



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CAMPUS BALSAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

GUILHERME SOUSA SARAIVA

**DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE
ÁGUA DO RESIDENCIAL VENEZA, NO MUNICÍPIO DE
BALSAS-MA, ATRAVÉS DOS SOFTWARES QGIS E EPANET.**

BALSAS-MA

2021

Guilherme Sousa Saraiva

Dimensionamento da rede de distribuição de água do residencial Veneza, no município de Balsas-MA, através dos softwares QGIS e EPANET.

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Vinicius Farias de Albuquerque

Balsas-MA

2021

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA.

Saraiva, Guilherme Sousa.

Dimensionamento da rede de distribuição de água do residencial Veneza, no município de Balsas-MA, através dos softwares QGIS e EPANET / Guilherme Sousa Saraiva. - 2021. 63 f.

Orientador(a): Vinicius Farias de Albuquerque.
Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Maranhão, Balsas, 2021.

1. Dimensionamento. 2. Rede de distribuição. 3. Software. I. Albuquerque, Vinicius Farias de. II. Título.

Guilherme Sousa Saraiva

Dimensionamento da rede de distribuição de água do residencial Veneza, no município de Balsas-MA, através dos softwares QGIS e EPANET.

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 17 de setembro de 2021

Prof. Me. Vinicius Farias de Albuquerque – Orientador

Prof. Eng. Willame Braga – Examinador interno

Prof. Eng. Francisco de Assis Alves da Cunha – Examinador externo

Balsas-MA

2021

A minha família, em especial meus pais,
Raimundo Firme e Maria de Jesus, e a todos os
amigos que fizeram parte da minha trajetória.

RESUMO

O dimensionamento da rede de distribuição em um sistema de abastecimento de água é de suma importância, pois geralmente é a parte do sistema com maior custo de implantação, representando até 75% do valor total. Tendo como função conduzir a água até o ponto de consumo, o correto dimensionamento da rede implica em satisfação dos usuários e benefícios sociais ambientais e econômicos. Com o avanço da tecnologia o uso de softwares que auxiliam engenheiros e gestores no dimensionamento de redes e cadastro de banco de dados tem sido constantes. O objetivo do presente trabalho foi realizar o dimensionamento da rede de distribuição do residencial Veneza na cidade de Balsas-MA utilizando os softwares QGIS e EPANET. Para realização do trabalho foi feito o levantamento dos dados necessários para o dimensionamento da rede: população de projeto com previsão de crescimento em um horizonte de 20 anos, criação do Modelo Digital de Elevação (MDE) para auxiliar na alocação dos nós e reservatório da rede além de dados dos arruamentos e coordenadas geográficas do residencial. Esses dados foram inseridos no software QGIS, onde através do *plug-in* QWater presente no QGIS foi gerado o modelo de rede de distribuição de água da localidade. Posteriormente, esse modelo foi transferido para o software EPANET, onde foi realizada uma simulação hidráulica estática. Por fim, foi feita a análise dos resultados obtidos verificando os valores de pressão, velocidade, perda de carga dentre outros. A integração entre os softwares foi importante para realização do dimensionamento da rede, facilitando o procedimento de cálculo e a análise dos diversos parâmetros hidráulicos da rede de distribuição. O uso dos softwares QGIS e EPANET se mostrou relevante para os profissionais e gestores que trabalham com sistemas de abastecimento de água, especialmente rede de distribuição.

Palavras-chave: dimensionamento; rede de distribuição; *software*.

ABSTRACT

The dimensioning of the distribution network in a water supply system is of paramount importance, as it is usually the part of the system with the highest implementation cost, representing up to 75% of the total value. With the function of conducting water to the point of consumption, the correct dimensioning of the network implies user satisfaction and social, environmental and economic benefits. With the advancement of technology, the use of software that helps engineers and managers in the dimensioning of networks and database registration has been constant. The objective of this work was to carry out the dimensioning of the distribution network of the residential Veneza in the city of Balsas-MA using QGIS and EPANET software. To carry out the work, the necessary data for the dimensioning of the network were collected: project population with growth forecast in a 20-year horizon, creation of the Digital Elevation Model (DEM) to assist in the allocation of nodes and reservoir of the network as well as data on the residential streets and geographic coordinates. These data were entered into the QGIS software, where, through the QWater plug-in present in QGIS, the water distribution network model of the location was generated. Later, this model was transferred to the EPANET software, where a static hydraulic simulation was performed. Finally, the analysis of the results obtained was performed, verifying the values of pressure, velocity, pressure drop, among others. The integration between the software was important to carry out the dimensioning of the network, facilitating the calculation procedure and the analysis of the various hydraulic parameters of the distribution network. The use of QGIS and EPANET software proved to be relevant for professionals and managers who work with water supply systems, especially the distribution network.

Keywords: dimensioning; distribution network; software.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. JUSTIFICATIVA	12
3. OBJETIVOS	13
3.1. OBJETIVO GERAL.....	13
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
4.1. ABASTECIMENTO DE ÁGUA	14
4.1.1. Histórico	14
4.1.2. Necessidade e utilização da água.....	15
4.1.3. Abastecimento de água e saúde	16
4.2. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	16
4.3. PARTES DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.	17
4.3.1. Manancial	17
4.3.2. Captação	18
4.3.3. Estação elevatória.....	19
4.3.4. Adutora	19
4.3.5. Estação de tratamento de água (ETA)	20
4.3.6. Reservatório.....	20
4.3.7. Rede de distribuição	21
4.4. DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO	22
4.4.2. Delimitação da área a ser abastecida	23
4.4.3. Análise Hidráulica e Perdas de Carga	23
4.4.4. Pressões mínimas e máximas na rede.....	24
4.4.5. Velocidades máximas e mínimas	24
4.4.6. Diâmetro mínimo.....	25

4.5. NORMAS BRASILEIRAS PARA PROJETOS DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	26
4.6. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	27
4.7. QGIS	28
4.8. EPANET	30
5. METODOLOGIA	32
5.1. ÁREA DE ESTUDO	32
5.2. MATERIAIS	33
5.2. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	34
5.3. POPULAÇÃO DE PROJETO	34
5.4. CONSUMO PER CAPITA	35
5.4. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	36
5.5. INSERÇÃO DO RESERVATÓRIO, TRECHOS E NÓS DA REDE NO QGIS	42
5.6. INSERÇÃO DA REDE NO EPANET	44
6. RESULTADOS	46
6.1. POPULAÇÃO DE PROJETO E CONSUMO PER CAPITA	46
6.2. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	47
6.3. MODELAGEM DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO NO QGIS	49
6.4. ANÁLISE HIDRÁULICA DA REDE NO EPANET	51
7. CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

Saneamento básico é entendido como o conjunto de ações essenciais com objetivo de garantir proteção à saúde e bem estar das pessoas, ao meio ambiente e recursos naturais. Tais ações se desempenham como serviços prestados a sociedade, sendo eles, abastecimento de água, coleta e tratamento do esgoto, coleta, limpeza urbana e disposição final dos resíduos sólidos e drenagem urbana (BRASIL, 2011).

A água é um elemento fundamental na manutenção das formas de vida animal e vegetal no planeta Terra, porém, quando se trata de água para consumo humano, é necessário que a água seja captada do manancial, tratada de acordo com os padrões de potabilidade exigidos pela legislação vigente e transportada até os consumidores. (BRASIL, 2019).

Um sistema de abastecimento de água deve garantir o abastecimento da população de projeto em quantidade e qualidade suficientes e, além disso, ter subsídios que permitam o acompanhamento de sua operação e solução adequada de problemas, facilitando sua manutenção e impedindo que a população fique desabastecida. (COSTA, 2015).

No Brasil, garantir o abastecimento de água de toda a população ainda é uma meta a ser alcançada, mesmo com avanços tanto legais como técnicos. O diagnóstico dos serviços de água e esgoto realizado pelo sistema nacional de informações sobre saneamento (SNIS), mostra que em uma amostra de 5.177 municípios brasileiros aproximadamente 83,7% tem sistema de abastecimento de água com rede de distribuição, na região Nordeste esse percentual cai para 73,9%, contando área urbana e rural dos municípios. Contudo essa realidade pode ser ainda pior, pois em muitas cidades, as redes de distribuição são insuficientes para atender a população de forma contínua e eficiente. (BRASIL, 2020).

Contudo, esse não é o único problema. A falta dos dados dos sistemas de abastecimento de água existentes dificulta a manutenção dos mesmos, tornando-os suscetíveis a falhas, além do fato de que grande parte das redes de distribuição de água no Brasil são antigas, causando grandes índices de perdas (HELLER; PÁDUA, 2010).

Desta forma, é importante que se pense na universalização do abastecimento de água de uma forma integrada com ferramentas que permitam a criação de bancos de dados e de simulação por modelos hidráulicos, que estejam disponíveis para consulta dos profissionais da área.

O residencial Veneza, no município de Balsas-MA, possui um sistema de abastecimento de água implantado e neste trabalho será o dimensionamento da rede de

distribuição de água desse bairro, utilizando o software QGIS e, posteriormente, esse modelo será exportado para o software de modelagem hidráulica EPANET para a realização de uma simulação hidráulica estática da rede e análise dos relatórios gerados pelo programa.

Com isso, pretende-se estimular os estudos e o uso desses softwares pelos estudantes e profissionais da engenharia civil e aproximar também os gestores públicos dessas ferramentas que podem contribuir para uma adequada gestão dos sistemas de abastecimento de água.

2. JUSTIFICATIVA

A falta dos serviços de saneamento básico, que incluem os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo dos resíduos sólidos e drenagem das águas pluviais, podem acarretar em problemas de cunho sociais econômicos e ambientais, no Brasil existe uma grande demanda por esses serviços essenciais, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do país (BRASIL, 2019).

Os serviços de abastecimento de água para consumo humano são essenciais, Heller e Pádua (2010) mostra que existe uma relação entre a oferta de água e melhora na saúde e consequentemente qualidade de vida das pessoas. Dessa forma, encontrar soluções que facilitem o acesso à água em quantidade e qualidade necessária para seu uso é de suma importância.

Os avanços tecnológicos vêm de encontro a essas necessidades, o desenvolvimento de softwares que auxiliam na execução de projetos de redes de abastecimento de água são cada vez maiores. Um dos grandes tabus a serem quebrados é a disponibilização desses softwares, que são em sua maioria pagos, e custam altos valores.

Dessa forma, neste trabalho foram utilizados dois softwares de licença livre que podem ser usados para dimensionamento e modelagem hidráulica de uma rede de abastecimento de água, situada em um bairro do município de Balsas-MA. Além disso, o software QGIS é um software que atua como uma plataforma SIG (sistema de informações geográficas) e pode fazer a integração dessa rede de abastecimento a bancos de dados e informações geográficas, abrindo um leque de possibilidades de estudos e análises em diversas áreas do conhecimento.

A escolha do residencial Veneza para elaboração do trabalho se deu pela possibilidade de se obter informações junto à prefeitura a respeito do mesmo, que não seria possível em outros bairros do município.

3. OBJETIVOS

Antes do início do desenvolvimento do projeto foram traçadas metas e objetivos a serem cumpridos, como forma de organização do trabalho.

3.1. OBJETIVO GERAL

Criar um modelo de simulação hidráulica da rede de abastecimento de água do residencial Veneza, situado no município de Balsas-MA, através dos softwares de QGIS e EPANET.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer um levantamento dos dados de projeto da rede de abastecimento de água do residencial Veneza
- Realizar o dimensionamento da rede de abastecimento de água utilizando o software QGIS através do *plug-in* QWater existente no próprio software.
- Exportar a rede criada no QGIS para o EPANET, realizar uma simulação estática da rede e analisar os relatórios gerados.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Ao longo desse referencial teórico, abordaremos algumas relações entre o consumo da água e o ser humano, alguns parâmetros e componentes de uma rede de distribuição de água, além de introduzir conceitos relativos aos softwares QGIS e EPANET.

4.1. ABASTECIMENTO DE ÁGUA

4.1.1. Histórico

A água é um dos bens naturais mais preciosos da humanidade, sendo que o próprio crescimento das civilizações está atrelado à disponibilidade de água. No momento em que o ser humano deixa de viver de forma nômade e passa a viver de forma sedentária, localidades próximas a fontes de água foram preferíveis para sua instalação e formação de comunidades (HELLER; PÁDUA, 2010).

Os sistemas de abastecimento de água foram sendo desenvolvidos ao longo do tempo. O Quadro 1 a seguir relata momentos históricos importantes no desenvolvimento dos sistemas de abastecimento de água (COSTA 2015; TSITUIYA, 2006).

Quadro 1 - Avanços nos sistemas de abastecimento de água.

LOCAL	ANO	AVANÇO NO SISTEMA
Roma	100 d.C.	Construção dos aquedutos romanos datados de 100 d.C., que utilizavam canais com escoamento livre para levar água a reservatórios, de onde era distribuída à população por meio de tubulações aterradas de chumbo ou cerâmica utilizando somente a gravidade.
Rio de Janeiro	1561	Primeiro poço para abastecimento de água escavado no país a mando de Estácio de Sá, sendo o pontapé inicial para criação dos sistemas de abastecimento de água no Brasil.
Rio de Janeiro	1673	Início da construção do primeiro aqueduto do Brasil, hoje conhecido como Arcos da Lapa.
São Paulo	1744	Primeiro chafariz público construído no Brasil.
São Paulo	1842	Realização do primeiro projeto de adução e distribuição de água para a cidade.

São Paulo	1857	Início das obras de construção do sistema Cantareira, primeiro sistema de abastecimento de água encanada construído no país.
Rio de Janeiro	1876	Primeira estação de tratamento de água (ETA) do mundo, construída no rio de Janeiro.

Fonte: Autor, 2021.

Como mostrado no Quadro 1, o desenvolvimento dos sistemas de abastecimento de água foi evoluindo ao longo do tempo e alguns conceitos como a utilização da gravidade no transporte de água são até hoje amplamente utilizados.

4.1.2. Necessidade e utilização da água

Com a industrialização dos meios de produção, incentivo ao turismo utilizando os meios naturais, principalmente os ambientes aquáticos, como forma de lazer, além do crescimento exponencial da população, a necessidade da água em quantidade e qualidade é cada vez maior. (HELLER; PÁDUA, 2010).

Segundo Heller e Pádua (2010) podemos dividir as necessidades quanto ao uso da água em dois tipos:

- Consuntivos – É necessária a retirada da água dos mananciais para sua utilização, como: irrigação, abastecimento humano e utilização na indústria.
- Não consuntivos – Não é necessária a retirada da água para sua utilização, como: pesca, lazer e navegação.

Considerando os usos consuntivos da água, a Agência Nacional da Água (ANA), no seu informe publicado no ano de 2011, mostra que da vazão de consumo, vazão que foi retirada dos mananciais e realmente utilizada, 72% foi utilizada na demanda de irrigação, 11% para dessedentação animal, 9% abastecimento urbano e 1% abastecimento rural (ANA, 2011).

Quando se trata de desperdício da água, o abastecimento urbano e industrial são os que apresentam maiores índices de desperdício, em torno de até 80%, em contrapartida os demais usos como dessedentação animal e irrigação apresentam medias de até 49% de desperdício (ANA, 2011).

Segundo Costa (2015), a irrigação é a atividade que hoje requer maior demanda pelos recursos hídricos, no mundo inteiro, podendo chegar a índices de até 80% em países desenvolvidos. As atividades de abastecimento da população, para higiene e consumo representam em média apenas 10% da demanda pela água.

4.1.3. Abastecimento de água e saúde

Por todo o mundo, morrem milhares de pessoas todos os anos vítimas de doenças transmitidas ou agravadas pela falta de saneamento básico, especialmente falta de abastecimento de água e esgotamento sanitário. A falta de sistemas de abastecimento contínuo de água faz com que as pessoas armazenem água para seu consumo, muitas vezes em reservatórios não adequados, estando propícios aos mosquitos transmissores de várias doenças como a dengue por exemplo. A falta de água acarreta na má higienização podendo provocar doenças infecciosas na pele, nos olhos entre outras. Além disso, existem as doenças transmitidas através da ingestão de água contaminada, entre elas estão cólera, febre tifoide, hepatite A e etc. (TSUTIYA, 2006).

A água contaminada pode causar danos mais imediatos, poucas horas após a ingestão, mas também apresenta riscos de médio e longo prazo, podendo gerar vários problemas de intoxicação durante longos períodos de tempo, principalmente quando a contaminação da água tem origem química. Por outro lado, o uso inadequado da água ou sua escassez normalmente estão associados a doenças de origem biológica (BRASIL, 2019).

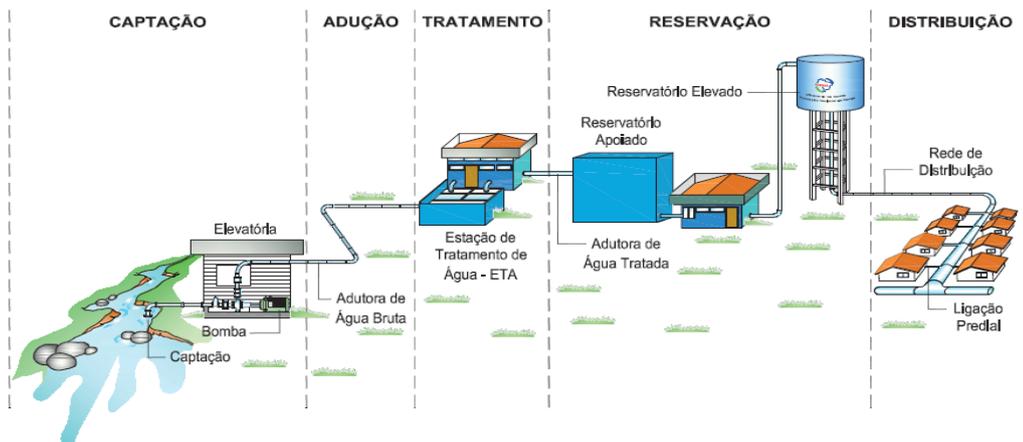
4.2. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O ponto inicial a ser destacado em qualquer programa de saneamento básico é o fornecimento de água para a população, que deve ser feito através de um sistema de abastecimento de água que, segundo a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), é definido da seguinte forma.

