

# Impacto da tensão trativa adotada no dimensionamento de rede coletora de esgoto sanitário sobre os seus custos construtivos



*Impact of the shear stress adopted in the design of the sewage collection network on its construction costs*


- **Data de entrada:** 20/03/2021
- **Data de aprovação:** 01/02/2022

Gracielle Ferreira de Souza<sup>1\*</sup> | Gilson Barbosa Athayde Júnior<sup>1</sup> | Leonardo Vieira Soares<sup>1</sup> | Mayara Cinthia de Oliveira Mesquita<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2023.011>

## ORCID ID

Souza GF  <https://orcid.org/0000-0001-6634-5018>  
Athayde Júnior GB  <https://orcid.org/0000-0003-2815-7600>

Soares LV  <https://orcid.org/0000-0001-8367-2766>  
Mesquita MCO  <https://orcid.org/0000-0003-2880-0600>

## Resumo

A tensão trativa é um parâmetro de projeto que pode influenciar nos custos da rede coletora de esgotos. Nesse sentido, esta pesquisa tem a finalidade de analisar os efeitos da adoção de valores mínimos de tensão trativa para o dimensionamento de rede coletora de esgoto sanitário sobre os custos associados para variados cenários topográficos. Para efeito de estudo, com o auxílio do *software* CEsg, foi realizado o dimensionamento de 50 cenários com traçados idênticos da rede coletora e com diferentes padrões de declividade predominante e tensão trativa mínima. Para cada padrão de declividade identificou-se o valor máximo de tensão trativa mínima de projeto de modo que não apresentasse aumento significativo no custo global da obra. Os resultados obtidos mostraram que a tensão trativa e a topografia exercem papéis determinantes no custo e que as áreas com menores declividades são mais impactadas pelo aumento no valor da tensão trativa mínima adotada em projeto.

**Palavras-chave:** Sistema de esgotamento sanitário. Profundidade. Declividade. Tensão trativa mínima. Custo de construção.

## Abstract

*The shear stress is a design parameter that can influence the costs of a sewage collection network. In this sense, this research aims to analyze the effects of the adoption of minimum values of shear stress for the dimensioning of sewage collection network on the associated costs for various topographic scenarios. For the purpose of study, with the aid of the CEsg software, 50 scenarios were dimensioned, with identical tracings of the collecting network and with different slope pattern and minimum shear stress configurations. For each slope pattern, the maximum value of minimum shear stress of the project was identified so that it did not present a significant increase in the overall cost of the work. The results showed that the shear stress and slope pattern play decisive roles in cost and that the areas with less slope are more impacted by the increase in the value of the minimum shear stress adopted in the project.*

**Keywords:** Sewerage system. Depths. Slope. Shear stress. Construction cost.

<sup>1</sup> Universidade Federal da Paraíba (UFPB) - João Pessoa - Paraíba - Brasil.

\* **Autora correspondente:** [graciellef.souza@hotmail.com](mailto:graciellef.souza@hotmail.com).

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a Lei Federal Nº 11.445/2007, o saneamento básico é definido como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais que compreendem o abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem e manejo de águas pluviais e resíduos sólidos (BRASIL, 2007). O esgotamento sanitário abrange as etapas de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos esgotos sanitários.

As ações de saneamento são instrumentos facilitadores da promoção da saúde da população e aumento da qualidade de vida. No entanto, no Brasil existe um déficit nos serviços de coleta e tratamento de esgotos, em que, segundo o estudo elaborado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional, no ano de 2018, constatou-se que apenas 53,2% da população brasileira era atendida com rede coletora de esgoto, dos quais apenas 21,7% dos esgotos coletados eram tratados (BRASIL, 2019a).

Dessa maneira, para que ocorra a universalização dos sistemas de esgotamento sanitário no Brasil, são imprescindíveis investimentos em infraestrutura. Assim, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) apresenta uma meta de construção de redes coletoras de esgoto, para a qual, até o ano de 2033, almeja-se alcançar 92% do esgotamento sanitário no Brasil, considerando as áreas urbanas e rurais (BRASIL, 2019b). Segundo o PLANSAB, o total de investimentos até o ano mencionado é de aproximadamente R\$ 181 bilhões para os sistemas de esgoto. Entretanto, os altos custos associados aos sistemas de esgotamento sanitário têm se apresentado como um dos principais fatores limitantes para a implantação desses sistemas (IZQUIERDO et al., 2008; RODRIGUES et al., 2020).

Ferreira, R. (2013), ao analisar os custos de implantação para a rede coletora apresentado pelo Ministério das Cidades no ano de 2008, demons-

trou que a rede coletora de esgoto apresenta uma média de 43% do custo global para implantação do sistema. Assim, a construção da rede coletora é um dos fatores de maior impacto no custo global de obras de esgotamento sanitário (RODRIGUES; COSTA; CASTRO, 2012).

No que se refere ao custo de uma rede coletora de esgoto, Tsutiya e Além Sobrinho (2000) citam que os serviços de poços de visita, reposição de pavimentos, escoramento, escavação e reaterro de valas possuem maior peso no custo total. Os três últimos serviços estão concatenados à profundidade da rede, que por sua vez está relacionada ao valor mínimo da tensão trativa adotado para o dimensionamento da rede na fase de projeto, dentre outros fatores.

A tensão trativa tem papel significativo no dimensionamento da rede coletora de esgoto, em relação à vida útil dos coletores, no que diz respeito à autolimpeza dos condutores e influência no controle dos sulfetos. A norma NBR 9649 (ABNT, 1986) recomenda a tensão trativa mínima de 1,0 Pa para condutores de concreto ou cerâmica, enquanto a norma NBR 14486 (ABNT, 2000) recomenda o valor de 0,6 Pa para tubos de PVC. Quanto maior a tensão trativa, melhores são as condições de autolimpeza da rede coletora de esgotos, mas por outro lado podem resultar em maiores custos de execução do projeto.

