

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

CARLOS EDUARDO BRANDÃO

**SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DA
REDE COLETORA DE ESGOTO SANITÁRIO DO DISTRITO DE TAQUARA DO
REINO EM IBIPORÃ-PR**

LONDRINA

2025

CARLOS EDUARDO BRANDÃO

**SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DE SISTEMA DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DA
REDE COLETORA DE ESGOTO SANITÁRIO DO DISTRITO DE TAQUARA DO
REINO EM IBIPORÃ-PR**

**Hydraulic Simulation of the Water Supply System and Sanitary Sewage
Collection Network in the Taquara do Reino District, Iporã-PR, Brazil**

Trabalho de conclusão de curso de graduação,
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus
Londrina.

Orientador: Prof. Dr. Ajadir Fazolo.

LONDRINA

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

CARLOS EDUARDO BRANDÃO

**SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DE SISTEMA DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DA
REDE COLETORA DE ESGOTO SANITÁRIO DO DISTRITO DE TAQUARA DO
REINO EM IBIPORÃ-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 12 de fevereiro de 2025

Ajadir Fazolo
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Bruno de Oliveira Freitas
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Edilaine Regina Pereira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2025

RESUMO

A universalização do acesso à água potável e ao esgotamento sanitário, prevista no Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020), demanda soluções técnicas eficientes para superar desafios operacionais e alcançar as metas de 99% de cobertura de água e 90% de esgoto até 2033. Neste contexto, este estudo avaliou os sistemas de abastecimento de água (SAA) e esgoto sanitário (SES) do Distrito de Taquara do Reino (Ibiporã-PR), utilizando modelagem hidráulica com apoio dos softwares EPANET e SWMM. Para o SAA, simularam-se três cenários de bombeamento, visando otimizar pressões (NBR 12.218/2017) e custos energéticos. No SES, analisou-se a rede em dois cenários (tempo seco e chuvoso) para verificar conformidade com a NBR 9.649/1986. Os resultados demonstraram que: (i) no SAA, o cenário com inversor de frequência reduziu em 30% os custos energéticos diários, mantendo pressões entre 10 mca e 40 mca, conforme recomendações técnicas; (ii) no SES, embora os resultados para as velocidades e a lâmina líquida (Y/D) terem atendido à norma, 17,3% dos trechos em tempo seco e 13,3% em tempo chuvoso apresentaram tensão trativa inferior a 1,0 Pa, indicando risco de obstruções.

Palavras-chave: Saneamento básico; Modelagem hidráulica; EPANET; SWMM.

ABSTRACT

The universalization of access to basic sanitation services, established by Brazil's New Legal Framework for Basic Sanitation (Law No. 14.026/2020), requires efficient technical solutions to overcome operational challenges and achieve the goals of 99% water coverage and 90% sewage coverage by 2033. In this context, this study evaluated the Water Supply System (WSS) and Sewage System (SS) of the Taquara do Reino district (Ibiporã-PR, Brazil) using hydraulic modeling supported by the softwares EPANET and SWMM. For the WSS, three pumping scenarios were simulated to optimize pressures (following NBR 12.218/2017) and energy costs. For the SS, the network was analyzed under two scenarios (dry and rainy weather) to verify compliance with NBR 9.649/1986. The results demonstrated that: (i) in the WSS, the scenario with a frequency inverter reduced daily energy costs by 30% while maintaining pressures between 10 mca and 40 mca (meters of water column), in line with technical recommendations; (ii) in the SS, although flow velocities and water depth ratio (Y/D) met the standards, 17.3% of sections in dry weather and 13.3% in rainy weather exhibited shear stress below 1.0 Pa, indicating risks of clogging.

Keywords: Basic sanitation; Hydraulic modeling; EPANET; SWMM.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	9
2.1	Objetivos específicos	9
3	REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1	Saneamento básico no Brasil	10
3.1.1	Abastecimento de água potável	10
3.1.2	Esgotamento sanitário.....	14
3.1.3	Operação dos Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário	17
3.1.4	Eficiência energética no saneamento.....	18
3.2	Sistemas de Abastecimento de Água	19
3.3	Sistema de Esgoto Sanitário	23
3.4	Modelagem hidráulica	26
3.4.1	EPANET	27
3.4.2	SWMM.....	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1	Área de estudo	32
4.1.1	Descrição do Sistema de Abastecimento de Água e de Esgoto Sanitário	33
4.2	Etapas do estudo	35
4.3	Coleta de dados	36
4.4	Modelagem hidráulica	37
4.4.1	Rede de distribuição de água.....	37
4.4.1.1	<u>Simulação de cenários para a rede de abastecimento de água</u>	<u>38</u>
4.4.2	Rede coletora de esgoto sanitário	42
4.4.2.1	<u>Simulação de cenários para a rede coletora de esgoto sanitário</u>	<u>44</u>
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1	Rede de distribuição de água	46
5.1.1	Pressão na rede	46
5.1.2	Eficiência energética	52
5.2	Rede coletora de esgoto sanitário	54
5.2.1	Velocidade crítica	54
5.2.2	Altura líquida (Y/D)	60
5.2.3	Tensão trativa.....	64
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68

7	SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES	69
8	REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

O acesso à água potável e esgotamento sanitário são direitos fundamentais estabelecidos pela Constituição Federal de 1988 e estão contemplados no conceito de saneamento básico, que, como definido pela Política Nacional de Saneamento Básico (2007), congrega os serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. A prestação desses serviços de forma eficiente acarreta em benefícios significativos à saúde e qualidade de vida da população, ao meio ambiente e ao sistema econômico (Costa; Pinheiro, 2018; Santos *et al*, 2018).

Atualizado em 2020, através da Lei nº 14.026/2020, o Novo Marco Legal do Saneamento Básico estabelece metas de atendimento de 99% da população brasileira com água potável e 90% com coleta e tratamento de esgotos até 2033, o que significa um grande desafio para o país, considerando que as porcentagens em 2021 eram de 84,2% e 55,8%, respectivamente, segundo dados do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SNIS, 2022).

Tendo em vista as perspectivas futuras para o saneamento básico brasileiro, se faz necessário que os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) operem de maneira adequada, eficiente e sustentável, evitando perdas de recursos, gastos com manutenções corretivas e impactos ambientais. Para facilitar as tomadas de decisões, com o objetivo de aumentar a eficiência dos sistemas de saneamento, é preciso conhecer os parâmetros operacionais dos mesmos.

Uma das maneiras mais eficientes e econômicas de se verificar a operação de sistemas de saneamento, como os SAA e SES, é através da modelagem hidráulica, que consiste na utilização de mecanismos, geralmente computacionais (como os softwares EPANET e SWMM), para simular sistemas hidráulicos a partir de equações de conservação de energia (Vilas-Boas, 2008; Abrahão, 2020). Dessa forma, os modelos hidráulicos viabilizam análises que não seriam possíveis no sistema real e permitem a verificação dos sistemas em relação ao atendimento dos parâmetros exigidos pelas normas correspondentes, além da simulação de diferentes cenários.

À luz dos conceitos apresentados, o presente trabalho tem como objetivo modelar hidraulicamente o sistema de abastecimento de água e rede coletora de

esgoto sanitário do Distrito de Taquara do Reino em Ibiporã-PR, visando avaliar a adequação dos parâmetros de projeto previstos nas normas NBR 12.218/2017 e NBR 9.649/1986, identificar pontos de otimização e propor intervenções para aumentar a eficiência operacional dos sistemas.

2 OBJETIVOS

Estudar os sistemas de abastecimento de água e de coleta e transporte de esgoto sanitário do distrito de Taquara do Reino em Ibiporã-PR, avaliando parâmetros operacionais e energéticos por meio da modelagem hidráulica.

2.1 Objetivos específicos

- Caracterizar os sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário do Distrito de Taquara do Reino, Ibiporã-PR;

- Realizar modelagem da rede de abastecimento de água em três cenários, utilizando o software EPANET, visando reduzir custos e perdas, otimizar o processo e adequar as pressões da rede aos parâmetros estabelecidos pela norma NBR 12.218/2017;

- Simular a rede de coleta e transporte do esgoto sanitário, com apoio do software SWMM, em dois cenários, comparando o funcionamento da rede em tempo seco e tempo chuvoso e verificar se os parâmetros atendem aos requisitos de projeto previstos na NBR 9.649/1986.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Saneamento básico no Brasil

No Brasil, saneamento básico é um direito fundamental garantido pela Constituição Federal (1988) e definido pela Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020, como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de quatro componentes: i) abastecimento de água potável, ii) de esgotamento sanitário, iii) de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e iv) de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

O acesso a saneamento básico está diretamente relacionado a questões ambientais, econômicas e de saúde pública. A ausência desses serviços contribui consideravelmente para a propagação de doenças de veiculação hídrica e é considerada a principal causa de degradação ambiental das bacias hidrográficas brasileiras, especialmente em grandes metrópoles (Ferreira; Garcia, 2017). Em concordância com esses dados, o SNIS (2022) destaca a importância da articulação da prestação de serviços de saneamento básico com políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde, de recursos hídricos e de outras áreas de interesse social relevante.

3.1.1 Abastecimento de água potável

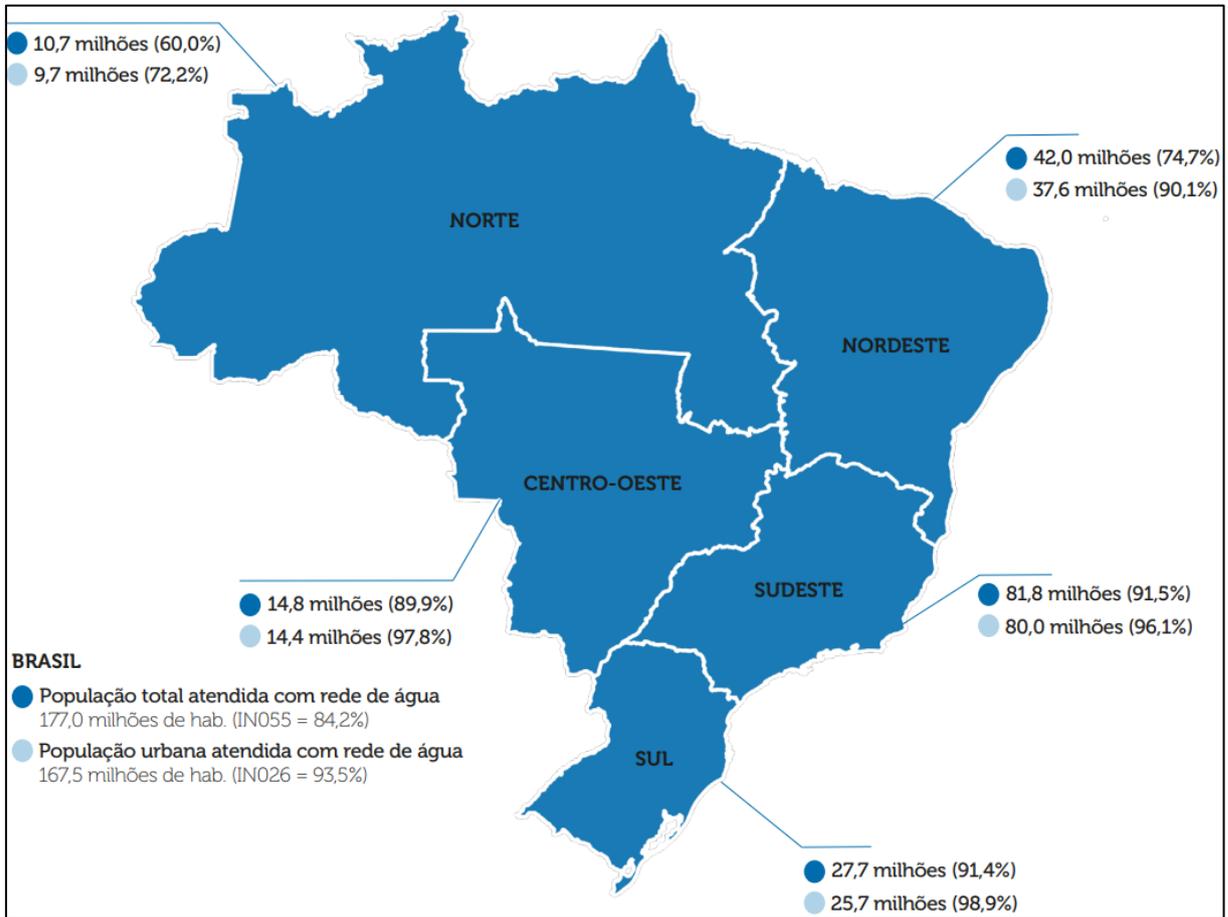
É constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição.

Este serviço atendia, em 2021 (SNIS, 2022), 84,2% da população brasileira com redes públicas de abastecimento, atingindo o valor de 93,5% da população urbana. Os índices de atendimento, total e urbano, contemplam apenas serviços que utilizam redes públicas de água e não incluem soluções individuais ou alternativas, como poços, nascentes, cisternas, chafarizes, dentre outras, consideradas adequadas pelo Plano Nacional de Saneamento Básico.

Se observa na Figura 1, que o menor índice de atendimento das populações total e urbana com redes públicas de abastecimento de água são da macrorregião Norte (60,0% e 72,2%, respectivamente). Já o maior índice relacionado à população

total é na macrorregião Sudeste (91,5%) e, em relação à população urbana, o maior registro é na macrorregião Sul (98,9%).

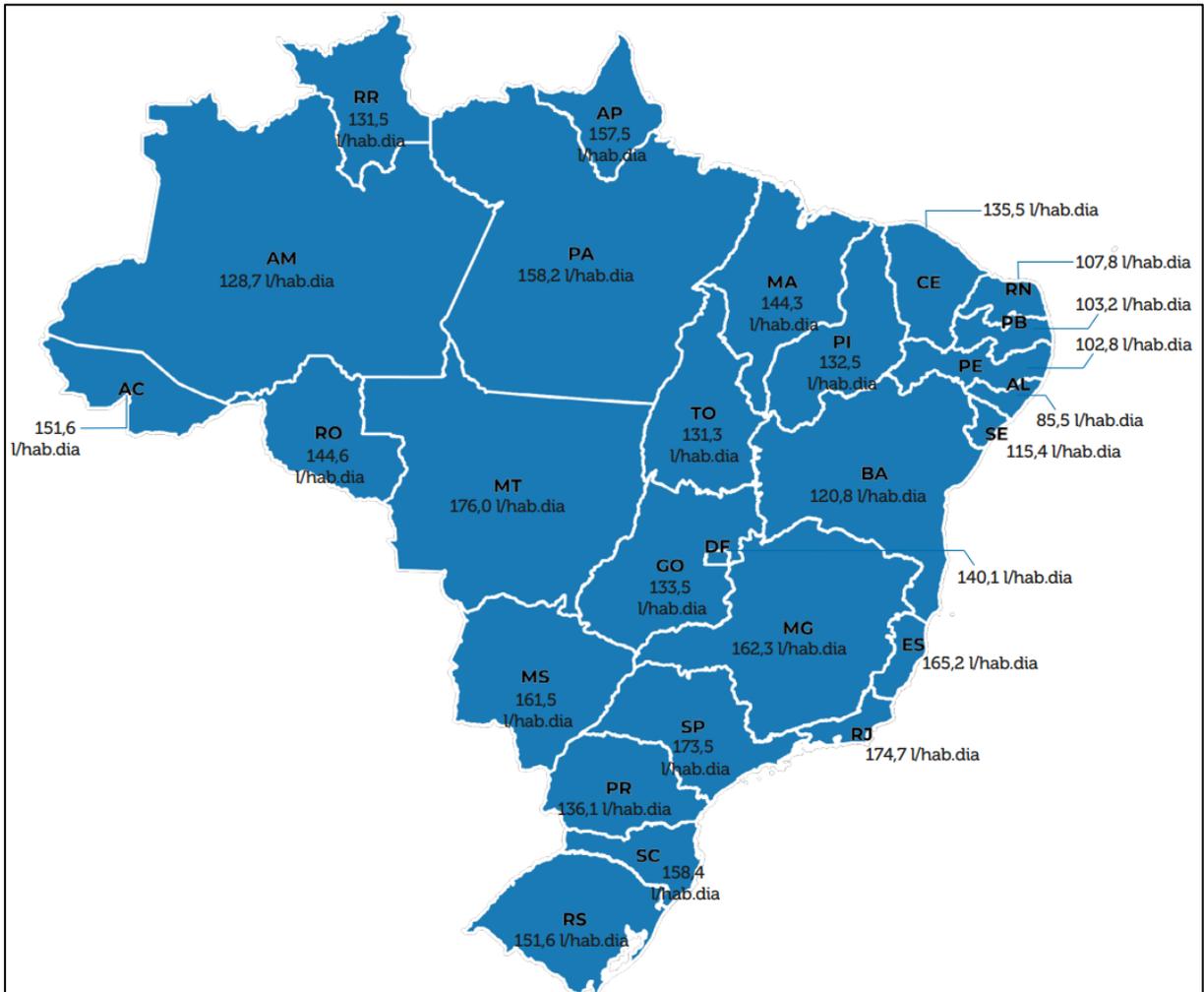
Figura 1 - Porcentagem da população total e urbana atendida com rede pública de água, por macrorregião geográfica em 2021



O monitoramento do consumo médio de água é um importante instrumento de controle operacional e de planejamento e gestão dos serviços. Ele contribui para dimensionar sistemas de abastecimento em municípios com expansão populacional e para reverter o crescimento de consumo em áreas com disponibilidade hídrica restrita.

O consumo médio per capita de água, no Brasil, foi de 150,7 L/hab.dia, em 2021 (SNIS, 2022). A Figura 2, apresenta os valores do consumo médio em cada estado brasileiro e no Distrito Federal.

Figura 2 - Consumo médio per capita de água, em 2021, por unidade da Federação Brasileira.



Fonte: SNIS (2022)

Segundo o Diagnóstico SNIS-AE (água e esgoto) 2019, a medição contínua é uma das ferramentas utilizadas para controle e gerenciamento de perdas de água nos sistemas de abastecimento, e abrange todas as etapas da operação do sistema, desde a captação de água bruta até a distribuição e consumo da água tratada. O conjunto de medições permite identificar diferenças entre o volume de água produzido e o efetivamente consumido.

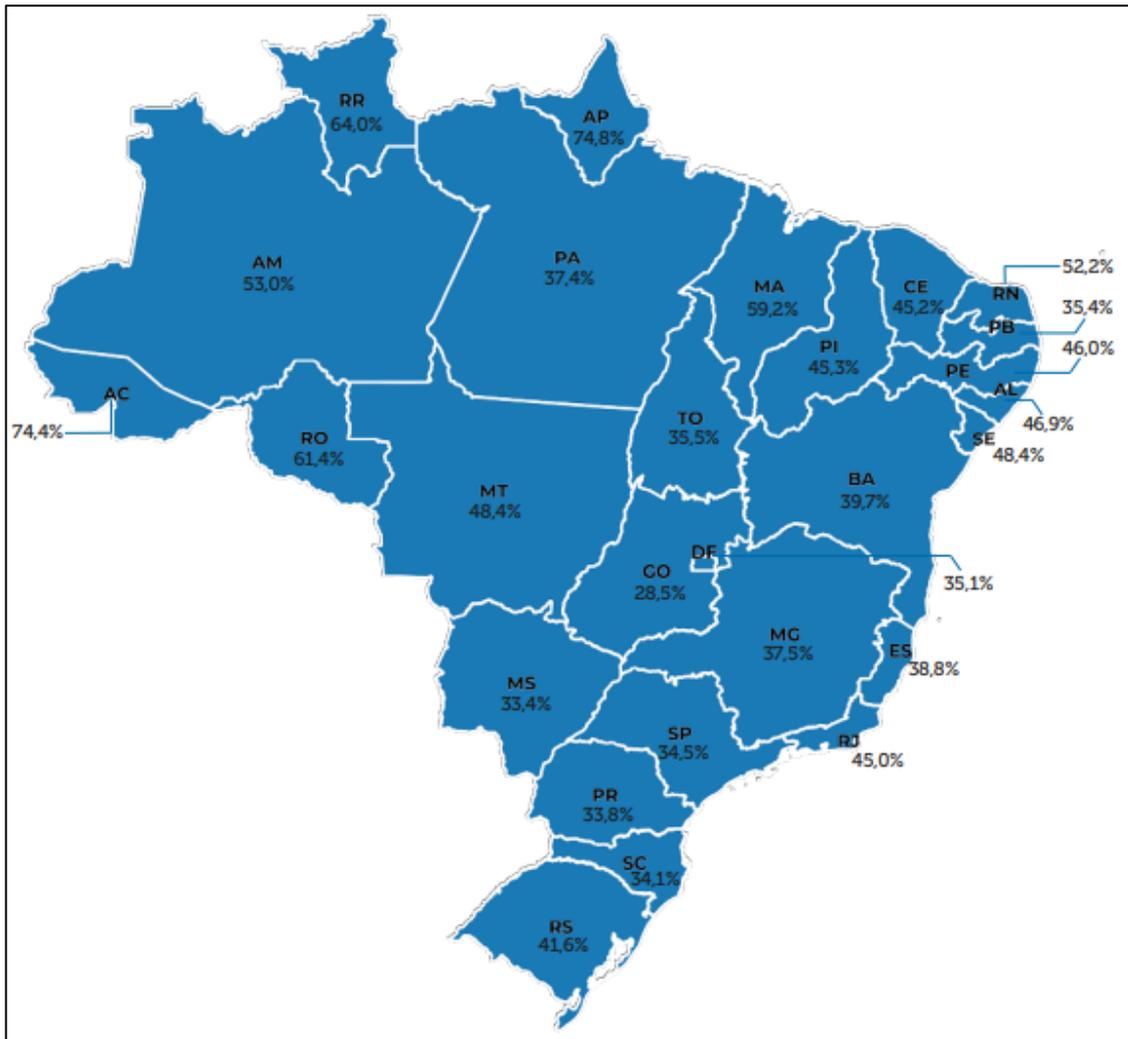
A medição de água em grandes volumes é conhecida como macromedição, sendo feita por meio de equipamentos em pontos na saída das estações de tratamento de água ou em diferentes pontos da rede de distribuição. A micromedição ocorre no ponto de atendimento ao usuário através de hidrômetros, correspondendo ao volume consumido (SNIS, 2019).

Não existe sistema de distribuição sem perdas de água. Por isso, o planejamento e a gestão da operação devem ser orientados pela busca de sua maior

redução possível. Quanto mais eficiente o sistema, menores as perdas de água (SNIS, 2022).

A Figura 3, mostra os valores de perdas de água na distribuição, nas Unidades da Federação Brasileira.

Figura 3 - Percentual de perdas de água na distribuição, em 2021, por unidade da Federação Brasileira



Fonte: SNIS (2022)

No Brasil, os dados de 2021 (SNIS, 2022), apontam índice de perdas na distribuição de água de 40,3%. Em termos quantitativos, o índice significa que, de cada 100 litros disponibilizados pelos prestadores de serviços, apenas 59,7 litros são contabilizados como utilizados pelos consumidores.

Esta situação está relacionada a dois fatores (Gomes, 2019):

- Perda aparente, ocorre quando a água é consumida, mas não contabilizada (faturada) pelo prestador de serviços por falhas no cadastro e na medição (falta e/ou erros de leitura, fraudes, dentre outros), ligações clandestinas e desvios irregulares;

- Perda física, neste caso, a água não chega ao consumidor devido a vazamentos em adutoras, ramais e reservatórios e outras unidades operacionais causadas por excesso de pressão na rede de abastecimento de água e/ou devido ao estado de conservação das tubulações.

Em geral, a operação dos sistemas de abastecimento de água utiliza energia elétrica. Ela movimenta infraestruturas eletromecânicas utilizadas na captação, na condução às estações de tratamento e às estruturas de reservação (armazenamento), e na distribuição para as unidades consumidoras (Gomes, 2019).

