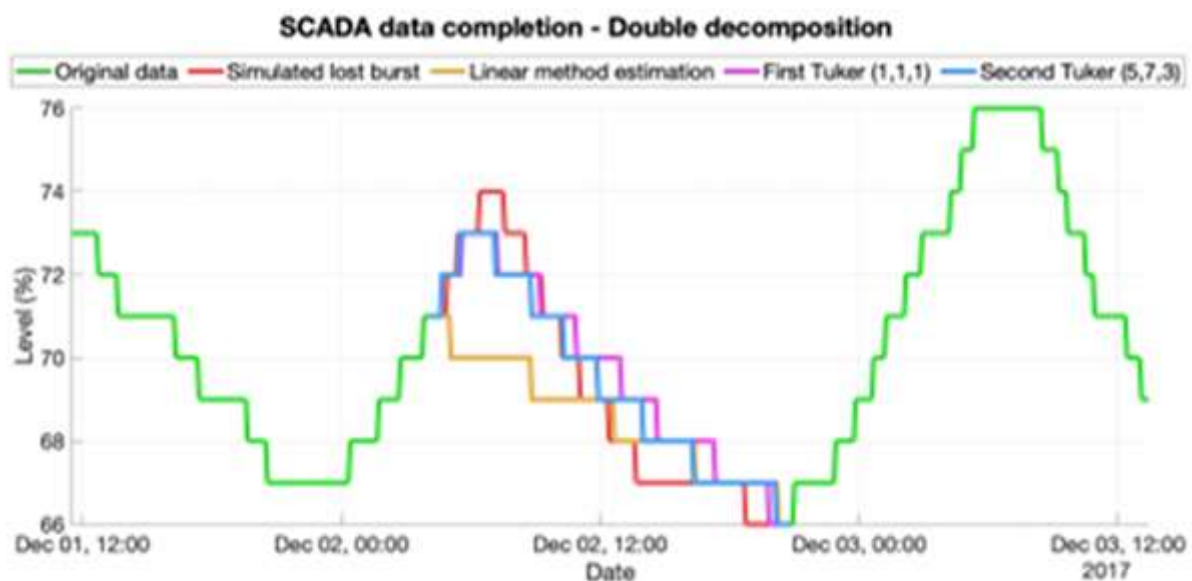
d) Sistema de decomposição de tensor duplo para dados *SCADA* para uso em redes de abastecimento.

Os sistemas de controle de supervisão e aquisição de dados *SCADA* atualmente monitoram e coletam uma enorme quantidade de dados de todos os tipos de processos. Idealmente eles devem ser executados sem interrupção, mas alguns dados podem ser perdidos devido a falhas nos sensores ou na comunicação (PUIG et al., 2019). Quando isso acontece, dada a natureza dessas falhas, as informações são perdidas em *bursts*, ou seja, conjuntos de amostras. Então é necessário preencher as lacunas dos dados históricos com um método confiável de preenchimento de dados (PUIG et al., 2019).

O *ad hoc* (método que completa os dados perdidos por um sistema *SCADA* em caso de rajadas longas). Os dados correspondem aos níveis dos tanques de água potável de uma empresa da rede de água que apresenta padrões de oscilação em escala diária e semanal. São realizados testes estatísticos que consistem na aplicação dos dados dos algoritmos de reconstrução, removendo deliberadamente rajadas de dados nos históricos verificados (PUIG et al., 2019).

O exemplo na **Figura 4** ilustra a metodologia de reconstrução com decomposição dupla. A linha verde demonstra os dados originais e a linha vermelha mostra a explosão de amostras perdidas. A linha laranja é a estimativa linear com o método de rampa. A linha roxa é o resultado do primeiro procedimento de temporização. A linha azul mostra o resultado do segundo procedimento de tensorização (PUIG et al., 2019).

Figura 4- Reconstrução de dados.



Fonte- Puig et al (2019)

e) Sistema Embarcado

O sistema foi desenvolvido nos laboratórios de *hardware* engenharia de *software* e Banco de Dados LAPESS, da Universidade Federal do Vale do São Francisco UNIVASF, situada no município de Juazeiro-BA (BACURAU et al., 2017).

Os componentes de *hardware* do Sistema Embarcados de Gerenciamento das Estações (SEGE) foram representados através de um diagrama de blocos e seu *firmware* (controle de baixo nível para o hardware específico do dispositivo) em forma de fluxograma (BACURAU et al., 2017).

Os algoritmos do SEGE foram desenvolvidos em linguagem *C*, utilizando o compilador da *Microchip MPLAB C30* (versão acadêmica) e o ambiente de desenvolvimento integrado *Microchip MPLAB*. Seu funcionamento foi simulado com auxílio do aplicativo computacional *Proteus ISIS Professional v.7.6* (BACURAU et al., 2017).

Segundo (BACURAU et al., 2017) o objetivo é manter o nível dos reservatórios elevados dentro de uma faixa, permitindo a configuração do nível mínimo e máximo do reservatório elevado e a visualização do nível dos reservatórios inferiores, as vazões das tubulações principais de alimentação, informações das motobombas em estado ligado ou desligado, correntes e tensões elétricas, de acordo com as condições básicas a seguir:

- A interface com o usuário é feita via Internet através de um navegador *web*;
- A configuração do nível desejado ou controle do acionamento das motobombas é feita também no local através de uma *interface* (integração) composta por *display LCD* e chaves táteis;
- Os dados dos sensores são atualizados no máximo de 30 em 30 segundos.

Este sistema permite monitorar e controlar as cargas hidráulicas dos reservatórios, estado de motobombas (on-off) e vazão bombeada por estações elevatórias via *web*.

3.2.4. Sistema *ZigBee* (sistema de coleta, visualização e organização dos dados obtidos a partir dos transdutores de pressão).

É um sistema que utiliza *interface web* com a linguagem de programação *PHP* sendo uma linguagem voltada originalmente para desenvolvimento de sites, aplicações *web* e de Banco de Dados *MySQL* (COELHO, 2014).

A operação do sistema foi realizada com a integração dos módulos sensores com tecnologia *ZigBee* se comunicando às *interfaces* de *software*, operando para garantir o total funcionamento em condições reais no monitoramento de pressão em adutoras de água tratada (COELHO, 2014). Na central de controle e monitoramento foi utilizado um dispositivo configurado como coordenador, que atua como encarregado de receber a mensagem estruturada onde constam alguns campos. Esta "mensagem" tem campos para o endereço físico da máquina de origem e destino, contendo as informações sobre a pressão da adutora detectada pelo transdutor e procedendo ao encaminhamento da informação (COELHO, 2014).

3.2.5. Sistema de abastecimento de água sustentável: desenvolvimento esquemático da coleta de dados usando *IoT* (Internet dos equipamentos).

A sustentabilidade de sistemas de abastecimento enfrenta vários desafios iminentes, tais como: crescimento do consumo, diminuição de recursos hídricos, utilização de água não lucrativo e não rastreável (KOO et al., 2015).

Big Data é um novo conceito técnico para coletar grandes quantidades de dados relevantes de sensores instalados para monitorar a condição estrutural, uso e desempenho do sistema. O esquema consiste na coleta de dados a jusante e montante usando tecnologias de rede de (*WSN*) sensores sem fio conectando-se à *IoT* (KOO et al., 2015).

Em última análise, todos os dados serão convergidos para construir um sistema de coleta onde a mineração de dados identifica situações tais como: local e desempenho do sistema, incluindo pressão e fluxo, consumo de água não lucrativo e ilegítimo, e locais e quantidade de rompimentos e perdas de água. O objetivo deste desenvolvimento é permitir que utilitários e consumidores proativamente gerenciem seu uso de água e alcancem níveis mais elevados de sustentabilidade no abastecimento (KOO et al., 2015).

O *AMR* (Leitura Automática do Medidor) é a tecnologia de coleta de dados de consumo, diagnóstico e status dos dispositivos de medição de água e energia, transmitindo essas informações para o Banco de Dados central para fins de faturamento, solução de problemas e análise (KOO et al., 2015). O *AMR* substitui os operadores de campo que lêem presencialmente. Desse modo, a concessionária é capaz de lidar com o faturamento de forma mais precisa, evitando basear-se em taxas estimadas por período de ciclos, e mais significativamente, podendo reduzir os custos gerais do serviço (KOO et al., 2015).

Aumentar a precisão da leitura do medidor e fornecer uma visão de possíveis vazamentos permitindo determinar as tubulações de distribuição de água que precisam ser substituídas.

O *AMR* usa as mais avançadas tecnologias de rede, como *Wi-Fi* (comunicação sem fio), modem *GSM* (telefonia celular) e comunicação por linha de energia (KOO et al., 2015).

3.2.6. Sistema de obtenção de dados e controle remoto com medidores inteligentes.

A medição do consumo de água presencial, ou seja, *in lócus*, é uma tarefa que demanda tempo e gera ônus à concessionária, além do deslocamento de funcionários, ocorre muitas vezes, que alguns medidores encontram-se instalados no interior das residências, edifícios, muros, etc., tornando-se inacessíveis à obtenção da leitura. Dessa forma, o não pagamento da fatura dentro dos prazos estipulados, obriga a empresa distribuidora deslocar funcionários até o devido endereço para interromper o fornecimento até que a quitação do débito seja regularizado, e após a regularização a empresa precisará enviar novamente um funcionário para restabelecer o fornecimento. Por estes e outros motivos os processos de medição de consumo e fornecimento presencial podem tornar-se dispendiosos tanto para a empresa quanto para o cliente (NOVAIS, 2019).

A utilização de medidores “inteligentes” torna o processo de medição mais eficiente e econômico para a empresa distribuidora, sendo possível obter remotamente medições de consumo em intervalos de tempo menores do que um mês, sem depender de acesso físico ao contador, permite ainda, que o fornecimento seja interrompido e restaurado remotamente quando necessário, inviabilizando inclusive a fraude das leituras. Os medidores inteligentes também têm vantagens para o cliente. Este pode receber uma fatura mais detalhada de modo a poder tirar conclusões e até mesmo alterar hábitos de consumo para reduzir os custos. Protege o cliente evitando que este “abra a porta” a ladrões que se fazem passar por funcionários da empresa distribuidora de água (NOVAIS, 2019).

3.3. Rede modelada com *R* com demanda de consumo de água

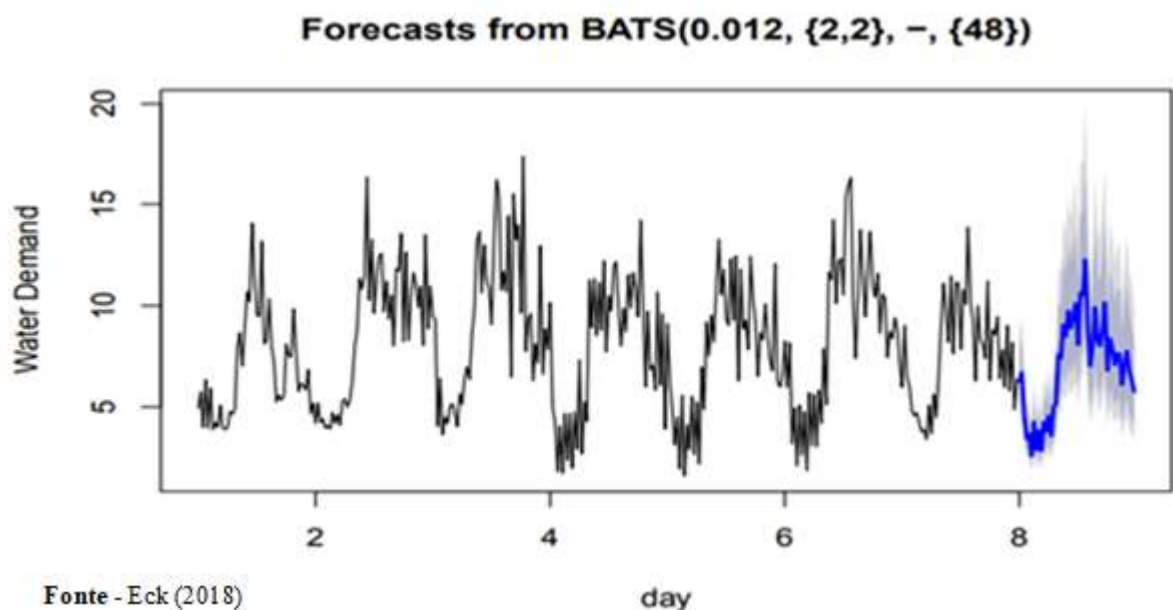
Este estudo descreve os pacotes *epanet2toolkit*, *epanetReader* e *forecast* para simulação hídrica e previsão de demanda (ECK, 2018).

Os pacotes instalados no programa *R* relacionados ao *Epanet*, *epanetReader* e *epanet2toolkit* fornecem capacidade de análise de redes de água (ECK, 2018). O *epanetReader* analisa arquivos nos formatos 'inp' e 'rpt' do *Epanet* em *R*. O arquivo 'inp' especifica a estrutura de uma rede para simulação (ECK, 2018). O arquivo 'rpt' registra os resultados de uma simulação, *epanetReader*, permitindo a análise e visualização de redes de água importando dados destes em *R*. O *epanet2toolkit* fornece o mecanismo de simulação com o kit de ferramentas do programador com Funções em *R*. Essas funções adicionais permitem que os usuários realizem simulações padrão ou personalizadas de dentro do *R*. O *epanet2toolkit* torna possível conectar o mecanismo de simulação no *Epanet* com outras funções no ambiente *R* (ECK, 2018). O pacote *forecast* fornece funções de previsão para séries temporais e modelos lineares (HYNDMAN E KHANDAKAR, 2008). Este pacote pode fazer previsões de demanda. O caminho para o arquivo de rede é armazenado para uso em comandos subsequentes.

A previsão da demanda é uma parte essencial do planejamento e operação dos sistemas de distribuição e pode ser feita usando modelos de mistura gaussiana (MCKENNA et al. 2013) ou modelos auto regressivos (ARANDIA et al., 2015).

Neste estudo foi utilizado o modelo de espaço de estados de suavização exponencial com transformação Box-Cox, (erros de média móvel auto-regressiva), componentes para tendência e temporada. Os dados de demanda de um usuário urbano são lidos em um arquivo específico. Um modelo *BATS* ajusta a sazonalidade diária (ECK, 2018). Uma previsão de demanda para o dia oito (8) é criada e visualizada na **Figura 5**.

Figura 5 - Previsão de demanda.

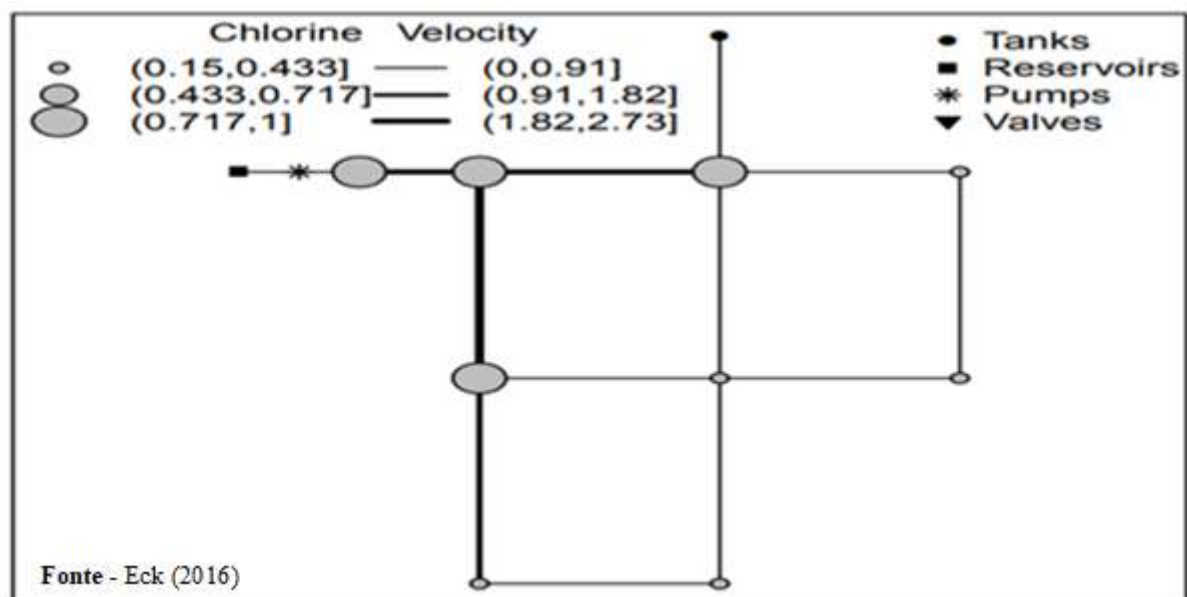


3.3.1. Plotagem de uma rede no R

Este estudo descreve um pacote o *epanetReader* para leitura de arquivos *Epanet* desenvolvido por (ECK, 2016). O pacote *epanetReader* possui funções de plotagem de alto nível para gerar gráficos. As funcionalidades gráficas são destinadas a facilitar a análise e o entendimento, possui ainda a capacidade para implementar funções genéricas de plotagem (ECK, 2016). A função *plot* desenha um mapa da rede a partir da rede importada do *Epanet* (*Epanet.inp*). Os argumentos opcionais incluem um sinalizador lógico indicando onde as junções devem ser plotadas bem como a localização da legenda do símbolo. Outros elementos tais como; enredo, título e rótulos podem ser adicionados usando as funções *title ()* e *text()* (ECK, 2016).

