

## **ANÁLISE ECONÔMICA DA INFLUÊNCIA DA TENSÃO TRATIVA NO DIMENSIONAMENTO DE REDE COLETORA DE ESGOTO**

**Mayara Cinthia de Oliveira Mesquita<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil, formada pela Universidade Federal da Paraíba.

**Leonardo Vieira Soares<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil e Professor Dr. do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba.

**Gracielle Ferreira de Souza<sup>(3)</sup>**

Engenheira Civil, formada pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre e Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental com ênfase em Saneamento Ambiental ambos pela Universidade Federal da Paraíba.

**Gilson Barbosa Athayde Júnior<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Civil e Professor Dr. do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental e do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba.

**Jorge Luis de Sousa Júnior<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Civil, formado pela Universidade Federal da Paraíba.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Sebastião Marcondes Ramalho Travassos, nº 68 – Cidade dos Colibris – João Pessoa – Paraíba – CEP: 58073-316 – Brasil – Celular: +55 (83) 98845-1605 – e-mail: [mayaracmesq@outlook.com](mailto:mayaracmesq@outlook.com)

### **RESUMO**

Os projetos relacionados ao saneamento básico possuem grande complexidade, sobretudo no que diz respeito à elaboração destes, ao planejamento da obra e aos custos elevados para execução do sistema. Isto posto, é importante o avanço de estudos que busquem soluções para que, por exemplo, as obras obtenham maior durabilidade, dentre outros aspectos. Neste sentido, o propósito deste estudo é analisar de que maneira a mudança no valor do parâmetro hidráulico tensão trativa contribui para os custos de uma obra de sistema de esgotamento sanitário por meio de um estudo de caso em um loteamento público. Para tal, foram realizados 4 cenários de dimensionamento, com diferentes valores de tensão trativa mínima (0,6 Pa; 1,0 Pa, 1,5 Pa e; 2,0 Pa), por meio do *software CEsg*. A partir das planilhas de resultados e custos, entregues pelo *software*, observou-se que a concepção mais ideal foi alternativa 3 (1,5 Pa), visto que apresentou um maior equilíbrio com relação aos quantitativos e custos, em comparação com as outras alternativas, além de que, garante também a autolimpeza dos condutos e, diminui significativamente, as chances de aparecimento de limo e, conseqüentemente, o ataque de sulfetos na tubulação, o que resulta em uma maior longevidade do sistema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tensão Trativa, Dimensionamento, Rede Coletora, Esgoto Sanitário, *CEsg*.

### **INTRODUÇÃO**

O saneamento é um conjunto de medidas e procedimentos com o objetivo de preservar o meio ambiente, prevenir ou eliminar alguns tipos de doenças, bem como estabelecer a promoção da saúde com a melhoria de vida da população (GARCIA, FERREIRA, 2017).

Em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, as obras de saneamento, muitas vezes, não são implantadas por falta de recurso dos órgãos correspondentes. A grande pulverização do setor de saneamento atrelada ao alto número de agentes envolvidos no processo de execução dos investimentos tem tornado a situação ainda mais desafiante visto que, em muitos casos, os municípios encontram dificuldades para desenvolver os projetos de saneamento de maneira qualificada e apta à captação de recursos (CNI, 2017).

O Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, publicação anual lançado por meio do Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR) a partir de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), avalia e discute os indicadores relacionados à água, esgoto e resíduos sólidos urbanos no país (BRASIL – MDR, 2020). Em sua 25ª edição, no ano de 2019, o relatório apontou que cerca de 83,7% da população brasileira é atendida com abastecimento de água e, apenas um pouco mais da metade do país, cerca de 54,1%, é atendida com rede coletora de esgoto, demonstrando ainda a extrema deficiência do país no setor de saneamento básico (BRASIL – MDR, 2020).

O estado do Pernambuco possui 184 municípios, além do distrito estadual de Fernando de Noronha. Deste total, 178 municípios (96%) possuem abastecimento de água e 65 cidades (35%) possuem coleta de esgoto sanitário, independentemente do prestador de serviço. O índice de atendimento de rede coletora de esgoto entre 20% e 40% é o segundo índice mais baixo do Brasil (BRASIL – MDR, 2020).

Uma vez percorrido sobre o tema de saneamento básico e esgotamento sanitário, e como isso influencia na saúde e na qualidade de vida da sociedade brasileira, fica evidenciado a grande importância de estudos e elaboração de projetos para o correto manejo e maior durabilidade desses efluentes, sobretudo estudos em áreas que possuem carência de desenvolvimento de pesquisas, como o critério hidráulico da tensão trativa.

A tensão trativa ou tensão de arraste é uma das condicionantes para o dimensionamento de sistemas de esgotamento sanitário, ela é definida, matematicamente, segundo Alem Sobrinho e Tsutiya (1999, p. 87), como sendo “[...] uma tensão tangencial exercida sobre a parede do conduto pelo líquido em escoamento, ou seja, é a componente tangencial do peso do líquido sobre a unidade de área da parede do coletor e que atua sobre o material sedimentado, promovendo seu arraste”.

O parâmetro “tensão trativa” surgiu para substituir o critério da velocidade e lâminas mínimas, ele é um coeficiente de cálculo que deve ser definido em projetos de esgotamento sanitário com base em ensaios de campo ou, na falta destes, em normas brasileiras como a NBR 9649:1998 que trata sobre “Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário” e a NBR 14486:2000 que trata sobre “Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário - Projeto de redes coletoras com tubos de PVC”.

Baseado em diversos estudos e pesquisas, realizadas a fim de obter uma estimativa a respeito da tensão trativa crítica, os estudiosos chegaram à valores entre 1,0 e 2,0 Pa. A partir disto, em 1983, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) passou a recomendar a utilização do critério da tensão trativa em substituição ao critério da velocidade de autolimpeza, até então adotada pela norma brasileira da época (PNB 567/1975 da ABNT), ficando definido o valor de 1,0 Pa para a tensão trativa mínima, independente do material da tubulação. Este valor também foi adotado em seguida pela norma brasileira NBR 9649:1998 que trata sobre “Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário”, vigente até os dias de hoje (AZEVEDO NETTO et al, 2015).