Os dados levantados em 2021, pelo SNIS (2022), apontam o índice de consumo médio de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água de 0,73 kWh/m³. O consumo em sistemas de abastecimento de água corresponde a 88,7% (12,6 TWh), e 1,6 TWh utilizados pelos serviços de esgoto.

Planejamento e gestão são estratégicos em situações de abastecimento com altas perdas de água e baixa eficiência energética.

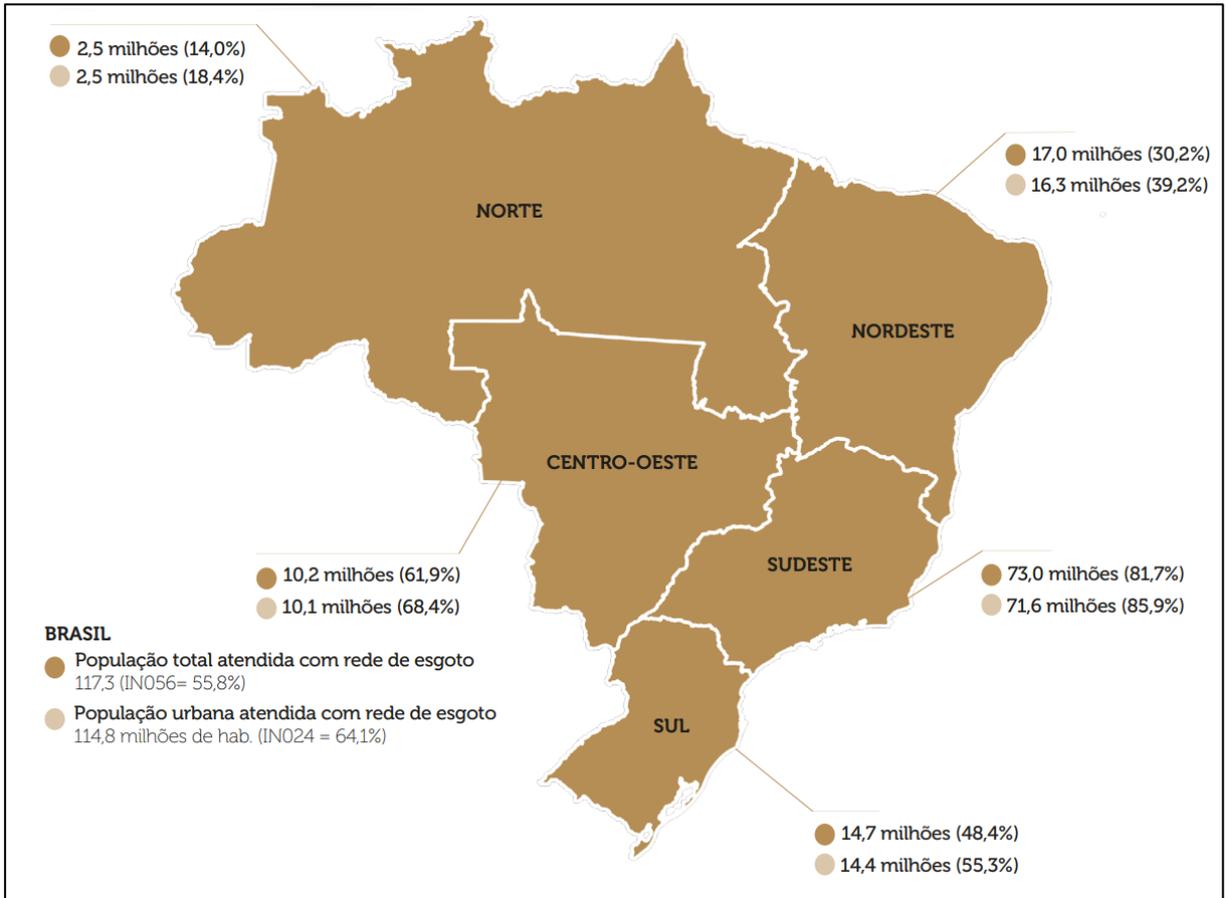
3.1.2 Esgotamento sanitário

É constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para a produção de água de reuso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente (ABNT, 1986).

A coleta e o tratamento de esgotos são essenciais para o saneamento básico. Essas ações representam promoção de saúde pública e manutenção de recursos naturais, entre eles, os corpos hídricos, onde é captada a água para abastecimento público. Nos domicílios, a maior parte da água se transforma em esgoto após usos como lavagem de roupa e louça, limpeza e higiene pessoal. As impurezas incorporadas precisam ser removidas antes do retorno a ambientes naturais.

A Figura 4 ilustra a população atendida com rede pública de esgoto, em 2021:

Figura 4 - Porcentagem da população total e urbana atendida com rede pública de esgotamento sanitário, por macrorregião geográfica em 2021

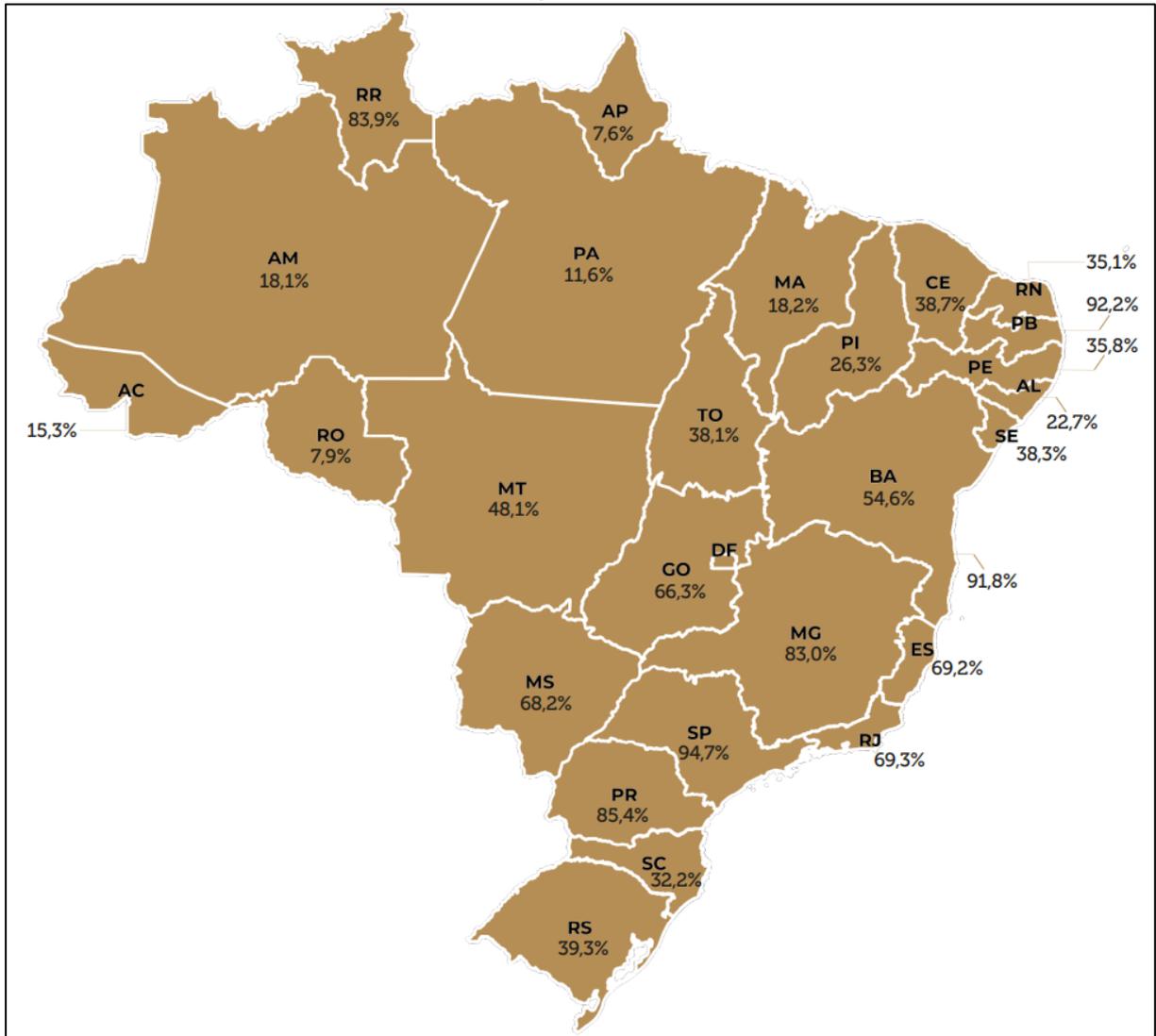


Fonte: SNIS, 2022.

Se observa na Figura 4, que os maiores valores dos índices de populações total e urbana atendidas com rede de esgoto, são os da macrorregião Sudeste (81,7% e 85,9%) e os menores, da Norte (14,0% e 18,4%, respectivamente).

Nos Estados e Distrito Federal, os índices de atendimento urbano com redes coletoras de esgoto, são apresentados na Figura 5.

Figura 5 - Percentual de atendimento urbano com rede de esgoto, em 2021, por unidade da Federação Brasileira



Fonte: SNIS, 2022.

Se observa na Figura 5, acentuadas discrepâncias regionais, com coberturas de 94,7% no estado de São Paulo e 91,8% no Distrito Federal, enquanto Amapá e Rondônia possuem valores abaixo de 8%.

Dados mais recentes, do Censo Demográfico (IBGE, 2023) mostram que a proporção de domicílios com acesso à rede de coleta de esgoto no Brasil chegou a 62,5% em 2022.

Os dados do IBGE (2023) revelam que, além dos domicílios ligados a rede, o uso de solução individual, considerada adequada pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), como fossa séptica ou fossa filtro não conectados à rede (13,2%), podendo-se inferir que 75,7% das habitações têm destino adequado dos esgotos. Por

outro lado, 49,0 milhões de pessoas (24,3%) ainda usavam recursos precários de esgotamento

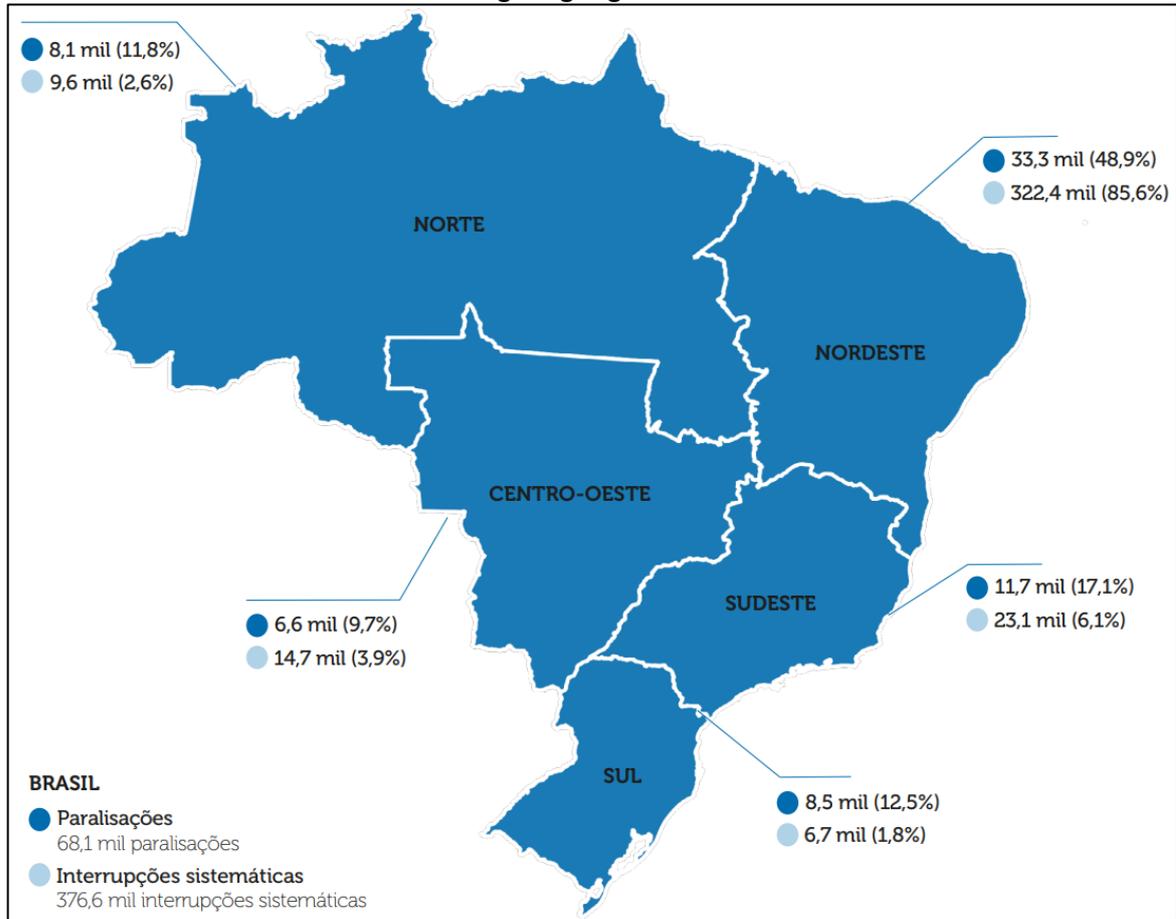
3.1.3 Operação dos Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário

A regularidade da operação dos sistemas tem relação direta com a qualidade da prestação do serviço de abastecimento de água. De forma geral, a regularidade está sujeita a dois fatores adversos: (1) paralisações, que provocam interrupção do fornecimento, decorrentes de problemas em unidades do sistema de abastecimento (da produção à distribuição), em situações como queda de energia e necessidade de reparos; e (2) interrupções sistemáticas, que resultam na subpressão no fornecimento de água (acionamento ou rodízio do abastecimento) por fatores como dificuldade de produção de água, pressão na rede, manobras no sistema e subdimensionamento das infraestruturas de distribuição (SNIS, 2022).

Em 2021 (SNIS, 2022) foram identificadas 68,1 mil paralisações do fornecimento de água, com impactos em 168,3 milhões de economias ativas. O total corresponde à quantidade de registros no ano, inclusive repetições, de paralisações com duração de seis ou mais horas. As interrupções sistemáticas alcançaram 376,6 mil eventos com duração de 6 ou mais horas, atingindo 335,5 milhões de economias, em 2021.

A Figura 6, apresenta os valores das paralizações e interrupções sistemáticas nas macrorregiões geográficas, no ano de 2021.

Figura 6 - Número de paralizações e interrupções sistemáticas no abastecimento de água, por macrorregião geográfica em 2021



Fonte: SNIS (2022)

Os Sistemas de Esgoto Sanitário também apresentam relação entre a regularidade da operação com a qualidade da prestação do serviço prestado. Um indicativo são os extravasamentos em sistemas de esgoto causados por rompimento ou obstrução de redes coletoras, interceptores ou emissários de esgoto em vias públicas, domicílios e galerias de águas pluviais (água da chuva). Em 2021, o SNIS (2022) identificou 809,0 mil extravasamentos de esgoto, que corresponde à quantidade de registros no ano, inclusive repetições, com duração de seis ou mais horas.

Destaca-se que, em 2021, no SNIS foram informadas 62,2 milhões de reclamações ou solicitações de serviços de água e esgotos e 48,5 milhões de serviços executados.

3.1.4 Eficiência energética no saneamento

Os sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitários correspondem a cerca de 3% da energia consumida no mundo. Esse consumo se dá

por conta dos empregos de energia na operação dos sistemas, principalmente nos equipamentos motobomba das estações elevatórias, equivalente a 90% do consumo de energia nesses processos (Gomes, 2019).

Uma parcela significativa da energia consumida nos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário é atribuída à ineficiência energética, que atualmente representa, em média, 25% da energia utilizada globalmente nesse setor. Essa ineficiência decorre de diversos fatores, como o uso de equipamentos de bombeamento com baixo rendimento (obsoletos, antigos ou mal dimensionados), o excesso de perdas de carga hidráulica em adutoras e tubulações de redes de abastecimento, a falta de manutenção adequada, as perdas reais de água e a adoção de procedimentos operacionais inadequados (Gomes, 2019).

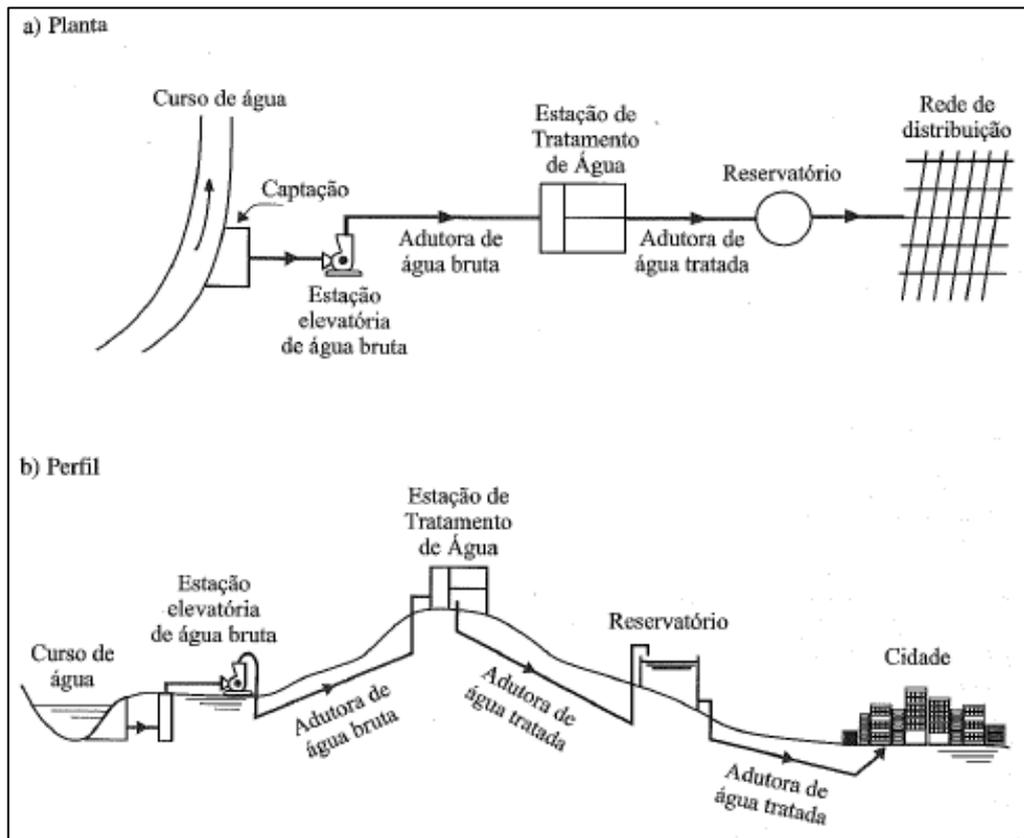
Gomes (2019) sugere que a promoção de ações de eficiência energética se dá através da adoção de medidas com o intuito de reduzir o consumo de energia sem comprometer a qualidade do serviço prestado, por meio da eliminação de desperdícios, do uso de equipamento eficientes e aprimoramento de processos.

3.2 Sistemas de Abastecimento de Água

A Norma NBR 12.218 (2017) estabelece a definição de Sistema de Abastecimento de Água como um conjunto de canalizações, instalações e equipamentos com a finalidade de captar, conduzir, tratar, armazenar e distribuir água. De modo geral, a principal finalidade do sistema de abastecimento de água é proporcionar ao usuário um suprimento de água de qualidade satisfatória para suas necessidades, em quantidade adequada e com pressão suficiente (Tsutiya, 2006).

Segundo Tsutiya (2006), os componentes de um Sistema de Abastecimento de Água são: manancial, captação, estação elevatória, adutoras, estação de tratamento de água, reservatório e rede de distribuição, como exemplificado na Figura 7.

Figura 7 – Sistema de Abastecimento de Água



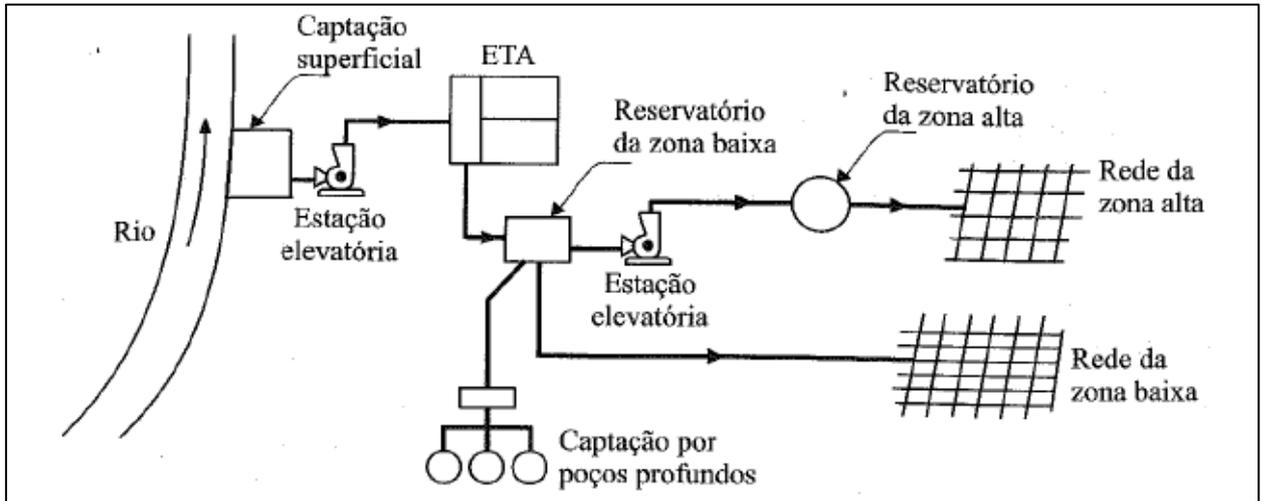
Fonte: Tsutiya (2006)

Manancial: Comumente, o termo manancial é interpretado como um conjunto de águas disponíveis para uso, distinguindo as águas subterrâneas e superficiais de maneira independente. Neste contexto, mananciais subterrâneos e superficiais são passíveis de coexistirem na mesma região, representando as variedades de fontes hídricas para o abastecimento de água (Magalhães Junior *et al*, 2016). Independente da sua fonte, o manancial precisa assegurar uma vazão adequada para atender às demandas ao longo do período de projeto e apresentar qualidade de água apropriada do ponto de vista sanitário (Tsutiya, 2006).

Captação: consiste do conjunto de estruturas e dispositivos, instalados nas proximidades do manancial, com o propósito de extrair água destinada ao sistema de abastecimento. A captação superficial pode ser realizada em curso d'água, represa ou manancial de serra e a captação subterrânea pode ser através de caixas de tomadas e drenos, poços profundos ou poços horizontais. A estrutura de captação irá variar de acordo com as características topográficas e geológicas da região, da disponibilidade de mananciais e escolhas de projeto, podendo existir a possibilidade

de captação de duas fontes diferentes no mesmo abastecimento de água, como demonstrado na Figura 8 (Tsutiya, 2006).

Figura 8 - Sistema de abastecimento de água com captação em manancial superficial e subterrâneo



Fonte: Tsutiya (2006)

Estação elevatória: As estações elevatórias constituem-se de conjuntos de instalações e equipamentos de bombeamento. Seu propósito principal é transportar a água para áreas mais distantes, elevadas, ou aumentar a pressão nas linhas de adução (Tsutiya, 2006). As estações elevatórias são compostas por elementos essenciais como tubulação de sucção, motores, bombas, tubulações e conexões de recalque, e podem estar presentes em várias etapas do sistema de abastecimento de água, desde a captação até a distribuição final (Pedrosa, 2016).

Adutora: refere-se à canalização projetada para transportar água entre as diferentes unidades do sistema de abastecimento que antecedem a rede de distribuição (Tsutiya, 2006).

