

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

JULIANA MARQUES SERQUEIRA

**MODELAGEM HIDRÁULICA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA DA CIDADE DE JAGUAPITÃ – PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2020



JULIANA MARQUES SERQUEIRA

MODELAGEM HIDRÁULICA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE JAGUAPITÃ – PR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr Ajadir Fazolo

LONDRINA

2020



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEP. ACADEMICO DE AMBIENTAL-LD

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

MODELAGEM HIDRÁULICA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE JAGUAPITÃ – PR

Por

JULIANA MARQUES SERQUEIRA

Monografia apresentada às 13 horas 30 minutos do dia 01 de Dezembro de 2020 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. A candidata foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Ricardo Nagamine Costanzi	Membro
Prof. Julio Kazuhiro Tino	Membro
Prof. Ajadir Fazolo	Orientador
Prof. Orlando de Carvalho Júnior	Professor(a) responsável TCCII



AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela minha vida.

A minha família, especialmente minha mãe Rita de Cássia Marques, minha avó Nair Garcia Marques e minha irmã Caroline Marques Serqueira, que me apoiaram desde o início da graduação, me mostraram o significado de família, serei eternamente grata por todo amor e amparo recebido.

Aos amigos que Deus me presenteou na universidade, que foram fundamentais nos momentos da minha vida pessoal e acadêmica, Thais Messias Berto, Stephanie Locatelli e Martina Pomini, entre outros não citados.

Agradeço ao Sr. Valter Luiz Bossa, Diretor Executivo e a Engenheira Rebeca Silva Rocha do Consórcio Intermunicipal de Saneamento do Paraná (CISPAR) e ao Engenheiro Carlos Osamu Ogawa da FUNASA - Paraná pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

Por fim, aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Londrina, que fizeram parte do meu crescimento acadêmico e profissional durante todo curso, em especial meu orientador Prof. Dr. Ajadir Fazolo, sempre paciente e muito prestativo, que esteve presente durante todo o desenvolvimento deste trabalho e me proporcionou um aprendizado de suma importância, principalmente, para meu próximo passo na vida acadêmica.

Expresso aqui meus sinceros agradecimentos.



RESUMO

SERQUEIRA, Juliana Marques. **Modelagem hidráulica do sistema de abastecimento de água da cidade de Jaguapitã - PR.** 2020. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2020.

O objetivo deste trabalho, foi modelar hidráulicamente e simular o comportamento do sistema de abastecimento de água (SAA) da cidade de Jaguapitã, PR. O SAA é composto por quatro poços profundos, bombas e adutoras de recalque da água bruta, reservatório de acúmulo da água bruta e tanque de contato para cloração (RAP 1), bombas e adutoras de água tratada e três reservatórios (RAP 2, RAP 3 e REL 1), além da rede de distribuição nas zonas alta e baixa. Os dados foram obtidos a partir da planta cadastral e da operação do sistema. Na modelagem e simulações estáticas e dinâmicas foi utilizado o software Epanet, alimentado por dados de arquivo Autocad e planilhas Excel. Os principais resultados das modelagens e simulações indicam que o SAA atende as demandas de água da cidade, com tempo de operação de 18 horas por dia, que aliado ao volume de armazenamento de 75% do consumo diário, permite o desligamento das bombas no período em que a energia elétrica é mais cara (horário de ponta). É possível reduzir o consumo de energia elétrica no bombeamento, pela elevação do rendimento dos conjuntos moto bombas. A simulação da substituição do conjunto moto bomba de água tratada 1 atual, com rendimento de 55% por outro de 80%, poderia reduzir o consumo de energia em 89053 kW por ano (9,3% do total). A rede de distribuição de água está adequada, na zona alta, enquanto na zona baixa há áreas em que a pressão é superior a 50 mca durante todo o período. A instalação de válvulas redutoras de pressão (VRP) e a setorização da rede podem reduzir as pressões e, possivelmente, diminuir perdas de água e problemas operacionais com rompimento das redes.

Palavras-chave: Sistema de Abastecimento de água, Modelagem Hidráulica, Epanet, Poços profundos, Bombas.



ABSTRACT

SERQUEIRA, Juliana Marques. **Modelagem hidráulica do sistema de abastecimento de água da cidade de Jaguapitã-PR**. 2020. 72 f. Project Final Paper (Undergraduate) – Bachelor degree in Environmental Engineering. Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2020.

The objective of this work was to hydraulically model and simulate the behavior of the water supply system (WSS) in the city of Jaguapitã, PR. The WSS is composed of four deep wells, raw water discharge pumps and mains, raw water accumulation reservoir and chlorination contact tank (RAP 1), treated water pumps and mains and three reservoirs (RAP 2, RAP 3 and REL 1), in addition to the distribution network in the high and low zones. The data were obtained from the cadastral plan and the operation of the system. In the modeling and static and dynamic simulations, Epanet software was used, fed by data from AutoCAD file and Excel spreadsheets. The main results of the modeling and simulations indicate that the WSS meets the city's water demands, with an operating time of 18 hours per day, which, together with the storage volume of 75% of daily consumption, allows the pumps to be turned off during the period that electricity is more expensive (rush hour). It is possible to reduce the consumption of electrical energy during pumping, by increasing the performance of the pump sets. The simulation of the replacement of the current treated water pump set 1, with a 55% yield for another 80%, could reduce energy consumption by 89053 kW per year (9.3% of the total). The water distribution network is adequate in the high zone, while in the low zone there are areas where the pressure is greater than 50 mca during the entire period. The installation of pressure reducing valves (VRP) and the sectorization of the network can reduce pressures and, possibly, reduce water losses and operational problems with network disruption.

Key-words: Water Supply System, Hydraulic Modeling, Epanet, Deep Wells, Pumps.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de um sistema de abastecimento de água	15
Figura 2 – Aquíferos no Estado do Paraná e participação (%) no abastecimento	18
Figura 3 – Traçados de redes de distribuição	20
Figura 4 – Localização do município de Jaguapitã	30
Figura 5 – Componentes do sistema de abastecimento de água da cidade de Jaguapitã	33
Figura 6 – Esquema das unidades do sistema urbano de abastecimento	34
Figura 7 – Localização e fotografias dos poços profundos e do RAP1	35
Figura 8 – Fotografias dos poços profundos	35
Figura 9 – Vista geral (a) e entrada das águas dos poços (b) no RAP 1	37
Figura 10 – Conjuntos motor bomba da elevatória de água tratada 1 (EAT 1)	38
Figura 11 – Localização dos poços, RAP 1	39
Figura 12 – Vista geral do reservatório apoiado 2 (RAP 2)	40
Figura 13 – Vista geral do reservatório apoiado 3 (RAP 3)	40
Figura 14 – Vista geral do reservatório elevado 1 (REL 1)	41
Figura 15 – Conjuntos motor bomba da elevatória de água tratada 2 (EAT 2)	42
Figura 16 – Identificação das zonas de pressões.	43
Figura 17 – Rede de distribuição zona alta com indicação das cotas nos nós e diâmetro nos trechos	44
Figura 18 – Rede de distribuição zona baixa com indicação das cotas nos nós e diâmetro nos trechos	45
Figura 19 – Dados inseridos no nós e nos trechos	46
Figura 20 – Curvas das bombas dos poços e água tratada	47
Figura 21 – Padrão de preço de energia elétrica	48
Figura 22 – Padrão do consumo de água	49
Figura 23 – Esquema bombeamento e reservatórios (nós, trechos, reservatórios e bombas).	51
Figura 24 – Esquema de bombeamento e reservatórios (vazão nos nós).	50
Figura 25 – Vazão e funcionamento das bombas	52
Figura 26 – Variação da pressão nos reservatórios RAP 1 e RAP 2 ao longo de 168 h.	53
Figura 27 – Relatório do desempenho energético das bombas atuais.	53
Figura 28 – Curvas do fabricante da bomba	54
Figura 29 – Relatório de desempenho energético substituindo-se a bomba B5	55
Figura 30 – Variação da carga hidráulica no reservatório RAP 2	56



Figura 31 – Componentes do modelo hidráulico do bombeamento	56
Figura 32 – Relatório de desempenho energético do conjunto motor bomba B6	57
Figura 33 – Balanço das vazões de produção e consumo de água	57
Figura 34 – Isolinhas de pressão na zona alta para (a) maior consumo e (b) menor consumo	58
Figura 35 –Variação com o tempo da carga hidráulica no REL 1	59
Figura 36 – Variação com o tempo da pressão no Nó n1	59
Figura 37 – Variação com o tempo da pressão no Nó n11	59
Figura 38 – Variação com o tempo da vazão de saída do RAP 3	60
Figura 39 – Isolinhas de pressão na rede de distribuição às 4 h e às 12 horas	61
Figura 40 – Representação das cotas topográficas	61
Figura 41 – Variação da pressão e do consumo de água com o tempo no nó n139	62
Figura 42 – Variação da pressão e do consumo de água com o tempo no nó n34	63
Figura 43 – Configuração da válvula redutora de pressão e localização do Nó n129	64
Figura 44 – Isolinhas de pressão na zona baixa para (a) menor e (b) maior consumo após a instalação de VRP	64
Figura 45 – Variação da pressão com o tempo no Nó n139 após a instalação de VRP	65
Figura 46 – Variação da pressão com o tempo no Nó n221	65



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicadores de abastecimento de água na cidade de Jaguapitã	31
Tabela 2 - Características dos poços e das adutoras de água bruta	36
Tabela 3 - Condições operacionais dos conjuntos moto bombas dos poços	36



LISTA DE SIGLAS

CMB – Conjuntos Motores Bombas

DeFoFo – PVC com Diâmetro Equivalente Ferro Fundido

EAT – Elevatória de Água Tratada

FG – Ferro Galvanizado

FoFo – Ferro Fundido

RAP – Reservatório apoiado

REL – Reservatório Elevado

RNF – Reservatório de Nível fixo

RNV – Reservatório de Nível Variado

ND – Nível Dinâmico

NE – Nível Estático



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	15
3.1.1. PARTES DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO	15
3.1.2. IMPORTÂNCIA DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	20
3.1.3. PERDAS DE ÁGUA	21
3.1.4. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	24
3.2. MODELAGEM HIDRÁULICA	25
3.3. PROGRAMA EPANET	27
4. MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	29
4.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	31
4.2.1. MANANCIAL DE ABASTECIMENTO E CAPTAÇÃO DE ÁGUA BRUTA	34
4.2.2. RESERVATÓRIO APOIADO 1 (RAP 1)	36
4.2.3. ELEVATÓRIA DE ÁGUA TRATADA 1 (EAT 1)	37
4.2.4. RESERVATÓRIOS DE ÁGUA TRATADA	39
4.2.5. ELEVATÓRIA DE ÁGUA TRATADA 2 (EAT 2)	41
4.2.6. REDE DE DISTRIBUIÇÃO	43
4.3. MODELAGEM HIDRÁULICA	45
4.3.1. MODELAGEM DOS BOMBEAMENTOS DAS ÁGUAS BRUTAS E TRATADA	46



4.3.2. MODELAGEM DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1. MODELAGEM DO BOMBEAMENTO DA ÁGUA BRUTA E TRATADA	51
5.2. MODELAGEM DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	55
5.2.1. ZONA ALTA DE ABASTECIMENTO	55
5.2.2. ZONA BAIXA DE ABASTECIMENTO SEM VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO (VRP)	60
5.2.3. ZONA BAIXA DE ABASTECIMENTO COM VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO (VRP)	63
6. CONCLUSÕES	66
7. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES	67
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de abastecimento de água (SAA) são os que provocam maior impacto na redução das doenças infecciosas e constituem um importante investimento em benefício da saúde pública. Também, tem sido constatado que além da diminuição das doenças transmissíveis pela água, indiretamente ocorre a diminuição da incidência de uma série de outras enfermidades não relacionadas diretamente aos excretos ou ao abastecimento de água (efeito Mills-Reincke).

Por outro lado, os SAA podem ter impacto ambiental e energético significativos devido à energia consumida no bombeamento e as perdas de água. Assim, nos últimos anos, além de garantir a saúde da população, as exigências do crescimento sustentável apresentam às empresas do setor de saneamento o desafio da gestão eficiente da produção de água.

Para Bezerra & Cheung, (2013), o uso racional da água e da energia no setor produtivo é um requisito indispensável para o desenvolvimento econômico e social no mundo contemporâneo, pela necessidade imperativa da preservação do meio ambiente e da minimização dos custos operacionais. Estes insumos são cada vez mais escassos e, por conseguinte, mais caros, onerando, significativamente, os custos de produção.

As perdas reais de água, que inevitavelmente ocorrem em todas as redes, podem ser minoradas, preservando a água, produtos químicos utilizados no seu tratamento e a energia necessária à pressurização dos sistemas.

Para os operadores dos SAA, os custos de operação é um dos mais significativos, principalmente devido às despesas com a energia requerida nos bombeamentos. O custo da energia repercute, de forma considerável, no custo da água potável.

A qualidade da operação e a eficiência de um SAA, pode ser mensurada pela adequação das vazões e pressões disponíveis nos pontos de consumo, pela garantia da água potável fornecida ao consumidor, pela intermitência ou não do abastecimento, pelos níveis de perdas de água e pelo uso racional de energia (GOMES, 2019).

O conhecimento da eficiência do sistema de abastecimento, como também as decisões a serem tomadas com o objetivo de aumentá-la, depende do conhecimento e controle da operação do sistema como um todo. Durante muito tempo o controle

operacional de sistemas de abastecimento, por parte das empresas de saneamento, foi executado com o apoio de equipamentos de comunicação e, principalmente, da experiência da mão-de-obra encarregada do serviço.

Nos últimos anos surgiram softwares que vêm sendo aplicados, cada vez mais, para representarem os sistemas físicos e auxiliarem nas tomadas de decisão com o propósito de melhorar a eficiência da operação. Trata-se de modelos computacionais que representam o sistema de abastecimento como um todo e simulam sua operação ao longo do tempo.

Através das simulações hidráulicas muitas análises podem ser feitas sobre o comportamento da operação do sistema de abastecimento. Dessa maneira, poderão ser tomadas decisões sobre possíveis intervenções físicas ou operacionais, visando melhorar a eficiência do sistema. Em sistemas de pequeno e médio portes, o uso de simuladores hidráulicos é ainda, na maioria dos casos, pouco conhecido e explorado.

O objetivo deste trabalho foi modelar o sistema de abastecimento de água da cidade de Jaguapitã, PR, buscando verificar o funcionamento das unidades de produção e distribuição, e simular possíveis intervenções de maneira a aumentar a eficiência operacional.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Realizar a modelagem hidráulica do sistema de abastecimento de água da cidade de Jaguapitã – PR utilizando o software EPANET.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

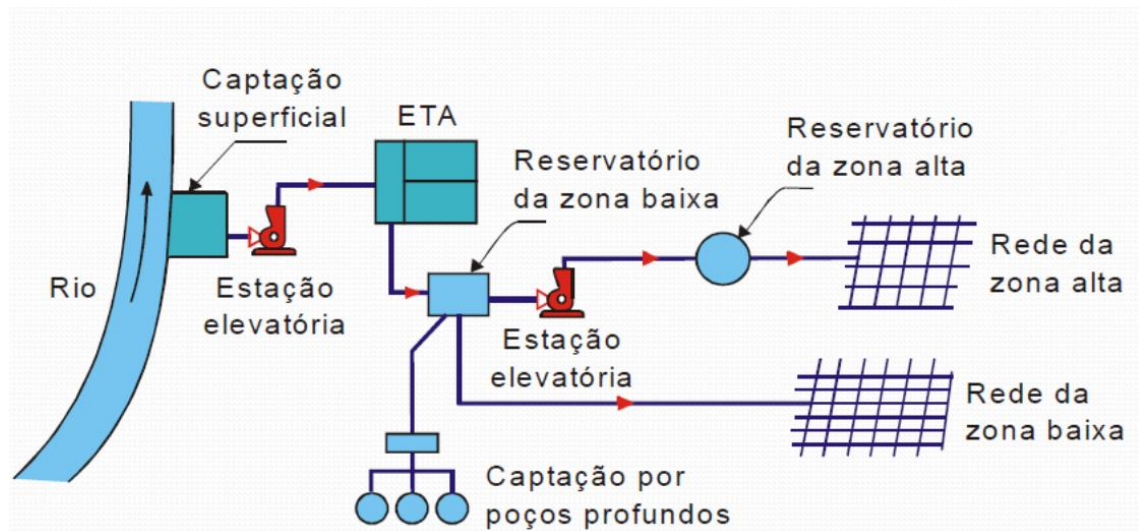
- Avaliar as condições hidráulicas, energéticas e operacionais do bombeamento nos quatro poços profundos;
- Avaliar as condições hidráulicas, energéticas e operacionais dos recalques de água tratada;
- Verificar o comportamento dos reservatórios de água;
- Avaliar o funcionamento hidráulico da rede de distribuição de água.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Sistemas de abastecimento de água podem ser definidos como um conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água às comunidades, para fins de consumo doméstico, industrial e público. De um modo geral, os sistemas convencionais de abastecimento de água são constituídos das seguintes partes: manancial; captação; estação elevatória; adutora; estação de tratamento de água; reservatório; rede de distribuição (TSUTIYA, 2004; FUNASA, 2015). A Figura 1 apresenta o esquema de um sistema de abastecimento de água.

Figura 1 – Representação de um sistema de abastecimento de água.



Fonte: TSUTIYA (2004).

3.1.1. Partes do sistema de abastecimento

Manancial: A água pode ser captada em mananciais superficiais ou subterrâneos. Em geral, as cidades maiores são abastecidas por mananciais superficiais, enquanto as menores por fontes subterrâneas.

A utilização crescente da água subterrânea é, sem dúvida, produto das vantagens que ela apresenta sobre os recursos de superfície. As obras de captação de água por

poços, geralmente, oferecem condições mais vantajosas que a utilização de mananciais de superfície, visto que:

- Na maior parte dos casos, a demanda de água pode ser facilmente atendida por poços;
- O abastecimento não está sujeito a situações críticas face à ocorrência de condições climáticas anormais, pois geralmente a quantidade e a qualidade das águas subterrâneas não são significativamente afetadas pela variabilidade sazonal ou interanual das fontes de recarga;
- Pode ser explorada no local onde ocorrem as demandas, sem que haja a necessidade de se construir extensas adutoras;
- Os investimentos iniciais são sensivelmente inferiores aos de captação superficial, com possibilidades de escalonamento dos recursos financeiros por etapas;
- Os sistemas de captação têm prazos de execução relativamente curtos;
- Os mananciais são naturalmente melhor protegidos dos agentes poluidores;
- A qualidade natural da água extraída quase sempre dispensa tratamento, requerendo somente cloração e fluoretação (HELLER & PADUA, 2006; ROCHA & JORBA, 2007).