O sistema de abastecimento de água para consumo humano é um dos componentes do saneamento básico e consiste em um conjunto de infraestruturas, obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinado à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição. No geral, é composto das seguintes unidades: captação, adução, tratamento, reservação, rede de distribuição, estações elevatórias e ramal predial (BRASIL, 2019, p. 56).

A Figura 1 a seguir mostra as várias partes de um sistema de abastecimento de água.

Figura 1 - Unidades de um abastecimento de água.



Fonte: BRASIL, 2019.

Nota-se que um sistema de abastecimento de água depende da existência de um manancial e possui as seguintes etapas: captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água, reservatório e rede de distribuição.

Segundo Tsutiya (2006), para a concepção de um sistema de abastecimento de água, deve-se realizar uma série de estudos no sentido de definir os parâmetros, as diretrizes e todas as definições que são necessárias a fim de se obter os dados que venham a caracterizar esse sistema de abastecimento, facilitando inclusive na sua manutenção futura.

Um sistema de abastecimento de água pode ser dimensionado para atender desde pequenas comunidades até grandes conglomerados urbanos, caracterizando-se pela captação da água junto a um manancial, adequação da sua qualidade tornando-a potável, transporte e fornecimento à população em quantidade suficiente e de forma constante (TRATA BRASIL, 2012).

4.3. PARTES DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.

Um sistema de abastecimento de água como definido anteriormente é um conjunto de obras de engenharia e maquinários que quando operam juntos levam a água de um ponto a outro. Exemplificaremos agora as partes de um sistema de abastecimento de água.

4.3.1. Manancial

Os mananciais são as reservas hídricas naturais, onde é captado o volume de água solicitado em um projeto de sistema de abastecimento, atentando-se também à qualidade da

água captada. Podem ser divididos em mananciais superficiais, que são os córregos, rios, riachos, lagos, reservatórios artificiais e etc., e mananciais subterrâneos onde, através de poços rasos ou artesianos, a água é retirada do subsolo para atender à demanda do projeto. Na escolha do manancial adequado devem ser levados em consideração: qualidade da água oferecida, vazão mínima do manancial, distância do manancial à estação de tratamento e valores gastos com a captação da água (BRASIL, 2019).

De acordo com o Instituto Trata Brasil, a água ocupa quase 80% da superfície terrestre, sendo que 97% desse total encontram-se nos mares e o restante corresponde às águas doces. Dos 3% de água doce disponível, 2,7% encontra-se nas geleiras, no vapor d'água e nos aquíferos de grandes profundidades (mais de 800m), o que torna inviável economicamente seu uso para o consumo humano. Logo, somente 0,3% da água do planeta está disponível para consumo, sendo 0,01% em mananciais superficiais e 0,29%, em mananciais subterrâneos (TRATA BRASIL, 2012).

4.3.2. Captação

Segundo a (BRASIL 2019, p 71) a captação “É o conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao abastecimento coletivo ou individual”.

Existem várias formas de captação de água que deverão ser selecionadas em função do manancial disponível. O Quadro 2 a seguir mostra algumas formas de captação de acordo com a disponibilidade da fonte de água.

Quadro 2 - Formas de captação.

Fonte da água	Exemplo de formas de captação
Água de chuva	Superfície de coleta (cobertura)
Nascente de encosta	Caixa de tomada
Fundo de vales	Galeria filtrante
Lençol freático	Poço escavado
Lençol subterrâneo	Poço tubular profundo
Rios, lagos e açudes	Tomada direta (fixa ou móvel)

Fonte: BRASIL, 2019.

4.3.3. Estação elevatória

As estações elevatórias são um conjunto de obras e equipamentos que tem o objetivo de recalcar a água de um ponto geralmente o manancial, até um reservatório, ou em alguns casos ao ponto de consumo final, como é muito observado em obras nas áreas rurais, muitas vezes em um sistema de abastecimento de água de uso coletivo é necessário que haja mais que uma estação elevatória, dependendo das condições topográficas do terreno e tamanho da localidade (HELLER; PÁDUA, 2010).

Segundo Costa, (2015) uma estação elevatória é geralmente composta por três partes:

- Canalização de sucção: tubulação que faz a ligação entre o reservatório inferior e a bomba.
- Conjunto elevatório: constituído por uma ou mais bombas e motores.
- Canalização de recalque: tubulação que liga a bomba ao reservatório superior.

4.3.4. Adutora

As adutoras são constituídas de tubulações que tem a função de transferir a água entre as unidades do sistema de abastecimento de água que precedem a rede de distribuição (TSUTIYA, 2006).

A classificação das adutoras em função da origem da água transportada é feita da seguinte maneira:

- Adutora de água bruta - leva a água da captação no manancial até a estação de tratamento de água (ETA);
- Adutora de água tratada - leva a água da ETA até os reservatórios de distribuição.

Outra classificação das adutoras é dada levando em consideração a energia utilizada para escoamento da água (BRASIL, 2019):

- Adutora por gravidade - que se utiliza do desnível topográfico para que a água chegue de um ponto a outro.
- Adutora por recalque - que utiliza uma estação elevatória para recalcar a água de um ponto a outro de maior cota.
- Adutora Mista – Sistema que utiliza tanto a gravidade em alguns trechos, como estações elevatórias em outros.

4.3.5. Estação de tratamento de água (ETA)

As estações de tratamento são as responsáveis, por tornar a água adequada ao consumo humano, ou seja, potável, para isso existem uma serie de procedimentos que alteram as características, físicas, químicas, biológicas e organolépticas da água captada nos mananciais, de acordo com a necessidade. Alguns pontos como o econômico devem ser observados quando se vai fazer a escolha do tipo de tratamento a ser usado, tecnologicamente quase toda água pode ser tratada para consumo, no entanto alguns processos são inviáveis economicamente, daí a importância de analisar o primeiro item de um sistema de abastecimento de água que é a escolha do manancial (TSUTIYA, 2006).

4.3.6. Reservatório

Os reservatórios são os locais onde a água captada é armazenada, de modo que as variações entre consumo e captação de água sejam respeitadas sem prejudicar o seu fornecimento contínuo, além de servir como um regulador da pressão na rede de distribuição (BRASIL, 2019).

Segundo (BRASIL, 2019) Os reservatórios podem ser classificados de acordo com sua localização:

- Reservatório a montante – Localizado no início da rede de distribuição sendo responsável pelo abastecimento da rede.
- Reservatório a jusante – Localizado em algum ponto estratégico do sistema de abastecimento, podendo ser responsável pelo abastecimento da rede, ou mesmo receber água da rede.

Ou ainda de acordo com o padrão construtivo (BRASIL, 2019):

- Reservatório elevado – construído inteiramente acima da cota do terreno, comumente construído sobre pilares, muito utilizado devido à necessidade de aumentar a pressão na rede de abastecimento.
- Reservatório apoiado – construídos sobre o terreno, sua cota inferior esta no mesmo nível do terreno ou abaixo do mesmo.

4.3.7. Rede de distribuição

A rede de distribuição é a parte do sistema de abastecimento de água responsável por levar a água dos reservatórios até os ramais prediais em condições de continuidade, pressão adequada e qualidade para consumo. São compostas pelas canalizações, conexões, registros e peças especiais (ABNT, 2017).

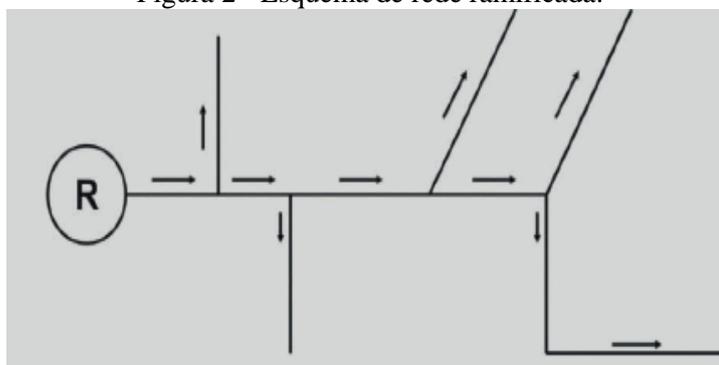
Segundo Tsutiya (2006) a rede de distribuição é o componente de um sistema de abastecimento de água, que possui o maior custo de implantação, representando entre 50 a 75% do custo total do sistema de abastecimento.

As etapas de constituição e os elementos necessários para elaboração do projeto de uma rede de distribuição estão definidos na NBR 12.218/2017 da ABNT.

As redes de distribuição podem ser classificadas como:

- Ramificadas – onde a partir de uma tubulação principal, existem ramificações com tubulações secundárias, sendo a rede de distribuição alimentada por um só ponto, conforme ilustrado na Figura 2. (BRASIL, 2019).

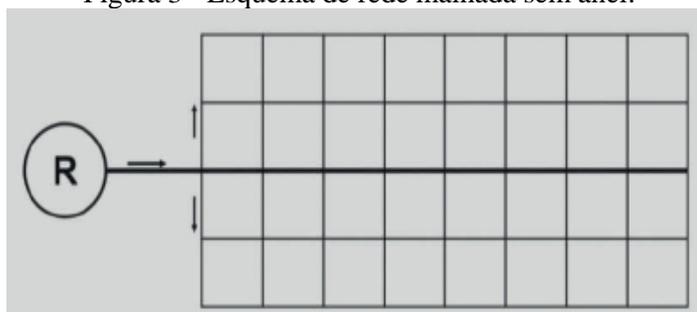
Figura 2 - Esquema de rede ramificada.



Fonte: BRASIL, 2019.

- Rede malhada sem anel – a partir de uma tubulação principal saem tubulações secundárias que circulam entre si, evitando extremidades mortas, conforme ilustrado na Figura 3 (BRASIL, 2019).

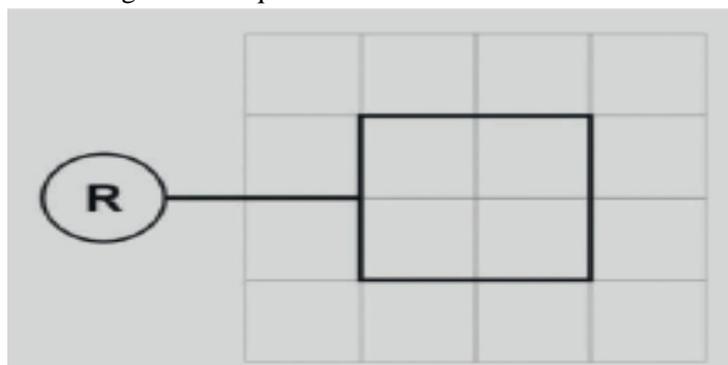
Figura 3 - Esquema de rede malhada sem anel.



Fonte: BRASIL, 2019.

- Rede malhada com anel – tem a vantagem de reduzir perdas de cargas na rede, pois um só ponto pode ser alimentado por diversas vias da tubulação, conforme ilustrado na Figura 4. (BRASIL, 2019).

Figura 4 - Esquema de rede malhada com anel.



Fonte: BRASIL, 2019.

4.4. DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

A NBR 12218 (ABNT, 2017) dá algumas recomendações e parâmetros a serem usados para o dimensionamento de uma rede de distribuição.

4.4.1 Vazões de distribuição

Segundo a NBR 12218 (ABNT, 2017) para que se estabeleçam as vazões de distribuição devemos considerar as vazões para atender áreas de expansão, consumidores singulares (grandes consumidores) e a vazão para atender a área projetada.

Segundo Heller e Pádua (2010) a fórmula para cálculo da vazão de distribuição é a seguinte.

$$Q = \frac{K1 * K2 * q * P}{86400}$$

Onde:

Q - vazão de distribuição (L/s);

$K1$ - coeficiente do dia de maior consumo = 1,2 (ABNT, 2017);

$K2$ - coeficiente da hora de maior consumo = 1,5 (ABNT, 2017);

P - população de projeto da área considerada (hab.);

q - consumo médio *per capita* de água (L/hab. dia).

Para obter a vazão específica relativa à extensão da rede, Q_m , utilizamos a seguinte fórmula. (TSUTIYA, 2006).

$$Q_m = \frac{K_1 * K_2 * q * P}{86400 * L}$$

O valor de L é dado pela extensão total da rede em metros. Q_m é a vazão de distribuição em marcha (L/s·m).

Para cálculo da vazão específica, Q_d , com relação à área utilizamos a seguinte expressão. (TSUTIYA, 2006).

$$Q_d = \frac{K_1 * K_2 * q * P}{86400 * A}$$

Onde Q_d é o valor da vazão específica de distribuição em L/s·ha; E A é igual ao valor da área a ser abastecida, em hectare.

Para obter a vazão nos nós da rede deve-se multiplicar a área que cada nó abastece pela vazão específica de distribuição Q_d nesse nó. Dessa forma é possível que ocorra, mais de uma vazão específica na área de influência de um mesmo nó, sendo assim a vazão concentrada será a soma das vazões encontradas em cada uma das parcelas correspondentes a área de mesma vazão específica. (TSUTIYA, 2006).

4.4.2. Delimitação da área a ser abastecida

A delimitação da área a ser abastecida é feita com o auxílio da planta topográfica da localidade, essa área deve incluir todos os arruamentos e áreas de possível expansão de crescimento, de acordo com as leis de uso e ocupação do solo e plano diretor do município a ser implantada a rede. (HELLER; PÁDUA, 2010).

4.4.3. Análise Hidráulica e Perdas de Carga

Segundo Tsutiya (2006), para fazer a análise hidráulica de uma rede de abastecimento, deve-se determinar os diâmetros das tubulações, cotas piezométricas dos nós e as vazões em cada trecho. A partir daí através de tentativas, a fim de se obter o menor custo possível na implantação da rede são feitas simulações, seguindo uma sequência de:

- Fixar os limites de pressão e velocidade de escoamento na rede
- Admitir valores de diâmetros para as tubulações em cada trecho, com base nas vazões já calculadas, em função das velocidades máximas permitidas.
- Calcular as pressões nos nós.

- Verificar se as pressões e velocidades estabelecidas estão de acordo, caso contrário, refazer o processo com novos diâmetros de tubulação.

Para cálculo das perdas de carga, após definido o diâmetro e o material da tubulação em cada trecho, a perda de carga poderá ser calculada, utilizando as tabelas de perdas de carga em canalizações, e as formulas de *Hazen Willians* e formula Universal da Perda de Carga. (COSTA, 2015).

4.4.4. Pressões mínimas e máximas na rede

No dimensionamento da rede de distribuição é importante delimitar as pressões, segundo a ABNT (2017), a rede deve atender a uma pressão estática máxima de 500 kPa (50 m.c.a), e a pressão dinâmica mínima deve ser de 100 kPa (10 m.c.a).

Tsutiya (2006) diz que o estabelecimento de uma pressão máxima se deve ao fator de resistência das tubulações, além do controle de perdas de carga. Atendidas as pressões mínimas, as pressões máximas devem ser as menores possíveis.

4.4.5. Velocidades máximas e mínimas

A determinação da velocidade está associada, tanto, ao custo na implantação da rede, quanto à segurança das tubulações e as perdas de carga. Velocidades altas no dimensionamento requerem tubulações de menor diâmetro, gerando menores custos de aquisição, porém causam aumento na perda de carga, ruídos nas tubulações, desgaste das mesmas pela abrasão e cavitação de peças e válvulas. (TSUTIYA, 2006).

Já baixas velocidades significam aumento na durabilidade das tubulações, minimizam efeitos ocasionados pelas variações de pressão e facilitam o deposito de materiais presentes na água. (TSUTIYA, 2006).

Segundo a NBR 12218 ABNT (2017) a velocidade mínima da água nas tubulações em uma rede de distribuição deve ser de 0,4 m/s e a velocidade máxima não pode exceder 3,5 m/s.

Tsutiya (2006) traz, conforme descrito na Tabela 1, uma correlação entre os diâmetros das tubulações e a velocidade máxima.

Tabela 1 - Velocidade máxima em função do diâmetro.

D (mm)	V_{máx} (m/s)	Q_{máx} (l/s)
50	0,50	1,0
75	0,50	2,2
100	0,60	4,7
150	0,80	14,1
200	0,90	28,3
250	1,10	53,9
300	1,20	84,8
350	1,30	125,0
400	1,40	176,0
450	1,50	238,0
500	1,60	314,0
550	1,70	403,0
600	1,80	509,0

Fonte: TSUTIYA, 2006.

Conforme mostrado na Tabela 1 acima, existe uma relação também entre o diâmetro da tubulação e a vazão máxima, sendo muito útil, na hora de fazer a análise hidráulica da rede.

4.4.6. Diâmetro mínimo

Para obtenção do diâmetro mínimo devem-se levar em consideração as perdas de cargas, e a necessidade das vazões a serem disponibilizadas aos usuários da rede, a velocidade e a pressão da água na rede de distribuição também possuem relação direta com o diâmetro das tubulações (COSTA, 2015).

Segundo a ABNT (2017), NBR 12218 a recomendação para diâmetro mínimo em redes de distribuição é de 50 mm em tubulações secundárias, não havendo recomendações de diâmetro para tubulações principais.

4.5. NORMAS BRASILEIRAS PARA PROJETOS DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é a responsável por mostrar as diretrizes e parâmetros, para confecção de trabalhos científicos e técnicos realizados no Brasil. Um projeto de rede de abastecimento de água é um trabalho técnico que é regido por algumas normas, que serão abaixo listadas.

- NBR 12211 do ano de 1992 – Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água.
- NBR 12212 do ano de 1992 – Projeto de poço para captação de água subterrânea.
- NBR 12213 do ano de 1992 – Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público.
- NBR 12214 do ano de 1992 – Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público.
- NBR 12215 do ano de 1991 – Projeto de adutora de água para abastecimento público.
- NBR 12216 do ano de 1992 – Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.
- NBR 12217 do ano de 1994 – Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público.
- NBR 12218 do ano de 2017 – Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.

Ao analisarmos as datas de publicações das normas técnicas referentes à implantação de sistemas de abastecimento de água, vemos que existe um atraso quanto ao avanço de todos os meios de produção e construção em relação às normas que os regem, estando nós no ano de 2021 com tecnologia muito superior à de décadas passadas, poderia ser um indicativo de que essas normas devem ser revistas e atualizadas.