Os efluentes que passam ao longo da rede são compostos basicamente de água e sedimentos (materiais sólidos), quando este último possui densidade maior que a água, ele fica depositado nas tubulações o que pode gerar a obstrução dos condutos e possíveis entupimentos. Nesse sentido é de extrema importância para a durabilidade do sistema de esgotamento sanitário (SES), a garantia da autolimpeza dos coletores, isto é alcançado quando se adota um valor mínimo de tensão trativa que inicie o movimento das partículas depositadas nas tubulações (ALEM SOBRINHO, TSUTIYA, 1999).

Outro problema que, de acordo com alguns estudos, pode estar relacionado com o parâmetro da tensão trativa é o desenvolvimento de limo nas paredes das tubulações e a presença de sulfetos de hidrogênio. Estudos afirmam que existe um limite crítico da tensão no qual não se formaria essa película, bem como os sulfetos (ALEM SOBRINHO, TSUTIYA, 1999 apud PAINTAL, 1977).

Com relação à questão econômica de um projeto de esgotamento sanitário, de acordo com os estudos realizados em 1980 pela SABESP, no qual foi realizado um levantamento sobre os custos de construção de redes de esgoto na Região Metropolitana de São Paulo, foi concluído que os fatores de maior expressão no custo total de uma obra são os itens referente ao escoramento, escavação e reaterro de valas, poços de visita (PV's) e reposição de pavimentos (asfalto) (ALEM SOBRINHO, TSUTYA, 1999).

Nesse sentido, partindo dos estudos, pesquisas e pressupostos acima, bem como devido a importância do parâmetro tensão trativa mínima no dimensionamento da rede coletora de esgoto, no que diz respeito a autolimpeza dos condutos e também a diminuição ou até mesmo eliminação da presença de limo, e consequentemente de sulfetos, ao longo da tubulação, é importante analisar, quando possível, o valor a ser adotado para a tensão trativa no projeto, bem como avaliar a relação custo-benefício que a mudança deste valor, diferente do mínimo que a norma vigente recomenda, acarreta no orçamento da obra do SES.

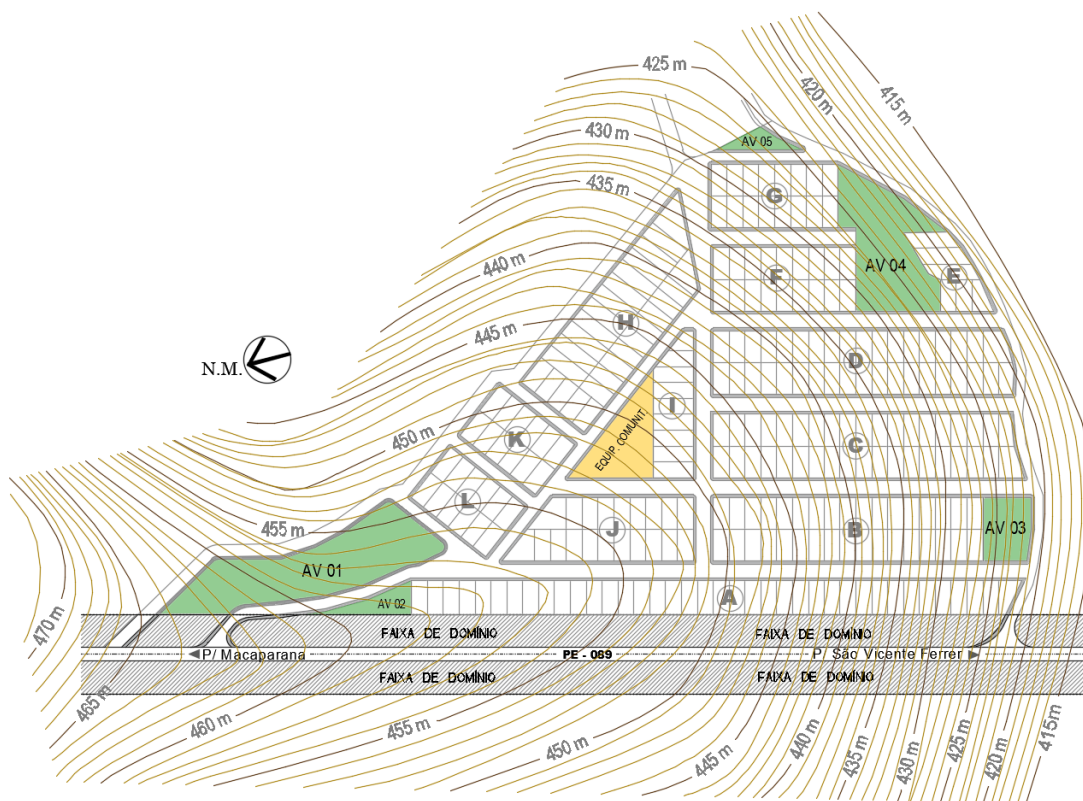
## OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo analisar o efeito da aplicação de valores distintos da tensão trativa mínima sobre os custos de execução de um Sistema de esgotamento sanitário de um loteamento residencial.

## METODOLOGIA

### LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi escolhido o loteamento Miguel Arraes de Alencar, localizado às margens da rodovia estadual PE-089 na zona rural de São Vicente Férrer-PE (Figura 1). A área de estudo contempla uma total de 63.580,46 m<sup>2</sup>, estruturada com 267 lotes (economias) e uso previsto do solo para imóveis do tipo residencial.



**Figura 1 – Projeto Urbanístico e Planialtimétrico do loteamento Miguel Arraes de Alencar-PE**

### DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE CÁLCULO DE PROJETO

Para o dimensionamento do sistema de esgotamento sanitário foi considerado um diâmetro mínimo de 150 mm e horizonte de projeto de 30 anos, compreendido entre os anos de 2020 e 2050, ambos definidos em consonância com o que determina a concessionária de saneamento básico do estado em suas normas internas.

Com relação à projeção populacional, foi aplicado o método dos mínimos quadrados com regressão do tipo linear através de série histórica baseada em dados censitários do IBGE. Foi escolhida a função exponencial para a projeção populacional e a taxa de crescimento da cidade. Ressalta-se que foi considerado para início e fim de plano que a população do loteamento crescerá na mesma proporção do município em estudo. Dessa maneira, adotou-se uma população de 1.100 habitantes em início de plano (2020) e 1.300 habitantes em fim de plano (2050).

