



Gustavo Lúcio SALOMÃO\*

 <https://orcid.org/0000-0002-6927-9674>


José Henrique da SILVA\*\*

 <https://orcid.org/0000-0003-3714-5839>

Marcelo Jacomini Moreira da SILVA\*\*\*

 <https://orcid.org/0000-0003-3715-8824>

Lincon ZADOROSNY\*\*\*\*

 <https://orcid.org/0000-0003-1239-6201>

Recebido em: 18 de julho de 2021.

Aprovado em: 19 de maio de 2022.

## AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA URBANIZAÇÃO EM UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA\*

### RESUMO

O crescimento populacional e a urbanização intensa tendem a alterar os sistemas de abastecimento de água. Diante das ampliações das redes, as simulações hidráulicas tornam-se uma ferramenta de apoio a análises de sistemas de distribuição, pois permitem executar, de modo ágil, simulações estáticas e dinâmicas. O objetivo deste trabalho foi verificar alterações em um sistema de abastecimento existente na cidade de Santana da Ponte Pensa (SP) geradas devido às possíveis ampliações da área urbanizada. As simulações da rede de abastecimento de água foram realizadas com o software EPANET, conforme o Manual do Usuário e análise das condições limites previstas pelas normas NBR 12215-1 (ABNT, 2017) e NBR 12218 (ABNT, 2017), observando os pontos críticos do projeto, obtendo-se assim os maiores e menores valores de pressão, vazão e perda de carga disponíveis na rede. Os resultados indicaram que a área existente está de acordo com os critérios de pressão, vazão e perda de carga estabelecidos pelas normas. Ainda foram simulados dois possíveis planos de aumento da área urbanizada, uma delas ao longo da adutora de água tratada e outra ao final desta, aumentando a malha da rede existente, ambos confirmaram as reduções de pressões e aumento de perdas de cargas unitárias, porém sem atingir os critérios estabelecidos pelas normas. Portanto, o sistema existente está desempenhando os parâmetros necessários para o funcionamento adequado, mas ainda são necessárias constantes manutenções para que não ocorram problemas, além disso, no caso de futuras ampliações, é fundamental realizar uma análise inteligente de formas e modelos do sistema de abastecimento.

**Palavras-chave:** Urbanização. Abastecimento de água. Simulação Hidráulica.

## URBANIZATION IMPACT ANALYSIS OF A WATER SUPPLY SYSTEM

### ABSTRACT

Population growth and intense urbanization tend to affect water supply systems. In view of the expansion of water networks, hydraulic simulations have become a support tool for the distribution systems analysis, because they enable to perform static and dynamic simulations in an efficient way. The purpose of this paper was to examine changes in an existing supply system in the city of Santana da Ponte Pensa (SP) resulting from the possible expansion of the urbanized area. The water supply network simulations were performed with the EPANET software, according to the User's Manual and analysis of the boundary conditions provided by the standards NBR 12215-1 (ABNT, 2017) and NBR 12218 (ABNT, 2017), observing the critical points of the project, thus obtaining the highest and lowest values of pressure, flow and head loss available in the network. The results indicated that the existing area is in accordance with the pressure, flow and head loss criteria established by the standards. Furthermore, two possible plans to increase the urbanized area were simulated; one of them along the treated water pipeline and the other at the end of it, increasing the grid of the existing network, both confirmed the pressure reductions and increase in unit head losses, but without reaching the criteria established by the standards. Therefore, the existing system is performing the necessary parameters for adequate operation, but continuous maintenance is still needed to prevent problems from occurring, moreover, in the case of future expansions, it is essential to conduct an intelligent shape and model analysis of the supply system

**Keywords:** Urbanization. Water Supply. Hydraulic Simulation.

\* Graduando em Engenharia Civil do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP - Unifunec, e-mail: gussalomao@hotmail.com

\*\* Graduando em Engenharia Civil do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP - Unifunec, e-mail: jose\_henrique2022@hotmail.com

\*\*\* Doutor, Docente do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP - Unifunec, e-mail: silvamjm@gmail.com

\*\*\*\* Doutor, Docente do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP - Unifunec, e-mail: lincon\_zad@yahoo.com.br

\* Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Centro Universitário de Santa Fé do Sul/SP - Pibic/Unifunec



## 1 INTRODUÇÃO

O forte crescimento populacional e das cidades tem provocado muitas transformações com relação ao espaço urbano, exercendo pressão sobre as infraestruturas das cidades e comprometendo a qualidade de vida dos habitantes, principalmente no que se refere aos sistemas de abastecimento de água (TAVARES; PEREIRA NETO, 2020).

Dado que existe uma lacuna entre a quantidade total de água produzida e a quantidade de água que é efetivamente entregue aos consumidores, é fundamental realizar uma análise mais detalhada da eficiência hidráulica das redes de distribuição de água existentes (SOARES, 2003). A disponibilidade de água está ligada ao desenvolvimento de uma cidade, tornando-se um dos fatores mais importantes na instalação e expansão da infraestrutura (VILAS-BOAS, 2008).

Para a execução de um projeto adequado, é necessário ter como base a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 12215-1 (ASSOCIAÇÃO Brasileira De Normas Técnicas, 2017), que abrange projetos de adutora para o abastecimento público, e a NBR 12218 (ASSOCIAÇÃO Brasileira De Normas Técnicas, 2017), que trata do dimensionamento das redes de distribuição. Os parâmetros de consumo devem ser seguidos considerando dados regionalizados, fornecidos pelas concessionárias de abastecimento, a fim de atender os critérios de dimensionamentos estipulado nestas normas. Também, segundo a NBR 12218 (ASSOCIAÇÃO Brasileira De Normas Técnicas, 2017), deve-se atender os seguintes critérios para execução de um projeto adequado:

- Perda de carga unitária máxima 10 m/km;
- Evitar velocidades mínimas inferiores a 0,40 m/s;
- Erro máximo na simulação 0,1 L/s e 0,5 kPa;
- Pressão de serviço estática máxima 400 kPa, com exceções para 500 kPa;
- Pressões estáticas preferenciais entre 250 kPa e 300 kPa;
- Pressão dinâmica mínima 100 kPa;
- Dimensionamento por meio de simulações computacionais.

O método de Hardy Cross é aplicado aos condutos principais (anéis principais) de uma rede malhada, assim considera-se que toda a rede seja suprida através de pontos definidos como “nós” nos “anéis” da rede, onde para cada “nó” atribui-se uma distribuição de vazão hipotética “Qa”, obedecendo equação da continuidade (SILVA, 2018).

O método Hardy-Cross é realizado analisando a pressão e perda de carga disponível em vários pontos, utilizando uma margem de erro aceitável e, se os parâmetros forem

inadequados, modifica-se o sistema, alterando a altura do reservatório ou os diâmetros de alguns trechos, por exemplo (PORTO, 2006).