Neste estudo o arquivo de resultados não contém todas as informações necessárias para desenhar o mapa, desse modo o objeto *Epanet.inp* é passado como argumento, as larguras dos tubos e os diâmetros dos nós são dimensionados de acordo com as quantidades especificadas. O padrão do gráfico mostra os resultados para o horário 00:00 e dimensiona a largura do tubo de acordo com a velocidade do fluxo de água e o tamanho do nó de acordo com a demanda de consumo (ECK, 2016). Esses padrões podem ser alterados com os argumentos da função como ilustrado na **Figura 6**.

Figura 6 - Plotagem da rede no R



3.3.2. Estudos de calibração de redes de abastecimento com *Softwares R e Epanet*

Este estudo apresentou uma pesquisa com base no trabalho desenvolvido por *ARANDIA e ECK* (2018) que permite integrar *R* ambos os softwares no ambiente de desenvolvimento integrado denominado *RStudio* com a finalidade de calibração da rugosidade das redes de distribuição nos processos de modelagem para tomadas de decisão. Possibilitando o planejamento, a execução e operação de ações para o combate às perdas de água, resultando na melhoria do seu gerenciamento (BARBEDO, 2021).

O processo foi iniciado com a simulação base feita na rede fictícia e proposta em termos de pressões nos nós no *Epanet*, posteriormente essa rede foi exportada para o *R* sendo simulada em vários cenários gerando diversos resultados de rugosidades (BARBEDO, 2021).

Estes resultados serviram de base para o início dos trabalhos e representaram, por analogia, os valores que seriam medidos em campo, a partir de rugosidades supostamente reais. As rugosidades foram simuladas em dez mil (10.000) cenários inicialmente e representadas por novas interações.

Este procedimento foi realizado após feito o acoplamento entre *R* e *Epanet* (BARBEDO, 2021). A faixa escolhida do coeficiente de rugosidade de Hazen Williams foi entre 110 e 150 uma vez que as tubulações de Pvc com o passar do tempo de uso possuem coeficiente de rugosidade de Hazen Williams nessa faixa, (BARBEDO, 2021).

Geradas as rugosidades no *Software R*, estas foram enviadas para o *Epanet* pelo qual calcularam-se os novos valores de pressões relativos às novas rugosidades geradas para cada trecho da rede para um dos dez mil (10.000) cenários iniciais (BARBEDO, 2021).

Cada valor de pressão obtido é comparado com a pressão neste mesmo nó tendo como referência a simulação de base.

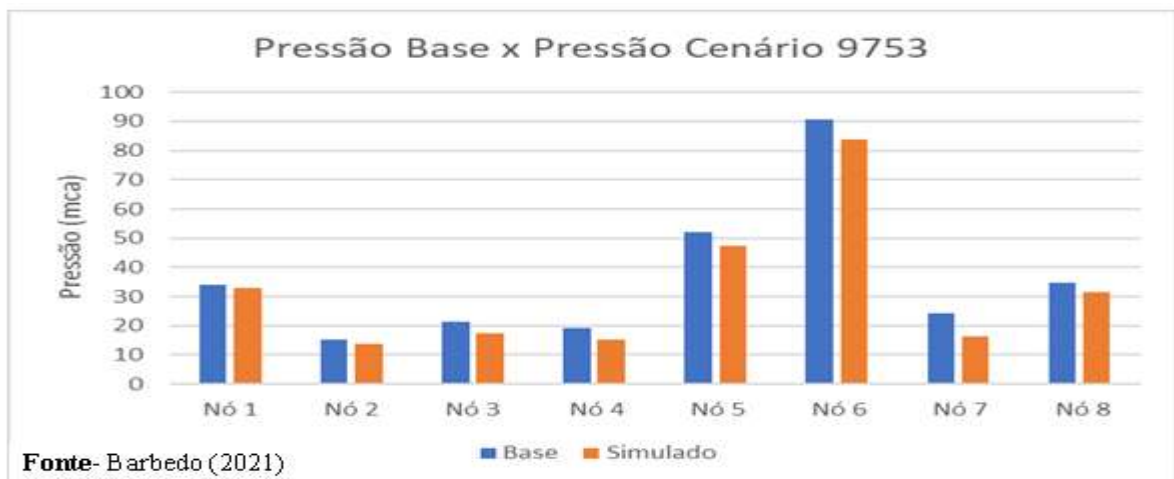
A partir das simulações foram obtidos os melhores cenários relativos às pressões comparadas entre pressões geradas para determinado conjunto de rugosidades e a pressão base da rede fictícia (BARBEDO, 2021).

Obtidos os valores de pressão base fornecidos pelo programa, feitas por dez mil (10.000) interações com cenários de rugosidades aleatórias (BARBEDO, 2021). Após as interações atingidas foi criado um *looping* (estrutura de repetição) para o *R*, foi armazenado os valores das rugosidades das tubulações e gerado novas pressões nos nós para cada cenário ao todo dez mil (10.000).

Depois de gerados os valores de pressão nos nós, estes foram comparados aos da pressão base e foram gerados os gráficos com os resultados (BARBEDO, 2021).

Através da análise dos resultados de erros, rugosidades e pressão foi possível concluir que a medida em que o número de cenários foram aumentando os erros foram diminuindo até chegar em seu valor mínimo, no cenário 9753 (BARBEDO, 2021). O resultado da comparação entre pressão base e pressão cenário está ilustrado na **Figura 7**

Figura 7- Pressão Base x Cenários.



Os erros foram calculados comparando a pressão gerada nas simulações dos cenários do *R* com as pressões base gerada no *Epanet*, os resultados dos erros do cenário (9753) estão demonstrados na **Figura 8**.

Figura 8- Cálculos de erros.

	Cálculo do erro		Erro (%)
Nó 1	$\frac{33,97-100}{(33,97-32,88)} - Y$	$100\% \times 1,09 = 33,97 Y$	$Y = 3,21 \%$
Nó 2	$\frac{15,04-100}{(15,04-13,75)} - Y$	$100\% \times 1,29 = 15,04 Y$	$Y = 8,57 \%$
Nó 3	$\frac{21,21-100}{(21,21-17,50)} - Y$	$100\% \times 3,71 = 21,21 Y$	$Y = 17,49 \%$
Nó 4	$\frac{33,97-100}{(33,97-32,88)} - Y$	$100\% \times 1,09 = 19,08 Y$	$Y = 21,38 \%$
Nó 5	$\frac{51,98-100}{(51,98-47,49)} - Y$	$100\% \times 4,49 = 51,98 Y$	$Y = 8,63 \%$
Nó 6	$\frac{90,77-100}{(90,77-83,67)} - Y$	$100\% \times 7,1 = 90,77 Y$	$Y = 7,82 \%$
Nó 7	$\frac{24,04-100}{(24,04-16,25)} - Y$	$100\% \times 7,79 = 24,04 Y$	$Y = 32,40 \%$
Nó 8	$\frac{34,86-100}{(33,86-31,49)} - Y$	$100\% \times 3,37 = 34,86 Y$	$Y = 9,66 \%$

Fonte- Barbedo (2021)

3.3.3. Avaliação hidráulica de rede teórica com acoplamento dos *Softwares Epanet e R*

A partir do acoplamento do programa de simulação hidráulica proposto por ARANDIA & ECK (2018), comparando-os com os limites previstos pela ABNT NBR 12218/17, este estudo apresentou uma pesquisa que consistiu em modificar o nível do reservatório de água da rede em três diferentes simulações. Seu intuito foi o de analisar estatisticamente o comportamento resultante em cada nó subsequente às tubulações de uma rede teórica de distribuição de água.

O primeiro passo foi exportar o arquivo da rede do *Epanet* em formato de tabela de dados “inp” para ser reconhecido pela plataforma *R*. O modelo foi armazenado com o nome de “ModeloV2.inp”.

Em seguida foi feita a utilização do comando *library* que carregou as bibliotecas neste sequenciamento e utilizou-se os comandos *ENepanet* e *ENopen* usados para criar e abrir a rede teórica de estudo no *R*.

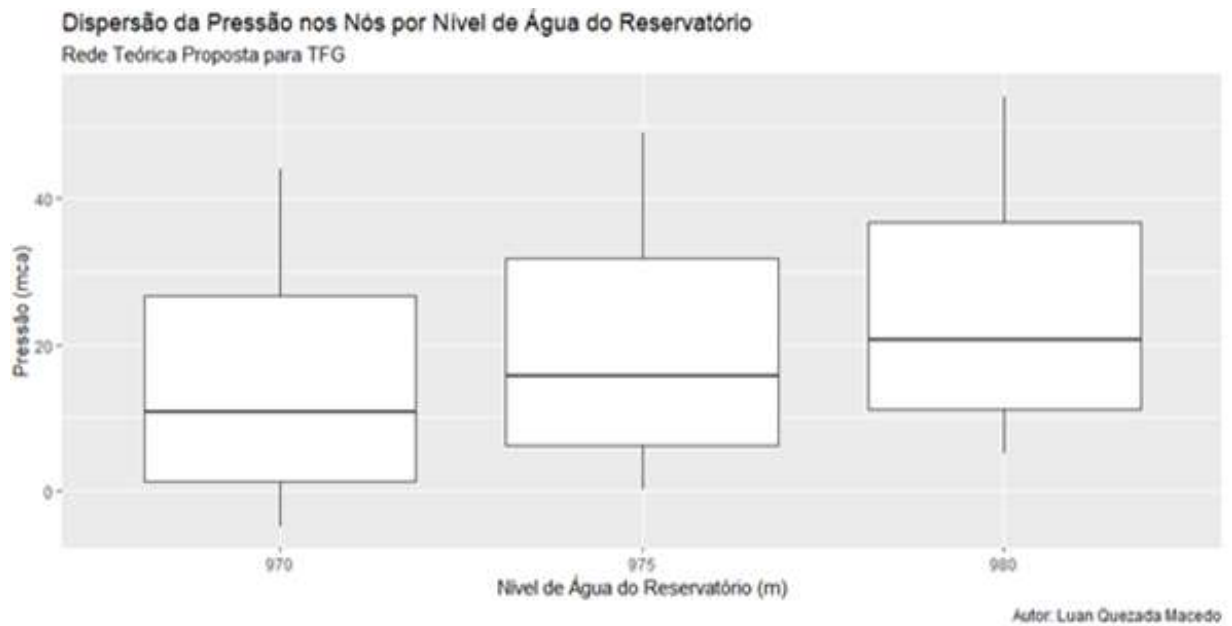
O segundo passo refere-se à definição dos parâmetros da rede estudada. Nesta etapa foi inserido o número de nós que a rede possui, nível de água mínimo e máximo com exceção do reservatório e em seguida do intervalo de variação do nível do mesmo.

No caso da rede teórica em estudo foram contabilizados dez nós e a cota padrão para nível de água do reservatório era de mil metros (MACEDO, 2020).

No início do programa apresenta-se o comando *length* que cria o tamanho das colunas da tabela a partir do intervalo de variação selecionado anteriormente, em seguida utilizou-se o comando *as.data.frame* para criação da tabela de dados. Posteriormente foram inseridos dois *loopings* (ciclos de repetição), o primeiro foi criado para alterar o nível do reservatório para os valores do intervalo selecionado através do comando *ENsetnodevalue*. Após cada alteração realizou-se uma nova simulação hidráulica e criou-se um novo número de identificação na tabela de dados. O segundo *looping* inserido dentro do primeiro para contar os números de identificação condizentes aos nós, incluindo a obtenção dos valores de pressão estática de cada nó através do comando *ENgetnodevalue* e os armazenou em uma nova linha da tabela de dados (MACEDO, 2020).

A **Figura 9** do *boxplot* (gráfico de caixa) demonstra a distribuição empírica dos dados. De início é possível perceber que a partir de variações lineares no nível de água, as pressões também seguem modificações constantes, pois as caixas possuem o mesmo tamanho nos três níveis. A linha escura na horizontal é referente à mediana das pressões, que também seguiu um padrão de acordo com cada variação. Já a linha vertical na parte superior e inferior demonstra os valores máximos e mínimos que foram obtidos na amostra (MACEDO, 2020).

Figura 9 - Dispersão de pressão dos nós.



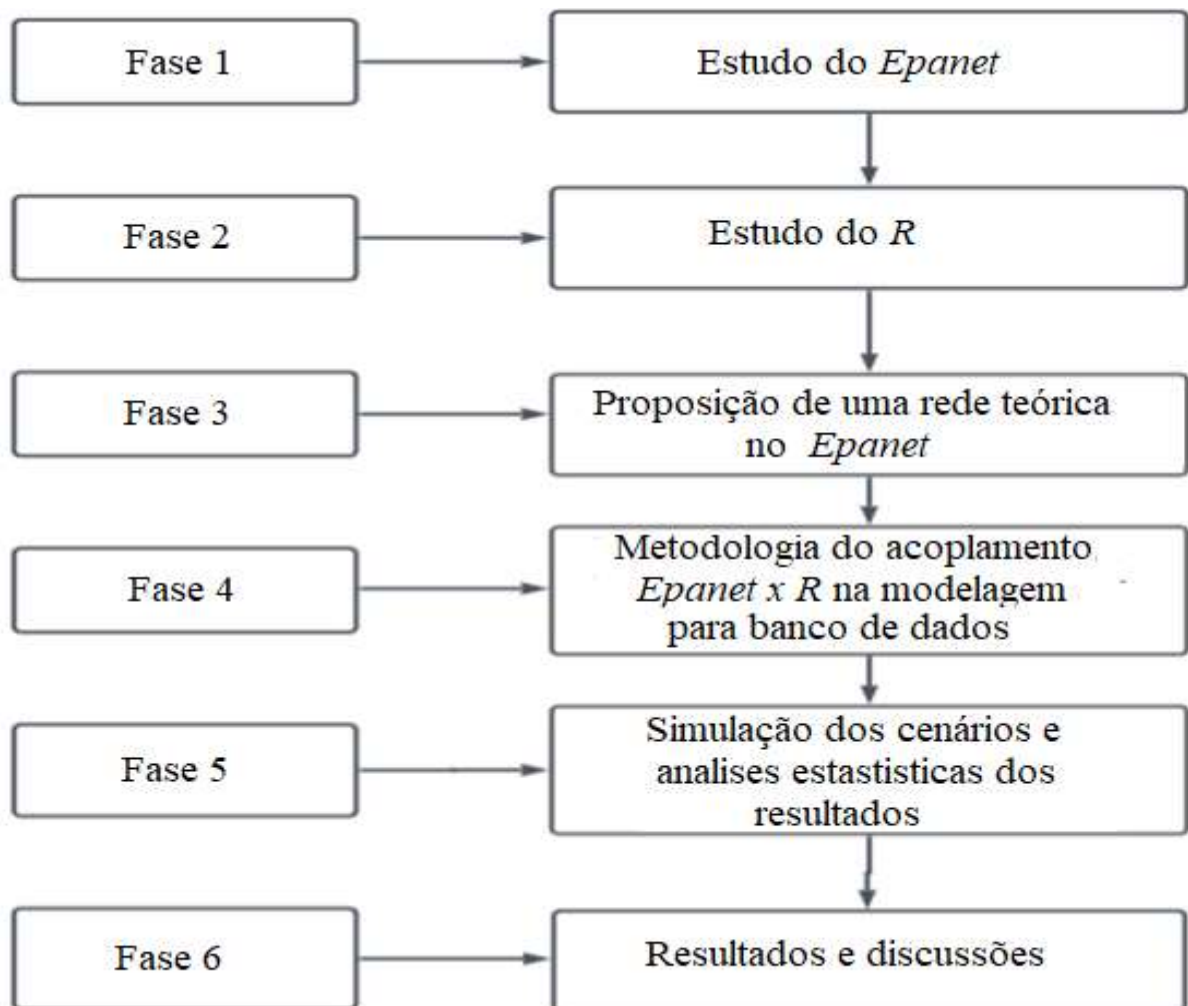
Fonte- Macedo (2020)

É possível perceber a linearidade na distribuição da variação das pressões quando se altera o nível de água. Percebe-se nesta pesquisa a relação diretamente proporcional entre o nível e a pressão, quando o nível é aumentado, ocorre uma elevação da pressão.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente foi fundamentado o estudo dos programas *Epanet* e *R*, para a proposição de uma rede teórica, a partir do qual foi formulado um programa no *R* para aplicação da metodologia do acoplamento *Epanet x R*, com o objetivo de simulação dentro do *R*, de acordo com os cenários propostos para geração de tabelas, gráficos e análise estatística de acordo com fluxograma ilustrado na **Figura 10**.

Figura 10 - Fluxograma da metodologia geral.



Fonte- Autor (2022)

4.1. Fase 1 - Estudo do *Software R*

O *software R* é uma linguagem de programação de código aberto e atualmente tem ocupado uma posição de destaque devido a sua disponibilidade de vários arquivos de dados e pelo desenvolvimento de ferramentas de computação (SLATER,L,J et al., 2019).

Destacamos alguns dos principais pacotes que facilitam a implementação de determinados modelos de simulação em *R*, com o *epanetRead*, *epanet2toolkit*, que permitem uma *interface* com *software Epanet* na plotagem e execução de tabelas e gráficos (SLATER et al., 2019).

Os pacotes acima normalmente permitem que o usuário execute as simulações hidráulicas. Alguns pacotes fornecem algoritmos de otimização, cálculo de critérios e dedicado às funções de plotagem e tabelas como por exemplo, *ggplot2* e *dply*. O desenvolvimento de pacotes de modelagem hidráulica em *R* é relativamente simples devido à sua flexibilidade de linguagem; adicionalmente pode ser conectado a outras linguagens de programação. Esta propriedade permite que usuários do *R* incorporem códigos de modelos já existentes em *R* e forneçam mais ambientes amigáveis, pois muitos pacotes facilitam a análise e simulação de dados e modelos (SLATER et al., 2019).