Para a determinação das contribuições de esgoto e dimensionamento da rede foram adotados valores preconizados pela norma vigente NBR 9649 (ABNT, 1986):

- coeficientes de máxima vazão horária ( $K_1$ ): 1,20

- coeficientes de máxima vazão diária ( $K_2$ ): 1,50
- coeficiente de retorno (C): 0,80;
- Vazão mínima: 1,50 l/s;
- taxa de contribuição de infiltração: 0,1 l/s\*km;
- Recobrimento mínimo: 0,90 m;
- Velocidade máxima: 5,00 m/s;
- Profundidade máxima: 8,00 m;
- Altura de degrau mínima: 0,20 m;
- Altura de degrau máxima: 0,50 m;
- Declividade mínima construtiva: 0,005 m/m;
- Coeficiente de *Manning* (n): 0,010.

O consumo efetivo per capita de água e esgoto (q) para início e fim de plano foi obtido com base em uma análise conjunta de dados do SNIS e de normas internas da prestadora de serviços do local. Com base na pior situação de projeto e a partir dos dados da concessionária local., adotou-se o valor de 112,50 l/hab.\*dia. Além disso, para o início e fim de plano, adotou-se os valores das vazões de esgoto sanitário de 1,30 l/s e 1,86 l/s respectivamente.

### TRAÇADO DA REDE

A concepção do projeto foi realizada por meio do *software* computacional *CEsg*, versão 7.0.1 (jan./2002), desenvolvido pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) para a empresa Tubos e Conexões Tigre Ltda. (FCTH, 2006). O *CEsg* segue todos os padrões estabelecidos nas normas brasileiras e está dentre os 3 softwares mais conhecidos do mercado para a realização de dimensionamento de redes de esgoto sanitário (ALEM SOBRINHO, TSUTIYA, 1999).

A distância máxima considerada entre os órgãos acessórios foi de 80 m, em conformidade com as normas internas da prestadora de serviço local. Considerou-se que o projeto seria implementado em etapa única, com a utilização de tubulações do tipo policloreto de vinila (PVC) em superfícies sem revestimento e com o recobrimento mínimo de 90 cm. Na Figura 2, observa-se o traçado da rede com indicação da direção do escoamento dos efluentes, localização dos órgãos acessórios e detalhamento dos tipo de coletores de esgoto; e na Figura 3 observa-se a delimitação da rede em três sub-bacias.

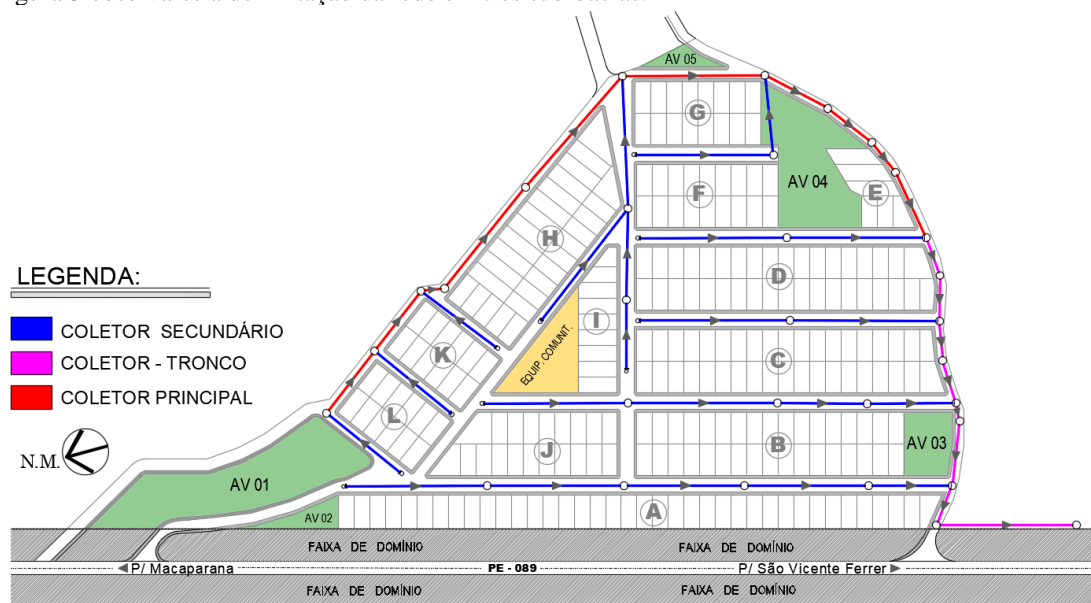
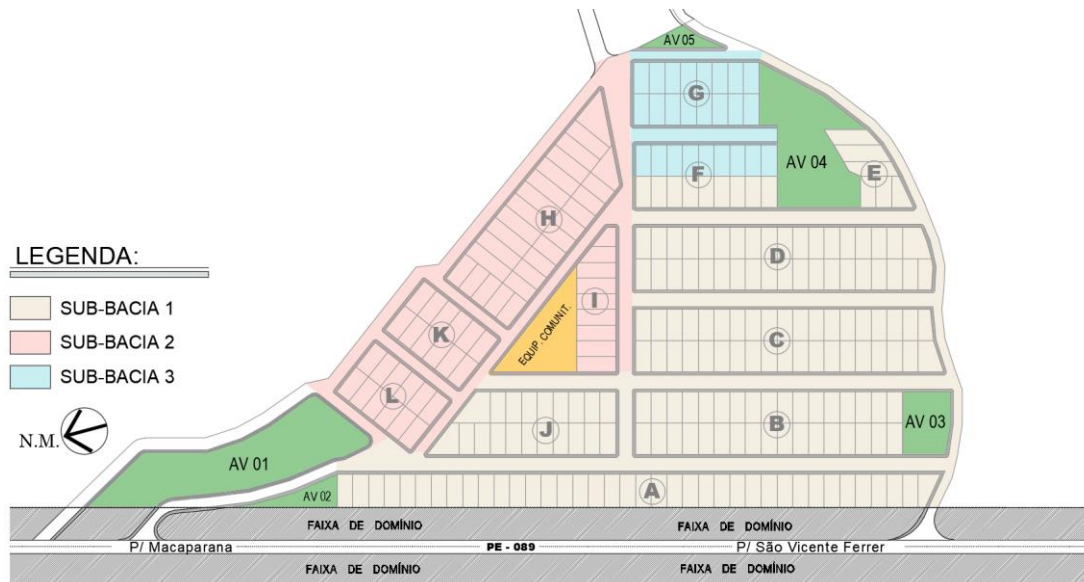


Figura 2 - Traçado da rede coletora de esgoto do loteamento no software *CEsg*



**Figura 3 – Delimitação das sub-bacias de esgotamento**

## DIMENSIONAMENTO DA REDE

Para a realização do dimensionamento da rede coletora no *CE<sub>sg</sub>*, além da realização do traçado, o software exige que o projetista insira os “dados gerais para o cálculo” para que assim a rede seja dimensionada de fato. Estes dados se dividem em dados de consumo e parâmetros de cálculo do projeto, todos já explícitos anteriormente, com exceção da tensão trativa mínima.