De acordo com Queiroz et al. (2018), a tensão trativa é um dos critérios mais importantes para propiciar o correto dimensionamento de redes de esgoto, e a topografia assume um papel determinante na configuração da tensão trativa e, respectivamente, nos custos de implantação da rede. Montes et al. (2017) averiguaram que, em redes de sistema de drenagem e de sistemas de esgotamento sanitário implantadas em terrenos que possuem declividades mais acentuadas, o crescimento do custo acompanhou o aumento da tensão trativa.

Diante do exposto, a realização de estudos que visam encontrar um valor ótimo de tensão trativa, aqui definido como sendo o maior valor sem que haja aumento expressivo de custos associados à construção da rede, é de grande relevância para proporcionar melhor funcionamento e durabilidade dos condutores sem acréscimos nos investimentos necessários.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo analisar os efeitos da adoção de valores mínimos de tensão trativa para o dimensionamento de rede coletora de esgoto sanitário sobre os custos associados para variados cenários topográficos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

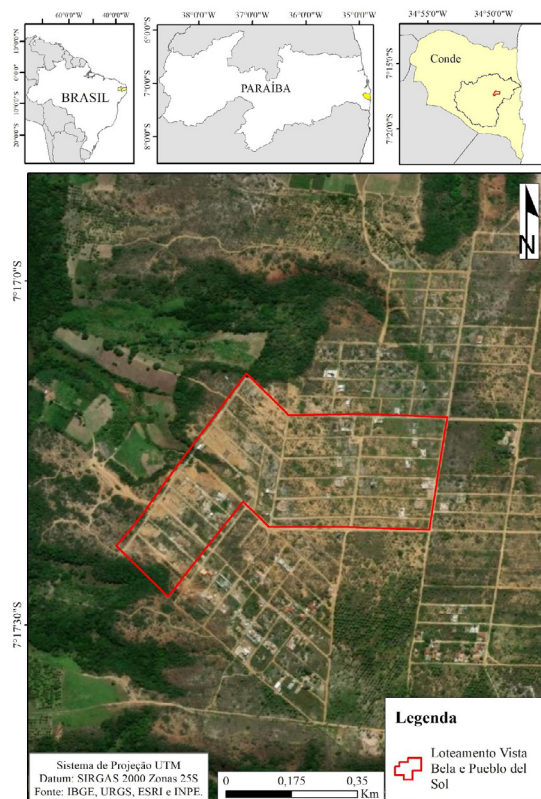
### 2.1 Localização e caracterização da área de estudo

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi adotada a área na qual foram implantados os lotea-

mentos Vista Bela e Pueblo Del Sol no município do Conde-PB (Fig. 1).

A área de estudo é caracterizada por dois loteamentos com 257.926,03 m<sup>2</sup>, estruturados em 24 quadras, e com uso previsto do solo para empreendimentos do tipo residencial. A partir dessa área, com sua respectiva topografia, foram simuladas outras áreas por meio da ampliação e da redução das declividades do terreno modelo, totalizando cinco áreas de estudo com padrões de declividade distintos.

Com base em uma topografia real, foram simulados quatro modelos de terrenos que se enquadram nas cinco classes de relevo referidas por Santos (2018) (plano, suave ondulado, ondulado e forte ondulado), caracterizando diferenças topográficas, com declividades acentuada, intermediária e plana.



**Figura 1** - Localização da área de estudo  
**Fonte:** Souza (2021)

### 2.1.1 Simulação da declividade da área

Delimitou-se, inicialmente, a área habitada do loteamento, fixado o ponto mais alto e o mais baixo, e traçou-se uma linha interceptando todas as curvas de níveis da área de estudo, assim como foi verificada a distância entre os pontos citados (Fig. 2).

A partir de uma das cotas consideradas mais baixas, fixou-se o ponto de origem da topografia do terreno na curva C1, com altimetria de 47 metros, e assim para cada curva de nível do terreno modelo foi feito o levantamento da diferença de nível entre a cota origem e as demais cotas da área.

Para determinação dos terrenos derivados, o relevo foi definido pelas diferentes topografias estipula-






das por amplificação ou redução das altimetrias das curvas do modelo de terreno, que por sua vez foram adotadas duas transformações lineares, do tipo:

$$Cota_{hipotética\ 1} = (\Delta H_{real} \times \text{fator de escala}) + \text{cota de origem} \quad (1)$$

$$Cota_{hipotética\ 2} = (\Delta H_{real} \div \text{fator de escala}) + \text{cota de origem} \quad (2)$$

Onde:  $\Delta H_{real}$  é o desnível do terreno modelo; para o fator de escala, foram adotados os valores de 2 e 5, de forma que as novas topografias representassem as cinco condições comuns dos relevos brasileiros.

#### LEGENDA:

-  CURVAS DE NÍVEL MESTRAS
-  CURVAS DE NÍVEL SECUNDÁRIAS
-  TRECHO QUE INTERLIGA O PONTO MAIS ALTO AO PONTO MAIS BAIXO DA CURVA DE NÍVEL
-  TRAÇADO DA ÁREA DE ESTUDO
-  MARCAÇÃO DE PONTOS (P1 - PONTO MAIS ALTO E P2 - PONTO MAIS BAIXO)