Em contrapartida, algumas desvantagens do aproveitamento das águas subterrâneas em relação ao de águas superficiais também podem ser citadas:

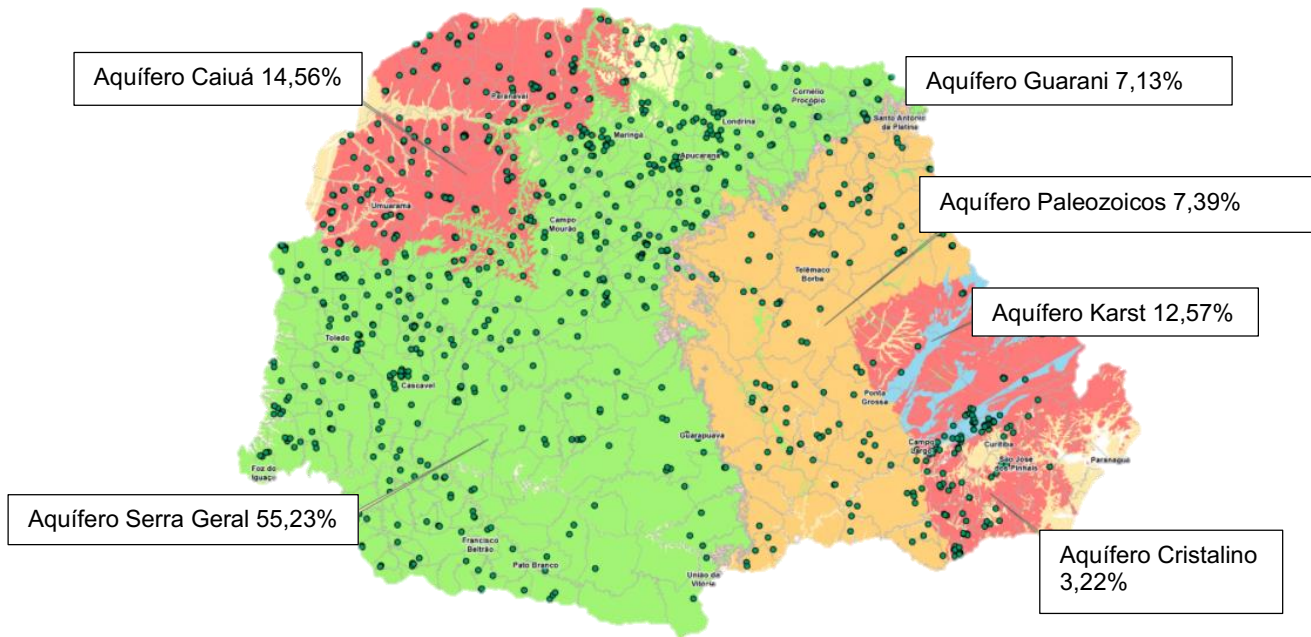
- As águas geralmente têm que ser bombeadas, enquanto podem estar disponíveis por gravidade nos reservatórios de superfície, os quais, além do armazenamento, podem ser utilizados para outros fins;
- As vazões individuais dos poços são relativamente pequenas, limitadas pelas características geológicas do manancial subterrâneo;
- Podem apresentar alto teor salino e chegar a ser impróprias para fins potáveis (HELLER & PADUA, 2006; ROCHA & JORBA, 2007).

No Brasil, 52% dos 5.570 municípios são abastecidos total (36%) ou parcialmente (16%) por águas subterrâneas, com a exploração desse recurso hídrico inversamente proporcional ao tamanho das cidades. As águas subterrâneas são a opção exclusiva para 48% dos municípios com população menor que 10 mil habitantes e para 30% daqueles com 10 a 50 mil habitantes (ANA, 2010).

Em termos populacionais, dos 172 milhões de brasileiros que têm acesso à rede pública de água, somente 30,4 milhões (17,7%) são atendidos pelas águas subterrâneas, ao passo que os 141,6 milhões restantes (82,3%) são servidos por fontes superficiais. Em municípios maiores que 500 mil habitantes, somente 2% deles contam com as águas subterrâneas para o abastecimento integral de suas demandas. Em outros 56%, o abastecimento é misto, em que a contribuição do recurso subterrâneo está geralmente associada aos bairros mais distantes dos centros urbanos (HIRATA et al. 2019).

No Estado do Paraná, 56% dos municípios são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas e 22% por sistemas mistos (BORGES et al. 2017). Dos 345 municípios atendidos pela Sanepar, em 52% as águas subterrâneas são as fontes exclusivas, 35% por sistemas mistos e 12% exclusivamente por mananciais superficiais (SANEPAR, 2015). A Figura 2 mostra os principais aquíferos no Estado do Paraná e a participação de cada um deles.

Figura 2 – Aquíferos no Estado do Paraná e participação (%) no abastecimento.



Fonte: SANEPAR (2015).

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) possui grande importância para o Estado do Paraná, uma vez que, segundo a SANEPAR (2015), da água tratada e consumida, 21% provém dos aquíferos e o SASG contribui com 55% deste volume.

O SASG abrange uma área de aproximadamente 109.000 km² e sua espessura chega a 1347 m em Cianorte – PR, na região noroeste do estado. Possui contato com dois sistemas aquíferos: Aquífero Guarani (sotoposto) e Aquífero Caiuá (sobrepsto). Quanto aos parâmetros hidráulicos, a profundidade do nível estático varia de 0 a 141,04 m, com valor médio de 18,08 m; capacidade específica média de 1,5 m³/h m e vazão média é de 21,5 m³/h, sendo que, as maiores vazões são observadas em poços com profundidades entre 100 e 150 m (ATHAYDE e ATHAYDE, 2015).

Estações elevatórias e adutoras: O transporte da água pode ser realizado de duas formas: por gravidade, quando o local de destino do líquido se encontra em uma cota mais baixa que o de origem; ou por recalque através de uma estação elevatória, em que o conjunto motobomba transfere energia e eleva a pressão do líquido para vencer o desnível topográfico e as perdas. As estações elevatórias possuem extrema importância em um SAA, pois são os componentes que apresentam elevado custo de operação devido à grande utilização da energia elétrica (cerca de 90% da energia consumida por

um SAA), e além disso, podem ser encontradas na captação, adução, tratamento e distribuição de água (GOMES, 2019).

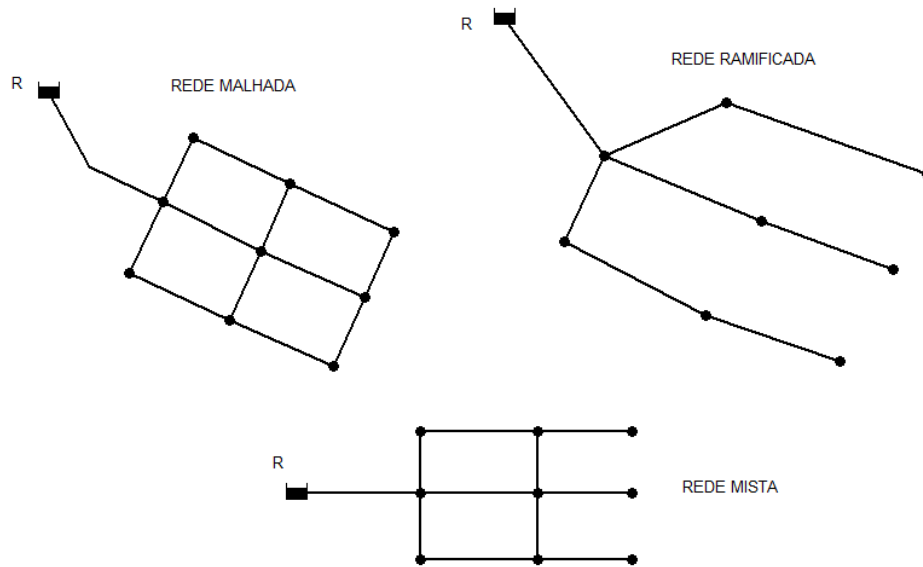
Reservação: Os reservatórios são unidades hidráulicas de acúmulo e passagem de água localizados em pontos estratégicos do sistema de abastecimento e são responsáveis pelas seguintes funções:

- Regularizar as diferenças entre o abastecimento e o consumo diário (reserva de equilíbrio);
- Promover o abastecimento contínuo durante curtos períodos de interrupção na distribuição (reserva de emergência);
- Reservar água para combater incêndios;
- Regularizar as pressões disponíveis nas redes de distribuição;
- Permitir o bombeamento de água fora do horário de pico elétrico, o que permite a redução nos custos em energia;
- Aumentar o rendimento do conjunto motor bomba (com vazão e altura manométrica constantes, os CMBs poderão operar próximo ao seu ponto de rendimento máximo) (TSUTIYA, 2004; HELLER & PADUA, 2006; GOMES, 2019).

Redes de distribuição: As redes de distribuição são compostas por todas as tubulações e dispositivos anexos interligados entre si e localizados nas vias e com função de encaminhar a água aos seus usuários finais em regime contínuo, com pressão adequada e atendendo todos os padrões de consumo necessários (HELLER & PADUA, 2006).

Os traçados das redes de distribuição são, basicamente, de dois tipos: malhado e ramificado, segundo suas tubulações sejam dispostas em forma de malhas ou de ramos, respectivamente. O traçado misto corresponde a uma combinação dos dois tipos (Figura 3).

Figura 3 – Traçados de redes de distribuição.



Fonte: GOMES (2019).

3.1.2 Importância dos sistemas de abastecimento de água

De acordo com Tsutiya (2004), entre as melhorias do saneamento ambiental, os sistemas de abastecimento de água são os que provocam maior impacto na redução das doenças infecciosas.

Conforme FUNASA (2015), os serviços de abastecimento de água constituem um importante investimento em benefício da saúde pública que se amplia com a implantação e melhoria dos sistemas de esgotos sanitários.

Porém, os sistemas de abastecimento de água podem ter um impacto ambiental e energético significativo devido à energia consumida no bombeamento de água e nas perdas de água (RIBAU et al. 2019).

Assim, além de garantir a saúde da população, as exigências do crescimento sustentável apresentam às empresas do setor de saneamento o desafio da gestão eficiente da produção de água. O uso racional da água e da energia no setor produtivo é um requisito indispensável para o desenvolvimento econômico e social no mundo contemporâneo, pela necessidade imperativa da preservação do meio ambiente e da minimização dos custos operacionais. Estes insumos são cada vez mais escassos e, por conseguinte, mais caros, onerando, significativamente, os custos de produção no setor

industrial. O setor de saneamento, que engloba a indústria de produção de água potável é, talvez, o mais estratégico no que diz respeito ao uso conjunto de água e energia e, portanto, merecedor de uma atenção especial, no tocante à racionalidade da utilização destes insumos (BEZERRA & CHEUNG, 2013).

Desta forma, segundo Baggio (2015), a gestão empresarial de um sistema de abastecimento de água deve estar empenhada na consecução plena das cinco premissas fundamentais:

- O sistema de abastecimento deve ser capaz de captar, bombear, conduzir, tratar e distribuir volumes de água suficientes para o atendimento das demandas da população (quantidade);
- A água entregue à população deve ter qualidade dentro dos padrões de potabilidade reconhecidos (qualidade);
- O sistema de abastecimento deve prover à população com um serviço contínuo, sem intermitências (conformidade);
- As variáveis capazes de influir no abastecimento de água devem ser bem conhecidas e dominadas pela equipe de operação (confiabilidade) e;
- O custo da água entregue à população deve ser o menor possível (custo).

3.1.3. Perdas de água

Mesmo havendo disponibilidade de água para atender às demandas e exigências legais, é uma obrigação ética dos responsáveis pelas instalações de abastecimento de água garantir que esse uso seja equilibrado, ou seja, que seja utilizada a quantidade estritamente necessária, sem usos supérfluos. Para tanto, duas parcelas do conjunto de usos da água devem ser minimizadas: as perdas e os desperdícios. A diferença de água que entra no sistema e o consumo autorizado, ou seja, toda a água que é captada ou importada que não foi fornecida para os usuários diversos de forma autorizada, exportada ou utilizada no combate a incêndios, são perdas. São divididas em perdas reais e perdas aparentes (FUNASA, 2015; TARDELLI, 2016).

As perdas aparentes estão relacionadas ao volume efetivamente consumido pelo usuário, mas que, por motivos diversos não foi medido ou contabilizado, gerando perda de faturamento para o prestador de serviços (hidrômetros que se apresentam: inoperantes, submedindo, são de qualidade duvidosa, estão mal dimensionados, instalados inadequadamente; erros de leitura; fraudes, consumos clandestinos, falhas no cadastro comercial e outros).

Já as perdas reais são as perdas físicas de água que ocorrem desde o momento da retirada do manancial (ou importada) até a ligação predial. Estão incluídas neste conceito as perdas na distribuição.

Frequentemente, as perdas reais têm como causas principais o excesso de pressão no interior das unidades operacionais e/ou não conformidades nas mesmas. Segundo Tsutiya (2004), a relação pressão e vazamento é um importante componente na determinação das perdas, sendo a pressão o alvo principal no controle dos sistemas de abastecimento, pois o custo para retirada de vazamentos é relativamente alto, já o controle da pressão, além de reduzir os vazamentos, reduz a propagação dos mesmos, possuindo uma boa relação custo/benefício. Também, os vazamentos estão associados à qualidade dos materiais e equipamentos adquiridos pela empresa de saneamento, à idade deles, à qualidade da mão de obra empregada, à qualidade da obra construída e a ausência de programas que monitorem as perdas.

Para Bezerra e Cheung (2013) as perdas de água em sistemas de abastecimento de água são influenciadas por diversos fatores infra estruturais e operacionais. Estas dependem basicamente das características da rede hidráulica e de fatores relacionados às práticas de operação, do nível de tecnologia do sistema e da expertise dos técnicos responsáveis pela gestão e controle dos serviços de abastecimento. Os autores ainda enumeram ações básicas para o combate às perdas reais, entre elas:

- gerenciamento de pressões, em que, no contexto da setorização da rede de distribuição, busca-se operar com pressões de serviço adequadas, complementando com a utilização de válvulas redutoras de pressão (VRPs) em áreas mais baixas ou *boosters* em pontos mais altos da rede;

- controle ativo de vazamentos, que se dedica a encontrar os vazamentos não visíveis nas tubulações por meio de técnicas acústicas de detecção (contrapõe-se ao “controle passivo”, que repara apenas os vazamentos que afloram à superfície do terreno);
- reparo dos vazamentos visíveis e não visíveis detectados, com agilidade e qualidade na execução;
- renovação da infraestrutura, substituindo as tubulações (redes e ramais) que estão com maior incidência de vazamentos.

Assim, o controle das pressões hidráulicas efetivas que vão atuar em uma rede de distribuição de água é um fator fundamental, pois interfere diretamente na qualidade do serviço, nas perdas reais de água e no custo de implantação e operação do sistema.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, através da NBR12218 (2017), que trata do Projeto de Rede de Distribuição de Água para o Abastecimento Público, estabelece que a pressão dinâmica mínima em qualquer ponto nas tubulações distribuidoras deve ser de 100 kPa (≈ 10 mca). A pressão máxima definida pela referida Norma é de 500 kPa (≈ 50 mca).

Segundo Gomes (2019), em cidades com topografia acidentada, as redes devem ser divididas por zonas de pressão, de forma a atender aos limites de carga estabelecidos. O limite de pressão superior nas redes deve ser imposto, pelos seguintes aspectos:

- Quanto maiores forem as pressões requeridas, maior será o custo energético de bombeamento, pois este custo é diretamente proporcional à altura manométrica de impulsão;
- Para maiores pressões na rede, as tubulações serão mais exigidas por necessitarem de maiores pressões nominais, sendo estas de maior custo;
- As possibilidades de rompimento das tubulações aumentam, com o aumento das pressões dinâmicas e estáticas da rede;
- As perdas físicas de água crescem com o aumento das pressões de serviço, pois a vazão nas fissuras ou juntas dos tubos aumenta com o acréscimo da pressão;

- As vazões nos pontos de consumo crescem com o aumento das pressões disponíveis.

Assim, o conjunto das perdas eleva sobremaneira os custos com energia elétrica, insumos para o tratamento, mão de obra, provoca paradas do sistema para manutenção, piora a qualidade do serviço ao usuário, põe em risco a saúde pública e afeta diretamente a disponibilidade do recurso hídrico para os diversos usos e manutenção do equilíbrio ecológico do meio, bem como resultam em perdas de receitas operacionais (FUNASA, 2015).

3.1.4. Eficiência energética

Eficiência energética no setor de saneamento representa um conjunto de ações e procedimentos que tem como objetivo captar, tratar e fornecer água potável em quantidade suficiente, com o menor desperdício de água e energia possível (GOMES e CARVALHO, 2019).

Os sistemas de abastecimento e de esgotamento sanitário são responsáveis por, aproximadamente, 3% da energia consumida no mundo. No Brasil a situação não é diferente e, de acordo com o SNIS (2018), o consumo total de energia elétrica por prestadoras de serviços de água e esgotamento sanitário foi de 12,9 TWh por ano, o que representou 2,76% do consumo total do país. Este consumo refere-se aos diversos usos nos processos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, com destaque para os equipamentos motobomba das estações elevatórias, que são responsáveis por 90% da energia consumida (GOMES, 2019).

Parte significativa da energia gasta nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário se deve à ineficiência energética, estimada, atualmente, em média, 25% da energia gasta no mundo. Esta ineficiência é derivada do emprego de equipamentos de bombeamento de baixo rendimento (obsoletos, antigos ou mal dimensionados), do excesso de perda de carga hidráulica nas linhas adutoras e nas tubulações das redes de abastecimento, da ausência de manutenção, das perdas reais de água, de procedimentos operacionais inadequados, dentre outros fatores (RIBEIRO et al. 2019).

Apesar do consumo da energia elétrica ser muito variável, dependendo do sistema de abastecimento considerado, TSUTIYA (2006) apresenta um índice médio de referência de 0,6 kWh/m³ de água produzida (bombeada). Dessa forma, fica estabelecida uma relação direta entre a necessidade da eficiência hidráulica e energética para o bom gerenciamento dos SAA (CHEUNG *et al.*, 2009), sem esquecer que há sinergias nas ações de redução de perdas de água e eficiência energética. A redução do índice de perdas leva à diminuição na necessidade de produção de água que, por sua vez, faz com que a energia consumida na produção de água caia e assim ocorra uma redução nos custos de energia (HAIDAR *et al.* 2019).

Nos últimos anos, em virtude, principalmente, da repercussão do custo energético na operação dos sistemas de abastecimento, as empresas prestadoras de serviços de saneamento estão buscando adotar medidas para aumentar a eficiência energética e, conseqüentemente, diminuir seus custos operacionais (PEREIRA; CONDURÚ 2014).