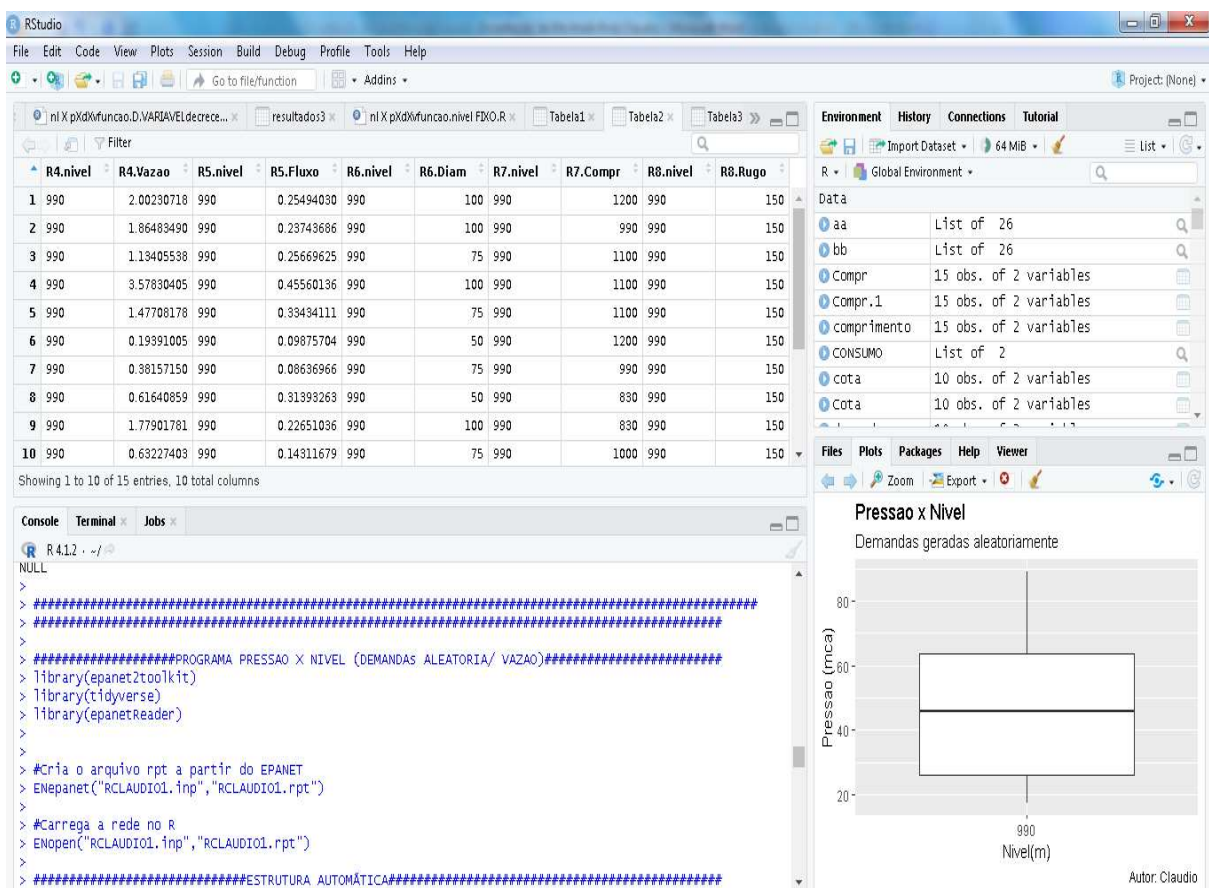
O *software R* é logicamente um ambiente multitarefa e geralmente é orientado para o gerenciamento de dados e análise estatística, sendo mantido por programadores estatísticos com o apoio de uma comunidade crescente de usuários de diferentes origens (CISTY et al., 2015). O programa *R Studio* contempla e torna mais acessível as diversas aplicabilidades do *software R*, facilitando a efetivação de ações do tipo: manipulação de dados, seqüenciamento de comandos e apuração de resultados e gráficos (HENNING et al., 2016).

Os pacotes instalados permitem ao usuário resolver problemas avançados em diversos campos de conhecimento permitindo a interação e elaboração de estudos em diferentes áreas (KONRATH et al., 2018).

Uma das principais vantagens do *software R* é sua facilidade de uso resultante de documentação tipicamente detalhada, um grande número de recursos online, programação orientada a objetos (a linguagem é organizada em torno de objetos com atributos únicos), programação funcional, o código pode ser escrito com funções para facilitar a modularidade e evitar dados de estado de mudança, dar disponibilidade do código-fonte aberto e recebe apoio fornecido por uma comunidade em crescimento (SLATER et al., 2019).

Além disso, o R pode ser executado em todos os principais sistemas operacionais (ou seja, *Microsoft Windows, macOS e Linux*), tornando-o ideal para utilização institucional ou pessoal, (SLATER et al., 2019). Em contraste com as linguagens compiladas, como *C* ou *Fortran*, O R é um interpretador de linguagem, o que significa que o código pode ser escrito e executado linha por linha. Na prática, isso significa que alcançar uma análise básica pode ser tão simples quanto escrever uma sequência de comandos para ler um arquivo, limpar os dados e traçar um gráfico (SLATER, L, J et al., 2019). A **Figura 11** ilustra a tela do *software R Studio*.

Figura 11-Exemplo da tela do *R STUDIO*.



Fonte- Autor (2022)

4.2. Fase 2 -Estudo do software Epanet

O *Epanet* é um *software* de programação livre, desenvolvido pela *Environmental Protection Agency EPA*, que permite efetuar simulações estáticas e dinâmicas do desempenho hidráulico e da qualidade da água em redes de distribuição pressurizadas (ROSSMAN, 2009).

Nesta rede malhada foi proposto valores de demanda por nó variando entre (0.1~2.0)l/s e nível do reservatório variando entre (985~990)m, sendo escolhido os valores dos parâmetros físicos dos nós e trechos de modo que as pressões geradas na simulação fossem sempre positivas e não ultrapassassem 100 mca, demonstrado nas **Tabelas 1 e 2**.

Tabela 1-Parâmetros dos nós.

Número do nó	Cota (m)	Consumo base (l/s)
Reservatório	985~990	1.0~2.0
2	970	0.1 ~2.0
3	970	0.1 ~2.0
4	965	0.1 ~2.0
5	949	0.1 ~2.0
6	935	0.1 ~2.0
7	945	0.1 ~2.0
8	925	0.1 ~2.0
9	920	0.1 ~2.0
10	990	0.1 ~2.0
11	995	0.1 ~2.0

Fonte- Autor (2022)

Tabela 2- parâmetros físicos dos trechos.

Número do trecho	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Rugosidade (Adimensional)
1	1000	150	150
2	1200	100	150
3	990	100	150
4	1100	75	150
5	1100	100	150
6	1100	75	150
7	1200	50	150
8	990	75	150
9	830	50	150
10	830	100	150
11	1000	75	150
12	1200	50	150
13	700	50	150
14	1300	50	150
15	700	50	150
16	1200	50	150

Fonte- Autor (2022)

4.4. Fase 4-Metodologia do acoplamento *Epanet x R* para Banco de Dados

Para o acoplamento entre o *Epanet* e o *R* foi utilizado pacotes *epanetRead*, *epanet2toolkit*, *tidyverse*, *ggplot2* *ediply*, desenvolvidos para a interface entre o *Epanet* e o *R*.

A instalação dos pacotes foi realizada a partir do comando *install.packages* e o repositório *CRAN*. Depois de instalado, o pacote ficou salvo na memória do *R*.

Foi feita a importação do arquivo RCLAUDIO1.inp do *Epanet*, e em seguida criado o arquivo RCLAUDIO1.rpt no *R*. Dessa forma foi possível produzir o programa com as funções desejadas.

Nos **Quadros 2 e 3**, destacam-se os principais pacotes e comandos utilizados no acoplamento para a simulação dos cenários.

Quadro 2- Principais pacotes e comandos utilizados.

<i>library epanet2toolkit</i>	Carrega o pacote no <i>R STUDIO</i>
<i>library epanetReader</i>	Carrega o pacote no <i>R STUDIO</i>
<i>library tidyverse</i>	Carrega o pacote no <i>R STUDIO</i>
<i>library ggplot2</i>	Carrega o pacote no <i>R STUDIO</i>
<i>library dply</i>	Carrega o pacote no <i>R STUDIO</i>
<i>for()</i>	Comando de repetição
<i>runif()</i>	Muda variáveis aleatoriamente
<i>if()</i>	Condição
<i>writexl::write_xlsx(Tabela1, 'TABELA DE NOS l/s.xlsx')</i>	Salva dados em formato excel
<i>ENepanet("rede.inp","rede.rpt")</i>	Cria um arquivo rede.rpt a partir do arquivo RCLAUDIO1.inp importado do Epanet
<i>ENopen("rede.inp","rede.rpt")</i>	Carrega um arquivo rede.rpt no <i>R STUDIO</i>
<i>ENgetlinkid(X)</i>	Verifica o id correspondente ao trecho
<i>ENgetnodeid(X)</i>	Verifica o id correspondente ao nó
<i>ENsaveinpfile("nome do arquivo")</i>	Salva os dados atuais em um arquivo.inp (Ob): esse arquivo pode ser importado para o <i>Epanet</i>
<i>ENSolveH()</i>	Simula
<i>ENclose()</i>	Fecha o sistema <i>epanet2toolkit</i>

Quadro 3-Principais comandos básicos.

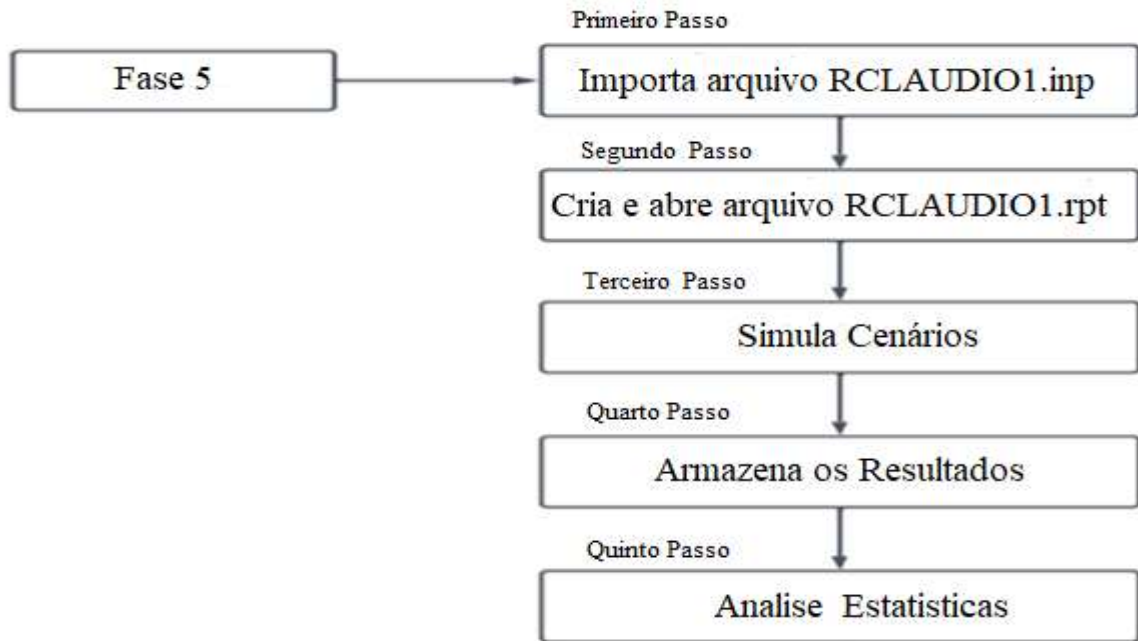
<i>EN_DIAMETER</i>	Diâmetro (trecho)
<i>EN_LENGTH</i>	Comprimento (trecho)
<i>EN_ROUGHNESS</i>	Rugosidade (trecho)
<i>EN_VELOCITY</i>	Velocidade fluxo (trecho)
<i>EN_FLOW</i>	Vazão
<i>ENgetlinkvalue(ENgetlinkindex('trecho'), 'EN_DIAMETER')</i>	Retorna o valor correspondente de um trecho diretamente
<i>ENsetlinkvalue(ENgetlinkindex('trecho'), "EN_LENGTH", X) X (novo valor)</i>	Modificação de parâmetro de um trecho diretamente
<i>EN_ELEVATION</i>	Cota (nó)
<i>EN_BASEDEMAND/EN_DEMAND</i>	Demanda (Consumo) (nó)
<i>EN_PRESSURE</i>	Pressão (nó)
<i>ENgetnodevalue(ENgetnodeindex('No'),'EN_ PRESSURE')</i>	Retorna o parâmetro correspondente de um nó diretamente
<i>ENsetnodevalue(ENgetnodeindex('No'),'EN_ PRESSURE',X) X (novo valor)</i>	Altera o parâmetro correspondente de um nó diretamente

Fonte - Autor (2022)

4.5. Fase 5 - Simulação dos cenários e armazenamento dos resultados

A **Figura 13** ilustra o fluxograma proposto para a parte final da pesquisa.

Figura 13 - Fluxograma da metodologia final.



Fonte - Autor (2022)

O primeiro passo - Foi importado o arquivo RCLAUDIO1.inp do *Epanet*.

O segundo passo - Foi criado e aberto o arquivo RCLAUDIO1.rpt no *R*.

O terceiro passo - Foi inserido o número de nós da rede, o nível de água mínimo (985m) e máximo (990m) do reservatório, em seguida o intervalo de variação do mesmo (0.2m). A rede teórica em estudo possui 10 nós e 16 trechos.

Foi utilizado o comando *length* para definir o tamanho das colunas da tabela a partir do intervalo de variação selecionado anteriormente, na sequência utilizou-se o comando *as.data.frame* para criação da tabela de dados.

Posteriormente foram inseridos três *loopings* (ciclos de repetição), **o primeiro** foi criado para alterar o nível do reservatório para os valores do intervalo selecionado através do comando *ENsetnodevalue*.

Após cada alteração realizou-se uma nova simulação hidráulica e criou-se um novo número de identificação na tabela de dados com acréscimo do comando *runif* (altera demanda aleatoriamente nos nós), para gerar pressões e vazões variadas dentro das faixas desejadas.

O segundo e terceiro loopings foram inseridos dentro do primeiro para contar os números de identificação referentes aos nós e trechos para a obtenção dos valores de pressão, demanda de cada nó, vazão por trecho, demanda total (saída do reservatório), além dos dados físicos dos nós e trechos utilizando os comandos *ENsetnodevalue* e *ENgetnodevalue*.

Para simulação **Cenário 5** (demandas diárias), foram feitos procedimentos semelhantes utilizando a mesma rede, com algumas adaptações no programa.

Foi inserido o número de nós da rede, hora inicial (1h) e final (24h), em seguida o intervalo de variação do mesmo de (1h), com acréscimo do comando *if* (condição) de acordo com as demandas do dia.

As variações de níveis, pressões e vazões passaram a ser em função do consumo diário.

Os cenários simulados estão detalhados a seguir:

- **Cenário 1-** Demandas importadas do *Epanet* entre (0.1~2.0)l/s por nós com nível do reservatório variando crescentemente entre (985~990)m com intervalo de variação do mesmo (0.2m);
- **Cenário 2-** Demandas geradas aleatoriamente no *R* entre (0.1~2.0)l/s por nós com nível do reservatório variando crescentemente entre (985~990)m com intervalo de variação do mesmo (0.2m);
- **Cenário 3-** Demandas geradas aleatoriamente decrescentemente no *R* entre (0.1~2.0)l/s por nós com nível do reservatório variando crescentemente entre (985~990)m com intervalo de variação do mesmo (0.2m);
- **Cenário 4-** Demandas geradas aleatoriamente no *R* com duas opções: (a) (0.1~0.6)l/s e (b) (0.6~2.0)l/s ambas com nível do reservatório fixado em 990m;
- **Cenário 5-** Demanda diária geradas no *R* entre (0.1~2.0)l/s por nós com nível do reservatório variando em função da demanda entre (985~990)m;

Quarto passo - Os valores obtidos tais como: demandas e pressões por cada nó, vazões por trechos e consumo total de saída do reservatório foram armazenados em forma de tabelas e gerados gráficos para facilitar o entendimento;

Quinto passo – Foi efetuado a análise estatística dos resultados obtidos na integração entre o *Epanet* e o *R*, bem como os efeitos de sua aplicação na rede teórica desenvolvida para o estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram simulados vários cenários no software *R*, o programa (DEMANDA /PRESSÃO/VAZÃO) utilizando a rede criada no Epanet. Em vermelho esta as demandas importadas utilizadas na simulação no **cenário 1**.

Ilustrado nas **Figuras 14 (a) e 14(b)** temos as tabelas geradas na simulação no *Epanet* para efeito de comparação com resultados do **cenário 1** gerados no *R*.

Figura 14 (a) - Tabela de demandas gerada no Epanet.