No ano de 2020 foi assinada a lei federal de número 14.026/2020 lei essa que atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a lei federal de número 11.445/2007. Nessa lei são estabelecidos alguns novos parâmetros como: necessidade de metas de expansão dos serviços previstas em contrato, redução de perdas na água tratada prevista em contratos, reuso de efluentes sanitário, aproveitamento da água da chuva, metas de universalização dos

serviços de saneamento básico, delegação a Agência nacional das águas (ANA) a regulação dos serviços públicos de saneamento básico com autonomia administrativa, financeira e independência para tomar decisões, novas edificações condominial deverão a partir de agora adotar padrões sustentáveis incluindo de acordo com a lei 13.312/2016 o uso de unidades consumidoras individualizada por unidade mobiliária. Essa lei ficou conhecida como novo marco legal do saneamento básico no Brasil (BRASIL, 2020).

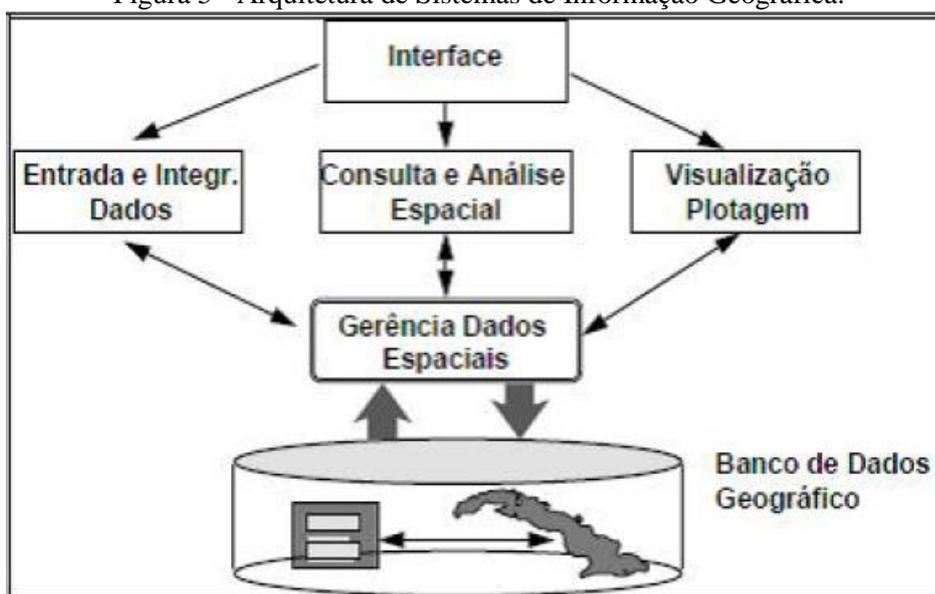
4.6. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

Com a evolução dos meios de produção e prestações de serviços, se torna cada vez mais importante o conhecimento de forma multidisciplinar e transversal, possibilitando o uso nas mais variadas aplicações, e isso é uma das principais vantagens dos sistemas de informações geográficas (SIG), possibilitando que uma determinada ferramenta possa manipular essas informações de forma diversificada, como é o exemplo do software QGIS, que pode manipular esses dados para vários fins.

Os SIG são banco de dados, que armazenam dados geográficos georreferenciados, e permitem que uma interface possa manipula-los para trazer ao usuário informações: sociais, econômicas, espaciais, ambientais e etc., todas através de um só banco de dados, facilitando o trabalho dos profissionais de todas essas áreas, daí a importância do desenvolvimento e estudo desses bancos de dados (OLIVEIRA, 2009).

Na Figura 5 abaixo exemplificaremos o funcionamento do SIG.

Figura 5 - Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica.



Fonte: RECESA.

Nakamura e Junior (2010) apontam alguns dos principais benefícios do uso do SIG.

- Criação de um único banco de dados com informações sociais, econômicas, espaciais e ambientais, georreferenciada, facilitando a ligação entre esses dados e o local a qual pertencem.
- Facilidade em consultar esses dados, seja por órgãos competentes, ou profissionais da área de estudo, ou até mesmo pelos cidadãos.
- Confiabilidade nos resultados obtidos com a manipulação dos dados do sistema.
- Produção de mapas temáticos, plantas cartográficas, de forma mais simples, automática e rápida.
- Possibilidade de recebimento de dados de naturezas diferentes, como dados tipo vetor (pontos, linhas, polígonos), *raster* (imagens que são representadas por pixels).
- Estabelecer uma inter-relação entre os dados no sistema, podendo processá-los de forma simultânea, abrindo um leque de possibilidades, e ajudando gestores nas tomadas de decisões.
- Informações a respeito da posição geográfica dos resultados obtidos
- A possibilidade do estudo de um lote de informações de forma integrada, como por exemplo, de uma baía hidrográfica completa, um bairro, uma quadra e etc.

Analisar as consequências antes de fazer intervenções principalmente no meio ambiente é de suma importância, com a ajuda dos SIG em conjunto com outras ferramentas de geoprocessamento, essa tarefa se torna mais simples e eficaz, permitindo uma noção mais completa dessas consequências, ajudando a prever e solucionar futuros problemas, de maneira efetiva o desenvolvimento do SIG tende a trazer grandes benefícios, não só para os profissionais gestores e executores, como para toda sociedade (RECESA).

4.7. QGIS

Tendo em mente a importância do SIG o QGIS é um software de sistema de informação geográfica de licença livre, ou seja, de uso gratuito, e código aberto, que permitiu a contribuição dos usuários, que tem sido bastante utilizado por profissionais de diversas áreas devido a sua interface de fácil compreensão, atualizações constantes que impedem que o software fique obsoleto e principalmente pela possibilidade de integração com outros softwares, como por exemplo, com o AutoCad, permitindo que arquivos gerados no

programa, que é um dos mais usados na área da engenharia, sejam abertos no QGIS, e vice versa, além disso existe a possibilidade de instalação de *plug-ins* que funcionam para determinado fim dentro do programa sendo um atrativo a mais, exemplos são os *plug-ins* QWater e QEsg, que servem respectivamente para dimensionamento e manipulação em redes de distribuição água e redes de coleta de esgoto (Dalla Corte et al. 2020).

De acordo com Valdiviezo (2019) os principais conceitos do QGIS são:

- Base de dados - Conjunto de dados estruturados que permitem o armazenamento consulta e atualização em sistema informático.
- Banco de dados alfanumérico - Banco de dados contendo atributos de objetos espaciais.
- Base de dados geográfica – Representação do território com dados sobre posição e atributos geográficos expressos em formas de linha, pontos e polígonos.
- Dados GIS – Informações geográficas, como as coordenadas, facilitando a localização no espaço. Com a vantagem de permitir a associação entre esses dados geográficos com dados não geográficos, gerando bancos de informações sobre determinada localidade.
- Dados vetoriais - São estruturas de dados utilizadas para armazenar dados geográficos de elementos construídos a partir de vértices como uma série de pares de coordenadas X, Y na memória do computador.
- Dados *raster* – São dados armazenados em formas matriciais, em que cada ponto representa um pixel, e a junção desses pontos resulta em uma imagem.
- Arquivo *shapefile* (.shp) - Este é o formato de dado vetorial mais popular, que salva a localização dos elementos geográficos e seus atributos associados. Esses elementos geográficos podem ser representados a partir de uma camada do tipo ponto, linha ou polígono.
- *Add-ons (plugins)* – Possibilidade de o programa receber extensões com aplicativos que fornecem novas funcionalidades, trazendo versatilidade, pois em um mesmo software é possível desenvolver tarefas de diferentes naturezas.
- *OpenLayers Plug-in* - *OpenLayers Plugin* é uma ferramenta que permite adicionar imagens e camadas de dados do *Google Maps*, *Bing Maps*, *MapQuest*, *OpenStreetMap* e *Apple Maps* diretamente da internet.

Algumas instituições como as prefeituras municipais, já disponibilizam arquivos no formato *shapefile*, que podem ser abertos nos softwares que trabalham com o SIG, como o

QGIS. Um exemplo é a prefeitura da cidade de Macaé no Rio de Janeiro, que conforme mostra na Figura 6, disponibiliza arquivos no formato *shapefile* gratuitamente em seu site.

Figura 6 - Site prefeitura de Macaé, Rio de Janeiro.

The screenshot shows the website interface for the Macaé City Government. At the top, there are navigation links like 'Ir para o conteúdo', 'Ir para o menu', and 'Ir para a busca'. Below this is a header with the city logo and several images. A main navigation bar includes 'Prefeitura', 'Cidade', 'Serviços', 'Notícias', 'Vídeos', 'Legislação', and 'Mapa Social'. A breadcrumb trail indicates the current location: 'Onde estou? Página principal > Portal de Dados GeoMacaé > Imagens > Shapefiles'. On the left, there is a search bar and a sidebar with 'Acesso Rápido' (Quick Access) categories like 'Órgãos e Secretarias', 'Apresentação', 'Georreferenciamento', 'Imagens', 'Artigos', 'Geonoticias', and 'Fontes e Referências'. The main content area is titled 'Portal de Dados GeoMacaé' and 'Shapefiles'. It contains an introductory text explaining that shapefiles are a vector format developed by ESRI for geospatial data. Below this, there is a section 'Arquivos Relacionados' (Related Files) listing several shapefile files with their names and sizes, such as 'Shape_Brasil_Regiões (698 Kb)', 'Shape_Brasil_UF (1 Mb)', 'Shape_Brasil_Municípios (9 Mb)', 'Shape_EstadoRJ_Municípios (2 Mb)', 'Shape_Macaé_Hidrografia2014_INEA (837 Kb)', 'Shape_Macaé_Distritos (71 Kb)', 'Shape_Macaé_CurvaNivel2010 (1 Mb)', and 'Shape_Macaé_Bairros (109 Kb)'.

Fonte: <http://www.macaee.rj.gov.br/geomacaee/conteudo/titulo/shapefiles>. Acesso: 01.09.2021.

4.8. EPANET

O EPANET é um software utilizado para fazer simulações do comportamento hidráulico em redes de distribuição de água além de verificação na qualidade da água, através do software é possível fazer a verificação das pressões, vazões, espécies químicas presentes na água, isso expandido para cada nó, reservatório, tubulações, bombas, ou seja, é um

software bem completo que permite analisar minuciosamente o comportamento hidráulico de uma rede de distribuição (ROSSMAN, 2000).

Uma das vantagens do uso do EPANET é que ele contém um conjunto de ferramentas de cálculo bem completas que auxiliam à simulação hidráulica de uma rede, ROSSMAN (2000) exemplifica algumas dessas ferramentas como por exemplo:

- Dimensão Ilimitada de componentes a serem analisados na rede
- Uso das formulas de *Hazen-Wiliams*, *Darcy-Weisbach* e *Chezy-Manning* para cálculos das perdas de cargas.
- Consideração das perdas de cargas nas peças especiais
- Possibilidade de modelagem de vários tipos de válvulas
- Múltiplas categorias de consumo nos nós

O fato de o software possuir licença livre é um atrativo a mais para seu uso, facilitando o acesso ao mesmo.

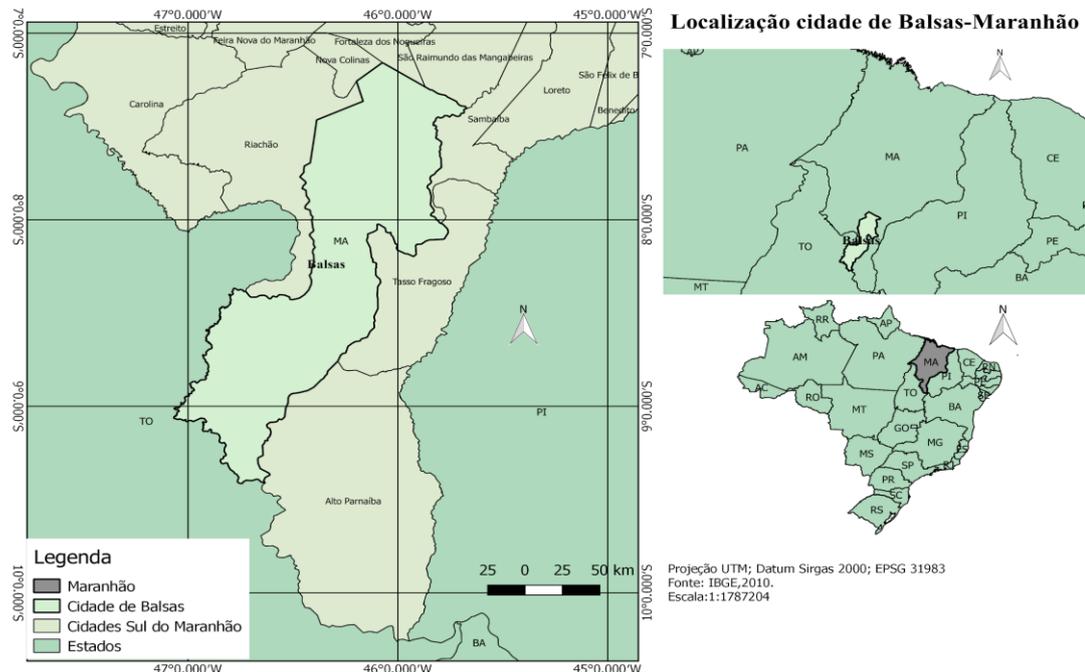
5. METODOLOGIA

A metodologia aplicada teve como objetivo o levantamento de dados através de pesquisas bibliográficas e visitas ao residencial, para coleta das informações necessárias ao dimensionamento da rede de distribuição de água, seguida pela manipulação desses dados a fim de se obter um modelo da rede de distribuição do local. A seguir serão feitas a caracterização da área de estudo bem como apresentação dos dados coletados e sua utilização na realização do trabalho.

5.1. ÁREA DE ESTUDO

O município de Balsas se localiza na região Sul do estado do Maranhão, como mostrado na Figura 7, a 810 km da capital São Luís, possui área total de 13.141,757 km², população estimada em 93.826 habitantes e densidade demográfica de 7,14 hab./km² (IBGE, 2018).

Figura 7 - Localização da cidade de Balsas.



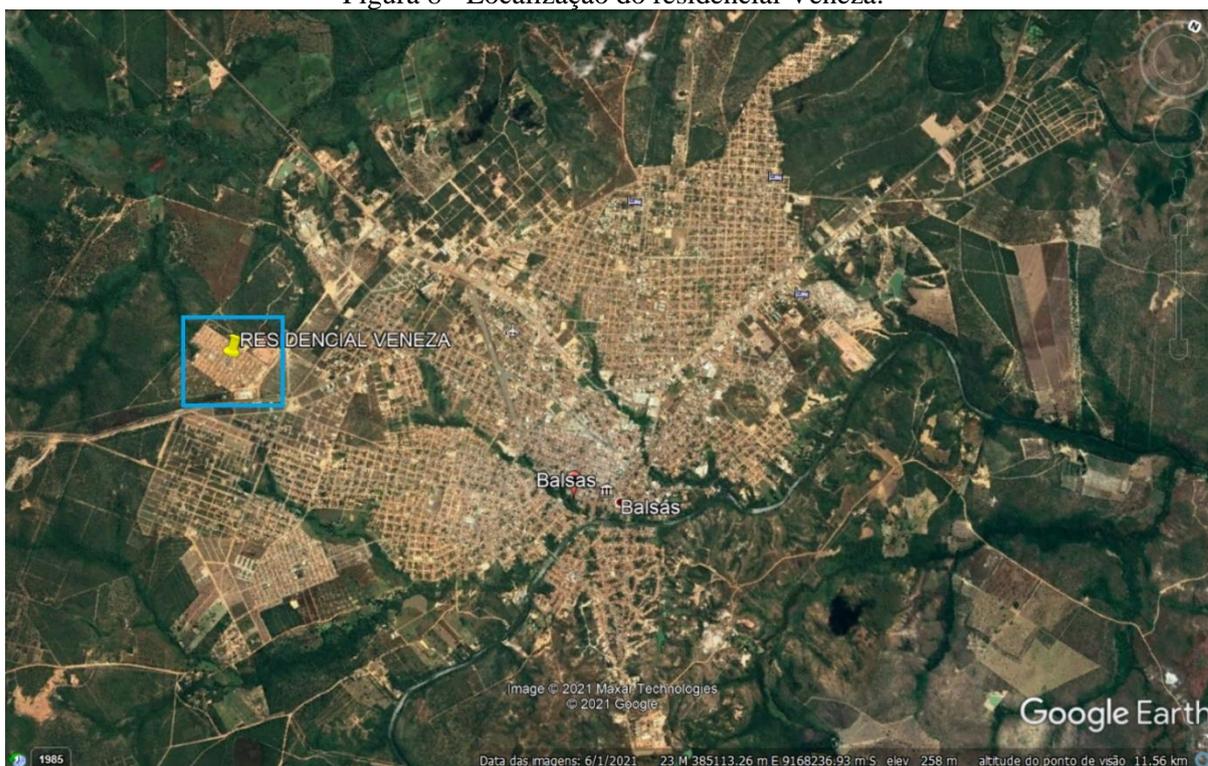
Fonte: Autor, 2021.

O residencial Veneza localizado na cidade de Balsas, nas proximidades da MA140 saída para o povoado Batavo, faz parte do programa do governo Federal “minha casa minha vida”, com aproximadamente 1000 residências habitacionais, destinadas a pessoas de média e baixa renda, as quais são contempladas pelo programa. Por ter sido um bairro feito

recentemente e ter sido elaborado seguindo as normas vigentes e o plano diretor municipal é o único bairro da cidade que possui rede de coleta de esgoto com uma estação de tratamento. A rede de distribuição do bairro instalada é ineficaz, através de visitas ao local pode-se observar que a racionamento no fornecimento de água a população, trazendo transtornos e prejuízos.

A Figura 8, retirada do Google Earth, mostra a localização do residencial Veneza na cidade de Balsas.

Figura 8 - Localização do residencial Veneza.



Fonte: Google Earth adaptado pelo autor, 2021.

5.2. MATERIAIS

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes dados e softwares abaixo listados.

Dados

- Projeto da rede de coleta de esgoto do Residencial Veneza, conseguido junto à construtora responsável pela construção da mesma.
- Informações sobre a rede de abastecimento e geográficas do residencial Veneza, conseguidas através de visita ao mesmo.
- Dados bibliográficos da literatura disponível na internet e acervo pessoal.