Estação de tratamento de água: Estação de Tratamento de Água (ETA) refere-se ao conjunto de unidades projetadas para realizar o tratamento da água, visando ajustar suas características aos padrões estabelecidos de potabilidade (Tsutiya, 2006).

Reservação: é o componente do sistema responsável por regularizar as flutuações nas vazões de adução e distribuição, além de condicionar as pressões na rede de distribuição. Para além disso, as unidades de reservação tem como funções: armazenar grandes volumes de água, garantir segurança no abastecimento e assegurar o abastecimento em caso de possíveis indisponibilidades (Miquel; Patiño, 2002; ABNT, 2004; Tsutiya, 2006)

Rede de distribuição: A rede de distribuição constitui a etapa conclusiva de um sistema de abastecimento de água, composta por tubulações e equipamentos acessórios, na qual é realizado o fornecimento de água potável à população atendida pelo sistema. A distribuição de água deve ser realizada por meio de condutos que são dimensionados de acordo com as necessidades e características de consumo da região, de modo a garantir fornecimento em quantidade suficiente, pressão adequada e qualidade exigida pelas normas sanitárias (Tsutiya, 2006; Vilas-Boas, 2008).

Os principais requisitos recomendados pela Norma NBR 12.218/2017 são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais parâmetros de projeto de rede de abastecimento de água recomendados pela NBR 12.218/2017

Parâmetro	Valor
Pressão estática máxima (mca)	40 / 50 ⁽¹⁾
Pressão estática recomendada (mca)	25 a 30 ⁽²⁾
Pressão dinâmica mínima (mca)	10
Velocidade mínima (m/s)	0,40
Perda de carga (m/km)	10

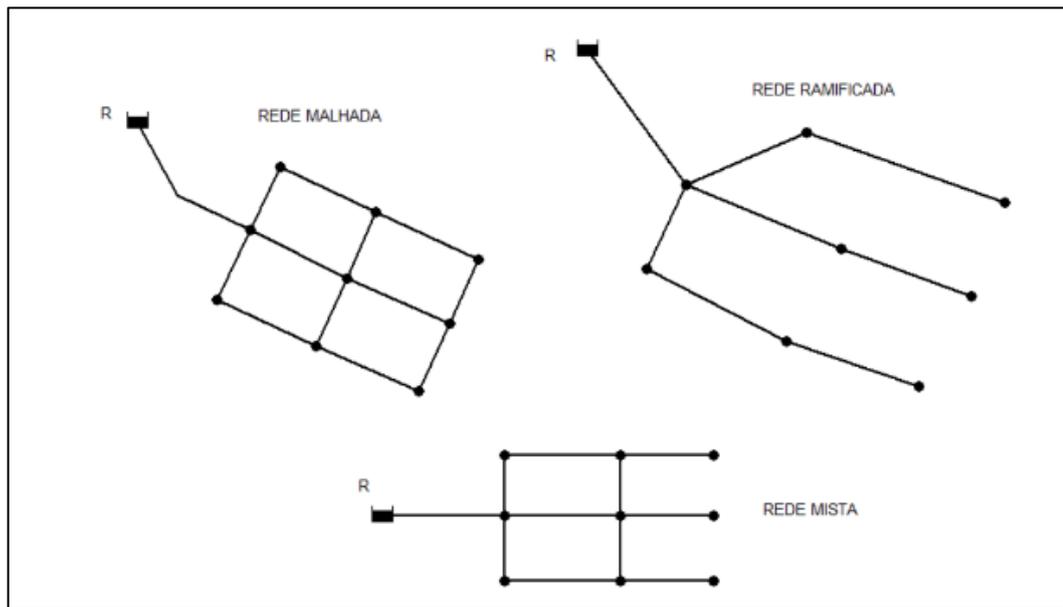
Fonte: ABNT (2017)

⁽¹⁾ Em regiões com topografia acidentada.

⁽²⁾ Com o objetivo de diminuir as perdas reais de água

Durante o dimensionamento de uma rede de distribuição é definido o traçado da rede, ou seja, a disposição dos condutos e demais elementos que compõem essa etapa do sistema. Os tipos principais de traçados são: malhado e ramificado, podendo haver uma combinação dos dois tipos, conhecido como traçado misto (Figura 9). Geralmente, a distribuição consiste em uma rede principal malhada, associada a redes secundárias ramificadas (Vilas-Boas, 2008; Gomes, 2019).

Figura 9 - Traçados de rede de distribuição



Fonte: Gomes (2019).

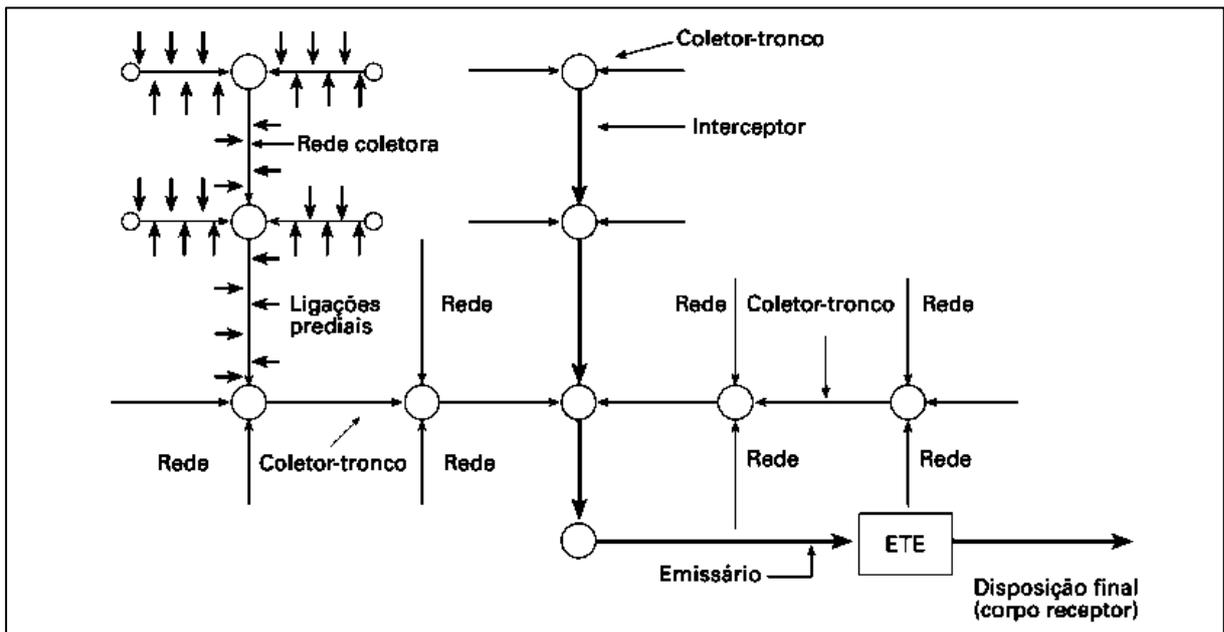
3.3 Sistema de Esgoto Sanitário

Por Sistema de Esgoto Sanitário entende-se o conjunto de condutos, instalações e dispositivos destinados a, de forma contínua e higienicamente adequada, coletar, transportar, condicionar e encaminhar somente esgoto sanitário para uma devida disposição final (ABNT, 1986). No Brasil, o modelo de Sistema de Esgoto Sanitário adotado (desde o início do século XX) é o separador absoluto, que, assim como sugere a definição da ABNT, tem como característica não admitir a coleta de outras águas senão esgoto sanitário (Nuvolari *et al*, 2011).

Dentre as principais finalidades da implantação de um Sistema de Esgoto Sanitário Separador Absoluto estão: prevenção de doenças de veiculação hídrica, eliminação de odores desagradáveis, aumento da produtividade industrial e agropastoril e proteção dos solos, fauna, flora e águas naturais. Tais questões estão diretamente ligadas a aspectos socioambientais, econômicos e de saúde pública (Nuvolari *et al*, 2011).

Segundo Nuvolari *et al* (2011), um Sistema de Esgoto Sanitário Separador Absoluto possui como elementos principais os componentes esquematizados na Figura 10:

Figura 10 - Esquema de um Sistema de Esgoto Sanitário



Fonte: Nuvolari *et al* (2011)

Rede Coletora: É a parte do Sistema de Esgoto Sanitário responsável pela coleta das contribuições de esgoto dos coletores prediais de propriedades (domicílios, prédios e economias) e transporte dessas contribuições para condutos maiores, conhecidos como interceptores e emissários. A rede coletora é constituída por ligações prediais, coletores de esgoto e seus órgãos acessórios.

Os principais parâmetros de projeto das redes coletoras, recomendados pela Norma NBR 9649/1986, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de projeto das redes de esgoto conforme NBR 9649/1986

Parâmetro	Valor
Tensão trativa (Pascal)	≥ 1
Y/D (altura da água / diâmetro do tubo)	$\leq 0,75$
Velocidade máxima (m/s)	5
Velocidade crítica (m/s)	\geq velocidade no tubo

Fonte: ABNT (1986)

A tensão trativa é definida como a tensão tangencial aplicada à parede do conduto pelo líquido em escoamento. Em outras palavras, trata-se da componente tangencial do peso do líquido por unidade de área da parede do coletor, que atua sobre o material sedimentado, promovendo seu arraste (Sobrinho; Tsutiya, 1999). A tensão trativa é dada pela equação 1:

$$\sigma = \gamma R_H I \quad (1)$$

Sendo:

σ = tensão trativa, em Pa;

γ = peso específico do líquido, 10^4 N/m^3 para esgoto sanitário;

R_H = raio hidráulico, em m;

I = declividade da tubulação, em m/m.

A lâmina líquida corresponde ao percentual de ocupação da tubulação pelo líquido em escoamento e se dá pela relação entre a altura de esgoto (γ) e o diâmetro da tubulação (D).

Já a velocidade crítica pode ser calculada a partir da equação 2:

$$V_c = 6\sqrt{gR_H} \quad (2)$$

Em que:

V_c = velocidade crítica, em m/s;

g = aceleração da gravidade, em m/s^2 ;

R_H = raio hidráulico, em m.

Interceptores: Interceptores são canalizações definidas pela norma NBR 12207 (ABNT, 2016) como responsáveis por receber e transportar o esgoto sanitário coletado, caracterizando-se pela defasagem das contribuições que resulta no amortecimento das vazões máximas. Além disso, os interceptores recebem os efluentes da rede coletora em pontos específicos, geralmente equipados com poços de visita, e são localizados nas partes baixas das bacias para evitar descargas diretas nos corpos d'água.

Emissários: Os emissários são simplesmente definidos como tubulações que recebem as contribuições de esgoto exclusivamente na extremidade montante. Podem ser o trecho final do interceptor, a tubulação de descarga de uma estação elevatória, a interligação de pontos de concentração de efluentes ou a saída de uma estação de tratamento de esgoto.

Sifões Invertidos e Passagens forçadas: São caracterizados como segmentos onde o escoamento ocorre sob pressão, sendo sua função principal a

superação de obstáculos, depressões de terreno ou cursos d'água, podendo ser rebaixados (sifões) ou não (passagens forçadas).

Estações Elevatórias de Esgoto (EEE): São estruturas concebidas para o transporte do esgoto, elevando-o do nível do poço de sucção das bombas até o ponto de descarga na saída do recalque, seguindo as flutuações da vazão afluyente. As elevatórias são empregadas em situações específicas como na coleta para permitir a conexão ao coletor de esgoto em terrenos com soleiras baixas ou pisos abaixo do nível da rua, na rede coletora como alternativa ao aprofundamento excessivo dos coletores, no transporte em redes distritais ou em casos de transposição de bacias, e no tratamento ou disposição final para ajustar as cotas de acordo com a implantação da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) ou com os níveis do corpo receptor.

Estação de Tratamento de Esgoto (ETE): É um conjunto de técnicas que engloba unidades de tratamento, equipamentos, estruturas auxiliares (canais, caixas, vertedores e tubulações) e sistemas de utilidades (água potável, combate a incêndios, distribuição de energia e drenagem pluvial). Seu principal objetivo é reduzir as cargas poluidoras presentes no esgoto sanitário e tratar a matéria residual resultante desse processo. Dentro das unidades de tratamento, são realizadas diversas operações e processos unitários para separar os poluentes em suspensão e dissolvidos da água a ser descarregada no corpo receptor, além de condicionar os resíduos retidos.

Corpo receptor: Qualquer corpo d'água natural ou solo no qual o esgoto será lançado após tratamento.

3.4 Modelagem hidráulica

O conceito de modelagem permeia a ideia de caracterizar a realidade a partir de reprodução de elementos da mesma, utilizando métodos estatísticos e/ou simulações computacionais. A partir desse conceito, a modelagem hidráulica trata da utilização de mecanismos, geralmente computacionais, para simular sistemas hidráulicos a partir de equações de energia como a de Hazen-Williams, Chezy-Manning e Darcy-Weisbach (Vilas-Boas, 2008; Abrahão, 2020).

O uso de modelagem hidráulica no saneamento permite a verificação do comportamento de um sistema em diferentes cenários, ajudando a analisar a funcionalidade da rede e sua conformidade com os parâmetros exigidos de uma forma que não seria possível no sistema real (Vilas-Boas, 2008). Dessa forma, a modelagem hidráulica se mostra uma ferramenta bastante benéfica ao minimizar tempo e recursos

econômicos durante os processos de planejamento e gestão de Sistemas de Abastecimento de Água e Sistemas de Esgoto Sanitário.

Nas últimas décadas se tornou comum a utilização de softwares e modelos computacionais para simulação de sistemas hidráulicos no saneamento, com uma grande variedade de métodos, funcionalidades e recursos (ABE, 2014). Dentre as inúmeras alternativas temos o software EPANET e SWMM, aqui utilizados para modelagem hidráulica de rede de distribuição de água e rede coletora de esgoto sanitário, respectivamente.

3.4.1 EPANET

O EPANET é um software que possibilita a análise de sistemas de distribuição de água sob pressão, por meio de simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e da qualidade da água. Ele possui grande utilidade na simulação do comportamento dos componentes das redes de distribuição de água, sendo aplicável em diversas situações, desde o planejamento de expansões até a avaliação de consumos e decaimento do cloro residual. Sua funcionalidade inclui a obtenção de dados como vazão, pressão, altura de água e concentração de substâncias químicas ao longo do sistema, permitindo uma análise ampla e detalhada das redes de distribuição de água (Rossman, 2000).

Uma das características fundamentais do EPANET é sua capacidade de modelagem hidráulica confiável, incluindo a consideração de perdas de carga, modelagem de bombas, válvulas e reservatórios de diferentes tipos, além da modelagem de múltiplas categorias de consumo nos nós da rede. Isso garante uma simulação precisa, possibilitando a visualização dos resultados por meio de gráficos, tabelas de dados e relatórios específicos. Essa abordagem torna o EPANET uma ferramenta valiosa para a gestão e análise dos sistemas de distribuição, permitindo a melhoria contínua da qualidade da água fornecida através da análise e testes de cenários, ou seja, verificar o funcionamento de uma rede em situações ou configurações diversas (Rossman, 2000; Vilas-Boas, 2008).

Como exemplos de aplicações, Cavalcante; Michell; Batista (2023), em seu trabalho realizaram simulações de uma rede, considerando crescimento populacional e aumento de demanda para os próximos 21 anos.

Já Freitas *et al* (2022) utilizaram o EPANET 2.0 para modelar um sistema de distribuição de água em três configurações diferentes, testando ajustes de pressão

em nós e inserções de bombas em alguns trechos e analisando seus funcionamentos e eficiências energéticas com alcance de projeto de 40 anos.

Com isso, o EPANET se destaca como uma solução tecnológica acessível e eficaz para o planejamento, operação e gestão dos sistemas de abastecimento de água, desempenhando um papel fundamental na garantia de serviços de qualidade para a população (Vilas-Boas, 2008).

Para realizar as simulações de uma rede de distribuição, o EPANET utiliza da representação de componentes físicos da rede em sua interface. De modo geral, o programa modela um sistema de distribuição de água como sendo um conjunto de trechos ligados a nós, como Rossman (2000) detalha:

Nós: são os pontos de ligação dos trechos da rede, onde ocorre a entrada e saída de água. Os principais parâmetros de entrada são cota acima do nível de referência, consumo base e qualidade inicial da água. Em uma simulação os nós podem retornar resultados de carga hidráulica total, pressão e qualidade da água.

Reservatórios de nível fixo (RNF): são nós excepcionais que representam volumes de armazenamento de água, com capacidade ilimitada e carga hidráulica constante. Em uma modelagem simulam aquíferos, lagos, rios ou ligações de outros sistemas. Os principais dados de entrada para este componente são nível de água e qualidade inicial da água (quando pertinente ao objetivo da simulação). As propriedades de um Reservatório de Nível Fixo não são afetadas pelo funcionamento da rede, ou seja, as características iniciais não são alteradas durante a simulação a menos que o operador pré-defina um padrão temporal para os parâmetros do nó.

Reservatórios de Nível Variável (RNV): assim como os RNF, também são nós especiais, porém, com capacidade de armazenamento limitada e possibilidade de variação de volume de água armazenada ao longo da simulação. As principais propriedades que devem ser indicadas para um RNV são: cota de fundo, diâmetro (ou curva de volume, para formatos não-cilíndricos), altura de água mínima, altura de água máxima, altura de água inicial e qualidade de água inicial; tendo como principais resultados a qualidade da água e carga hidráulica.

Dispositivos Emissores do Tipo Orifício: dispositivos emissores, no EPANET, não são modelados como elementos independentes, mas como propriedades de nós que simulam o escoamento de orifícios com descarga direta para a atmosfera, como em sistemas com aspersores e redes de irrigação.

Tubulações: O EPANET considera as tubulações como trechos que transportam água sob pressão entre pontos da rede, seguindo um fluxo dos locais com carga hidráulica mais alta para os de carga mais baixa. As propriedades essenciais das tubulações incluem nós (inicial e final), diâmetro, comprimento, coeficiente de rugosidade e estado (aberto, fechado ou com válvula de retenção). A simulação de qualidade da água requer adição de coeficientes de reação e, após a simulação, são obtidos parâmetros como vazão, velocidade, perda de carga, fator de resistência, além de dados sobre a qualidade da água ao longo da tubulação. A perda de carga pode ser calculada por diferentes fórmulas, como Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning, dependendo das características específicas da tubulação.

Perdas de Carga Localizadas: são provocados por mudanças na geometria da tubulação, como curvas, alargamentos, estreitamentos, válvulas, conexões ou outros elementos que causem perturbações no fluxo do fluido. No EPANET esse fator é representado pela associação de um coeficiente de perda de carga singular à tubulação.

Bombas: As bombas na rede são responsáveis por transferir energia para o escoamento, elevando sua altura manométrica. Os dados fundamentais para o programa incluem nós inicial e final, juntamente com a curva da bomba, que define a relação entre altura manométrica e vazão, embora também possa ser representada por um parâmetro de energia constante para todas as combinações de vazão e altura manométrica. Os resultados principais da simulação são a vazão bombeada e a altura manométrica. Além disso, quando associada a inversores de frequência, a regulação de velocidade da bomba pode ser ajustada para refletir diferentes condições operacionais, influenciando sua curva característica e as condições ideais de funcionamento, com a capacidade de ligar ou desligar conforme as condições da rede, incluindo a determinação do consumo de energia e custo de bombeamento. Outra característica importante sobre a modelagem da bomba é que o escoamento através desse trecho é obrigatoriamente unidirecional.

Válvulas: as válvulas, em modelagem de rede de distribuição de água, são trechos de controle, limitando a pressão ou vazão em pontos específicos. Os principais parâmetros para simulação incluem nós inicial e final, diâmetro, parâmetro de controle na válvula e estado. Os resultados gerados pela simulação são a vazão e a perda de carga. O EPANET modela diversos tipos de válvulas, como a Válvula de

Controle da Pressão a jusante (PRV), Válvula de Controle da Pressão a montante (PSV), Válvula de Perda de Carga Fixa (PBV), Válvula Reguladora de Vazão (FCV), Válvula de Controle de Perda de Carga (TCV) e Válvula Genérica (GPV).

3.4.2 SWMM

O Storm Water Management Model (Modelo de Gestão de Drenagem Urbana - SWMM), é um modelo hidrológico dinâmico desenvolvido em 1971 pela Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - EPA), para simular parâmetros qualitativos e quantitativos do escoamento superficial e transporte hidráulico, principalmente em áreas urbanas (Rossman, 2010).

O componente de escoamento superficial do SWMM trabalha com um conjunto de sub-bacias hidrográficas que recebem precipitações e produzem escoamentos e cargas poluidoras. Já seu módulo de transporte hidráulico simula o percurso destas águas por meio de um sistema formado por tubulações, canais, dispositivos de armazenamento e tratamento, bombas e elementos de regulação (Rossman, 2010).

O modelo conta com um conjunto versátil de ferramentas que oferecem a capacidade de manipular redes de qualquer tamanho, utilizar diferentes geometrias para os condutos, modelar elementos especiais (como unidades de armazenamento e tratamento), considerar escoamentos externos em termos de qualidade e quantidade, utilizar diferentes métodos para a propagação dos fluxos e modelar diferentes regimes de fluxo (Rossman, 2010).

Atualmente, o SWMM é um dos softwares mais amplamente utilizados em todo o mundo para o planejamento, análise e execução de projetos relacionados a sistemas de drenagem de águas pluviais em áreas urbanas, não-urbanas e sistemas coletores de águas residuais, incluindo configurações separadas, unitárias ou mistas. Sua popularidade se deve em grande parte ao fato de ser um programa de código aberto e de domínio público, o que permitiu modificações, adaptações e aprimoramentos ao longo das últimas três décadas (Meller, 2004; Rossman, 2010).

Foi por meio de aprimoramento do código computacional que Vinagre et al (2018) adaptaram o SWMM para simular o comportamento hidráulico de redes coletoras de esgotamento sanitário de acordo com parâmetros da norma NBR 9.649/1986. Apesar das ferramentas do SWMM já terem sido utilizadas para simulação de redes de esgoto sanitário antes do aprimoramento, através da

atualização, agora é possível obter os parâmetros tensão trativa, lâmina líquida (Y/D) e velocidade crítica diretamente no programa, facilitando análises e estudos desta categoria (Vinagre et al, 2019).