O combate à diminuição do excesso do consumo de energia, sem que haja comprometimento da qualidade do serviço de abastecimento, depende de um conjunto de ações nas áreas das engenharias hidráulica, mecânica e elétrica (GOMES *et al.* 2013; GOMES, 2019).

Para diagnosticar uma estação de bombeamento de água e propor a utilização de equipamentos mais eficientes, é necessário considerar as características de consumo da região abastecida. Segundo Tsutiya (2004), deve-se conhecer as variações do consumo (anuais, mensais, diárias e horárias) em determinada área, gerando curvas típicas da região e estabelecendo os coeficientes do dia e da hora de maior consumo (K_1 e K_2), os quais possuem grande influência na vazão de bombeamento de sistemas. Além do consumo, medições *in loco* de vazões e pressões são importantes para a construção da curva da bomba existente e da curva do sistema. Tais medições também são imprescindíveis para a subsequente definição da potência e demais parâmetros da bomba ideal para o sistema instalado, que substituirá a existente.

3.2. MODELAGEM HIDRÁULICA

Conforme Gomes (2019), a operação de sistemas de abastecimento de água potável, composto pelas obras de captação, adução, tratamento, estações de bombeamento, redes de distribuição, reservatórios e dispositivos de controle (válvulas), compreende um conjunto de ações necessárias à distribuição da água aos pontos de consumo com boa qualidade e em quantidade suficiente. Esta operação se constitui na principal ação de gestão das empresas de saneamento, influenciando diretamente na qualidade do sistema de abastecimento em termos sanitários, ambientais, econômicos e sociais.

A maior ou menor qualidade da operação de um sistema de abastecimento de água, está diretamente ligada à sua eficiência, refletida pela qualidade do serviço prestado e pela racionalidade do uso da água e da energia. A eficiência do serviço pode ser mensurada pela adequação das vazões e pressões disponíveis aos pontos de consumo, pela garantia da água potável fornecida ao consumidor, pela intermitência ou não do abastecimento, pelos níveis de perdas de água e pelo uso racional da energia (GONÇALVES e ITONAGA, 2007; GOMES, 2019).

O conhecimento da eficiência do sistema de abastecimento, como também as decisões a serem tomadas com o objetivo de aumentá-la, depende do conhecimento e controle da operação do sistema como um todo. Durante muito tempo o controle operacional de sistemas de abastecimento, por parte das empresas de saneamento, foi executado com o apoio de equipamentos de comunicação e, principalmente, da experiência da mão-de-obra encarregada do serviço (GONÇALVES e ITONAGA, 2007).

Nos últimos anos surgiram softwares que vêm sendo aplicados, cada vez mais, para representarem os sistemas físicos e auxiliarem nas tomadas de decisão com o propósito de melhorar a eficiência da operação, como por exemplo o EPANET. Trata-se de modelos computacionais que representam o sistema de abastecimento como um todo e simulam sua operação ao longo do tempo. O surgimento destes modelos, baseados nas leis físicas, que regem o escoamento de fluidos em redes de abastecimento, é ainda recente. Ainda assim, existem atualmente dezenas de modelos hidráulicos desenvolvidos em vários países, destinados à simulação da operação de sistemas de abastecimento de água (ABE, 2014).

Através das simulações hidráulicas muitas análises podem ser feitas sobre o comportamento da operação do sistema de abastecimento. Dessa maneira, poderão ser tomadas decisões sobre possíveis intervenções físicas ou operacionais, visando melhorar a sua eficiência (SALVINO, 2012).

Uma das características fundamentais dos modelos de simulação e análises é a presença da variável tempo. O objetivo do modelo não se restringe apenas a obter os valores das grandezas hidráulicas e sim o de determinar a variação destas grandezas ao longo do tempo (vazão nos trechos, pressão nos nós, níveis nos reservatórios, entre outros). Em função da variável tempo os modelos podem representar os sistemas de forma estática ou dinâmica. Os modelos estáticos objetivam determinar os valores das variáveis do sistema para uma determinada condição (cenário) de operação. Nos modelos dinâmicos, as grandezas hidráulicas variam ao longo do tempo, em função de variações temporais dos consumos de água nos nós da rede, por exemplo (GOMES e SILVA, 2004; GOMES, 2009).

Em todo processo de modelagem há considerações que simplificam e resultam em um conjunto de equações que governam o modelo físico aplicado ao equilíbrio hidráulico; além disto, as propriedades da água, em diversas condições, e a imprecisão dos equipamentos de medição implicam em divergências, por menores que sejam, entre os valores de uma rede real e sua respectiva modelagem. A aproximação dos valores medidos com o modelo se dá com a calibração numérica.

3.3. PROGRAMA EPANET

Dentre os modelos hidráulicos de simulação e análises já desenvolvidos, o EPANET (ROSSMAN, 2002), se destaca por sua qualidade e pela quantidade de seus usuários em muitos países. O EPANET foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U. S. Environmental Protection Agency - EPA), que além de ter interface Windows, facilitando o seu emprego, é um programa de domínio público.

O EPANET é um software de modelagem hidráulica e qualidade da água, que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade em redes pressurizadas de distribuição de água. É possível estabelecer cenários de projetos, comparar com dados de medição resultando na calibração de

modelos hidráulicos, análise do decaimento do cloro residual e a avaliação de consumos. A modelação através do EPANET, permite representar um sistema de distribuição de água como sendo um conjunto de trechos ligados a nós (componentes físicos). Os trechos representam as tubulações, bombas e válvulas de controle e os nós representam pontos de consumo, junções, reservatórios de nível fixo (RNF) e reservatórios de nível variável (RNV).

Adicionalmente aos componentes físicos dos sistemas, o EPANET permite definir três categorias de informação sobre a rede (componentes não-físicos):

- Curvas (da bomba, de rendimento, de volume e de perda de carga);
- Padrões (de variação do consumo, de funcionamento de bombas, de preço de energia, entre outros);
- Controles (que descrevem o comportamento e os aspectos operacionais do sistema de distribuição de água).

O EPANET pode, assim, ajudar a analisar alternativas de gestão, de modo a melhorar a qualidade do sistema de abastecimento, em termos de quantidade e qualidade da água fornecida, como também permite avaliar possíveis ações que possam diminuir o consumo de energia elétrica das estações de bombeamento.

As capacidades de modelagem hidráulica são inúmeras, destacando-se como principais, segundo Rossman (2002):

- Dimensão ilimitada do número de componentes da rede analisada;
- Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- Consideração das perdas de carga singulares;
- Modelagem de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo;
- Modelagem dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de retenção, reguladoras de pressão e de vazão;

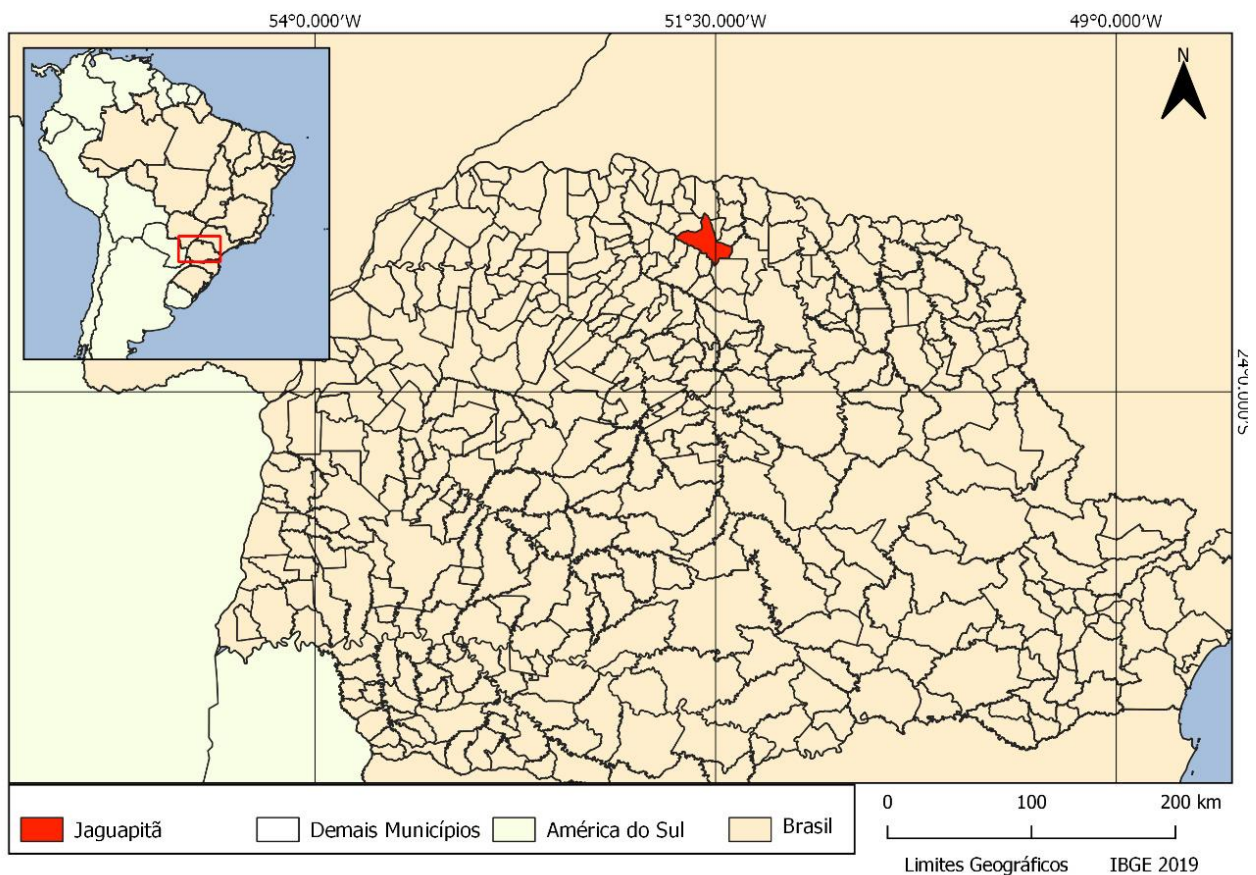
- Modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água;
- Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;
- Modelagem da relação entre pressão e vazão efluente de dispositivos emissores (por exemplo, aspersores de irrigação ou consumos dependentes da pressão);
- Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples, dependentes de uma só condição (por exemplo, altura de água num reservatório de nível variável, tempo), ou em controles com condições múltiplas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Jaguapitã está localizado na latitude 23°18'37" Sul e longitude de 51°09'46" Oeste, região norte do estado do Paraná (Figura 4) e possui uma superfície territorial de 478,11 km².

Figura 4 – Localização do município de Jaguapitã.



Fonte: Autoria própria (2020).

O clima predominante é do tipo Cfa, subtropical úmido mesotérmico, segundo a classificação de Köppen, com verões quentes, geadas poucos frequentes (nos meses de junho e julho) e tendência de concentração de chuvas no verão, sem estação seca definida. A precipitação média anual de 1.400 a 1.500 mm. O mês mais frio é julho, com temperatura média de 17°C, e o mês mais quente é o de fevereiro, com temperaturas

entre 26°C e 30°C. Os períodos com maior precipitação são de dezembro a fevereiro, e os menos chuvosos de junho a agosto.

Os principais cursos d'água existentes no município são: Ribeirão Bandeirantes do Norte, Córrego São José, Córrego Irajá, Água do Pacu, Ribeirão Centenário, Ribeirão Pelotas, Água das Pedras, Água Funda, Água da Onça, Água da Cobra.

Com relação ao solo, o município está localizado em uma área de transição entre basalto (Serra Geral) e arenito (Caiuá). Da área total, 44,9% é ocupada por Latossolo Vermelho, 25,8% por Nitossolo Vermelho, 22,6% por Argissolo Vermelho Amarelo e 6,7% por Latossolo Vermelho Distroférrico.

O relevo característico do município apresenta topografia plana a suave ondulada, com declividade inferior a 20% em 60% da área. A altitude do município varia de 450 a 600 metros (82% da área), 3% superior a 600 metros e 15% abaixo de 450 metros.

4.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O SAMAE – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Jaguapitã, fundado em 06/11/1968, é o responsável por desenvolver e implantar a política de saneamento no município. Os principais indicadores do abastecimento de água estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Indicadores de abastecimento de água na cidade de Jaguapitã.

Indicador	2018
Índice de atendimento urbano (%)	99,41
População urbana abastecida (habitantes)	11455
Economias ativas (un)	5632
Ligações ativas (un)	5902
Volume produzido anual (1000 m ³ /ano)	970,44
Volume micro medido anual (1000 m ³ /ano)	777,48
Perdas na distribuição (%)	19,9
Extensão da rede de água (km)	68,7
Extensão da rede de água por ligação ativa (m/lig.)	11,64
Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água (1000 kWh/ano)	1247,36
Consumo médio per capita (L/hab dia)	232,1
IPL distribuição (L/dia lig.)	89,57

Fonte: SNIS (2018) e dados operacionais.

Na Figura 5 pode-se observar os principais componentes do sistema de abastecimento de água, formado pelo manancial (poços profundos), estações de bombeamento, reservatórios apoiados e elevado e rede de distribuição em duas zonas de pressão.

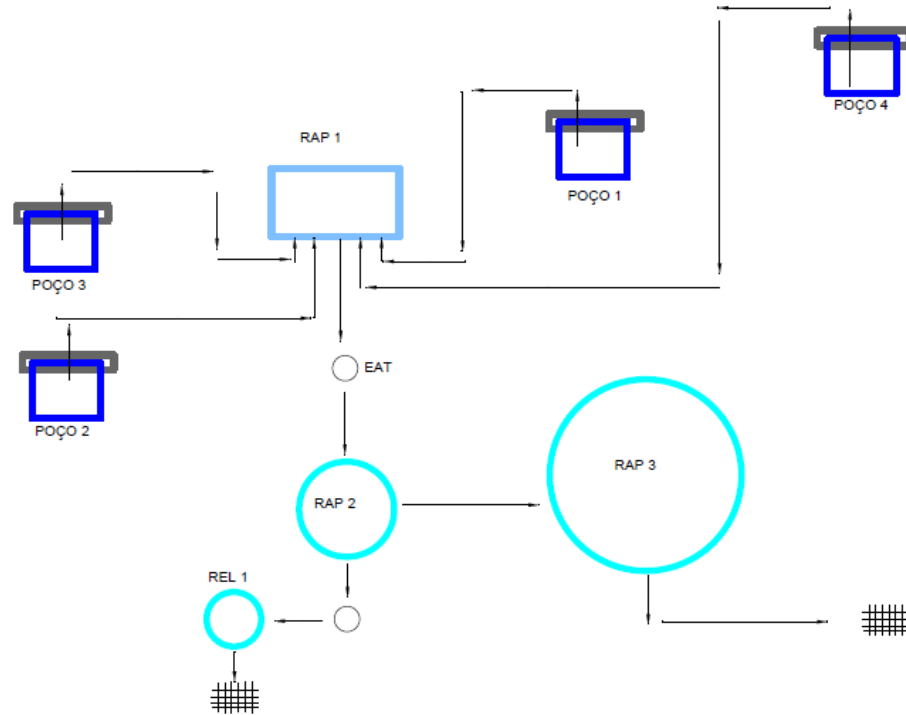
Figura 5 – Componentes do sistema de abastecimento de água da cidade de Jaguapitã.



Fonte: Adaptado Google Earth (2020).

A Figura 6, apresenta um esquema das unidades que compõem o sistema de abastecimento de água.

Figura 6 – Esquema das unidades do sistema urbano de abastecimento.



Fonte: Autoria própria (2020).

4.2.1. Manancial de abastecimento e captação de água bruta

A água de abastecimento público é captada em manancial subterrâneo, formação Aquífero Serra Geral. São operados, atualmente, 04 poços profundos (Figuras 7 e 8), com profundidades entre 125 m e 144 m.

O manancial atende aos aspectos qualitativos e quantitativos, sendo adicionados cloro, para desinfecção, e flúor.

Figura 7 – Localização e fotografias dos poços profundos e do RAP1.



Fonte: Adaptado Google Earth (2020).

Figura 8 – Fotografias dos poços profundos.



Fonte: CISPAr (2017).

A captação da água bruta é composta pelos poços tubulares profundos, conjuntos motores bombas submersas (CMB), tubulações internas nos poços e adutoras que ligam a saída do poço ponto até o reservatório apoiado 1 (RAP1). A Tabela 2 apresenta as

principais características dos poços e adutoras de água bruta e, a Tabela 3, as condições operacionais dos conjuntos moto bombas.

Tabela 2 - Características dos poços e das adutoras de água bruta.

Poço	Dados operacionais			Tubulação				Cota	
	NE	ND	Vazão	Dentro do poço		Fora do poço		Boca do poço	Entrada do RAP1
	(m)	(m)	(L/s)	D (pol)	L (m)	D (mm)	L(m)	(m)	(m)
1	49	78	6,692	3" FG	108	100 FoFo	21	549	552
2	40	60	8,062	2"1/2 FG	90	100 FoFo	150	541	552
3	35	59	13,339	4" FG	60	150 PVC	150	541	552
4	38	83	12,479	4" FG	90	150 DeFoFo	400	532	552

Fonte: Adaptado de CISPARG (2017).

NE - nível estático, ND - nível dinâmico, FG - ferro galvanizado, FoFo - ferro fundido, DeFoFo - PVC com diâmetro equivalente ferro fundido.

Tabela 3 - Condições operacionais dos conjuntos moto bombas dos poços.

Parâmetros	Poço 1 (B1)	Poço 2 (B2)	Poço 3 (B3)	Poço 4 (B4)
Vazão (L/s)	6,692	8,062	13,339	12,479
Altura manométrica (mca)	88,53	85,44	70,89	105,46
Rendimento (%)	44,9	48,9	54,2	59,0

Fonte: Adaptado de CISPARG (2017).

Os poços funcionam até 18 horas por dia, extraíndo a vazão total de aproximadamente 40,6 L/s.

4.2.2. Reservatório apoiado 1 (RAP 1)

O RAP 1, tem formato circular, é construído em concreto armado e reúne as águas bombeadas dos poços profundos (Figura 9). O reservatório tem volume útil de 100 m³, serve como tanque de contato para cloração e fluoretação e, poço de sucção do recalque da água tratada.

Figura 9 – Vista geral (a) e entrada das águas dos poços (b) no RAP 1.



(a)



(b)

Fonte: CISPAP (2017).

4.2.3. Elevatória de água tratada 1 (EAT 1)

O sistema de bombeamento da água tratada 1 é responsável por recalcar a água armazenada no reservatório RAP 1 para o RAP 2, e funciona cerca de 18 horas por dia. É formado por barrilete de sucção, dois conjuntos de motor e bomba e conexões e tubulações de recalque (Figura 10).