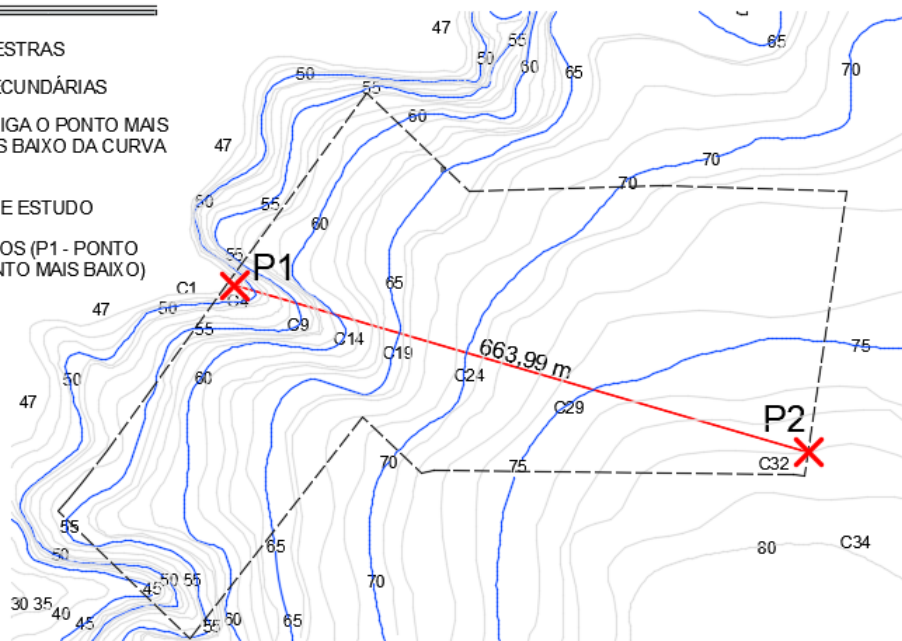


Figura 2 - Levantamento altimétrico e delimitação da área de estudo

Dessa maneira, para determinar as altitudes das curvas de nível dos novos terrenos, foi aplicada a transformação 1 para determinar as duas topografias com declividades mais suaves em relação ao terreno modelo, e a transformação 2

para apresentar duas topografias com declividades mais acentuadas, resultando na geração de quatro topografias hipotéticas. Ambas as transformações foram aplicadas a todas as curvas de nível do terreno original.

E, a partir das declividades encontradas, os tipos do relevo foram categorizados, segundo as classes preconizadas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SIBCS (SANTOS, 2018).

### 2.1.2 Determinação dos cenários

Determinaram-se, para efeito de análise, cinquenta cenários, abrangendo cinco tipos de topografia e adotando valores distintos de tensão trativa mínima de projeto que atendam às condições de autolimpeza e de prevenção de geração de sulfetos. Assim, com o intuito de averiguar o comportamento da mudança desses valores frente aos custos e benefícios para implantação

de um sistema de esgotamento sanitário, foram adotados valores de tensão trativa mínimas entre o intervalo de 0,6 – 3,0 Pa.

A definição dos valores das tensões trativas para compor o intervalo de investigação tomou como valor mínimo 0,6 Pa, referente à tensão mínima para tubos de PVC (coeficiente de Manning de 0,010), enquanto 1,0 Pa é baseado no valor mínimo sugerido pela norma vigente para tubos de concreto armado (coeficiente de Manning de 0,013), a NBR 9649 (ABNT, 1986), e os demais valores foram adotados sobre os critérios práticos. A seguir, no Quadro 1, pode-se observar a simbologia dada para cada cenário, para facilitar a associação dos elementos.

**Quadro 1** - Configuração dos cenários

Tensão Trativa Mínima (Pa)		0,6	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2	2,5	3
Topografia 1	Cenários	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Simbologia	TOP1/T0,6	TOP1/T1,0	TOP1/T1,1	TOP1/T1,2	TOP1/T1,3	TOP1/T1,4	TOP1/T1,5	TOP1/T2,0	TOP1/T2,5	TOP1/T3,0
Topografia 2	Cenários	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Simbologia	TOP2/T0,6	TOP2/T1,0	TOP2/T1,1	TOP2/T1,2	TOP2/T1,3	TOP2/T1,4	TOP2/T1,5	TOP2/T2,0	TOP2/T2,5	TOP2/T3,0
Topografia 3	Cenários	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Simbologia	TOP3/T0,6	TOP3/T1,0	TOP3/T1,1	TOP3/T1,2	TOP3/T1,3	TOP3/T1,4	TOP3/T1,5	TOP3/T2,0	TOP3/T2,5	TOP3/T3,0
Topografia 4	Cenários	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	Simbologia	TOP4/T0,6	TOP4/T1,0	TOP4/T1,1	TOP4/T1,2	TOP4/T1,3	TOP4/T1,4	TOP4/T1,5	TOP4/T2,0	TOP4/T2,5	TOP4/T3,0
Topografia 5	Cenários	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	Simbologia	TOP5/T0,6	TOP5/T1,0	TOP5/T1,1	TOP5/T1,2	TOP5/T1,3	TOP5/T1,4	TOP5/T1,5	TOP5/T2,0	TOP5/T2,5	TOP5/T3,0

## 2.2 Concepção do projeto

A concepção do projeto foi desenvolvida com o software CEsg, versão 7.0.1 (jan/2002), criado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) para a empresa Tubos e Conexões Tigre Ltda, que segue os padrões das normas brasileiras referentes a projetos de esgotamento sanitário (FCTH, 2006). Por meio do CEsg foi feito o traçado, o dimensionamento da rede e o levantamento quantitativo prévio dos serviços para elaboração das planilhas orçamentárias.

### 2.2.1 Estudo do traçado da rede coletora

A partir da topografia do terreno modelo, foram simuladas as novas topografias por meio de alterações das altitudes das curvas de níveis.

