

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JÉSSICA SOUZA SILVA

**ESTUDO DE CASO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO PROJETO
DE IMPLANTAÇÃO DA LINHA DE RECALQUE DA SUB-BACIA DE JABOATÃO
DOS GUARARAPES - PE**

Goiânia, GO
2021

JÉSSICA SOUZA SILVA

**ESTUDO DE CASO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO PROJETO
DE IMPLANTAÇÃO DA LINHA DE RECALQUE DA SUB-BACIA DE JABOATÃO
DOS GUARARAPES - PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Civil, do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Campus Goiânia, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título
de Bacharela em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Me. Douglas Pereira da Silva Pitaluga

Goiânia, GO
2021

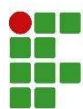
Si381e Silva, Jéssica Souza.

Estudo de caso da viabilidade técnica e econômica do projeto de implantação da linha de recalque da Sub-bacia de Joboatão dos Guararapes – PE / Jéssica Souza Silva. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2021.

70 f. : il.

Orientador: Prof. Me. Douglas Pereira da Silva Pitaluga.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS**

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Jéssica Souza Silva

Matrícula: 20181011050340

Título do Trabalho: ESTUDO DE CASO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DA LINHA DE RECALQUE DA SUB-BACIA DE JABOATÃO DOS GUARARAPES - PE

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
 2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
 3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).
- Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
- () O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
- () Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 19/03/2021.

Local

Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

JÉSSICA SOUZA SILVA

**ESTUDO DE CASO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO PROJETO DE
IMPLANTAÇÃO DA LINHA DE RECALQUE DA SUB-BACIA DE JABOATÃO DOS GUARARAPES
- PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 11 de março de 2021:

BANCA EXAMINADORA

(assinado eletronicamente)

Prof. Douglas Pereira da Silva Pitaluga, Mestre

Orientador (IFG)

(assinado eletronicamente)

Prof. Marcus Vinícius Araújo da Silva Mendes, Doutor

(IFG)

(assinado eletronicamente)

Prof. Luciano de Sá, Mestre

(INCURSOS)

*Goiânia, GO
2021*

Documento assinado eletronicamente por:

- Luciano de Sá, LUCIANO DE SÁ - 214205 - ENGENHEIRO CIVIL - PROFISSIONAL LIBERAL (52816440000115), em 19/03/2021 15:51:04.
- Marcus Vinicius Araujo da Silva Mendes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/03/2021 14:32:53.
- Douglas Pereira da Silva Pitaluga, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/03/2021 14:26:37.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/03/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 143135

Código de Autenticação: 0b61b79e5b



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110

(62) 3227-2780 (ramal: 2780)

DEDICATÓRIA

A Deus e minha família, por estarem sempre ao meu lado, nunca me desampararem e desejarem o melhor para mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente e principalmente à Deus que sempre está ao meu lado, me dando tudo que é necessário para a concretização deste trabalho e muito mais.

De forma especial e gratificante também agradeço:

- à minha família, Terezinha Alves de Souza Silva e Nilton Tobias da Silva, que sempre cuida de mim para que eu lute pelos meus objetivos e obtenha sucesso em todas as áreas da minha vida;

- ao meu companheiro e Engenheiro Civil, Ramon Nerys da Silva, que me estimula a pensar e a me desenvolver profissionalmente e como pessoa;

- ao meu orientador, Douglas Pitaluga, pela confiança depositada e pela orientação;

- aos professores Cláudio Marra, Marcus Vinicius, Paulo Francinete, Ricardo Alcântara e Glydson Antonelli pelos conselhos e confiança depositada à mim para a realização deste trabalho;

- à todos os professores que participaram da minha vida acadêmica, pelos ensinamentos e paciência;

- à Senha Engenharia por ter me aberto as portas do mercado de trabalho e pela disponibilização dos dados para a realização deste trabalho;

- aos Engenheiros, colegas de trabalho, por compartilham seus ensinamentos;

- à equipe da Senha Engenharia, Apoio Técnico, que contribuiu de forma grandiosa para este trabalho com informações técnicas.

Enfim, à todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste sonho.

EPÍGRAFE

“A escolha das tubulações a serem utilizadas depende inicialmente dos problemas técnicos e econômicos de cada projeto”
(Tsutiya e Sobrinho)

RESUMO

As estações elevatórias de esgoto têm como objetivo transferir os esgotos de uma cota mais baixa à outra cota mais alta. Situadas em pontos baixos, elas são providas de bombas hidráulicas e elevam a pressão no líquido. Levando em consideração os altos custos relativos a construção, operação, manutenção, conservação e garantia de funcionamento do sistema, elas só devem ser construídas quando não for possível ou recomendável o esgotamento por gravidade. Quando forem a única solução possível, os aspectos técnicos e econômicos devem ser avaliados com mais cautela desde a concepção do projeto. Dentre eles, o material a ser utilizado na linha de recalque, que embora os mais utilizados sejam o ferro fundido dúctil (F^oF^o) e o policloreto de vinila (PVC), o polietileno de alta densidade (PEAD) está em ascensão no mercado brasileiro. Levando em conta o seu crescimento nos últimos anos, mais especificamente na última década, bem como seus parâmetros técnicos e econômicos, buscou-se levantar a melhor solução técnica e econômica a adotar para a implantação da linha de recalque de uma estação elevatória de esgoto de uma bacia de Jaboatão de Guararapes – PE.

Palavras-chave: tubos semirrígidos; tubos flexíveis; rede coletora; estação elevatória; saneamento básico.

ABSTRACT

Sewage pumping stations aim to transfer sewage from a lower level to a higher level. Located at low points, they are equipped with hydraulic pumps and increase the pressure in the liquid. In view of the high costs related to the construction, operation, maintenance, conservation and guarantee of the system's functioning, they should only be built when depletion by gravity is not possible or recommended. When it is a single possible solution, the technical and economic aspects must be taken with more caution from the conception of the project. Among them, the material to be used in the repression line, which although the most used are ductile iron (F^oF^o) and polyvinyl chloride (PVC), high density polyethylene (HDPE) is on the rise in the Brazilian market. Taking into account its growth in recent years, more specifically in the last decade, as well as its technical and economic parameters, one must find the best technical and economic solution to be adopted for the implementation of the repression line of a pumping station. sewage from a sub-basin in the municipality of Jaboatão de Guararapes - PE.

Keywords: semi-rigid tubes; flexible tubes; collection network; lift station; sanitation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema hidráulico de um sistema de recalque.	26
Figura 2 - Curvas características de uma bomba centrífuga de fluxo radial.	29
Figura 3 - Comprimentos equivalentes a perdas localizadas.....	36
Figura 4 - Pressões dos tubos bolsa e ponta classe K-7 - JGS, JTI e JTE.	39
Figura 5 - Pressões dos tubos bolsa e ponta classe K-9 - JGS e JTI.	40
Figura 6 - Pressões dos tubos bolsa e ponta classe K-9 – JTE.	40
Figura 7 - Pressões dos tubos com flanges - PN-10, PN-16 e PN-25.	41
Figura 8 - Estanqueidade da JGS.....	42
Figura 9 - Junta travada interna – JTI.....	42
Figura 10 - Junta travada externa – JTE.....	43
Figura 11 - Junta mecânica – JM.....	43
Figura 12 - Junta com flanges.....	44
Figura 13 - Tipo 1 – Fundo da vala é inalterado e o reaterro não compactado.	45
Figura 14 - Tipo 2 – Fundo da vala inalterado e reaterro levemente compactado até a metade do tubo.....	45
Figura 15 - Tipo 3 – Fundo da vala com terra solta com espessura mínima de 10 cm e reaterro levemente compactado até a parte superior do tubo.	45
Figura 16 - Tipo 4 – Fundo da vala com areia, pedregulho ou pedra britada com espessura mínima de 10 cm e reaterro compactado até a parte superior do tubo.....	45
Figura 17 - Tipo 5 – Fundo da vala com material granular até a metade do tubo, material granular ou natural compactado até a parte superior do tubo.	46
Figura 18 - Alturas de recobrimento de tubulações de ferro dúctil (NBR 15420).	47
Figura 19 - Raios provisórios e permanentes admissíveis.....	53
Figura 20 - Envolvimento da tubulação de $SDR > 17$	54
Figura 21 - Esquema da operação de furo dirigido ou direcional.	55
Figura 22 - Fluxograma da metodologia.	57
Figura 23 - Planta de situação da linha de recalque 15.08.	59
Figura 24 - Custo da tubulação e assentamento da linha de recalque 15.08.	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores aproximados de K (perdas localizadas).....	35
Quadro 2 – Diâmetros equivalentes.....	60
Quadro 3 – Classes de pressão.	61
Quadro 4 - Comparativo técnico das tubulações.....	61
Quadro 5 - Custo unitário das tubulações.....	64
Quadro 6 - Custo de assentamento das tubulações por metro.	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	OBJETIVO GERAL	17
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	18
2.1	SISTEMAS DE ESGOTAMENTOS SANITÁRIOS.....	18
2.2.	REDE COLETORA.....	19
2.3	ESTAÇÃO ELEVATÓRIA.....	23
2.3.1	Bombas centrífugas	24
2.3.2	Dimensionamento econômico da tubulação de recalque – Formula de Bresse	29
2.3.3	Dimensionamento do poço de sucção	30
2.3.4	Remoção de sólidos grosseiros.....	32
2.3.5	Bombas parafusos.....	33
2.3.6	Ejetores pneumáticos.....	33
2.4	PERDAS DE CARGA.....	33
2.5	TUBULAÇÕES E ACESSÓRIOS	36
2.5.1	Ferro Fundido Dúctil	37
2.5.1.1	Especificações técnicas	37
2.5.1.2	Diâmetros	37
2.5.1.3	Revestimento interno	37
2.5.1.4	Revestimento externo	38
2.5.1.5	Classes de pressão	38
2.5.1.6	Tipos de juntas (JGS, JTI, JTE, JM e flanges)	41
2.5.1.7	Qualificação da mão de obra	44
2.5.1.8	Assentamento	44
2.5.1.9	Escavação e recobrimento	46