O plano diretor é uma lei municipal que garante as funcionalidades sociais e o bem-estar de seus habitantes. Em relação à rede de abastecimento de água potável, o plano diretor de modo geral exige regulamentos a serem seguidos. Um exemplo que pode ser citado é o Plano Diretor da Prefeitura da Estância Turística de Santa Fé do Sul, que foi utilizado como referência por ser mais completo, os mecanismos de abastecimento de água dependem de um conjunto de atividades desenvolvidas e implantadas por um órgão responsável. Futuramente, caso haja a possibilidade de abastecer um novo loteamento, os interessados devem pronunciar-se, emitir o documento a respeito e encaminhar à Prefeitura Municipal (SANTA FÉ DO SUL, 2022).

A expansão da área urbanizada exige que novos projetos hidráulicos sejam interligados com a infraestrutura existente, resultando na expansão do sistema e mudanças nas condições hidráulicas do sistema existente. Sendo assim, a simulação hidráulica, nos dias de hoje, tem atingido um elevado grau de importância para a aquisição de conhecimento e de controle de sistemas complexos.

O software gratuito EPANET 2.0 foi utilizado para fazer as simulações hidráulicas da rede de abastecimento de água do projeto. O programa foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e disponibilizado em português pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS), que faz parte do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal do Paraná (UFPR). É uma ferramenta que auxilia na análise de sistemas de distribuição, permitindo a simulação de diversos cenários e a previsão de situações que podem ocorrer durante a execução do projeto (PARAIBA, 2000).

Este trabalho se destina à criação de alternativas e métodos efetivos para resolução de problemas relacionados ao abastecimento de água em regiões de intenso crescimento, ferramenta esta que possibilita propor soluções tanto sob o ponto de vista técnico como econômico e social.

O objetivo desse trabalho é avaliar a ampliação de um sistema de abastecimento de água e suas consequências utilizando tecnologias de simulação de sistemas hidráulicos e, além disso, executar simulação de rede de abastecimento ampliada para verificar os elementos hidráulicos combinados com os parâmetros existentes e executar uma simulação das redes hidráulicas corroborando com os parâmetros previstos pelas normas. Por fim, comparar as

simulações, suas consequências, e buscar alternativas possíveis para adequações do projeto às normas.

## **2 METODOLOGIA / MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização do estudo**

Seguindo os critérios determinados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (COMPANHIA de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2017), realizou-se um estudo e verificaram-se os valores do comportamento hidráulico, principalmente da pressão e perda de carga, do sistema de abastecimento de água existente e, posteriormente, de dois tipos de ampliações, do Município de Santana da Ponte Pensa (SP), no período de dezembro de 2020 a novembro de 2021.

### **2.2 Caracterização do município**

A área estudada localiza-se na cidade de Santana da Ponte Pensa, município brasileiro do estado de São Paulo, que pertence à Região Administrativa de São José do Rio Preto e faz divisa com os municípios de Santa Rita D'Oeste (SP), Santa Salete (SP), Aspásia (SP), Palmeira D'Oeste (SP) e Três Fronteiras (SP). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), o município tem uma população estimada de 1448 habitantes, tem área de 129,8 km<sup>2</sup> e possui densidade demográfica de 12,60 hab/km<sup>2</sup>, localiza-se a uma latitude 20°15'11" (Sul) e a uma longitude 50°47'50" (Oeste), está a uma altitude de 427 metros e possui volume de água consumida por dia por economia de 369,60 L.

### **2.3 Rede de distribuição do município de Santana da Ponte Pensa – SP**

A planta baixa do loteamento existente foi desenvolvida por meio do software AutoCAD, como indicada na Figura 1. O loteamento possui 84 lotes com dimensões aproximadas de 10 m x 25 m. O loteamento contém área total de, aproximadamente, 36.300 m<sup>2</sup> e, aproximadamente, 1.300 metros de tubulação.

Foram então definidos todos os “nós” da rede, considerado na modelagem um em cada conexão do loteamento, assim como os trechos e o tipo de abastecimento para a simulação hidráulica.

Com relação à vazão adotada por ligação residencial, tomou-se como referência a Norma Técnica SABESP (NTS 181), na qual o consumo médio é de 600L/dia (COMPANHIA de Saneamento Básico do Estado De São Paulo, 2017). A vazão em cada “nó” foi estimada em função da quantidade de lotes em sua área de abrangência.

As possíveis alternativas de ampliações foram criadas no software AutoCAD a partir da planta baixa da área do loteamento existente. De acordo com os pontos cardeais mostrados na Figura 1 (localizado no canto superior do lado direito), a primeira ampliação foi elaborada ao norte (N) do loteamento e a segunda, a oeste (W).

Figura 1 - Planta baixa da rede de abastecimento existente em Santana da Ponte Pensa/SP, 2017.



Fonte: Adaptado (Kurion Incorporacao e Empreendimentos Imobiliarios Eireli, 2017).

## 2.4 Dados adotados

Conforme a NBR 12218 (ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas, 2017), as vazões para dimensionamento de uma rede devem atender a toda área a ser abastecida, sendo necessário considerar o índice de perda total (real e aparente). Os coeficientes  $K_1$  (variabilidade máxima diária do fluxo),  $K_2$  (variabilidade máxima horária do fluxo), devem ser obtidos a partir dos dados existentes na localidade. Seguindo os critérios da norma, definiu-se a vazão de dimensionamento da rede, utilizando a Equação 1, denominada fórmula de vazão (PORTO, 2006).

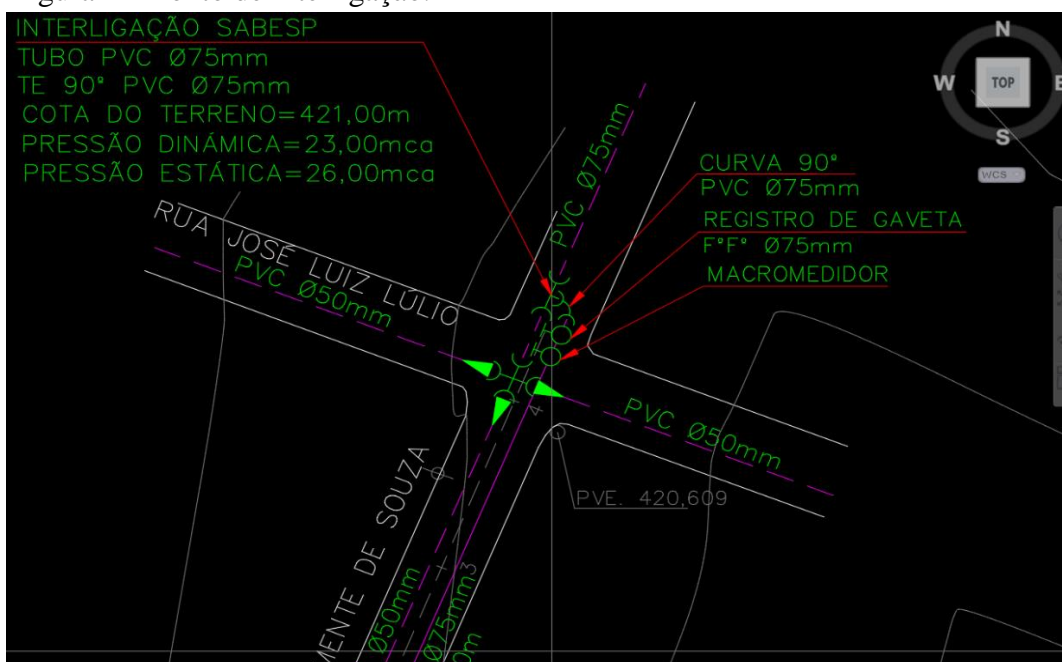
$$Q = \frac{K_1 * K_2 * q * POP}{86400} \quad (1)$$