Softwares

- AutoCAD 2020
- Google Earth Pro
- Microsoft Office Excel 2010
- Microsoft Office Word 2010
- QGIS 3.20.1 Odessen
- Paint 3D
- EPANET 2.0
- Adobe Acrobat Reader
- Mapa coordenadas versão 5.0.1

5.2. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Para realização do trabalho será feito um levantamento bibliográfico, a respeito das normas e dos métodos de cálculo de rede de abastecimento de água, consultando a Prefeitura municipal de Balsas juntamente com o SAAE (serviço autônomo de água e esgoto) a fim de se obter os dados necessários ao dimensionamento.

Tendo em mãos os dados, através dos softwares QGIS será feito uma reprodução do traçado da rede, para posteriormente transferi-lo para o software EPANET onde será feito a modelagem hidráulica e simulação da rede, verificando as vazões, pressões, velocidade de escoamento e comportamento geral da rede de distribuição.

5.3. POPULAÇÃO DE PROJETO

Considerando que será feita a simulação de rede de distribuição de água somente do residencial Veneza, para efeito de cálculo foi adotado o valor numérico de 4 pessoas por habitação, valor esse estipulado pela própria Caixa Econômica Federal durante a concepção das habitações provenientes do programa social minha casa minha vida. Logo como o residencial possui 1000 habitações estima-se que tenha população de 4.000 pessoas.

Tanto em obras de sistemas de abastecimento de água como de coleta de esgoto, é ideal que seja projetado para atender além da população atual da localidade, devido ao crescimento populacional e conseqüentemente expansão da área, Tsutiya (2006) diz que o ideal é projetar para um horizonte de 10 a 30 anos, sendo o valor médio de 20 anos o mais comum.

Para estimar o crescimento populacional, dentre vários modelos matemáticos para estimativa do crescimento populacional utilizaremos a expressão matemática conhecida como expressão de crescimento exponencial. (BRASIL, 2019).

$$P_t = P_o * e^{k*t}$$

Onde:

P_o = População do ano atual;

P_t = População do ano a ser projetada;

k = taxa de crescimento geométrico da população;

t = período de tempo da projeção em anos.

Manipulando a equação anterior podemos encontrar a função que descreve a taxa de crescimento geométrico da população K .

$$K = (\ln \left(\frac{P}{P_o} \right)) / \Delta t$$

Para determinação da taxa de crescimento geométrico foi utilizado dados dos dois últimos censos divulgados pelo IBGE.

P = População urbana de Balsas no ano de 2010 - 72.771 habitantes (IBGE, censo 2010).

P_o = População urbana de Balsas no ano 2000 - 50.144 habitantes (IBGE, censo 2000).

Δt = 10 anos, período entre os censos.

Desta forma o valor encontrado para a taxa de crescimento da população urbana K foi de 0,037241866. Utilizando esse parâmetro poderá ser feita a projeção populacional.

5.4. CONSUMO PER CAPITA

É a quantidade de água consumida por uma pessoa durante o dia, para suprir todas as suas necessidades. Segundo a Pesquisa Nacional do Saneamento Básico (PNSB), o volume de água consumido por residência no estado do Maranhão é em média de 510,3 litros (PNSB 2017). De acordo com Brasil (2019), para cidades com população entre 50.000 e 250.000 habitantes, como é o caso do município de Balsas, o consumo médio per capita está entre 120 a 220 l/hab.dia, conforme a Quadro 3 a seguir.

Quadro 3 - Consumo médio per capita para populações dotadas de ligações domiciliares.

Porte da comunidade	Faixa de população (habitantes)	Consumo médio per capita (L/hab.dia)
Povoado rural	< 5.000	90 a 140
Vila	5.000 a 10.000	100 a 160
Pequena localidade	10.000 a 50.000	110 a 180
Cidade média	50.000 a 250.000	120 a 220
Cidade grande	> 250.000	150 a 300

Fonte: BRASIL, 2019.

Além disso, existem fatores que afetam a quantidade de consumo de água citados, esses fatores de acordo com a NBR 12218, ABNT (2017), podem ser:

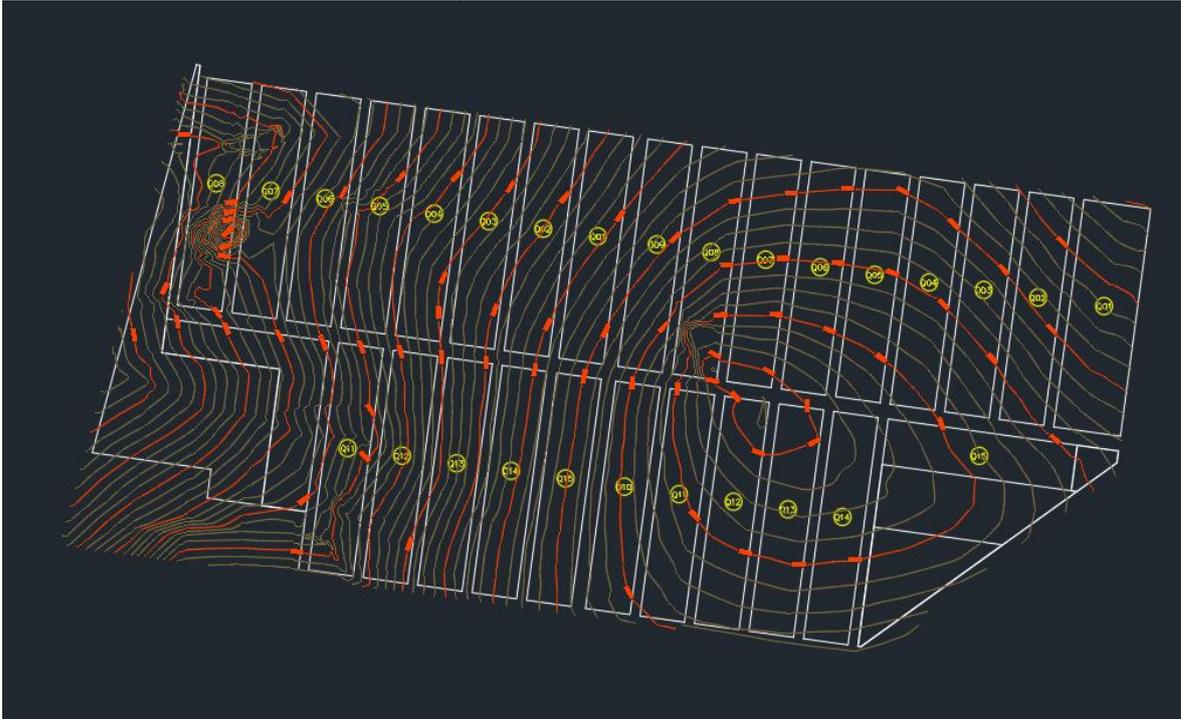
- Anuais de acordo com o crescimento populacional;
- Mensais de acordo com as variações climáticas;
- Diários, fator $K1$, definido pela NBR 12218 com o valor de 1,2;
- Horários, fator $K2$, definido pela NBR 12218 com o valor de 1,5.

Há também o fator $K3$, que tem o valor de 0,5. (ABNT, 2017).

5.4. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Para que se possa fazer o traçado da rede de abastecimento é necessário realizar o levantamento topográfico da localidade, para saber as elevações e conseguir realizar um traçado ideal (OLIVEIRA, 2009). Neste trabalho foi utilizado o levantamento topográfico feito pela construtora que ganhou a licitação para execução da rede de coleta e tratamento de esgoto do residencial. Através da manipulação do projeto no AutoCad, foram obtidas as curvas de nível e o traçado das quadras do Residencial Veneza, como pode ser visto na Figura 9 a seguir.

Figura 9 - Curvas de Nível.



Fonte: Autor, 2021.

Além disso, foi necessário fazer o georreferenciamento da planta do residencial antes de exportá-la para o QGIS. Através do software Mapa coordenadas versão 5.0.1, foram retiradas as seguintes coordenadas das extremidades do residencial Veneza listadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Coordenadas Geográficas Residencial Veneza.

LESTE/OESTE	NORTE/SUL
381689.397641	9166871.632991
381669.054167	9166659.347384
381424.675419	9166477.198413
380927.892606	9166548.510657
380725.389454	9166576.867171
380840.099882	9166984.203644
381232.958885	9166932.986888

Fonte: Autor, 2021.

As coordenadas geográficas apresentadas no Quadro 4 são coordenadas projetadas no sistema de coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM), com o DATUM SIRGAS 2000 - zona 23s, que é o utilizado no Brasil e representa a zona a qual pertence a cidade de Balsas. (JUNIOR, 2018).

Depois de retiradas as coordenadas, foi feito uma adaptação para exportá-las ao software AutoCad. Usando o bloco de notas do *Windows*, as coordenadas foram digitadas conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Coordenadas do residencial Veneza.

```

COORDENADAS VENEZA - Bloco de Notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
circle 381689.397641,9166871.632991 0.1
circle 381669.054167,9166659.347384 0.1
circle 381424.675419,9166477.198413 0.1
circle 380927.892606,9166548.510657 0.1
circle 380725.389454,9166576.867171 0.1
circle 380840.099882,9166984.203644 0.1
circle 381232.958885,9166932.986888 0.1

```

Fonte: Autor, 2021.

A composição das coordenadas que foram lançadas no AutoCad, mostradas na figura anterior, pode ser descrita da seguinte forma: no início de cada coordenada está o comando *circle*, comando de entrada para um círculo no AutoCad, seguido pelas coordenadas Leste e Norte, nessa ordem, separadas por virgula. O número 0.1 refere-se ao diâmetro do círculo, que será o ponto quando exportado para o AutoCad.

Feita essa adequação, o arquivo no bloco de notas foi salvo no formato *script*, *scr.*, que é um formato de entrada de arquivos do AutoCad. Assim abrindo o AutoCad, foi utilizada a ferramenta *SCRIPT*, e aberto o arquivo salvo pelo bloco de notas, gerando os pontos que contornados geraram os entornos do residencial Veneza, conforme Figura 11 a seguir.

Figura 11 - Contorno do residencial Veneza.



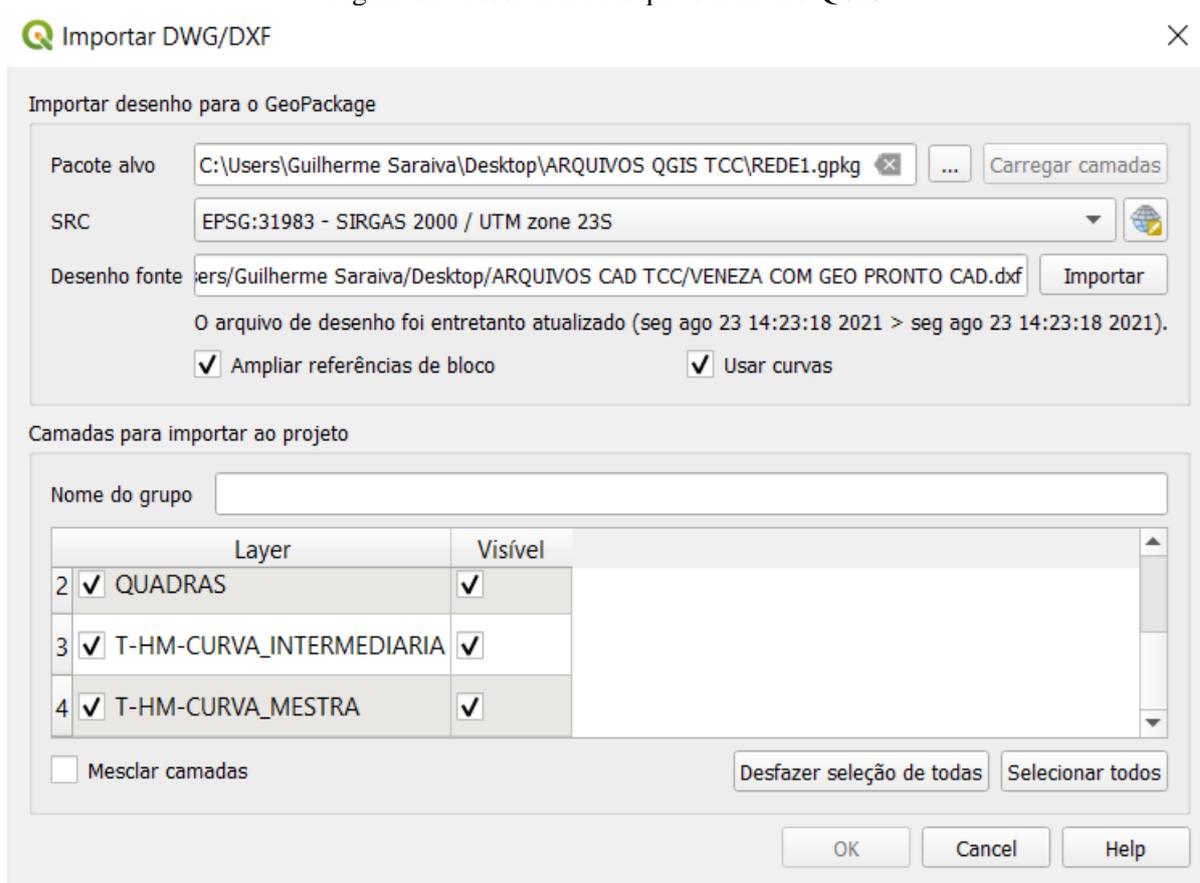
Fonte: Autor, 2021.

Dessa forma foi possível alocar as curvas de nível e arruamentos representados na Figura 9, dentro do contorno obtido na Figura 11. Salvando o arquivo no formato DXF foi possível importá-lo através do QGIS.

Ao entrar no software QGIS foi realizada a sequência de comandos para abrir o arquivo em DXF: ► Projeto; ► Importar; ► Importar DWG, DXF.

Então foi aberto o arquivo em DXF como ilustrado na Figura 12 abaixo.

Figura 12 - Abertura do arquivo DXF no QGIS.

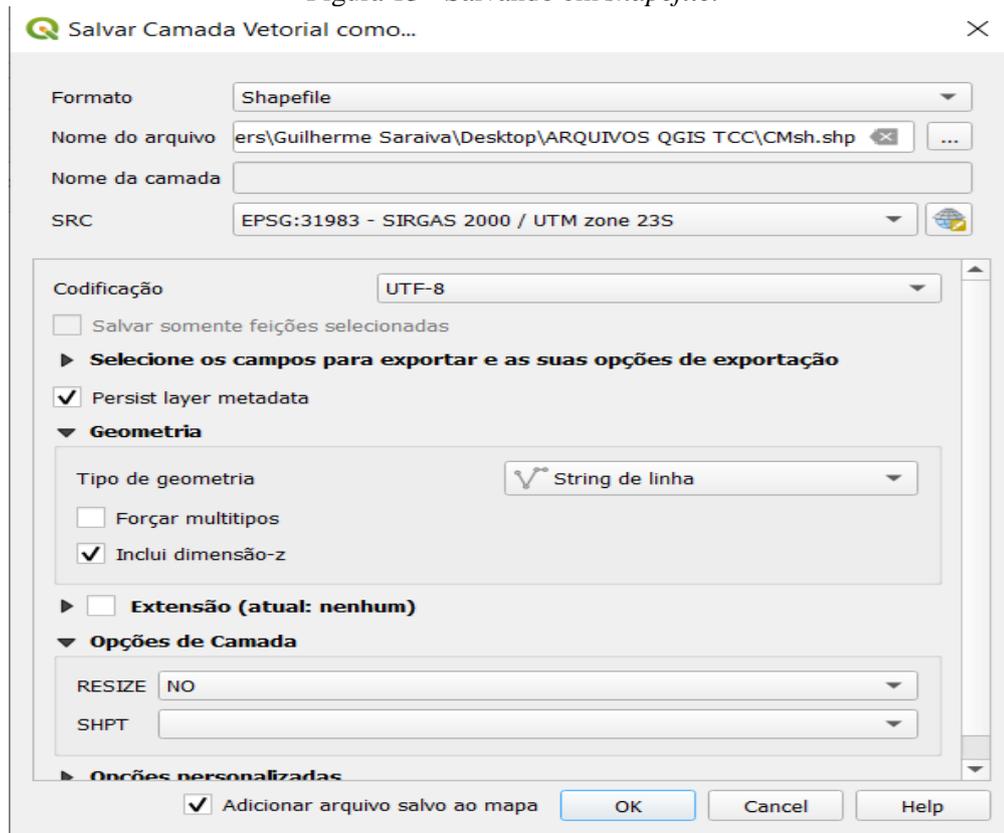


Fonte: Autor, 2021.

Na Figura 12, que mostra a tela de entrada do arquivo em DXF para o software QGIS, pôde-se verificar as seguintes características: ► Pacote alvo – pasta a ser armazenada a camada que será criada; ► SRC – Sistema de coordenadas geográficas, no caso de Balsas, fica situado na zona 23s do sistema SIRGAS 2000 / UTM; ► Desenho fonte – Arquivo em DXF a ser importado;

O passo seguinte foi salvar o arquivo em *shapefile*, formato com o qual trabalha o software QGIS e outros softwares de SIG.

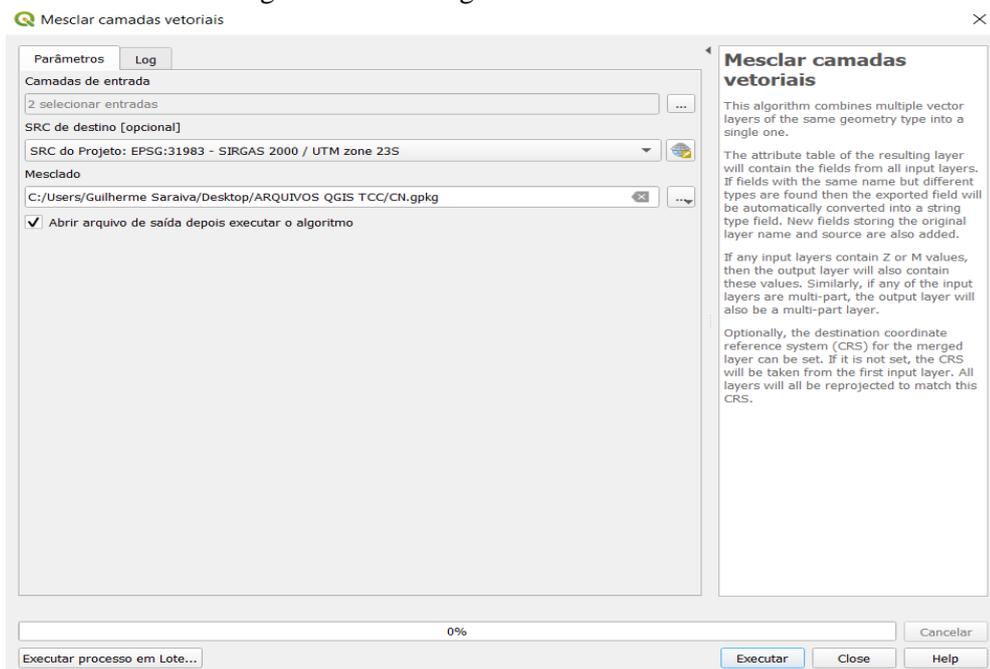
► Clicando com o botão direito do mouse sobre a camada que representa as curvas de nível; *export; save feature as*. Conforme mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Salvando em *shapefile*.