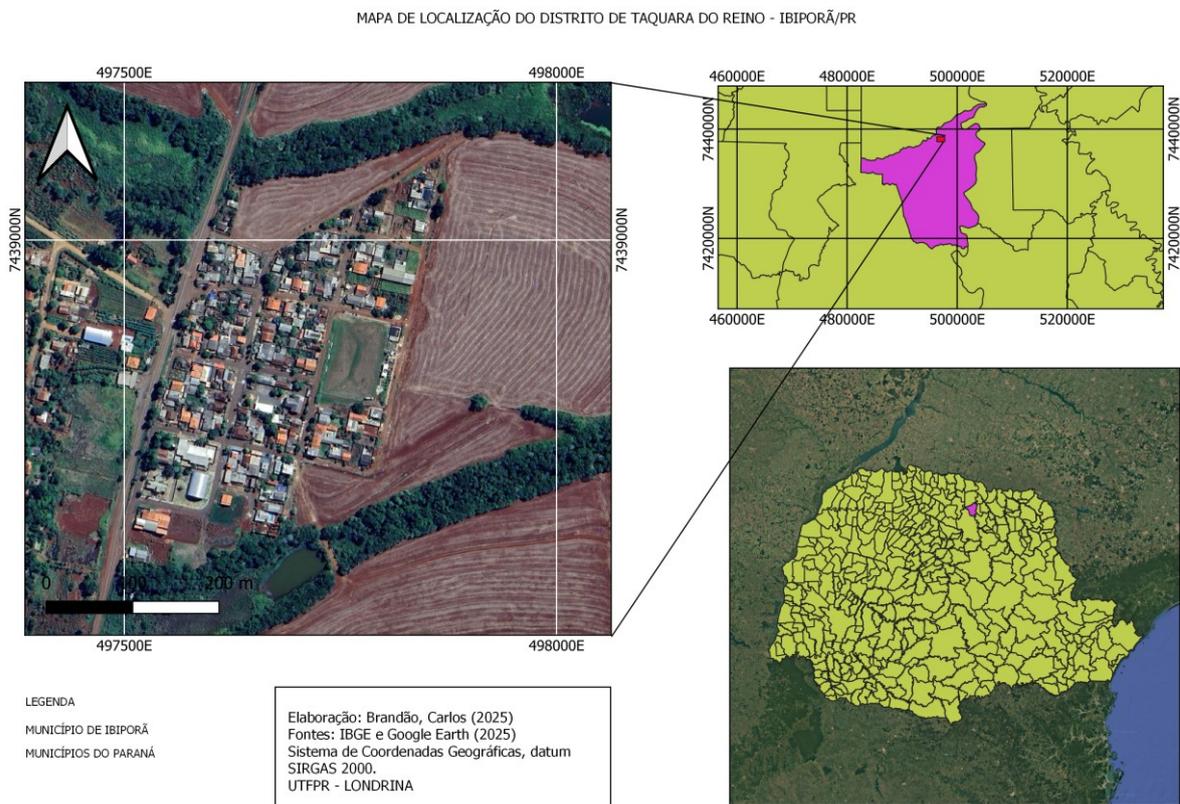
Santos *et al* (2021), em seu trabalho “Simulação hidráulica de uma rede coletora de esgoto sanitário no município de Campina do Monte Alegre, São Paulo”, avaliaram a rede sob os parâmetros preconizados na NBR 9.649/1986 (dentre eles tensão trativa, velocidade crítica e lâmina líquida) e identificaram necessidade de adequação do sistema.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

Localizado no norte do Paraná, o Distrito de Taquara do Reino (Figura 11) pertence ao município de Ibiporã e está situado a cerca de 10 km da sede municipal, às margens da rodovia PR-090. Com uma população estimada em 500 habitantes, distribuídos em aproximadamente 118 habitações, o distrito conta com três Centros Educacionais (duas escolas e uma creche), uma Unidade Básica de Saúde (UBS), igrejas, pequenos comércios e áreas destinadas a esporte e lazer, como o Campo Taquara do Reino e a Quadra Poliesportiva da Taquara.

Figura 11 – Mapa de localização do Distrito de Taquara do Reino em Ibiporã-PR



Fonte: Google Earth (2024)

Os serviços de abastecimento de água e de esgoto sanitário do distrito são mantidos pelo Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Ibiporã (SAMAE Ibiporã), autarquia municipal criada pela Lei Municipal nº 197 de 6 de dezembro de 1968 (Ibiporã (PR), 1968).

4.1.1 Descrição do Sistema de Abastecimento de Água e de Esgoto Sanitário

O Distrito de Taquara do Reino é abastecido através da Unidade Descentralizada de Tratamento e Distribuição de água para Abastecimento Público Taquara do Reino (Figura 12).

Figura 12 - Unidade Descentralizada de Tratamento e Distribuição de água para Abastecimento Público Taquara do Reino



Fonte: SAMAE Ibiporã (2023)

A Unidade Descentralizada conta com um poço tubular de nível estático de 60,00 m, nível dinâmico de 168,00 m e vazão de 8,00 m³/h (2,22 L/s) (Figura 13).

A bomba submersa recalca a água do poço até o reservatório elevado com 15,00 m de altura, e capacidade para armazenar 40.000 (quarenta mil) litros de água (Figura 13). A água é distribuída para o Distrito por gravidade, a partir do reservatório elevado.

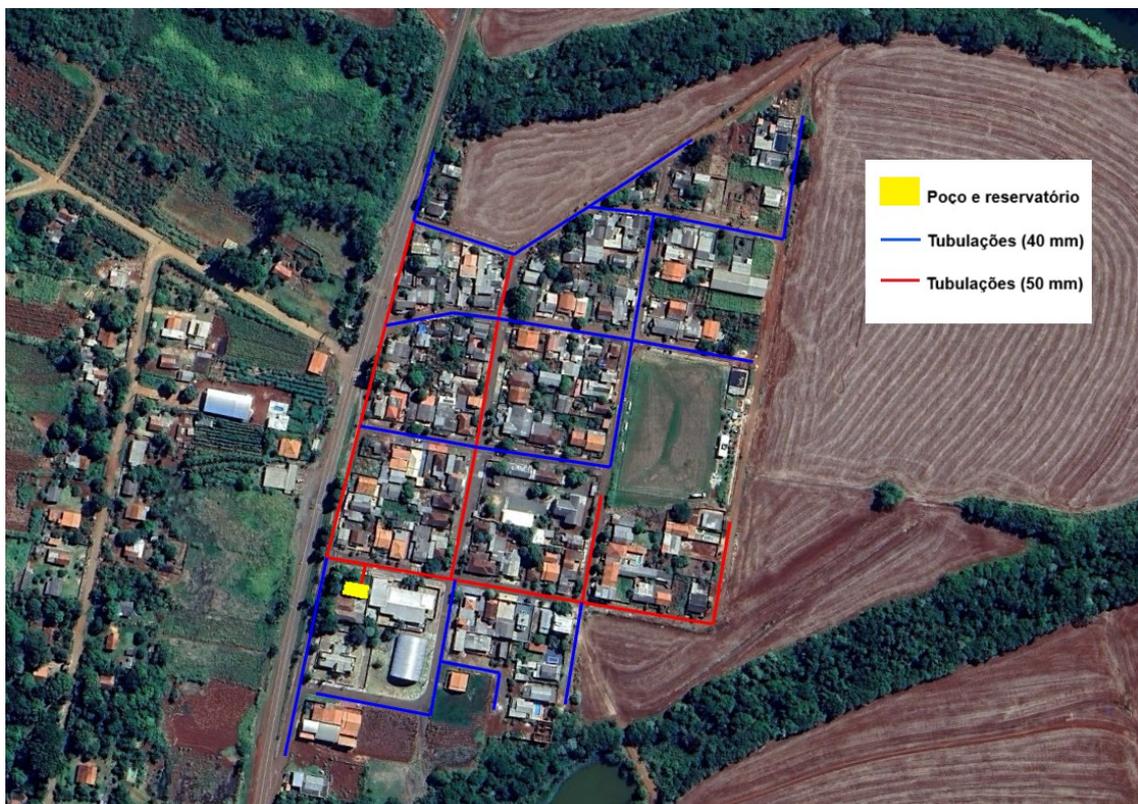
Figura 13 - Dados do poço tubular profundo e Reservatório elevado



Fonte: Autoria própria (2024)

A rede de distribuição de água, de aproximadamente 2400 m de comprimento, é formada por tubulações de PVC com diâmetros nominais de 50 mm (vermelho) e 40 mm (azul), representada na Figura 14.

Figura 14 – Rede de distribuição de água



Fonte: Google Earth (2024)

Já a rede coletora de esgotos foi construída com tubulações de PVC, diâmetro de 150 mm e poços de visita ou caixas de inspeção em distâncias máximas de 100

m. A Figura 15, apresenta a concepção da rede coletora do esgoto sanitário, com o traçado da rede e emissário.

Figura 15 – Traçado da rede coletora de esgoto sanitário e emissários

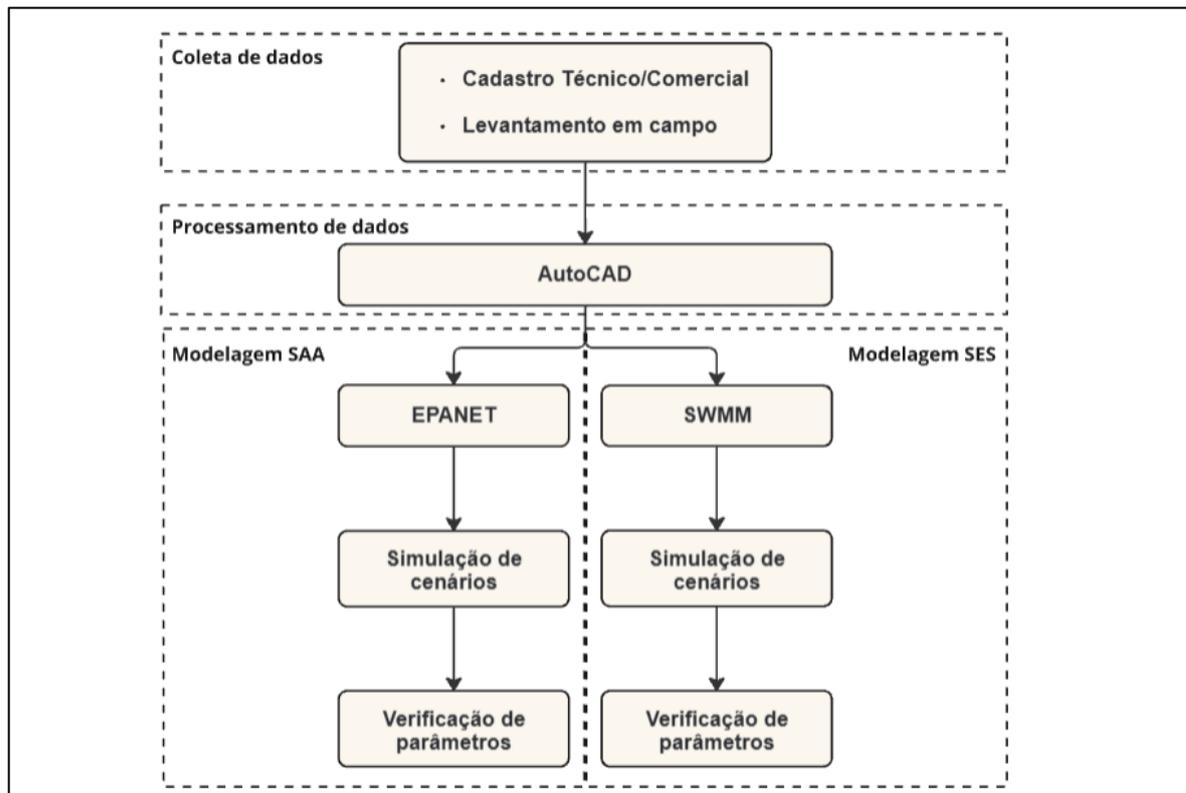


Fonte: Google Earth (2024)

4.2 Etapas do estudo

A Figura 16 apresenta fluxograma demonstrando as principais etapas realizadas para atingir os objetivos do estudo.

Figura 16 - Fluxograma das etapas do estudo



Fonte: Autoria própria (2024)

4.3 Coleta de dados

A coleta de dados para caracterização da rede de distribuição de água e rede coletora de esgoto sanitário do Distrito de Taquara do Reino se deu através de levantamento em campo e por meio dos cadastros técnico fornecido pelo SAMAE Ibiporã, como demonstrado no Quadro 1:

Quadro 1 - Fontes das coletas de dados

Fonte	Dados
1. SAMAE Ibiporã	Planta com cotas, traçado, extensão, diâmetro e material das tubulações de distribuição de água
	Planta com cotas, traçado, extensão, diâmetro e material das tubulações de coleta e transporte de esgoto sanitário
2. Levantamento em campo	Localização, vazões de bombeamento, nível dinâmico, nível estático e tempo de funcionamento do poço profundo/bomba
	Localização, capacidade e altura do reservatório elevado
3. SINISA (Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico)	Percentuais de perda de carga e consumo per capita para o município de Ibiporã-PR

Fonte: Autoria própria

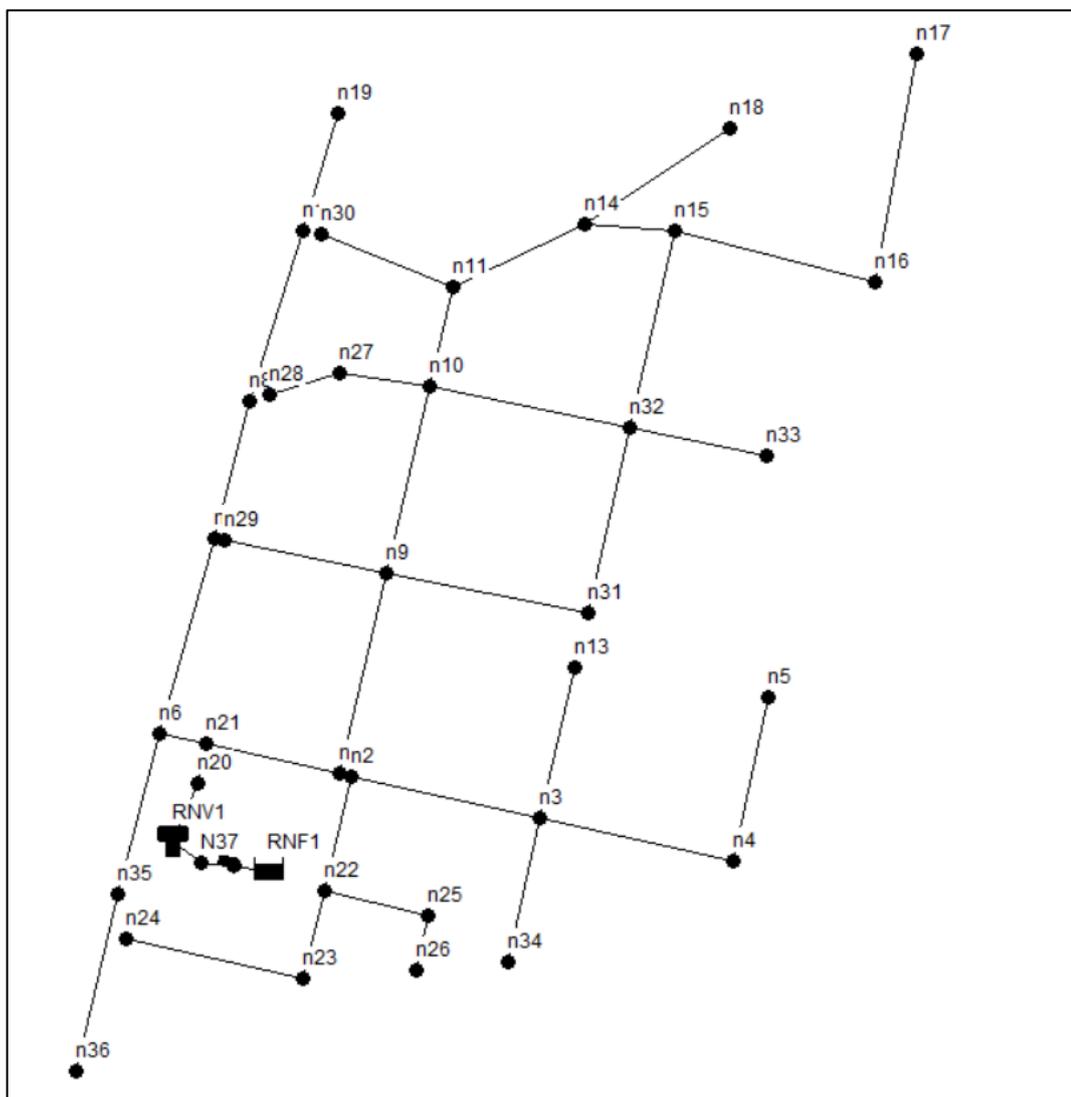
Os dados coletados em campo foram obtidos por meio de consulta aos informativos presentes no ponto de localização do poço tubular profundo e reservatório elevado, apresentados anteriormente na Figura 13.

4.4 Modelagem hidráulica

4.4.1 Rede de distribuição de água

A modelagem da rede de distribuição de água do Distrito de Taquara do Reino teve início com a esquematização da malha, por meio de trechos e nós, no software EPANET (Figura 17). A base da rede foi gerada no AutoCAD, através da planta fornecido pelo SAMAE Ibiporã e, após ajuste inicial dos dados, o arquivo foi exportado e convertido no software EpaCAD para um formato compatível com o EPANET.

Figura 17 - Representação da rede no EPANET



Fonte: autoria própria

Ressalta-se que o reservatório elevado (RNV1) e o poço profundo, representado por um Reservatório de Nível Fixo (RNF1) ligado a uma bomba, foram adicionados ao desenho da rede de distribuição manualmente após inserção da malha extraída da planta cadastral.

Após desenho da malha foram atribuídos a cada elemento da rede os dados necessários para execução de simulação.

Para os nós comuns foram inseridos os seguintes dados:

- Cota;
- Consumo base;
- Padrão de consumo.

Para os nós excepcionais (RNV e RNF), representando o reservatório elevado e o poço profundo:

- Nível da água, para o RNF;
- Cota e alturas de água inicial, mínima e máxima, para o RNV.

Para os trechos, representando as tubulações:

- Comprimento;
- Diâmetro;
- Rugosidade.

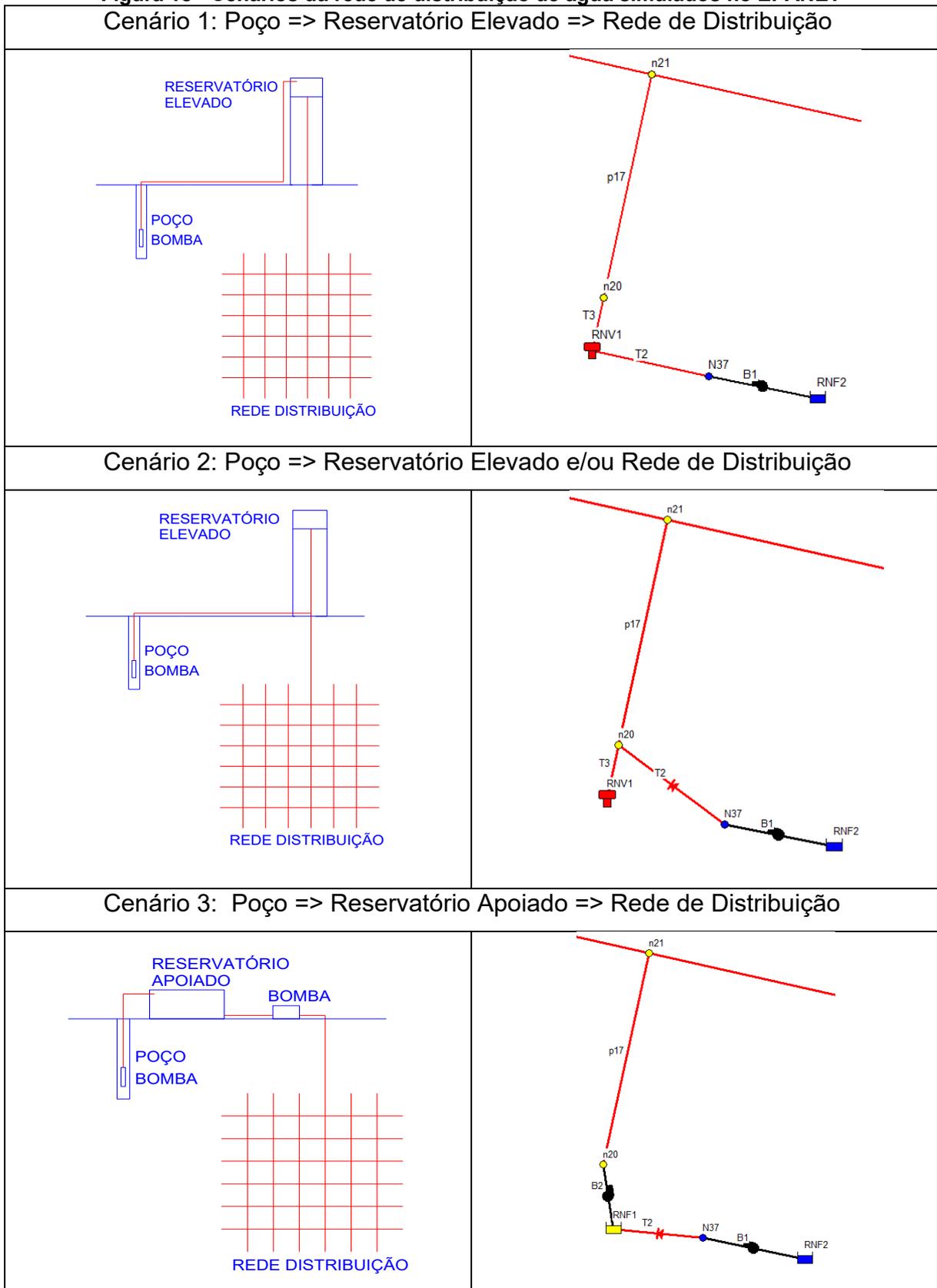
E nas bombas, foram inseridos:

- Padrões (de velocidade, de valor de energia elétrica);
- Curvas (de desempenho e de rendimento);
- Controles operacionais.

4.4.1.1 Simulação de cenários para a rede de abastecimento de água

Foram definidos três cenários (Figura 18), com configurações de operação distintas, a serem simulados e analisados. O objetivo foi avaliar parâmetros operacionais e energéticos, visando reduzir custos e perdas, otimizar o sistema e adequar os parâmetros aos estabelecidos pela norma NBR 12.218/2017.

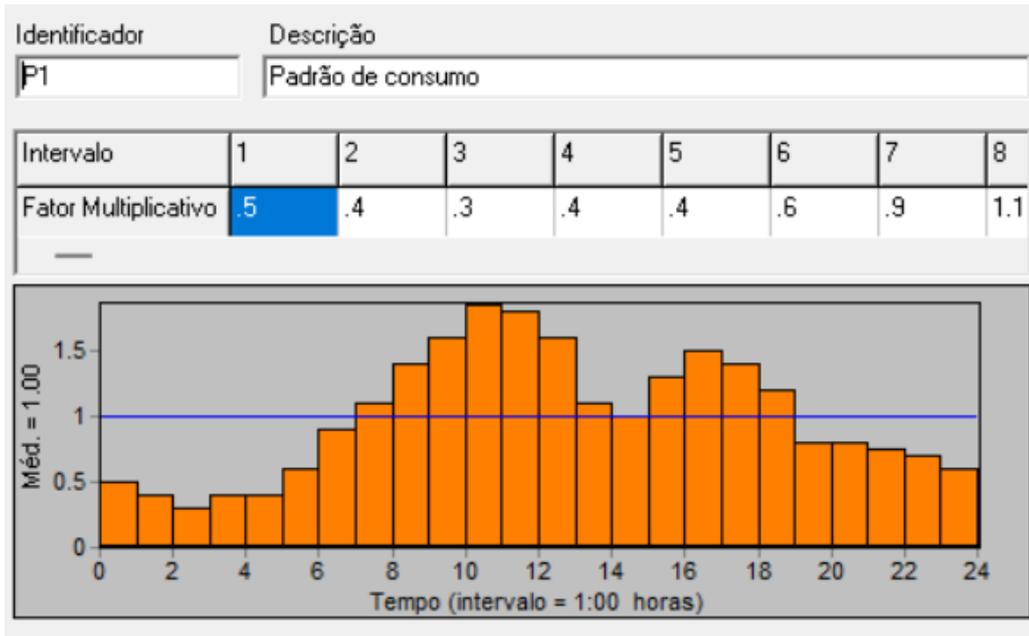
Figura 18 - Cenários da rede de distribuição de água simulados no EPANET
Cenário 1: Poço => Reservatório Elevado => Rede de Distribuição



Fonte: Autoria própria

Para os três cenários foi adotado o padrão de consumo horário apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Padrão de consumo



Fonte: Autoria própria (2024)

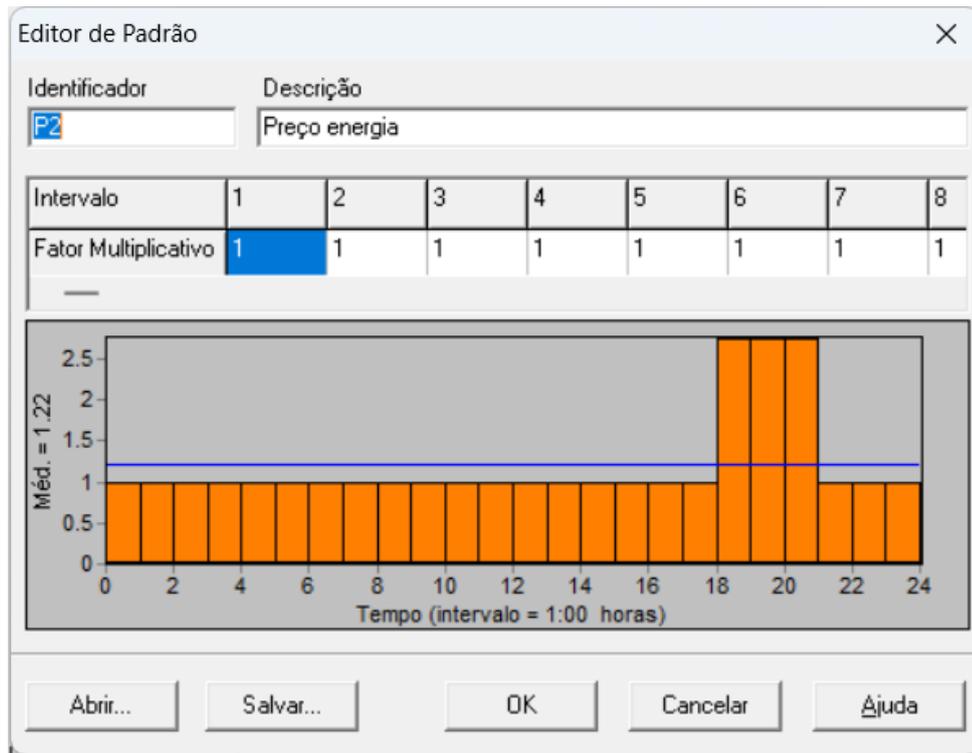
A partir dos valores da tarifa de energia para uso comercial em outubro de 2024 (Tabela 3), foi adotado um padrão de preço de energia elétrica apresentado na Figura 20.