Figura 10 – Conjuntos motor bomba da elevatória de água tratada 1 (EAT 1).



Fonte: CISPAP (2017).

A sucção é formada por tubulação de ferro fundido, DN 200 mm e conexões (entrada de borda, registro de gaveta, curva de 45°, redução gradual) que foram consideradas na estimativa das perdas de carga distribuídas e localizadas).

As duas bombas centrífugas, CMB1 e CMB2, são da marca KSB, modelo 150-135, rotação de 1750 RPM, diâmetro do rotor de 317 mm e valores na placa, de altura manométrica, igual a 40 mca e vazão de 500 m³/h. As bombas são acionadas por motores com potência nominal de 93 kW (125 HP). A vazão bombeada e o rendimento medidos no CMB1 foi de 144 m³/h (40,0 L/s) e 55,6%, e 149 m³/h (41,4 L/s) e 55% no CMB2 (CISPAP, 2017).

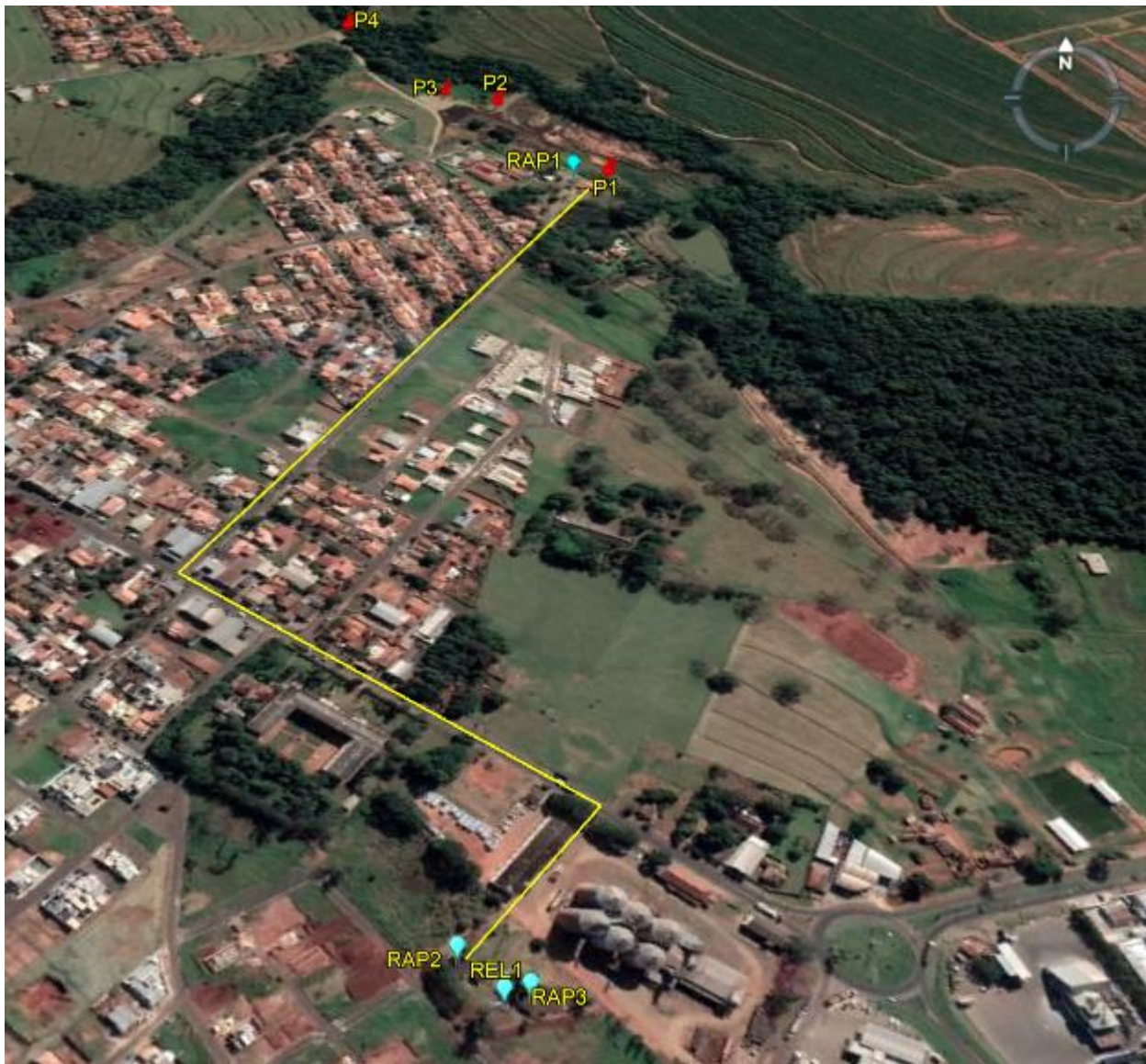
As tubulações de recalque são compostas inicialmente por trecho de 20 m (DN 250 mm de ferro fundido) seguida por duas linhas em paralelo (DN 200 FoFo e DN 200 DE FoFo) com cerca de 1000 m, além de conexões (ampliação gradual, registro de gaveta, curvas de 45°, tês, curvas de 90° e saída de canalização) consideradas na estimativa das perdas de carga distribuídas e localizadas.

A altura geométrica é de aproximadamente 55 m.

Para o cálculo das perdas de carga, utilizou-se a equação de universal (Darcy-Weisbach).

A Figura 11 ilustra as unidades e o traçado da adutora de água tratada.

Figura 11 – Localização dos poços, RAP 1.



Fonte: Google Earth.

4.2.4 Reservatórios de água tratada

Existem três reservatórios de água tratada no sistema de abastecimento de água da cidade de Jaguapitã, denominados RAP 2 e RAP 3 (apoiados), como mostrado nas Figuras 12 e 13, com capacidade de armazenamento de 600 m³ e 1200 m³, respectivamente, e o reservatório elevado (REL 1), com 15 metros de altura máxima de água e volume útil de 100 m³ (Figura 14).

O volume total armazenado alcança 2000 m³, o que corresponde a aproximadamente 75% do consumo médio diário, de 2660 m³/d.

Figura 12 – Vista geral do reservatório apoiado 2 (RAP 2).



Fonte: CIPAR (2017).

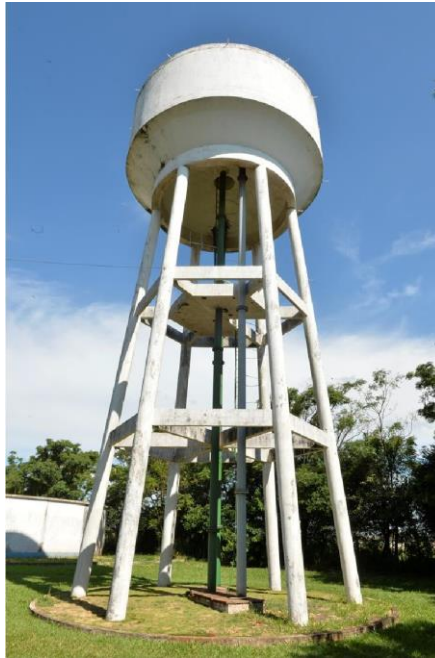
Figura 13 – Vista geral do reservatório apoiado 3 (RAP 3).



Fonte: CIPAR (2017).

Os reservatórios de distribuição (RAP 2 e RAP 3) estão conectados através tubulações e o reservatório elevado (REL 1) recebe a água pelo recalque da elevatória de água tratada 2 (EAT 2).

Figura 14 – Vista geral do reservatório elevado 1 (REL 1).



Fonte: CISPARG (2017).

4.2.5. Elevatória de água tratada 2 (EAT 2)

A EAT 2 é responsável por bombear a água armazenada no RAP 2 e RAP 3 para o REL 1. A instalação contém barrilete de sucção, dois conjuntos de motor e bomba e conexões e tubulações de recalque (Figura 15).

Figura 15 – Conjuntos motor bomba da elevatória de água tratada 2 (EAT 2).



Fonte: CISPAP (2017).

A sucção é formada por tubulação de ferro fundido, DN 200 mm e conexões (entrada de borda, registro de gaveta e redução gradual) que foram consideradas na estimativa das perdas de carga distribuídas e localizadas).

As duas bombas centrífugas são da marca KSB, modelo ETA 100-26, rotação de 1710 rpm, diâmetro do rotor de 200 mm, com valores na placa, de altura manométrica, igual a 17 mca e vazão de 88 m³/h. As bombas são acionadas por motores com potência nominal de 9,3 kW (12,5 HP). A vazão bombeada e o rendimento medidos no CMB1 foi de 74 m³/h e 48%, e 75 m³/h e 40% no CMB2 (CISPAP, 2017).

As conexões e tubulações de recalque (ampliação gradual, curvas de 90°, válvula de retenção, registro de gaveta, tees, redução gradual e saída de canalização) são de ferro fundido com DN 200 e a adutora DN 100 mm com comprimento estimado em 40m.

4.2.6. Rede de distribuição

A distribuição de água tratada é realizada em dois setores: a zona alta e a zona baixa, conforme a Figura 16. As redes são do tipo mista (ramificadas com interconexões formando anéis).

Figura 16 – Identificação das zonas de pressões.

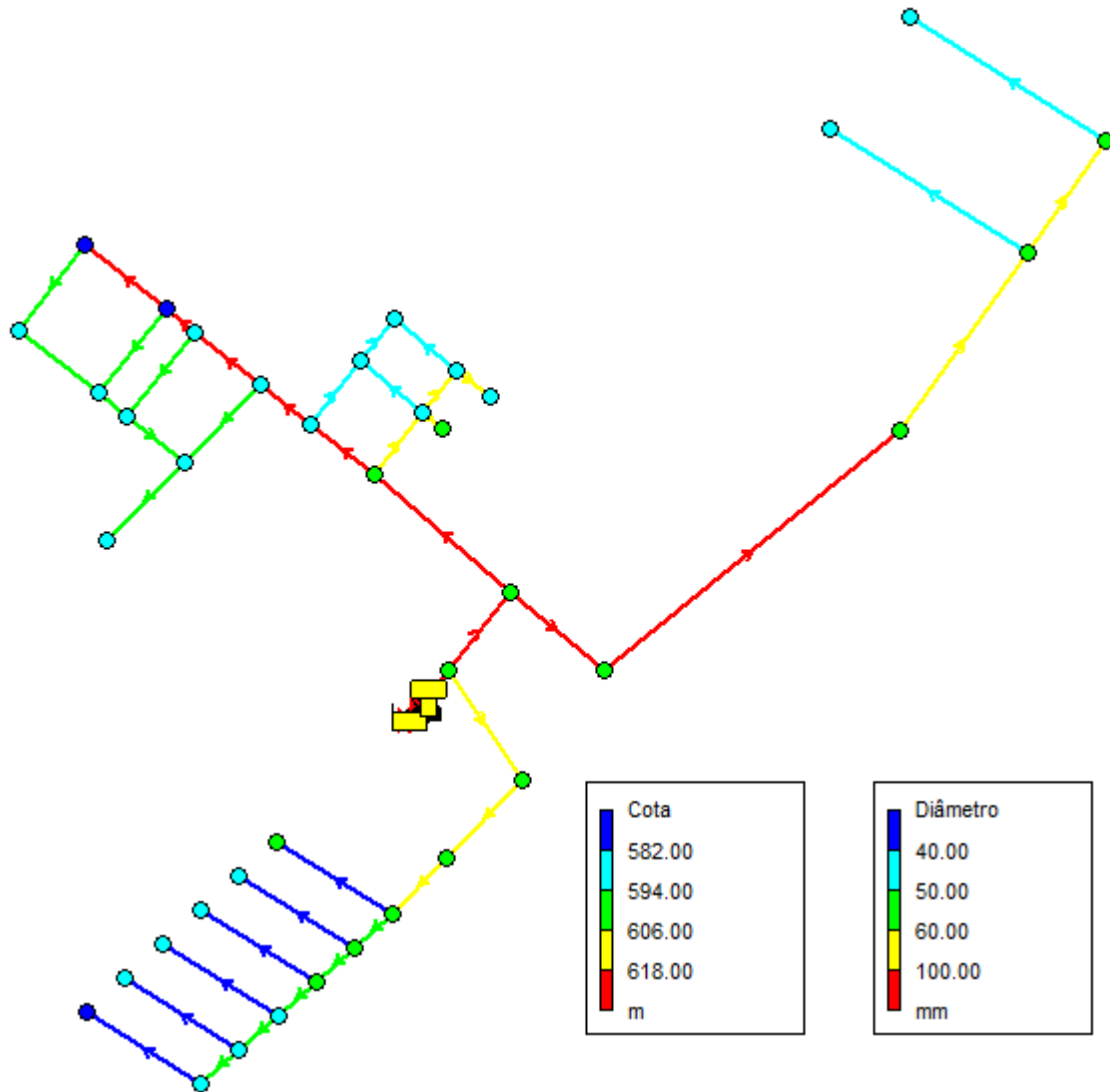


Fonte: Adaptado Google Earth (2020).

A zona alta (Figura 16 e 17) é abastecida a partir do reservatório elevado (REL 1) e representa cerca de 10 % do consumo da cidade. A extensão da rede considerada foi de aproximadamente 6000 m com diâmetros das tubulações variando entre 32 mm e 100 mm.

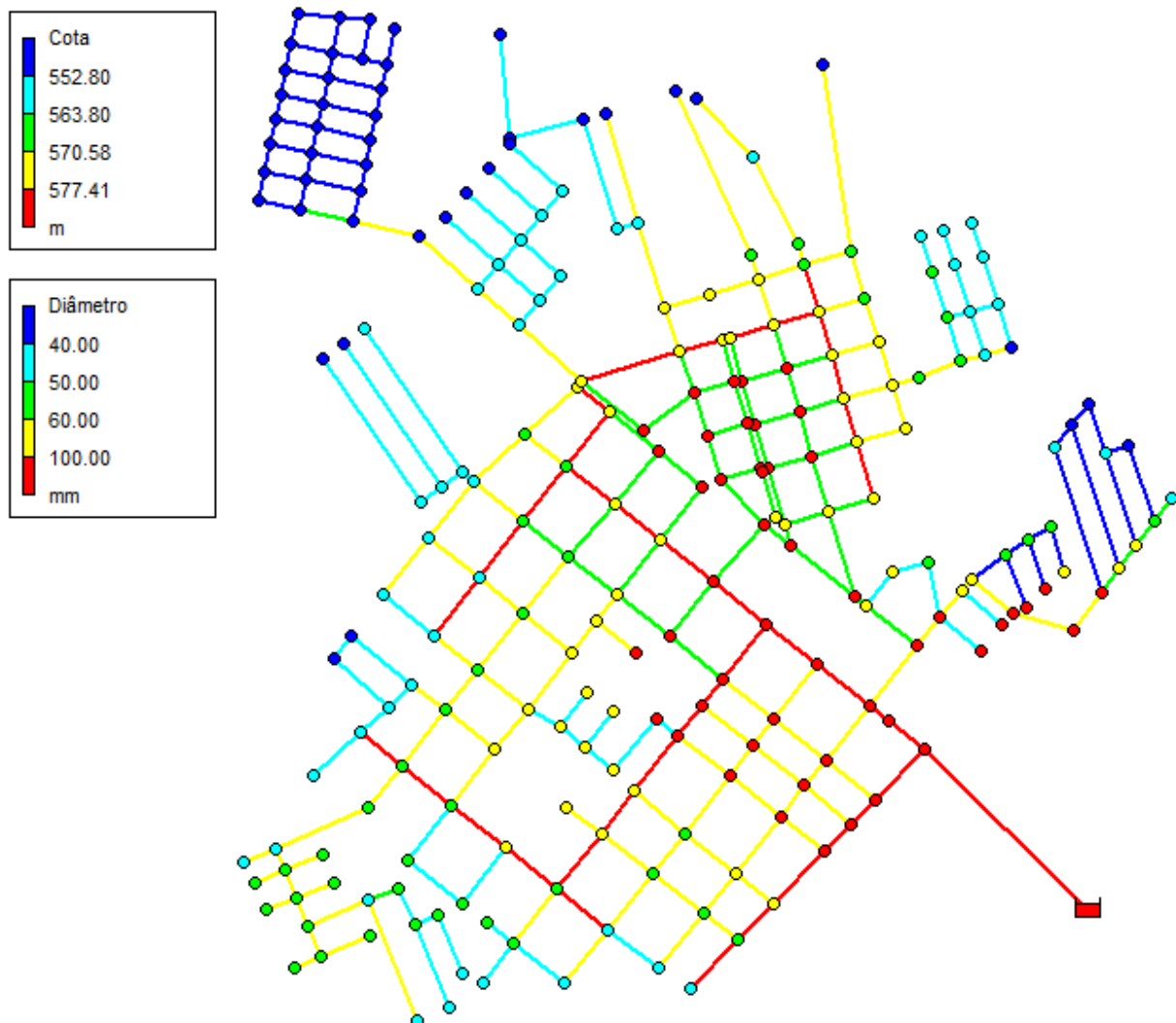
A zona baixa (Figuras 16 e 18) recebe a água dos reservatórios apoiados 2 e 3 (RAP 2 e RAP 3). Foi considerada a extensão de aproximadamente 34500 m, com diâmetros das tubulações variando entre 32 mm e 200 mm.

Figura 17 – Rede de distribuição zona alta com indicação das cotas nos nós e diâmetro nos trechos.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 18 – Rede de distribuição zona baixa com indicação das cotas nos nós e diâmetro nos trechos.



Fonte: Autoria própria (2020).

4.3 MODELAGEM HIDRÁULICA

A modelagem do sistema de abastecimento de água, descrito no item 4.2 foi realizada por meio do software Epanet. A modelagem iniciou-se com a representação esquemática do conjunto de trechos ligados aos nós. Os trechos representam os tubos, bombas e válvulas de controle. Os nós, cuja posição é definida por uma cota, representam pontos de consumos, alterações de diâmetros e os reservatórios de nível fixo (RVF) ou nível variável (RNV).

De maneira geral, em cada nó, são adicionadas as cotas, o consumo base e o padrão de consumo (se houver), enquanto nos trechos, são inseridos o comprimento, o diâmetro e a rugosidade da tubulação (Figura 19).

Figura 19 – Dados inseridos no nós e nos trechos.

Nó N1		Trecho T2	
Propriedade	Valor	Propriedade	Valor
*Identificador do Nó	N1	*Identificador do Trecho	T2
Coordenada X	2050.60	*Nó Inicial	N2
Coordenada Y	250.60	*Nó Final	N3
Descrição		Descrição	
Zona		Zona	
*Cota	441	*Comprimento	108
Consumo-Base	0	*Diâmetro	76.2
Padrão de Consumo		*Rugosidade	0.25
Categorias de Consumo	1	Coef. Perda de Carga Singular	4.2

Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Nas bombas, são acrescentadas curvas (de desempenho e de rendimento), padrões (de velocidade, do preço da energia elétrica) e comandos que definem condições operacionais.