Após a exportação da planta no software, foi realizado o traçado da rede coletora na plataforma do programa, de forma que as canalizações dos coletores funcionem como condutos livres. Assim, a rede de esgoto foi iniciada nas cotas mais elevadas, no sentido para as cotas mais baixas,

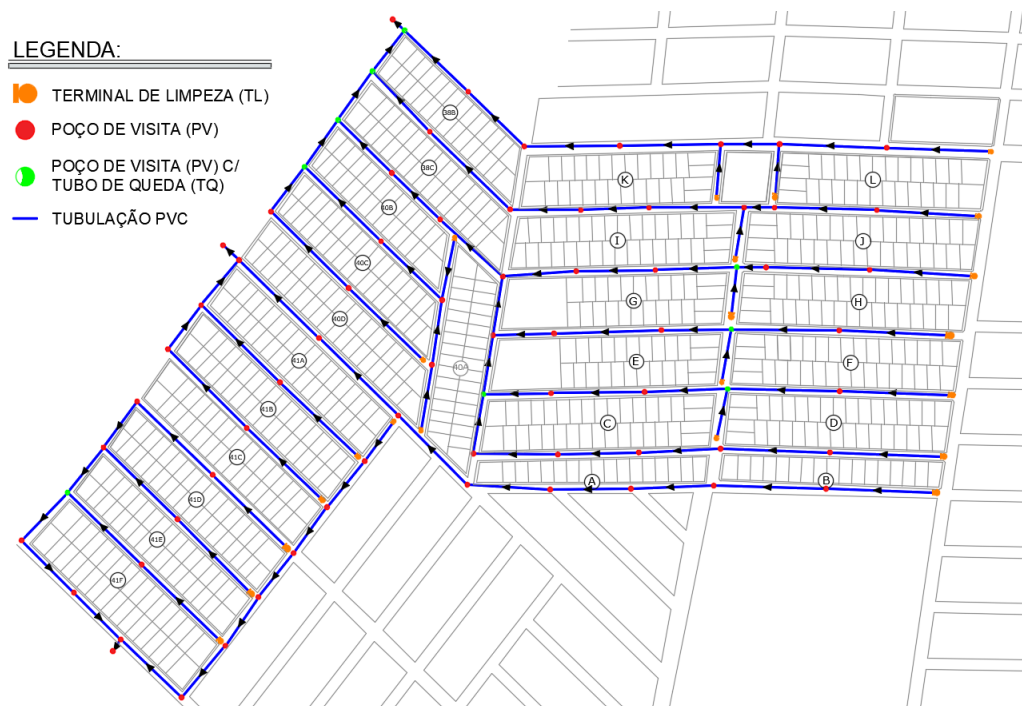
seguindo sempre que possível as declividades do terreno. Os órgãos acessórios foram alocados nos pontos de singularidades, bem como no início e na reunião de coletores; e nas mudanças de direção, obedecendo à distância máxima de 100 metros entre eles (Fig. 3).

A rede de esgoto do loteamento foi definida como uma rede do tipo leque, no qual o coletor tronco se localiza na parte baixa da bacia e a partir dele incidem os coletores secundários (TSU-TIYA; ALEM SOBRINHO, 2000). Devido a alguns

trechos críticos da topografia, foi necessária a alocação de três pontos de descarga.

As redes de esgoto foram representadas com um traçado idêntico para todas as topografias em estudo, pois o traçado da rede intervém no custo global de construção (RODRIGUES, 2011; FERREIRA, R., 2013; RODRIGUES et al., 2020).

Dessa forma, foi utilizado o mesmo traçado para todas as topografias em estudo; assim, apenas a tensão trativa mínima e as profundidades das valas foram as variáveis do estudo



**Figura 3** - Delineamento da rede de esgoto no Cesp

### 2.3 Dimensionamento da rede coletora

No processo de dimensionamento hidráulico foram inseridos alguns dados reais para os cálculos, que são caracterizados por critérios ou parâmetros específicos do projeto, determinados por normas brasileiras ou estimados.

Considerou-se que o material da tubulação é PVC, cujo coeficiente de Manning é igual a

0,010, e o método de cálculo adotado foi o método de Manning. Em relação ao ajuste de rugosidade pela velocidade, critério em que a rugosidade da tubulação é estimada a partir da velocidade calculada no dimensionamento, foi adotado um ajuste inferior, enquanto no ajuste de cotas intermediárias adotaram-se curvas de nível, por ser o mais preciso. Além disso, o tipo de escoramento foi definido automaticamente

te pelo *software*, baseado na profundidade de cada trecho de vala.

Os dados utilizados para dimensionamento da rede estão descritos a seguir:

- População de início de plano: 1436 habitantes
- População de fim de plano: 5744 habitantes
- Consumo de água efetivo per capita: 100 l/hab x dia
- Coeficiente de retorno: 0,8
- Coeficiente de máxima vazão diária: 1,2
- Coeficiente de máxima vazão horária: 1,5
- Taxa de contribuição de infiltração: 0,2 l/s x km
- Vazão mínima: 1,50 l/s
- Diâmetro mínimo: 150 mm
- Recobrimento mínimo: 0,90 m
- Profundidade máxima: 8,00 m
- Velocidade máxima: 5,00 m/s
- Altura do degrau mínima: 0,20 m
- Altura do degrau máxima: 0,50 m
- Declividade mínima construtiva: 0,0050 m/m

#### 2.4 Análise do dimensionamento hidráulico

Para a realização do dimensionamento hidráulico, todos os dados foram mantidos e apenas a tensão trativa mínima foi sendo modificada para cada cenário. Deste modo, foi analisado o comportamento das profundidades médias em relação a duas perspectivas, a variação da topografia e das tensões trativas no intervalo de 0,6 Pa a 3,0 Pa. Além disso, foi verificado para cada topografia o comportamento do diâmetro e recobrimento dos coletores.

#### 2.5 Concepção das planilhas orçamentárias

Inicialmente, para a realização da etapa para concepção do orçamento, foi feito o levantamento de quantitativos de serviços da rede, limitando apenas os serviços que estão alinhados com os valores das profundidades das valas, como os serviços de escavação e reaterro de valas (movi-

mento de terra), escoramento e implantação de órgãos acessórios. Em sequência, foi verificada a variação dos quantitativos referente às etapas de movimento de terra e escoramento de valas na medida do crescimento do valor da tensão trativa para os tipos de topografias em estudo.

Para início do processo de orçamentação, foi adotado o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) para obter as composições de preços unitários (CPU) e os seus respectivos custos dos serviços para execução das redes coletoras, com data base 11/2020. E assim, por meio da plataforma OrçaFascio, foi possível a concepção das planilhas orçamentárias.