Fonte: Autor, 2021.

Feito o procedimento da Figura 13 para as duas camadas das curvas de nível, mestra e intermediária, foi feito a mesclagem das duas camadas *shapefile*, utilizando os comandos: ► Vetor; Gerenciar dados; mesclar camadas vetoriais, abrindo a tela mostrada na Figura 14.

Figura 14 - Mesclagem de camadas vetoriais.

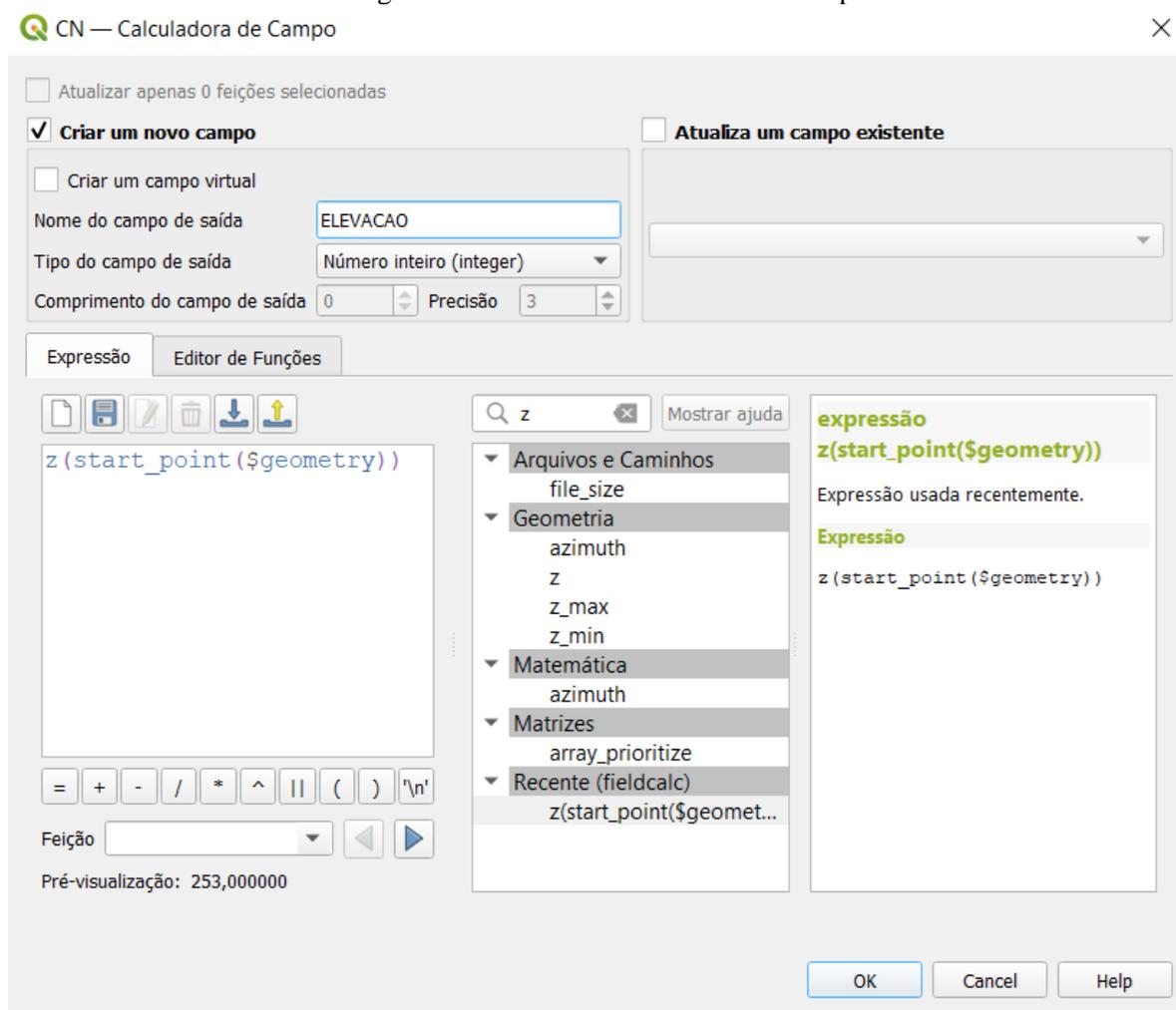


Fonte: Autor, 2021.

Com isso, obteve-se uma nova camada, resultante das duas camadas de curva de nível em *shapefile* geradas anteriormente. A partir dessa camada foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE).

Nessa nova camada foram colocadas as elevações. Selecionando a camada e abrindo o comando: ► Abrir quadro de atributos; ► Alternar modo de edição; excluir campo. Feito isso foram excluídos todos os campos que existiam e não eram necessários para criação do MDE. Então foi aberto o comando: ► calculadora de campo, Figura 15.

Figura 15 - Comando calculadora de campo.

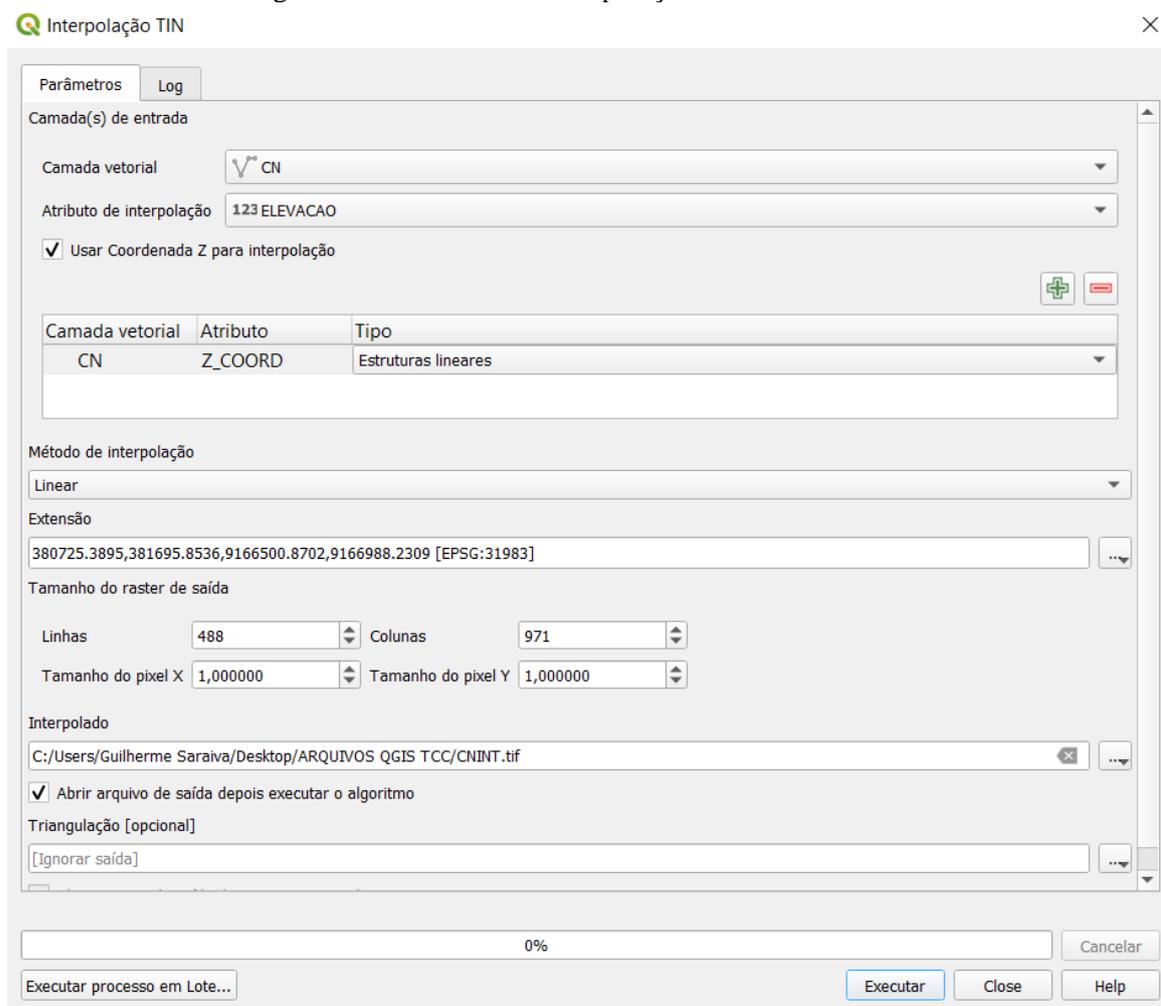


Fonte: Autor, 2021.

Conforme mostrado na Figura 15, através de um código, introduzido no programa, foi possível criar o campo elevações, com os valores que já existiam nas curvas de nível no software AutoCad.

O passo seguinte foi fazer a interpolação das curvas de nível existentes, criando assim agora uma camada do tipo *raster* (camada matricial). Utilizando os seguintes comandos: ► Processar; Caixa de ferramentas; interpolação TIN. Conforme mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Realizando a interpolação das curvas de nível.



Fonte: Autor, 2021.

A partir do passo relatado na Figura 16 já obtivemos o nosso Modelo Digital de Elevação (MDE).

5.5. INSERÇÃO DO RESERVATÓRIO, TRECHOS E NÓS DA REDE NO QGIS.

Para fazer o dimensionamento da rede no software QGIS, tivemos que inserir cada trecho da mesma, a localidade do reservatório e dos nós, baseando-se nas elevações dadas pelo MDE.

Como já visto o QGIS, trabalha com camadas, dessa forma foi necessária a criação das camadas que representaram o reservatório da rede, os nós presentes na rede e os trechos de tubulação.

Criação das camadas: ► Camada; Criar nova camada; Nova camada *shapefile*. Através desse comando podem-se inserir as camadas, conforme Figura 17.

Figura 17 - Inserção das camadas nós, reservatórios e trechos.

Nome do arquivo C:\Users\Guilherme Saraiva\Desktop\ARQUIVOS TCC TESTE 2\NOS.shp

Codificação de arquivo UTF-8

Tipo de geometria Ponto

Dimensões adicionais Nenhum Z (+ valores M) valores M

SRGAS do Projeto: EPSG:31983 - SIRGAS 2000 / UTM zone 23S

Novo Campo

Nome:

Tipo: abc Dados de texto

Comprimento: 80 Precisão:

Lista de Campos

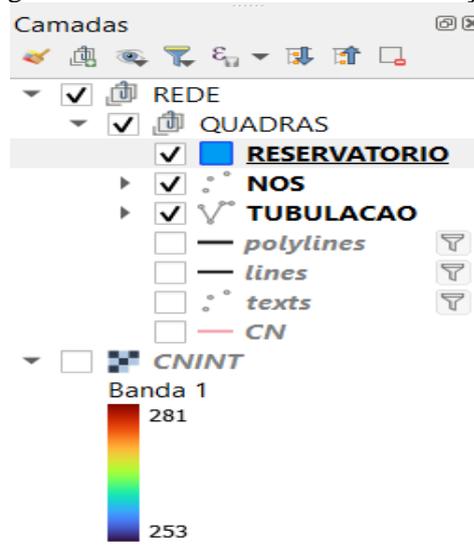
Nome	Tipo	Comprimento	Precisão
id	Integer	10	
NOS	String	80	

Fonte: Autor, 2021.

A Figura 17 mostra a inserção da camada dos nós. Para inserção das camadas, reservatório e trechos da rede o procedimento é o mesmo.

A Figura 18 ilustra o painel de camadas do QGIS com as camadas da rede de distribuição criadas.

Figura 18 - Camadas da rede de distribuição.



Fonte: Autor, 2021.

Depois de criadas as camadas, foi feita uma relação entre as mesmas no *plug-in* QWater. No menu ► *Settings; Junctions* (nós); *Pipes* (tubulação); *Reservoirs* (reservatório).

A partir daí foram criados todos os pontos referentes à localização dos nós e reservatório na rede. Selecionando a camada desejada e usando a ferramenta: ► *Toggle Editing*; Adicionar ponto.

Para adicionar as tubulações da rede foi selecionada a camada TUBULACAO, aberta a ferramenta ► *Toggle Editing*; Adicionar linha. As tubulações foram adicionadas manualmente, fazendo as ligações entre os nós, sempre de um nó com uma cota mais alta para um nó com a cota mais baixa.

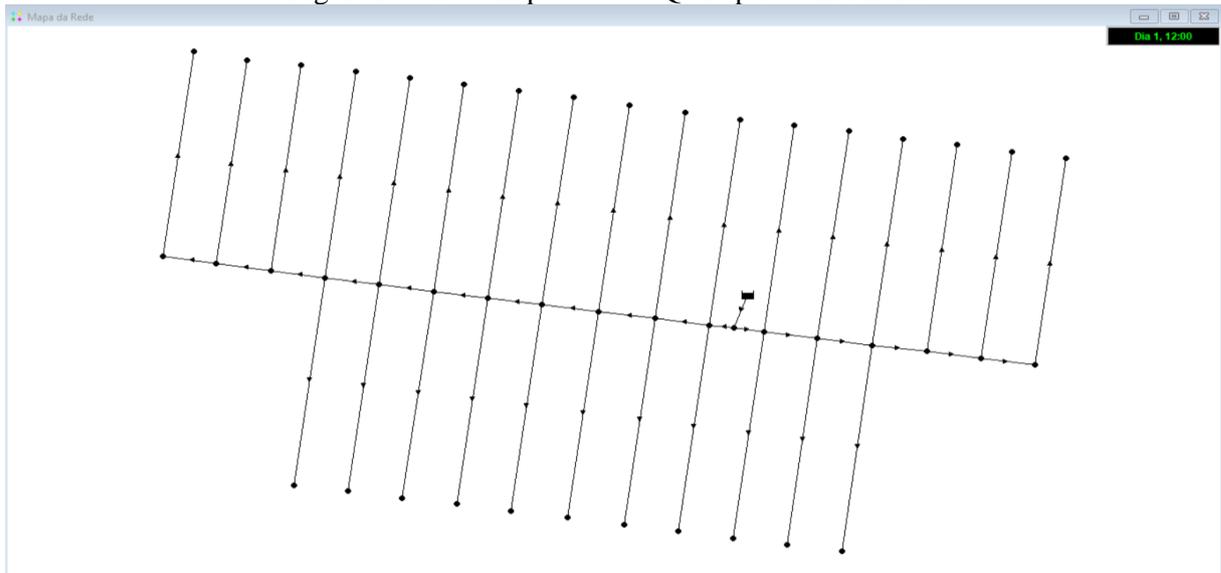
Feito isso se utilizou as ferramentas disponíveis no QWater: ► *Fill Up Fields* – que calculou os comprimentos, diâmetros e rugosidade nos tubos; ► *Calc Flow* – que calculou a vazão e demanda nos nós; ► *Calculate Economic Diameters* – ferramenta que calcula os diâmetros mínimos necessários, visando otimização da rede e economia nos custos; ► *Run Epanet Simulation* – Ferramenta que simula o funcionamento da rede.

5.6. INSERÇÃO DA REDE NO EPANET

Com o fim da modelagem da rede no QGIS, o próximo passo foi fazer a simulação da rede no software EPANET 2.0, que tem uma interface amigável e de fácil acesso.

Usando a ferramenta do QWater: ► *Load Default styles; Write Epanet INP File*. A rede de distribuição modelada no Qgis foi salva no formato INP, que pode ser aberto pelo EPANET, conforme mostra a figura 19.

Figura 19 - Rede importada do QGIS para o EPANET.



Fonte: Autor, 2021.

Já no software EPANET, com a rede de distribuição modelada no QGIS aberta, utilizando a ferramenta: ► Executar Simulação; o programa gerou a simulação hidráulica da rede.

6. RESULTADOS

Nesta seção estão apresentados os resultados obtidos através das etapas feitas na metodologia.

6.1. POPULAÇÃO DE PROJETO E CONSUMO PER CAPITA

Para dar início ao dimensionamento foi necessário saber a população a ser atendida pela rede de abastecimento, conforme explicitado no item 5.3 da metodologia, utilizamos a fórmula de crescimento exponencial para realizar a projeção populacional do residencial Veneza até o ano de 2040. Utilizando a taxa de crescimento geométrica $K = 0,037241866$, gerando os seguintes valores para a população em habitantes. O Quadro 5 apresenta o resultado da projeção populacional para o residencial Veneza.

Quadro 5 – Projeção populacional residencial Veneza

ANO	POPULAÇÃO
2020	4.000
2025	4.819
2030	5.805
2035	6.993
2040	8.424

Fonte: Autor, 2021.

O consumo *per capita* adotado foi de 170 (L/hab.dia), valor médio entre os valores fornecidos no Quadro 3 para cidades médias, e valor padrão fornecido pelo QWater no dimensionamento da rede de distribuição de água.

A Figura 20 apresenta a tela de entrada de dados do QWater.

Figura 20 - Entrada dos dados no QWater.