Identificador do Nó	Cota m	Consumo-Base LPS	Consumo LPS	Pressão m
Nó 2	970.0000	0.54	0.54	12.77
Nó 5	949.0000	0.98	0.98	32.05
Nó 8	925.0000	0.135	0.14	53.64
Nó 10	900.0000	0.62	0.62	76.73
Nó 3	970.0000	0.75	0.75	13.62
Nó 6	935.0000	1.83	1.83	46.62
Nó 9	920.0000	0.44	0.44	61.30
Nó 11	895.0000	1.55	1.55	81.71
Nó 4	965.0000	1.12	1.12	17.74
Nó 7	945.0000	0.17	0.17	36.68
RNF 1	985.0000	#N/A	-8.14	0.00

Fonte- Autor (2022)

Figura 14 (b) - Tabela de trechos geradas no Epanet

Identificador do Trecho	Comprimento m	Diâmetro mm	Rugosidade	Vazão LPS	Velocidade m/s
Tubulação 4	1100.0000	75.0000	150.0000	1.40	0.32
Tubulação 2	1200.0000	100.0000	150.0000	1.94	0.25
Tubulação 3	990.0000	100.0000	150.0000	2.20	0.28
Tubulação 5	1100.0000	100.0000	150.0000	3.24	0.41
Tubulação 6	1100.0000	75.0000	150.0000	1.08	0.24
Tubulação 9	830.0000	50.0000	150.0000	0.68	0.34
Tubulação 13	700.0000	50.0000	150.0000	0.65	0.33
Tubulação 10	830.0000	100.0000	150.0000	1.41	0.18
Tubulação 15	700.0000	50.0000	150.0000	1.05	0.53
Tubulação 7	1200.0000	50.0000	150.0000	-0.25	0.13
Tubulação 8	990.0000	75.0000	150.0000	-0.25	0.06
Tubulação 12	1200.0000	50.0000	150.0000	-0.59	0.30
Tubulação 16	1200.0000	50.0000	150.0000	0.03	0.02
Tubulação 14	1300.0000	50.0000	150.0000	0.47	0.24
Tubulação 11	1000.0000	75.0000	150.0000	0.66	0.15
Tubulação 1	1000.0000	150.0000	150.0000	-8.14	0.46

Fonte- Autor (2022)

A equivalência entre as tabelas geradas no *Epanet* e no *R* está ilustrada na **Figura 15**, o resultado do trecho 1 no *R* é gerado em uma tabela em separado.

Figura 15 - Equivalência entre tabelas do *Epanet* e do *R*.

No EPANET	Numero na tabela gerada no R	Trecho EPANET	Numero na tabela gerada no R
no→1	Reservatório	trecho→1	Saida do reservatorio
no→2	1	trecho→2	1
no→3	2	trecho →3	2
no→4	3	trecho →4	3
no→5	4	trecho →5	4
no→6	5	trecho →6	5
no→7	6	trecho →7	6
no→8	7	trecho →8	7
no→9	8	trecho →9	8
no→10	9	trecho →10	9
no→11	10	trecho →11	10
		trecho →12	11
		trecho →13	12
		trecho →14	13
		trecho →15	14
		trecho →16	15

Fonte- Autor (2022)

5.1. Primeira aplicação (Cenário 1)

Foi simulada a rede no programa no *R* com demandas entre (0.1~2)l/s por nó importadas do *Epanet*, com nível do reservatório variando entre (985~990)m utilizando intervalo de variação do mesmo de (0.2m). A simulação do *Epanet* para nós demonstrado na **Figura 14(a)**, quando comparados com a **Figura 16** gerado no *R* comprovam fidelidade entre os programas.

Os resultados por nós, tabela e gráfico estão demonstrados nas **Figuras 16 e 17**.

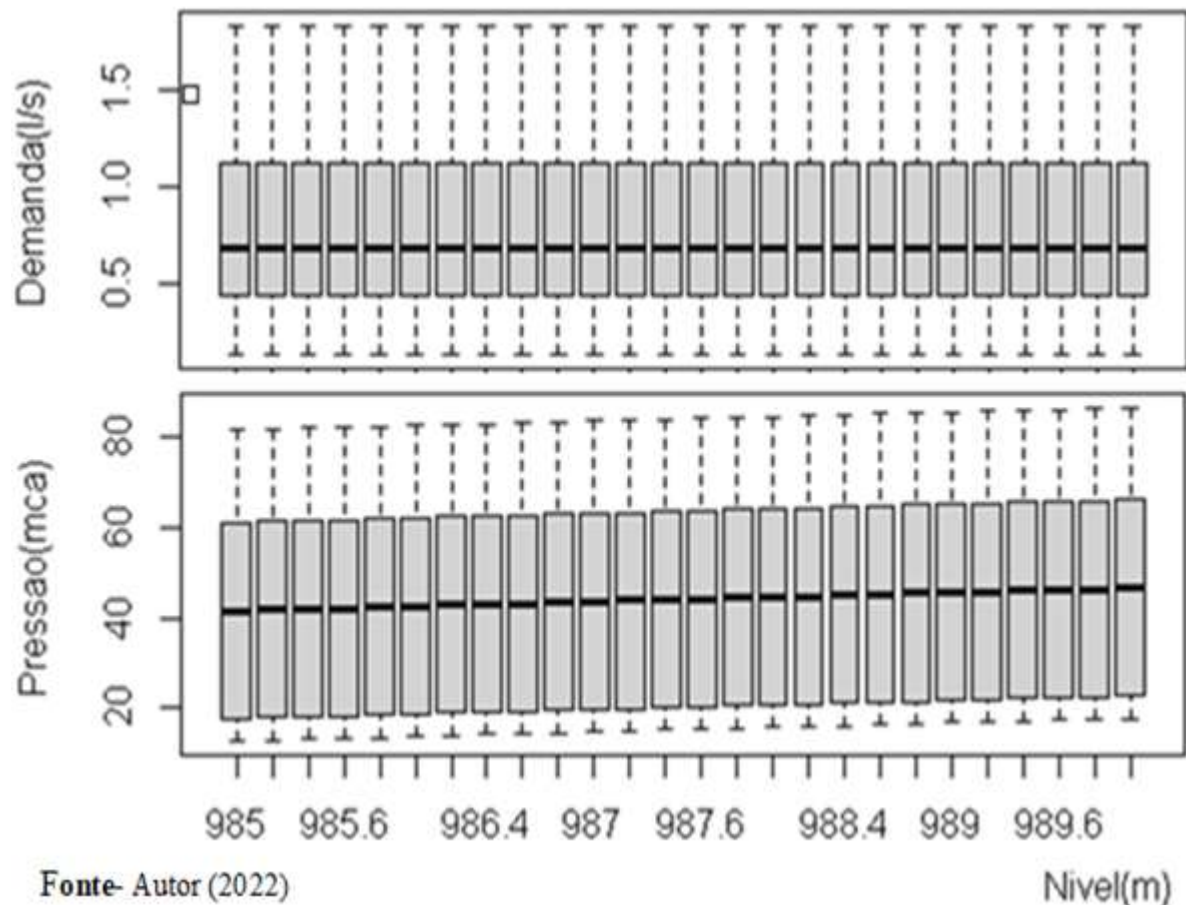
Figura 16- Tabela de dados dos nós para o cenário 1.

Nível (m), Demanda (l/s), Pressão (mca), Cota (m).

	R1.nivel	R1.Demanda	R2.nivel	R2.Pressao	R3.nivel	R3.Cota
1	985	0.540	985	12.77215	985	970
2	985	0.750	985	13.61595	985	970
3	985	1.120	985	17.73984	985	965
4	985	0.980	985	32.05390	985	949
5	985	1.830	985	46.61841	985	935
6	985	0.170	985	36.68190	985	945
7	985	0.135	985	53.64080	985	925
8	985	0.440	985	61.29594	985	920
9	985	0.620	985	76.72583	985	900
10	985	1.550	985	81.71244	985	895

Fonte- Autor (2022)

Figura 17 - Dispersão de demanda e pressão nos nós para o cenário 1.



Fonte- Autor (2022)

Nivel(m)

Os resultados por trechos, tabela e gráfico estão demonstrados nas **Figuras 18 e 19**. A simulação no *Epanet* para trechos, demonstrado na **figura 14(b)**, quando comparados com a **Figura 18** gerada no *R* comprovam também a fidelidade entre os programas.

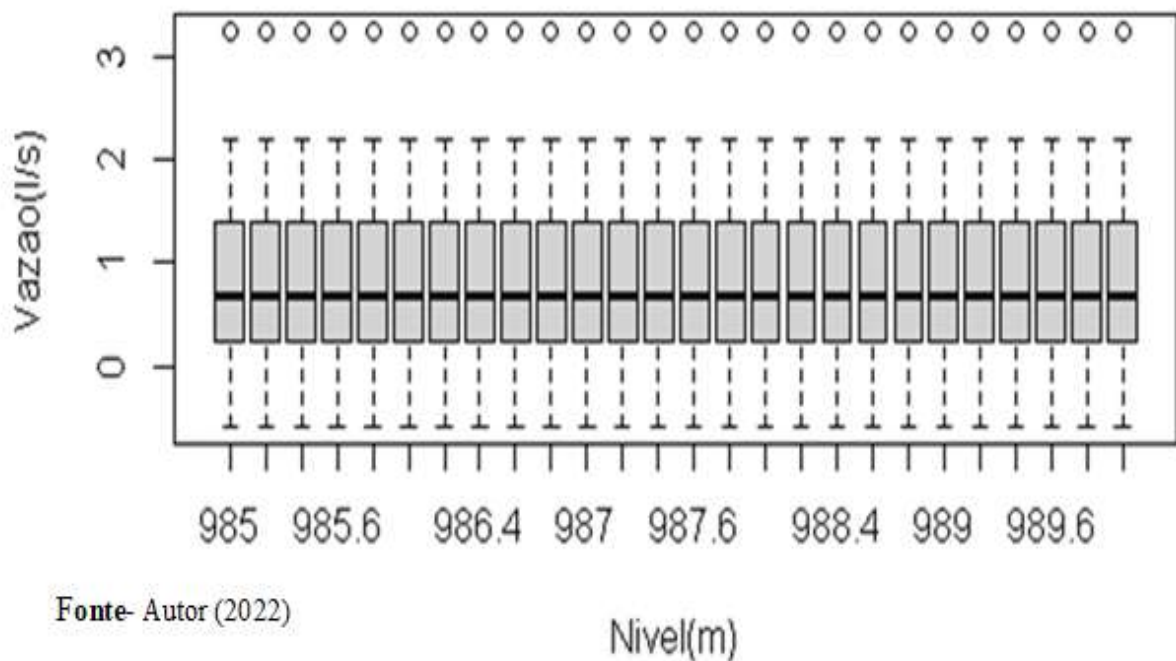
Figura 18- Tabela de dados dos trechos para o cenário 1.

Nível (m), Vazão (l/s), Velocidade Fluxo (m/s), Diâmetro (mm), Comprimento (m), Rugosidade.

	R4.nivel	R4.Vazao	R5.nivel	R5.Fluxo	R6.nivel	R6.Diam	R7.nivel	R7.Compr	R8.nivel	R8.Rugo
1	985	1.94274938	985	0.24735720	985	100	985	1200	985	150
2	985	2.19957662	985	0.28005728	985	100	985	990	985	150
3	985	1.40274942	985	0.31751579	985	75	985	1100	985	150
4	985	3.24267411	985	0.41286784	985	100	985	1100	985	150
5	985	1.07957661	985	0.24436483	985	75	985	1100	985	150
6	985	-0.25258636	985	0.12864049	985	50	985	1200	985	150
7	985	-0.25018245	985	0.05662942	985	75	985	990	985	150
8	985	0.67533576	985	0.34394383	985	50	985	830	985	150
9	985	1.41027009	985	0.17956018	985	100	985	830	985	150
10	985	0.65939415	985	0.14925548	985	75	985	1000	985	150
11	985	-0.58275431	985	0.29679275	985	50	985	1200	985	150
12	985	0.65350211	985	0.33282408	985	50	985	700	985	150
13	985	0.46958798	985	0.23915790	985	50	985	1300	985	150
14	985	1.04690993	985	0.53318393	985	50	985	700	985	150
15	985	0.03350212	985	0.01706240	985	50	985	1200	985	150

Fonte - Autor (2022)

Figura 19 - Dispersão de vazão por trechos para o cenário 1.



Fonte- Autor (2022)

Os resultados do trecho 1, nível crescente e demandas importadas do *Epanet* são idênticos ao resultado apresentado na **Figura 14 (b)** estão demonstrados na tabela e gráfico ilustrados nas **Figuras 20 e 21**.

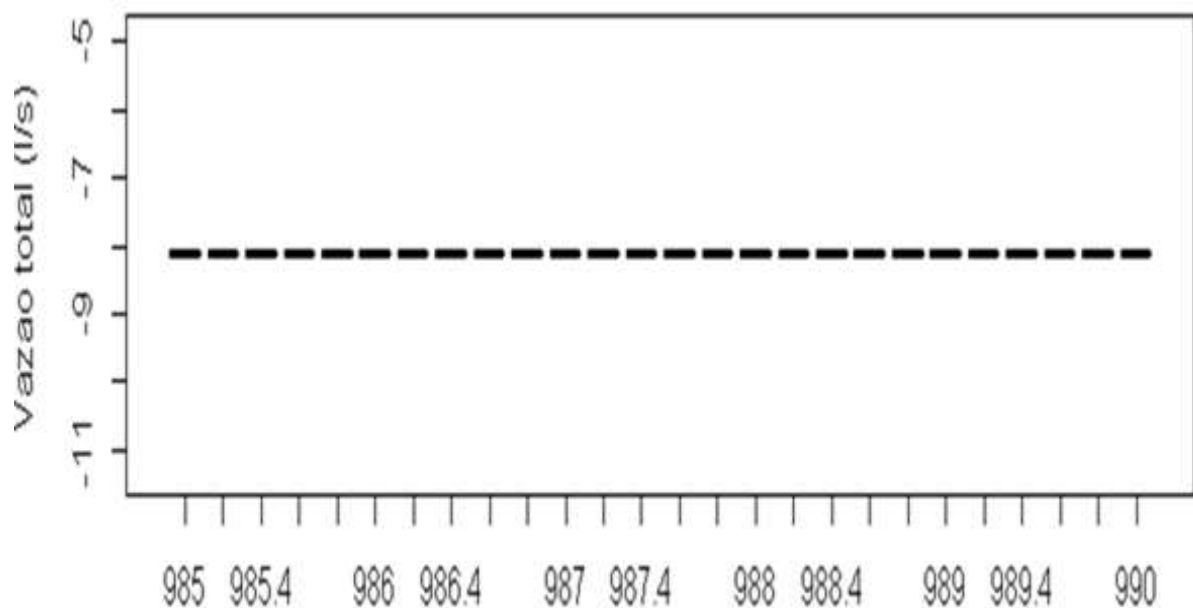
Figura 20 - Tabela do trecho 1 para o cenário 1.

Nível (m), Vazão total (l/s), Velocidade Fluxo.trecho.1(m/s), Diâmetro.trecho.1(mm), Comprimento.trecho.1(m), Rugosidade.trecho.1.

	R9.nível	R9.Vazao.T	R10.nível	R10.Fluxo.1	R11.nível	R11.Diam.1	R12.nível	R12.Compr.1	R13.nível	R13.Rugo.1
1	985	-8.135	985	0.4603443	985	150	985	1000	985	150

Fonte- Autor (2022)

Figura 21 - Vazão no trecho 1 para o cenário 1.



Fonte- Autor (2022)

Nível(m)

Na análise dos dados para cenário 1 foram utilizadas demandas fixas importadas do *Epanet*. As pressões aumentaram linearmente devido a elevação do nível do reservatório e as demandas permaneceram constantes por nós para cada nível. O comportamento da rede foi influenciado apenas pelo aumento do nível.

5.2. Segunda aplicação (Cenário 2)

Foi simulado a rede no programa no *R* utilizando as demandas geradas aleatoriamente dentro da faixa (0.1 ~2.0)l/s por nó e nível do reservatório variando entre (985~990)m, no intervalo de variação do mesmo (0.2m). Os resultados por nós estão demonstrados na tabela e gráfico ilustrados nas Figuras 22 e 23.

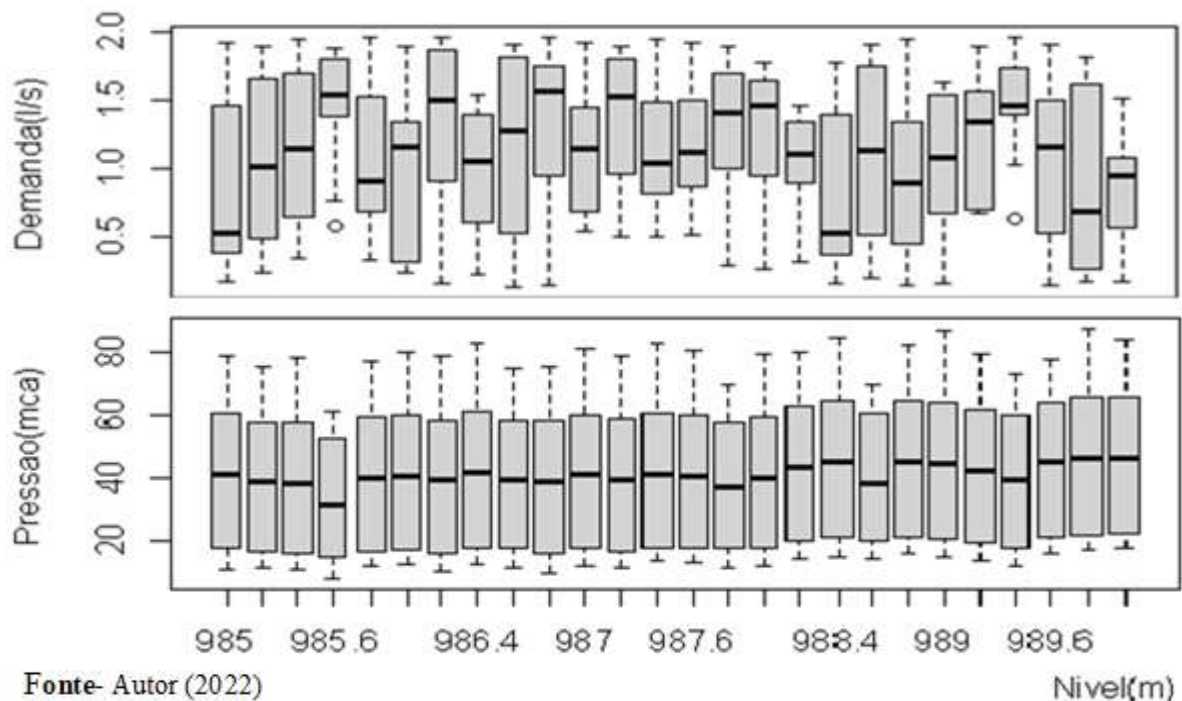
Figura 22 -Tabela de dados dos nós para o cenário 2.