Dessa maneira, foram elaboradas duas planilhas orçamentárias padrão, diferenciando-se apenas a categoria do tipo do solo, para verificar como essa variável pode influenciar no custo final de uma obra de esgotamento sanitário.

##### 2.5.1 Análise dos custos unitários

A elaboração de uma planilha orçamentária a partir de tabelas referenciais de custos deve considerar as especificações do projeto e do local, uma vez que, em função da localidade, pode existir variação dos preços unitários referentes às variáveis de materiais, mão de obra, equipamentos e transportes.

Dessa maneira, o levantamento de custos unitários contemplou um estado em cada região do país, totalizando cinco estados no território brasileiro (Amazonas, São Paulo, Rio Grande do Sul, Goiás e Paraíba). Assim, foi adotada a mesma metodologia de análise de custos para planilha orçamentária de cada estado e tipo de categoria do solo.

A princípio, por meio das planilhas orçamentárias, foi possível verificar o custo final de todos os cenários em estudo de modo a identificar a variação do custo perante as tensões trativas

mínimas adotadas em projeto e declividades das áreas de implantação da rede. Além disso, identificou-se o valor máximo de tensão trativa mínima de projeto para cada padrão de declividade, de modo que não apresentasse aumento significativo no custo final da obra, como também se destacou para cada intervalo de tensões trativas a topografia que apresentou valores mínimos de custo de implantação em relação às demais.

Na sequência foram notados o cenário mais oneroso e o cenário considerado o mais vantajoso (definido na pesquisa como aquele que possui a mesma profundidade do cenário caracterizado por obter menor profundidade média do estudo, porém com tensão trativa mínima superior).

Por último, foi feita a comparação dos custos unitários dos serviços para as duas classes de solo, primeira e segunda categoria, e verificou-se a diferença de custos para diferentes estados brasileiros (Amazonas, São Paulo, Rio Grande do Sul, Goiás e Paraíba).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Concepção das topografias

Simularam-se quatro padrões de declividade da área hipotéticas (além da real), por meio da interação das fórmulas 1 e 2 com as curvas de nível da topografia modelo. O resultado da simulação do padrão topográfico pode ser visualizado no Quadro 2, no qual é possível observar que as cinco topografias em estudo abrangem todos os tipos de relevo brasileiro que são admitidos para uma construção de um sistema de esgotamento sanitário, apontando uma abrangência da pesquisa para a tipicidade de relevos encontrados em território brasileiro.

A Fig. 4 ilustra a distribuição das declividades em cada topografia, expondo a diferença de relevo por toda a extensão da área de estudo, onde pode-se observar que as topografias 1 e 2 apresentaram ocorrência predominante de área com declives menores do que 3%, caracterizando o relevo plano.

**Quadro 2** - Classificação do relevo das topografias em estudo

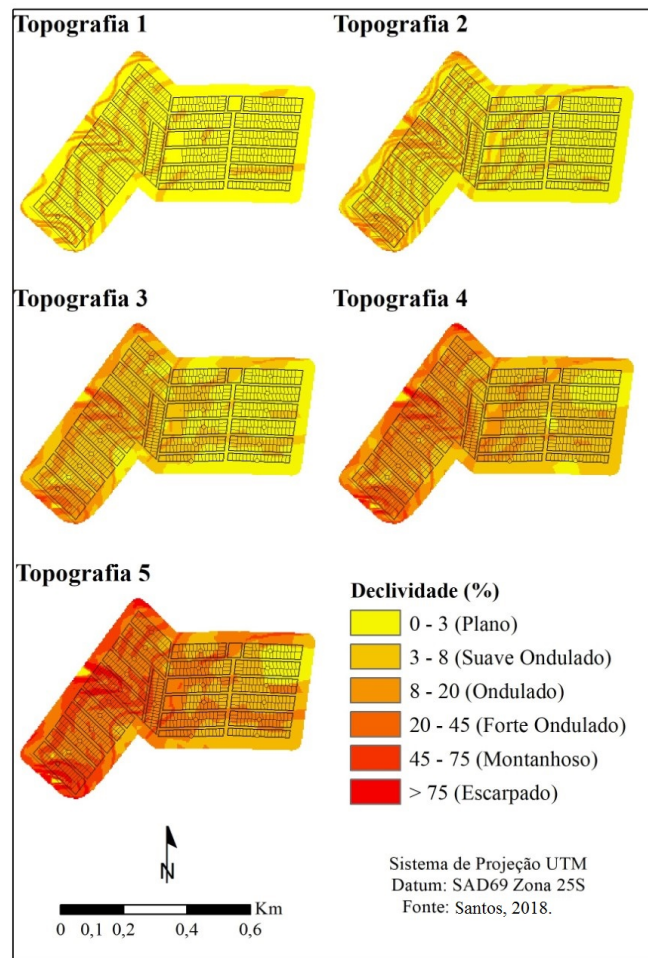
Topografias	Declividade do Terreno (%) <sup>*</sup>	Classificação do relevo quanto à declividade	Amplitude Altimétrica (m)
Topografia 1	0,93	Plano (0-3%)	6,2
Topografia 2	2,33	Plano (0-3%)	16
Topografia 3	4,67	Suave ondulado (3-8%)	31
Topografia 4	9,34	Ondulado (8-20%)	62
Topografia 5	24,85	Forte ondulado (20-45%)	155

<sup>\*</sup>Declividade proveniente da linha imaginária (P1P2), entre o ponto mais alto e o mais baixo da área.

As topografias 3 e 4 apresentaram superfície pouco variável, apontando a incidência de áreas com declividades de 3 a 8% e 8 e 20%, respectivamente. Já a topografia 5 apresentou-se uma superfície formada por outeiros e/ou morros com predominância de declives de 20 a 45%.