Tabela 3 - Valores de tarifa de energia em outubro de 2024

Horário	Tarifa (R\$/kWh)
Fora de ponta	0,70997
Ponta (18h – 21h)	1,95313

Fonte: COPEL (2024)

Figura 20 - Padrão de preço de energia



Fonte: Autoria própria (2024)

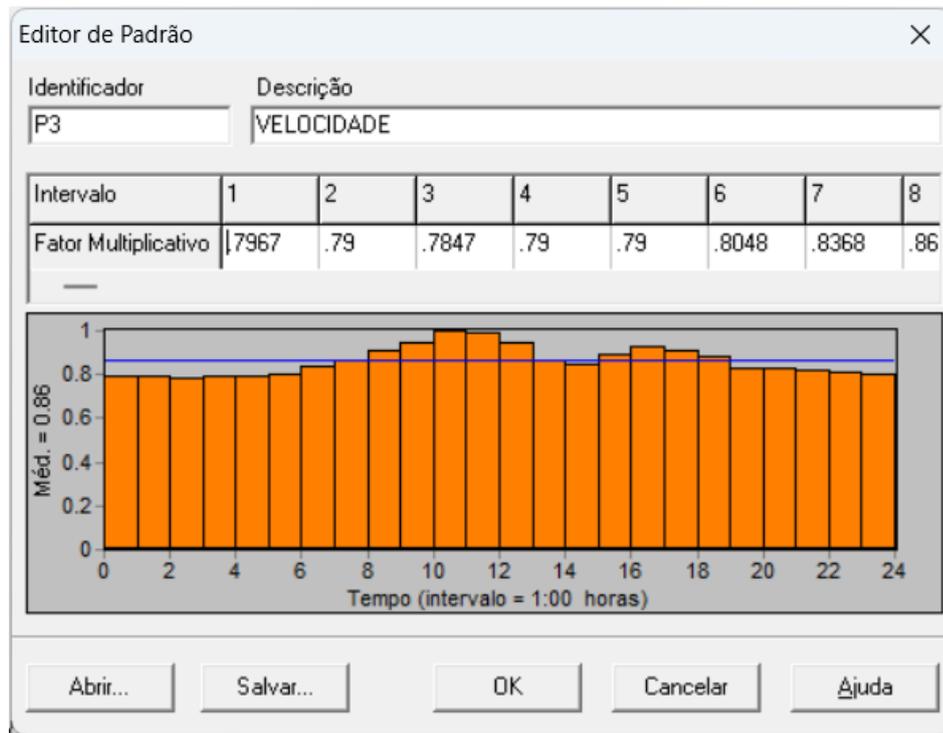
Os três cenários diferem entre si em relação as características do sistema de bombeamento de água na rede, da seguinte forma:

- O cenário 1 é a simulação da rede nas configurações em que o sistema opera atualmente no distrito, caracterizada pelo bombeamento de água do poço para o reservatório elevado e injeção de água na rede por meio de escoamento por gravidade.

- O cenário 2 simula o comportamento hidráulico na rede de distribuição de água com injeção de água do poço tubular diretamente na rede e utilização do reservatório como componente auxiliar do sistema. No EPANET, essa configuração se difere da primeira pelo ligamento da bomba do poço diretamente em um nó da rede.

- Já o cenário 3 simula a utilização de um inversor de frequência no conjunto motobomba, de forma que o bombeamento de água para a rede se ajuste, automaticamente, às necessidades de consumo. A simulação do inversor de frequência no software foi feita a partir da inserção de uma bomba na saída de um reservatório apoiado e a associação de um padrão de velocidade proporcional ao padrão de consumo da rede (Figura 21).

Figura 21 - Padrão de velocidade

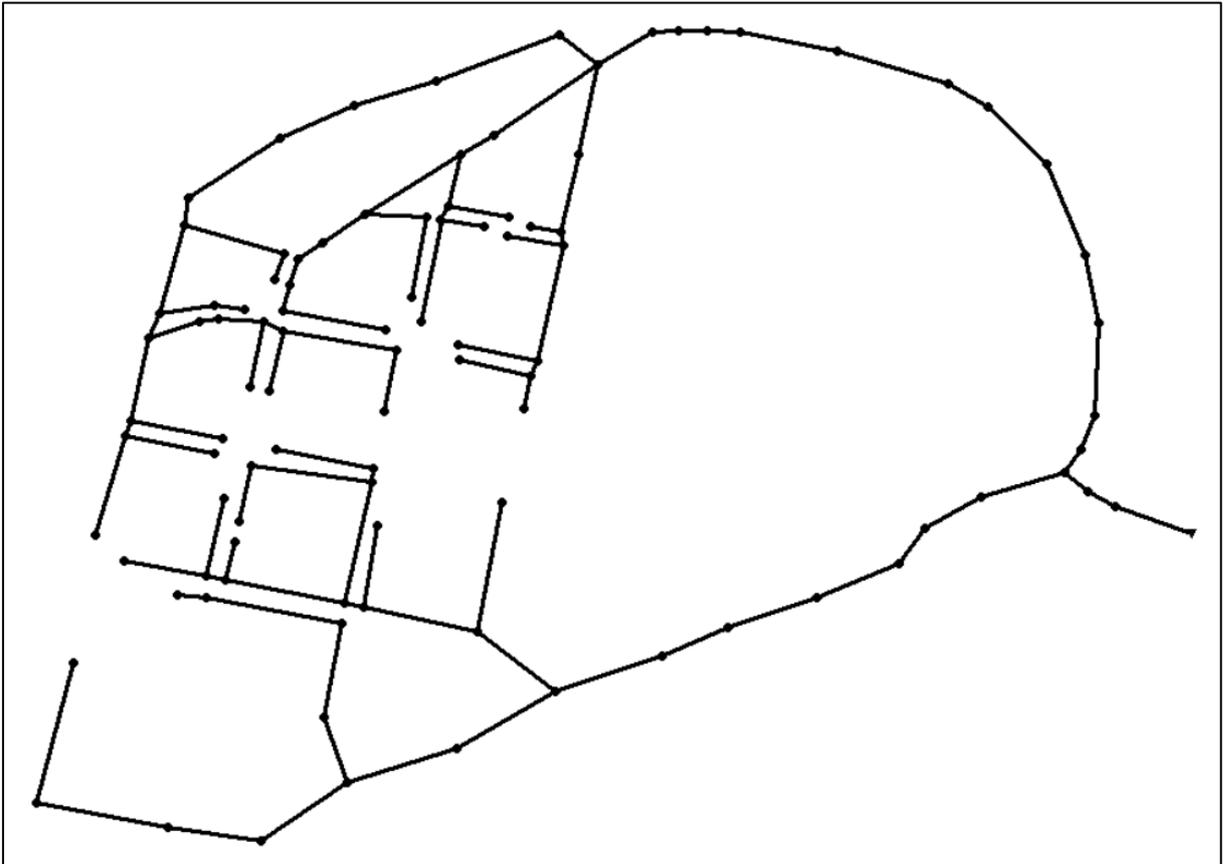


Fonte: Autoria própria (2024)

4.4.2 Rede coletora de esgoto sanitário

A modelagem da rede coletora de esgoto sanitário foi realizada com o software SWMM 5.1.012, em sua versão adaptada para simular os parâmetros tensão trativa, velocidade crítica e lâmina líquida (Y/D). Diferente da modelagem do sistema de distribuição de água, não foi possível converter a base da rede gerada no AutoCAD para um arquivo compatível com o software de simulação hidráulica de forma automática, portanto, a rede foi desenhada manualmente no SWMM, por meio de trechos e nós (Figura 22).

Figura 22 - Desenho da rede coletora de esgoto



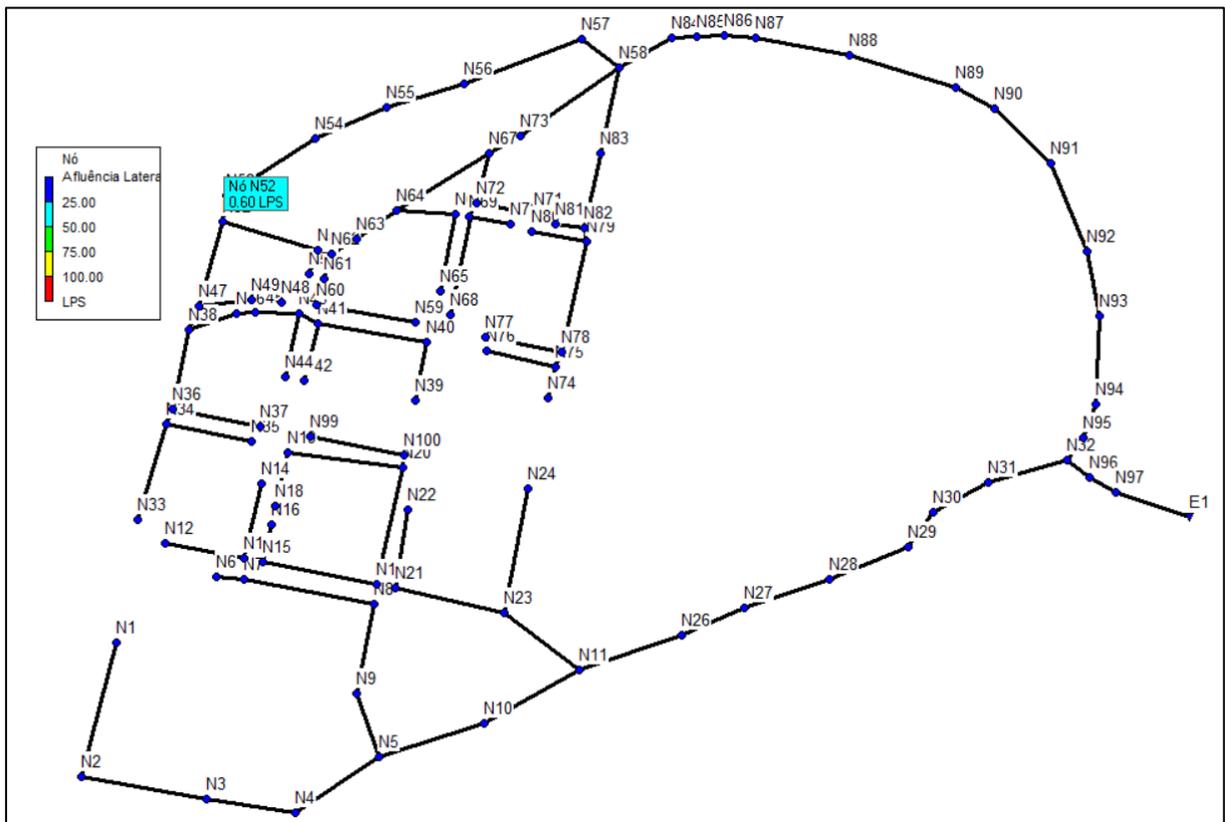
Fonte: Autoria própria (2024)

Para cada nó foram atribuídos os dados de cota de radier, profundidade máxima, afluência (vazão de esgoto média coletada na rede) e padrão temporal.

No nó n52 (Figura 23), o valor de afluência inserido é consideravelmente maior que o restante da rede devido à recepção de carga da rede de esgotamento sanitário da Vila Rural de Taquara do Reino, localizada à oeste do distrito. Todo o esgoto gerado na Vila Rural é injetado na rede do distrito e a carga total é destinada a mesma estação de tratamento.

A vazão da contribuição apenas do esgoto doméstico gerado nas casas da Vila Rural (cenário 1) foi igual a 0,995 L/s e 3,695 L/s no cenário 2 (esgoto doméstico + água de infiltração).

Figura 23 - Afluência nos nós com detalhe no nó n52



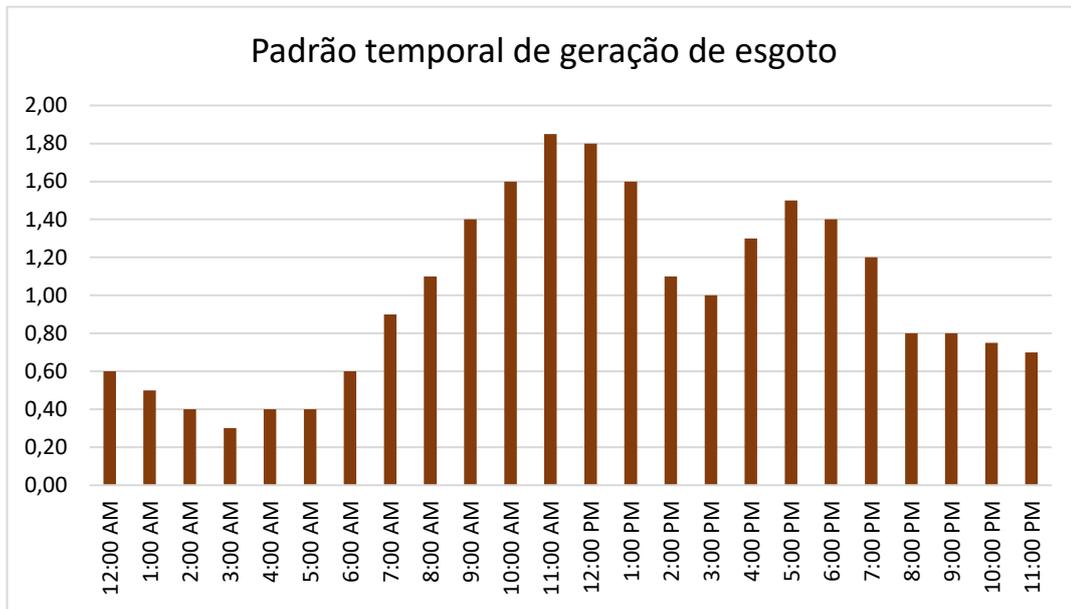
Fonte: Autoria própria (2024)

Nos trechos foram inseridos os dados de profundidade máxima, comprimento e número de Manning (rugosidade).

4.4.2.1 Simulação de cenários para a rede coletora de esgoto sanitário

A partir do desenho da rede coletora de esgoto no software SWMM, a rede foi analisada em dois diferentes cenários:

- **Cenário 1:** simulação do funcionamento da rede em tempo seco, considerando apenas as vazões de esgoto na rede. A simulação desse cenário foi realizada por meio de inserção de padrão temporal de geração de esgoto nos nós. O Gráfico 1 apresenta relação do padrão inserido.

Gráfico 1 - Padrão temporal de geração de esgoto em tempo seco

Fonte: Autoria própria (2024)

- **Cenário 2:** Simulação do comportamento da rede coletora em tempo chuvoso, considerando uma taxa de contribuição de infiltração igual a 1,0 L/s.km de rede coletora, conforme valor máximo sugerido pela NBR 9649/1986. Esse cenário foi modelado a partir da inserção da carga de infiltração nas vazões dos nós.

A Tabela 4 resume os valores adotados:

Tabela 4 - Valores adotados para simulação da rede de esgoto sanitário

Parâmetro	Cenário 1	Cenário 2
Vazão de esgoto (L/s)	1,58	1,58
Vazão de infiltração (L/s)	0	3,19
Taxa linear (L/s.m)	0,000496	0,001496
Comprimento rede (m) ⁽¹⁾	3189	3189

Fonte: Autoria própria (2024)

⁽¹⁾ Considerado o comprimento que recebe contribuições das casas. O comprimento total da rede, utilizado para o cálculo da vazão de infiltração foi de 4465 m.

No cenário 2, a vazão de esgoto em cada trecho foi calculada multiplicando-se a taxa linear (L/s.m) pelo comprimento do trecho (m).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

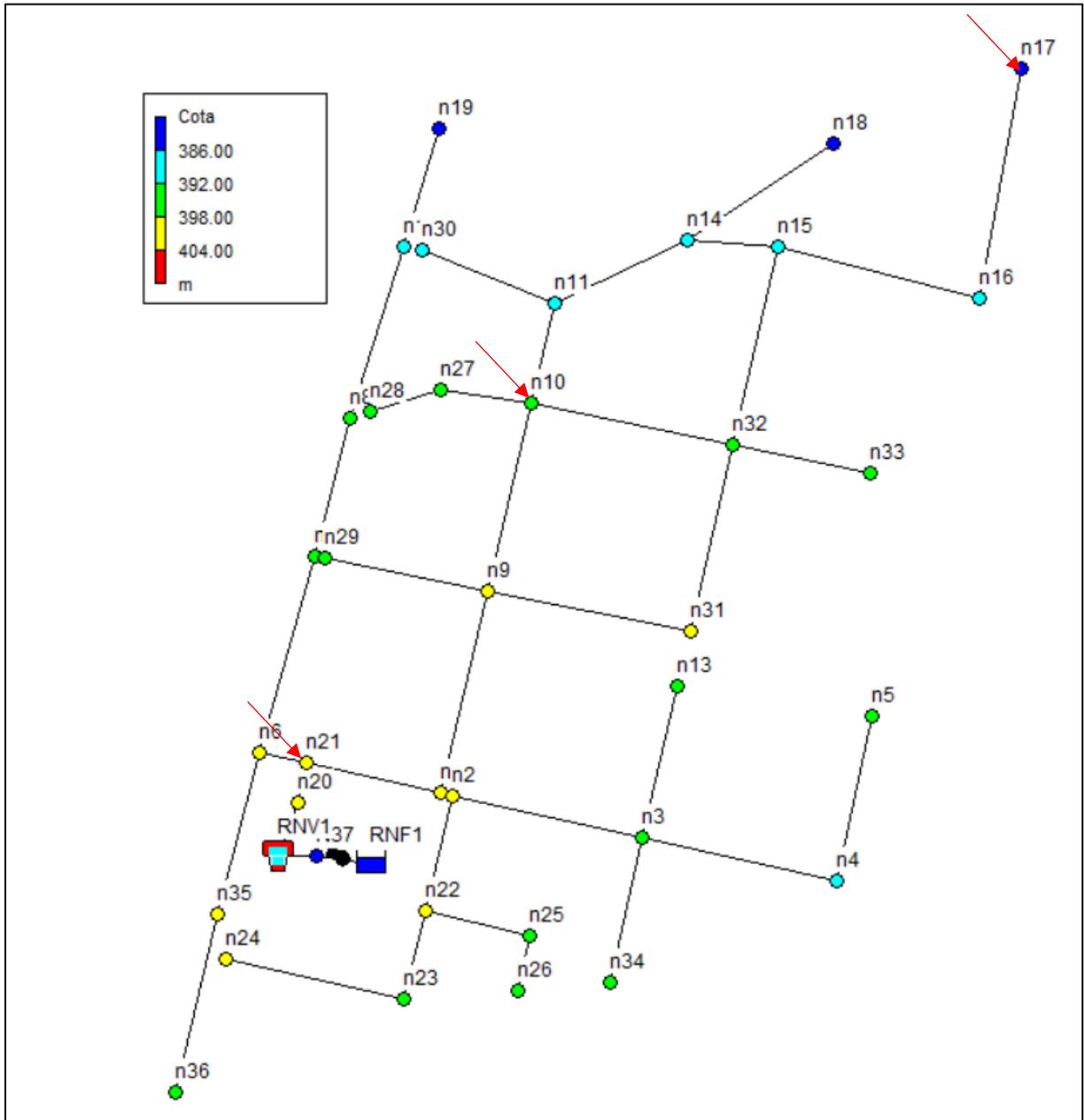
5.1 Rede de distribuição de água

Os três cenários simulados para a rede de distribuição de água do Distrito de Taquara do Reino foram analisados a partir dos parâmetros para pressão estabelecidos na norma NBR 12.218/2017 e eficiência energética.

5.1.1 Pressão na rede

A NBR 12.218/2017 estabelece que a pressão mínima para garantir que a água chegue aos setores de consumo com vazão adequada é de 10 mca, em qualquer ponto da rede. Já a pressão máxima recomendada nas tubulações é de 40 mca, para áreas com topografia não acidentada, que é o caso do Distrito (Figura 24).