QWater Settings

Layers

Junctions: NOS

Pipes: TUBULACAO

Reservoirs: RESERVATORIO

Hydraulic Zones:

Pumps:

Valves:

Tanks:

Data Pipes Calculations Options

Initial Population: 4000 Per capita (L/cap.day): 170

Final Population: 8424 k1 (Max. Day): 1.2

Minimum Diameter (mm): 50 k2 (Max. hour): 1.5

Minimum covering (m): 0.60 Attendance Coefficient: 1.0

Calculated Initial Flow: 14.167

Calculated Final Flow: 29.835

Template (INP file) daming/QGIS/QGIS3\profiles\default\python\plugins\QWater\etc\template_d-w_lps.inp Select

Geometric Length: 6563.39 m Length Field Sum: 6563.39 m

Clear Settings OK Cancel

Fonte: Autor, 2021.

Na Figura 20 está o modelo de entrada dos dados no *plug-in* QWater, as populações de projeto calculadas, velocidade máxima na rede, diâmetro mínimo das tubulações, consumo *per capita* e fatores *K1* e *K2* de acordo com a NBR 12218/2017.

Os *layers* são as camadas, para junções na rede usamos a camada do tipo ponto, NOS, as tubulações da rede foram representados pela camada vetorial TUBULACAO, e o reservatório pela camada do tipo ponto RESERVATORIO.

O QWater só realiza a simulação da rede de abastecimento após essa estrutura de camadas estarem definidas.

6.2. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

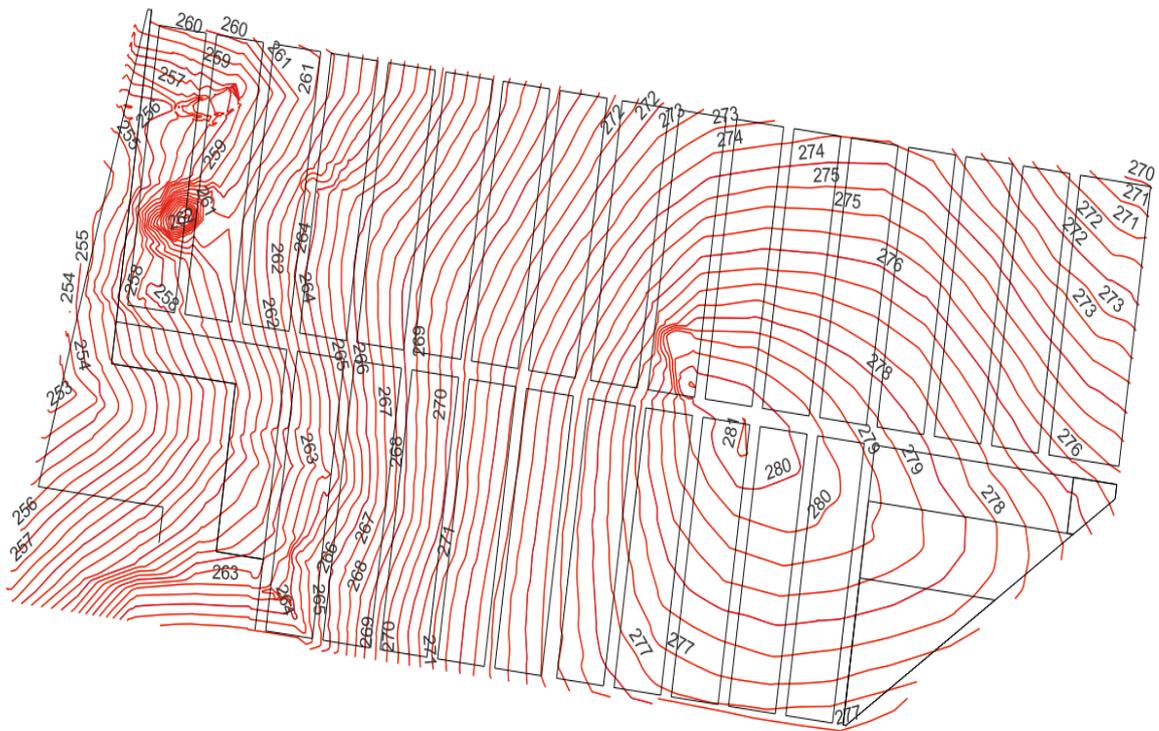
Um Modelo Digital de Elevação (MDE), segundo Chaves (2002, p. 8) pode ser definido como “qualquer representação digital de variação contínua do relevo no espaço. Modelar digitalmente uma superfície significa representá-la por meio de um método ou modelo matemático a partir de dados de altitude”.

Existem alguns modelos digitais de elevação já definidos e disponibilizados digitalmente, destacando-se, TOPODATA, ASTER GEDEM, AW3D30 e ALOS PALSAR 12 m. (PEREIRA et al. 2019).

O MDE pode ser criado através do uso de dados numéricos que representem o relevo de uma localidade, informações geológicas, profundidades de um rio e etc. (FELGUEIRAS, 2001).

Para o residencial Veneza através das curvas de nível extraídas conforme seção 5.4, foi feito o MDE. A Figura 21 a seguir apresenta as curvas de nível extraídas e colocadas no QGIS já georreferenciada.

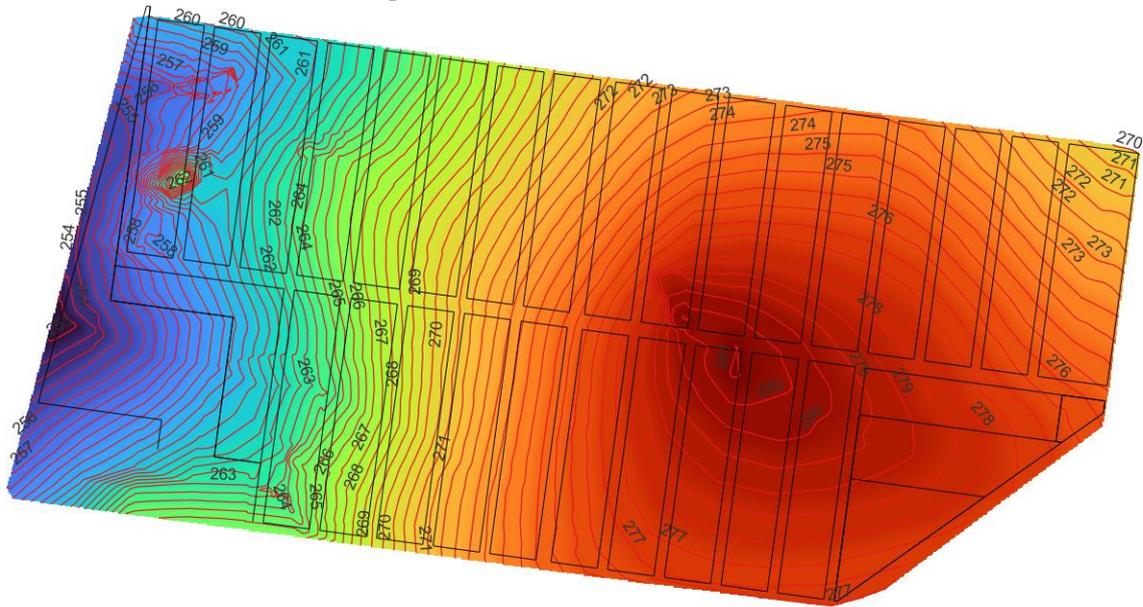
Figura 21- Curvas de nível georreferenciada no QGIS.



Fonte: Autor 2021.

Com o auxílio das curvas de nível foi possível manipular esses dados numéricos e fazer deles um MDE, representado na Figura 22 abaixo.

Figura 22 - MDE residencial Veneza.



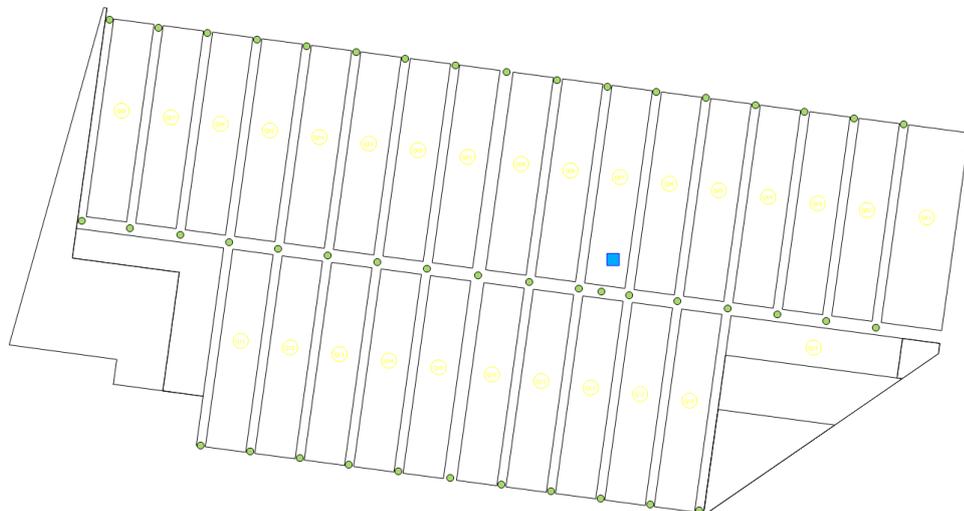
Fonte: Autor, 2021.

Na representação digital, as cores frias representam as cotas mais baixas do terreno, enquanto as cores mais quentes representam as cotas mais altas, foram colocados os valores numéricos nas curvas de nível para facilitar a visualização por parte do leitor.

6.3. MODELAGEM DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO NO QGIS

Através das cotas obtidas com o modelo digital de elevação foi possível fazer a alocação do reservatório da rede e dos nós. Abaixo na Figura 23 temos a representação de onde os nós, pontos verdes, e o reservatório, quadrado azul, ficaram localizados.

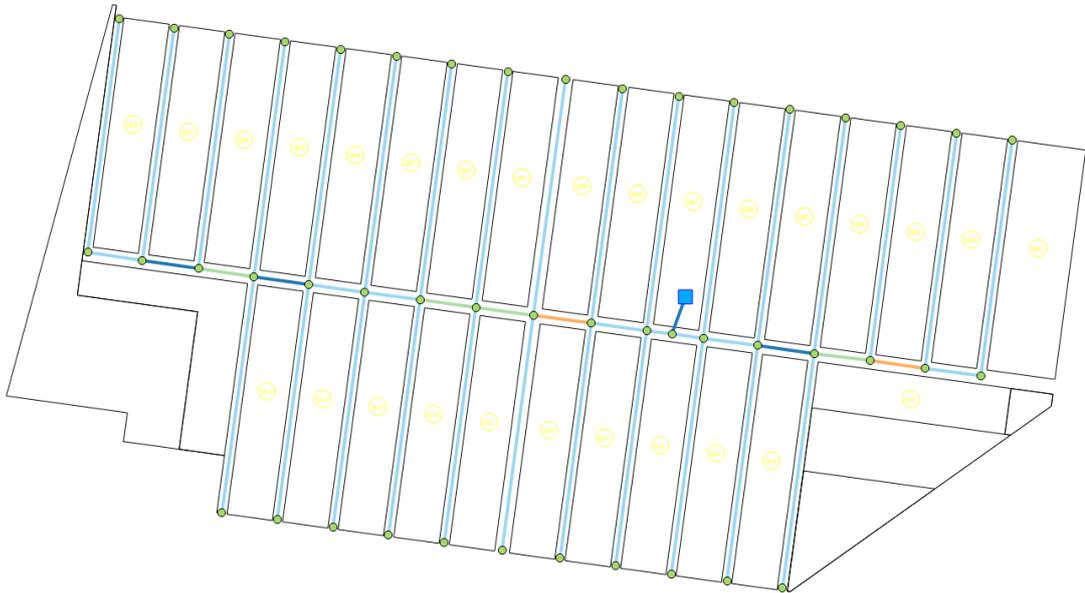
Figura 23 - Localização do reservatório e dos nós da rede de distribuição.



Fonte: Autor, 2021.

Com a localização dos nós e do reservatório foram colocadas às tubulações, fazendo as ligações na rede, conforme mostra a Figura 24.

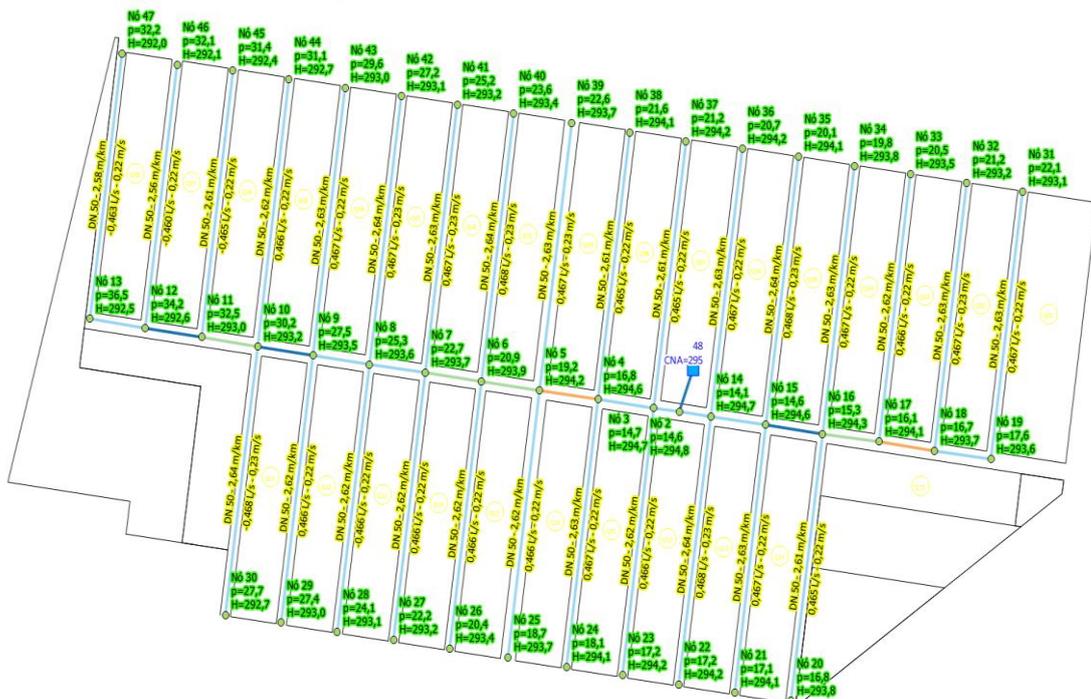
Figura 24 - Rede de distribuição modelada.



Fonte: Autor, 2021.

Após a modelação da rede foi feita uma simulação previa utilizando as ferramentas do QWater conforme item 5.5 da metodologia, a simulação foi bem sucedida. A Figura 25 apresenta os dados de pressão, velocidade, perda de carga, diâmetros dos tubos, demanda nos nós e carga hidráulica.

Figura 25 - Rede dimensionada no QGIS.



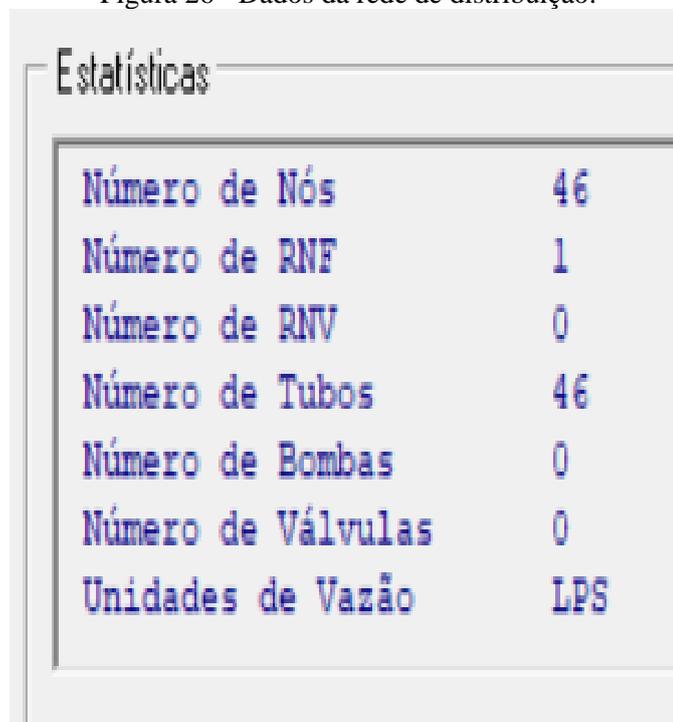
Fonte: Autor, 2021.

Na simulação feita no QGIS o reservatório foi colocado em uma cota 15 metros acima da cota terreno, as pressões nos nós ficaram todas acima de 10 (m.c.a), as velocidades ficaram entre 0,2 e 0,9 m/s e as perdas de carga nas tubulações todas ficaram com valores inferiores a 10m/km.

6.4. ANÁLISE HIDRÁULICA DA REDE NO EPANET

Após a modelagem da rede feita no QGIS, a mesma foi salva e aberta no EPANET. No programa foi feita a simulação hidráulica da rede, a qual os resultados estão graficamente apresentados a seguir. A Figura 26 mostra as estatísticas gerais da rede.

Figura 26 - Dados da rede de distribuição.



Estatísticas	
Número de Nós	46
Número de RNF	1
Número de RNV	0
Número de Tubos	46
Número de Bombas	0
Número de Válvulas	0
Unidades de Vazão	LPS

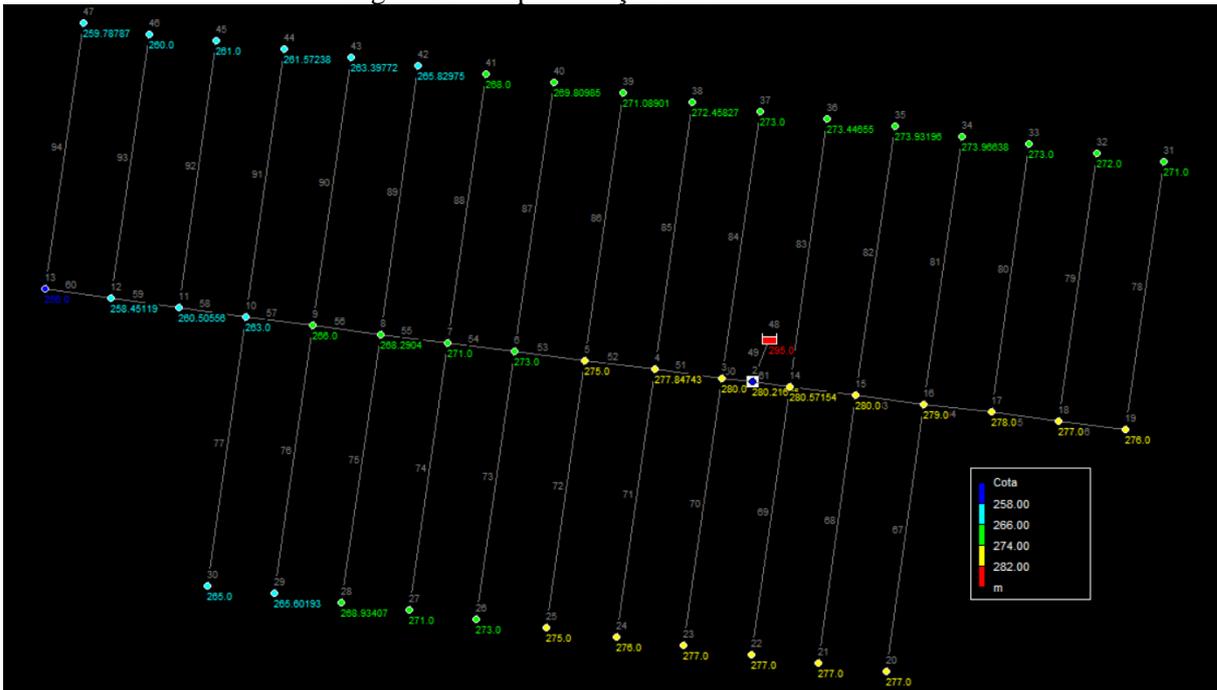
Fonte: Autor, 2021.