As redes em estudo foram caracterizadas por uma extensão de 6.626 metros, com 22 coletores subdivididos em 94 trechos e 97 órgãos acessórios (poço de visita e poço de visita com tubo de queda). Além disso, elas foram projetadas em topografias que possuem algumas seções em declive e em aclave, em relação à direção do escoamento do esgoto, que se tornaram obstáculos para o fluxo em gravidade, derivando o aprofundamento acentuado de determinados trechos da rede. Foram adotados três pontos de descarga com o intuito de diminuir as profundidades dos coletores.





**Figura 4** - Disposição das declividades nas topografias em estudo

### 3.2 Análise geométrica – traçado das redes e dispositivos empregados

As redes em estudo foram caracterizadas por uma extensão de 6.626 metros, com 22 coletores subdivididos em 94 trechos e 97 órgãos acessórios (poço de visita e poço de visita com tubo de queda). Além disso, elas foram projetadas em topografias que possuem algumas seções em declive e em alicive, em relação à direção do escoamento do esgoto, que se tornaram obstáculos para o fluxo em gravidade, derivando o aprofundamento acentuado de determinados trechos da rede. Foram adotados três pontos de descarga, com o intuito de diminuir as profundidades dos coletores.

### 3.3 Análise do dimensionamento hidráulico e das planilhas orçamentárias

Segundo Rodrigues, Costa e Castro (2012), os diâmetros dos coletores apresentam influência nos custos referentes aos serviços de escavação e escoramento de valas. Neste estudo, essa variável não interferiu nos custos globais das redes coletoras, pois em função das baixas vazões, em todos os trechos de todos os cenários, o diâmetro resultante foi de 150 mm, valor mínimo estabelecido para o dimensionamento dos trechos.

O recobrimento dos coletores é uma variável dependente do diâmetro da tubulação e da profun-

didade da vala, e como o diâmetro manteve-se constante, os recobrimentos dos coletores acompanharam o comportamento das profundidades.

Para a variável profundidade, pode-se observar na Fig. 5 que para todos os cenários das respectivas topografias em estudo verifica-se que no intervalo de tensões trativas de 0,6 Pa e 1,0 Pa não há variação das profundidades médias, e a partir da

tensão trativa de 1,1 Pa, inicia-se um crescimento das mesmas. Além disso, é possível verificar que o efeito do aumento da tensão trativa mínima de projeto é mais intenso quanto menos declividade existe na área, corroborando Ferreira K. (2013), que explanou que, para alcançar maiores valores de tensão trativa, ocasionou-se o aprofundamento da rede coletora.

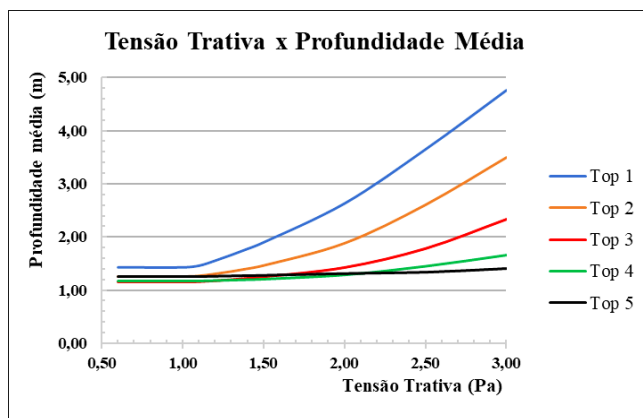


Figura 5 - Análise comparativa das profundidades médias das redes coletoras

Tsutya e Alem Sobrinho (2000) e Bezerra (2011) destacam que os itens de maior peso no custo total, em uma obra de esgotamento sanitário, são a escavação das valas e seus escoramentos. Esses serviços estão relacionados à profundidade da

rede (TSUTIYA E ALEM SOBRINHO, 2000). Dessa maneira, os quantitativos desses serviços apresentaram comportamento semelhante à profundidade médias dos cenários, como mostrado nas Fig. 6 a) e 6 b).

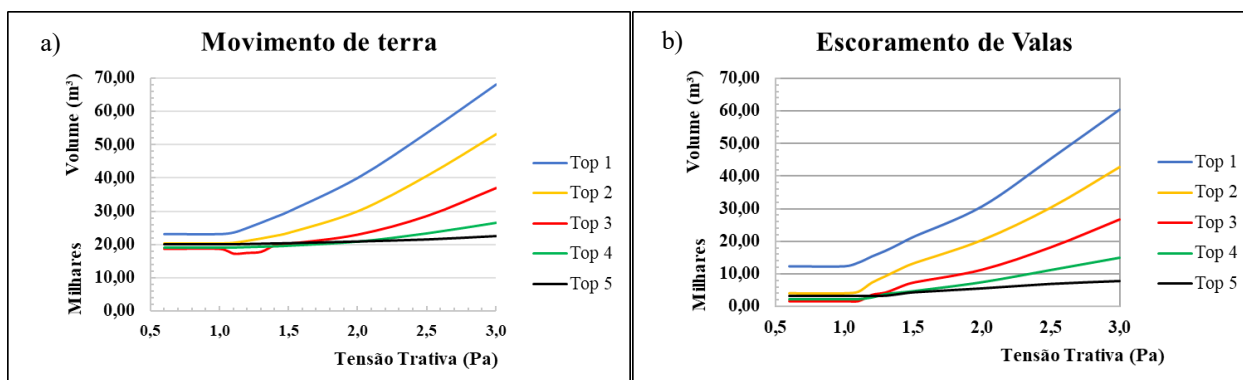


Figura 6 - Comportamento dos quantitativos a medida do crescimento da tensão trativa mínima

Os custos diretos dos serviços são influenciados diretamente pelas profundidades e consequentemente pelos quantitativos dos serviços. Assim, sendo feito análogo a análise dessas duas variáveis citadas acima, observou-se que não existe diferença de custo entre as tensões trativas 0,6 e 1,0 Pa para todos os cenários estudados. Portanto o valor de 1,0 Pa pode ser preferível para adoção em relação ao de 0,6 Pa, pois com maior tensão trativa a tubulação da rede de esgoto terá melhor condições de autolimpeza. A partir da tensão trativa de 1,0 Pa, para as topografias 1, 2 e 3, o custo aumenta bastante com o aumento da tensão trativa adotada em projeto. Para a topografia 4, esse aumento é bastante reduzido, enquanto que para a topografia 5 ocorre aumento de custo irrisório com o aumento da tensão trativa. Assim, os valores de tensão trativas de 2,5 e 3,0 Pa podem ser adotados para as topografias 4 e 5 respectivamente, com incidência mínima de custos adicionais em relação ao valor de 1,0 Pa.