2.5.1.10	Vida útil	47
2.5.1.11	Métodos construtivos	48
2.5.2	PVC DEFOFO.....	48
2.5.2.1	Especificações técnicas	48
2.5.2.2	Diâmetros	48
2.5.2.3	Cor dos tubos	48
2.5.2.4	Classes de pressão	49
2.5.2.5	Tipo de junta (JEI)	49
2.5.2.6	Qualificação da mão de obra	49
2.5.2.7	Assentamento e recobrimento	49
2.5.2.8	Vida útil	50
2.5.2.9	Métodos construtivos	50
2.5.3	PEAD.....	50
2.5.3.1	Especificações técnicas	50
2.5.3.2	Diâmetros	50
2.5.3.3	Cor dos tubos	51
2.5.3.4	Classes de pressão	51
2.5.3.5	Tipos de juntas (soldáveis, mecânicas e híbridas)	51
2.5.3.6	Qualificação da mão de obra	52
2.5.3.7	Assentamento e recobrimento	53
2.5.3.8	Vida útil	54
2.5.3.9	Métodos construtivos	54
3	MATERIAIS E MÉTODOS	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTOS	
15.08	58	
4.2	LEVANTAMENTO DE DADOS DA LINHA DE RECALQUE 15.08	58

4.3	ANÁLISE TÉCNICA DAS TUBULAÇÕES.....	59
4.4	AVALIAÇÃO DOS CUSTOS UNITÁRIOS DOS MATERIAIS	64
5	CONCLUSÃO.....	66
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico é um direito fundamental e essencial dos cidadãos para lhes assegurar condições dignas de habitação, promoção da saúde, preservação ambiental, qualidade de vida, produtividade e facilitação da atividade econômica. É um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2020a).

No entanto, em todo o mundo, muitos cidadãos ainda são privados desses serviços básicos. Segundo o Instituto Trata Brasil em parceria com a GO Associados (2020), o novo Ranking do Saneamento Básico baseado nos 100 maiores municípios do Brasil, 16,38% da população brasileira não têm acesso ao abastecimento de água potável e 46,85% não dispõem de rede coletora de esgotos.

Em 2017, cerca de 49,5% dos municípios que possuíam rede coletora de esgotos não fazia o seu tratamento. Sendo assim, realizavam a disposição final nos corpos hídricos, comprometendo a qualidade das águas, aumentando o risco de transmissão de doenças, prejudicando o meio ambiente, entre outros (IBGE, 2020).

Com a atualização do marco legal do saneamento básico pela lei Nº 14.026 decretada e sancionada no dia 15 de julho de 2020, os serviços públicos de saneamento básico no Brasil serão prestados com base em vários princípios fundamentais, tendo como o principal, o de universalização do acesso e efetiva prestação do serviço (BRASIL, 2020).

Tendo em vista o desenvolvimento próximo do saneamento básico no Brasil, é indispensável que soluções técnicas e econômicas sejam apontadas em projetos, objetivando garantir a vida útil do sistema e diminuição dos custos. Segundo Tsutiya e Sobrinho (2000), é fundamental considerar os custos relativos à construção, operação, manutenção, conservação e garantia de funcionamento do sistema entre as soluções tecnicamente possíveis, dentre eles os materiais.

Com o passar dos anos os materiais utilizados nas redes coletoras, interceptores, emissários, sifões invertidos, estações elevatórias de esgoto e estações de tratamento de esgotos, assim como seus métodos construtivos, vêm evoluindo e novos produtos e técnicas estão sendo

implementadas no mercado. Segundo Tsutiya e Sobrinho (2000), os materiais utilizados nas linhas de recalque são ferro fundido dúctil, ferro fundido cinzento, fibrocimento, PVC, Polietileno Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV), concreto protendido e Aço. Entretanto, na última década, houve um crescimento elevado no uso de tubulação de polietileno de alta densidade (PEAD) no mercado brasileiro.

Dentro dessa temática, a proposta deste trabalho é concentrar o estudo na linha de recalque da estação elevatória de esgoto da sub-bacia 08, que contempla o bairro de Cavaleiro em Jaboatão de Guararapes, município de Pernambuco, estudando as possibilidades que auxiliarão na definição da melhor solução técnica e econômica para sua implantação.

1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o estudo de caso da viabilidade técnica e econômica para a indicação do melhor material a ser utilizado na linha de recalque considerando os custos para sua implantação e seus parâmetros técnicos em comparação a outros materiais, na fase de projeto.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discorrer sobre os parâmetros hidráulicos da estação elevatória de esgotos e da linha de recalque;
- Apresentar e avaliar as características técnicas dos três principais materiais que podem ser utilizados nas linhas de recalque;
- Fazer o levantamento de custo das tubulações vistas como soluções tecnicamente possíveis para a construção da linha de recalque;
- Indicar a melhor alternativa técnica e econômica para implantação da linha de recalque;
- Fazer o comparativo do resultado deste trabalho com a solução adotada pela empresa projetista.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

O referencial bibliográfico deste trabalho apresenta o sistema de esgotamento sanitário como um todo, expondo algumas particularidades da rede coletora de esgotos, explorando com mais detalhes a estação elevatória de esgotos e trazendo as características dos três principais materiais utilizados nas linhas de recalque.

2.1 SISTEMAS DE ESGOTAMENTOS SANITÁRIOS

Um sistema de esgotamento sanitário é constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequada dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente (BRASIL, 2020a). A seguir são descritos os itens que o compõe.

a) Rede coletora

A rede coletora de esgotos é um conjunto de canalizações destinadas a receber e conduzir os esgotos dos edifícios, que são ligados diretamente à rede coletora por uma tubulação chamada coletor predial (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000). A rede coletora é composta de coletores secundários que são diretamente interligados às ligações prediais, e pelos coletores troncos, que são os principais coletores da bacia de drenagem e recebem as contribuições dos coletores secundário, conduzindo seus efluentes a um interceptor ou emissário (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

b) Interceptor

Formado por canalizações que recebem coletores ao longo do seu comprimento (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

c) Emissário

Canalização que conduz os esgotos a um destino conveniente, não recebendo contribuições ao longo do seu caminamento (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

d) Sifão invertido

Tubulação de esgotos destinada a transpor obstáculos, funcionando sob pressão (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

e) Corpo de água receptor

Corpo hídrico onde são lançados os esgotos (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

f) Estação elevatória

São unidades aparelhadas com bombas hidráulicas que transferem o esgoto de uma cota mais baixa à outra cota mais alta. Normalmente são localizadas nos pontos mais baixos de uma bacia ou próximas aos rios, córregos ou represas.(TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

g) Estação de tratamento

Instalações destinadas à depuração dos esgotos, antes do seu lançamento (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

2.2. REDE COLETORA

Segundo Tsutiya e Sobrinho (2000) as redes coletoras são projetadas para funcionar como conduto livre em regime permanente e uniforme, de modo que a declividade da linha de energia seja equivalente à declividade da tubulação e igual à perda de carga unitária. Apesar de se ter uma série de fatores contrários a este tipo de dimensionamento, tais como variação de vazão ao longo do dia, presença variável de sólidos, aumento da vazão a jusante etc., a experiência tem mostrado que as redes no geral têm funcionado adequadamente para grandes e pequenas vazões (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