Onde:  $k_1 = 1,2$  (adotado conforme norma);  $k_2 = 1,5$  (adotado conforme norma);  $q$  = Consumo per capita (L/hab.dia); POP = população atendida (hab);  $Q$  = vazão de distribuição (L/s).

O consumo médio diário de 600L/dia, já informado, é o valor entre a multiplicação do consumo per capita (L/hab.dia) pela população atendida (hab), estabelecido pela norma técnica Sabesp (NTS 181).

A pressão dinâmica mínima na interligação Sabesp (Figura 2), localizada a oeste (W) do loteamento, é de 23 m.c.a., enquanto a pressão estática máxima é de 26 m.c.a. (KURION Incorporação e Empreendimentos Imobiliários Eireli, 2017). Utilizou-se uma temperatura de trabalho de 20 °C e coeficiente de rugosidade ( $\epsilon$ ) de 0,003 mm (AMANCO, 2019).

Figura 2 – Ponto de interligação.

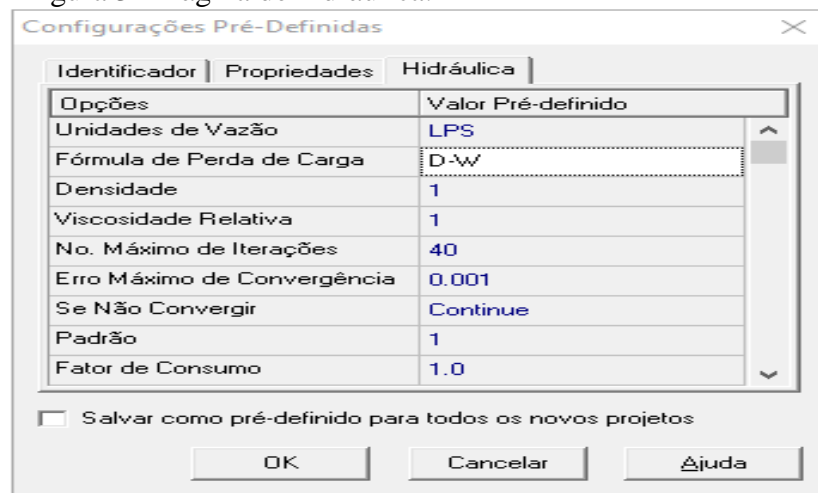


Fonte: (Kurion Incorporação e Empreendimentos Imobiliários Eireli, 2017) adaptado.

## 2.5 Dados de configuração do software EPANET

Para simulação computacional, utilizou-se o software EPANET, conforme o Manual do Usuário do EPANET 2.0 de Rossman (2000) e análise das condições limites previstas pelas normas NBR 12215-1 (ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas, 2017), NBR 12217 (ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas, 1994), e NBR 12218 (ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas, 2017), foram adotadas as unidades de vazão em litros por segundo (LPS) e fórmula de perda de carga segundo modelo de Darcy-Weisbach (D-W), conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Página de hidráulica.



Fonte: Dos próprios autores.

O parâmetro “*Erro Máximo de Convergência*”, mostrado na Figura 3, é utilizado para indicar o erro aceitável para finalizar a simulação e o parâmetro “*No. Máximo de Iterações*” representa o valor informado para interromper a simulação, caso não se encontre uma solução para as equações de equilíbrio hidráulico.

O valor que deve ser informado ao EPANET para “*Erro Máximo de Convergência*” é calculado como a soma de todos os incrementos de vazão dividido pela soma da vazão em todos os trechos (ROSSMAN, 2000), possibilitando que seja feito o ajuste para erros inferiores a 0,1 L/s”, conforme a NBR 12218 (ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas, 2017).

A pré-configuração do software atende e exige mais que os requisitos estabelecidos pela norma e, se houver necessidade, serão realizadas adequações necessárias para modelagem do projeto.

Para a definição da pressão máxima e mínima na interligação estabelecida pela Sabesp, informada no item 2.4, na Figura 2, utilizou-se o recurso reservatório de nível fixo (RNF) no

EPANET, conforme mostra a Figura 4, onde se observa que a cota do nível da água é 26 m ou 23 m (pressão estática e dinâmica; item 2.4, na Figura 2) acima da cota topográfica com valor de 421,00 m (item 2.4, na Figura 2).

Figura 4 – Configurações do RNF.

RNF 1	
Propriedade	Valor
*Identificador do RNF	1
Coordenada X	3271.79
Coordenada Y	1373.76
Descrição	
Zona	
*Nível de Água	421
Padrão de Nível	
Qualidade Inicial	
Origem de Qualidade	

Fonte: Dos próprios autores.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Determinação da vazão nos nós

Para atender as vazões no dia e horário de maior consumo, dado o consumo médio residencial, constatou-se uma vazão por lote de 0,0125 L/s.

Posteriormente, analisou a planta baixa da rede de abastecimento existente, informada no item 2.3, Figura 1, e determinou a vazão total (Qa) em cada “nó” em função da quantidade de lotes (Tabela 1).

Tabela 1 - Vazão total em cada “nó”.

NÓ	Nº DE LOTES	VAZÃO TOTAL Qa (L/s)
N1	9	0,1125
N2	10	0,1250
N3	10	0,1250
N4	5	0,0625
N5	10	0,1250
N6	15	0,1875
N7	16	0,2000
N8	9	0,1125
N9	0	0
Erro máximo na simulação	→	0,1 / 1,050 (L/s) = 0,09524

Fonte: Dos próprios autores.