Dessa forma, na Tabela 1, é possível observar os valores máximos que se pode adotar para a tensão trativa mínima de projeto de modo a não onerar demasiadamente a construção da rede coletora, aqui considerados como ótimos.

**Tabela 1** - Valores ótimos para a tensão trativa a serem adotados em projeto

Padrão de Topografia declividade	Tensão trativa ótima para adoção em projeto (Pa)
Topografia 1	1
Topografia 2	1
Topografia 3	1,5
Topografia 4	2
Topografia 5	3

Analisando-se ainda, com a variação da tensão trativa mínima e do tipo do relevo dos terrenos durante o dimensionamento das redes de esgoto, que para cada intervalo de tensão trativa uma

determinada topografia apresentou valores mínimos de custos absolutos em relação às demais (Tabela 2).

**Tabela 2** - Topografias com menor custo de implantação da rede para determinado intervalo de tensão trativa

Padrão de declividade	Intervalo de tensão trativa (Pa)
Topografia 3	0,6-1,0
Topografia 4	1,3-2,0
Topografia 5	2,5-3,0

Além do mais, constatou-se que o cenário 10 (topografia 1 e tensão trativa 3,0 Pa) representou o cenário mais oneroso e o cenário 23 (topografia 3 e tensão trativa 1,1 Pa) foi considerado como sendo o mais vantajoso, quando comparados aos demais.

Na Fig. 7, onde são apresentados os custos de cada cenário em relação à opção de menor custo, foi possível verificar o acréscimo no custo final no orçamento, caso o projetista se deparasse com outro tipo de topografia utilizando o mesmo intervalo de tensões trativas. Além disso, verificou-se que, em termos absolutos, o tipo de solo exerce influência nos custos da rede coletora de esgotos e em termos relativos; considerando os cenários de mais baixo custo para cada tipologia de relevo, o comportamento das variações de custos foi semelhante para as duas opções de tipo de solo.

Analisando-se ainda a Fig. 7, observa-se que as diferenças entre os custos unitários dos serviços em diferentes estados brasileiros apresentaram-se irrisórias.

De uma forma geral, quanto menor a inclinação do terreno, maior é o custo de implantação da rede coletora de esgotos (para os cenários de topografia analisados neste artigo).

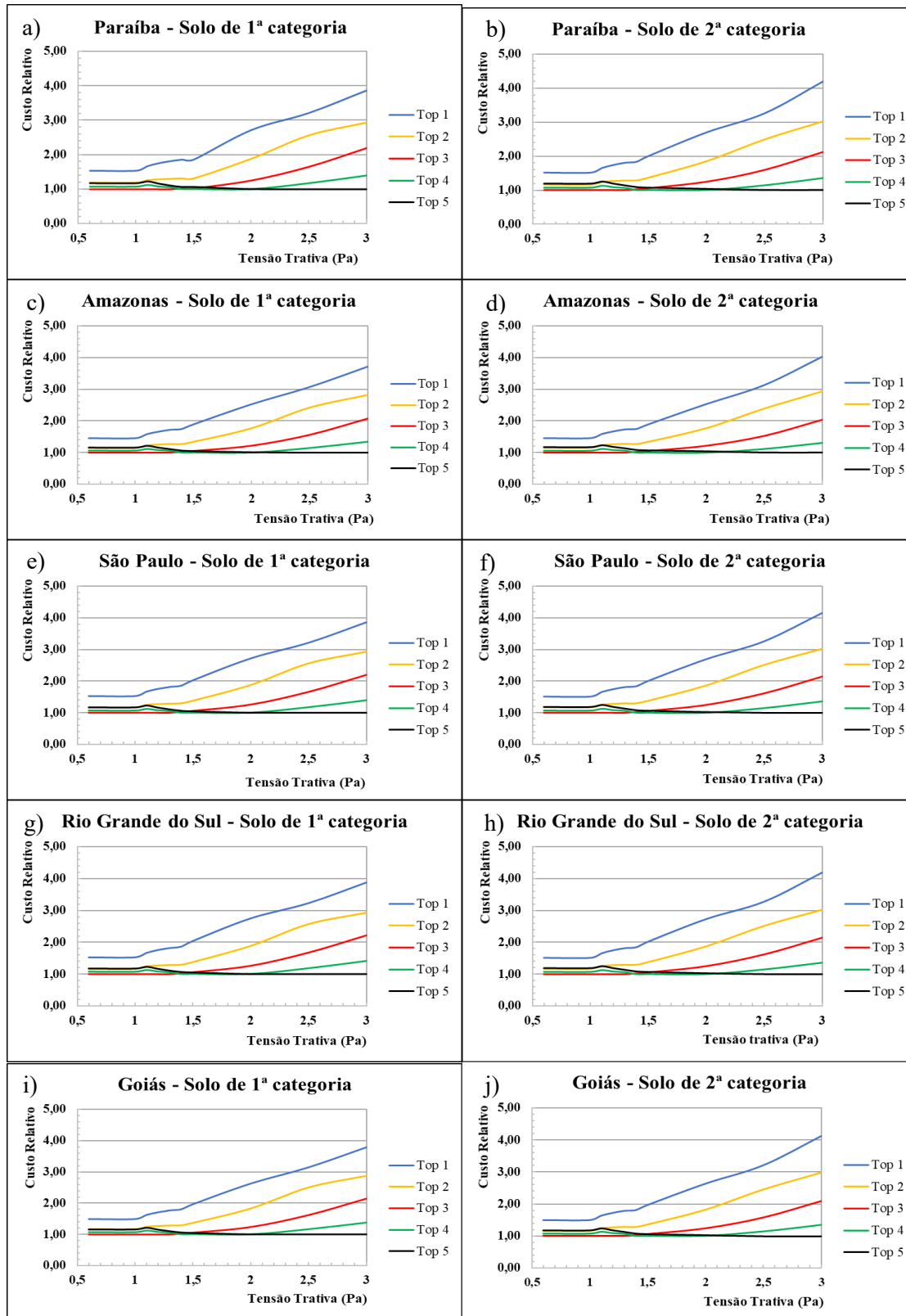


Figura 7 – Custos relativo entre estados brasileiros para o solo de 1ª e 2ª categoria