Nível (m), Demanda (l/s), Pressão (mca), Cota (m)

	R1.nivel	R1.Demanda	R2.nivel	R2.Pressao	R3.nivel	R3.Cota
1	985	1.9188192	985	10.897920	985	970
2	985	0.3870098	985	13.379912	985	970
3	985	0.4341646	985	17.826149	985	965
4	985	1.4654771	985	29.806236	985	949
5	985	1.1287950	985	46.346214	985	935
6	985	0.3840110	985	36.370049	985	945
7	985	0.1810049	985	51.471573	985	925
8	985	0.4149732	985	60.878479	985	920
9	985	0.6368655	985	74.166496	985	900
10	985	1.9058161	985	79.090652	985	895

Fonte – Autor (2022)

Figura 23 - Dispersão de demanda e pressão nos nós para o cenário 2.



Fonte- Autor (2022)

Nível(m)

Os resultados por trechos, nível crescente e demandas aleatórias estão demonstrados na tabela e gráfico ilustrados nas **Figuras 24 e 25**.

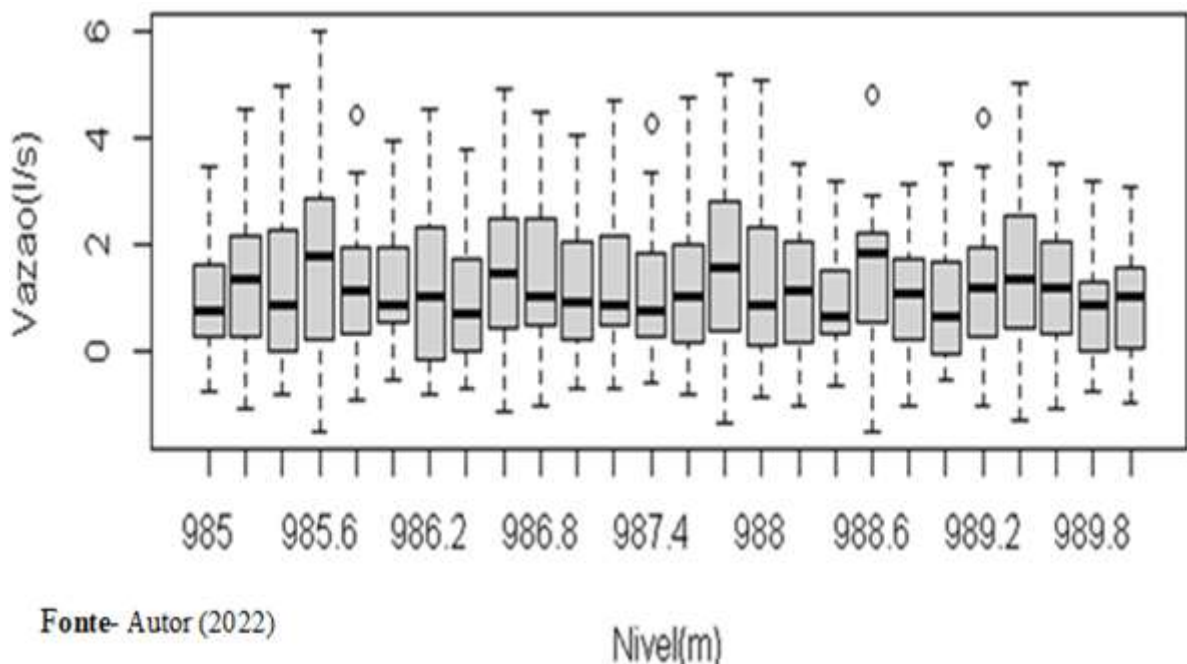
Figura 24- Tabela de dados dos trechos para o cenário 2.

Nível (m), Vazão (l/s), Velocidade Fluxo (m/s), Diâmetro (mm), Comprimento (m), Rugosidade.

	R4.nivel	R4.Vazao	R5.nivel	R5.Fluxo	R6.nivel	R6.Diam	R7.nivel	R7.Compr	R8.nivel	R8.Rugo
1	985	3.47872186	985	0.44292223	985	100	985	1200	985	150
2	985	1.71696734	985	0.21860988	985	100	985	990	985	150
3	985	1.55990279	985	0.35308784	985	75	985	1100	985	150
4	985	3.27423739	985	0.41688657	985	100	985	1100	985	150
5	985	1.28280270	985	0.29036558	985	75	985	1100	985	150
6	985	-0.56896710	985	0.28977099	985	50	985	1200	985	150
7	985	-0.14740589	985	0.03336569	985	75	985	990	985	150
8	985	0.66339272	985	0.33786133	985	50	985	830	985	150
9	985	1.72388101	985	0.21949016	985	100	985	830	985	150
10	985	0.75138587	985	0.17007805	985	75	985	1000	985	150
11	985	-0.76612753	985	0.39018342	985	50	985	1200	985	150
12	985	0.72231346	985	0.36786923	985	50	985	700	985	150
13	985	0.52620184	985	0.26799095	985	50	985	1300	985	150
14	985	1.29416621	985	0.65910989	985	50	985	700	985	150
15	985	0.08544797	985	0.04351806	985	50	985	1200	985	150

Fonte - Autor (2022)

Figura 25 - Dispersão de vazão por trechos para o cenário 2.



Os resultados do trecho 1, nível crescente e demandas aleatórias estão demonstrados nas tabelas e gráficos ilustrados nas **Figuras 26 e 27**.

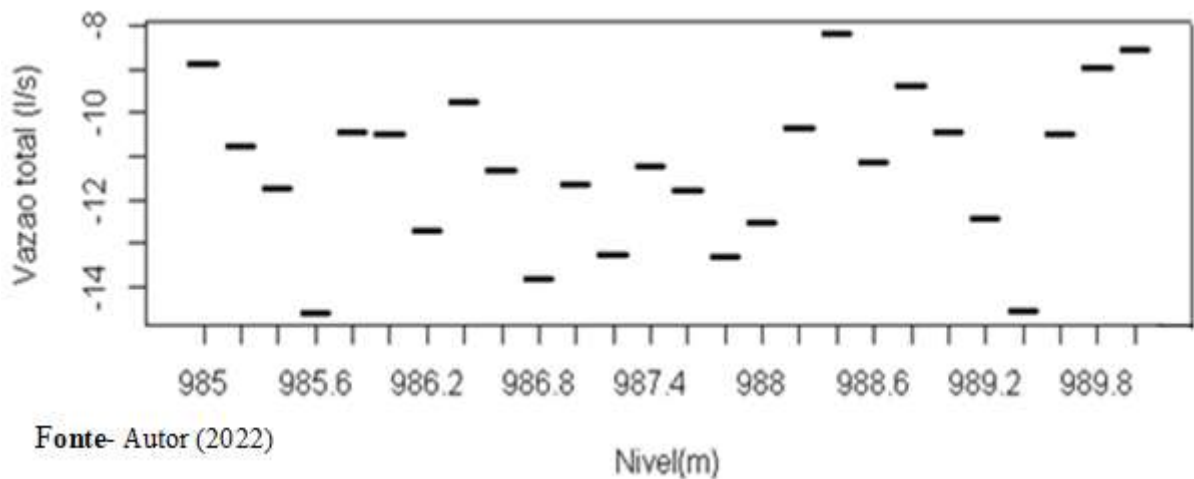
Figura 26 -Tabela do trecho 1 para o cenário 2

Nível (m), Vazão Total (l/s), Velocidade Fluxo.trecho.1(m/s), Comprimento.trecho.1(m).
Rugosidade. trecho.1, Diâmetro.trecho.1 (mm).

	R9.nível	R9.Vazao.T	R10.nível	R10.Fluxo.1	R11.nível	R11.Compr.1	R12.nível	R12.Rugo.1	R13.nível	R13.Diam.1
1	985	-8.856936	985	0.5011973	985	1000	985	150	985	150

Fonte - Autor (2022)

Figura 27 - Vazão no trecho 1 para o cenário 2.



Fonte- Autor (2022)

Na análise dos dados para cenário 2, utilizando as demandas aleatórias com nível crescente, as pressões nos nós variaram positivamente (diretamente) de acordo com o aumento do nível e ao mesmo tempo negativamente (inversamente) de acordo com o aumento das demandas.

5.3. Terceira aplicação (Cenário 3)

Foi simulado a rede no programa no R, demandas variando aleatoriamente decrescentemente dentro da faixa (0.1~2)l/s por nó, utilizando nível do reservatório variando entre (985~990)m, no intervalo de variação do mesmo de (0.2m).

Os resultados por nós estão demonstrados na tabela e gráfico ilustrados nas **Figuras 28 e 29**.

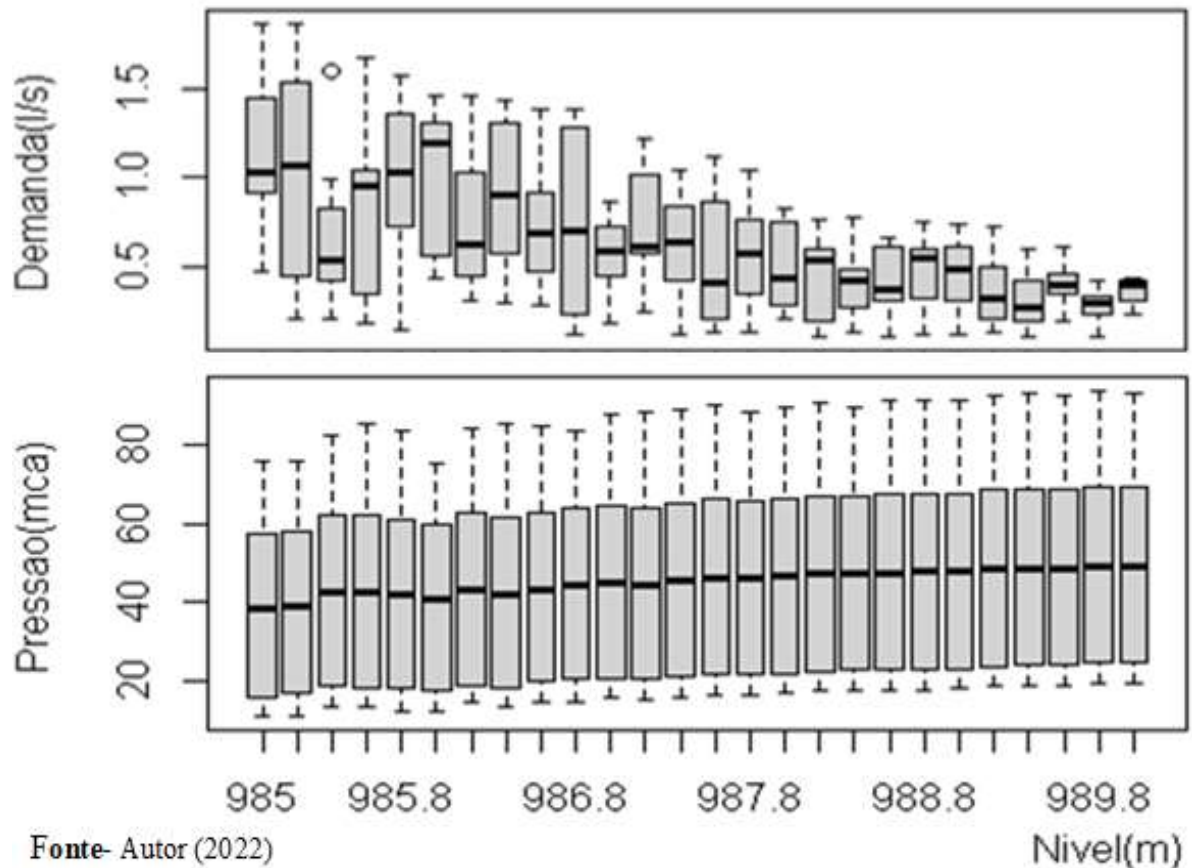
Figura 28- Tabela de dados dos nós para o cenário 3.

Nível (m), Demanda (l/s), Pressão (mca), Cota (m).

	R1.nivel	R1.Demanda	R2.nivel	R2.Pressao	R3.nivel	R3.Cota
1	985	0.4673156	985	11.10772	985	970
2	985	1.8647189	985	12.32158	985	970
3	985	1.0784398	985	15.95768	985	965
4	985	0.9660285	985	29.10284	985	949
5	985	1.7311218	985	43.50930	985	935
6	985	0.9114195	985	33.46471	985	945
7	985	0.9444407	985	46.71399	985	925
8	985	1.3035949	985	57.61416	985	920
9	985	1.4425690	985	68.52841	985	900
10	985	0.9095888	985	76.18038	985	895

Fonte - Autor (2022)

Figura 29- Dispersão de demanda e pressão nos nós para o cenário 3.



Fonte- Autor (2022)

Nivel(m)

Os resultados dos trechos, nível crescente e demandas aleatórias decrescentes estão demonstrados na tabela e gráfico ilustrados nas **Figuras 30 e 31**.

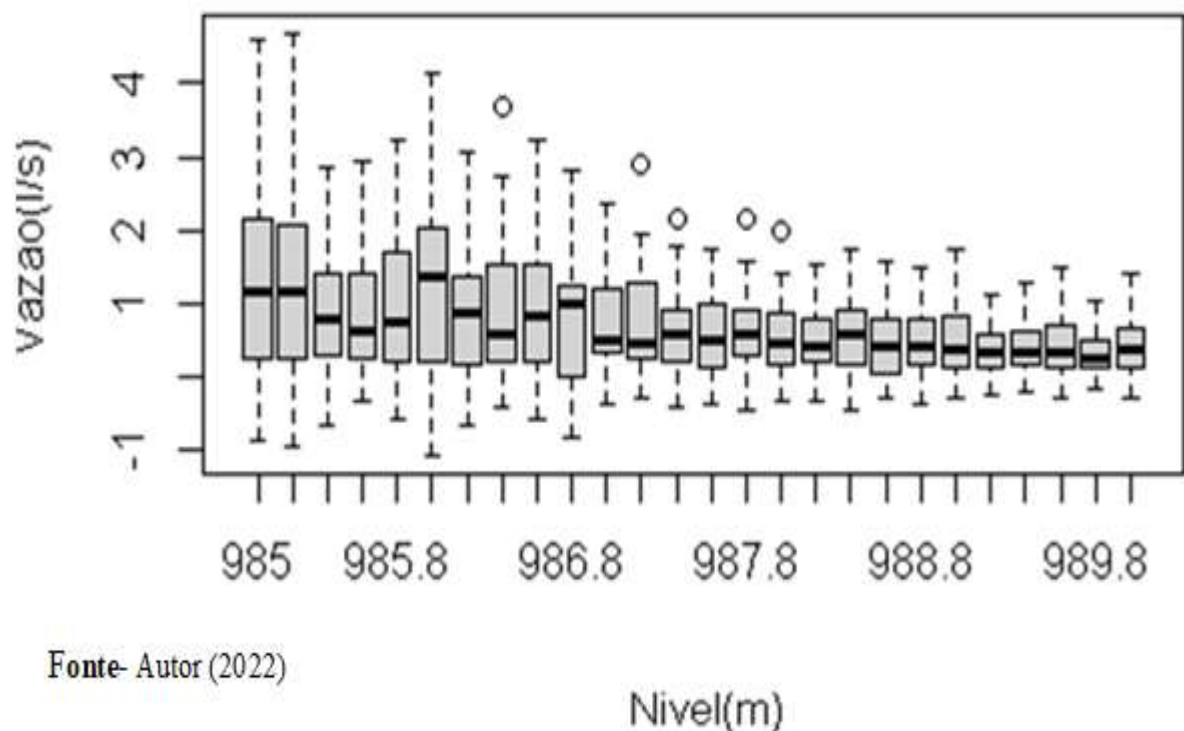
Figura 30- Tabela de dados dos trechos para o cenário 3.

Nível (m), Vazão (l/s), Velocidade Fluxo (m/s), Diâmetro (mm), Comprimento (m), Rugosidade.

	R4.nivel	R4.Vazao	R5.nivel	R5.Fluxo	R6.nivel	R6.Diam	R7.nivel	R7.Compr	R8.nivel	R8.Rugo
1	985	2.364239216	985	0.301022679	985	100	985	1200	985	150
2	985	2.793397665	985	0.355664521	985	100	985	990	985	150
3	985	1.896923661	985	0.429373354	985	75	985	1100	985	150
4	985	4.596881390	985	0.585289955	985	100	985	1100	985	150
5	985	1.714957833	985	0.388184965	985	75	985	1100	985	150
6	985	-0.211560741	985	0.107746415	985	50	985	1200	985	150
7	985	0.206728086	985	0.046793412	985	75	985	990	985	150
8	985	1.142455935	985	0.581844866	985	50	985	830	985	150
9	985	2.447471142	985	0.311619997	985	100	985	830	985	150
10	985	1.010266423	985	0.228676304	985	75	985	1000	985	150
11	985	-0.896871746	985	0.456770539	985	50	985	1200	985	150
12	985	0.860186398	985	0.438086987	985	50	985	700	985	150
13	985	0.234700546	985	0.119531363	985	50	985	1300	985	150
14	985	1.257270813	985	0.640319288	985	50	985	700	985	150
15	985	-0.582382619	985	0.296603411	985	50	985	1200	985	150

Fonte- Autor (2022)

Figura 31 - Dispersão de vazão por trechos para o cenário 3.