O aumento de tensão trativa mínima adotada na rede causa o aumento da declividade, conseqüentemente acréscimo na profundidade do coletor, que por sua vez, é proporcional ao crescimento do quantitativo dos serviços de escavação de vala, escoramento e reaterro das valas, e no custo final da obra, . Por outro lado, o aumento desse parâmetro também pode garantir uma maior autolimpeza e durabilidade do sistema.

Nesse sentido, para obter a melhor alternativa de dimensionamento frente aos custos de implantação do sistema, e às condições de autolimpeza, bem como a durabilidade do sistema, adotou-se 4 valores de tensão trativa para o projeto:

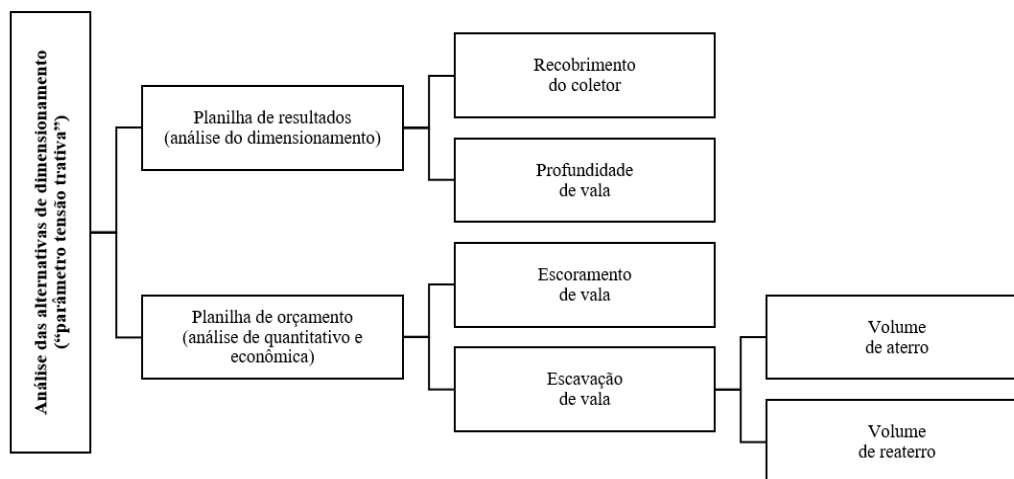
- **Alternativa 1:** consideração do valor de 0,6 Pa para a tensão trativa, valor baseado para um coeficiente de manning de 0,010, que é o coeficiente referente aos tubos de PVC, definido na norma NBR 14486:2000 que trata de “Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário - Projeto de redes coletoras com tubos de PVC”;
- **Alternativa 2:** consideração do valor de 1,0 Pa para a tensão trativa, baseado na NBR 9649:1986 que define este valor como o valor mínimo a ser adotado independentemente do tipo do material da tubulação em projetos de rede coletora de esgoto;
- **Alternativa 3:** consideração do valor de 1,5 Pa para a tensão trativa, valor que é baseado em critérios práticos, bem como valor que, segundo estudos de Machado Neto, Tsutya (1985, apud TSUTYA, ALÉM SOBRINHO, 1989) praticamente elimina a formação de sulfetos em coletores acima de 500 mm de diâmetro, e que também está dentro do intervalo estabelecido como sendo o intervalo que propicia a autolimpeza dos condutos;
- **Alternativa 4:** consideração do valor de 2,0 Pa para a tensão trativa, valor que está entre o intervalo de valores mais utilizados em critérios práticos e que também está dentro do intervalo estabelecido como sendo o intervalo que propicia a autolimpeza dos condutos (TSUTYA, ALÉM SOBRINHO, 1999).

Com a realização dos dimensionamentos para cada valor de tensão trativa, foi possível obter os dados dos elementos hidráulicos (vazão nos trechos da rede, velocidade, e relação entre lâmina d’água e diâmetro) e dos elementos construtivos (cotas dos coletores de montante e jusante, cotas do terreno de montante e jusante de cada trecho, profundidade e largura da vala de assentamento da tubulação, recobrimento do coletor, desníveis, declividades, seções e tipos de escoramento).

Para avaliar a melhor alternativa para o projeto foi realizada uma análise técnica-econômica de planilhas geradas pelo *CEsg*, verificando os elementos hidráulicos, construtivos e os quantitativos dos principais serviços da obra. Para efeito de análise, foi visto o efeito da variação da tensão mínima, em relação a algumas variáveis como, o diâmetro, recobrimento da tubulação, e a profundidade de vala.

Com relação à planilha de orçamento foi avaliado as mudanças nos quantitativos de cada alternativa, quando da alteração do valor da tensão trativa, bem como de quanto foi o acréscimo ou decréscimo de uma alternativa para a outra.

A Figura 4 a seguir apresenta um fluxograma da metodologia utilizada para realizar a análise das alternativas de dimensionamento, e também, quais foram os elementos específicos analisados em cada planilha, ou seja, os dados que apresentaram diferenças quando da mudança do valor da tensão trativa nestas alternativas.



**Figura 4 – Metodologia para análise das alternativas de dimensionamento**

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao término dos dimensionamentos, a rede projetada obteve, comumente a todas as alternativas, cerca de 1.996 metros de extensão e diâmetro único de 150 mm (DN 150) com 17 poços de visita (PV's), 10 terminais de limpeza (TL), 4 tubos de queda (TQ) e 10 pontas-secas. A quantidade de trechos indicados para a rede em função do traçado foi de 40.