No Brasil, o sistema de esgotos urbanos é usualmente o tipo separador absoluto, no qual as águas residuárias e as águas de infiltração que constituem o esgoto sanitário, veiculam em um sistema independente. Já as águas pluviais coletadas, são transportadas em um sistema de drenagem pluvial totalmente independente (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

A presença de grande quantidade de sólidos orgânicos e minerais nos esgotos faz com que seja preciso evitar ou minimizar os entupimentos nos pontos singulares das tubulações, como curvas, pontos de afluência de tubulações, permitindo o acesso de pessoas e equipamentos nesses pontos (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000). Os dispositivos mais empregados eram os poços de visitas (PV), constituídos pela chaminé de acesso e pelo balão, onde os esgotos correm na sua parte inferior através de canaletas que orientam os fluxos conforme a necessidade (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Todavia, os poços de visitas (PV) vêm sendo substituídos por dispositivos mais simples e econômicos, que possibilitam a limpeza das tubulações com equipamentos mecânicos e sofisticados. Esses dispositivos são os terminais de limpeza (TL), caixas de passagem (CP) e os tubos de inspeção e limpeza (TIL), regulamentados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 9649 (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

As redes coletoras devem ser projetadas para trabalhar com diâmetro mínimo de 100 mm e lâmina d'água igual ou inferior a 75% do diâmetro da tubulação, destinando sua parte superior a ventilação do sistema e às imprevisões e flutuações excepcionais de nível de esgoto (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Para o dimensionamento das redes coletoras devem ser consideradas as seguintes vazões (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000):

a) Vazão média de esgoto doméstico (Q_d)

Para se projetar sistemas de esgotos em nosso país, tradicionalmente utiliza-se o consumo de água efetivo per capita, pois há uma clara relação entre o consumo de água e a contribuição para a rede de esgotos. A contribuição per capita de esgoto é o consumo de água efetivo per capita multiplicado pelo coeficiente de retorno. Este coeficiente se relaciona com o volume de esgotos recebido na rede coletora e o volume de água efetivamente fornecido a população, situando-se na faixa de 0,50 a 0,90 (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Conhecendo a população, o consumo de água efetivo per capita e o coeficiente de retorno, pode-se calcular a vazão média de esgoto doméstico. No entanto, essa vazão não é distribuída uniformemente ao longo dos dias (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000):

$$Q_{d,i} = \frac{C \cdot P_i \cdot q_i}{86400} \quad (1)$$

$$Q_{d.f} = \frac{C \cdot P_f \cdot q_f}{86400} \quad (2)$$

Sendo $Q_{d.i}$ e $Q_{d.f}$ a vazão média inicial e final de esgoto doméstico, P_i e P_f a população inicial e final, q_i e q_f o consumo de água efetivo per capita inicial e final em L/hab.dia, e C o coeficiente de retorno.

b) Coeficientes de variação de esgoto

Como a vazão varia com as horas do dia, com os meses, estações do ano, temperatura, precipitação atmosférica e outros fatores, considera-se os coeficientes de variação de esgoto para cálculo das vazões máximas. Sendo K_1 , coeficiente de máxima vazão diária, o K_2 , coeficiente de máxima vazão horária, e o K_3 , coeficiente de mínima vazão média anual. Na falta desses valores obtidos por medições, a NBR 9649 recomenda o uso de $K_1 = 1,20$, $K_2 = 1,50$ e $K_3 = 0,50$ (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Multiplicando-se K_1 , K_2 e K_3 pela vazão média de esgoto doméstica (Q_d), encontra-se a vazão máxima diária, a vazão inicial e a vazão mínima, respectivamente. Ao multiplicar a vazão máxima diária por K_2 , encontra-se a vazão final.

c) Vazão de infiltração (Q_{inf})

As condições locais como o nível de água (NA) do lençol freático, natureza do subsolo, qualidade da execução da rede, material da tubulação e tipo de junta utilizada também devem ser levadas em consideração para o dimensionamento da rede coletora, pois influenciam diretamente na taxa de infiltração (TI). De acordo com a NBR 9649, a taxa de infiltração (TI) adotada com valor entre 0,05 a 1,00 L/s.km deve ser justificada (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Para a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) (2020), para as redes preponderantemente acima do lençol freático a taxa de infiltração (TI) deverá ser de 0,10 L/s.km, e para as redes preponderantemente abaixo do lençol freático deverá ser de 0,50 L/s.km.

$$Q_{inf} = TI \cdot L \quad (3)$$

Sendo Q_{inf} a vazão de infiltração em L/s, TI a taxa de infiltração e L a extensão da rede em metros.

d) Vazão concentrada (Q_c)

A vazão concentrada é bem superior àquelas que são lançadas na rede coletora ao longo do seu caminhamento, alterando sensivelmente a vazão do trecho a jusante na rede. Normalmente, ela é advinda de escolas, hospitais, estações rodoviárias, shoppings centers, grandes edificações, etc. (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

e) Vazões máximas iniciais e finais (Q_i e Q_f)

As vazões máximas iniciais e finais são calculadas pelas seguintes expressões:

$$Q_i = K_2 \cdot Q_{d.i} + Q_{inf.i} + \sum Q_{ci} \quad (4)$$

$$Q_f = K_1 \cdot K_2 \cdot Q_{d.f} + Q_{inf.f} + \sum Q_{cf} \quad (5)$$

Sendo Q_i e Q_f a vazão máxima inicial e final em L/s, K_1 o coeficiente de máxima vazão diária, o K_2 o coeficiente de máxima vazão horária, $Q_{d.i}$ e $Q_{d.f}$ a vazão média inicial e final de esgoto doméstico, $Q_{inf.i}$ e $Q_{inf.f}$ a vazão de infiltração inicial e final em L/s e Q_{ci} e Q_{cf} a vazão concentrada ou singular inicial e final em L/s.

f) Vazão de esgoto sanitário

Tendo em vista todas essas contribuições, a vazão de esgoto sanitário é composta pela vazão doméstica (Q_d), vazão de infiltração (Q_{inf}) e a vazão concentrada (Q_c) em L/s (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000):

$$Q = Q_d + Q_{inf} + Q_c \quad (6)$$

g) Vazão mínima

De acordo com a NBR 9649, para todos os trechos da rede devem ser estimadas as vazões iniciais e finais, considerando o sistema separador absoluto, sendo o menor valor adotado em qualquer trecho de 1,50 L/s.

2.3 ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

Providas de bombas hidráulicas, as estações elevatórias elevam e aumentam a pressão do líquido em um sistema de água ou esgoto. Segundo Tsutiya e Sobrinho (2000), elas são necessárias nos seguintes casos:

- Em terrenos planos e extensos, a fim de se evitar que as tubulações atinjam grandes profundidades;
- Esgotamento de novas áreas que são situadas em cotas inferiores às aquelas que já existem;
- Reversão de esgotos de uma bacia para outra;
- Descargas em interceptores, emissários, estações de tratamento de esgotos (ETEs), estações de tratamento de água (ETAs) ou em corpos receptores, quando não for possível utilizar somente a gravidade.

A construção de uma estação elevatória num sistema de esgoto deve ser decidida somente após estudos comparativos minuciosos e só quando os mesmos mostrarem não ser possível ou recomendável, por questões técnicas ou econômicas, o esgotamento por gravidade. Além delas apresentarem um custo inicial elevado, exigem despesas de operação e, sobretudo, manutenção permanente e cuidadosa (HUMBERTO, 1995?).

A vazão contribuinte deve ser definida de forma cuidadosa para não interferir no funcionamento hidráulico do sistema. Há duas vazões que devem ser consideradas para o projeto da elevatória: vazão média inicial de plano (Q_i) e vazão máxima de fim de plano (Q_f). A primeira é utilizada para calcular as dimensões máximas do poço de sucção para que o tempo de detenção de esgoto não seja grande. Já a segunda tem como finalidade fixar a capacidade de recalque das bombas e determinar as dimensões mínimas do poço de sucção (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Segundo a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) (2014), as elevatórias são classificadas em pequenas, quando possuem vazões menores que 20,00 L/s; médias, quando possuem vazões entre 21 e 50 L/s; e grandes, quando possuem vazões acima de 50 L/s.