A rede de distribuição é composta por 46 nós, 1 reservatório e 46 trechos de tubulação.

- Para os nós

A Figura 27 mostra as cotas em cada nó da rede de distribuição.

Figura 27 - Representação das cotas nos nós.

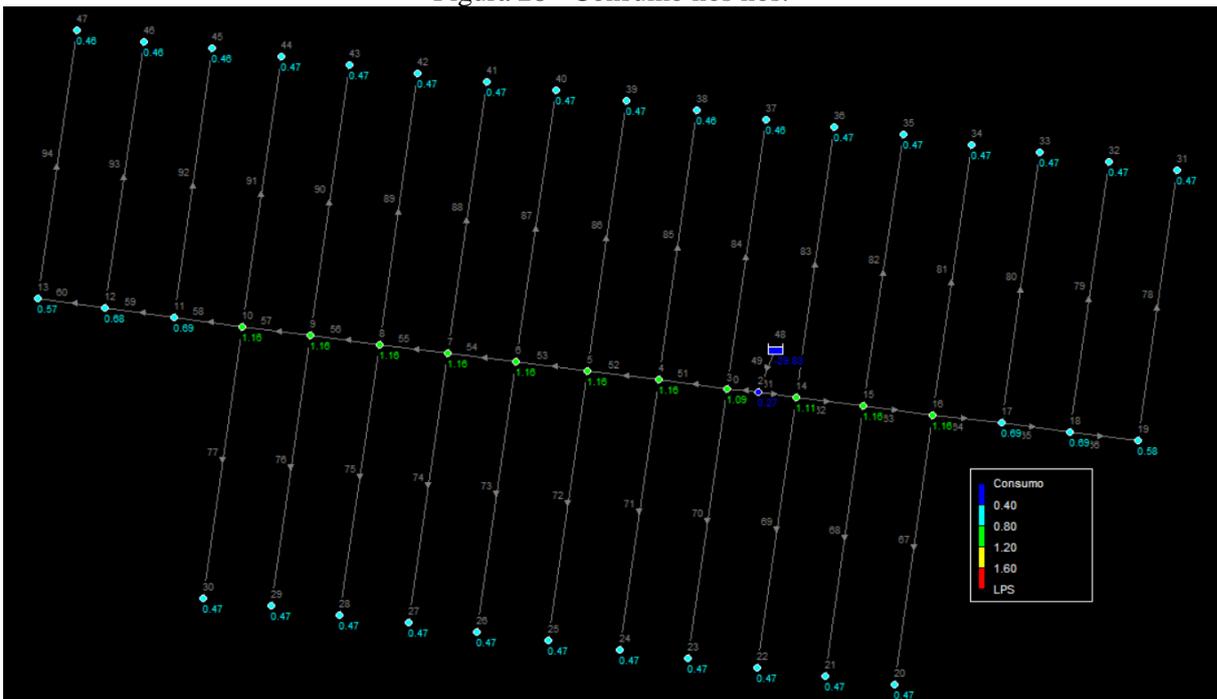


Fonte: Autor, 2021.

Com as cotas fornecidas pelo MDE, os nós foram alocados, e o reservatório colocado na parte mais alta do terreno que possui cota de 280, as cotas mais baixas do terreno estão localizadas na direção oeste da representação acima e as mais altas na região central, tornando uma boa localidade para alocação do reservatório.

A Figura 28 traz a representação do consumo nos nós da rede

Figura 28 - Consumo nos nós.

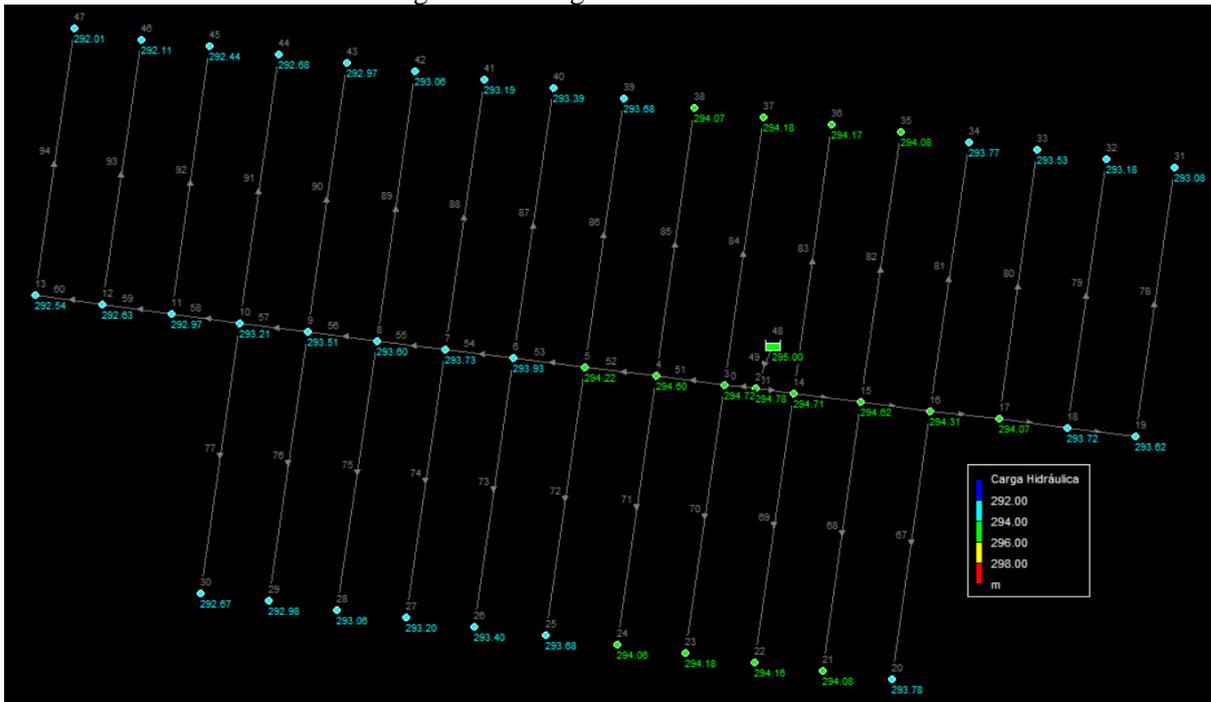


Fonte: Autor, 2021

Os nós alocados nas extremidades do residencial apresentaram consumos semelhantes, basicamente todos com consumo de 0,47 L/s, enquanto os nós localizados na rua principal tiveram consumos maiores, variando de 0,5 a 1,2 L/s. Considerando que o bairro é residencial, não existe nenhum tipo de demanda especial a ser considerada no dimensionamento da rede.

Na Figura 29 temos a representação da carga hidráulica nos nós

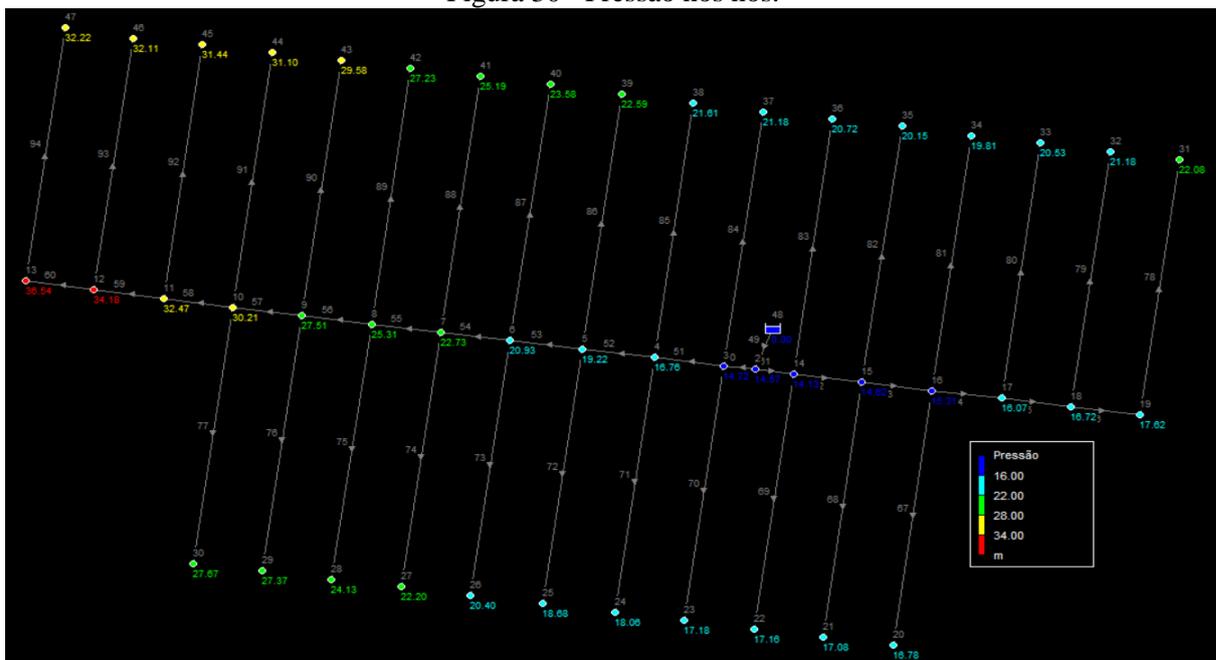
Figura 29 - Carga hidráulica nos nós.



Fonte: Autor, 2021.

A carga hidráulica nos nós ficou semelhante, todas na faixa de 290 a 295 m.

Figura 30 - Pressão nos nós.



Fonte: Autor, 2021.

Conforme exige a NBR 12218/2017 as pressões nos nós devem ser de no máximo 50 (m.c.a) e no mínimo 10 (m.c.a), como ilustrado na Figura 30 as pressões obtidas no dimensionamento da rede ficaram entre os valores de 10 e 25 (m.c.a), valores que satisfazem a NBR em questão.

O Quadro 6 a seguir ilustra numericamente alguns dos principais atributos dos nós da rede, gerados na simulação hidráulica realizada pelo EPANET, e mostra também as coordenadas geográficas dos nós, projetadas no sistema de referências geográficas UTM, SIRGAS 2000 – zona 23s, que é o usual no Brasil. (JUNIOR, 2018).

Quadro 6 – Atributos dos nós.

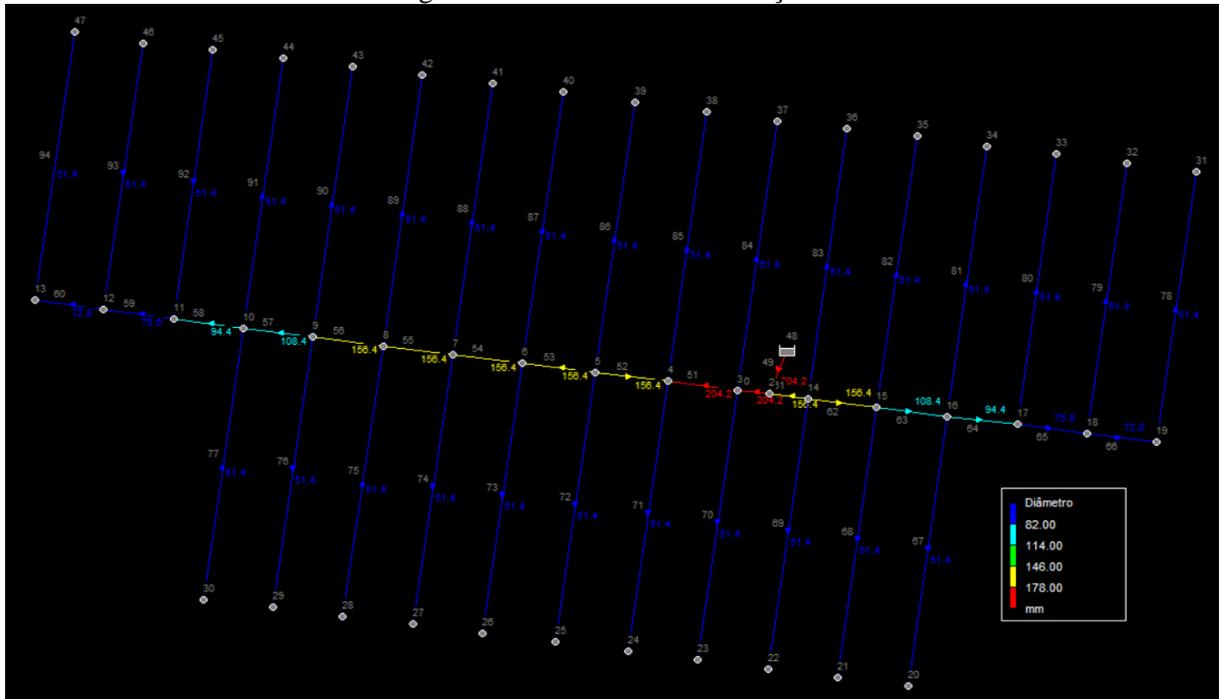
TABELA DE ATRIBUTOS DOS NÓS NA REDE				COORDENADAS	
Numeração do nó	Elevação (m)	Demanda (L/s)	Pressão (m.c.a.)	LESTE/OESTE	NORTE/SUL
2	280.21	0.268	14.57	381323.37	9166705.40
3	280.0	1.091	14.72	381301.22	9166707.88
4	277.84	1.158	16.76	381253.0	9166714.71
5	275.0	1.164	19.22	381202.30	9166721.33
6	273.0	1.160	20.93	381152.02	9166728.16
7	271.0	1.155	22.73	381103.38	9166734.99
8	268.29	1.156	25.31	381055.17	9166741.20
9	266.0	1.155	27.51	381006.12	9166748.03
10	263.0	1.155	30.21	380958.32	9166754.65
11	260.50	0.688	32.47	380909.68	9166761.89
12	258.45	0.682	34.18	380860.84	9166768.72
13	256.0	0.572	36.54	380813.04	9166775.97
14	280.57	1.106	14.13	381350.68	9166701.47
15	280.0	1.156	14.62	381398.28	9166695.26
16	279.0	1.156	15.31	381447.54	9166688.22
17	278.0	0.688	16.07	381496.37	9166682.43
18	277.0	0.689	16.72	381544.39	9166675.39
19	276.0	0.578	17.62	381593.22	9166669.18
20	277.0	0.465	16.78	381420.01	9166485.41
21	277.0	0.466	17.08	381371.38	9166491.62
22	277.0	0.467	17.16	381322.75	9166497.62
23	277.0	0.465	17.18	381274.11	9166504.87
24	276.0	0.466	18.06	381225.69	9166511.28
25	275.0	0.465	18.68	381174.99	9166518.32
26	273.0	0.465	20.40	381124.49	9166525.15
27	271.0	0.466	22.20	381075.86	9166531.77
28	268.93	0.466	24.13	381027.23	9166537.98
29	265.60	0.466	27.37	380978.60	9166544.81
30	265.0	0.466	27.67	380930.27	9166550.60
31	271.0	0.466	22.08	381620.65	9166872.71
32	272.0	0.466	21.18	381572.22	9166878.92
33	273.0	0.466	20.53	381523.38	9166885.75
34	273.96	0.466	19.81	381474.96	9166891.75
35	273.93	0.467	20.15	381426.53	9166899.20
36	273.44	0.466	20.72	381377.90	9166905.00
37	273.0	0.467	21.18	381329.27	9166910.48
38	272.45	0.466	21.61	381280.43	9166917.31
39	271.08	0.467	22.59	381230.35	9166924.97
40	269.80	0.468	23.58	381180.06	9166932.21
41	268.0	0.467	25.19	381131.01	9166938.63
42	265.82	0.467	27.23	381082.59	9166945.04
43	263.39	0.466	29.58	381033.95	9166951.46
44	261.57	0.465	31.10	380985.32	9166957.87
45	261.0	0.464	31.44	380936.90	9166964.49
46	260.0	0.460	32.11	380888.47	9166969.25
47	259.78	0.462	32.22	380840.77	9166977.63

Fonte: Autor, 2021.

- Para os trechos da tubulação.

Inicialmente a Figura 31 nos mostra o diâmetro em cada trecho da rede de distribuição.

Figura 31 - Diâmetro das tubulações.