A planilha de resultados e custos das quatro alternativas demonstrou preliminarmente que não houve nenhuma diferença de dados entre a alternativa 1 (0,6 Pa) e 2 (1,0 Pa), quer seja: diâmetro, declividades, profundidades, recobrimentos e cotas, bem como em nenhum quantitativo, ou seja, a mudança no valor da tensão trativa mínima foi desprezível para o dimensionamento nestes dois casos. Isso se deve ao fato de que, quando da mudança do valor da tensão trativa, não houve alteração na declividade de projeto dos trechos.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO

Observou-se que 12 dos 40 trechos que compõem a rede, ou seja, 30% dos trechos da rede tiveram alterações no recobrimento do coletor e profundidade da vala, associadas às mudanças do valor da tensão trativa mínima. Os demais, apresentaram os valores de 0,75 m e 1,05 m em todas as alternativas.

A Tabela 1 demonstra apenas os 12 trechos da rede que tiveram alterações de dimensões em relação ao recobrimento do coletor e à profundidade da vala quando da mudança da tensão trativa mínima, mediante as alternativas de dimensionamento, com exceção dos trechos 1-4 do PV 8 e 1-10 do PV 1 (trechos tachados) que não sofreram alteração, mas estão presentes na tabela apenas para entendimento do trecho 1-4 do PV 9 e 1-10 do PV 2, servindo também como exemplo para a visualização dos valores que os outros 28 trechos apresentaram.

**Tabela 1 – Comparação de resultados das alternativas de dimensionamento 1, 2, 3 e 4**

Trecho	PV ini. e PV fim	Ext. (m)	Alternativa 1: tensão trat.=0,6 Pa		Alternativa 2: tensão trat.=1,0 Pa		Alternativa 3: tensão trat.=1,5 Pa		Alternativa 4: tensão trat.=2,0 Pa	
			Rec. Col. (m) mon/jus	Prof. Vala (m) mon/jus	Rec. Col. (m) mon/jus	Prof. Vala (m) mon/jus	Rec. Col. (m) mon/jus	Prof. Vala (m) mon/jus	Rec. Col. (m) mon/jus	Prof. Vala (m) mon/jus
1-4	8	12,13	0,75	1,05	0,75	1,05	0,75	1,05	0,75	1,05
	9		1,1	1,25	1,1	1,25	1,13	1,28	1,17	1,32
1-5	9	65,8	0,95	1,25	0,95	1,25	0,98	1,28	1,02	1,32
1-10	1	19,16	0,75	1,05	0,75	1,05	0,75	1,05	0,75	1,05
	2		0,9	1,05	0,9	1,05	0,91	1,06	0,97	1,12
1-11	38	36,85	0,75	1,05	0,75	1,05	0,76	1,06	0,82	1,12
	39		2,21	2,36	2,21	2,36	2,32	2,47	2,52	2,67
1-12	26	20,46	2,06	2,36	2,06	2,36	2,17	2,47	2,37	2,67
	25		2,86	3,01	2,86	3,01	3,03	3,18	3,29	3,44
1-13	25	23,09	2,71	3,01	2,71	3,01	2,88	3,18	3,14	3,44
	7		5,02	5,17	5,02	5,17	5,24	5,39	5,59	5,74
1-14	28	19,92	4,87	5,17	4,87	5,17	5,09	5,39	5,44	5,74
	8		5,72	5,87	5,72	5,87	6	6,15	6,42	6,57
1-15	29	22,72	5,57	5,87	5,57	5,87	5,85	6,15	6,27	6,57
	30		5,08	5,23	5,08	5,23	5,42	5,57	5,91	6,06
1-16	36	9,38	4,93	5,23	4,93	5,23	5,27	5,57	5,76	6,06
	16		4,89	5,04	4,89	5,04	5,26	5,41	5,79	5,94
1-17	39	32,83	4,74	5,04	4,74	5,04	5,11	5,41	5,64	5,94
	40		5,21	5,36	5,21	5,36	5,67	5,82	6,31	6,46
1-18	41	21,95	5,06	5,36	5,06	5,36	5,52	5,82	6,16	6,46
	18		6,41	6,56	6,41	6,56	6,91	7,06	7,62	7,77
1-19	40	71,65	6,26	6,56	6,26	6,56	6,76	7,06	7,47	7,77

## ANÁLISE DE QUANTITATIVOS DO DIMENSIONAMENTO

A planilha de orçamento fornecida pelo CEsG é uma planilha básica e resumida, que contém a descrição e o quantitativo dos principais materiais (insumos) e serviços determinantes para a implantação e execução de uma obra de SES, como também alguns custos que, no entanto, estão defasados. A seguir a Tabela 2 apresentam os quantitativos referente aos serviços de escoramento e escavação de vala das 4 alternativas.

**Tabela 2 – Quantitativos de escoramento e escavação de vala das alternativas de dimensionamento 1,2 e 3**

Quantitativos (alternativa 1 – 0,6 Pa)			Quantitativos (alternativa 2 – 1,0 Pa)		
Descrição	Qtd.	Un.	Descrição	Qtd.	Un.
<b>Escoramento de vala:</b>			<b>Escoramento de vala:</b>		
Sem escoramento	3.631,3	m <sup>2</sup>	Sem escoramento	3.631,3	m <sup>2</sup>
Descontínuo	125,8	m <sup>2</sup>	Descontínuo	125,8	m <sup>2</sup>
Contínuo	110,0	m <sup>2</sup>	Contínuo	110,0	m <sup>2</sup>
Metálico e Madeira	1.906,0	m <sup>2</sup>	Metálico e Madeira	1.906,0	m <sup>2</sup>
<b>Escavação de vala:</b>			<b>Escavação de vala:</b>		
0 a 2 m:	1.858,04	m <sup>3</sup>	0 a 2 m:	1.858,04	m <sup>3</sup>
2 a 4 m:	322,64	m <sup>3</sup>	2 a 4 m:	322,64	m <sup>3</sup>
4 a 6 m:	128,55	m <sup>3</sup>	4 a 6 m:	128,55	m <sup>3</sup>
Acima de 6m:	0,00	m <sup>3</sup>	Acima de 6m:	0,00	m <sup>3</sup>
<b>Volume total de Aterro:</b>	<b>2.309,23</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Volume total de Aterro:</b>	<b>2.309,23</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>Volume total de Reaterro:</b>	<b>1.581,19</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Volume total de Reaterro:</b>	<b>1.581,19</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