Fonte- Autor (2022)

Os resultados do trecho 1, nível crescente e demanda aleatória decrescentes estão demonstrados na tabela e gráfico ilustrados nas **Figuras 32 e 33**.

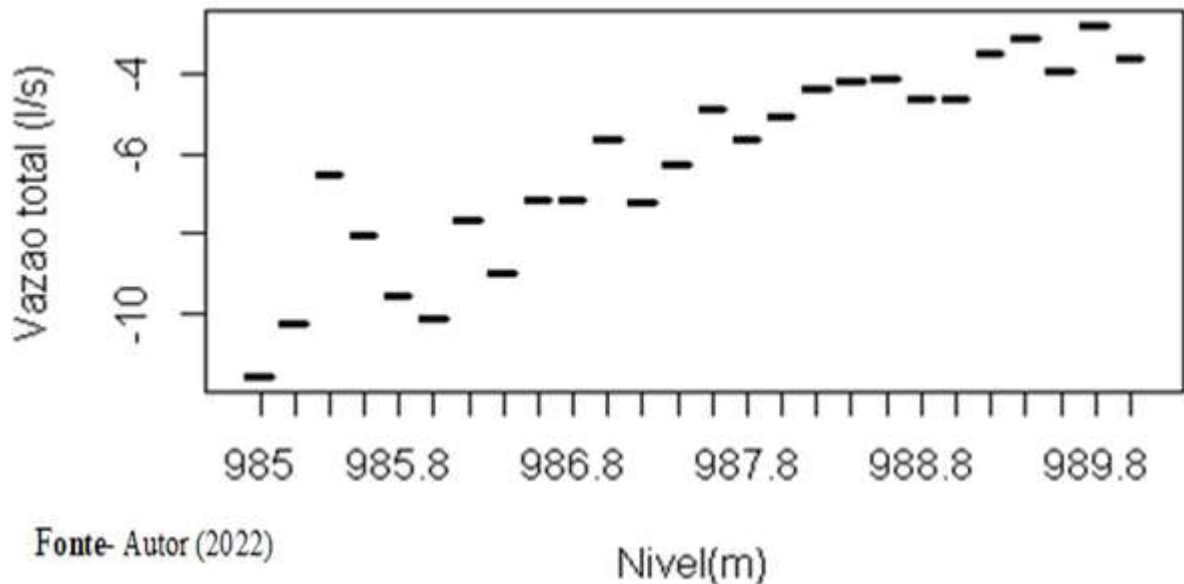
Figura 32 - Tabela do trecho 1 para o cenário 3.

Nível (m), Vazão Total (l/s), (m/s), Velocidade Fluxo.1 (m/s), Comprimento.trecho.1(m), Rugosidade.trecho.1.
Diâmetro.trecho.1 (mm).

	R9.nivel	R9.Vazao.T	R10.nivel	R10.Fluxo.1	R11.nivel	R11.Compr.1	R12.nivel	R12.Rugo.1	R13.nivel	R13.Diam.1
1	985	-11.619238	985	0.6575108	985	1000	985	150	985	150

Fonte - Autor (2022)

Figura 33 - Vazão no trecho 1 para o cenário 3



Na análise dos dados para **cenário 3** foi utilizado procedimento de redução de demanda aleatória por aumento de nível. Esta simulação é semelhante do comportamento de uma rede quando o reservatório está em elevação. Assim foi possível notar que o aumento do nível e diminuição da demanda ocasionaram um aumento das pressões geradas nos nós.

5.4. Quarta aplicação (Cenário 4)

Foi simulado a rede no programa *R*, com as demandas variando aleatoriamente entre: (a) (0.1 ~ 0.6)l/s e (b) (0.6 ~ 2.0)l/s por nó, com nível fixo em 990m.

Os resultados por nós estão demonstrados nas tabelas ilustrados nas **Figuras 34 e 35**.

Figura 34 - Tabelas de nós para o cenário 4 (a).

Nível (m), Demanda (l/s), Pressão (mca), Cota (m).

	▲ R1.nivel ▼	R1.Demanda ▼	R2.nivel ▼	R2.Pressao ▼	R3.nivel ▼	R3.Cota ▼
1	990	0.2376586	990	19.72434	990	970
2	990	0.3215602	990	19.82754	990	970
3	990	0.3081098	990	24.72789	990	965
4	990	0.1625032	990	40.56606	990	949
5	990	0.1462188	990	54.59474	990	935
6	990	0.2074933	990	44.58082	990	945
7	990	0.1859963	990	64.10870	990	925
8	990	0.4376052	990	69.50453	990	920
9	990	0.1512395	990	88.94685	990	900
10	990	0.4839069	990	93.94126	990	895

Fonte - Autor (2022)

Figura 35 - Tabelas de nós para o cenário 4 (b).

Nível (m), Demanda (l/s), Pressão (mca), Cota (m).

	▲ R1.nivel ▼	R1.Demanda ▼	R2.nivel ▼	R2.Pressao ▼	R3.nivel ▼	R3.Cota ▼
1	990	1.0050955	990	14.13204	990	970
2	990	1.2911289	990	16.37184	990	970
3	990	1.4072372	990	19.26733	990	965
4	990	1.2157130	990	30.88691	990	949
5	990	1.9907668	990	45.92159	990	935
6	990	1.8898935	990	35.56469	990	945
7	990	1.8766783	990	45.32150	990	925
8	990	0.7753690	990	59.92123	990	920
9	990	1.6273035	990	66.79616	990	900
10	990	0.6090795	990	75.71157	990	895

Fonte - Autor (2022)

Os resultados por nós estão demonstrados graficamente ilustrados nas **Figuras 36 e 37**.

Figura 36 - Dispersão de demanda dos nós para os cenários 4 (a) e (b).

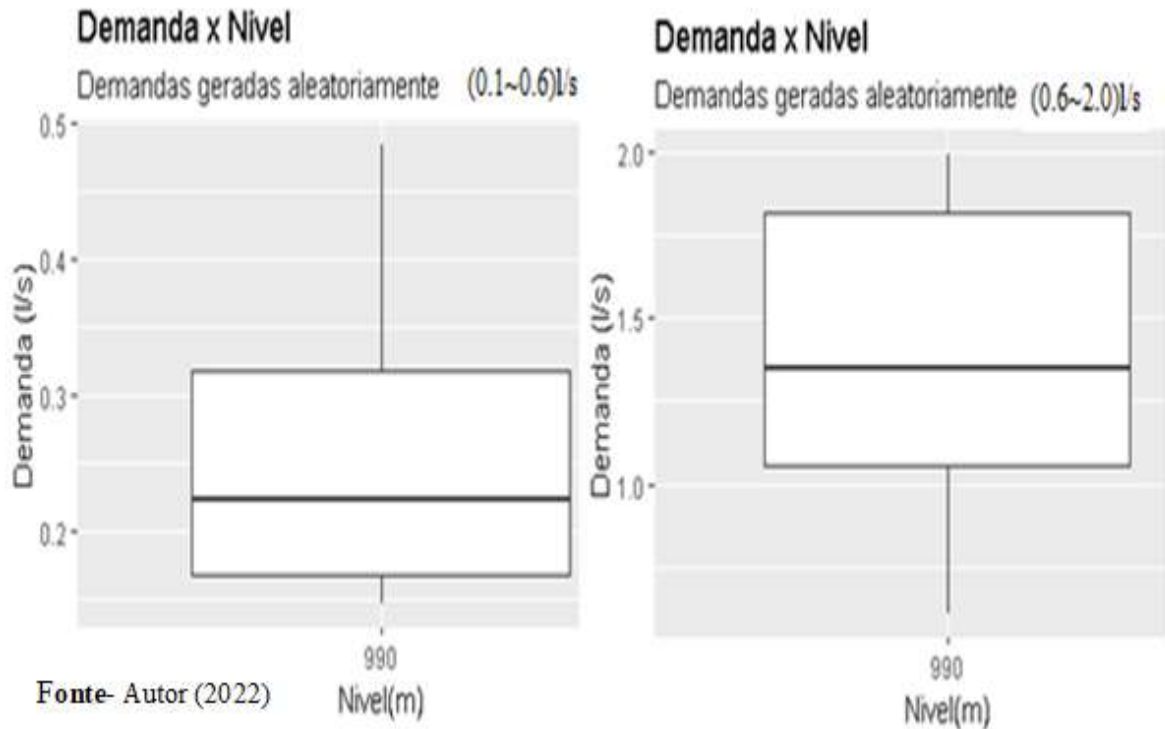
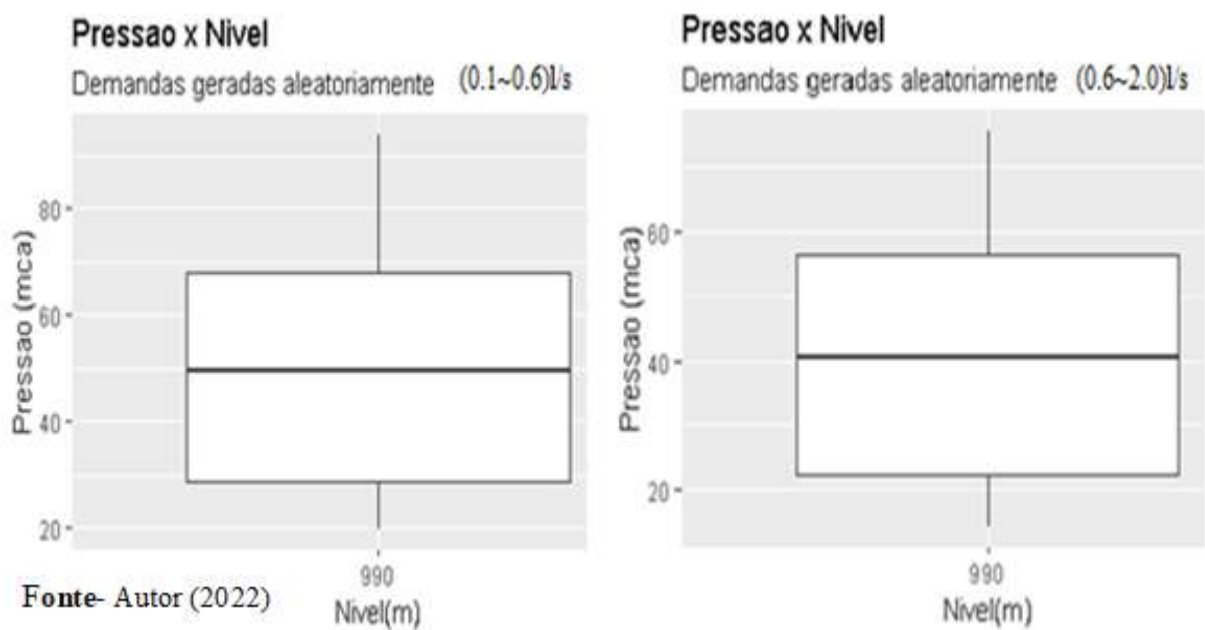


Figura 37 - Dispersão de pressão dos nós para o cenário 4 (a) e (b).



Os resultados por trechos estão demonstrados nas tabelas ilustrados nas **Figuras 38 e 39**.

Figura 38-Tabelas de dados dos trechos para o cenário 4 (a).

Nível (m), Vazão (l/s), Velocidade Fluxo (m/s), Diâmetro (mm), Comprimento (m), Rugosidade.

	R4.nivel	R4.Vazao	R5.nivel	R5.Fluxo	R6.nivel	R6.Diam	R7.nivel	R7.Compr	R8.nivel	R8.Rugo
1	990	0.62471616	990	0.07954090	990	100	990	1200	990	150
2	990	0.68011403	990	0.08659434	990	100	990	990	990	150
3	990	0.38705748	990	0.08761142	990	75	990	1100	990	150
4	990	1.01590157	990	0.12934789	990	100	990	1100	990	150
5	990	0.37200424	990	0.08420408	990	75	990	1100	990	150
6	990	-0.05054784	990	0.02574366	990	50	990	1200	990	150
7	990	0.11025748	990	0.02495705	990	75	990	990	990	150
8	990	0.27510208	990	0.14010759	990	50	990	830	990	150
9	990	0.70887738	990	0.09025658	990	100	990	830	990	150
10	990	0.27476841	990	0.06219451	990	75	990	1000	990	150
11	990	-0.20852856	990	0.10620215	990	50	990	1200	990	150
12	990	0.17213200	990	0.08766563	990	50	990	700	990	150
13	990	0.12550235	990	0.06391747	990	50	990	1300	990	150
14	990	0.33751205	990	0.17189254	990	50	990	700	990	150
15	990	0.02089251	990	0.01064041	990	50	990	1200	990	150

Fonte - Autor (2022)

Figura 39-Tabelas de dados dos trechos para o cenário 4 (b).

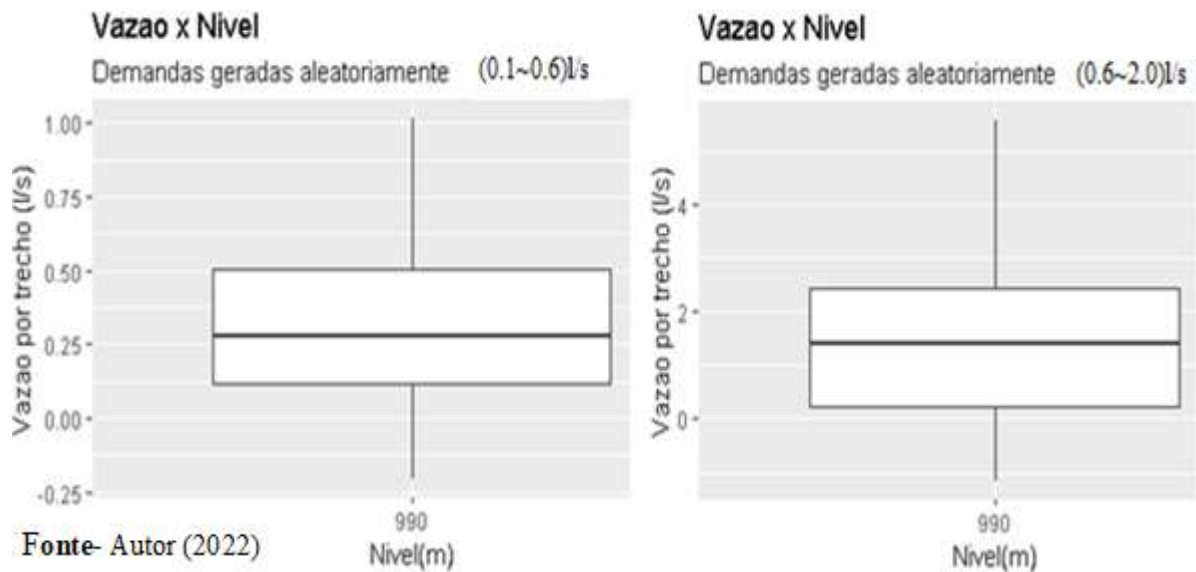
Nível (m), Vazão (l/s), Velocidade Fluxo (m/s), Diâmetro (mm), Comprimento (m), Rugosidade.

	R4.nivel	R4.Vazao	R5.nivel	R5.Fluxo	R6.nivel	R6.Diam	R7.nivel	R7.Compr	R8.nivel	R8.Rugo
1	990	3.2911041	990	0.4190341	990	100	990	1200	990	150
2	990	3.5305569	990	0.4495220	990	100	990	990	990	150
3	990	2.2860086	990	0.5174437	990	75	990	1100	990	150
4	990	5.5754752	990	0.7098877	990	100	990	1100	990	150
5	990	2.1233199	990	0.4806187	990	75	990	1100	990	150
6	990	-0.3503411	990	0.1784263	990	50	990	1200	990	150
7	990	0.6355415	990	0.1438564	990	75	990	990	990	150
8	990	1.4206368	990	0.7235205	990	50	990	830	990	150
9	990	2.5988257	990	0.3308910	990	100	990	830	990	150
10	990	0.8689678	990	0.1966930	990	75	990	1000	990	150
11	990	-1.1664712	990	0.5940757	990	50	990	1200	990	150
12	990	0.9085653	990	0.4627260	990	50	990	700	990	150
13	990	-0.1981356	990	0.1009091	990	50	990	1300	990	150
14	990	1.5259533	990	0.7771574	990	50	990	700	990	150
15	990	-0.7187381	990	0.3660483	990	50	990	1200	990	150

Fonte - Autor (2022)

Os resultados por trechos estão demonstrados graficamente na **Figura 40**.

Figura 40 - Dispersão de vazão por trechos para os cenários 4 (a) e (b).



Os resultados do trecho 1 estão demonstradas nas tabelas ilustradas nas **Figuras 41 e 42**.

Figura 41–Tabelas do trecho 1 para o cenário 4 (a).

Nível (m), Vazão Total (l/s), (m/s), Velocidade Fluxo.1 (m/s). Diâmetro.trecho.1 (mm),
Comprimento.trecho.1(m), Rugosidade.trecho.1.