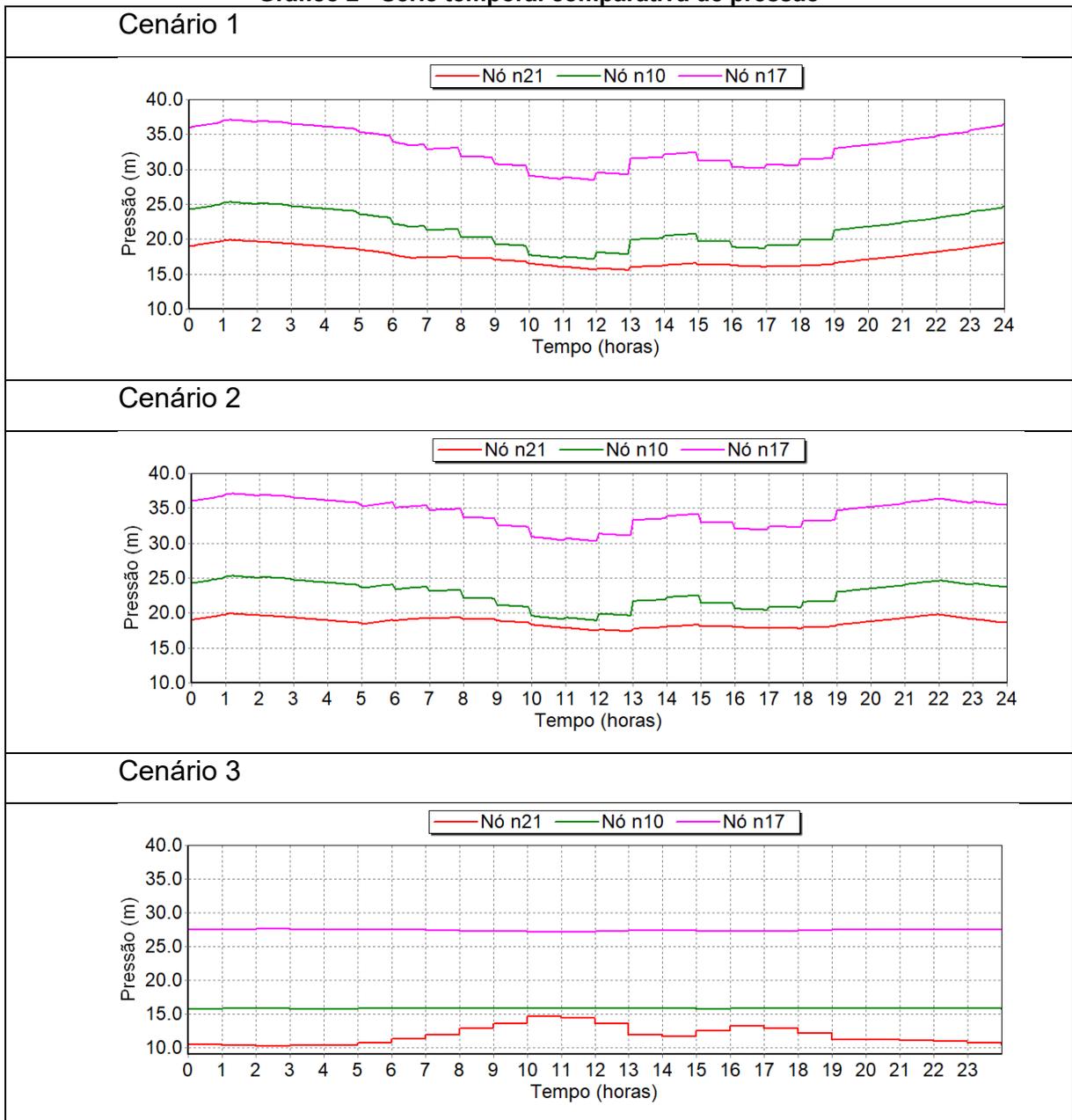
Figura 24 - Cotas na rede de distribuição



Fonte: Autoria própria (2024)

Como forma de estudar o comportamento das pressões na rede, foram analisados um nó em ponto de menor cota (n17), um em cota intermediária (n10) e um em cota elevada (n21). O gráfico foi gerado para os três cenários (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Série temporal comparativa de pressão



Fonte: Autoria própria (2024)

De maneira geral, pode-se observar pelo Gráfico 1 que, para todos os cenários, os três nós selecionados apresentam pressões dentro dos limites estabelecidos pela NBR 12.218/2017, assegurando o abastecimento de água sem intermitência e minimizando perdas reais de água.

Para os cenários 1 e 2, o nó n17 (ponto de menor cota da rede) apresenta pressões máximas próximas de 40 mca.

No cenário 3, o n21 apresenta pressões próximas do valor mínimo estabelecido pela norma, o que pode ser explicado pelas características de bombeamento desse cenário: o inversor de frequência atua ajustando a rotação do

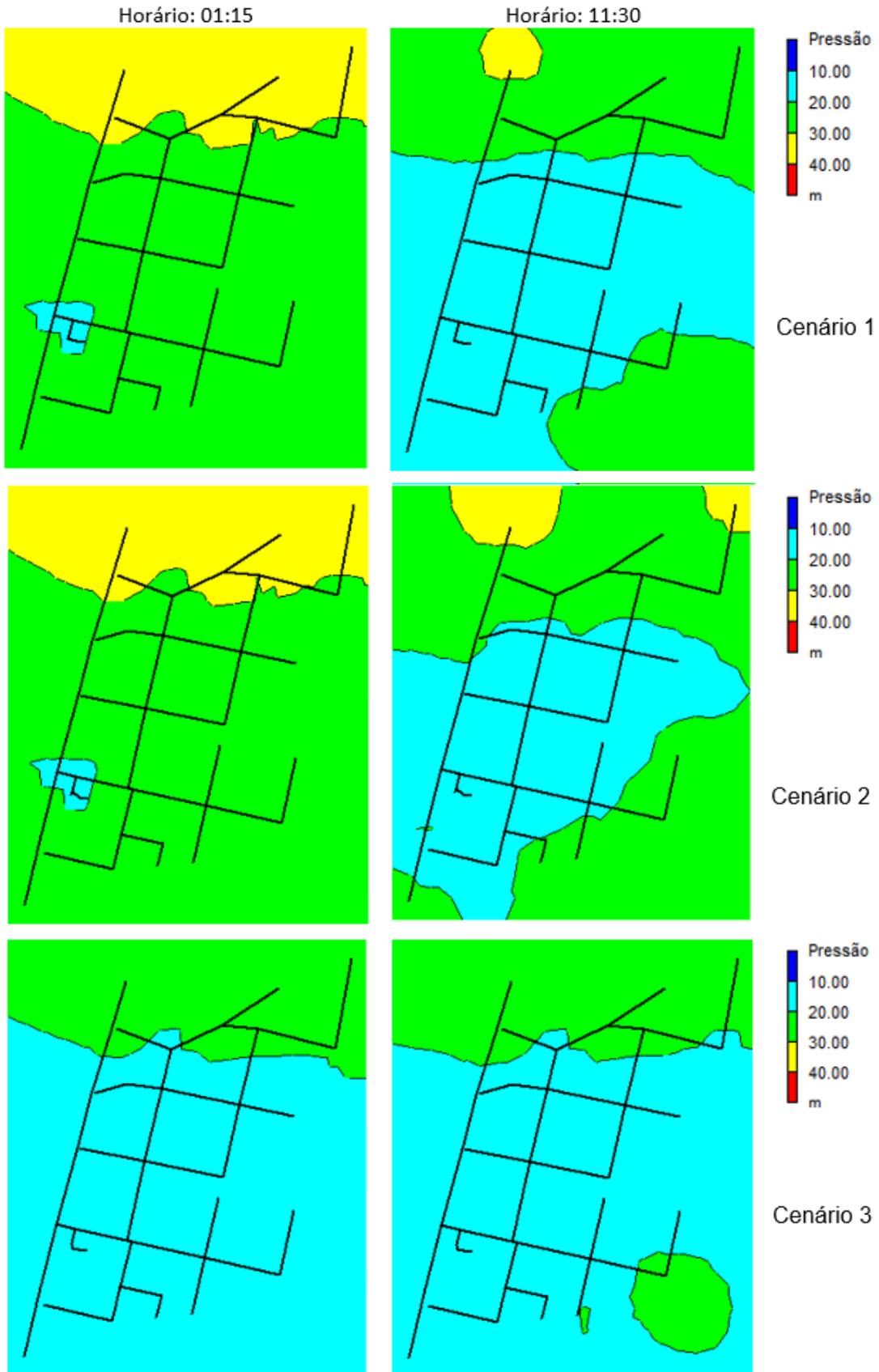
conjunto motobomba em função da demanda de água da rede de abastecimento, ou seja, modulando a pressão na rede (Gomes, 2019).

É possível observar também uma tendência para os horários de maior e menor pressão nos cenários 1 e 2. Como esperado, no horário de menor consumo (01h00) verifica-se maior pressão na rede e, ao contrário, no horário de maior consumo (11h30), menor pressão.

Já no cenário 3, como há uma modulação da pressão, o comportamento é inverso, uma vez que para abastecer os nós, nos horários de maior consumo, é necessária maior pressão, a fim de superar a perda de carga no transporte da água.

Adotando esses horários (1h15 e 11h30) como horários críticos, foram gerados, nos três cenários, gráficos de isolinhas de pressão para esses dois momentos do dia (Gráfico 3):

Gráfico 3 - Isolinhas de pressão

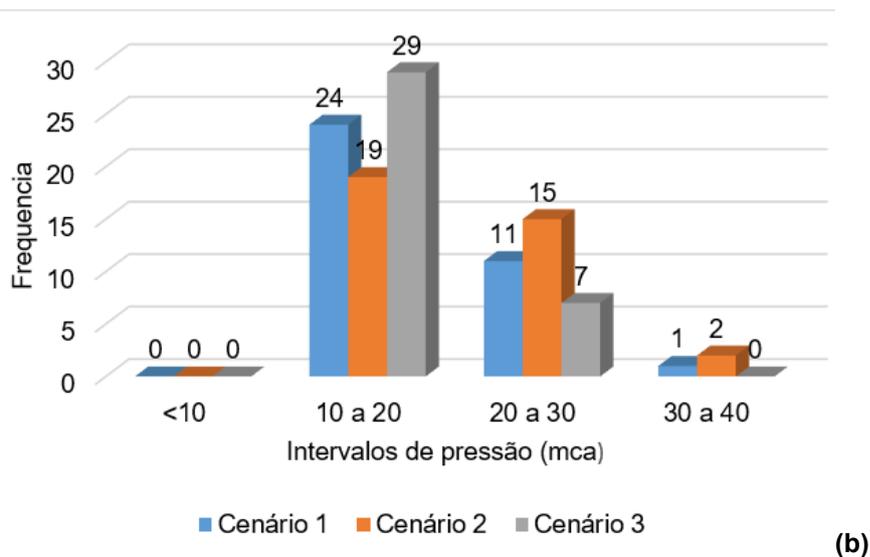
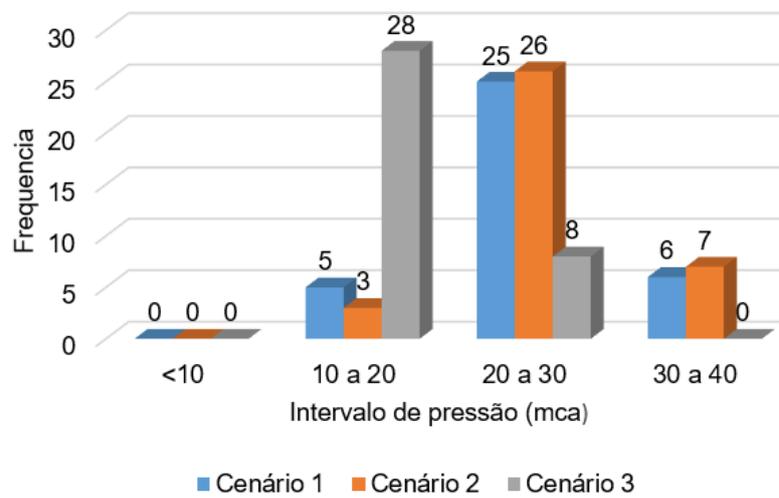


Fonte: Autoria própria (2024)

Nos cenários 1 e 2, se observa comportamento bastante similar nestes horários, uma vez que a pressão na rede é regulada pelo nível de água no reservatório elevado, enquanto que no cenário 3, a pressão varia proporcionalmente com a demanda de água.

No Gráfico 4, se observa os intervalos de pressão nos nós analisados. Se constata que no cenário 3, as pressões se mantêm mais constantes, com cerca de 80% dos valores no intervalo entre 10 mca e 20 mca, independente do período do dia.

Gráfico 4 - Número de Nós por intervalo de pressão às 01h30 (a) e 11h30 (b)



Fonte: Autoria própria (2024)

Gomes (2019) aponta que pressões elevadas na rede acarretam em aumento da possibilidade de rupturas em tubulações, de perdas reais de água e no custo energético de bombeamento. O mesmo autor destaca que o controle de pressão apresenta resultados mais satisfatórios quando se incorpora a redução de pressão e

a minimização de flutuações, e que, o aumento na probabilidade de ocorrência de rompimento em tubulações é maior quando se têm altas amplitudes de variação de pressão do que com valores altos.

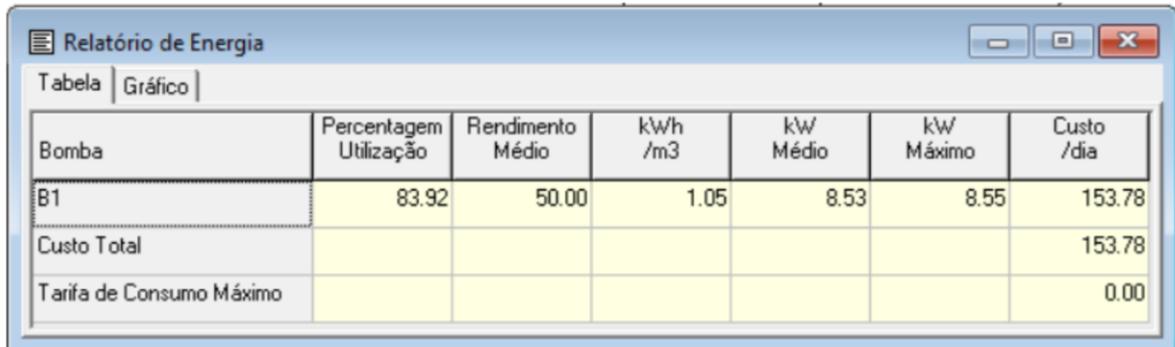
Pode-se inferir que a instalação do inversor de frequência no acionamento da bomba (cenário 3) apresenta vantagens operacionais por manter a pressão em valores predominantemente entre 10 mca e 20 mca, sem variações bruscas, o que pode minimizar perdas físicas de água e rompimentos das tubulações.

5.1.2 Eficiência energética

A eficiência energética dos três cenários simulados para a rede de distribuição de água do distrito foi avaliada por meio de relatórios de energia, gerados no software EPANET (Figura 25).

Figura 25 - Relatórios de energia

Cenário 1



Bomba	Porcentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m ³	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
B1	83.92	50.00	1.05	8.53	8.55	153.78
Custo Total						153.78
Tarifa de Consumo Máximo						0.00

Cenário 2



Bomba	Porcentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m ³	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
B1	77.53	50.00	1.05	9.31	9.32	157.73
Custo Total						157.73
Tarifa de Consumo Máximo						0.00

Cenário 3



Bomba	Porcentagem Utilização	Rendimento Médio	kWh /m ³	kW Médio	kW Máximo	Custo /dia
B1	77.50	50.00	0.95	7.62	7.62	100.67
B2	100.00	60.00	0.05	0.34	0.70	6.98
Custo Total						107.65
Tarifa de Consumo Máximo						0.00

Fonte: Autoria própria (2024)

Os relatórios de energia gerados para os três cenários mostram que as bombas operaram por pelo menos 77,50% do tempo de um dia (18 horas e 36 minutos), a depender das demandas do cenário, com rendimento em torno de 50%.

Já o consumo específico de energia, ultrapassou a média para a macrorregião sul de 0,69 kWh/m³ (SNIS, 2022), em todos os três cenários. Isso se deve, principalmente, pelas características do poço tubular do Distrito, que possui grande

profundidade (nível dinâmico) e faz com que o sistema demande grande quantidade de energia para realizar o recalque de água para a rede em vazões adequadas.

Comparando os cenários, o cenário 2 não representa uma alternativa economicamente viável ao funcionamento atual da rede. Já o cenário 3, que simula a utilização de inversor de frequência no bombeamento, se mostra o mais eficiente, apresentando um custo de operação de R\$ 107,65 por dia, sendo 30% e 31,74% mais econômico do que os cenários 1 e 2, respectivamente.

5.2 Rede coletora de esgoto sanitário

Os dois cenários simulados (tempo seco e tempo chuvoso) para a rede coletora de esgoto foram analisados a partir dos parâmetros lâmina líquida (Y/D), velocidade crítica e tensão trativa e verificados quanto ao atendimento aos requisitos de projeto previstos na NBR 9.649/1986.

5.2.1 Velocidade crítica

A NBR 9.649/1986 estabelece que, nas tubulações em que a velocidade final do esgoto ultrapassar os valores da velocidade crítica, o limite máximo de lâmina líquida (Y/D) admitido é de 50%. Recomenda ainda, que a velocidade máxima seja inferior a 5 m/s.

Na Figura 26 são apresentados os valores de 10 trechos onde as velocidades nas tubulações são máximas no cenário 1 (tempo seco).

Figura 26 - Trechos da rede com velocidade máxima no cenário 1

Link	Type	Maximum [Flow] LPS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum [Velocity] m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
p96	CONDUIT	4.76	0	12:02	1.32	0.15	0.26
p97	CONDUIT	4.76	0	12:02	1.28	0.14	0.26
p98	CONDUIT	4.76	0	12:03	1.21	0.16	0.27
p50	CONDUIT	2.51	0	12:00	1.02	0.09	0.20
p51	CONDUIT	2.52	0	12:00	0.95	0.07	0.21
p83	CONDUIT	3.43	0	12:00	0.93	0.14	0.26
p95	CONDUIT	3.43	0	12:04	0.92	0.15	0.26
p84	CONDUIT	3.43	0	12:00	0.88	0.16	0.27
p20	CONDUIT	0.58	0	12:00	0.84	0.01	0.08
p54	CONDUIT	2.52	0	12:00	0.83	0.11	0.23

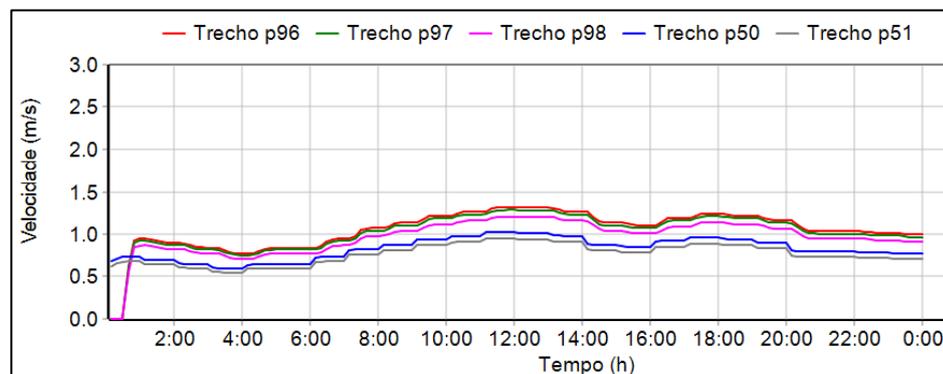
Fonte: Autoria própria, SWMM (2024)

Pode-se observar, na Figura 26 que as velocidades são inferiores a máxima de 5,0 m/s, recomendada pela norma NBR 9.649/1986.

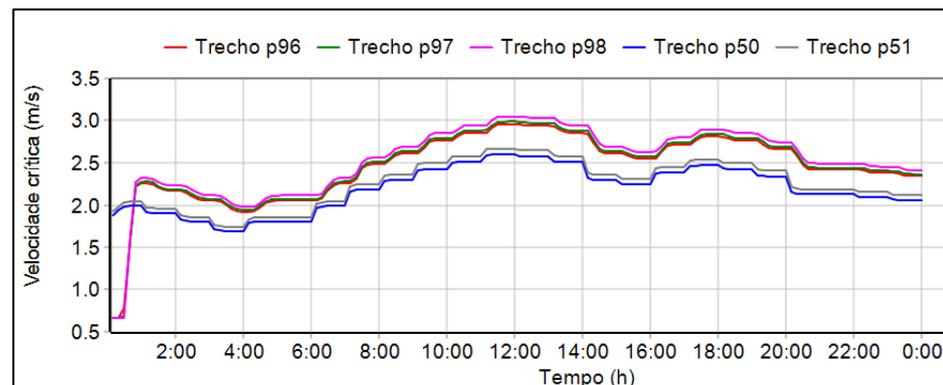
Nos cinco trechos com maiores velocidades, foram traçados perfis temporais das velocidades e velocidades críticas (Figura 27).

Figura 27 - Perfil temporal da velocidade (a) e velocidade crítica (b) em 5 trechos no cenário 1

(a)



(b)

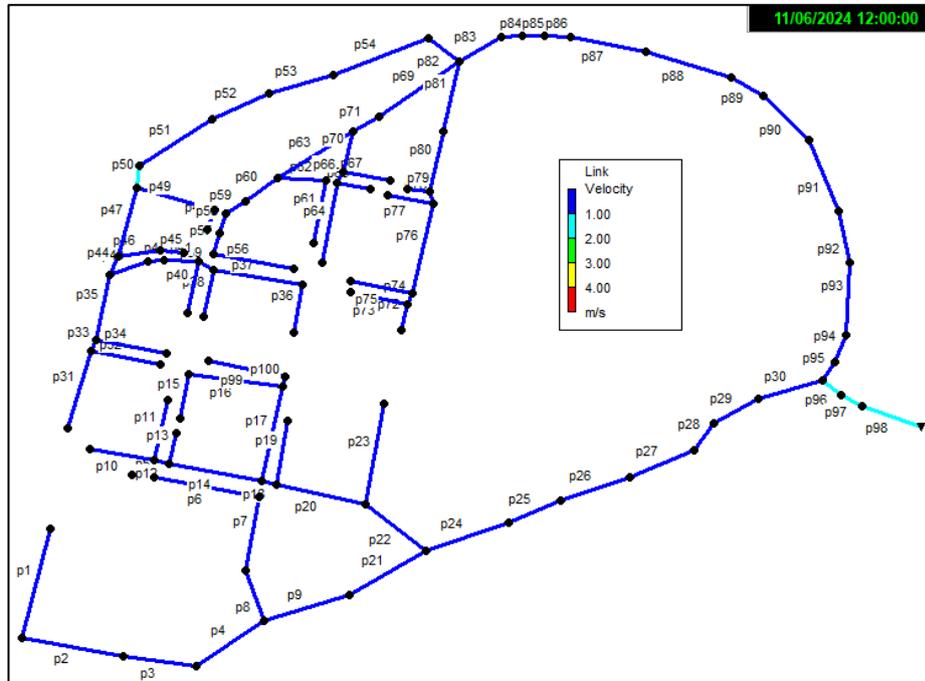


Fonte: Autoria própria (2024)

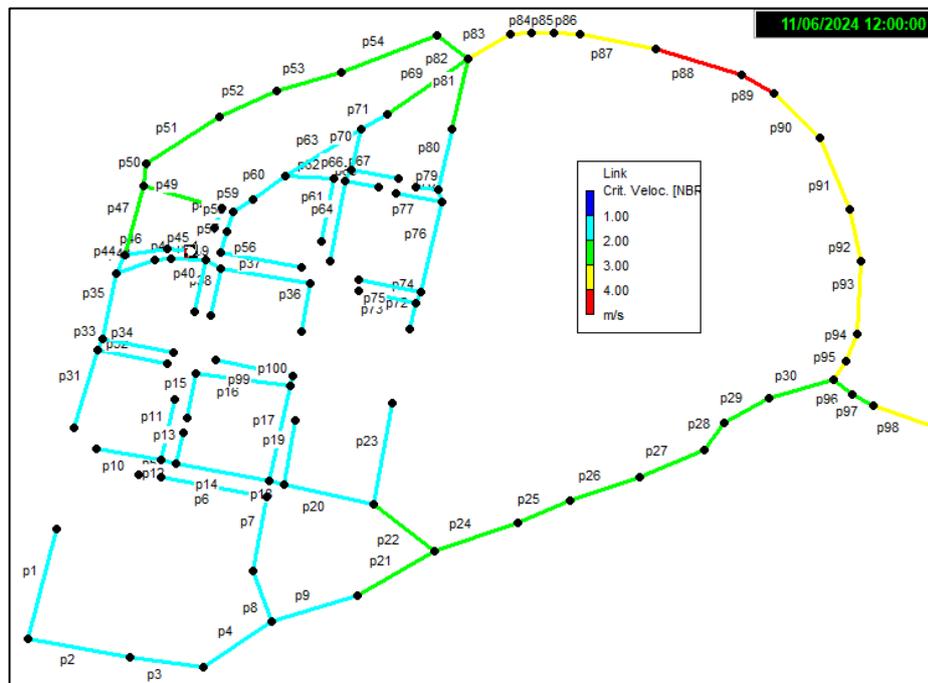
A Figura 27 revela que, para os trechos analisados, a velocidade observada permanece inferior a 1,5 m/s, enquanto a velocidade crítica é superior a este valor.

Nos perfis temporais, se observa que os máximos valores ocorrem entre às 11h30 e 12h00. Assim, foram geradas imagens comparativas das velocidades no horário do meio dia (Figura 28).