Quantitativos (alternativa 3 – 1,5 Pa)			Quantitativos (alternativa 4- 2,0 Pa)		
Descrição	Qtd.	Un.	Descrição	Qtd.	Un.
<b>Escoramento de vala:</b>			<b>Escoramento de vala:</b>		
Sem escoramento	3.452,40	m <sup>2</sup>	Sem escoramento	3.453,70	m <sup>2</sup>
Potaletamento	181,60	m <sup>2</sup>	Potaletamento	184,90	m <sup>2</sup>
Descontínuo	130,00	m <sup>2</sup>	Descontínuo	139,60	m <sup>2</sup>
Contínuo	115,50	m <sup>2</sup>	Contínuo	124,90	m <sup>2</sup>
Metálico e Madeira	2030,10	m <sup>2</sup>	Metálico e Madeira	2.207,20	m <sup>2</sup>
<b>Escavação de vala:</b>			<b>Escavação de vala:</b>		
0 a 2 m:	1860,80	m <sup>3</sup>	0 a 2 m:	1.866,45	m <sup>3</sup>
2 a 4 m:	335,95	m <sup>3</sup>	2 a 4 m:	339,70	m <sup>3</sup>
4 a 6 m:	159,36	m <sup>3</sup>	4 a 6 m:	205,14	m <sup>3</sup>
Acima de 6m:	527,51	m <sup>3</sup>	Acima de 6m:	1.341,01	m <sup>3</sup>
<b>Volume total de Aterro:</b>	<b>2883,62</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Volume total de Aterro:</b>	<b>3.752,30</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>Volume total de Reaterro:</b>	<b>1983,26</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Volume total de Reaterro:</b>	<b>2.591,34</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

Vale destacar que, quando do dimensionamento das alternativas de projeto, foi considerado o aterro em forma compactada no software, o que de certa forma influencia nos quantitativos presentes tanto no volume de aterro, quanto no volume de reaterro da Tabela 2.

As diferenças mais expressivas observadas dizem respeito aos quantitativos e, conseqüentemente aos custos, dos escoramentos e volumes de escavação, que por sua vez, estão diretamente relacionados à profundidade da rede, já discutido antes. É importante destacar, como já informado anteriormente, que não houve nenhuma diferença de quantitativo e custo entre as alternativas 1 e 2, resultado advindo do fato de que também não houve diferenças nas planilhas de resultados de dimensionamento, ou seja, a mudança do valor da tensão tratativa foi desprezível para este tipo de rede, no entanto, existem diferenças significativas entre estas duas alternativas e as alternativas 3 e 4, que serão expostas e discutidas a seguir.

- **Análise dos quantitativos com relação ao escoramento das valas**

Quando da análise em relação ao escoramento das valas, é possível observar que houve diferenças significativas nos quantitativos de área referente aos tipos de escoramento da rede. Isto se deve ao fato de que à medida que a profundidade da vala da rede aumentou foi necessário a utilização de tipos de escoramento que atendessem essas profundidades cada vez maiores, ocasionado devido à imposição da mudança da tensão tratativa mínima.

No entanto, analisando os dados da Tabela 2 de maneira percentual, por meio da Tabela 3 a seguir, é possível observar que o acréscimo obtido nas alternativas 3 e 4, tendo como base os quantitativos de escoramento das alternativas 1 e 2 – que são idênticos –, é respectivamente: 6,51% e 15,80% no escoramento tido como mais caro para esta rede, que é o escoramento do tipo misto (metálico-madeira); 3,34% e 10,97% no escoramento contínuo que possui custo mais baixo e; 5,00% e 13,54% no escoramento descontínuo que é um tipo de custo mediano.

**Tabela 3 – Avaliação percentual dos quantitativos de escoramento**

Descrição do tipo de escoramento	Avaliação percentual do quantitativo de escoramento com base nas alternativas 1 e 2		Avaliação percentual do quantitativo de escoramento da alternativa 4 com base na alternativa 3
	Alternativa 3 (1,5 Pa)	Alternativa 4 (2,0 Pa)	
Sem escoramento	-4,93%	-4,89	0,03 %
Potaletamento	-	-	1,82%
Descontínuo	3,34%	10,97%	7,38%
Contínuo	5,00%	13,54%	8,14%
Metálico-Madeira	6,51%	15,80%	8,72%



Os aumentos percentuais, com relação aos escoramento descontínuo (custo baixo), contínuo (custo mediano) e metálico-madeira (custo alto) não são tão expressivos quando se compara as alternativas 1/2 com a alternativa 3, já com relação a alternativa 4 estes três tipos possuem um aumento um pouco mais significativo. O mesmo raciocínio pode ser observado entre a alternativa 3 e 4.

Observa-se ainda que para a alternativa 3 e 4 aparece um novo escoramento, o Potaletamento, que apesar de ter o custo mais baixo de todos os outros tipos, ainda assim pode agregar um valor adicional ao orçamento. A diferença entre os quantitativos deste nas alternativas 3 e 4, porém, é praticamente irrisória.

Se for levado em consideração que as alternativas 3 e 4 impõe uma maior segurança com relação a autolimpeza e prevenção dos surgimentos dos sulfetos de hidrogênio na tubulação. O aumento destes quantitativos, obviamente, gera um custo maior para a implantação da rede, no entanto, isto ainda pode ser compensado pelo fato de que está sendo imposto uma maior durabilidade a mesma, naturalmente estabelecida com o aumento da tensão trativa.

- **Análise dos quantitativos com relação ao volume de escavação**

O volume de escavação da rede também está ligado à profundidade dos coletores, quanto mais profundo for o assentamento do coletor, maior será a quantidade de aterro que deverá ser retirado para a execução da vala e consequentemente, maior será também, o volume de reaterro destas valas. Neste sentido, a Tabela 2 também apresenta o volume de aterro e reaterro, de acordo com as alternativas de dimensionamento, demonstrando também que houve diferenças nestes temas.

Averiguando a Tabela 2, por meio de percentuais (Tabela 4), da mesma maneira que o escoramento das valas anteriormente, é possível observar que o acréscimo obtido nas alternativas 3 e 4, tendo como base os volumes de aterro e reaterro das alternativas 1 e 2 – que são idênticos –, é respectivamente de 24,87% e 62,49% com relação ao volume de aterro e; 25,43% e 63,88% com relação ao volume de reaterro das valas.

No que diz respeito ao aumento percentual dos volumes entre as alternativas 3 e 4, é possível observar que a alternativa 4 teve um aumento de 30,12% no volume de aterro com relação a alternativa 3 e; 30,66% com relação ao volume de reaterro.