	R9.nivel	R9.Vazao.T	R10.nivel	R10.Fluxo.1	R11.nivel	R11.Diam.1	R12.nivel	R12.Compr.1	R13.nivel	R13.Rugo.1
1	990	-2.642292	990	0.1495223	990	150	990	1000	990	150

Fonte - Autor (2022)

Figura 42–Tabelas do trecho 1 para o cenário 4 (b).

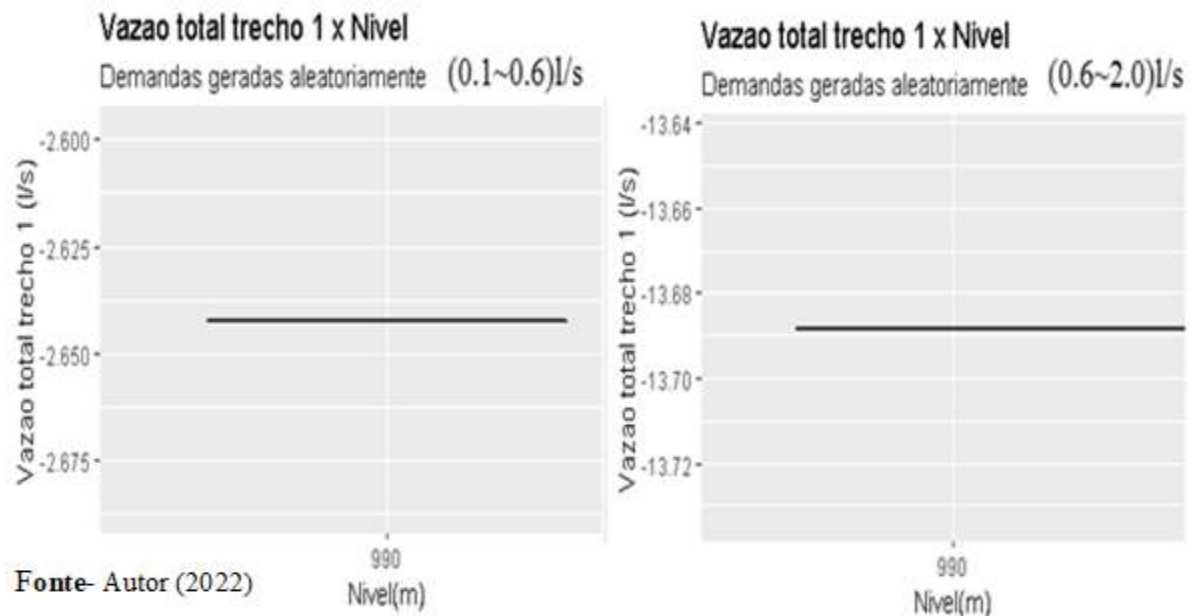
Nível (m), Vazão Total (l/s), (m/s), Velocidade Fluxo.1 (m/s). Diâmetro.trecho.1 (mm),
Comprimento.trecho.1(m), Rugosidade.trecho.1

	R9.nivel	R9.Vazao.T	R10.nivel	R10.Fluxo.1	R11.nivel	R11.Diam.1	R12.nivel	R12.Compr.1	R13.nivel	R13.Rugo.1
1	990	-13.68826	990	0.7745932	990	150	990	1000	990	150

Fonte - Autor (2022)

Os resultados do trecho 1 estão demonstrados graficamente nas **Figuras 43**.

Figura 43 -Vazão do trecho 1 para os cenários 4 (a) e (b).



Na Análise geral dos resultados, a variação das demandas teve maior peso na dispersão dos resultados que a variação dos níveis do reservatório.

O **cenário 1** podemos notar o comportamento da rede em função apenas do aumento do nível de forma direta.

O **cenário 2 e 3** podemos notar o comportamento da rede em função do aumento do nível de forma direta e de forma inversa de acordo com a variação da demanda.

O **cenário 4(b)**, demandas variando entre (0.1 a 0.6)l/s por nós geraram as pressões maiores devido às demandas geradas serem menores. Para **cenário 4(b)**, demandas variando entre (0.6 a 2.0)l/s por nós geraram pressões menores devido as demandas geradas serem maiores, podemos notar o comportamento da rede em função apenas das demandas de forma inversa.

Para resultados de demandas por nós, o **cenário 2** apresentou maior desvio padrão, devido a maior dispersão e o **cenário 4(a)** apresentou menor desvio padrão, devido a sua menor dispersão.

Para resultados de pressões por nós, o **cenário 4(a)** apresentou maior desvio padrão devido a sua maior dispersão e o **cenário 4(b)** apresentou menor desvio padrão devido a sua menor dispersão.

Foram calculados valores máximos, mínimos e **desvio padrão (Sd)** dos resultados obtidos nos **cenários 1, 2, 3, 4(a) e 4(b)** estão demonstrados na **Tabela 3**.

Tabela 3 – Resumo dos resultados dos cenários 1, 2, 3, 4(a) e 4(b).

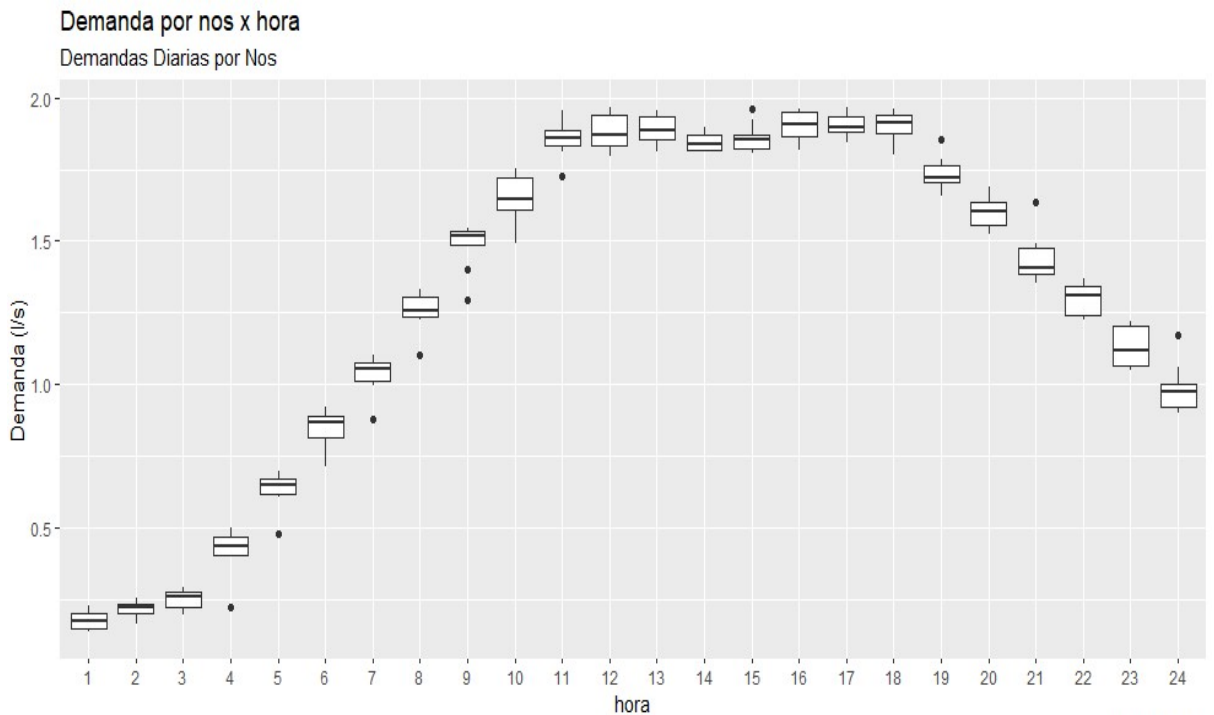
Rede	Demanda (l/s) /nós			Pressão (mca) /nós			Consumo (l/s) /trecho1	
	Min	Max	Média ± Sd	Min	Max	Média ± Sd	Min	Max
Cenário1	0,135	1,81	0,81 ± 0,53	12,73	86,71	45,78 ± 23,90	-8,31	-8,31
Cenário2	0,102	1,99	1,04 ± 0,55	8,16	87,61	42,62 ± 22,57	-8,20	-14,90
Cenário3	0,101	1,84	0,62 ± 0,40	11,10	93,95	47,14 ± 24,88	-2,21	-11,62
Cenário4(a)	0,141	0,48	0,26 ± 0,12	19,72	93,94	52,95 ± 27,06	-2,64	-2,64
Cenário4(b)	0,602	1,99	1,36 ± 0,48	14,13	75,02	40,98 ± 21,61	-13,69	-13,69

Fonte- Autor (2022)

5.5. Quinta aplicação da rede (Demanda Diária)

Foi simulado no *R* o programa demanda diária utilizando a mesma rede dos itens anteriores considerando a demanda, vazão total (consumo total da rede), vazão por trecho, nível do reservatório e pressão no período de 24 horas, os gráficos estão ilustrados nas **Figuras 44, 45, 46, 47 e 48**.

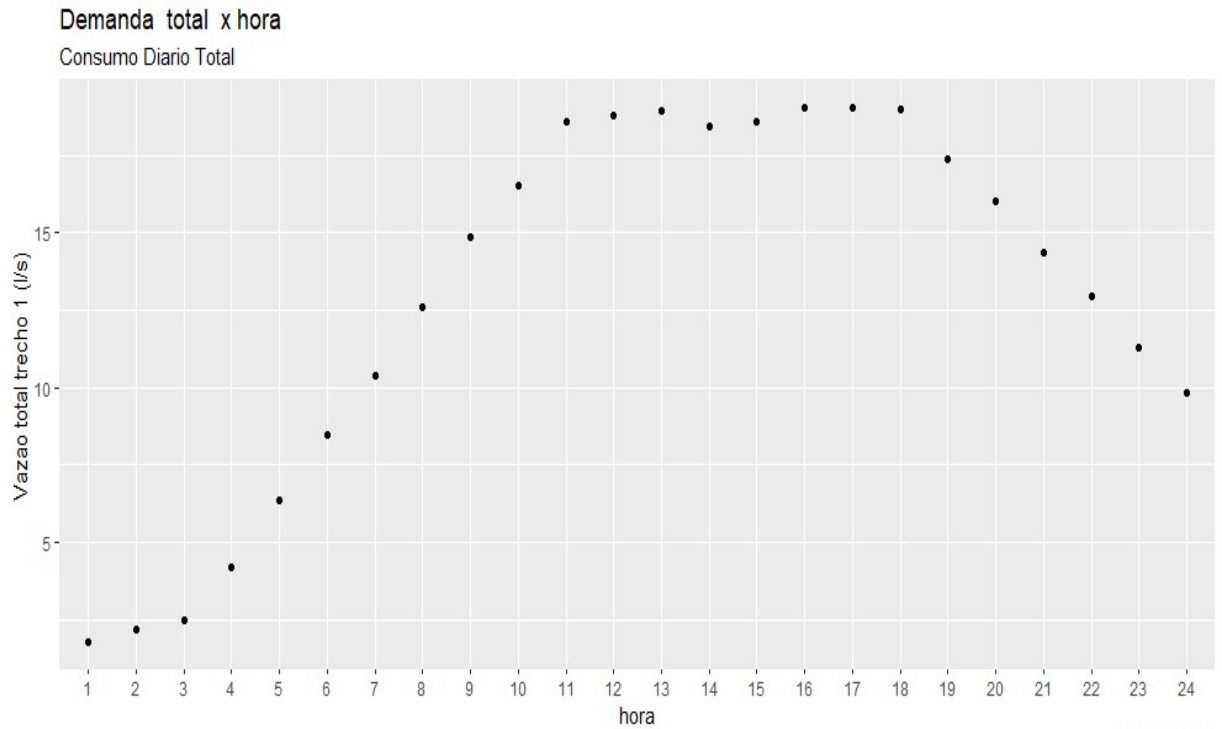
Figura 44– Dispersão da demanda diária por nós.



Autor: Claudio

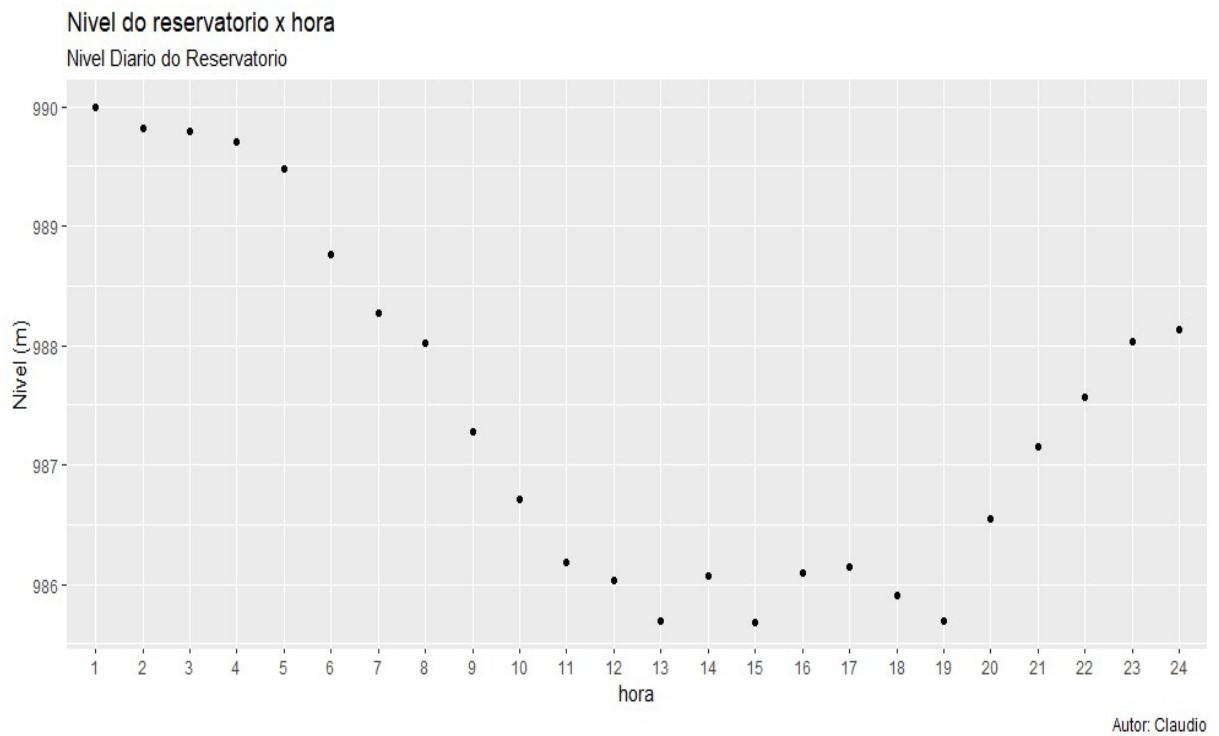
Fonte - Autor (2022)

Figura 45 – Vazão do trecho 1 diário (saída do reservatório).



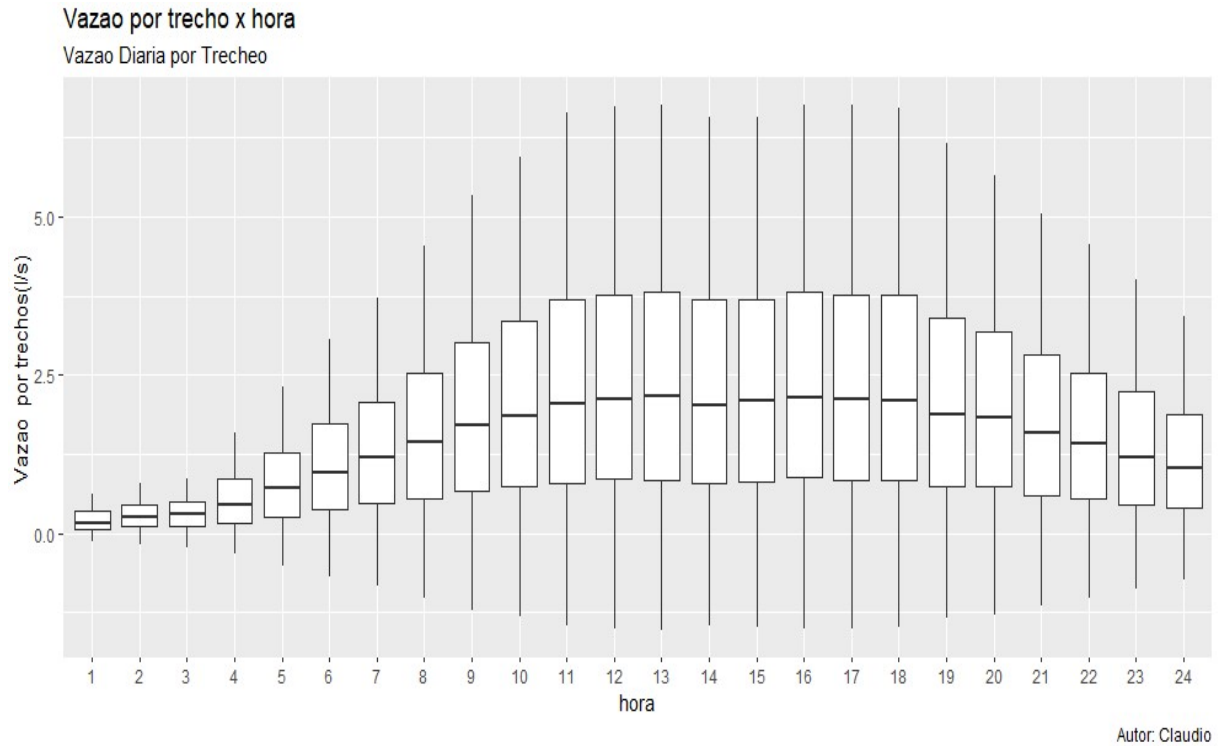
Fonte - Autor (2022)

Figura 46 - Nível diário do reservatório.