Figura 28 - Comparativo entre velocidade (a) e velocidade crítica (b) às 12h em tempo seco
(a)



(b)



Fonte: Autoria própria (2024)

Na Figura 28 se observa que as velocidades críticas são superiores a 1,0 m/s em todos os trechos, as velocidades nas tubulações, em geral, são inferiores a este valor, exceto nos trechos p96, p97 e p98, como já visto na Figura 27.

Para o cenário 2 (tempo chuvoso) foram gerados resultados para os mesmos parâmetros.

Os valores de velocidade no cenário 2, simulando a infiltração de água das chuvas na rede, podem ser vistos na Figura 29.

Figura 29 - Trechos da rede com velocidade máxima no cenário 2

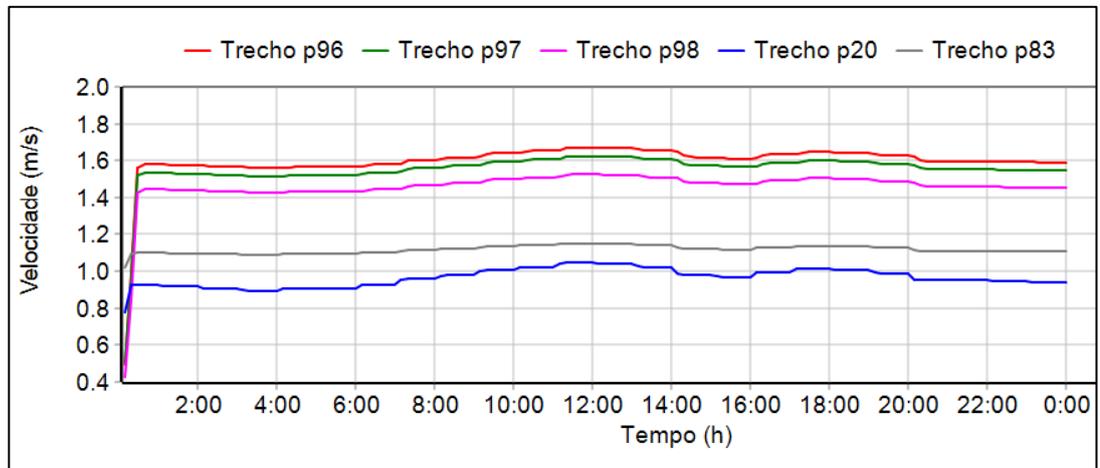
Link	Type	Maximum [Flow] LPS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum [Velocity] m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
p96	CONDUIT	10.98	0	12:01	1.67	0.35	0.40
p97	CONDUIT	11.00	0	12:01	1.62	0.32	0.41
p98	CONDUIT	11.02	0	12:01	1.52	0.38	0.43
p51	CONDUIT	5.20	0	12:00	1.41	0.15	0.30
p50	CONDUIT	5.11	0	12:00	1.25	0.19	0.28
p95	CONDUIT	7.85	0	12:02	1.16	0.35	0.41
p83	CONDUIT	7.40	0	12:00	1.15	0.30	0.39
p84	CONDUIT	7.42	0	12:00	1.09	0.35	0.41
p54	CONDUIT	5.39	0	12:00	1.05	0.23	0.34
p20	CONDUIT	1.21	0	12:00	1.04	0.03	0.12

Fonte: Autoria própria (2024)

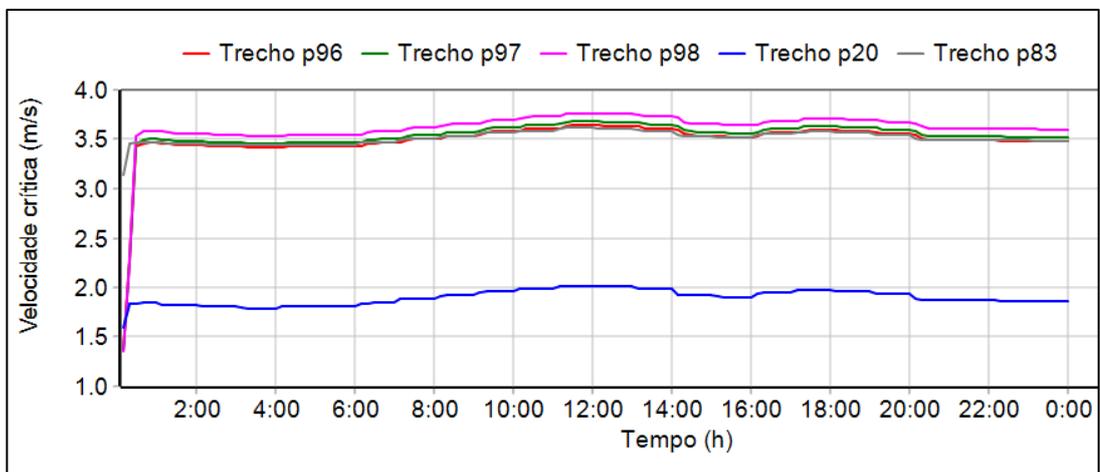
Conforme a Figura 29 as velocidades ainda se mantêm abaixo de 5,0 m/s.

Os perfis temporais nos cinco trechos com maiores velocidades nas tubulações foram comparados com os valores das velocidades críticas (Figura 30).

Figura 30 - Perfil temporal da velocidade (a) e velocidade crítica (b) em 5 trechos no cenário 2 (a)



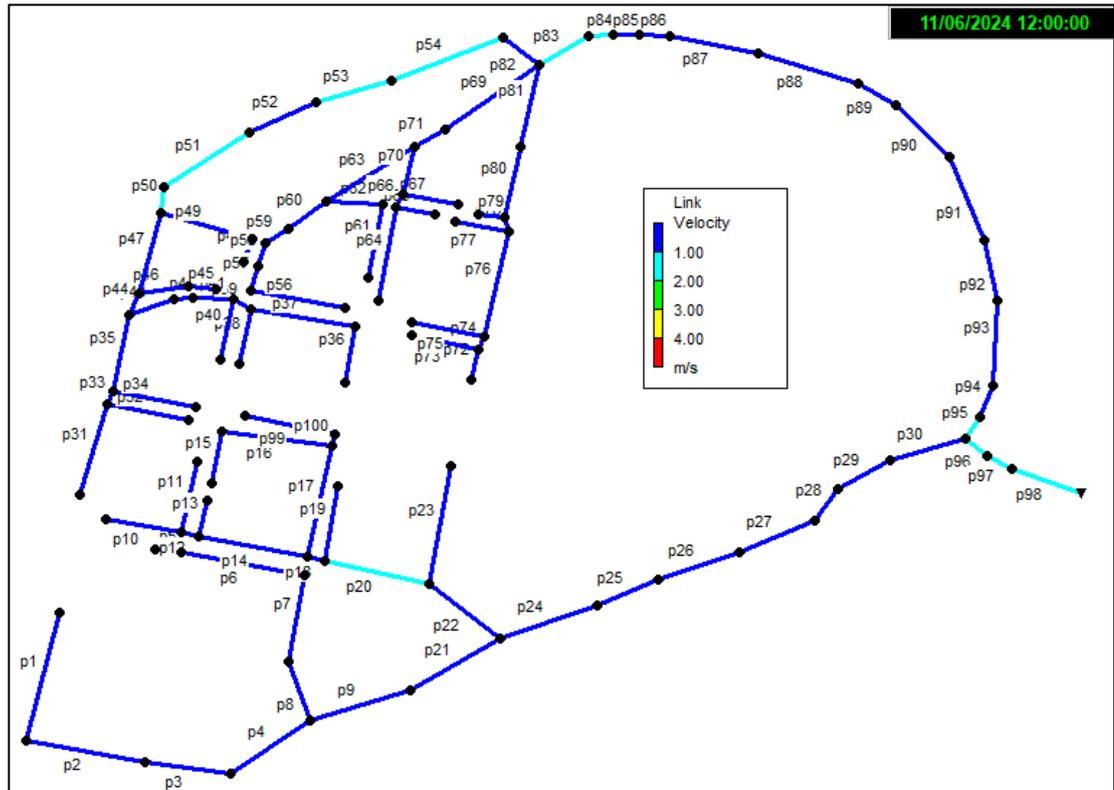
(b)



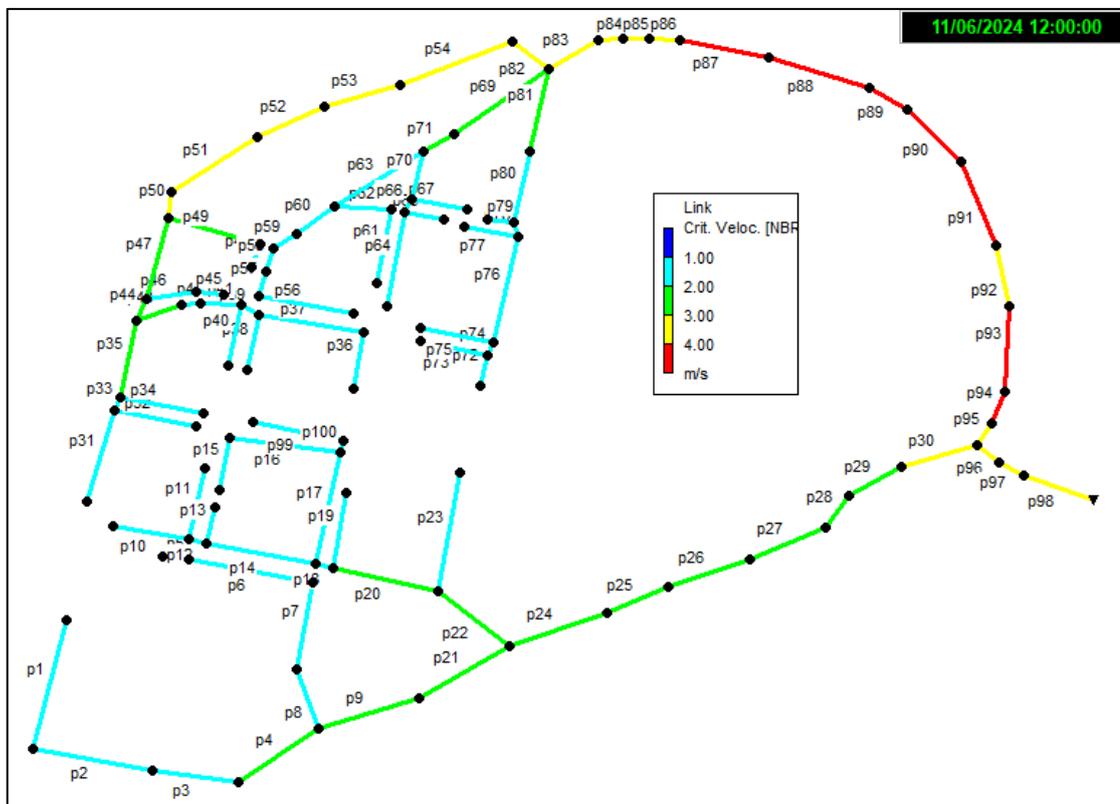
Fonte: Autoria própria (2024)

No intervalo com máxima velocidade, foram geradas figuras comparativas da velocidade e velocidade crítica (Figura 31)

Figura 31 - Comparativo entre velocidade (a) e velocidade crítica (b) às 12h em tempo chuvoso (a)



(b)



Fonte: Autoria própria (2024)

Observa-se nas Figuras 26 a 31 que, tanto em tempo seco quanto em tempo chuvoso as velocidades finais nas tubulações não ultrapassam a velocidade crítica

nos horários analisados, garantindo assim, que não ocorra zonas de alta turbulência na rede. Dessa forma, a norma NBR 9.649/1986 estipula que os valores da relação Y/D (lâmina líquida) podem chegar até 0.75.

5.2.2 Altura líquida (Y/D)

Com base nas determinações da NBR 9.649/1986, foi calculado que o valor máximo da altura de esgoto nas tubulações da rede coletora do distrito de Taquara do Reino deve ser igual ou menor do que 0,1125 m ($Y=0,75 D$), considerando as tubulações com diâmetro interno de 150 mm. Os valores máximos de Y/D, podem ser vistos na Figura 32.

Figura 32 - Valores máximos da altura de água (Y/D) em 10 trechos da rede no cenário 1.

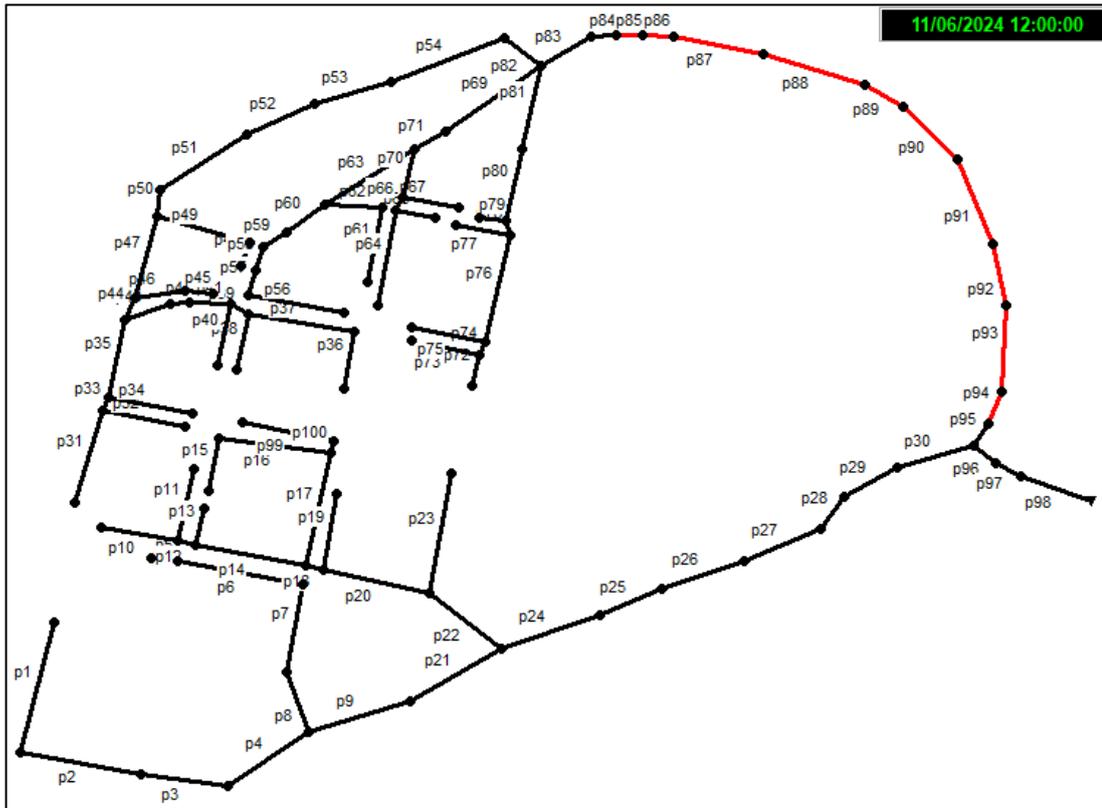
Link	Type	Maximum [Flow] LPS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum [Velocity] m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
p88	CONDUIT	3.43	0	12:00	0.46	0.28	0.50
p89	CONDUIT	3.43	0	12:01	0.41	0.71	0.48
p90	CONDUIT	3.43	0	12:01	0.53	0.24	0.39
p93	CONDUIT	3.43	0	12:03	0.57	0.24	0.37
p91	CONDUIT	3.43	0	12:02	0.62	0.38	0.35
p94	CONDUIT	3.43	0	12:03	0.65	0.35	0.34
p87	CONDUIT	3.43	0	12:00	0.70	0.18	0.32
p86	CONDUIT	3.43	0	12:00	0.76	0.22	0.30
p85	CONDUIT	3.43	0	12:00	0.78	0.16	0.30
p92	CONDUIT	3.43	0	12:02	0.80	0.14	0.29

Fonte: Autoria própria (2024)

Fica claro na Figura 32, que as alturas da água nos tubos foram inferiores a 50% em todos os trechos, atendendo os requisitos da NBR 9.649/1986. Com isso se garante que as canalizações funcionam com escoamento livre.

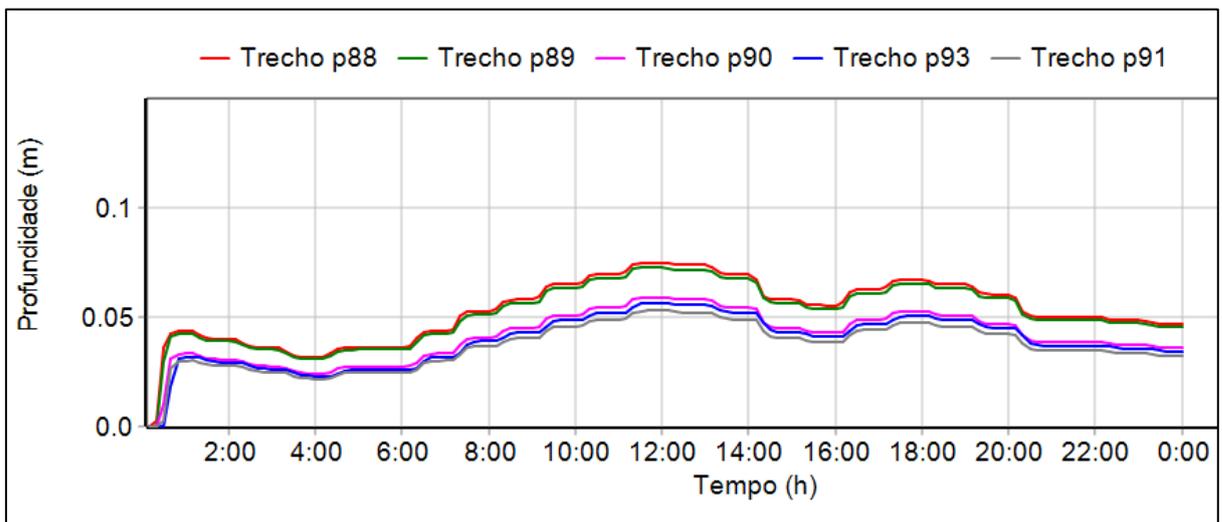
A Figura 33 destaca os trechos com Y/D listados na Figura 32 e a Figura 34 a altura da água nos 5 trechos com valores mais elevados.

Figura 33 - Trechos com valores de Y/D maiores que 0,29 no cenário 1.



Fonte: Autoria própria (2024)

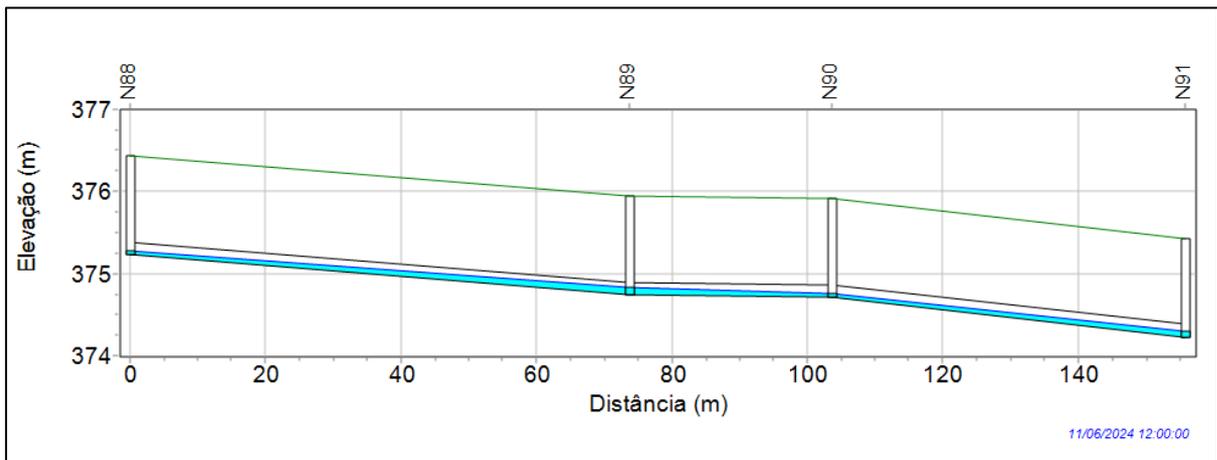
Figura 34 - Perfil temporal da altura de água (y) em 5 trechos no cenário 1



Fonte: Autoria própria (2024)

O perfil longitudinal da rede coletora, nos trechos p88, p89 e p90, entre os poços de visita N88 e N91 é apresentado na Figura 35.

Figura 35 - Perfil longitudinal do trecho p88, p89 e p90 no cenário 1



Fonte: Autoria própria (2024)

No cenário 2, quando são adicionadas as contribuições das águas pluviais, os valores de Y/D excedem 0,75 nos trechos p88 e p 89 (Figura 36).

Figura 36 - Valores máximos da altura de água (Y/D) em 10 trechos da rede no cenário 2.

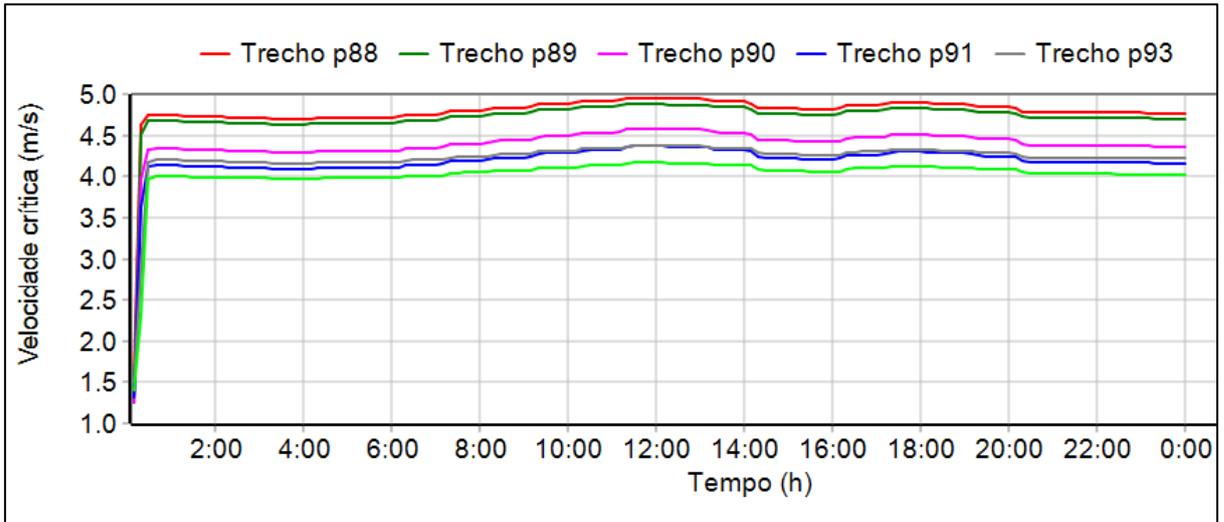
Link	Type	Maximum [Flow] LPS	Day of Maximum Flow	Hour of Maximum Flow	Maximum [Velocity] m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
p88	CONDUIT	7.59	0	12:00	0.67	0.61	0.78
p89	CONDUIT	7.60	0	12:00	0.53	1.58	0.76
p90	CONDUIT	7.63	0	12:00	0.74	0.52	0.66
p91	CONDUIT	7.68	0	12:01	0.71	0.86	0.59
p93	CONDUIT	7.79	0	12:01	0.71	0.55	0.59
p94	CONDUIT	7.84	0	12:02	0.82	0.80	0.53
p87	CONDUIT	7.53	0	12:00	0.96	0.39	0.50
p86	CONDUIT	7.46	0	12:00	0.94	0.47	0.46
p92	CONDUIT	7.75	0	12:01	0.99	0.31	0.45
p85	CONDUIT	7.44	0	12:00	0.97	0.35	0.45

Fonte: Autoria própria (2024)

Estes trechos, p88 e p89, embora não estejam localizados na área urbana, podem ter maior potencial de extravasamento em dias de chuvas, sendo considerados pontos prioritários de inspeção e monitoramento.