4.3.1 Modelagem dos bombeamentos das águas brutas e tratada

Cotas: As cotas dos poços e dos reservatórios foram obtidas por meio de planta cadastral disponível em arquivo do Autocad. Em cada poço, a altura geométrica de bombeamento foi obtida pela diferença da cota entre a entrada do reservatório (RAP 1) e a cota do nível dinâmico da água (ND).

Nomenclatura: Para a modelagem das bombas foram utilizadas as seguintes nomenclaturas (QUADRO 1):

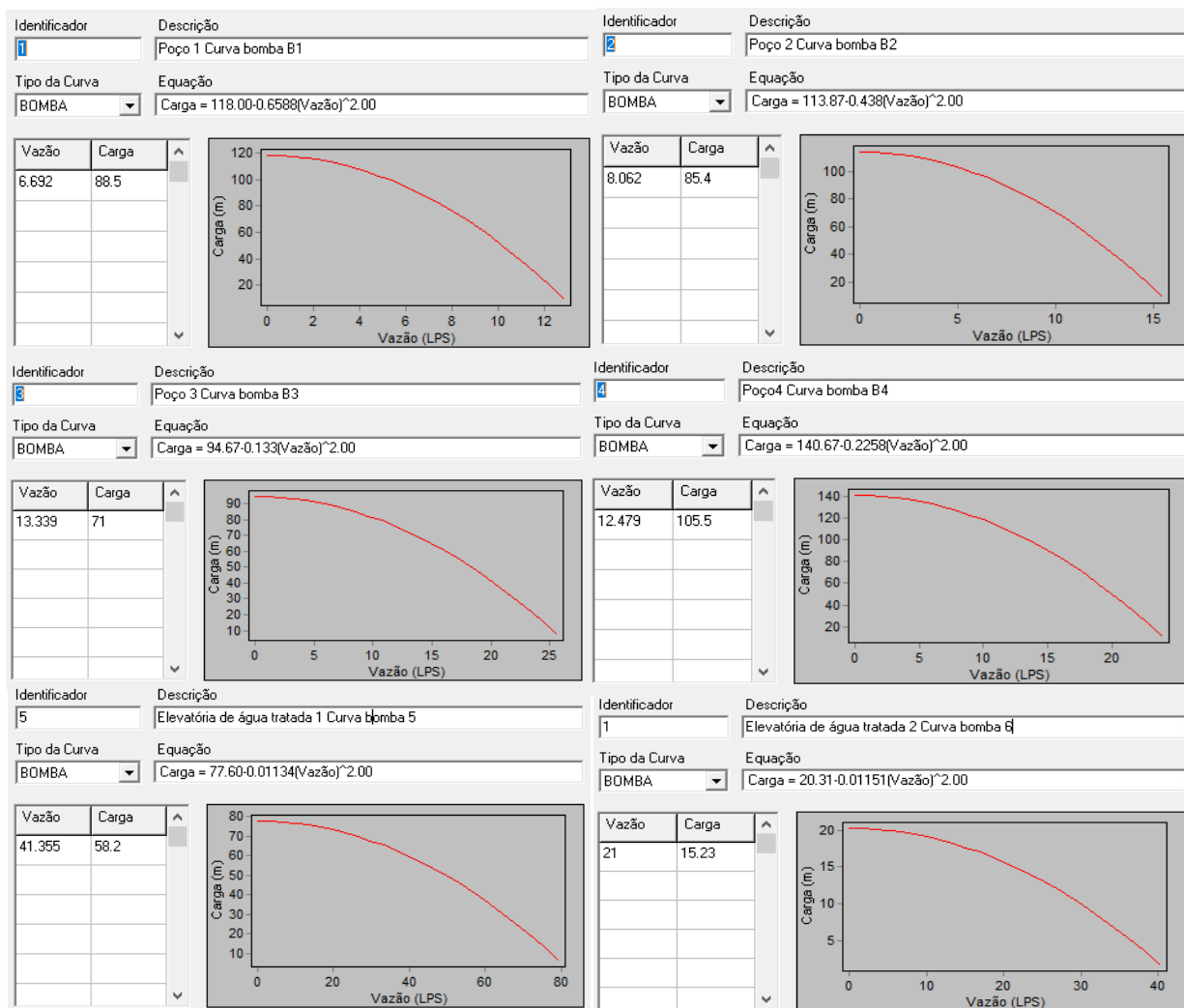
QUADRO 1 – Nomenclatura adotada para as bombas.

Bomba	Nomenclatura
Bomba do poço 1	B1
Bomba do poço 2	B2
Bomba do poço 3	B3
Bomba do poço 4	B4
Bomba da elevatória de água tratada 1	B6
Bomba da elevatória de água tratada 2	B7

Fonte: Autoria própria (2020).

Curvas das bombas: As curvas das bombas foram obtidas inserindo-se a vazão e a altura manométrica correspondentes ao ponto de funcionamento, medidas em campo (CISPAR, 2017). As curvas das bombas são apresentadas na Figura 20.

Figura 20 – Curvas das bombas dos poços e água tratada.

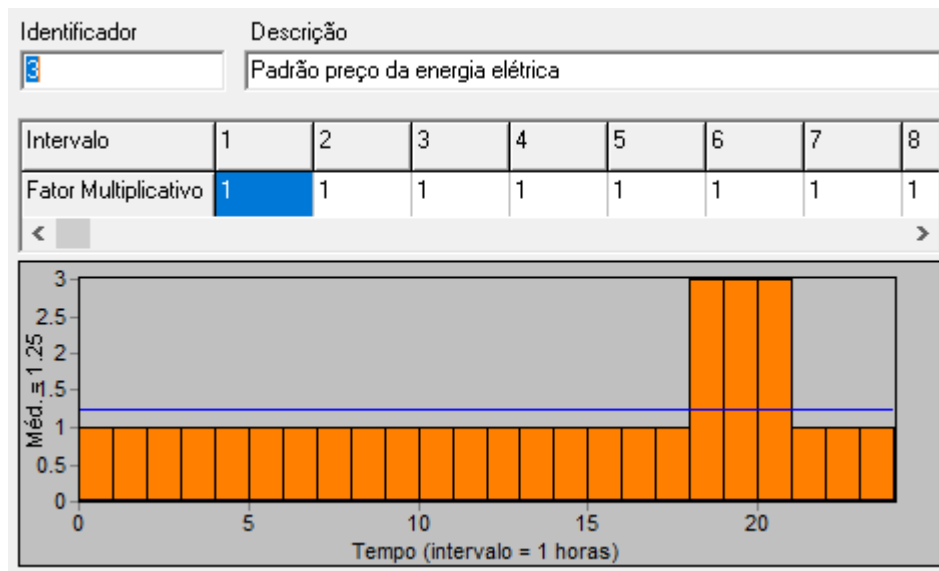


Fonte: Autoria própria (2020).

Rendimento: Foram adotados os rendimentos dos conjuntos motores bombas, descritos no item 4.2.

Padrão de preço: O padrão de preço da energia elétrica, foi estabelecido com valor aproximado de 3 vezes superior para o período da 18 h às 21 h (horário de ponta), conforme Figura 21.

Figura 21 – Padrão de preço de energia elétrica.



Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Controle operacional: O funcionamento das bombas foi programado em função dos níveis dos reservatórios (RAP 1 entre 1,2 m e 2,4 m e o RAP 2 entre 1,1 e 3,9 m) e horário de ponta (desliga às 18h e liga às 21h) conforme comandos simples apresentados a seguir:

```

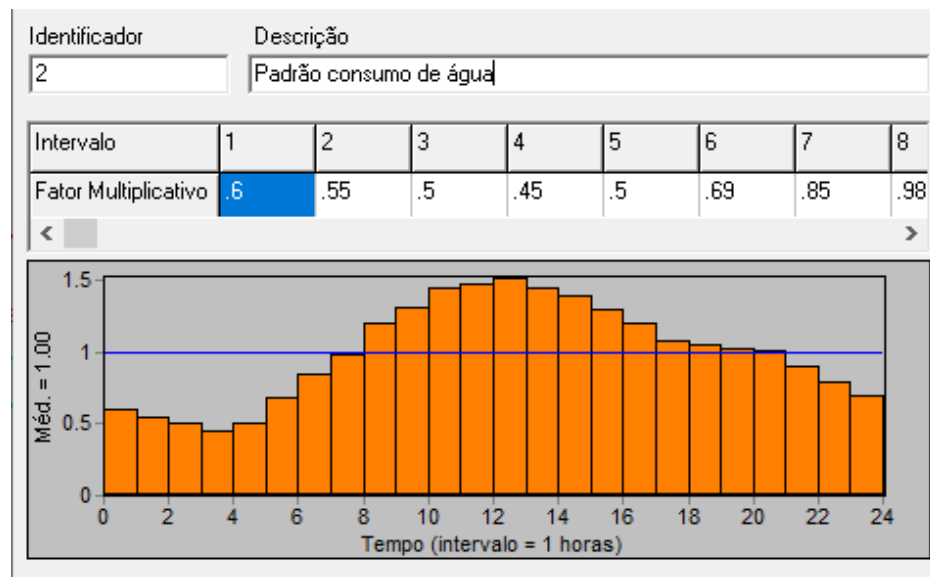
PUMP B1 CLOSED IF NODE RAP1 ABOVE 2.40
PUMP B1 OPEN IF NODE RAP1 BELOW 1.2
PUMP B1 CLOSED AT CLOCKTIME 6 PM
PUMP B1 OPEN AT CLOCKTIME 9 PM
PUMP B2 CLOSED IF NODE RAP1 ABOVE 2.40
PUMP B2 OPEN IF NODE RAP1 BELOW 1.2
PUMP B2 CLOSED AT CLOCKTIME 6 PM
PUMP B2 OPEN AT CLOCKTIME 9 PM
PUMP B3 CLOSED IF NODE RAP1 ABOVE 2.4

```

PUMP B3 OPEN IF NODE RAP1 BELOW 1.2
 PUMP B3 CLOSED AT CLOCKTIME 6 PM
 PUMP B3 OPEN AT CLOCKTIME 9 PM
 PUMP B4 CLOSED IF NODE RAP1 ABOVE 2.4
 PUMP B4 OPEN IF NODE RAP1 BELOW 1.2
 PUMP B4 CLOSED AT CLOCKTIME 6 PM
 PUMP B4 OPEN AT CLOCKTIME 9 PM
 PUMP B5 CLOSED IF NODE RAP1 BELOW 1.15
 PUMP B5 OPEN IF NODE RAP2 BELOW 1.1
 PUMP B5 CLOSED IF NODE RAP2 ABOVE 3.9
 PUMP B5 CLOSED AT CLOCKTIME 6 PM
 PUMP B5 OPEN AT CLOCKTIME 9 PM

Padrão de consumo: Foi adotado um padrão de consumo, que representa a variação das vazões nas saídas dos reservatórios (RAP 2, RAP 3 e REL 1) ao longo das 24 horas do dia, conforme a Figura 22.

Figura 22 – Padrão do consumo de água.



Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

4.3.2 Modelagem da rede de distribuição de água

A base de desenvolvimento do modelo foi gerada no Autocad, a partir de planta cadastral fornecida pelo serviço de água. Após o recebimento do arquivo de cadastro das redes, foram identificadas as inconsistências, interrupção de trechos, separadas as zonas baixa e alta e realizada a conversão em linhas para todos os atributos existentes (arcos, polilinhas, spline etc.).

A conversão dos dados do arquivo do Autocad para o Epanet, foi realizado através do software Epcad.

No Epanet, as cotas e os diâmetros foram inseridos com o auxílio de planilhas geradas no Excel.

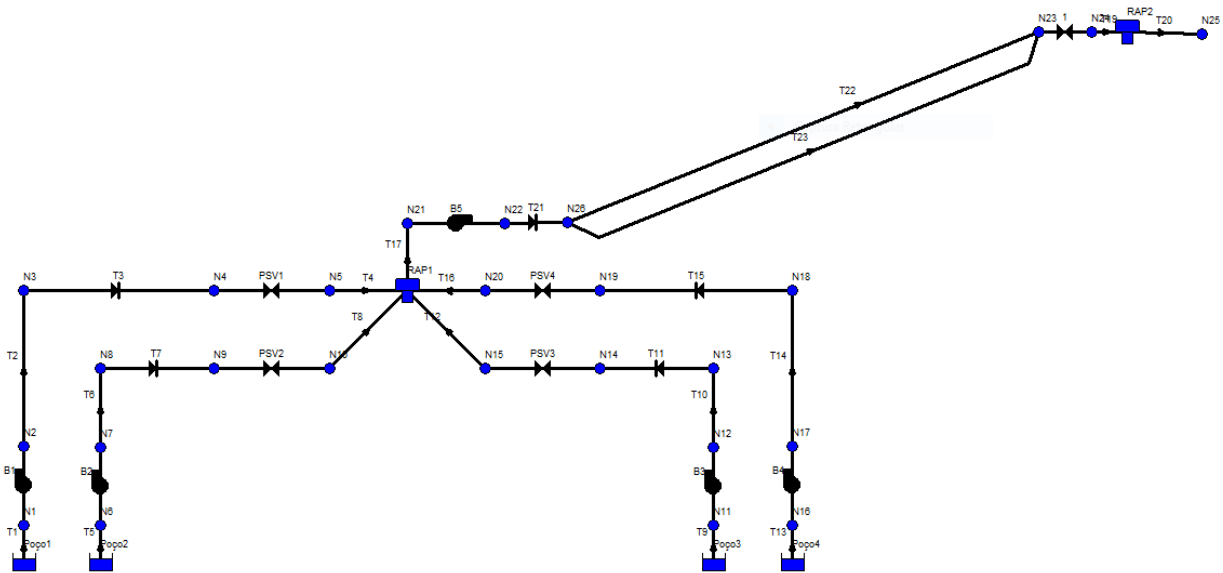
Dada a uma certa homogeneidade da distribuição da população na área urbana, adotou-se o valor constante do consumo base em cada nó. O consumo base foi obtido da divisão da vazão média de consumo de água (30,77 L/s) pelo número total de nós (281) resultando 0,1095 L/s.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. MODELAGEM DO BOMBEAMENTO DA ÁGUA BRUTA E TRATADA

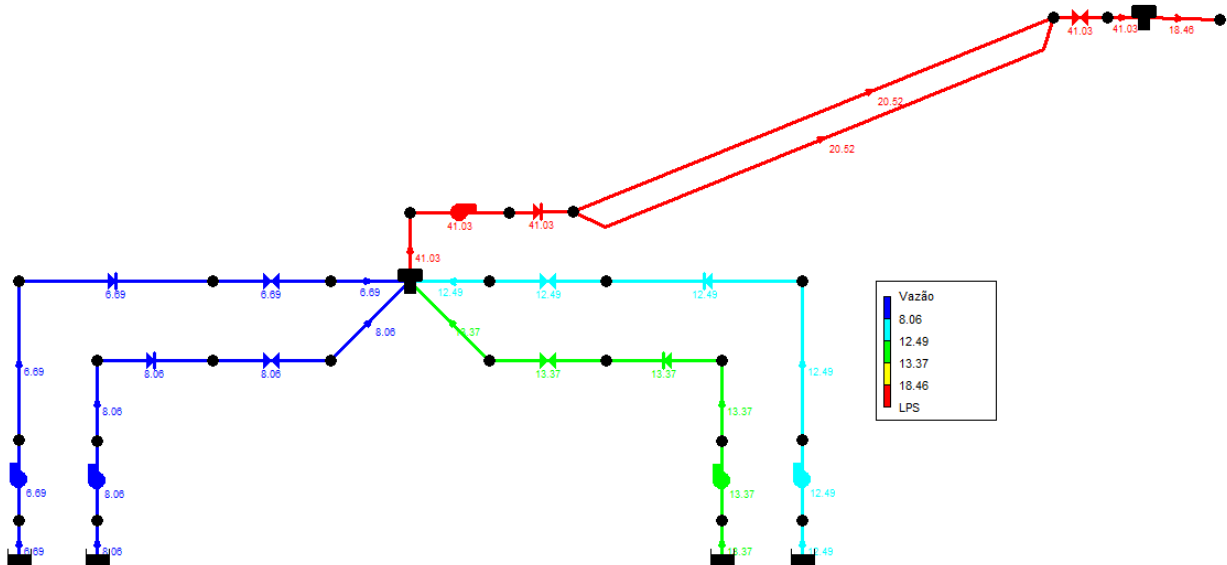
Na Figura 23 são apresentados os elementos que compõem o modelo do sistema de bombeamento da água bruta e tratada e, na Figura 24, as vazões nos trechos.

Figura 23 – Esquema bombeamento e reservatórios (nós, trechos, reservatórios e bombas).



Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Figura 24 – Esquema de bombeamento e reservatórios (vazão nos trechos).

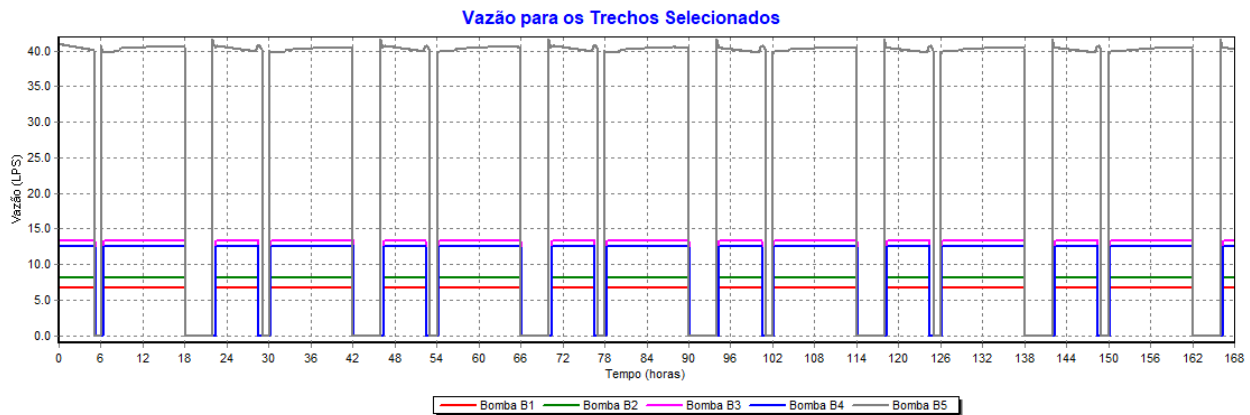


Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Observa-se que a soma das vazões de bombeamento dos poços (40,61 L/s) é próxima da vazão de bombeamento (B5) do RAP 1 até o RAP 2 (41,03 L/s). Assim, dado o volume relativamente pequeno do RAP 1, o tempo de funcionamento das bombas dos poços alcança cerca de 18 horas por dia (Figura 25), limite máximo autorizado pela outorga de uso.