Para a escolha do local de construção da estação elevatória, deve ser levada em conta a facilidade de acesso, facilidade de obstrução do terreno, distância das habitações, possibilidade

de eventuais descargas em cursos d'água ou galerias e áreas não susceptíveis a inundações (HUMBERTO, 1995?).

De acordo com Azevedo Netto et al. (1998), normas e especificações do *Hydraulic Institute* determina quatro classes de bombas que podem ser utilizadas em estações elevatórias: centrífugas, rotativas, de êmbolo (ou de pistão), e de poço profundo (tipo turbina). Tsutiya e Sobrinho (2000), observa que as bombas mais utilizadas para recalque de esgotos são as bombas centrífugas, parafusos e ejetores pneumáticos.

Normalmente, as instalações para água e esgoto são equipadas com bombas centrífugas acionadas por motores elétricos. Elas são fabricadas nos mais variados modelos e podem ser classificadas segundo vários critérios (AZEVEDO NETTO et al., 1998):

- Movimento do líquido: sucção simples (rotor simples) ou dupla sucção (rotor de dupla admissão);
- Admissão do líquido: radial (tipos voluta e turbina), diagonal (tipo Francis) ou helicoidal;
- Número de rotores ou de estágios: um estágio (um só rotor) ou estágios múltiplos (dois ou mais rotores);
- Tipo de rotor: fechado, semifechado, aberto ou à prova de entupimento (“non clog”);
- Posição do eixo: vertical, horizontal ou inclinado;
- Pressão: baixa ($H_{man} \leq 15$ m), média (H_{man} de 15 a 50 m) e alta ($H_{man} \geq 50$ m).

2.3.1 Bombas centrífugas

As bombas centrífugas são basicamente formadas pelo rotor e sua carcaça. As pás do rotor impulsionam o líquido em direção a carcaça, fornecendo-lhes um acréscimo de pressão e velocidade. A carcaça entre outras funções, recebe o líquido que sai do rotor transformando parte de sua energia cinética em energia potencial de pressão (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Normalmente essas bombas possuem rotores abertos, pois movimentam fluidos com materiais suspensos, e bocas de inspeções à sucção e recalque para permitir limpezas. É recomendável que elas possuam aberturas superiores a 100 mm, visto que um sólido pode ter 70 mm de diâmetro (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000). Devem trabalhar afogadas, exceto as

autoescorvantes, para que não seja necessário escorv -las. Sendo assim,   desnecessário o uso de válvulas de p , que não funcionam bem com esgotos e também d o condições de automatização (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Segundo Tsutiya e Sobrinho (2000), as bombas podem ser de fluxo radial, fluxo misto e de fluxo axial:

- Bombas de fluxo radial: O escoamento do fluido   preponderantemente no sentido centrífugo radial, os rotores podem ser de sucção simples ou dupla, sendo empregadas quando se tem grande altura de elevação e vazão relativamente pequena;
- Bombas de fluxo misto: Possui escoamento no sentido radial e axial e são empregadas em casos que a altura de elevação seja relativamente baixa e a vazão alta;
- Bombas de fluxo axial: Impõe um escoamento no sentido axial e é empregado para recalcar grandes vazões e pequena altura de elevação.

As bombas centrífugas também podem ser classificadas de acordo com a sua rotação específica, ou seja, a rotação da bomba em uma determinada geometria que produz vazão unitária contra uma altura unitária nas condições de máximo rendimento (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000):

$$N_q = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (7)$$

Onde N   a rotação da bomba em rpm, Q é a vazão em m³/s e H   a altura manométrica em m.

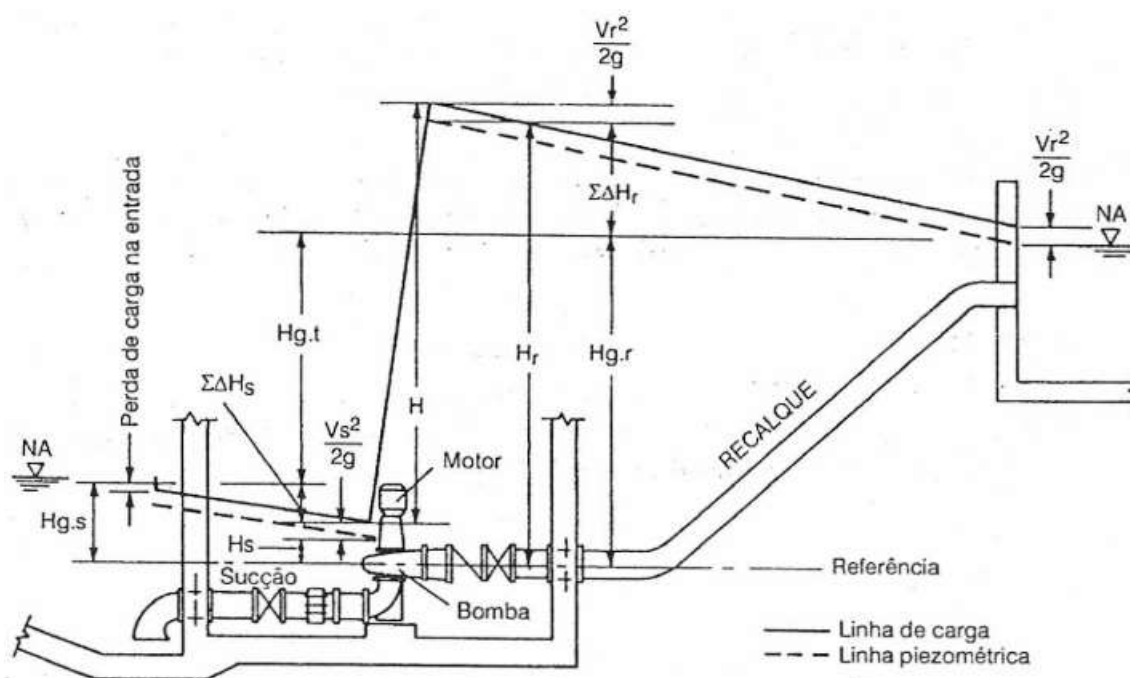
Além disso, ainda podem ser classificadas conforme a disposição do conjunto motor-bomba (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000):

- a) Conjunto de eixo horizontal: Utilizadas devido às suas facilidades de instalação, operação e manutenção, elas normalmente trabalham afogadas e podem ser autoescorvantes ou não;
- b) Conjunto de eixo vertical: Composto por bombas não submersas e submersas, permite que as bombas trabalhem afogadas enquanto os motores ficam em um nível superior ou análogo ao eixo horizontal, ou então que fiquem totalmente submersas no líquido com os motores no nível superior, respectivamente;

- c) Conjunto motor-bomba submerso: A bomba e o motor ficam totalmente submersos no líquido, onde o motor é protegido pela carcaça capaz de assegurar total estanqueidade. São presos ao eixo-guia e movimentados pela corrente de suspensão e dependendo do seu peso, podem ser retirados através de uma talha. Além deles possuírem dimensões reduzidas, seus componentes são padronizados e permitem passagem de sólidos pelo esgoto, mas sua aplicação é limitada pela sua capacidade.

Segundo Tsutiya e Sobrinho (2000) e Azevedo Netto et al. (1998), para a seleção de bombas centrífugas, são necessárias as informações contidas na figura 1.

Figura 1 - Esquema hidráulico de um sistema de recalque.



Fonte: Coleta e Transporte de Esgotos Sanitários, 2000

- a) Capacidade ou vazão de bombeamento (Q): volume de líquido bombeado por unidade de tempo, em m^3/h , m^3/s ou L/s .
- b) Altura geométrica de sucção (H_s): desnível geométrico entre o nível de água no poço de sucção e a linha de eixo da bomba, em m. Quando está abaixo, chama-se de sucção negativa, quando está acima, chama-se de sucção positiva.

- c) Altura geométrica de recalque (H_r): desnível entre a linha de eixo da bomba e o nível do líquido onde chega a tubulação de recalque, em m.
- d) Altura geométrica total ($H_{g,t}$ ou H_g): desnível geométrico entre o nível do líquido onde chega a tubulação de recalque e o nível de água no poço de sucção, em m.
- e) Carga cinética: energia cinética contida no líquido bombeado. É dada por $\frac{V^2}{2g}$, onde V é a velocidade do líquido em m/s, e g a aceleração da gravidade (9,81 m/s²).
- f) Altura manométrica total (H ou H_{man}): é a carga a ser vencida pela bomba quando o líquido está sendo bombeado, em m. Sua determinação é feita considerando as alturas geométricas de sucção, recalque, as perdas de carga e as cargas cinéticas:

$$H = H_r - H_s + \frac{V_r^2}{2 \cdot g} - \frac{V_s^2}{2 \cdot g} \quad (8)$$

Escrevendo-a em função da altura geométrica total, temos:

$$H = H_g + \Sigma \Delta_s + \Sigma \Delta_r + \frac{V_r^2}{2 \cdot g} \quad (9)$$

Onde $\Sigma \Delta_s$ e $\Sigma \Delta_r$ são as somatórias das perdas de cargas localizadas e distribuídas na tubulação de sucção e recalque em m, respectivamente.