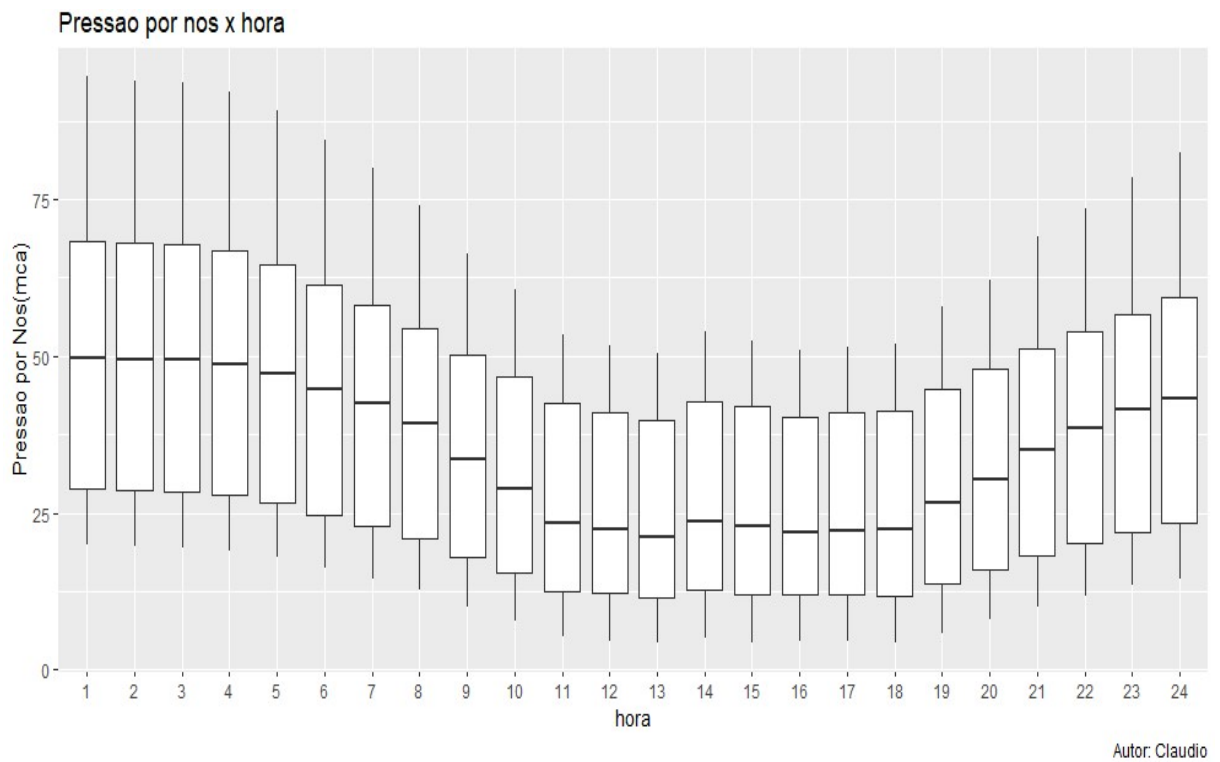
Fonte - Autor (2022)

Figura 47- Dispersão da vazão diária por trechos.



Fonte - Autor (2022)

Figura 48– Dispersão da pressão diária por nós.



Fonte - Autor (2022)

Os resultados da simulação do **cenário 5**, (demanda diária) estão demonstrados nas **Tabelas 4 e 5**.

Tabela 4- Resultado do cenário 5 (Demanda diária).

Rede	Nível (máx.) Reservatório (m)	Nível (min.) Reservatório (m)	Pressão (min.) por nó (mca)	Pressão (máx.) por nó (mca)
Valores	90,00	85,67	4,17	94,56

Demanda (min) por nó (l/s)	Demanda (máx.) por nó (l/s)	Demanda (máx.) por trecho (l/s)	Demanda (min.) saída trecho 1 (l/s)	Demanda (máx.) saída trecho1 (l/s)
0.13	1,96	6,77	1,75	19,05

Fonte- Autor (2022)

Tabela 5 - Desvio padrão da demanda diária.

Desvio padrão Demanda por nó	Desvio padrão da Pressão por nó	Desvio padrão do Nível
1,30 ± 0,59	36,92 ± 22,44	87,44 ± 1,48

Fonte - Autor (2022)

Na análise dos resultados da simulação diária, tanto a demanda quanto o nível influenciaram diretamente e inversamente no comportamento dispersão da pressão.

A demanda influencia diretamente na dispersão de vazão por trechos.

Foi possível visualizar graficamente e didaticamente o comportamento de uma rede abastecimento. Os dados foram salvos em arquivos formato xlsx (excel), usando o comando (*writexl::*) e exportado para um banco de dados *SQL SERVER*, onde foram armazenados como ilustrados nas **Figuras 49 e 50**.

Figura 49 – Banco de dados *SQL SERVER* (Nós)

The screenshot shows the Microsoft SQL Server Enterprise Manager interface. The 'Pesquisador de Objetos' (Object Explorer) on the left displays the server hierarchy for 'DTI129-79 (SQL Server 15.0.2095 - DTI129-79\klaud)'. The 'Tabelas' (Tables) folder is expanded, showing 'dbo.TABELA DE NOS (l/s, mca, m)' selected. The main window displays the results of a query in a grid format. The status bar at the bottom indicates the connection to 'DTI129-79 (15.0 RTM) DTI129-79\klaud (52) Rede (DEMANDA DIARIA)' with a duration of 00:00:00.2.

	R1#hora	R1#Demanda	R2#hora	R2#Pressao	R3#hora	R3#Nivel
1	1	0,132955327630043	1	19,8648738861084	1	990
2	1	0,177984029054642	1	19,9194622039795	1	990
3	1	0,218318030238152	1	24,8597984313965	1	990
4	1	0,228170365095139	1	40,7599678039551	1	990
5	1	0,162005305290222	1	54,8275337219238	1	990
6	1	0,175716325640678	1	44,7627258300781	1	990
7	1	0,141563445329666	1	64,5882949829102	1	990
8	1	0,204009532928467	1	69,7293853759766	1	990
9	1	0,143539607524872	1	89,5387268066406	1	990
10	1	0,167322918772698	1	94,5697021484375	1	990

Fonte – Autor, 2022

Figura 50 – Banco de dados *SQL SERVER* (Trechos)

The screenshot shows the Microsoft SQL Server Enterprise Manager interface. The 'Pesquisador de Objetos' (Object Explorer) on the left displays the server hierarchy for 'DTI129-79 (SQL Server 15.0.2095 - DTI129-79\klaud)'. The 'Tabelas' (Tables) folder is expanded, showing 'dbo.TABELA DE NOS (l/s, mca, m)', 'dbo.TABELA DE TRECHOS (l/s)', and 'dbo.TABELA DO TRECHO 1 (l/s)'. The main window displays the results of a query in a grid format. The status bar at the bottom indicates the connection to 'DTI129-79 (15.0 RTM) DTI129-79\klaud (65) Rede (DEMANDA DIARIA)' with a duration of 00:00:00 and 360 lines of data.

	R4#hora	R4#Vazao	R9#hora	R9#Vazao#T
1	1	0,450926184654236	1	-1,7590389251709
2	1	0,526929259300232	2	-1,7590389251709
3	1	0,302272945642471	3	-1,7590389251709
4	1	0,638404250144959	4	-1,7590389251709
5	1	0,298811376094818	5	-1,7590389251709
6	1	-0,073983907699585	6	-1,7590389251709
7	1	0,246269881725311	7	-1,7590389251709
8	1	0,175674721598625	8	-1,7590389251709
9	1	0,116377703845501	9	-1,7590389251709
10	1	0,361947000026703	10	-1,7590389251709
11	1	-0,129762768745422	11	-1,7590389251709
12	1	0,104710228741169	12	-1,7590389251709
13	1	0,02770826220512...	13	-1,7590389251709
14	1	0,177235886454582	14	-1,7590389251709
15	1	-0,0739473626017...	15	-1,7590389251709

Fonte – Autor, 2022

6. CONCLUSÃO

No estudo foi avaliada a viabilidade de metodologia para banco de dados associando as ferramentas *Epanet* e *R*.

Foram feitas a simulações utilizando-se recursos dos softwares *Epanet* e *R* acoplados, através dos pacotes *epanetReader*, *epanet2toolkit*, *tidyverse*, *ggplot2*, *dplyr*.

As ferramentas foram escolhidas pela realização de simulações hidráulicas (no caso *Epanet*) e pela potencialidade de análise estatística, no caso do *R*.

Não foi encontrado na literatura aplicações utilizando *Epanet* e *R* para esta finalidade.

Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade destas ferramentas para análise de dados em um sistema de abastecimento de água, tendo em vista a quantidade de informações diárias de informações que podem ser geradas. As simulações hidráulicas de cenários geradas pelo *Epanet* representam situações do dia dia e o *R* auxilia no tratamento estatístico dos dados.

Tal funcionalidade contribui para etapa que antecede subsídios para o gestor de sistemas hídricos e energéticos tomaram decisões.

Portanto, no que tange à gestão dos recursos hidroenergético, os diversos conhecimentos produzidos através desta pesquisa científica poderão tornar-se bastante úteis, uma vez que apresenta uma ferramenta inteligente e eficiente para a automatização dos processos de simulação, análise e estatística dos sistemas de abastecimento.

Desse modo, a ferramenta desenvolvida e testada demonstrou grande potencial em agregar benefícios à organização, na medida em que auxilia no planejamento, evitando desperdícios e aumentando os índices de controle de qualidade ao longo do processo.

Recomenda-se em futuros trabalhos:

- Testar novos cenários relacionados a outros parâmetros;
- Fazer aplicação para rede real ou de maior porte e
- Desenvolver aplicativo com melhor interface ao usuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANDIA, E. ECK, B.J. **An R package for EPANET Simulations**: Utah, v. 107, p. 59-63, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815218300963>. Acesso em: 10 fevereiro de 2022.

ARANDIA, E. et al. **Tailoring Seasonal Time Series Models to Forecast Short- Term Water Demand**. J. Water Resour. Plann. Manage.,10.1061/(ASCE)WR.1943- 5452.0000591, 04015067, C, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/286650169>. Acesso em: 10 fevereiro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12218: **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público**: Procedimento. Rio de Janeiro, p-4, 1994.

BACURAU, R. M; LEAL, B. G; CORREIA, F. P. **Sistema Web Embarcado Para Controle e Supervisão de Estações Elevatórias de Distribuição de Água**. Art. (Projeto de iniciação Científica), UNIVASF, Juazeiro,BA, 2011.

BARBEDO, M. D. G. **Estudos De Calibração De Redes De Abastecimento De Água Utilizando O Acoplamento Dos Softwares R E Epanet.**, Dissertação de mestrado (Meio Ambiente e Recursos Hídricos),UNIFEI, Itajubá, MG, 2021.

CERULLO,G:MAZZEO,G: PAPAIE, G: CRISTALDI, L.S. R. A. **SecureCloud-Based SCADA Application: the Use Case of a WaterSupply Network**, Conferência: Novas Tendências em Metodologias, Ferramentas e Técnicas de Software: Volume-286 ,p-291,Univesity Naples, 2016.

Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/308378607_A_Secure_Cloud-Based_SCADA_Application_the_Use_Case_of_a_Water_Supply_Network. Acesso em: 05 maio de 2021.

COELHO, R.J .C. **MONITORAMENTO REMOTO DE PRESSÃO EM ADUTORAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA TRATADA**.TFG (TECNOLOGIA EM REDES DE COMPUTADORES),UFSM, RS, 2014.

CRAN. **Comprehensive R Archive Network (CRAN)**. Disponível em: <https://cran.r-project.org/>. Acesso em: 05 maio de 2021.

CISTY, M; CELAR, L . **Using R in Water Resources Education**, International Journal for Innovation Education and Research, Vol 3, No 10, Slovak Republic, 2015.

DATE, C. J.. **INTRODUÇÃO A SISTEMAS DE BANCOS DE DADOS**. 8. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

DIUANA, F. A; OGAWA, S. C. C. P. **Análise comparativa dos modelos hidráulicos EPANET, WaterCAD e sistema UFC para sistemas de abastecimento de água – Rede de distribuição**. 2015. TFG(Engenharia Ambiental) Rio de Janeiro (RJ): Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

ECK, B. J. **An R package for Reading EPANET**. files .v84. p149-154, 2016.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.06.027>. Acesso em: 04 maio de 2021.

ECK, B. J. **Water demand and network modeling with R**. International Congress on Environmental Modelling and Software, 2018. Disponível em: <https://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2018/Stream-B/34>. Acesso em 05 maio de 2021.

FURUSAWA, Rubens Tadashi. **Contribuição ao dimensionamento de rede de distribuição de água por critério de custo global**. 2011. 207 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica de da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. GARCEZ, Lucas Nogueira. Elementos de engenharia hidráulica e sanitária. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1974 356p, 2011.

GUIDI, J. M. M. **Análise Da Variação Do Consumo De Água Utilizando Dados Obtidos Por Sistemas Supervisores Remotos**. Dissertação de mestrado (Engenharia Civil) UNICAMP, Campinas, SP, 2016.

HELLER, L; PÁDUA, V, L. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. 2. Ed. UFMG. Belo Horizonte, MG, 2010.

HENNING, E. et al. **Para além da computação estatística: o uso do ambiente R para o ensino de métodos numéricos**. RENOTE, Porto Alegre, v. 14, n. 1, 2016.

HYNDMAN R. J and KHANDAKAR. Y. **Automatic time series forecasting: the forecast package for R**. Journal of Statistical Software, 26(3), pp. 1-22, 2008.

Kara, S. I; Karadirek, E; Muhammetoglu, A; Muhammetoglu, H. **Real Time Monitoring And Control In Water Distribution Systems For Improving Operational Efficiency, Desalination And Water Treatment**, DOI: 10.1080/19443994.2015.1069224 To link to this article. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/19443994.2015.1069224>, Acesso em 03 maio de 2021.

KONRATH, A. C., SILVA, S. A. da, HENNING, E., SANTOS, L. M. dos, MIRANDA, R. G. de, & SAMOBYL, R. W. **Desenvolvimento de Aplicativos Web Com R e Shiny: inovações no ensino de Estatística**. Abakós, 6(2), 55-71. (2018), Disponível em: <https://doi.org/10.5752/P.2316-9451>. 2018. v6. n2. p55-71, Acesso em 03 maio de 2021.

KOO, D; PIRATL A, K; MATTHEWS, J. **Towards Sustainable Water Supply: Schematic Development of Big Data Collection Using Internet of Things (IoT)**. (ScienceDirect) ProcediaEngineering. files, v118, p489 – 497, 2015.

LEHNS, **Laboratório de eficiência energética e Hidráulica em saneamento. EPANET 2.0**. Disponível em: http://ct.ufpb.br/lenhs?page_id=34. Acesso em 03 maio de 2021.

MACEDO, L, Q. **Avaliação Hidráulica De Rede Teórica Com Acoplamento De Módulo Epanet Ao Programa R**. TFG (Engenharia Ambiental), UNIFEI, Itajubá, MG, 2021.

- MCKENNA, S.A., F FUSCO, BJ ECK (2013) “**Water demand pattern classification from smart meter data**” *Procedia Engineering* 70, 1121-1130. R Core Team, 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013.
- MILANE, A. **GUIA DO PROGRAMADOR**, livro. 1 ed, p 22 – p 26 , São Paulo, SP, 2006
- NOVAIS, Diogo. **Sistema de obtenção de dados e controlo remoto de contadores inteligentes**.TDM (Informática Aplicada),ESTGOH, Coimbra, Portugal, 2019.
- PETTA, A. R; CUNHA, J. A; THOMAS, F.C.C; NASCIMENTO, P. S. R. **Sistema De Gerenciamento Da Infra Estrutura Da Rede De Abastecimento Da Companhia De Águas Do RN (CAEERN)**, Artigo, Revista de Geologia V.23, N1 102-114,Natal,RN, 2010.
- PORTAL TRATAMENTO DE AGUA. **Sistemas Scada, automação e telemetria: importância e resultados na operação e na gestão do abastecimento em áreas com grande concentração populacional**. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/04/9906.pdf>. Acesso em 04 abril de 2022.
- PUIG,P. M; SARRI, A. M; SERRA, M. S. **Article Double Tensor- Decomposition For Scada Data Completion In Water**, Revista, V.12 P.80 MDPI. Disponível em: <https://www.mdpi.com>, Brasília - Suíça, 2019. Acesso em 04 abril de 2021.
- RSTUDIO TEAM.RStudio**. Disponível em: <https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/>. Acesso em 04 abril de 2021.
- ROSSMAN, L. A. – **EPANET 2.0 – Manual do Usuário, traduzido e Adaptado por Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento**, UFPB, Brasil 2009.
- SILVA, F, G,B da; VALADÃO, M, N; BARROS, R, M. **Simulação hidráulica de redes de abastecimento de água com uso do epanet 2.0-Aplicação em Setores de Itajubá – M.G,2007**, disponível em https://www.academia.edu/30035030/Simulação_Hidráulica_De_Redes_De_Abastecimento_De_Água_Com_O_Uso_Do_Epanet_2.0_Aplicação_Em_Setores_De_Itajubá_MG. Acesso em 10 agosto, 2021.
- SLATER, L, J et al. **Using R in hydrology: a review of recent developments and future directions**, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 23, p2939–2963, 2019 Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-23-2939-2019>. Acesso em 04 maio de 2021.
- TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de água**. 4 ed. São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.