Por isso, para evitar que um poço operasse por um tempo superior a 18 horas, foi programado o acionamento e desligamento simultâneo das bombas, por meio da fixação dos níveis mínimo e máximo no RAP 1, de 1,2 m e 2,4 m, respectivamente.

Figura 25 – Vazão e funcionamento das bombas.

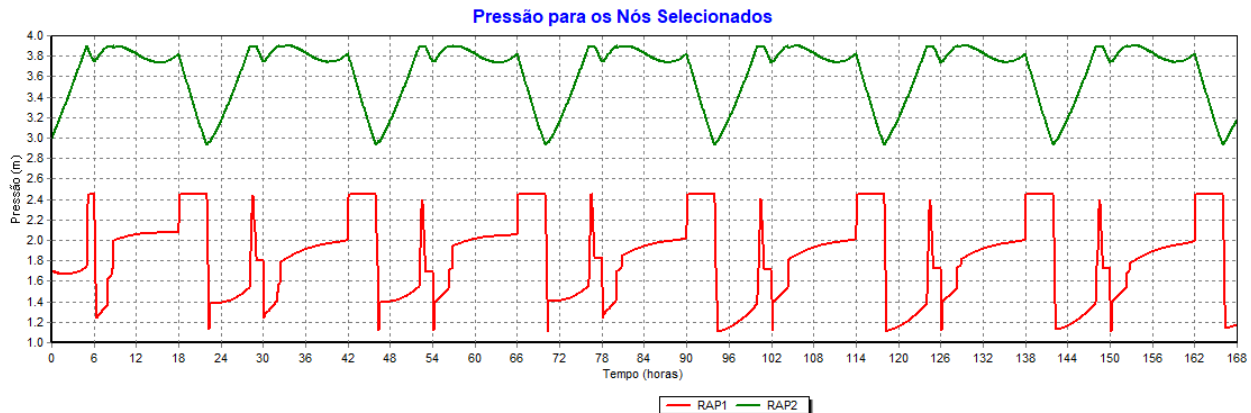


Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

A variação da pressão nos reservatórios RAP 1 e RAP 2, ao longo de 168 horas (uma semana) pode ser visualizado na Figura 26. Observa-se, pela simulação hidráulica, que o RAP 2 se mantém cheio a maior parte do tempo, exceto no período em que as bombas são desligadas, a partir das 18h (horário de ponta), atingindo o nível mínimo de 2,93 m às 22 h e volta ao nível máximo próximo das 5 h, quando as bombas são desligadas, como mostrado na Figura 25.

Em geral, para fins de projeto, usa-se o volume mínimo dos reservatórios correspondente 30% do dia de maior consumo. Do volume diário produzido (2659 m³), o volume total de reservação é de 2000 m³, correspondendo a 75% do consumido em um dia.

Figura 26 – Variação da pressão nos reservatórios RAP 1 e RAP 2 ao longo de 168 h.



Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

O relatório de energia, apresentado na Figura 27 demonstra o funcionamento dos poços em torno de 18h12min por dia (75,87%) e a bomba de água tratada 18h22min (76,55%), com um consumo médio total de 108,25 kW. O custo/dia é representado em reais.

Figura 27 – Relatório do desempenho energético das bombas atuais.

Bomba	Porcentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m ³	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
B1	75.87	44.90	0.54	12.93	12.93	109.67
B2	75.87	48.90	0.48	13.80	13.80	117.07
B3	75.87	54.20	0.36	17.14	17.15	145.42
B4	75.87	59.00	0.49	21.88	21.88	185.61
B5	76.55	55.00	0.29	42.50	43.12	359.14
Custo Total						916.91

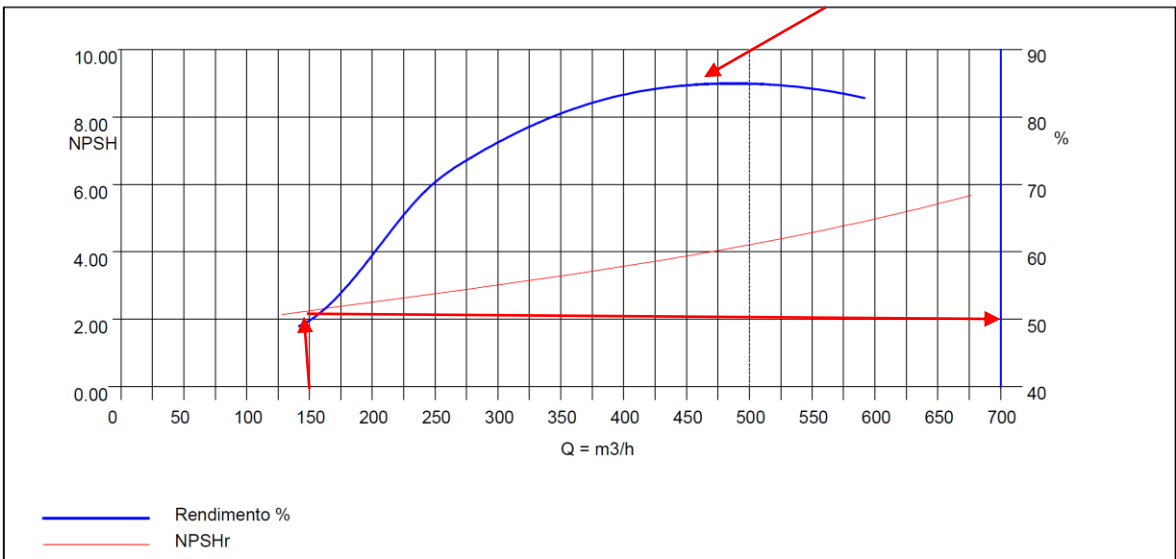
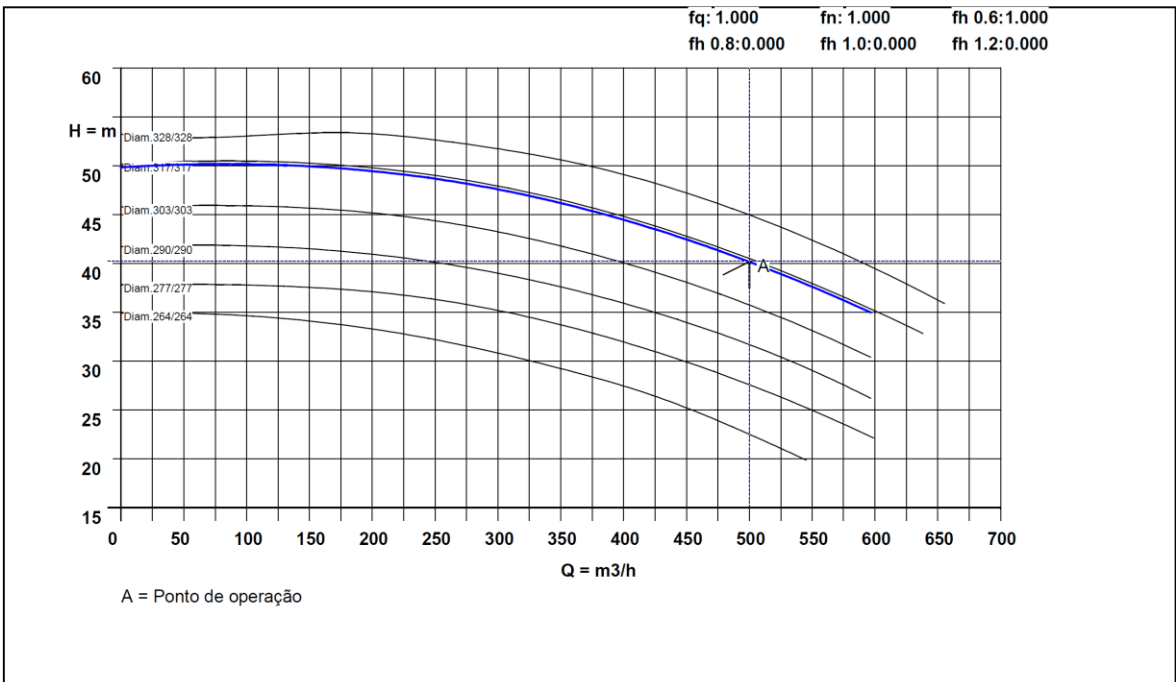
Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Embora as condições de operação mudem ao longo do tempo, consultando o catálogo do fabricante da bomba B5 (bombeamento do RAP 1 ao RAP 2) se constata que para a vazão recalçada, próxima de 150 m³/h, o rendimento é de 50% (Figura 28). Pode-se concluir que as bombas operam fora da faixa considerada ideal, próximo a 85%.

Figura 28 – Curvas do fabricante da bomba.



N/Ref.:	PROJETISTA	Revisão:	0		
Item num.:	1	Tag num.:			
BOMBA:	MEGANORM 150-315	Projeto:			
Vazão:	500 m³/h	NPSHR:	4.21	Diam.Rotor Projeto:	316mm
Altura:	40.00 m	Rotação:	1750 rpm	Visc.:	.9 cSt



Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Como exemplo, simulando-se a substituição da bomba B5, por conjunto moto bomba que opera com eficiência de 80%, se obtém os valores apresentados na Figura 29.

Figura 29 – Relatório de desempenho energético substituindo-se a bomba B5.

Bomba	Percentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m3	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
B1	75.87	44.90	0.54	12.93	12.93	109.67
B2	75.87	48.90	0.48	13.80	13.80	117.07
B3	75.87	54.20	0.36	17.14	17.15	145.42
B4	75.87	59.00	0.49	21.88	21.88	185.61
B5	76.55	80.00	0.20	29.22	29.65	246.91
Custo Total						804.68

Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Neste caso, o consumo médio total se reduz para 94,97 kW, resultando em uma economia de 244 kW/dia (7319 kW/mês ou 89053 kW/ano). Considerando-se o consumo total de energia elétrica no sistema de água de 1247360 kW/ano (Tabela 1) a economia com a troca da bomba representa 9,3%.

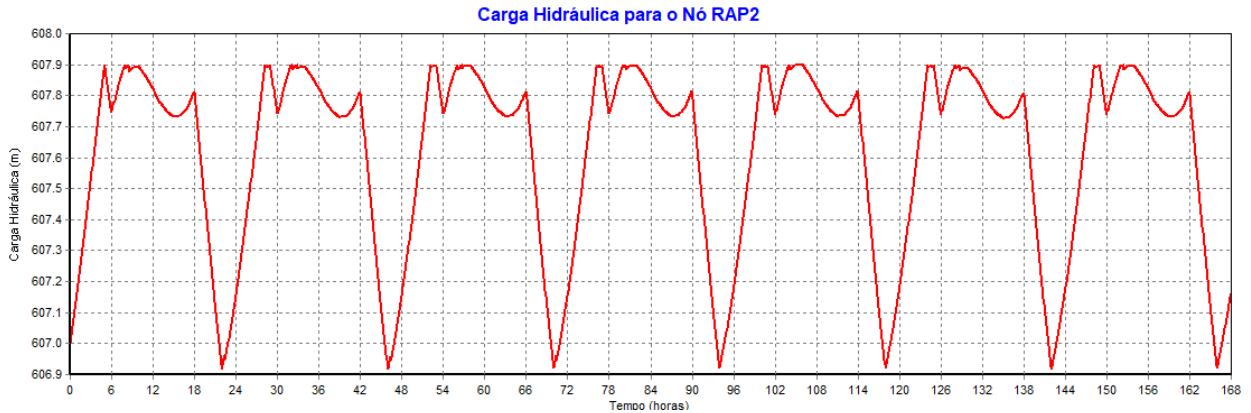
Segundo a norma da ABNT NBR 12218/2017 recomenda-se que a perda de carga máxima deve ser menor que 10 m/km. A perda de carga na adutora de recalque da água tratada, com valor de 1,71 m/km, indica boas condições de manutenção e funcionamento, interferindo relativamente pouco no gasto de energia.

5.2 MODELAGEM DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

5.2.1 Zona alta de abastecimento

A área com cotas mais elevadas da cidade, denominada zona alta, é abastecida por meio do reservatório elevado 1 (REL 1), que recebe água bombeada dos reservatórios (RAP 2 e RAP 3). A carga hidráulica no RAP 2 (Figura 30) varia relativamente pouco (606,9 m a 607,9 m).

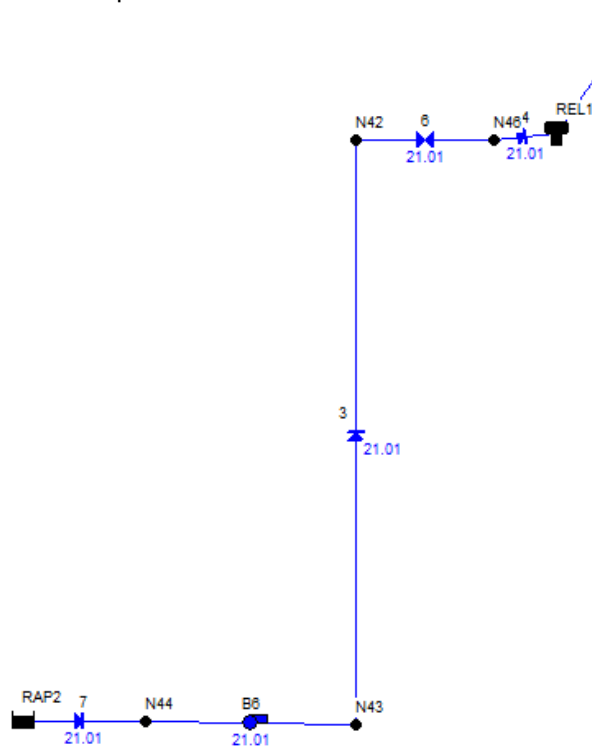
Figura 30 – Variação da carga hidráulica no reservatório RAP 2.



Por isso foi modelado como um reservatório de nível fixo (RNF), com nível da água em 607,5 m.

Assim, a Figura 31 mostra os componentes do modelo hidráulico deste bombeamento, com vazão média recalçada de 21 L/s.

Figura 31 – Componentes do modelo hidráulico do bombeamento.



Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Pode-se verificar na Figura 32, que o tempo de funcionamento de 4h50 minutos por dia (20,13%) supre a demanda de consumo da zona alta. Embora o rendimento médio dos conjuntos motor bomba seja de apenas 44%, o gasto com energia também é baixo (7,36 kW). Neste caso, a melhoria da eficiência energética depende de estudos mais específicos, tais como, o tempo de retorno de uma possível substituição do motor e bomba.

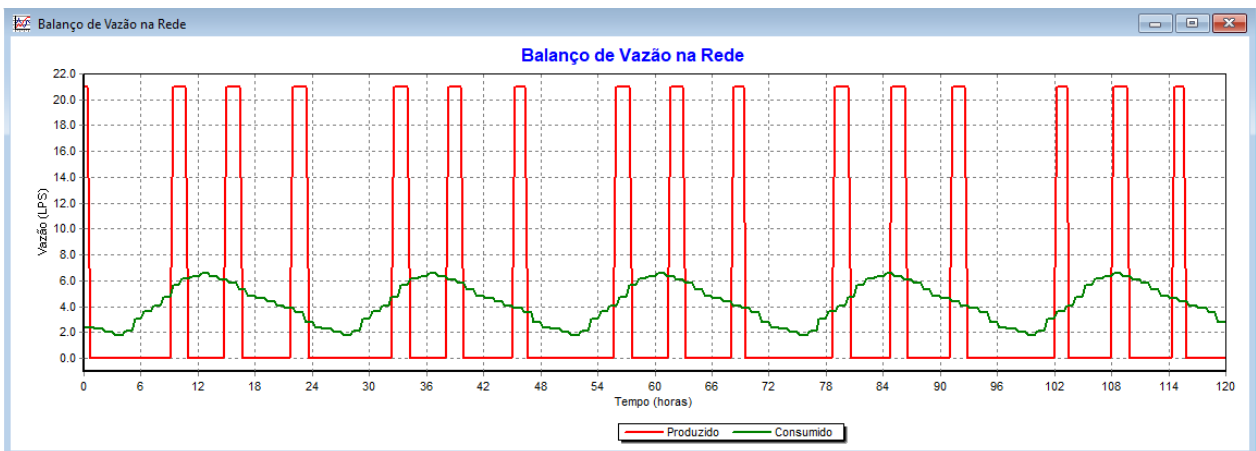
Figura 32 – Relatório de desempenho energético do conjunto motor bomba B6.

Bomba	Porcentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m ³	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
B6	20.13	44.00	0.10	7.36	7.36	16.35
Custo Total						16.35

Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Na Figura 33 apresenta o balanço de vazão produzida (bombeada) e consumida (distribuída na rede). A vazão consumida varia desde 1,75 L/s às 4 h até 6,32 L/s por volta do meio-dia.

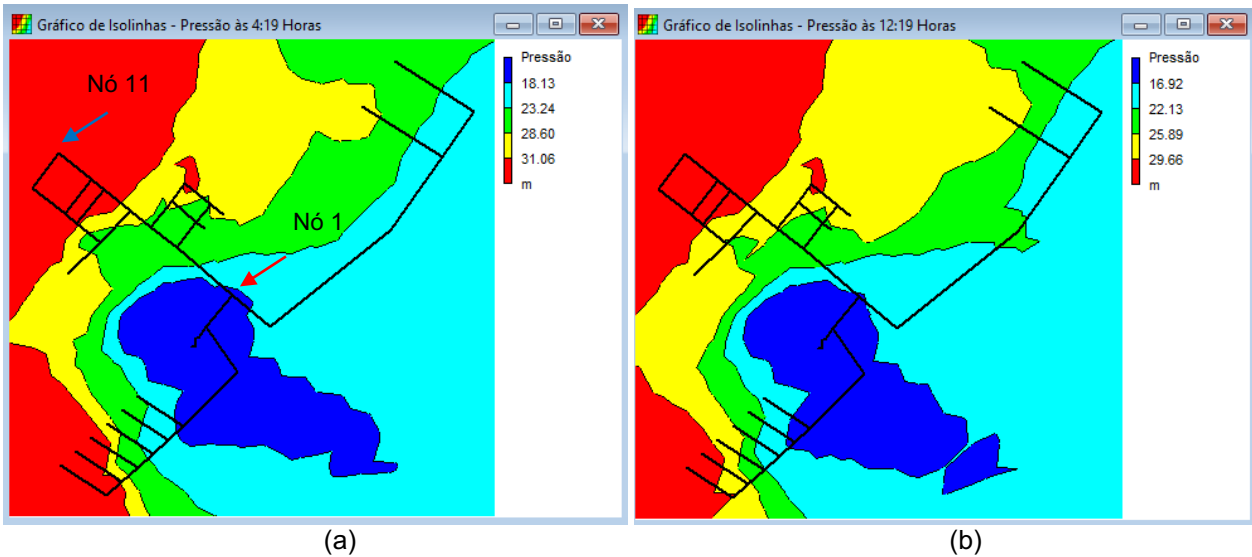
Figura 33 – Balanço das vazões de produção e consumo de água.



Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Na Figura 34 são apresentadas as isolinhas de pressão na zona alta, nos períodos de menor (4 h) e maior consumo de água (12 h).

Figura 34 – Isolinhas de pressão na zona alta para (a) maior consumo e (b) menor consumo.

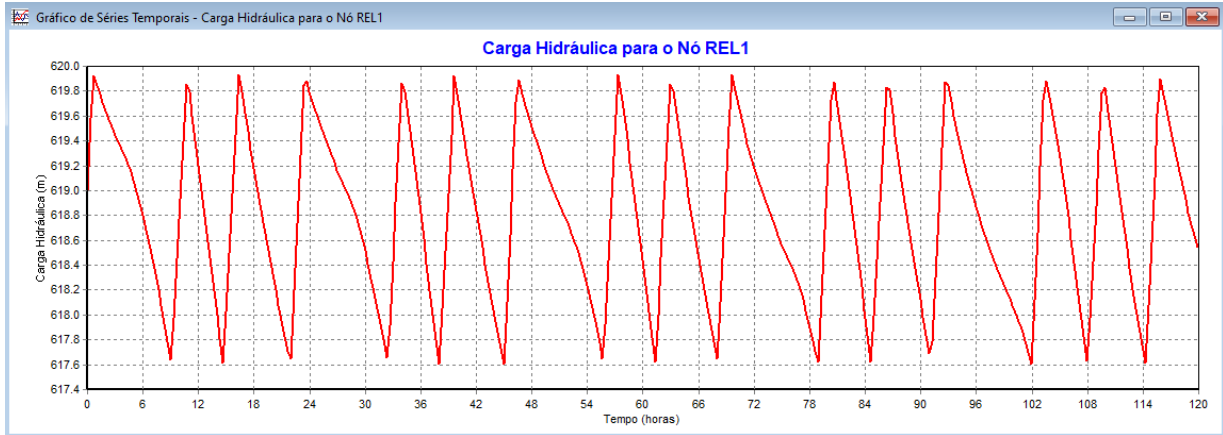


Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Se observa que as pressões variam relativamente pouco em função do tempo (vazão de consumo).

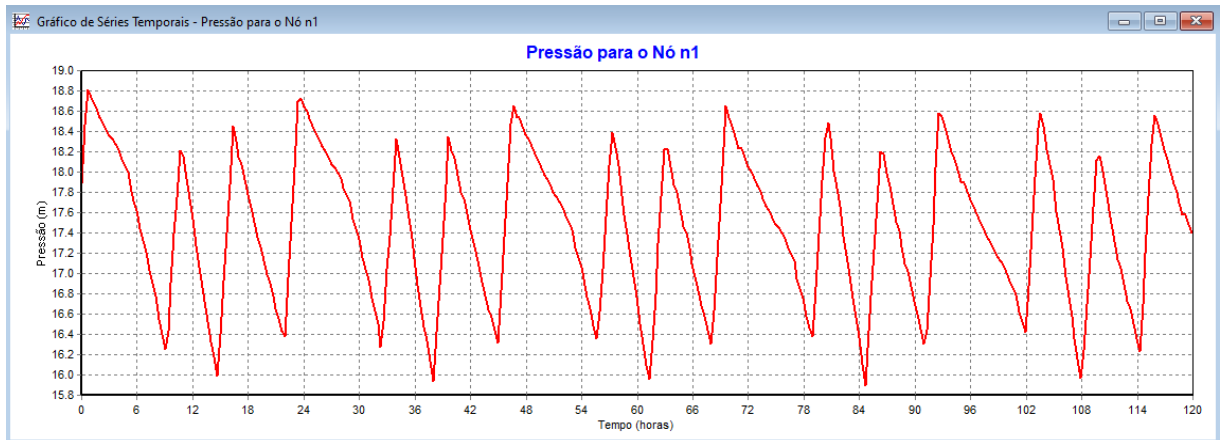
Comparando-se a Figura 35 com as Figuras 36 e 37, se verifica que a pressão na rede segue o comportamento da carga piezométrica no REL 1. Como a rede é relativamente curta e as vazões baixas, a variação da carga piezométrica influenciou mais a pressão na rede do que a variação do consumo.

Figura 35 –Variação com o tempo da carga hidráulica no REL 1.



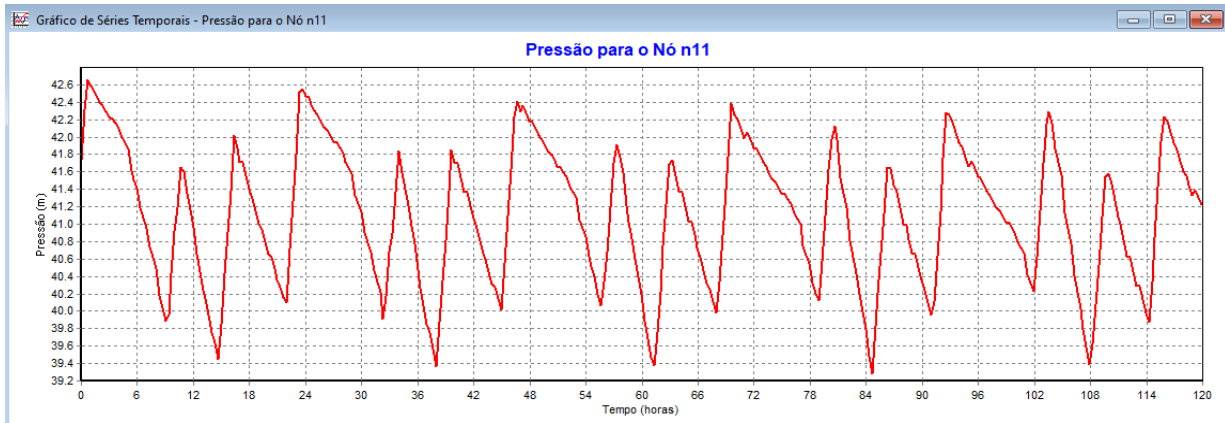
Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Figura 36 – Variação com o tempo da pressão no Nó n1.



Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Figura 37 – Variação com o tempo da pressão no Nó n11.



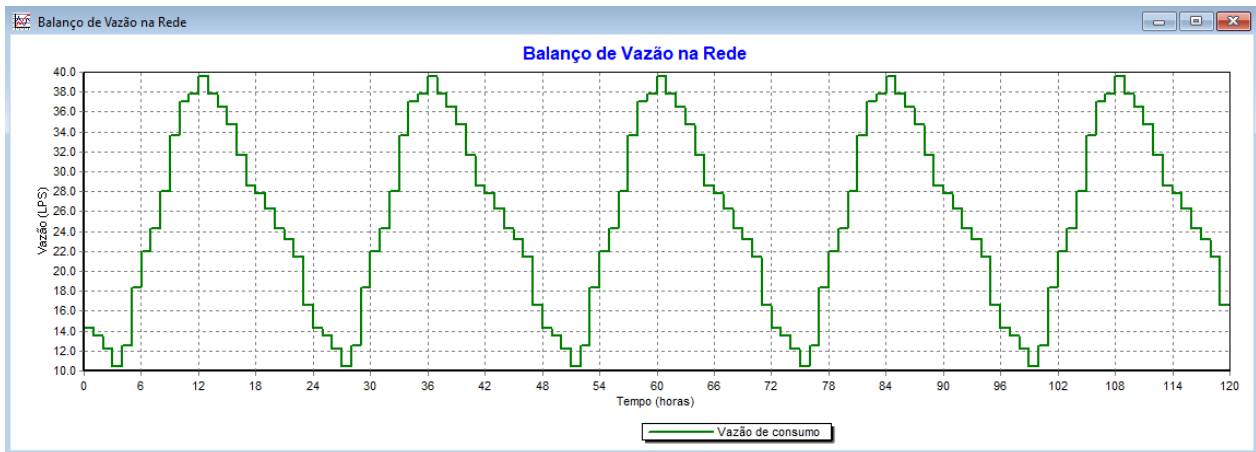
Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Se verifica também, que as pressões estão dentro das faixas recomendadas pela ABNT, entre 10 mca e 50 mca.

5.2.2 Zona baixa de abastecimento sem válvula redutora de pressão (VRP)

A Figura 38 mostra a variação da vazão na saída do reservatório RAP 3, que abastece a zona baixa.

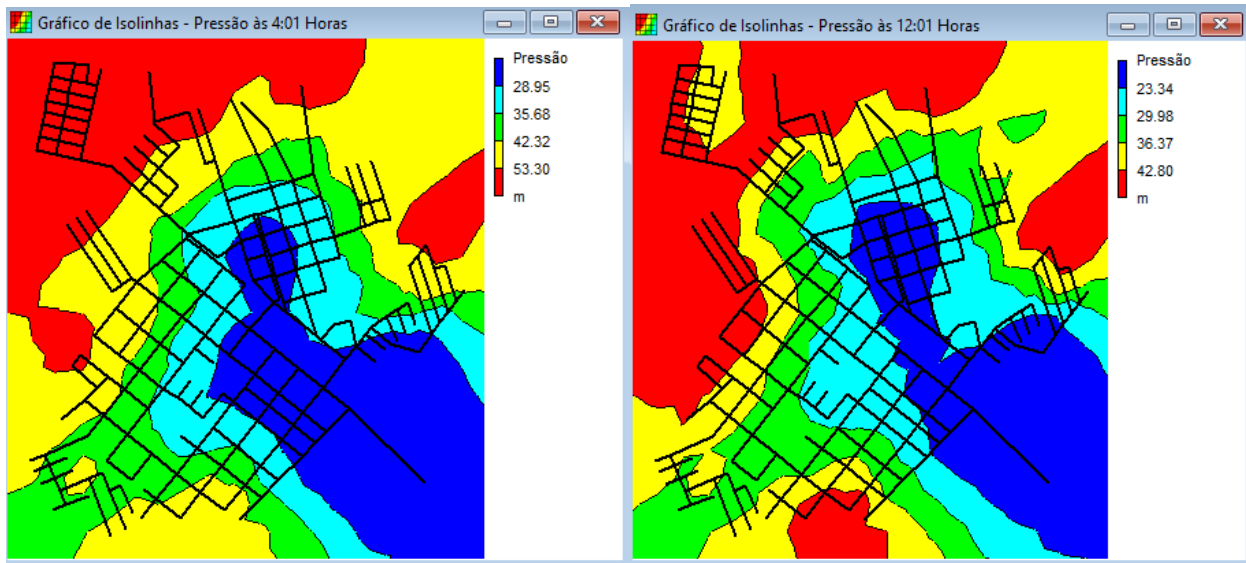
Figura 38 – Variação com o tempo da vazão de saída do RAP 3.



Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Se observa as vazões mínima (10,46 L/s) às 4h e máxima (39,55 L/s) ao meio-dia. Na Figura 39, são apresentadas as distribuições de pressões na rede de distribuição (isolinhas) nos horários de menor (4 h) e maior (12 h) consumo de água. Se verifica que há regiões em que a pressão ultrapassa o valor de 50 mca.

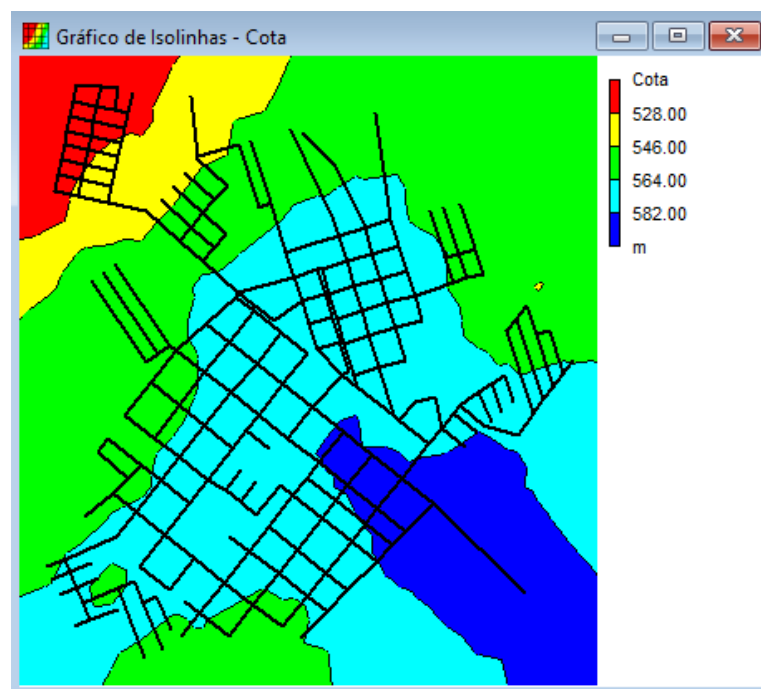
Figura 39 – Isolinhas de pressão na rede de distribuição às 4 h e às 12 horas.



Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

A representação das cotas do terreno é apresentada na Figura 40. Pode-se confirmar que a cota topográfica interfere na magnitude das pressões da rede.

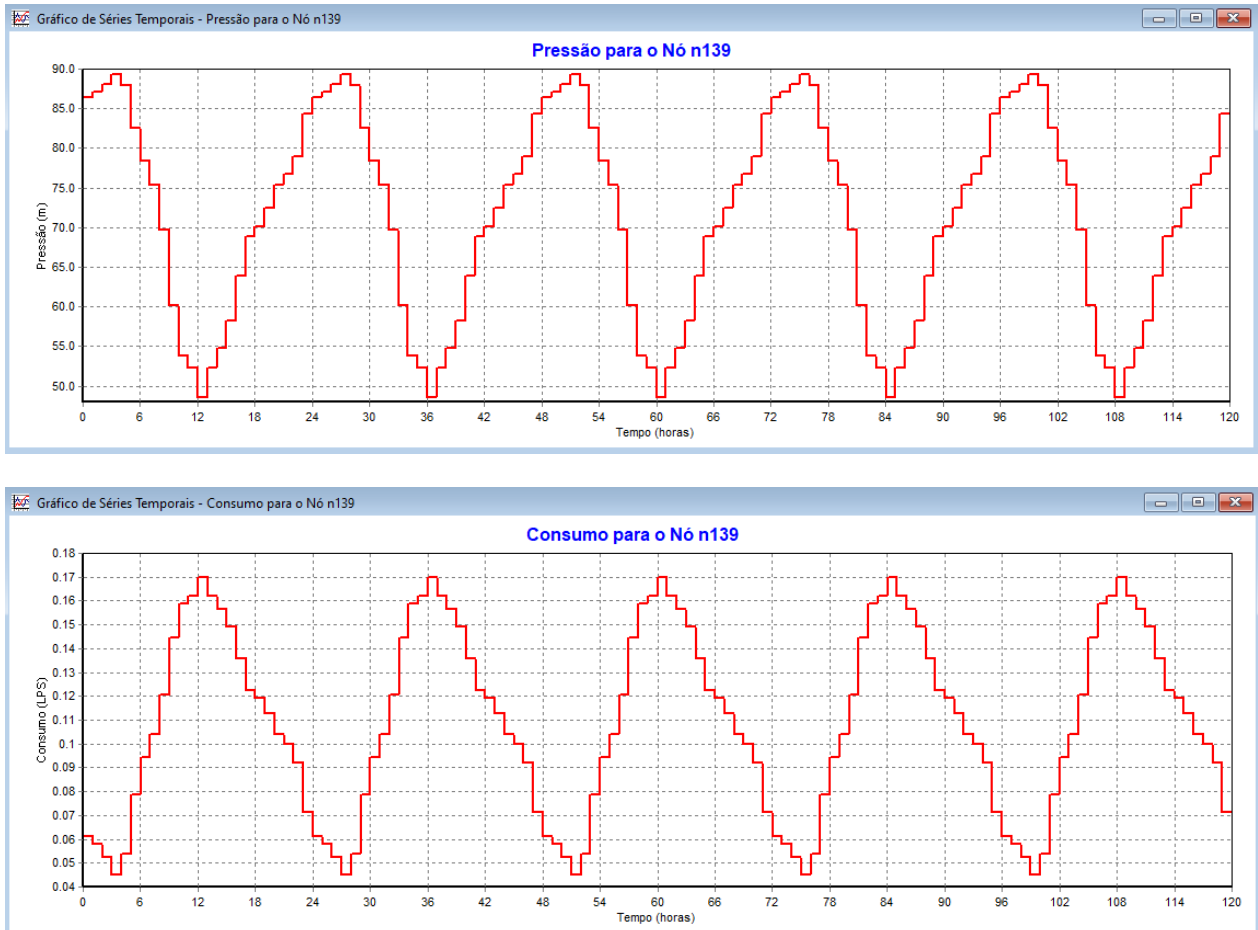
Figura 40 – Representação das cotas topográficas.



Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

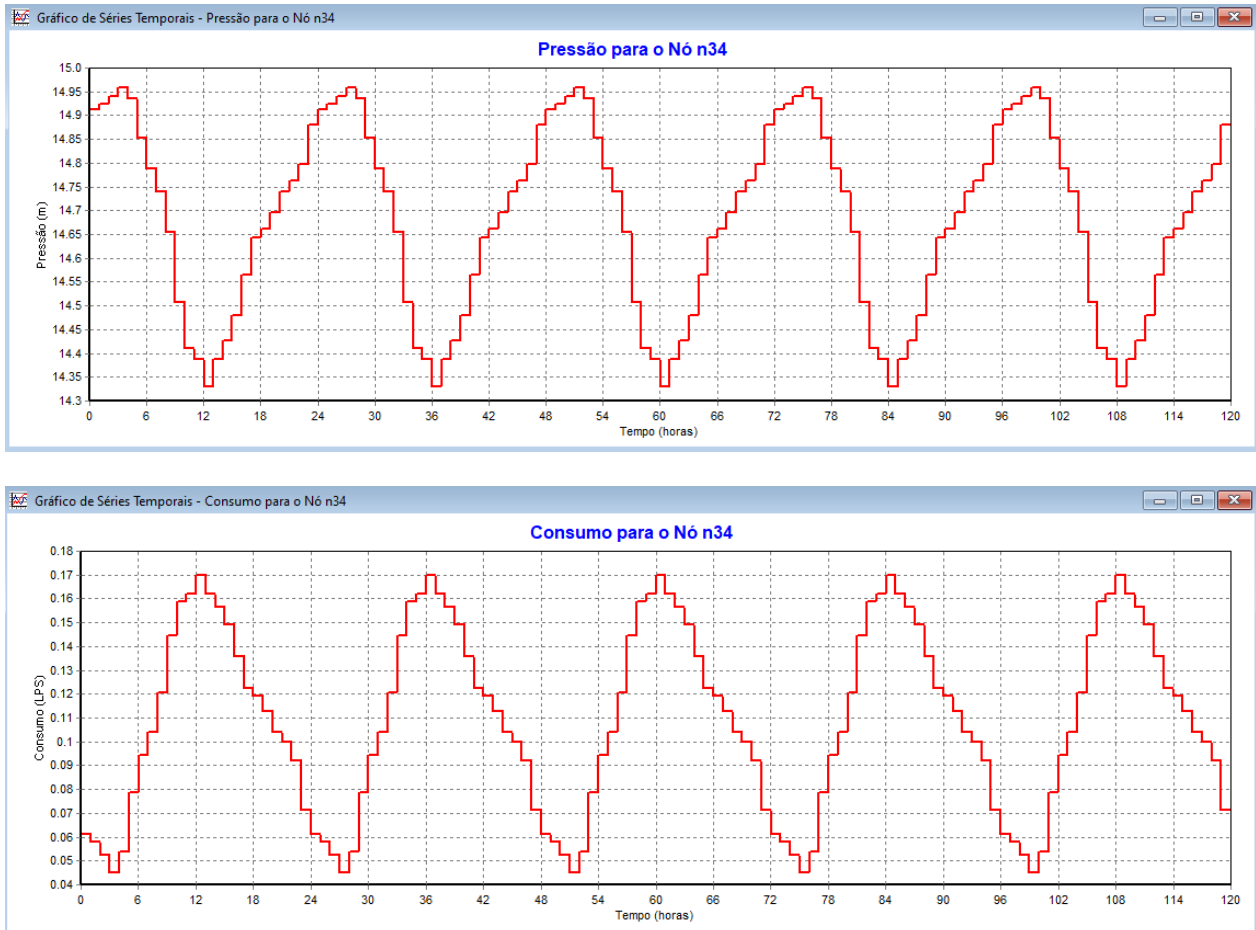
Nas Figuras 41 e 42 são apresentadas as variações das pressões e consumos nos nós n139, com menor cota topográfica (514,32 m) e n34, mais próximo do RAP 3, com cota 592,48 m.

Figura 41 – Variação da pressão e do consumo de água com o tempo no nó n 139.



Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Figura 42 – Variação da pressão e do consumo de água com o tempo no nó n 34.



Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Para a zona baixa, se observa que a variação da pressão tem o comportamento contrário ao consumo. Este fato ocorre porque a perda de carga é proporcional a vazão ao quadrado, ou seja, quanto maior é a vazão, maior será a perda de carga e, conseqüentemente, menor a pressão.

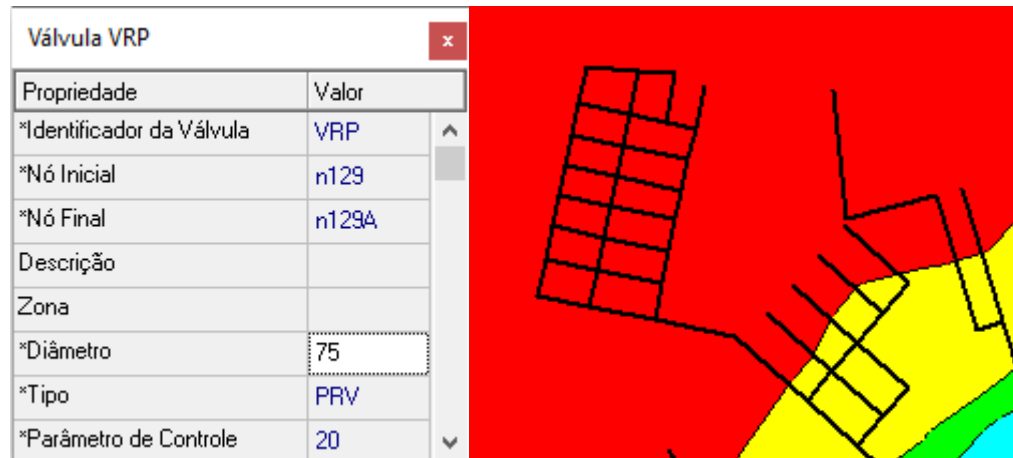
Se constata na Figura 41 que no nó n139 a pressão é superior a 50 mca em quase todo o período.

5.2.3 Zona baixa de abastecimento com válvula redutora de pressão (VRP)

Entre as alternativas para adequar as pressões da rede, a mais utilizada é a instalação de válvulas redutoras de pressão.

A Figura 43 apresenta a configuração da válvula redutora de pressão inserida entre os Nós n 129 e n 129A. A pressão de saída foi fixada em 20 mca.

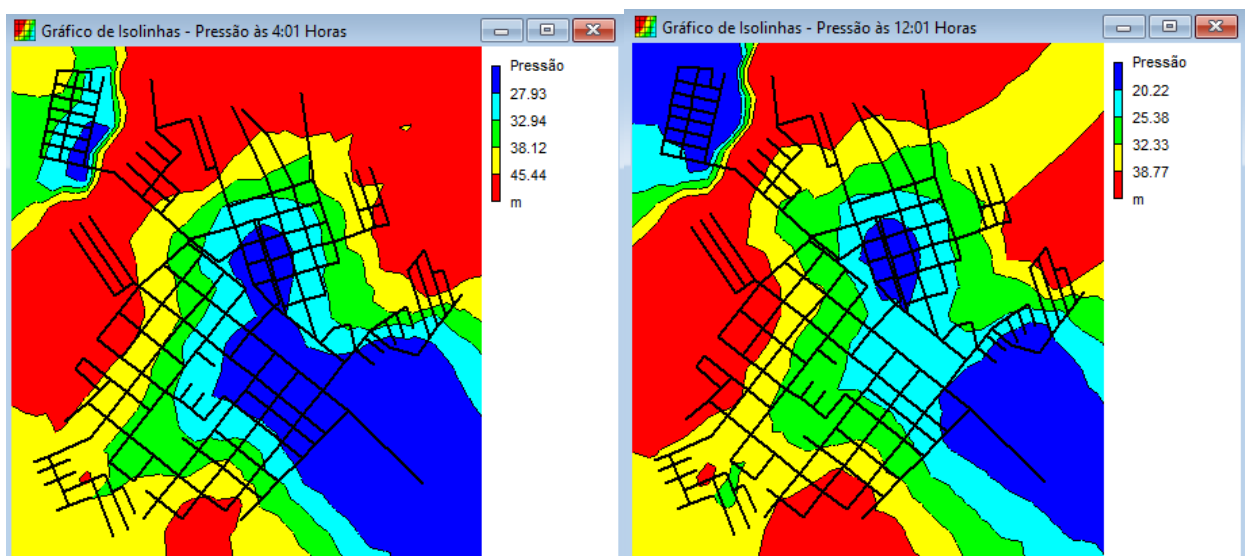
Figura 43 – Configuração da válvula redutora de pressão e localização do Nó n 129.



Fonte: Autoria própria, EPANET (2020).

Após a inserção da VRP, foram geradas novas isolinhas simulando o comportamento da pressão (Figura 44) na zona baixa de abastecimento de água.

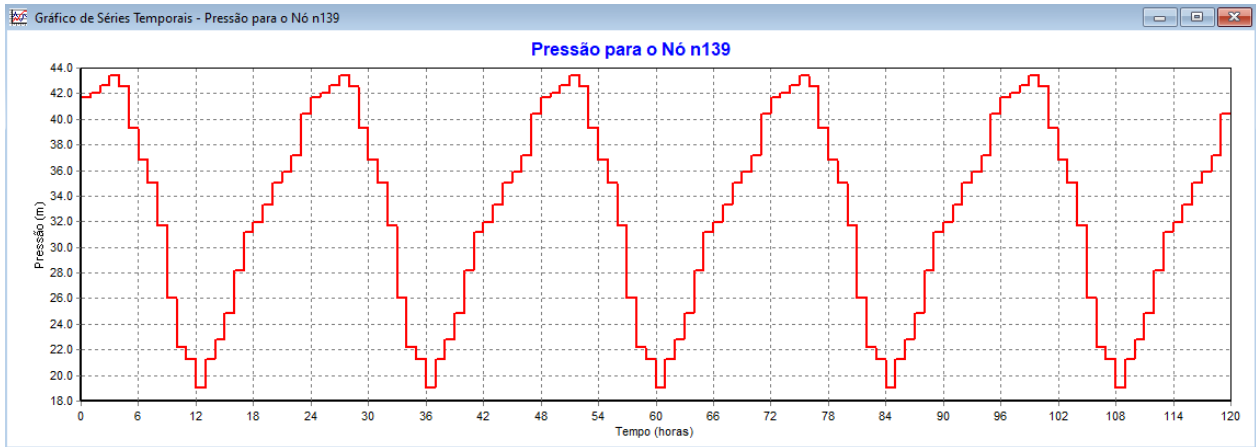
Figura 44 – Isolinhas de pressão na zona baixa para (a) menor e (b) maior consumo após a instalação de VRP.



Fonte: Autoria própria (2020).

Se observa, na simulação, que a jusante da válvula a pressão se mantém abaixo de 50 mca. Isto pode ser confirmado pela variação da pressão no Nó n 139 (Figura 45) em que a pressão oscila entre 43,39 mca e 19,06 mca.

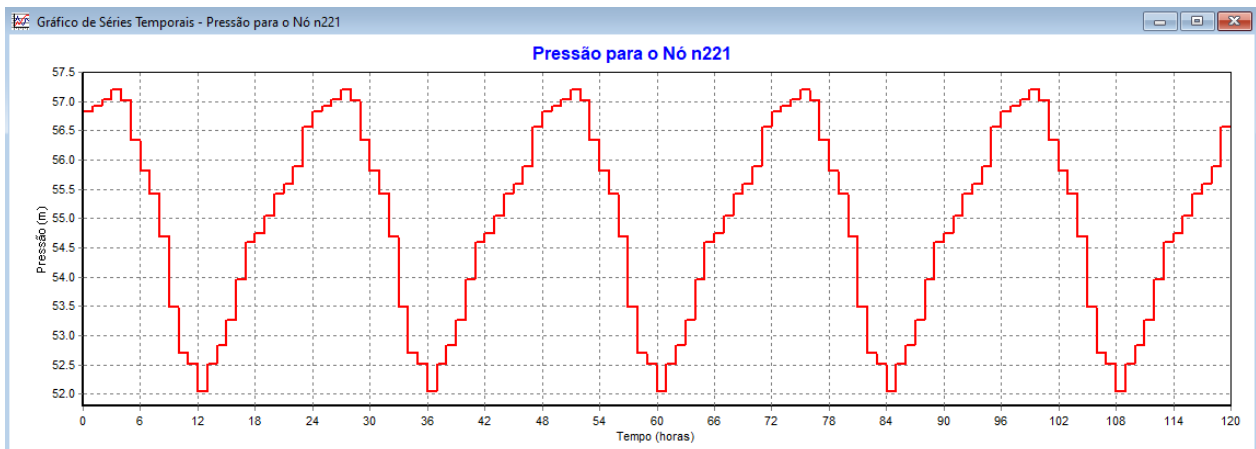
Figura 45 – Variação da pressão com o tempo no Nó n 139 após a instalação de VRP.



Fonte: Autoria própria (2020).

Entretanto, em alguns nós, as pressões superam 50 mca, como por exemplo, no nó 22, mostrado na Figura 46.

Figura 46 – Variação da pressão com o tempo no Nó n 221.



Fonte: Autoria própria (2020).

Neste caso, seriam necessários estudos complementares a fim de verificar a possibilidade de separar a rede de distribuição em setores.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho possibilitou, por meio da modelagem hidráulica, representar e compreender melhor o funcionamento do sistema de abastecimento de água da cidade de Jaguapitã, PR.

A utilização do programa Epanet, em conjunto com arquivos digitalizados do Autocad e planilhas Excel dinamizaram a modelagem e simulações das unidades que compõem o sistema de água.

Com base na modelagem e simulação pode-se concluir que:

- O volume dos reservatórios armazena cerca de 75% da água consumida diariamente, com o sistema de produção funcionando até 18 h/dia para atender a demanda, o que permite desligar as bombas nos horários em que a energia elétrica é mais cara;
- As adutoras apresentam perdas de carga relativamente baixas, interferindo pouco no gasto de energia elétrica;
- Os dados indicaram que, de maneira geral, os conjuntos moto bombas são pouco eficientes. Por meio da simulação, com aumento de rendimento de 55% para 80%, apenas do conjunto que recalca a água tratada do RAP 1 para o RAP 2, pode-se reduzir o consumo de energia em 89053 kW por ano (9,3% do total);
- As pressões na rede de distribuição estão de acordo com a NBR 12.218 na zona alta, enquanto em algumas áreas na zona baixa, são sempre superiores a 50 mca. A instalação de válvulas redutoras de pressão (VRP) e a setorização da rede podem adequar as pressões e, possivelmente, diminuir as perdas de água e os problemas operacionais relacionados com o rompimento das redes.

7. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Como sugestões e recomendações para futuros trabalhos, pode-se citar:

- Monitorar o tempo/período de funcionamento das bombas;
- Monitorar as vazões de saída dos reservatórios a fim de obter o padrão de consumo de água para a cidade;
- Monitorar a pressão em pontos de consumo do sistema e calibrar o modelo hidráulico.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, N. **Proposição de Calibração de Redes de Sistemas de Abastecimento de Água Através do Método Híbrido**. Tese de Doutorado - Programa de Pós Graduação e Área de Concentração em hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12.218. **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento**. p.1-23, 2017.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional** /Agência Nacional de Águas; Engecorps/ Cobrape - Brasília: ANA: Engecorps/Cobrape. 2010.

ATHAYDE, G. B; ATHAYDE, C. V. M. **Hidrogeologia do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná**. Revista Brasileira de Águas Subterrâneas, v. 29, n 3, p 315 – 333, 2015.

BAGGIO, M. **Como Formular e Executar Estratégia de Combate às Perdas, com Foco em Resultados?** 1º Seminário Nacional de Gestão e Controle de Perdas de Água - ABES, Porto Alegre, 2015.

BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água: tecnologias de controle**. João Pessoa: Editora da UFPB, 220 p. 2013.

BORGES, V. B.; ATHAYDE, G. B.; REGINATO, P. A. R. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná – Brasil**. Revista Brasileira de Águas Subterrâneas, v. 31, n. 4, p. 327-337, 2017.

CHEUNG, P.B.; KIPERSTOK, A.; COHIM, E.; ALVES, W. C.; PHILIPPI, L.S.; ZANELLA, L.; ABE, N.; GOMES, H.P.; SILVA, B.C.; PERTEL, M.; GONÇALVES, R.F. **Consumo de água**. In: GONÇALVES, R.F. (Org.) **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Rio de Janeiro: ABES. p. 36-98. 2009.

CISPAR, Consórcio Intermunicipal de Saneamento do Paraná. **Diagnóstico de sistema de abastecimento de água Jaguapitã –PR**. Maringá. p. 318. 2017.

FUNASA. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 4. ed. Brasília, 2015. 642 p.

GOMES, H. P. **Eficiência hidráulica e energética em saneamento**. 2 ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2009.

GOMES, H. P.; CARVALHO, P. S. O. **Manual de Sistemas de Bombeamento: Eficiência Energética**. João Pessoa: UFPB, p. 464, 2019.

GOMES, H. P.; ROIG, J. M.; REY, P. L. I.; ROCHA, N. B. S.; SALVINO, M. M. **Eficiência energética de sistemas de abastecimento de água para diferentes pressões nas entradas das edificações**. In: Simpósio Iberoamericano sobre Planificación de Sistemas de Abastecimento y Drenaje, Buenos Aires. 12, 2013.

GOMES, H.P.; SILVA, F. G. **Viabilidade técnica e econômica da operação de uma rede de distribuição de água sem bombear no horário de ponta**. Anais do IV SEREA - Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água João Pessoa (Brasil), 2004.

GONÇALVES, E.; ITONAGA, L.C. **Controle de Perdas em Sistemas de Água**. Caderno do Profissional em Capacitação da Oficina do Núcleo Regional Centro-Oeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. Brasília: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília. 2007.

Haidar, M.N.; Farahat, A.A.; Hewage, K.; Sadiq, R. **Water–energy nexus for water distribution systems: a literature review**. *Environmental Reviews*, v. 27. P. 519-544, 2019.

Heller, L.; Pádua, V.L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Editora UFMG, Belo Horizonte, 859p. 2006.

Hirata, Ricardo; Suhogusoff, Alexandra Vieira; Marcellini, Silvana Susko; Villar, Pilar Carolina; Marcellini, Laura. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento**. [S.l: s.n.], 2019.

Pereira, J. A. R.; Condurú, M. T. **Abastecimento De Água: Informação para Eficiência Hidroenergética**. João Pessoa: UFPB, p. 127, 2014.

Ribau, J.; Silva, F.; Iten, M.; Figueiredo, Alves, R. **Otimização das operações de bombagem em sistemas de abastecimento de água**. In: Atas do XVI Seminário Ibero-americano sobre Sistemas de Abastecimento e Drenagem Técnico, Lisboa, 15-17 julho, 2019.

Ribeiro, A.C.V. C.; Marques, M.G.; E, D, Teixeira; Dai Prá, M. Castiglio, G. S.; Lorenzin, A. E. **Metodologia para otimização da seleção de bombas em diagnósticos hidroenergéticos**. In: Atas do XVI Seminário Ibero-americano sobre Sistemas de Abastecimento e Drenagem Técnico, Lisboa, 15-17 julho, 2019.

Rocha, G.A. & Jorba, A.F. - **Manual de Operação e Manutenção de Poços**. 3ª Edição. São Paulo, DAEE. p. 87. 2007.

Rossmann, L. A. **Manual do utilizador EPANET 2.0**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2002.

SALVINO, M. M. **Modelagem computacional visando a reabilitação de redes hidráulicas**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 166. 2012.

SANEPAR, Companhia Paranaense de Saneamento. **Aquíferos fornecem 21% da água tratada fornecida pela Sanepar**. Notícias de 21 de março de 2015, Curitiba, 2015. Disponível em: <http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=83565&tit=Aquiferos-fornecem-21-da-agua-tratada-ofertada-pela-Sanepar> Acesso em 22 de setembro de 2020.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Série Histórica**. 2018.

TARDELLI FILHO, J. **Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água**. Revista DAE. São Paulo, SABESP, Volume 64, Edição 201, Jan/Abr, 2016.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 1. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p. 643. 2004.

TSUTIYA, M. T. **Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água**. 2. ed. São Paulo: ABES, 183p. 2006.