- g) Velocidade máxima: Na boca de entrada das bombas, normalmente, está compreendida entre 1,50 a 5,00 m/s, podendo tomar 3,00 m/s como um termo médio representativo. Na saída das bombas, as velocidades podem atingir o dobro desses valores. Segundo a NBR 12208, é recomendado que na sucção a velocidade esteja entre 0,60 a 1,50 m/s e que no recalque esteja compreendida entre 0,60 e 3,00 m/s.
- h) Velocidade específica (N_s): De grande utilidade na caracterização de uma bomba, ela representa o número de rotação por minuto de uma bomba ideal, geometricamente semelhante à bomba em consideração, e capaz de elevar 75 L/s de água a uma altura de 1,00 m. Com velocidade inferior a 90, o rendimento da bomba é muito baixo. Entre 90 e 130, é ideal o uso de bombas radiais. O tipo Francis tem bom rendimento entre 30 e 800. Acima desse valor, aplicam-se as bombas axiais e *propeller*. Em unidade métrica, ela pode ser calculada da seguinte maneira:

$$N_s = 3,65 \cdot rpm \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (10)$$

Sendo Q a vazão em m^3/s , e H a altura manométrica em m.

- i) Potência fornecida pela bomba (P_l): potência para elevar a vazão do líquido, vencendo a altura manométrica total, em cv ou HP ($0,986 \text{ cv}$):

$$P_l = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75n} \quad (11)$$

Onde γ é o peso específico do líquido (10^4 N/m^3 para o esgoto), Q a vazão em m^3/s e n o rendimento do conjunto motor-bomba ($n_{motor} \cdot n_{bomba}$).

- j) Rendimento da bomba (n): relação entre a potência fornecida pela bomba e a potência consumida por essa bomba:

$$n = \frac{P_l}{P_b} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{P_b} \quad (12)$$

Onde P_b é a potência consumida pela bomba, em kW ou N.m/s.

- k) Cavitação: é a formação de bolhas de vapor, geradas pela pressão absoluta menor que a pressão do vapor na entrada do rotor, que ao entrarem em contato com uma zona de maior pressão, implodem causando espaços vazios dentro do líquido, causando danos ao rotor. Para sua verificação, é necessário calcular o NPSH (*Net Positive Suction Head*) disponível no sistema e compará-lo ao NPSH requerido pela bomba, para a vazão de bombeamento. Devendo o $NPSH_d$ ser maior que o $NPSH_r$ para que não haja cavitação, em m:

$$NPSH_d = \pm H_s - \Sigma \Delta_s + \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_{vapor}}{\gamma} \quad (13)$$

H_s é positiva quando a entrada é afogada, caso contrário ela é negativa.

- l) $NPSH_r$: normalmente fornecido pelos fabricantes das bombas, há casos em que se desconhece sua curva, sendo necessário o cálculo de Thoma:

$$\sigma = \frac{H_a - H_s - H_v}{H} \quad (14)$$

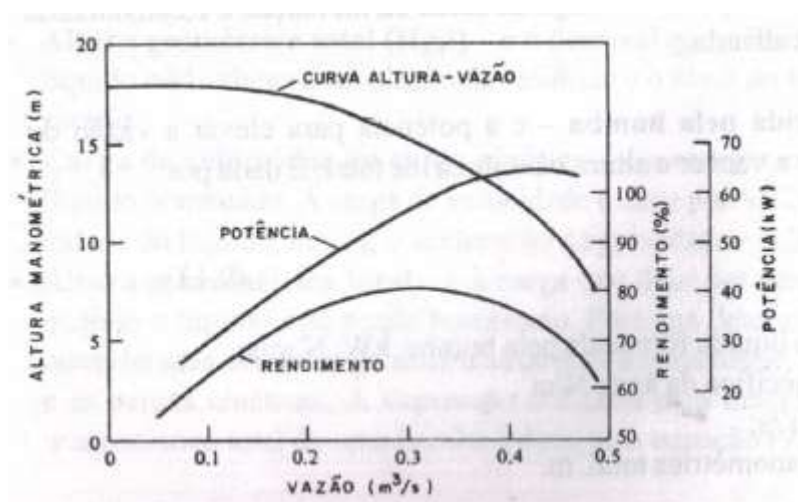
Onde H_a é a altura correspondente à pressão atmosférica local e H_v a altura devida à pressão de vapor de água.

Sempre que o H_s for excessivo, podem ser esperados os efeitos de cavitação.

- i. Curvas características das bombas centrífugas: a vazão (m^3/h) contra a altura manométrica total (m), potência consumida (em Kw ou HP), a eficiência da bomba e o NPSH, são conhecidas como curva características da bomba.

Essas curvas variam de acordo com a rotação específica da bomba. Sendo de extrema importância o conhecimento das mesmas, pois cada bomba é fabricada para uma vazão e uma altura manométrica em condições de máximo rendimento, e à medida que eles se afastam das ótimas condições de operação o rendimento da bomba diminui (figura 2).

Figura 2 - Curvas características de uma bomba centrífuga de fluxo radial.



Fonte: Coleta e Transporte de Esgotos Sanitários, 2000

2.3.2 Dimensionamento econômico da tubulação de recalque – Formula de Bresse

Segundo Azevedo Netto et al. (1998), o diâmetro de uma linha de recalque pode ser qualquer. Se for adotado um diâmetro grande, as perdas de carga serão pequenas e a potência do conjunto elevatório será reduzida. As bombas serão de custo mais baixo, no entanto, o custo da linha de recalque será alto. Se, ao contrário, o diâmetro for pequeno, as perdas de cargas serão grandes e a potência do conjunto elevatório será alta. Isso abaixará o custo da canalização, mas elevará os custos das bombas, consumindo mais energia.

O diâmetro da tubulação de recalque é determinado levando-se em considerações os aspectos econômicos financeiros, que conduzem ao menor custo de implantação, operação e manutenção. Portanto, é feito um estudo técnico econômico para diferentes valores do diâmetro da tubulação, considerando os custos de (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000):

- a) Aquisição e assentamento dos tubos, peças e aparelhos;
- b) Aquisição do conjunto motor-bomba adequado para cada diâmetro;
- c) Operação, manutenção e consumo de energia;
- d) Amortização e juros.

Em pequenas instalações, a fórmula de Bresse leva a um diâmetro aceitável, já para grandes instalações, é necessário investigar os diâmetros mais próximos, inferiores e superiores (AZEVEDO NETTO et al., 1998):

$$D = K \cdot \sqrt{Q} \quad (15)$$

Onde D é o diâmetro em m, K é o coeficiente de Bresse e Q a vazão em m³/s. De um modo geral, o valor de K varia de 0,7 a 1,5 (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

A fórmula de Bresse equivale à fixação da velocidade econômica de escoamento da linha de recalque e pode ser calculada pela seguinte expressão (AZEVEDO NETTO et al., 1998):

$$v = \frac{4}{\pi \cdot K^2} \quad (16)$$

2.3.3 Dimensionamento do poço de sucção

O poço de sucção é uma estrutura de transição que recebe os esgotos afluentes e os coloca à disposição das unidades de recalque. Sempre que possível, ele deve ser construído de modo a obter profundidade mínima, visando minimizar as dificuldades construtivas e operacionais. O seu volume depende da quantidade e da sequência operacional das bombas de rotação constante ou variável (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

De acordo com Azevedo Netto et al. (1998), o ar é o grande inimigo da condução de água por tubulações forçadas e os principais defeitos nesta parte das instalações estão ligados a:

- a) Condições e diretrizes de fluxo: é aconselhável a adoção de velocidades moderadas, inferiores a 0,90 m/s e a introdução de cortinas ou paredes-guias. Isso permite evitar o escoamento irregular, mudanças bruscas de direção da corrente, efeito nocivo de paredes contíguas e a rotação da água.
- b) Entrada de ar e vórtices: para evitar vórtice, deve-se ter uma profundidade mínima e reduzir a velocidade de entrada na boca de sucção de até 0,90 m/s, sendo recomendável a instalação de uma ampliação em forma de sino. A tubulação de sucção deve ser perfeitamente estanque, evitando vazamento e entrada de ar.
- c) Dimensões dos poços: a capacidade dos poços deve assegurar regularidade no trabalho das bombas. Recomenda-se que o volume corresponda a 4 minutos de operação, com base na vazão da maior bomba.