**Tabela 4 – Avaliação percentual dos quantitativos de escavação**

Descrição	Percentual de acréscimo do volume de aterro e reaterro com base nas alternativas 1 e 2		Percentual de acréscimo do volume de aterro e reaterro da alternativa 4 com base na alternativa 3
	Alternativa 3 (1,5 Pa)	Alternativa 4 (2,0 Pa)	
Volume de aterro	24,87 %	62,49 %	30,12 %
Volume de reaterro	25,43 %	63,88 %	30,66 %

É perceptível que a alternativa 3 apesar de utilizar uma tensão trativa mínima maior que as alternativas 1 e 2 ainda assim se apresentou com percentuais relativamente próximos as mesmas. Já a alternativa 4 apresentou percentuais acima de 50% com relação as alternativas 1 e 2 e um percentual considerável em torno de 30% com relação a alternativa 3.

## ANÁLISE ECONÔMICA

Com o objetivo de apresentar uma análise a partir de custos mais recentes e baseado em um sistema de preço referencial utilizado nacionalmente, a planilha fornecida pelo *CEsg* foi reformulada a partir de composições referenciais de custos da tabela do Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI (ref.: set/2020 – Pernambuco).

A Tabela 5 a seguir, mostra os itens que foram discutidos anteriormente, acrescidos dos custos obtidos por meio do SINAPI. Reitera-se, no entanto, que todos os quantitativos permaneceram inalterados e todas as

composições adotadas são compatíveis com os serviços descritos por meio da planilha de orçamento concebida no *software* *CEsg*.

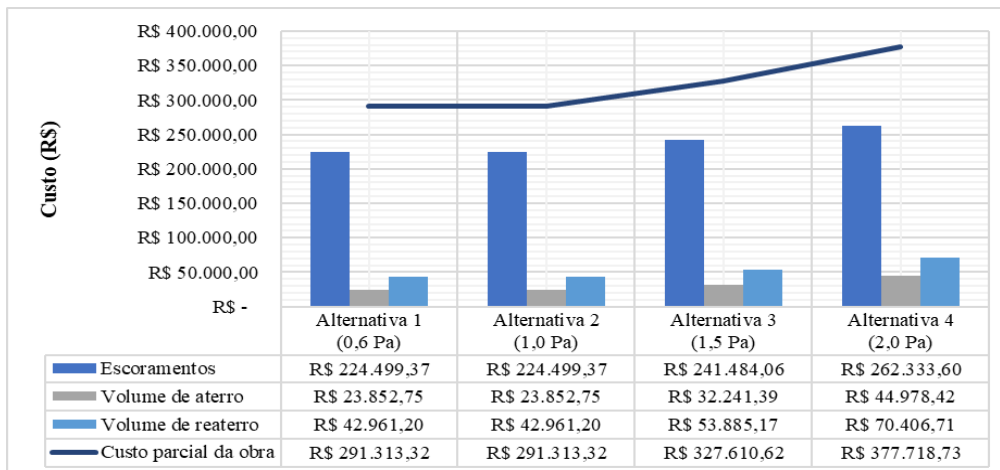
**Tabela 5 – Planilha orçamentária sintética básica do projeto**

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO VICENTE FÉRRER-PE				Referências: SINAPI(ref.:Set/2020-PE) SANEPAR (ref.: Set/2020)  Data-base: 2020									
LOTEAMENTO MIGUEL ARRAES DE ALENCAR													
PROJETO DE SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO													
PLANILHA ORÇAMENTÁRIA SINTÉTICA BÁSICA													
ITEM	REF.	DESCRIÇÃO	UD.	PREÇO UNITÁRIO (R\$)	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3		ALTERNATIVA 4		
					QTD.	PREÇO TOTAL (R\$)	QTD.	PREÇO TOTAL (R\$)	QTD.	PREÇO TOTAL (R\$)	QTD.	PREÇO TOTAL (R\$)	
<b>1 MOVIMENTO DE TERRA</b>													
1.1	SINAPI 72915	ESCAVAÇÃO MECANICA DE VALA EM MATERIAL DE 2A. CATEGORIA ATE 2 M DE PROFUNDIDADE COM UTILIZACAO DE ESCAVADEIRA HIDRAULICA	M³	9,95	1858,04	18.487,50	1858,04	18.487,50	1860,8	18.514,96	1.866,45	18.571,18	
1.2	SINAPI 72917	ESCAVAÇÃO MECANICA DE VALA EM MATERIAL 2A. CATEGORIA DE 2,01 ATE 4,00 M DE PROFUNDIDADE COM UTILIZACAO DE ESCAVADEIRA HIDRAULICA	M³	11,35	322,64	3.661,96	322,64	3.661,96	335,95	3.813,03	339,70	3.855,60	
1.3	SINAPI 72918	ESCAVAÇÃO MECANICA DE VALA EM MATERIAL 2A. CATEGORIA DE 4,01 ATE 6,00 M DE PROFUNDIDADE COM UTILIZACAO DE ESCAVADEIRA HIDRAULICA	M³	13,25	128,55	1.703,29	128,55	1.703,29	159,36	2.111,52	205,14	2.718,11	
1.4	SANEPAR 04204	ESCAVAÇÃO MECÂNICA DE VALAS EM QUALQUER TIPO DE SOLO, EXCETO ROCHA, COM ATÉ 8,00 M DE PROFUNDIDADE.	M³	14,79	0	-	0	-	527,51	7.801,87	1.341,01	19.833,54	
<b>2 REATERRO</b>													
2.1	SINAPI 93382	REATERRO MANUAL DE VALAS COM COMPACTAÇÃO MECANIZADA. AF_04/2016	M³	27,17	1581,2	42.961,20	1581,19	42.960,93	1983,26	53.885,17	2.591,34	70.406,71	
<b>3 ESCORAMENTO DE VALAS</b>													
3.1	SINAPI 101570	ESCORAMENTO DE VALA, TIPO PONTALETEAMENTO, COM PROFUNDIDADE DE 0 A 1,5 M, LARGURA MENOR QUE 1,5 M. AF_08/2020	M²	13,63	0	-	0	-	181,6	2.475,21	184,90	2.520,19	
3.2	SINAPI 101578	ESCORAMENTO DE VALA, TIPO DESCONTÍNUO, COM PROFUNDIDADE DE 1,5 M A 3,0 M, LARGURA MENOR QUE 1,5 M. AF_08/2020	M²	17,56	125,8	2.209,05	125,8	2.209,05	130	2.282,80	139,60	2.451,38	
3.3	SINAPI 101586	ESCORAMENTO DE VALA, TIPO CONTÍNUO, COM PROFUNDIDADE DE 3,0 A 4,5 M, LARGURA MENOR QUE 1,5 M. AF_08/2020	M³	22,64	110	2.490,40	110	2.490,40	115,5	2.614,92	124,90	2.827,74	
3.4	SANEPAR 050301	ESCORAMENTO MISTO (METÁLICO-MADEIRA) TIPO HAMBURGUESES	M³	115,32	1906	219.799,92	1906	219.799,92	2030,1	234.111,13	2.207,20	254.534,30	
<b>PREÇO TOTAL (SEM B.D.I.):</b>					<b>R\$</b>	<b>291.313,32</b>	<b>R\$</b>	<b>291.313,05</b>	<b>R\$</b>	<b>327.610,62</b>	<b>R\$</b>	<b>377.718,73</b>	