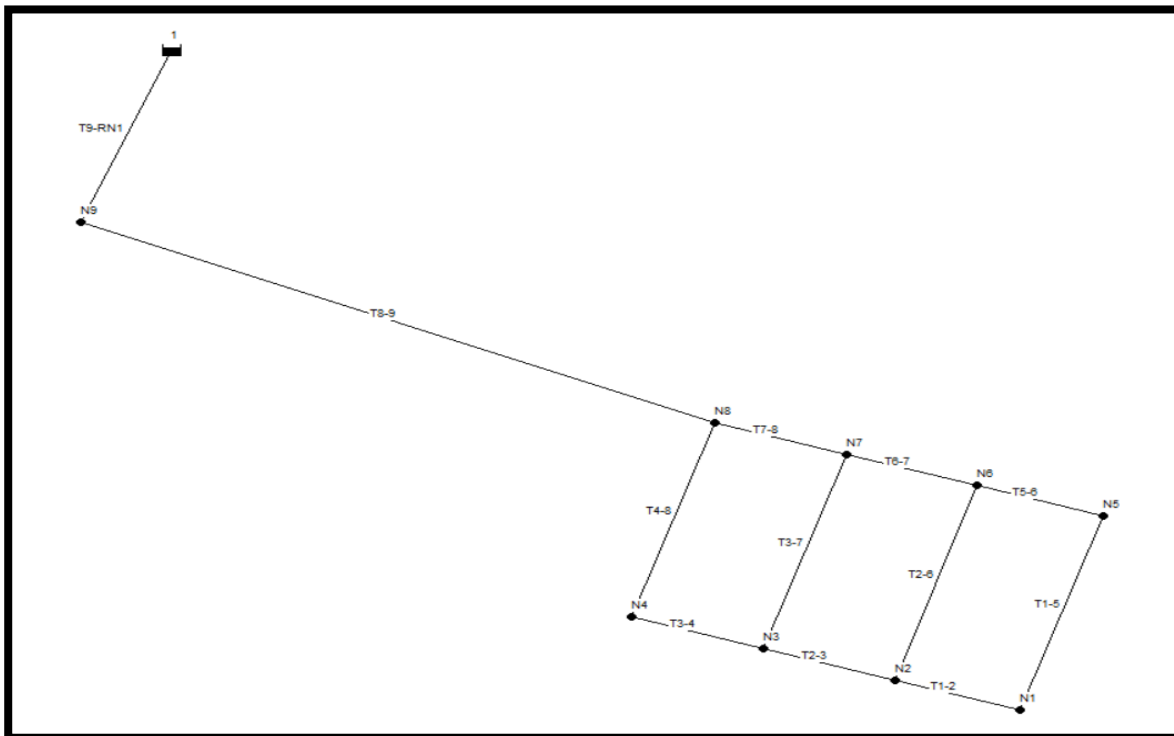
Conforme a NBR 12218 (ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas, 2017), as vazões para dimensionamento de uma rede devem atender o critério de erro máximo na

simulação de 0,1 L/s. De acordo com a Tabela 1, a vazão máxima é 1,050 L/s, 84 lotes no total, resultando em um valor de erro máximo de 0,09524 L/s, estando dentro do valor estabelecido por norma.

### 3.2 Simulação do sistema de abastecimento existente

A rede de distribuição de água existente, figura 5, possui 9 “nós” (N1 ao N9) e 12 trechos (T1-2 ao T9-RN1), abastecida através de um reservatório de RNF (logo após o trecho T9-RN1, descrito com o número 1) de “nó” fixo na origem, com cota piezométrica de acordo com o nível do terreno no local.

Figura 5 – Rede de distribuição de água existente



Fonte: Dos próprios autores.

A distribuição da rede é classificada de acordo com o tipo de canalização, sendo a canalização mestra a qual possui diâmetro relativamente maior, com função de abastecer as canalizações secundárias. Já as canalizações secundárias são aquelas que apresentam diâmetro relativamente menor e têm a finalidade de abastecer diretamente os pontos de consumo (SILVA, 2018). Pode-se observar na Figura 5, que os trechos T9-RN1 e T8-9 são a canalização mestra do sistema, que abastecem as canalizações secundárias, que estão após o “nó” 8.

A Tabela 2 demonstra os dados topográficos e de vazão de consumo em cada “nó” e os trechos com os dados de diâmetros e comprimentos da rede existente.

Os resultados da simulação de pressões nos “nós” e perda de carga nos trechos de tubulação para o sistema de abastecimento de água existente estão mostrados em forma numérica pela Tabela 3, conforme os procedimentos estabelecidos no Manual do usuário do EPANET 2.0 (ROSSMAN, 2000).

Tabela 2 - Dados da rede de abastecimento de água existente.

Dados nos “nós”			Trechos da rede existente e seus comprimentos		
NÓ	COTA (m)	VAZÃO (L/s)	TRECHOS	COMPRIMENTO (m)	DIÂMETRO (mm)
N1	411,81	0,1125	T1-2	59,30	75
N2	413,83	0,1250	T2-3	62,00	75
N3	414,74	0,1250	T3-4	62,00	75
N4	414,11	0,0625	T1-5	117,00	75
N5	415,47	0,1250	T2-6	117,00	50
N6	416,67	0,1875	T3-7	117,00	50
N7	417,92	0,2000	T4-8	117,00	75
N8	417,77	0,1125	T5-6	59,30	75
N9	421,11	0,0000	T6-7	62,00	75
-	-	-	T7-8	62,00	75
-	-	-	T8-9	307,70	75
-	-	-	T9-RN1	90,50	75

Fonte: Dos próprios autores.

Conforme a NBR 12218 (ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas, 2017), a pressão máxima deve ser de 40 m.c.a, podendo atingir até 50 m.c.a em regiões com topografia acidentada e pressão mínima de 10 m.c.a, referenciada ao nível do terreno e, por fim, a perda de carga máxima estabelecida deve ser de 10 m/km. De acordo com a Tabela 3, a pressão máxima do sistema ocorreu no “nó” 1 de 34,58 m.c.a. e o “nó” com menor pressão foi o 9 com valor de 22,76 m.c.a., ambas estão, portanto, dentro do previsto. Segundo a Tabela 3, a maior perda de carga ocorreu nos trechos 8-9 e 9-RN1 e vale 1,42 m/km, estando dentro do valor previsto por norma.

Pode-se observar, na Tabela 2, que apenas os trechos 2-6 e 3-7 possuem diâmetro mínimo e, de acordo com NBR 12218 (ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas, 2017), a utilização do diâmetro mínimo de 50 mm, pode ser aceita, desde que seja tecnicamente justificada. Conforme a simulação hidráulica (Tabela 3), os trechos em questão resultaram em valores muito baixos de perda de carga, valores que, mesmo utilizando o diâmetro mínimo, são satisfatórios, portanto, não ocasionarão problemas ao sistema.

Tabela 3 - Pressões e perdas de carga da simulação da rede existente.