## 4 CONCLUSÕES

A tensão trativa mínima adotada em dimensionamento de redes coletoras de esgoto exerce influência nos valores de profundidades das valas. Assim, foi verificado crescimento da profundidade média das valas à medida que se analisou os cenários das tensões trativas de 1 Pa para 3 Pa. Para o intervalo de tensão trativa entre 0,6 e 1 Pa não ocorrem diferenças nas profundidades resultantes.

A profundidade é uma variável concatenada ao quantitativo dos serviços mais onerosos para execução de uma rede coletora, consequentemente as redes com tensões trativas mais elevadas apresentaram acréscimo no custo final da obra. Porém, foi observado que o perfil topográfico do terreno influencia esse incremento do custo, e se verificou que as topografias com relevo mais ondulado, topografia 4 e 5, expressaram acréscimo mínimo nos custos com o aumento da tensão trativa adotada em projeto.

Em termos absolutos, o tipo de solo exerce influência nos custos da rede coletora de esgotos e, em termos relativos, o comportamento das variações de custos foi semelhante para as duas opções de tipo de solo.

As diferenças entre os custos unitários dos serviços em diferentes estados brasileiros apresentaram-se irrisórias.

De uma forma geral, constatou-se que a tensão trativa e a topografia exercem papéis determinantes no custo. Quanto maior o valor da tensão e quanto menor a declividade da área, maior é o custo de implantação da rede coletora de esgoto (para os cenários de topografia analisados neste artigo).

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado à primeira au-

tora junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM/UFPB).

## 6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

**Conceitualização:** Souza GF, Athayde Júnior GB, Soares LV e Mesquita MCO; **Levantamento Bibliográfico:** Souza GF, Athayde Júnior GB; **Metodologia:** Souza GF, Athayde Júnior GB; Soares LV; **Aquisição de Informações:** Souza GF, Soares LV e Mesquita MCO; **Redação – Primeira versão:** Souza GF; **Redação – Revisão & Edição:** Souza GF, Athayde Júnior GB, Soares LV e Mesquita MCO; **Supervisão:** Athayde Júnior GB, Soares LV.

## 7 REFERÊNCIAS

- 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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9649:** Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, nov. 1986.
- BRASIL. **Lei nº 11.445/2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. 2007.** Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm). Acesso em: 28 jul. 2020.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018.** Brasília: SNS/MDR, 2019a. 180 p.: il.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Plano nacional de saneamento básico.** Brasília: SNS/MDR, 2019b.
- FERREIRA, K. B. **Aplicabilidade de tipos de sistemas urbanos de esgotamento sanitário em função de variáveis climáticas e topográficas.** 217 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio do Janeiro. Rio do Janeiro, 2013.
- FERREIRA, R. H. A. **Avaliação do custo de construção em função do traçado da rede coletora de esgoto sanitário.** 135 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio do Pará. Pará, 2013.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRAÚLICA (FCTH). CEsq: **Software para projeto de redes de esgoto sanitário - manual do usuário**. 2006.

IZQUIERDO, J.; MONTALVO, I.; PÉREZ, R. FUERTES, V. S. Design optimization of wastewater collection networks by PSO. **Computers & Mathematics with Applications**. v. 56, p. 777-784, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2008.02.007>

MONTES, C.; BOHORQUEZ, J.; BORDA, S.; SILDARRIAGA, J. Criteria of minimum shear stress vs. minimum velocity for self-cleaning sewer pipes design. **Procedia Engineering**. n. 186, p. 69-75, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.210>

QUEIROZ, E.; SILVA, E. C.; MEDEIROS, G. T.; TEIXEIRA, K. B.; ALVIM, L. S.; VIDAL, D. B. **Redes coletoras de esgoto sanitário: a influência da topografia no dimensionamento**. Faculdade Multivix, 2018. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2018/12/redes-coletoras-de-esgoto-sanitario-a-influencia-da-topografia-no-dimensionamento.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2021.

RODRIGUES, G. P. W. **Modelo computacional de redução de custos em redes coletoras de esgoto sanitário com a utilização de um algoritmo híbrido de busca**. 2011. 165 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2011

RODRIGUES, G. P. W.; FARIAS, G. M.; COSTA, L. H. M.; CASTRO, M. A. H. Otimização do traçado de redes coletoras de esgoto sanitário via algoritmo genético. **Revista DAE**. São Paulo. v. 68, n. 222, p. 164-177. Ed. Esp. Mar 2020. <https://doi.org/10.36659/dae.2020.024>

RODRIGUES, G. P. W.; L. H. M.; CASTRO, M. A. H. Modelo computacional de redução de custos em redes coletoras de esgoto sanitário com a utilização de um algoritmo híbrido de busca exaustiva em largura. **Revista DAE**. São Paulo. n. 190, p. 28-43. set-dez 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.095>

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed., rev. e ampl.- Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.

SOUZA, G. F. **Impacto da tensão trativa adotada no dimensionamento sobre os custos construtivos da rede coletora de esgoto sanitário**. 115 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, 2021.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte e esgoto sanitário**. 2ª edição. São Paulo: Departamento de engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2000.