Para o dimensionamento do poço de sucção para bombas de rotação constante, a determinação do volume útil é determinada considerando-se o intervalo de tempo entre as partidas sucessivas do motor da bomba (tempo de ciclo) e a vazão de bombeamento (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

O tempo de ciclo (T) é determinado através de um intervalo de tempo adequado entre as partidas sucessivas do motor da bomba para que ocorra a dissipação de energia liberada em cada partida e não leve o motor a um superaquecimento. O mais adequado é consultar os fabricantes de motores sobre o número máximo de partidas, qualquer que seja a potência do motor (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Considerando um sistema com duas bombas com a operação de apenas uma, estando a outra de reserva, a capacidade da bomba deverá ser igual ou superior a máxima vazão afluyente ao poço de sucção, para que o nível do poço não continue subindo mesmo com a bomba em operação (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000). O tempo de ciclo será:

$$T = \frac{4V}{Q} \quad (17)$$

Onde Q é a capacidade da bomba em m^3/min , V o volume útil do poço de sucção em m^3 e T o tempo de ciclo em min.

Portanto, o volume útil compreendido entre o nível máximo e mínimo de operação das bombas será (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000):

$$V = \frac{QT}{4} \quad (18)$$

A determinação do volume efetivo do poço de sucção, está diretamente ligada ao tempo de detenção do esgoto no poço de sucção:

$$V_e = Q_m T_d \quad (19)$$

Onde V_e é o volume efetivo do poço de sucção em m^3 , Q_m é a vazão média de projeto no início da operação em m^3/min e T_d o tempo de detenção no poço em min.

É recomendável que o tempo de detenção médio seja o menor possível, não ultrapassando 30 minutos para a vazão média de início de plano. Uma vez que esse tempo de detenção seja excessivo, acarretará a emanção de gases, danificando a estrutura e os equipamentos, causando sérios problemas ao operador (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

2.3.4 Remoção de sólidos grosseiros

De acordo com a NBR 12208, as bombas devem ser protegidas dos sólidos grosseiros contidos no esgoto afluente. A seleção dos dispositivos ou equipamentos dependem das características e quantidade prevista a ser retido, bem como das dificuldades operacionais e da instalação. Podem ser grade de barras, de limpeza manual ou mecânica, cesto, triturados, peneira.

A grade de barras mecanizada deve ser utilizada quando a vazão afluente for igual ou superior a 250 L/s ou quando o volume de material a ser retido diariamente for justificável, levando em consideração a dificuldade de operação relativa à localização da elevatória e a profundidade do canal afluente. Quando se der a utilização da mesma, devem ser instalados

dois destes equipamentos ou construir um canal de desvio (“by-pass”) protegido com grade manual.

A NBR 12208 classifica as grades grossas com espaçamento entre as barras de 40 a 100 mm, as grades médias com 20 a 40 mm e as finas com 10 a 20 mm. Além disso, a velocidade máxima através da grade deve ser de 1,20 m/s para a vazão afluente final. A inclinação em relação a horizontal da grade manual deve ser de 45° a 60° e para a grade mecânica de 60° a 90°. A perda de carga mínima para a grade manual e mecanizada pode ser considerada como 0,15 m e 0,10 m respectivamente, segundo a NBR 12208.

2.3.5 Bombas parafusos

Além de ser um dos tipos de bombas mais antigos, ela é baseada no princípio de Arquimedes, no qual um eixo rotativo acoplado a uma, duas ou três lâminas helicoidais, girando num plano vertical, eleva o esgoto, e a altura de elevação é limitada a 9 m por questões estruturais do parafuso (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

2.3.6 Ejetores pneumáticos

São utilizados em locais onde a vazão inicial é pequena e a vazão final de projeto não é superior a capacidade do ejeter (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

O ejeter possui um tanque fechado, o qual recebe o esgoto por gravidade. Quando o esgoto atinge um certo nível, o sensor de nível aciona a admissão de ar comprimido no interior do tanque, provocando a descarga do líquido. Isso impede que através de válvulas de retenção dispostas antes e depois do tanque haja refluxo do esgoto para a linha de chegada e para dentro do tanque (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

2.4 PERDAS DE CARGA

A perda de carga nas tubulações corresponde à perda de energia pelo atrito do fluido em contato com os acessórios e a parede da tubulação durante o escoamento. É classificada como distribuída ou localizada:

a) Perda de carga distribuída

A perda de carga distribuída acontece pelo contato do fluido com a parede dos tubos, acarretando em uma perda de pressão distribuída ao longo do seu comprimento. Pode ser calculada pela expressão de Darcy-Weisbach, também conhecida como Fórmula Universal (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000):

$$h_l = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (20)$$

Onde h_l é perda de carga distribuída na tubulação em m, f o fator de atrito, L o comprimento da tubulação em m, D o diâmetro da tubulação, V a velocidade média de escoamento em m/s e g aceleração da gravidade em m^2/s .

O fator de atrito (f) varia em função do número de Reynolds (R), rugosidade, dimensão, entre outros, e pode ser determinado pelo diagrama de Moody (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Como um método empírico muito utilizado, ela também pode ser calculada pela fórmula de Hazen-Williams:

$$J = 10,643 Q^{1,85} C^{-1,85} D^{-4,87} \quad (21)$$

Sendo J a perda de carga unitária em m/m, Q a vazão em m^3 , C o coeficiente de Hazen-Williams dado em função do material e tempo de uso do tubo e D o diâmetro da tubulação em m.

b) Perda de carga localizada

Já a perda de carga localizada ocorre devido aos acessórios contidos na tubulação, como curvas, registros, comportas, entre outros, podendo ser calculada pela equação geral (AZEVEDO NETTO et al., 1998):

$$h_f = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (22)$$

O coeficiente K pode ser obtido por meio de informações fornecidas pelo quadro 1.

Quadro 1 – Valores aproximados de K (perdas localizadas).

Peça	K	Peça	K
Ampliação gradual	0,30*	Junção	0,40
Bocais	2,75	Medidor Venturi	2,50**
Comporta aberta	1,00	Redução gradual	0,15*
Controlador de vazão	2,50	Saída de canalização	1,00
Cotovelo de 90°	0,90	Tê, passagem direta	0,60
Cotovelo de 45°	0,40	Tê, saída de lado	1,30
Crivo	0,75	Tê, saída bilateral	1,80
Curva de 90°	0,40	Válvula de ângulo aberta	5,00
Curva de 45°	0,20	Válvula de gaveta aberta	0,20
Curva de 22°15'	0,10	Válvula de borboleta aberta	0,30
Entrada normal em canalização	0,50	Válvula-de-pé	1,75
Entrada de borda	1,00	Válvula de retenção	2,50
Existência de pequena derivação	0,03	Válvula de globo aberta	10,00
*Com base na velocidade maior (seção menor)		Velocidade	1,00
**Relativa à velocidade na canalização			

Fonte: Manual de Hidráulica, 1988

Outra maneira de defini-la considera que perda de carga na passagem de conexões, acessórios, etc., varia com a mesma função da velocidade existente para o caso de resistência ao escoamento em trechos retilíneos de tubulações. Logo, é possível exprimir as perdas de cargas localizadas em função de comprimentos retilíneos de canalização. Pode-se obter o comprimento virtual de canalização para perdas de carga localizadas da seguinte maneira (AZEVEDO NETTO et al., 1998):

$$L = \frac{KD}{f} \quad (23)$$

A tabela a seguir inclui os valores com os comprimentos virtuais correspondentes às peças e perdas mais frequentes em canalizações (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

Figura 3 - Comprimentos equivalentes a perdas localizadas.

Diâmetro D		COTOVELO 90° RAIO LONGO	COTOVELO 90° RAIO MÉDIO	COTOVELO 90° RAIO CURTO	COTOVELO 45°	CURVA 90° RD - 1 1/2"	CURVA 90° RD - 1"	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	VÁLVULA DE GAVETA ABERTO	VÁLVULA DE GLOBO ABERTO	VÁLVULA DE ÂNGULO ABERTO	TÊ PASSAGEM DIRETA	TÊ SAÍDA DE LADO	TÊ SAÍDA LATERAL	VÁLVULA DE PÊ E CHIVO	SAÍDA DA CANALIZAÇÃO	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO LEVE	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO PESADO
mm	pol																			
13	1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2 1/2	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

* Os valores indicados para registros de globo aplicam-se também às torneiras, válvulas para chuveiros e válvulas de descarga

Fonte: Manual de Hidráulica, 1988

2.5 TUBULAÇÕES E ACESSÓRIOS

As tubulações utilizadas no recalque das elevatórias normalmente são em ferro fundido dúctil revestido internamente com cimento aluminoso. Acima de diâmetro nominal (DN) 600 mm, recomenda-se utilizar tubulações de aço para facilitar a montagem (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000).