A partir da Tabela 5 foi elaborado o gráfico da Figura 5 também a seguir, que é bastante importante para o entendimento e análise dos custos parciais, bem como para determinar a escolha da alternativa que melhor se adequa, do ponto de vista técnico-econômico, ao loteamento.

É interessante reiterar que, a partir do gráfico da Figura 5, juntamente com as questões observadas na planilha de resultados, as alternativas 1 e 2 possuem os mesmos custos, de maneira que a mudança da tensão trativa mínima em nada influenciou de um pra outro, já que suas declividades se mantiveram constantes.

Outro ponto importante é que, de acordo com os estudos de Machado Neto e Tsutiya (1985 apud ALEM SOBRINHO, TSUTIYA, 1999), tubulações de diâmetros inferiores a 500 mm que apresentam tensão trativa de 1,0 Pa, embora consigam garantir a autolimpeza dos condutos, ainda podem apresentar pontos de surgimento de limo e ataque de sulfetos de hidrogênio, o que apontaria que, um valor seguro de tensão trativa para redes coletoras de esgoto deveria ser acima de 1,0 Pa, se o projetista quiser eliminar, de maneira ainda mais considerável, o surgimento de limo e ataque de sulfetos de hidrogênio. No entanto, estes autores afirmam também que outros autores consideram, que normalmente não há geração de sulfetos nas redes coletoras por causa da presença de oxigênio no esgoto, bem como por causa da adoção de materiais como o PVC, que não são atacados por ácido sulfúrico.



**Figura 5 – Comparação dos custos parciais dos principais serviços**

Observando o gráfico da Figura 5 percebe-se que a diferença de custos da alternativa 3 para a 1 e a 2, sendo esta última a recomendada pela NBR 9649:1986, é de apenas 12,45% e ainda, levando em consideração os estudos relacionados à tensão trativa, bem como observando, também por meio do gráfico da Figura 5, que a alternativa 4 já fica bem mais onerosa, cerca de 29,66% mais cara, é considerável declarar que a alternativa 3 é a mais indicada para o loteamento, já que, embora tenha um custo um pouco maior que a alternativa 1 e 2, esse custo será disseminado na duração de atuação da rede e também garantirá uma maior segurança ao sistema no que diz respeito ao surgimento de limo e consequente ataque de sulfetos de hidrogênio.

Essa análise permite perceber que nem sempre utilizar o valor mínimo de tensão trativa determinado pela norma, sem antes avaliar outros cenários é sempre a melhor decisão a se tomar. O estudo aqui delineado demonstra que, as vezes, a critério do projetista, o custo-benefício de se utilizar um valor de tensão maior é melhor, já que a rede, embora apresente um custo um pouco maior, terá garantia de uma maior durabilidade e menor risco de ataque a sulfetos e surgimento de limo.

## CONCLUSÃO/RECOMENDAÇÕES

A tensão trativa mínima tem relação direta com a declividade dos coletores e consequentemente, com a profundidade, escoramento e escavação das valas, bem com os custos da obra, o que o torna um parâmetro muito importante para análise de projetos. Assim, observou-se que para valores de tensão trativa de 0,6 Pa e 1,0 Pa, o custo final de execução de uma obra de sistema de esgotamento sanitário não apresentou variação. Já as tensões de 1,5 Pa e 2,0 Pa ocasionaram aumento no quantitativo de serviços e consequentemente nos custos.

A alternativa de 1,5 Pa apresentou apenas 12,46% de aumento em relação as tensões de 0,6 e 1,0 Pa, valor este considerado viável, pois o aumento da tensão trativa, implica em melhorias comprovadas para a rede no que diz respeito à durabilidade.

Por fim, este estudo serve como importante suporte para o avanço de pesquisas na área de esgotamento sanitário, sobretudo na análise de parâmetros de projeto que visem melhorar e modificar o senso crítico de projetistas para a consideração destes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALÉM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. *Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário*. 1º ed. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999, 547 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 9649*: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, nov. 1986b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 14486*: Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário – projeto de redes coletoras com tubos de PVC. Rio de Janeiro: ABNT, mar. 2000.

4. AZEVEDO NETTO et al. Manual de Hidráulica. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015.
5. BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 245º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos -2019*. 2020. Brasília: SNS/MDR. 190 p. 2019. Disponível em: [http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico\\_SNIS\\_AE\\_2019\\_Publicacao\\_31032021.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico_SNIS_AE_2019_Publicacao_31032021.pdf). Acesso em 19 mai. 2021.
6. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. *Investimentos em saneamento com recursos do fundo de garantia do tempo de serviço (FGTS): uma agenda de simplificação e otimização*. Brasília: CNI, 2017. 58 p. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/uploads/estudo-investimentos-em-saneamento-com-recursos-do-fgts.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2020.
7. GARCIA, M. S. D.; FERREIRA. M. P. Saneamento básico: meio ambiente e dignidade humana. *Dignidade Re-Vista*, v. 2, n. 3, p. 12, jul 2017. ISSN 2525-698X. Disponível em: <http://periodicos.puc-rio.br/index.php/dignidaderevista/article/view/393>. Acesso em: 13 abr. 2020.
8. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Séries históricas e estatísticas*. Disponível em: <https://serieestatisticas.ibge.gov.br/default.aspx>. Acesso em: 14 fev. 2020.