Pressões de simulação da rede existente com 26 m.c.a e 23 m.c.a.			Perdas de carga nos trechos utilizando as pressões de 26 m.c.a. e 23 m.c.a.		
NÓS	PRESSÕES COM 26m.c.a. (m.c.a)	PRESSÕES COM 23m.c.a. (m.c.a)	TRECHOS	PERDA DE CARGA COM 26m.c.a. (m/Km)	PERDA DE CARGA COM 23m.c.a. (m/Km)
N1	34,58	31,58	T1-2	0,02	0,02
N2	32,56	29,56	T2-3	0,10	0,10
N3	31,66	28,66	T3-4	0,16	0,16
N4	32,30	29,30	T1-5	0,00	0,00
N5	30,92	27,92	T2-6	0,00	0,00
N6	29,72	26,72	T3-7	0,05	0,05
N7	28,49	25,49	T4-8	0,22	0,22
N8	28,67	25,67	T5-6	0,02	0,02
N9	25,76	22,76	T6-7	0,18	0,18
-	-	-	T7-8	0,50	0,50
-	-	-	T8-9	1,42	1,42
-	-	-	T9-RN1	1,42	1,42

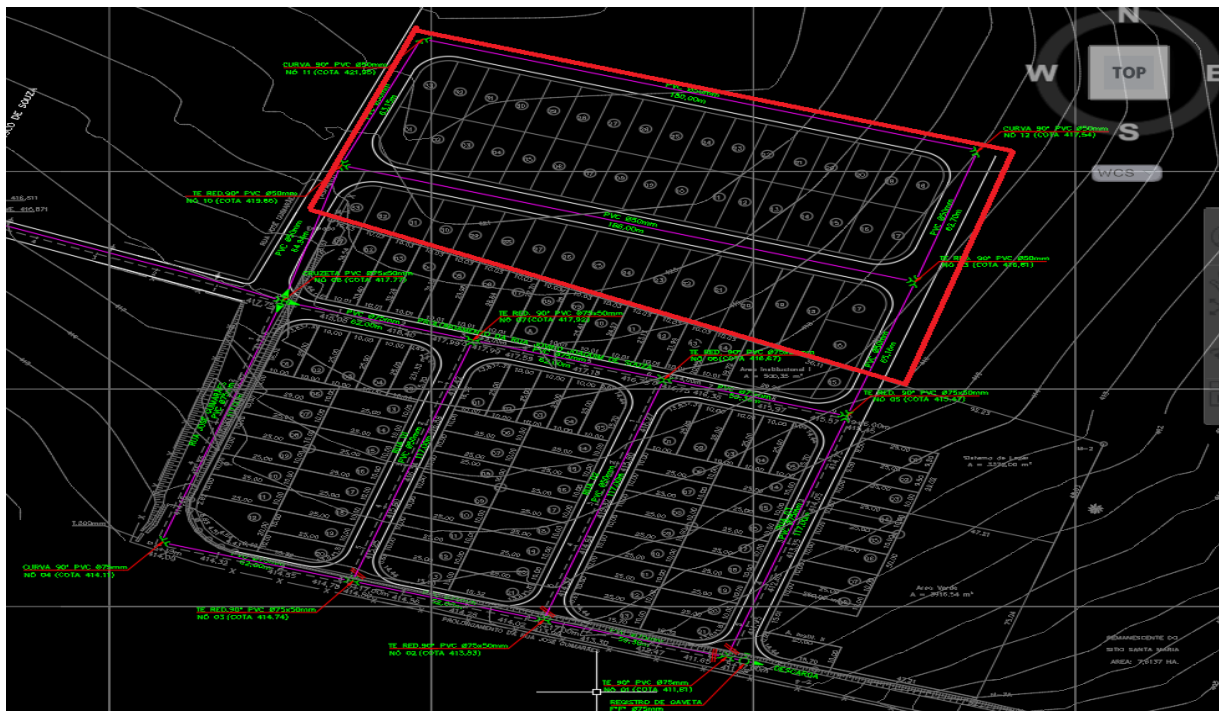
Fonte: Dos próprios autores.

### 3.3 Simulação do sistema de abastecimento para o modelo de ampliação 1

A primeira possível ampliação foi elaborada ao norte (N) do loteamento (Figura 6), obtiveram-se cerca de 53 lotes e área de, aproximadamente, 23.000 m<sup>2</sup> a mais que no loteamento existente. Os lotes possuem comprimento médio de 25 m, largura média de 10 m, o que resulta em uma área média de 250 m<sup>2</sup>.

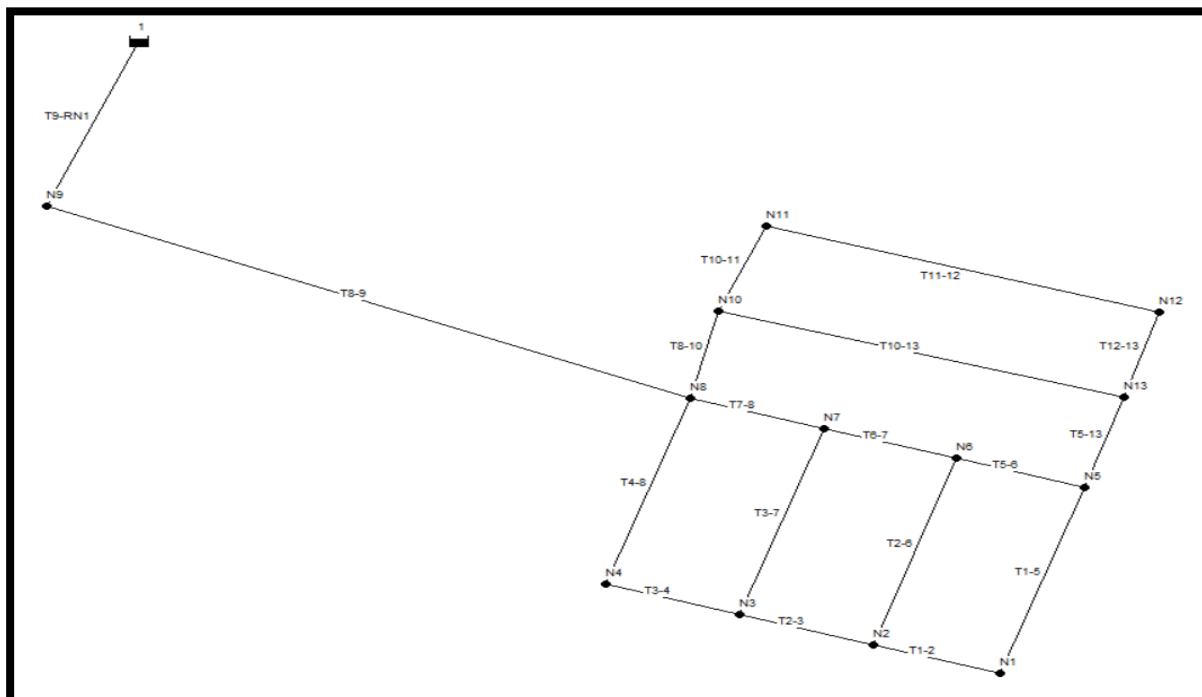
A primeira ampliação da rede de distribuição modelada no EPANET, apresentada na figura 7, possui 4 “nós” (N10 ao N13) e 6 trechos (T8-10, T10-11, T11-12, T12-13, T10-13 e T5-13), abastecida através de um reservatório de RNF (antes do trecho T9-RN1, descrito com o número 1) de “nó” fixo na origem, com cota piezométrica de acordo com o nível do terreno no local.