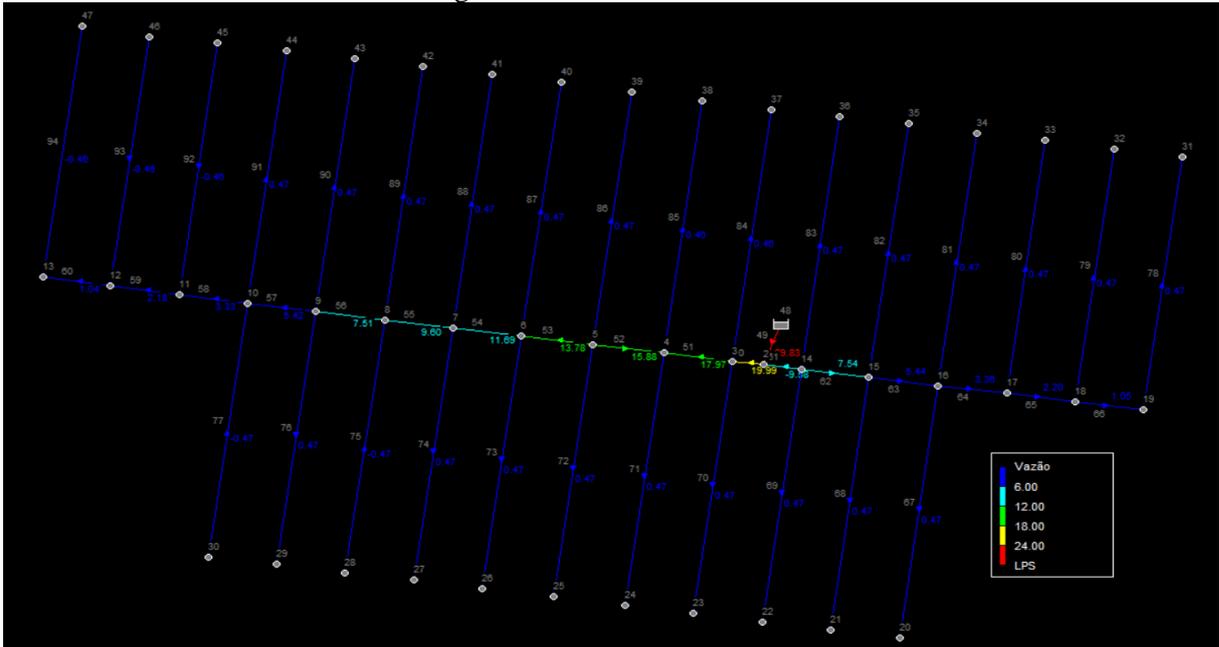


Fonte: Autor, 2021.

Segundo a NBR 12218 as tubulações em uma rede de distribuição podem possuir diâmetro nominal mínimo de 50 mm, não havendo diâmetro máximo estabelecido por norma, as tubulações representadas em vermelho na Figura 31 tem diâmetro de 200 mm, são as tubulações que saem do reservatório, as tubulações representadas pela cor amarela são de 150 mm, as azul claro 100 e 90 mm e as azul escuro tem o diâmetro de 75 mm em algumas e o mínimo estabelecido por norma, de 50 mm na sua maioria. É importante ressaltar que tubulações com diâmetros menores contribuem no ganho de velocidade de escoamento, além de economia na implantação da rede, devido ao seu menor custo de aquisição se comparadas com tubulações de maiores diâmetros. Assim os programas QGIS e EPANET, calculam o diâmetro das tubulações na simulação hidráulica, visando o menor custo possível de implantação da rede.

A Figura 32 mostra a vazão nos trechos da rede.

Figura 32 - Vazão nos trechos.

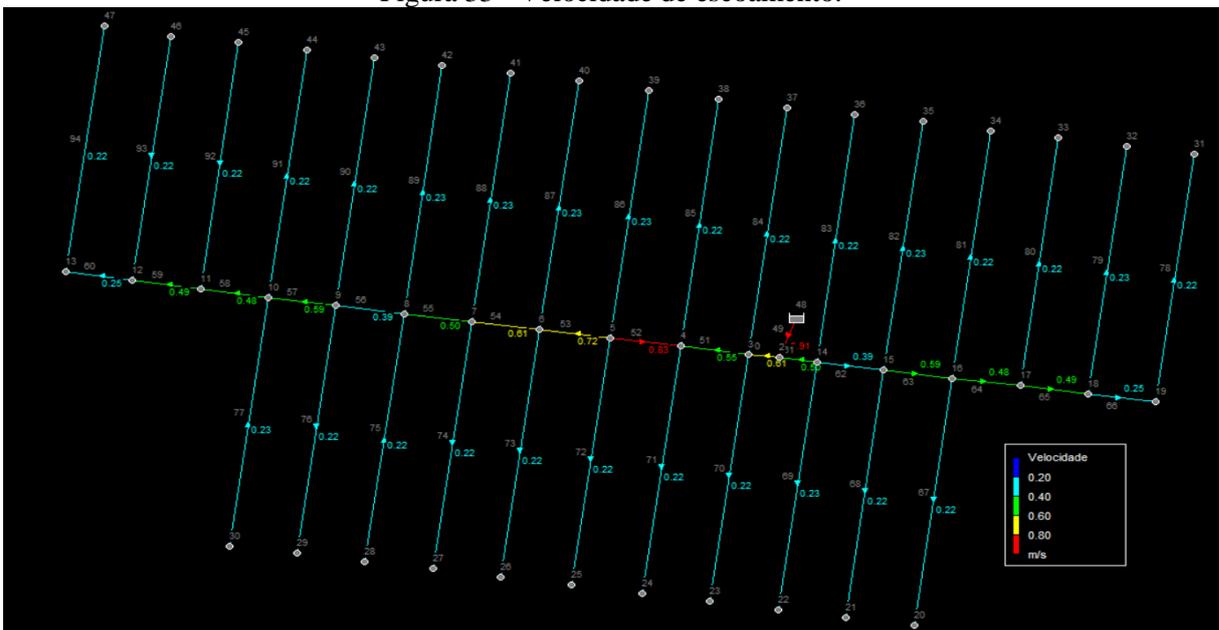


Fonte: Autor, 2021.

As vazões nos trechos da rua principal, central do residencial, todas foram calculadas acima de 1 L/s chegando até 20 L/s, já nos trechos que saem dos nós da rua principal temos basicamente a mesma vazão de 0,47 L/s. Podemos ver algumas vazões com valores negativos, isso se explica devido ao fato de no QGIS a ligação dos trechos entre os nós ser sempre de montante para jusante, e esses trechos, que as vazões estão negativas, a cota mais alta esta inversa ao sentido do fluxo da rede, sendo assim a ligação do trecho também foi feita inversa.

As velocidades de escoamento foram representadas na Figura 33 abaixo.

Figura 33 - Velocidade de escoamento.

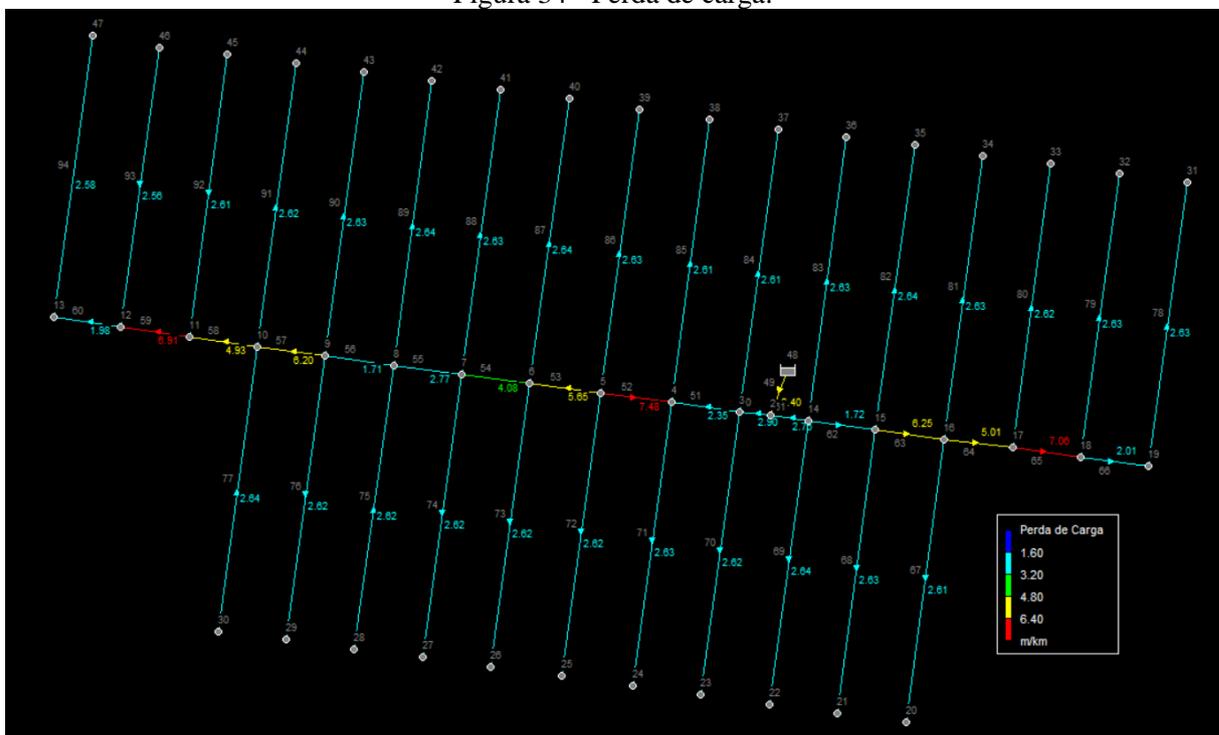


Fonte: Autor, 2021.

A NBR 12218, diz que a velocidade mínima de escoamento a ser atendida em uma rede de distribuição de água é de 0,4 m/s e a máxima de 3,5 m/s. Como observado praticamente todas as velocidades ficaram abaixo do valor mínimo estipulado pela norma. Segundo Barreira (2017) este fenômeno de baixas velocidades em pequenas redes de distribuição é fato recorrente, e de difícil remediação, visto que o aumento no diâmetro das tubulações diminui ainda mais a velocidade do escoamento. Assim fica como sugestão para trabalhos futuros, a realização de uma simulação dinâmica na rede e procura por alternativas para resolução do problema da baixa velocidade de escoamento em redes de distribuição de pequeno porte.

A Figura 34 nos mostra a perda de carga em cada trecho da rede.

Figura 34 - Perda de carga.



Fonte: Autor, 2021.

As perdas de carga de maiores valores encontradas foram de 7 m/km, estando abaixo do máximo permitido pela NBR 12/218, que é de 10m/km.

Finalmente, podemos ver que o EPANET, é um software com interface amigável e nível de detalhamento da rede de distribuição bem completo, dando todos os parâmetros necessários, quanto ao dimensionamento, com exceção da velocidade de escoamento, os demais parâmetros ficaram de acordo com o solicitado pela NBR 12218.

O Quadro 7 a seguir apresenta numericamente os atributos das tubulações da rede já apresentados nesta seção, gerados na simulação hidráulica realizada pelo EPANET.

Quadro 7 – Atributos das tubulações.

TABELA DE ATRIBUTOS DAS TUBULAÇÕES DA REDE					
Número da tubulação	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Vazão (L/s)	Velocidade (m/s)	Perda de carga (m/km)
49	24.12	204.2	29.83	0.91	6.40
50	22.28	204.2	19.99	0.61	2.90
51	48.70	204.2	17.97	0.55	2.35
52	51.13	156.4	15.88	0.83	7.48
53	50.75	156.4	13.78	0.72	5.65
54	49.11	156.4	11.69	0.61	4.08
55	48.62	156.4	9.60	0.50	2.77
56	49.52	156.4	7.51	0.39	1.71
57	48.26	108.4	5.42	0.59	6.20
58	49.17	94.4	3.33	0.48	4.93
59	49.31	75.6	2.18	0.49	6.91
60	48.35	72.8	1.04	0.25	1.98
61	27.60	156.4	9.58	0.50	2.76
62	48.00	156.4	7.54	0.39	1.72
63	49.75	108.4	5.44	0.59	6.25
64	49.18	94.4	3.36	0.48	5.01
65	48.52	75.6	2.20	0.49	7.06
66	49.23	72.8	1.05	0.25	2.01
67	204.66	51.4	0.47	0.22	2.61
68	205.40	51.4	0.47	0.22	2.63
69	205.74	51.4	0.47	0.22	2.64
70	204.81	51.4	0.47	0.22	2.62
71	205.26	51.4	0.47	0.22	2.63
72	204.85	51.4	0.47	0.22	2.62
73	204.87	51.4	0.47	0.22	2.62
74	205.07	51.4	0.47	0.22	2.62
75	205.13	51.4	0.47	0.22	2.62
76	205.07	51.4	0.47	0.22	2.62
77	205.96	51.4	0.47	0.23	2.64
78	205.36	51.4	0.47	0.22	2.63
79	205.43	51.4	0.47	0.23	2.63
80	205.10	51.4	0.47	0.22	2.62
81	205.37	51.4	0.47	0.22	2.63
82	205.89	51.4	0.47	0.23	2.64
83	205.34	51.4	0.47	0.22	2.63
84	204.53	51.4	0.46	0.22	2.61
85	204.44	51.4	0.46	0.22	2.61
86	205.55	51.4	0.47	0.23	2.63
87	205.96	51.4	0.47	0.23	2.64
88	205.50	51.4	0.47	0.23	2.63
89	205.67	51.4	0.47	0.23	2.64
90	205.32	51.4	0.47	0.22	2.63
91	205.00	51.4	0.47	0.22	2.62
92	204.42	51.4	0.46	0.22	2.61
93	202.42	51.4	0.46	0.22	2.56
94	203.56	51.4	0.46	0.22	2.58

Fonte: Autor, 2021.

7. CONCLUSÕES

O presente trabalho analisou o uso dos softwares QGIS e EPANET no dimensionamento de uma rede de distribuição de água do Residencial Veneza, no município de Balsas-MA, e pôde-se observar que essas ferramentas são muito úteis no processo de dimensionamento, auxiliando no processo de cálculo e apresentando os resultados de maneira clara e detalhada.

O QGIS permitiu a inserção de camadas georreferenciadas, o que é muito relevante quando se pretende trabalhar com bancos de dados das redes de distribuição e com a criação de arquivos no formato *shapefile*, que pode ser disponibilizados para uso em diversos trabalhos, bem como possibilita a análise dos gestores responsáveis pela implantação, operação e manutenção das redes de água. Com o uso do *plug-in* QWater, foi feito o traçado da rede do Residencial Veneza e seu dimensionamento, obtendo-se os parâmetros hidráulicos da rede. A integração do QGIS com o EPANET permitiu a exportação do modelo criado no QGIS para o EPANET, onde foram realizadas simulações hidráulicas e analisados os dados obtidos.

Importante notar que alterar os dados da rede para adequar os parâmetros hidráulicos à NBR 12.218 é um processo bem simples e dinâmico, tanto no QGIS quanto no EPANET, permitindo ao projetista obter os resultados adequados com agilidade.

Como sugestão para trabalhos futuros, podem ser realizadas simulações dinâmicas da rede no EPANET e analisados os resultados ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12212: Projeto de poço para captação de água subterrânea.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12213: Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12214: Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12215: Projeto de adutora de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12217: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12218: Projeto de rede de distribuição e água** Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2019. 100p.
- ATLAS BRASIL: **Abastecimento Urbano de Água: Panorama Nacional.** Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape.- Brasília: ANA: Engecorps/ Cobrape, 2010.
- BARREIRA, Gustavo Sales. **Modelagem e simulação hidráulica no diagnóstico e resolução de problema em rede no Guajiru, Caucaia/** Gustavo Sales Barreira. – 2017. 94 f.: il. color. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.** – 5.ed. Brasília: FUNASA, 2019. 545p.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019.** Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Atlas de Saneamento 2011.** Rio de Janeiro, 2011.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20192022/2020/lei/114026.htm>. Acesso em: 10/06/2021.

CHAVES, M.A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica**/ Viçosa: UFV, 2002.115 p.

COSTA, Adriana Guimarães. **Sistemas de Abastecimento de água**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Fortaleza, 2015.

DALLA CORTE, A.P. et al. **Explorando o QGIS 3.X** [livro eletrônico]. – Curitiba: Ed. Dos Autores, 2020.pdf

FELGUEIRAS, C.A. MODELAGEM NUMÉRICA DE TERRENO. In. **Introdução à ciência da geoinformação**. Gilberto Câmara Clodoveu Davis Antônio Miguel Vieira Monteiro (Orgs). INPE. São José dos Campos, 2001. p. 173-210.

HELLER; PÁDUA, Léo. **Abastecimento de água para consumo humano** / Léo HELLER; PÁDUA, Valter Lúcio de Pádua, organizadores. - 2. ed. rev. e atual. - Belo Horizonte : Editora UFMG, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeções da população: Brasil e Unidades Federativas. Série: relatórios metodológicos**. Rio de Janeiro. 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População residente, por situação do domicílio e sexo, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação - Brasil - Grandes Regiões**. Rio De Janeiro. Censo Demográfico 2000 e 2010.

INSTITUTO TRATA BRASIL. 2019. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/agua>> Acesso em: 29 jul. 2021.

JUNIOR, P. C. D. **Curso básico de geoprocessamento para redes de saneamento com a utilização do software livre QGIS**. 2018. 96p. Natal- Rio Grande do Norte.

NAKAMURA, A.Z. JUNIOR, P. G. Geotecnologias aplicadas à construção civil. **Revista BrasilEngenharia**, São Paulo,2010.

OLIVEIRA. R. C. P. de. Geoprocessamento para Saneamento – AcquaGIS – Estudo Realizado na Casal – Companhia de Abastecimento D’água e Saneamento do Estado de Alagoas. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p.4125-4132.

PEREIRA, H. L. *et al.* Qualidade de modelos digitais de elevação utilizando dados do SIGEF: Estudo de caso para as sub-bacias do Ribeirão dos Mangues e Rio Soninho no estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Tocantins, v. 12, n. 01, p. 187-200, 15 jan.2019. Bimestral.

PNSB. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2017. Disponível em:
<<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pnsb/pnsb2017#Abastecimento%20de%20%C3%81gua>>.
Acesso em: 16/07/2021.

RECESA. **Princípios básicos de geoprocessamento para seu uso em saneamento**.
Disponível em:
<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/principiosbasicosdegeoprocessamentoparaseuusoemsaneamento-nivel2.pdf>. Acesso em 09/08/2021.

ROSSMAN, L.A. **EPANET 2.0 Manual Do Usuário**. Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento Universidade Federal da Paraíba, UFPB, BRASIL. Agosto de 2009.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água / Milton Tomoyuki Tsutiya** – 3ª edição – São Paulo – Departamento de engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. XIII – 643 p.

VALDIVIEZO, A. **Manejo del software QGIS para gestionar datos de redes de distribución de agua en la Urb**. Miraflores (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú, 2019.