Para as linhas de recalque, são utilizados o ferro fundido dúctil, ferro fundido cinzento, fibrocimento, PVC, polietileno reforçado com fibra de vidro, concreto protendido e aço (TSUTIYA; SOBRINHO, 2000). Os materiais mais utilizados são o ferro fundido dúctil (FºFº)

e o policloreto de vinila (PVC). No entanto, nos últimos anos houve o crescimento do uso de tubos em polietileno de alta densidade (PEAD), sendo ele o terceiro material mais utilizado nas redes de água da Região Metropolitana de São Paulo (GONÇALVES; SILVA, 2019). Questiona-se então qual a melhor solução técnica e econômica entre eles, foco principal do presente trabalho.

Segundo Tsutyia e Sobrinho (2000), a escolha do material a ser utilizado depende essencialmente dos problemas técnicos e econômicos de cada projeto.

2.5.1 Ferro Fundido Dúctil

2.5.1.1 Especificações técnicas

Os tubos em ferro fundido dúctil são fornecidos de acordo com as normas NBR 15420 – Tubos, conexões, acessórios de ferro dúctil para canalizações de esgotos – Requisitos, NBR 7675 – Tubos e conexões de ferro fundido dúctil e acessórios para sistemas de adução e distribuição de água - Requisitos e NBR 7560 – Tubos de ferro fundido dúctil centrifugado com flanges roscados.

2.5.1.2 Diâmetros

São fornecidos com diâmetros nominais de 80 a 2000 mm (SAINT-GOBAIN, 2015).

2.5.1.3 Revestimento interno

Os tubos em ferro fundido dúctil são amplamente utilizados na área do saneamento básico. Além de possuírem uma linha para transporte de águas brutas e potáveis, há a linha para o transporte de efluentes domésticos e águas pluviais, bem como para águas agressivas. Seus

revestimentos internos são constituídos de argamassa de cimento de alto-forno, argamassa de cimento aluminoso e argamassa de cimento poliuretano, respectivamente.

A proteção interna clássica de argamassa de cimento é aplicada por centrifugação, garantindo excelentes condições de escoamento hidráulico, conservadas ao longo do tempo, e protegendo de forma eficaz a parede metálica do tubo. Suas bolsas, possuem revestimento com pintura betuminosa ou epóxi.

O revestimento interno com argamassa de cimento aluminoso possui suporte de velocidades elevadas, sem risco para a vida útil das canalizações, suportando até 7,00 m/s em regime contínuo e 10,00 m/s ocasionalmente.

A argamassa de cimento apresenta superfície de baixa rugosidade, favorecendo o escoamento, diminuindo as perdas e carga e garantindo o desempenho hidráulico. Segundo a Saint-Gobain (2020), o coeficiente de rugosidade (C) para as tubulações de ferro fundido dúctil equivale a 140.

2.5.1.4 Revestimento externo

A proteção externa é composta por zinco e pintura betuminosa para redes de água ou epóxi vermelha para redes de esgoto. O primeiro é formador de uma camada protetora estável, além de possuir a capacidade de autocicatrização de danos causados à parede do tubo.

2.5.1.5 Classes de pressão

Segundo a NBR 7675, a espessura da parede dos tubos e as classes de pressão são dadas pela definição do K. Encontrados comercialmente e fabricados em larga escala, os tubos com ponta e bolsa possuem classe K-7, 9 e 12. Já os tubos com flanges, possuem classe K-9, 12 e 14. As conexões são K-12, exceto os têes e as cruzetas que são K-14.

Os fabricantes fazem uso das seguintes terminologias: Pressão de serviço admissível (PSA), Pressão máxima de serviço (PMS) e Pressão de teste admissível (PTA). A primeira se

trata da pressão interna excluindo o golpe de aríete. A segunda é a pressão interna incluindo o golpe de aríete. E por último, a pressão hidrostática máxima que pode ser aplicada no teste de campo a uma tubulação recém instalada (figuras 4, 5 e 6).

Figura 4 - Pressões dos tubos bolsa e ponta classe K-7 - JGS, JTI e JTE.

PRESSÕES DOS TUBOS BOLSA E PONTA CLASSE K7 – JGS, JTI e JTE									
DN	TUBOS – CLASSE K7								
	JGS			JTI			JTE		
	PSA	PMS	PTA	PSA	PMS	PTA	PSA	PMS	PTA
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
150	6,4	7,7	8,2	1,6	1,9	2,4			
200	5,3	6,3	6,8	1,6	1,9	2,4			
250	4,4	5,2	5,7	1,3	1,5	2,0			
300	3,8	4,6	5,1	1,0	1,2	1,7			
350	3,4	4,1	4,6	1,0	1,2	1,7			
400	3,0	3,6	4,1	1,0	1,2	1,7			
450	2,9	3,5	4,0	1,0	1,2	1,7			
500	2,8	3,3	3,8	0,8	0,9	1,4			
600	2,6	3,1	3,6	0,6	0,7	1,2	1,6	1,9	2,4
700	2,4	2,9	3,4				1,5	1,8	2,3
800	2,3	2,8	3,3				0,9	1,1	1,6
900	2,3	2,7	3,2				0,9	1,1	1,6
1000	2,2	2,6	3,1				0,9	1,1	1,6
1200	2,1	2,5	3,0				0,8	1,0	1,5

Fonte: Características e aplicações dos tubos de Ferro Fundido Dúctil, 2020

Figura 5 - Pressões dos tubos bolsa e ponta classe K-9 - JG5 e JTI.

PRESSÕES DOS TUBOS BOLSA E PONTA CLASSE K9 - JG5 e JTI						
DN	TUBOS – CLASSE K9					
	JG5			JTI		
	PSA	PMS	PTA	PSA	PMS	PTA
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
80	6,4	7,7	8,2	2,5	3,0	3,5
100	6,4	7,7	8,2	2,5	3,0	3,5
150	6,4	7,7	8,2	2,5	3,0	3,5
200	6,2	7,4	7,9	2,0	2,4	2,9
250	5,5	6,6	7,1	2,0	2,4	2,9
300	4,9	5,9	6,4	2,0	2,4	2,9
350	4,6	5,5	6,0	2,5	3,0	3,5
400	4,2	5,1	5,6	2,2	2,6	3,1
450	4,1	4,9	5,4	2,0	2,4	2,9
500	3,8	4,6	5,1	1,7	2,0	2,5
600	3,6	4,3	4,8	1,6	1,9	2,4
700	3,4	4,1	4,6			
800	3,2	3,9	4,4			
900	3,1	3,7	4,2			
1000	3,0	3,6	4,1			
1200	2,9	3,5	4,0			

Fonte: Características e aplicações dos tubos de Ferro Fundido Dúctil, 2020

Figura 6 - Pressões dos tubos bolsa e ponta classe K-9 – JTE.

PRESSÕES DOS TUBOS BOLSA E PONTA CLASSE K9 - JTE						
DN	TUBOS – CLASSE K9					
	JTE			JTE especial		
	PSA	PMS	PTA	PSA	PMS	PTA
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
80						
100						
150						
200						
250						
300	3,7	4,4	4,9			
350	3,2	3,8	4,3			
400	3,0	3,6	4,1			
450	3,0	3,6	4,1			
500	3,0	3,6	4,1			
600	2,7	3,2	3,7			
700	2,5	3,0	3,5			
800	1,6	1,9	2,4	2,5	3,0	3,5
900	1,6	1,9	2,4	2,5	3,0	3,5
1000	1,6	1,9	2,4	2,5	3,0	3,5
1200	1,6	1,9	2,4	2,5	3,0	3,5

Fonte: Características e aplicações dos tubos de Ferro Fundido Dúctil, 2020

Os tubos com flanges têm sua resistência a pressão caracterizada pela Pressão Nominal (PN), podendo variar entre 10, 16 e 25 bar (figura 7).

Figura 7 - Pressões dos tubos com flanges - PN-10, PN-16 e PN-25.