Figura 6 – Primeira possível ampliação da rede.



Fonte: Dos próprios autores.

Figura 7 – A primeira ampliação da rede de distribuição modelada no EPANET.



Fonte: Dos próprios autores.

Conforme informado no item 3.2, a primeira ampliação (trechos: 8-10, 10-11, 11-12, 12-13, 10-13 e 5-13) foi classificada como canalização secundária, pois abastecerá os pontos de consumo da rede.

A Tabela 4 demonstra os dados topográficos e de vazão de consumo em cada “nó” novo e os trechos novos, com os dados de diâmetros e comprimentos da primeira possível ampliação da rede.

Tabela 4 – Dados da primeira possível ampliação.

Dados dos novos “nós”			Trechos novos da rede ampliada e seus comprimentos		
NÓ	COTA (m)	VAZÃO (L/s)	TRECHOS	COMPRIMENTO (m)	DIÂMETRO (mm)
N10	419,86	0,2250	T5-13	65,16	50
N11	421,95	0,1125	T8-10	64,94	50
N12	417,54	0,1000	T10-11	63,15	50
N13	416,81	0,2250	T10-13	186,00	50
-	-	-	T11-12	180,00	50
-	-	-	T12-13	62,70	50

Fonte: Dos próprios autores.

Os resultados da simulação de pressões nos “nós” e perda de carga nos trechos de tubulação para o primeiro sistema de abastecimento de água ampliado estão mostrados em forma numérica pela Tabela 5, conforme os procedimentos estabelecidos no Manual do Usuário do EPANET 2.0 (ROSSMAN, 2000).

Conforme a NBR 12218 (ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas, 2017), a pressão máxima deve ser de 40 m.c.a, podendo atingir até 50 m.c.a em regiões com topografia acidentada e pressão mínima de 10 m.c.a, referenciada ao nível do terreno e, por fim, a perda de carga máxima estabelecida deve ser de 10 m/km. De acordo com a Tabela 5, a pressão máxima do sistema ocorreu no “nó” 1 de 33,78 m.c.a. e o “nó” com pressão com valor de 20,58 m.c.a. foi o 9, ambas estão, portanto, dentro do previsto. A maior perda de carga ocorreu nos trechos 8-9 e 9-RN1 e vale 3,35 m/km, estando dentro do valor previsto por norma.

Pode-se observar que os trechos da ampliação (8-10, 10-11, 11-12, 12-13, 10-13 e 5-13), possuem diâmetro mínimo e, de acordo com NBR 12218 (ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas, 2017), a utilização do diâmetro mínimo de 50 mm, pode ser aceita, desde que seja tecnicamente justificada. Conforme a simulação hidráulica da ampliação 1, os trechos em questão resultaram em valores muito baixos de perda de carga, valores que mesmo utilizando o diâmetro mínimo são satisfatórios, portanto, não ocasionarão problemas ao sistema. Caso resultassem em um valor de perda de carga maior que 10 km/m, seria necessário realizar outra simulação com diâmetros maiores.

Tabela 5 – Pressões e perdas de carga da simulação da primeira rede ampliada.

Pressões de simulação da primeira rede ampliada com 26 m.c.a e 23 m.c.a.			Perdas de carga nos trechos utilizando as pressões de 26 m.c.a. e 23 m.c.a.		
NÓS	PRESSÕES COM 26m.c.a. (m.c.a)	PRESSÕES COM 23m.c.a (m.c.a)	TRECHOS	PERDA DE CARGA COM 26m.c.a. (m/Km)	PERDA DE CARGA COM 23m.c.a. (m/Km)
N1	33,78	30,78	T1-2	0,10	0,10
N2	31,77	28,77	T2-3	0,21	0,21
N3	30,87	27,87	T3-4	0,26	0,26
N4	31,52	28,52	T1-5	0,02	0,02
N5	30,12	27,12	T2-6	0,00	0,00
N6	28,93	25,93	T3-7	0,07	0,07
N7	27,70	24,70	T4-8	0,33	0,33
N8	27,90	24,90	T5-6	0,14	0,14
N9	25,59	22,59	T6-7	0,33	0,33
AMPLIAÇÃO:	-	-	T7-8	0,76	0,76
N10	25,68	22,68	T8-9	3,35	3,35
N11	23,58	20,58	T9-RN1	3,35	3,35
N12	27,99	24,99	AMPLIAÇÃO:	-	-
N13	28,73	25,73	T5-13	0,83	0,83
-	-	-	T8-10	1,86	1,86
-	-	-	T10-11	0,22	0,22
-	-	-	T10-13	0,05	0,05
-	-	-	T11-12	0,01	0,01
-	-	-	T12-13	0,10	0,10

Fonte: Dos próprios autores.

### 3.4 Simulação do sistema de abastecimento para o modelo de ampliação 2

A segunda possível ampliação foi elaborada a oeste (W) do loteamento de abastecimento de água existente (Figura 8), obtiveram-se cerca de 53 lotes e área de, aproximadamente, 23.000 m<sup>2</sup> a mais que no loteamento existente. Os lotes possuem comprimento médio de 23 m, largura média de 11 m, o que resulta em uma área média de 253 m<sup>2</sup>.