Comparando-se os valores das velocidades da Figura 36, se constata que as velocidades críticas (Figura 37) são sempre superiores, indicando que o valor de y/D é mantido em 0,75.

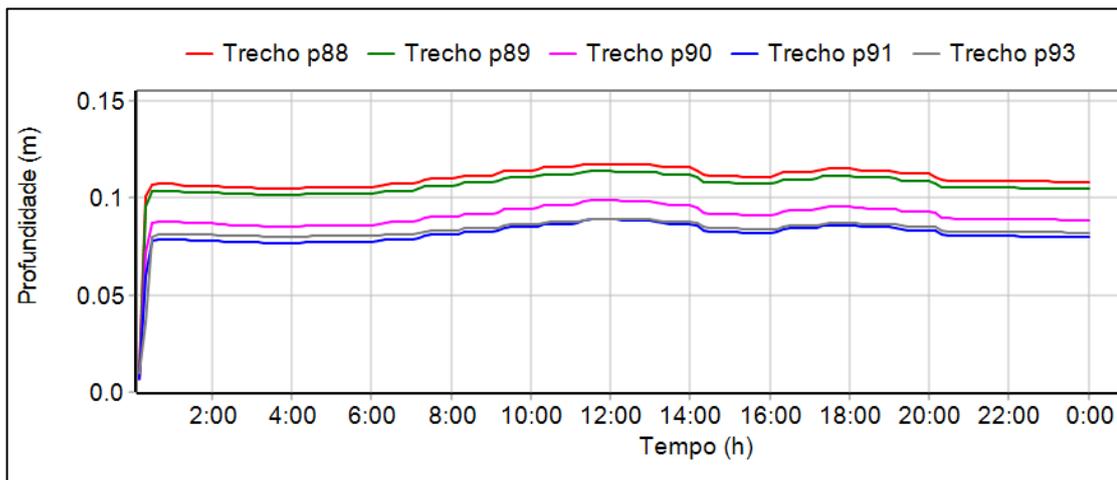
Figura 37 - Perfis temporais das velocidades críticas nos 5 trechos com valores mais elevados de y/D no cenário 2.



Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 38 ilustra os valores da profundidade da água nos 5 trechos com maior y/D .

Figura 38 - Valor temporal da profundidade da água em 5 trechos no cenário 2

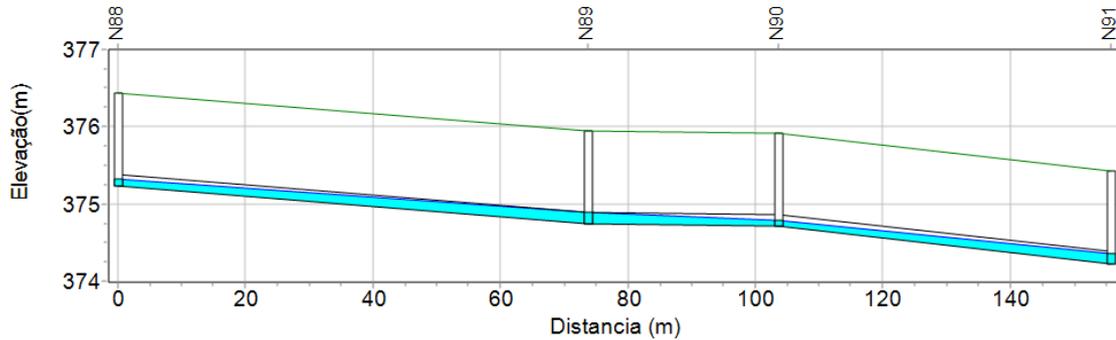


Fonte: Autoria própria (2024)

Pode-se constatar que em todo o período, nos trechos p88 e p89 a profundidade ultrapassa 0,1 m ($Y/D > 0,67$) com períodos do dia que a profundidade ultrapassa 0,11 m ($Y/D > 0,75$).

A Figura 39 ilustra o perfil longitudinal da rede coletora, nos trechos p88, p89 e p90, entre os poços de visita N88 e N91.

Figura 39 - Perfil longitudinal do trecho p88, p89 e p90 no cenário 1



11/06/2024 12:00:00

Fonte: Autoria própria (2024)

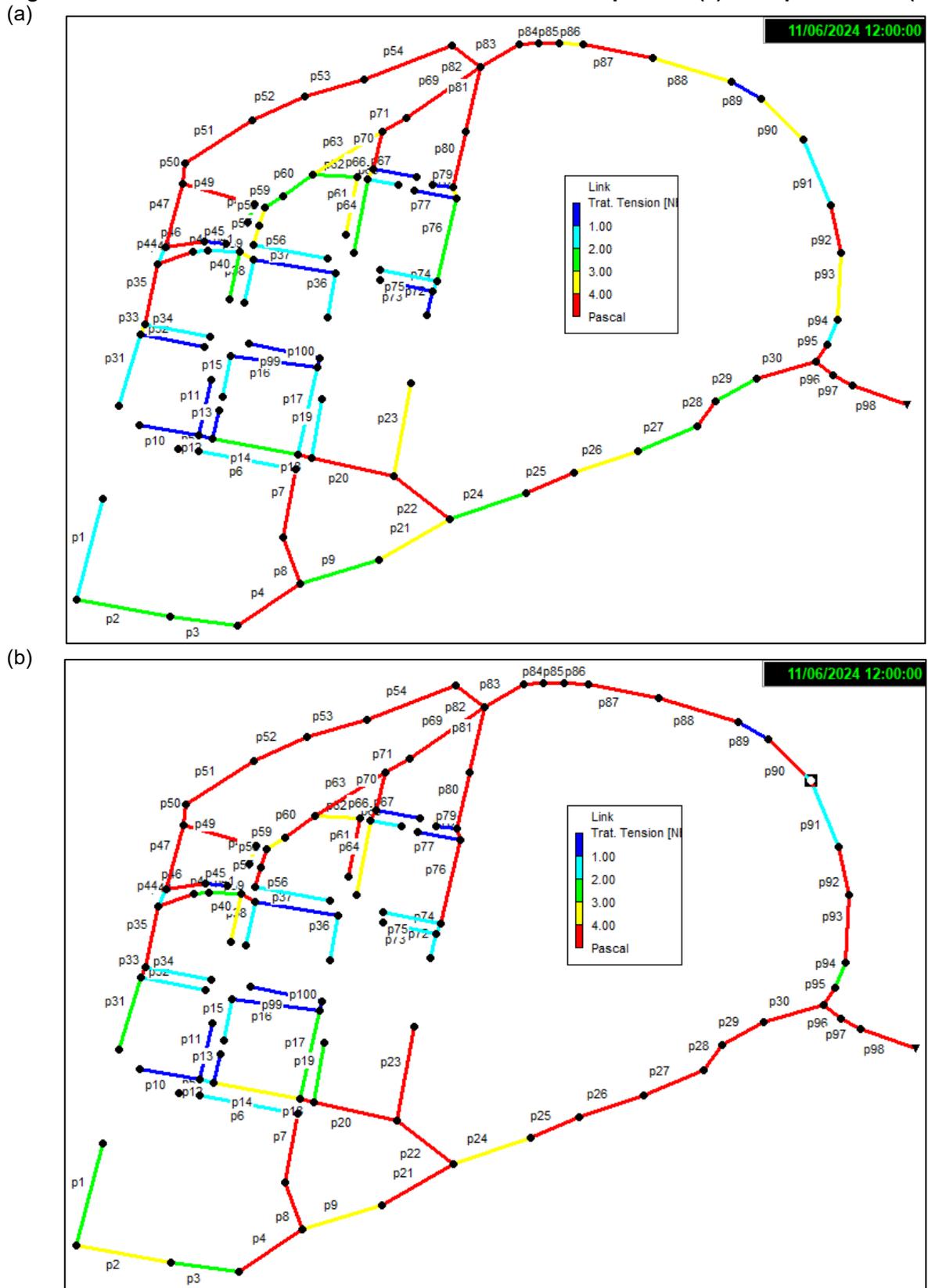
A NBR 9.649/1986 não prevê um valor mínimo para lâmina líquida, uma vez que, se atendidos os critérios de tensão trativa, haverá autolimpeza da tubulação independente da altura de esgoto (Sobrinho; Tsutiya, 1999).

5.2.3 Tensão trativa

A NBR 9.649/1986 determina que os trechos de uma rede coletora devem apresentar um valor de tensão trativa mínima de 1 Pa, ou seja, que esse valor mínimo seja atingido pelo menos uma vez ao dia em todos os trechos.

Para verificar se o funcionamento da rede coletora do distrito atende a esse critério, foram gerados, no SWMM, resultados de tensão trativa para o horário de maior vazão de esgoto na rede. Esses resultados são apresentados na Figura 40, para os dois cenários analisados.

Figura 40 – Tensão trativa no horário de maior vazão em tempo seco (a) e tempo chuvoso (b)



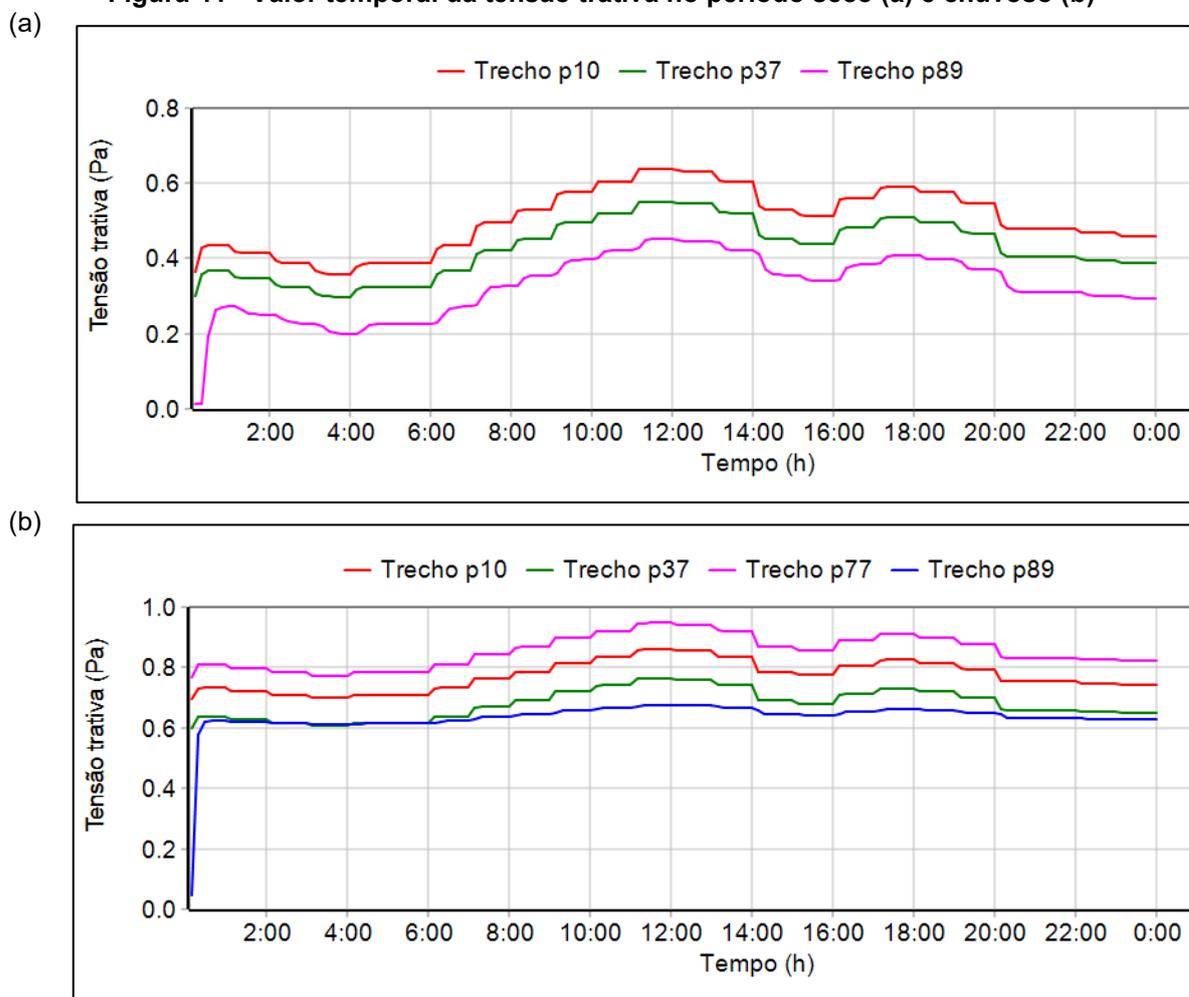
Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 40 demonstra que, para o critério de tensão trativa (σ), parte da rede não atende as exigências da NBR 9.649/1986. Para o cenário 1 (tempo seco), foram identificados 17 trechos com valores menores que 1 Pa de tensão trativa. Já no cenário 2 (tempo chuvoso) o número de trechos fora dos requisitos cai para 13.

Nos dois cenários é possível observar que as tubulações que não atendem aos critérios são, em sua maioria, inícios de trechos, o que pode justificar os valores baixos devido as vazões baixas que recebem, sem contribuições a montante.

A Figura 41 apresenta alguns trechos onde a tensão trativa permanece abaixo de 1 durante todo o período, tanto nos períodos secos quanto chuvosos.

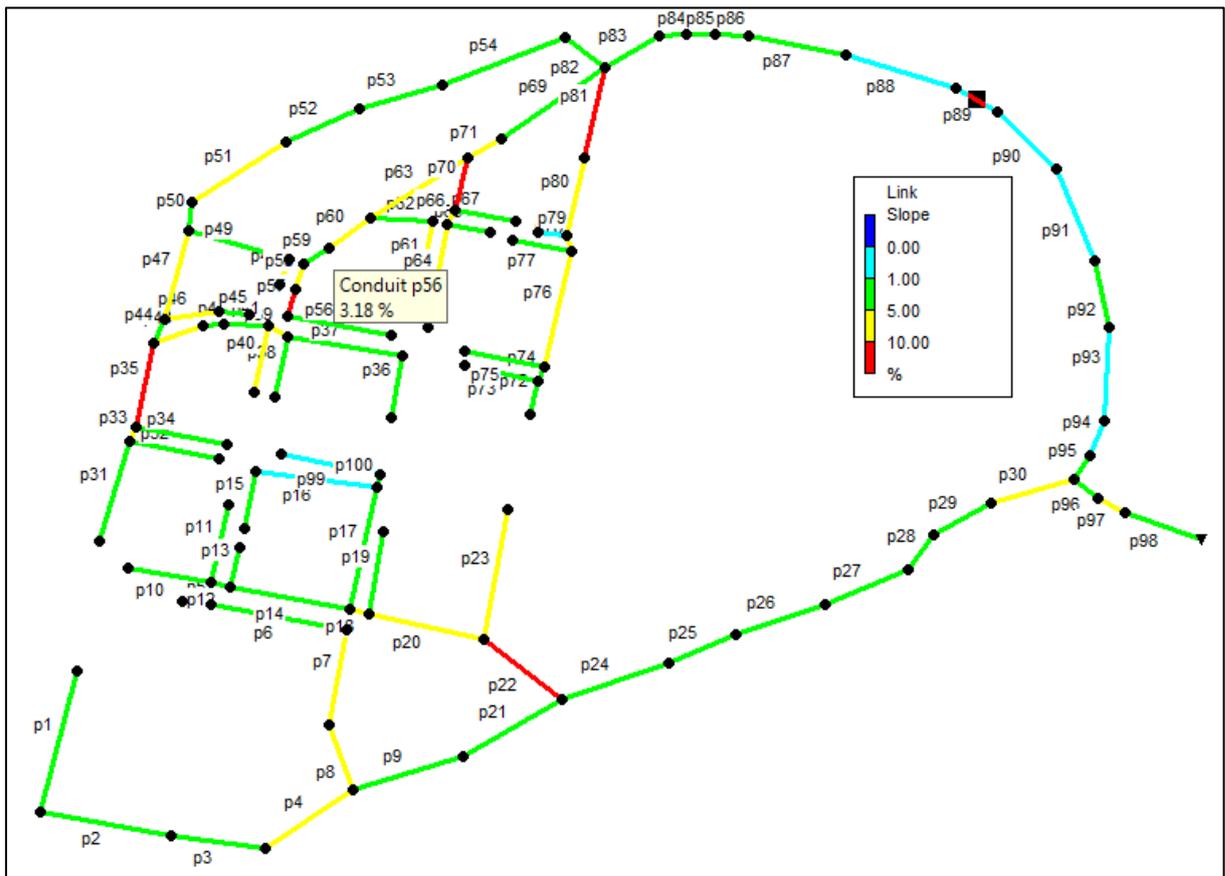
Figura 41 - Valor temporal da tensão trativa no período seco (a) e chuvoso (b)



Fonte: Autoria própria (2024)

Contudo, o trecho p89 (identificado na Figura abaixo), que é um trecho emissário, recebe vazões geradas em grande parte da rede e também não atende ao critério de tensão trativa mínima. Isso, possivelmente, se deve a um outro fator relevante para o cálculo de tensão trativa: a declividade, esquematizada na Figura 42.

Figura 42 - Declividade na rede coletora de esgoto com detalhe para o nó n89



Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 42 apresenta as declividades da rede coletora, com destaque para o trecho p89, que possui valor igual a 0,10% (0,001 m/m), a menor de todos os trechos.

A tensão trativa possui um papel importante nas tubulações de rede de esgoto, uma vez que é a força responsável pelo arraste de sedimento e, conseqüentemente, realizar autolimpeza da rede. Dessa forma, atender aos critérios mínimos de 1 Pa de tensão trativa significa evitar entupimentos e deposição de matéria orgânica ao longo dos trechos da rede (Sobrinho; Tsutiya, 1999).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que a modelagem hidráulica pelos softwares EPANET e SWMM podem ser ferramentas uteis para melhoria da gestão dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Com base na modelagem e simulação dos 3 cenários no sistema de abastecimento de água pode-se concluir que:

- Em todas as configurações do sistema, as pressões mantiveram-se entre 10 mca e 40 mca, assegurando conformidade com a NBR 12.218/2017 e reduzindo riscos de interrupções;

- O cenário 3 (injeção da água na rede de distribuição com bombeamento associado ao inversor de frequência), apresentou o menor custo de operação com energia elétrica (R\$ 107,65 por dia), sendo 30% mais econômico que as demais configurações.

Quanto ao sistema de esgotamento sanitário, de maneira geral, as velocidades e a altura de água (Y/D) atendem satisfatoriamente aos requisitos da norma NBR 9649/1986.

Com relação a tensão trativa, os valores foram menores que 1,0 Pa durante as 24 horas de simulação em 17 trechos (17,3%) no cenário 1, com tempo seco (apenas esgoto doméstico) e 13 trechos (13,3%), cenário 2, com tempo chuvoso (esgoto doméstico + água de infiltração). Estes trechos podem ter maior potencial de obstrução, sendo considerados prioritários em programas de manutenção da rede.

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

- ABE, Narumi. **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.
- ABRAHÃO, N.C. **Aplicações SIG para empresas de saneamento básico**. 1a edição. ABES. São Paulo, Brasil, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.649**. Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário – Procedimento. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR Nº 12.207**: Projeto de Interceptores de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.217**. Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR Nº 12.218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 2017.
- BRASIL. Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB). Lei nº 11445 de 5 de janeiro de 2007.
- CAVALCANTE, Thamires Ximenes; MICHELL, Alan; BATISTA, Tatiane Lima. Análise hidráulica da rede de abastecimento de água de um município de médio porte, Crateús, Ceará, Brasil. **Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 87–96, 2023.
- COSTA, Rafiza Najara Pereira. PINHEIRO, Eduardo Mendonça. **O Cenário do Saneamento Básico no Brasil**. Revista Educação Ambiental em Ação. 06/12/2018. Nº 66. ISSN 1678 0701. <http://www.revistaeea.org/artigo.php?idartigo=3523>.
- FERREIRA, Mateus de Paula; GARCIA, Mariana Silva Duarte. **Saneamento básico: meio ambiente e dignidade humana**. Dignidade Re-Vista, [S.l.], v. 2, n. 3, p. 12, 2017. ISSN 2525-698X. Disponível em: <<https://periodicos.puc-rio.br/index.php/dignidaderevista/article/view/393>>. Acesso em: 25 apr. 2024.
- FREITAS, Cláudio Lindenberg de; SILVA, Fernando das Graças Braga da; SILVA, Alex Takeo Yasumura Lima. Análise de sistema de distribuição de água real no sul de Minas Gerais com o uso de sistema de informação geográfica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 1, p. 31–39, 2022.
- GOMES, Heber Pimentel. *et al.* **Abastecimento de Água**. João Pessoa: Lenhs - Ufpb, 2019. 464 p.
- IBIPORÃ (PR). Lei Municipal nº 197 de 6 de dezembro de 1968. Criação do serviço autônomo municipal de Água e esgoto e dá outras providências. Ibiporã-PR, 1968.
- MAGALHÃES-JUNIOR, A. P.; COTA, G. E. M.; LEMOS, R. S. **Contradições e desafios para a proteção de mananciais hídricos em Minas Gerais - Os casos das Áreas de Proteção Especial de Vargem das Flores e Serra Azul - Região Metropolitana de Belo Horizonte**. Caminhos de Geografia, v. 17, n. 60, p. 89–104, 2016.

- MELLER, Adalberto. **Simulação Hidrodinâmica Integrada de Sistemas de Drenagem em Santa Maria -RS**. 2004. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2004.
- MIQUEL, V. S. F; PATIÑO G. L. (2002). **Regulación de redes de distribución de água In: Modelación y diseño de redes de abastecimiento de agua**. Grupo de mecânica dos fluidos. Universidad Politécnica de Valencia. 1ª Edição. 257 p.
- NUVOLARI, Ariovaldo. *et al.* **Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento E Reuso Agrícola**. 2ª ed., São Paulo: Editora Blucher, 2011.
- ORSINI, E. Q. **Sistemas de abastecimento de água**. Apostila da disciplina PHD 412 – Saneamento II. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, SP, 1996.
- PEDROSA, Hudson Tiago dos Santos. **Otimização em estação elevatória em sistemas de abastecimento de água buscando a eficiência energética**. MS thesis. Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- ROSSMAN, L. A. (2000). **EPANET 2 User'S Manual**. Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati.
- ROSSMAN, L. A. (2010). **Storm water management model user's manual**. Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati.
- SANTOS, F.F.S.; DALTRO FILHO, J.; MACHADO, C.T.; VASCONCELOS, J.F.; FEITOSA, F.R.S. **O desenvolvimento do saneamento básico no Brasil e as consequências para a saúde pública**. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 4, n. 1, p. 241-251, 2018.
- SANTOS, Fernanda Marques dos, *et al.* **SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DE UMA REDE COLETORA DE ESGOTO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE CAMPINA DO MONTE ALEGRE, SÃO PAULO. Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária** 3, p. 268–273, 2021.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico Temático: Serviços de Água e Esgoto**. Brasília, 2022.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Do SNIS ao SINISA: Informações para planejar o Abastecimento de Água**. Diagnóstico SNIS-AE 2019. Brasília, 2019.
- SOBRINHO, Pedro Alem; TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 2 ed. São Paulo, 1999.
- TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p. 659. 2006.
- VILAS-BOAS, Pedro Ricardo. **MODELAÇÃO DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, 2008.
- VINAGRE, M. V. A, *et al.* **Adaptação do código computacional swmm para simulações de redes de esgotamento sanitário conforme a norma brasileira NBR 964**. *Colóquio Organizações, Desenvolvimento e Sustentabilidade*, v. 9, p. 750-766, 2018.

VINAGRE, M. V. A, *et al.* **Evolução do programa SWMM NBR 9649 para simulação de redes de esgotamento sanitário conforme as variáveis da norma brasileira NBR 9649.** Encontro Latino Americano E Europeu Sobre Edificações E Comunidades Sustentáveis, p. 796-807, 2019.