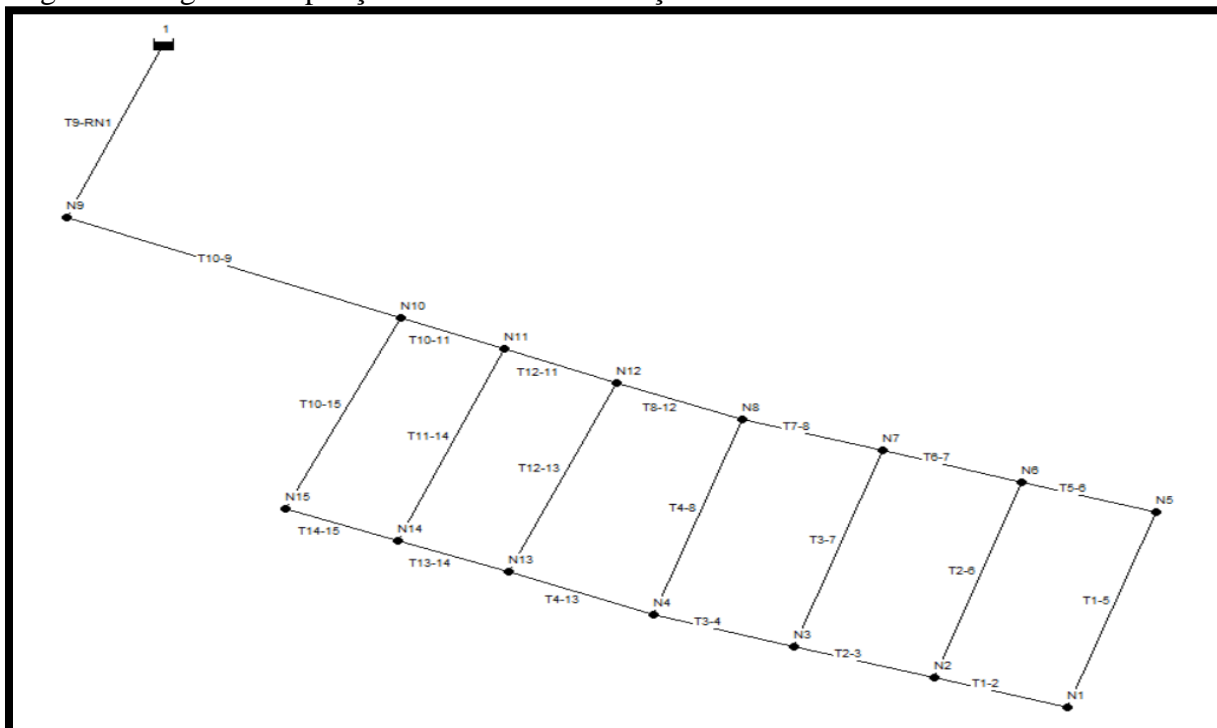
A segunda ampliação da rede de distribuição modelada no EPANET, apresentada na figura 9, possui 6 “nós” (“nó” N10 ao “nó” N15) e 10 trechos (T8-12, T4-13, T10-9, T12-11, T11-10, T11-14, T12-13, T13-14, T14-15 E T10-15), abastecida através de um reservatório de RNF (logo após o trecho T9-RN1, descrito com o número 1) de “nó” fixo na origem, com cota piezométrica de acordo com o nível do terreno no local.

Figura 8 - Segunda possível ampliação.



Fonte: Dos próprios autores.

Figura 9 - Segunda ampliação da rede de distribuição modelada no EPANET.



Fonte: Dos próprios autores.

Conforme informado no item 3.2, a segunda ampliação (trechos: 4-13, 13-14, 14-15, 10-15, 11-14, 12-13) foi classificada como canalização secundária, pois abastecerá os pontos de consumo da rede.

A Tabela 6 demonstra os dados topográficos e de vazão de consumo em cada “nó” novo e os trechos novos, com os dados de diâmetros e comprimentos da segunda possível ampliação da rede.

Tabela 6 - Dados da segunda possível ampliação.

Dados nos novos nós da segunda ampliação			Trechos novos da segunda rede ampliada e seus comprimentos		
NÓ	COTA (m)	VAZÃO (L/s)	TRECHOS	COMPRIMENTO (m)	DIÂMETRO (mm)
N4	414,11	0,1375	AMPLIAÇÃO:	-	-
N8	415,47	0,1500	T8-12	61,70	75
AMPLIAÇÃO:	-	-	T12-11	49,00	75
N10	415,87	0,0500	T11-10	49,00	75
N11	416,12	0,1000	T10-15	120,00	50
N12	417,06	0,1000	T11-14	120,00	50
N13	411,93	0,1250	T12-13	120,00	50
N14	410,91	0,1000	T4-13	69,00	50
N15	412,58	0,0500	T13-14	49,00	50
-	-	-	T14-15	49,00	50
-	-	-	T10-9	146,51	75

Fonte: Dos próprios autores.

Os resultados da simulação de pressões nos “nós” e perda de carga nos trechos de tubulação para o segundo sistema de abastecimento de água ampliado estão mostrados em forma numérica pela Tabela 7, conforme os procedimentos estabelecidos no Manual do Usuário do EPANET 2.0 de Rossman (2000).

Conforme a NBR 12218 (ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas, 2017), a pressão máxima deve ser de 40 m.c.a, podendo atingir até 50 m.c.a em regiões com topografia acidentada e pressão mínima de 10 m.c.a, referenciada ao nível do terreno e, por fim, a perda de carga máxima estabelecida deve ser de 10 m/km. De acordo com a Tabela 7, a pressão máxima do sistema ocorreu no “nó” 14 de 35,16 m.c.a. e o “nó” com menor pressão foi o 9 com valor de 22,59 m.c.a., ambas estão, portanto, dentro do previsto. A menor perda de carga ocorreu no trecho 10-9 e vale 3,27 m/km, estando dentro do valor previsto por norma.

Pode-se observar que alguns trechos da ampliação 2 (4-13, 13-14, 14-15, 10-15, 11-14, 12-13), possuem diâmetro mínimo e, de acordo com NBR 12218 (ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas, 2017), a utilização do diâmetro mínimo de 50 mm, pode ser aceita, desde que seja tecnicamente justificada. Conforme a simulação hidráulica da ampliação

2, os trechos em questão resultaram em valores muito baixos de perda de carga, valores que mesmo utilizando o diâmetro mínimo são satisfatórios, portanto, não ocasionarão problemas ao sistema. Caso resultassem para um valor de perda de carga maior que 10 km/m, seria necessário realizar outra simulação com diâmetros maiores.

Tabela 7 - Pressões e perdas de carga da simulação da segunda rede ampliada.

Pressões de simulação da segunda rede ampliada com 26 m.c.a. e 23 m.c.a.			Perdas de carga nos trechos utilizando as pressões de 26 m.c.a. e 23 m.c.a.		
NÓS	PRESSÕES COM 26m.c.a. (m.c.a)	PRESSÕES COM 23m.c.a. (m.c.a)	TRECHOS	PERDA DE CARGA COM 26m.c.a. (m/km)	PERDA DE CARGA COM 23m.c.a. (m/km)
N1	34,13	31,13	T1-2	0,02	0,02
N2	32,11	29,11	T2-3	0,12	0,12
N3	31,21	28,21	T3-4	0,23	0,23
N4	31,85	28,85	T1-5	0,00	0,00
N5	30,47	27,47	T2-6	0,00	0,00
N6	29,27	26,27	T3-7	0,01	0,01
N7	28,03	25,03	T4-8	0,11	0,11
N8	28,21	25,21	T5-6	0,02	0,02
N9	25,59	22,59	T6-7	0,16	0,16
AMPLIAÇÃO:	-	-	T7-8	0,40	0,40
N10	30,36	27,36	T9-RN1	3,26	3,26
N11	30,00	27,00	AMPLIAÇÃO:	-	-
N12	28,98	25,98	T8-12	1,07	1,07
N13	34,09	31,09	T12-11	1,54	1,54
N14	35,16	32,16	T10-11	2,22	2,22
N15	33,53	30,53	T10-15	0,98	0,98
-	-	-	T11-14	0,36	0,36
-	-	-	T12-13	0,14	0,14
-	-	-	T4-13	0,89	0,89
-	-	-	T13-14	1,01	1,01
-	-	-	T14-15	0,70	0,70
-	-	-	T10-9	3,27	3,27

Fonte: Dos próprios autores.

Os trechos em comum entre o loteamento existente e as ampliações (Tuchos T9-RNF1, T8-9 e T9-10) apresentaram aumento na perda de carga que, ainda que dentro do previsto, partiram por exemplo de 1,42 m/km para 3,35 m/km, conforme mostrado nas tabelas 5 e 9, tal fato pode ter ocorrido por conta da mudança no regime de escoamento do fluido, gerada pela inclusão e derivação de novas ramificações da rede.

Ainda em relação as simulações, tomou-se como ponto crítico o “nó” 7 da rede existente, pois foi o local onde ocorreu o menor valor de pressão, conforme mostra a Tabela 4. Após simuladas as ampliações, percebeu-se uma redução de pressão no mesmo ponto e, além disso, a cada ampliação diferente, é gerado um novo ponto crítico, devido à localização e topografia de cada área, indicando a importância de um planejamento inteligente e completo, que considera tanto os impactos na região que está sendo projetada como naquela já existente.

#### 4 CONCLUSÃO

O presente estudo apresenta a avaliação do comportamento de um sistema de abastecimento de água e as consequências das possíveis ampliações, através da tecnologia do software EPANET, para simulação hidráulica do sistema.

Em um primeiro momento, após análise do sistema, pode-se concluir que o loteamento existente na cidade de Santana da Ponte Pensa (SP), está atendendo os parâmetros estabelecidos pelas normas e que existe a possibilidade de ampliá-lo.

Observou-se também que cada modelo de ampliação gerava pontos críticos ou pontos de baixa pressão diferentes, causados pela topografia e localidade de cada região, indicando a importância de um bom planejamento que busca mitigar os impactos na região existente e na ampliação.

Destaca-se que os trechos com maior comprimento são os mais críticos com relação ao aumento da perda de carga e assim com a consequente perda de energia nos trechos a jusante da rede já existente, dessa forma é recomendado realizar análise pormenorizada das formas e modelos de futuras ampliações, com materiais adequados. Planejar e antever o risco ainda constituem a melhor ferramenta de adaptação e de mitigação de impactos sociais, econômicos e ambientais.

#### REFERÊNCIAS

AMANCO. **Ficha técnica**. São Paulo: Amanco, 2019. 23 p. Disponível em: [www.amanco.com.br](http://www.amanco.com.br). Acesso em: 06 maio 2021.

ASSOCIAÇÃO Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 12215-1**: ABNT NBR 12215-1. São Paulo: ABNT, 2017. 26 p.

ASSOCIAÇÃO Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 12217**: ABNT NBR 12217. São Paulo: ABNT, 1994. 4 p.

ASSOCIAÇÃO Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 12218**: ABNT NBR 12218. São Paulo: ABNT, 2017. 23 p.

COMPANHIA De Saneamento Básico Do Estado De São Paulo. **Norma Técnica NTS 181**: dimensionamento do ramal predial de água, cavalete e hidrômetro – primeira ligação. 4. ed. São Paulo: SABESP, 2017. 23 p. disponível em: <https://www3.sabesp.com.br/normastecnicas/nts/NTS181.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2021.

CONSELHO Regional De Engenharia E Agronomia. **Código de ética n°1002**: Código de Ética. Brasília: CREA, 2002. Disponível em: [http://www.creasp.org.br/arquivos/publicacoes/2017-codigo\\_de\\_etica\\_v2.pdf](http://www.creasp.org.br/arquivos/publicacoes/2017-codigo_de_etica_v2.pdf). Acesso em: 04 nov. 2020.

KURION Incorporacao e Empreendimentos Imobiliarios Eireli. **Projeto**: Sistema de Abastecimento de Água do Município de Santana da Ponte Pensa - SP. Fernandópolis – SP, 2017.

INSTITUTO Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/santana-da-ponte-pensa/panorama>. Acesso em: 19 set. 2021.

PORTO, R. de M. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Paulo: Departamento de Hidráulica e Saneamento - Universidade de São Paulo; Escola de Engenharia de São Carlos - EESC USP, 2006.

ROSSMAN, L. A. *et al.* **EPANET 2**: User's Manual. CINCINNATI - OH: [U.S.A], 2000. 201 p. Disponível em: [https://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/epanet/manual\\_do\\_epanet\\_brasil.pdf](https://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/epanet/manual_do_epanet_brasil.pdf). Acesso em: 26 abr. 2021.

SANTA FÉ DO SUL, SP. Prefeitura da Estância Turística de Santa Fé do Sul. **Lei complementar n° 360**, de 09 de março de 2022. Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável da Estância Turística de Santa Fé do Sul. Santa Fé do Sul, 2022. Disponível em: <https://www.santafedosul.sp.gov.br/anexos/documents/2022/06/0cc943c6658643e8a18a0c013d6bd009.pdf>

SILVA, M. L. da. **Avaliação hidráulica e orçamentária de alternativa para dimensionamento de redes ramificadas de abastecimento de água**. 2018. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Formiga - Unifor, Formiga, 2018.

SOARES, A. K. **Calibração de modelos de redes de distribuição de água para abastecimento considerando vazamentos e demandas dirigidas por pressão**, EESC-USP. São Carlos/SP, 2003

TAVARES, J. M. da S.; PEREIRA NETO, C. Aspectos do crescimento populacional: estimativas e uso de indicadores sociodemográficos. **Formação (Online)**, v. 27, n. 50, p. 3-

36, 2020. Disponível em:

<https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/download/5928/5599>. Acesso em: 17 set. 2021.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. **Manual do Usuário EPANET**. São Paulo: UFPB, 2000. Disponível em:

[http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/epanet/manual\\_do\\_epanet\\_brasil.pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/epanet/manual_do_epanet_brasil.pdf). Acesso em: 04 nov. 2020.

VILAS-BOAS, P. R. Modelação de uma rede de distribuição de água. **Redes de distribuição de água**, Porto - Portugal, Jun. 2008. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58016/1/000129459.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2021.