DN	PN 10			PN 16			PN 25		
	PSA	PMS	PTA	PSA	PMS	PTA	PSA	PMS	PTA
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
80	1,6	2,0	2,5	1,6	2,0	2,5	4,0	4,8	5,3
100 e 150	1,6	2,0	2,5	1,6	2,0	2,5	2,5	3,0	3,5
200 à 300	1,0	1,2	1,7	1,6	2,0	2,5	2,5	3,0	3,5
350 à 1200	1,0	1,2	1,7	1,6	2,0	2,5	2,5	3,0	3,5
1400 à 2000	1,0	1,2	1,7	1,6	2,0	2,5	-	-	-

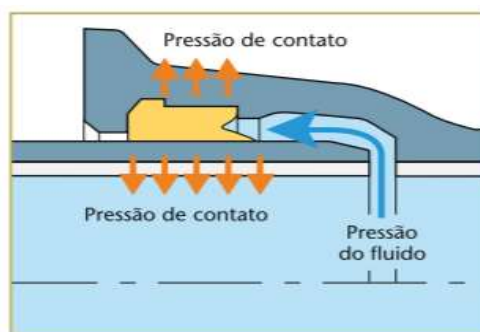
Fonte: Características e aplicações dos tubos de Ferro Fundido Dúctil, 2020

2.5.1.6 Tipos de juntas (JGS, JTI, JTE, JM e flanges)

Os tubos em Ferro Fundido Dúctil possuem sistema de união por juntas do tipo junta elástica (JGS), junta travada interna (JTI), junta travada externa (JTE), junta mecânica (JM) e flangeadas.

A JGS, idêntica à JE2GS da NBR 13747, é automática e confeccionada em borracha sintética (SBR) ou natural (EPDM). Sua estanqueidade se dá no momento da montagem pela compressão radial do anel de vedação, através do encaixe da ponta do tubo no interior da bolsa, possibilitando fácil e rápida montagem. Além de resistir a uma pressão externa de 0,30 Mpa, à medida que a pressão interna cresce, a pressão de contato entre o anel de vedação em elastômero e o metal aumenta, assegurando total estanqueidade (SAINT-GOBAIN, 2015) (figura 8).

Figura 8 - Estanqueidade da JGS.

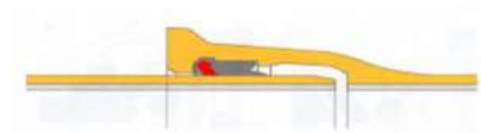


Fonte: Catálogo Saint-Gobain Canalização, 2015

Fornecida em tubos e conexões de DN 80 a 1200 mm, ela pode ser utilizada em tubulações com altas pressões, enterradas, aéreas ou em solos com lençol freático. Com esse tipo de união, é possível eliminar algumas curvas do traçado fazendo deflexão angular e afastamento. Isso assegura um comportamento flexível em caso de movimentação do terreno ou escavações próximas a tubulação, permitindo também um deslocamento axial considerado como segurança, e não para movimentos contínuos (SAINT-GOBAIN, 2015).

A JTI tem como principal objetivo eliminar a necessidade dos blocos de ancoragem, transferindo os esforços axiais do sistema de tubulação para o terreno, impedindo a desmontagem do conjunto. O seu anel de borracha possui garras metálicas que são fixadas às pontas lisas dos tubos, onde se dá um desgaste e uma perda considerável na capacidade de suporte de pressão dos tubos (SAINT-GOBAIN, 2015) (figura 9).

Figura 9 - Junta travada interna – JTI.



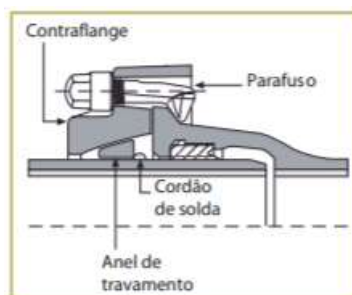
Fonte: Características e aplicações dos tubos de Ferro Fundido Dúctil, 2020

Ela é utilizada em terrenos de baixa resistência mecânica, tubulações assentadas em grandes declives, encamisadas, aéreas, onde não se pode construir de blocos de ancoragem, entre outros. O seu desempenho é uma mescla entre as juntas elásticas e as juntas soldadas.

Porém, estão disponíveis no mercado somente nos DN's de 80 a 600 mm. Além de possuir a mesma estanqueidade das juntas elásticas, a sua montagem também é idêntica (SAINT-GOBAIN, 2015)

A JTE tem praticamente o mesmo princípio da JTI. Porém, é fornecida nos DN's de 300 a 1200 mm, e indicada para casos em que há limitação de espaço para construção do bloco de ancoragem, onde a declividade do terreno seja maior que 25% ou em travessias aéreas. Para sua montagem, é necessária a realização de “cachimbos” destinados a facilitar o aperto dos parafusos. A transferência dos esforços axiais depende de um cordão de solda na ponta do tubo, anel de travamento, contraflange especial, parafusos e porcas (SAINT-GOBAIN, 2015) (figura 10).

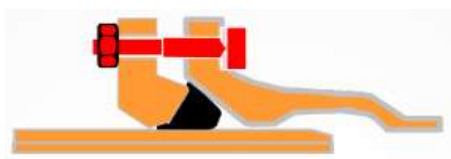
Figura 10 - Junta travada externa – JTE.



Fonte: Catálogo Saint-Gobain Canalização, 2015

A JM, utilizada somente na conexão luva de correr, permite montagem sem esforço de encaixe e também possibilita desvio angular. É necessária a realização de “cachimbos” nas valas para o aperto dos seus parafusos. Normalmente, ela é utilizada em reparos feitos em linhas existentes ou onde haverá ampliações (SAINT-GOBAIN, 2020) (figura 11).

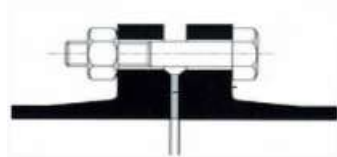
Figura 11 - Junta mecânica – JM.



Fonte: Características e aplicações dos tubos de Ferro Fundido Dúctil, 2020

As juntas flangeadas são constituídas por dois flanges, uma arruela de vedação e parafusos. Os parafusos normalmente são fabricados em aço galvanizado a fogo e sua quantidade e dimensão dependem do DN e do PN do flange, que são fabricados conforme a NBR 7675. Ela é utilizada em instalações não enterradas como estações de bombeamento, câmaras de válvulas, travessias aéreas, reservatórios, entre outros. Sua estanqueidade está ligada diretamente ao aperto dos parafusos e do material de vedação da arruela. Suas principais características são a precisão de montagem e a possibilidade de montagem e desmontagem da linha (SAINT-GOBAIN, 2015) (figura 12).

Figura 12 - Junta com flanges.



Fonte: Características e aplicações dos tubos de Ferro Fundido Dúctil, 2020

2.5.1.7 Qualificação da mão de obra

Não é necessária qualificação da mão de obra para a execução das juntas dos tubos e conexões de ferro fundido dúctil.

2.5.1.8 Assentamento

Os tubos em ferro fundido dúctil são considerados tubos semirrígidos, pois apresentam resistência às cargas e às deformações. Eles suportam ovalização proveniente da carga vertical, que é repartida entre a resistência do próprio tubo e do seu reaterro lateral. O tipo de assentamento é definido em função do sistema solo-tubo (SAINT-GOBAIN, 2015).

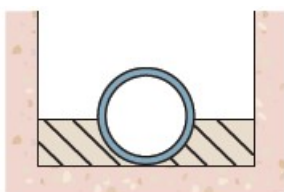
A norma American National Standards Institute (ANSI) A 21.50 prevê cinco tipos de assentamentos, sendo que os tubos de ferro fundido dúctil podem ser assentados em qualquer um deles (SAINT-GOBAIN, 2015) (figuras 13, 14, 15, 16 e 17).

Figura 13 - Tipo 1 – Fundo da vala é inalterado e o reaterro não compactado.



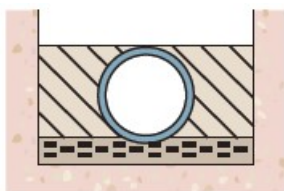
Fonte: Catálogo Saint-Gobain Canalização, 2015

Figura 14 - Tipo 2 – Fundo da vala inalterado e reaterro levemente compactado até a metade do tubo.



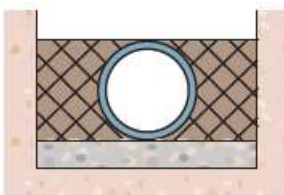
Fonte: Catálogo Saint-Gobain Canalização, 2015

Figura 15 - Tipo 3 – Fundo da vala com terra solta com espessura mínima de 10 cm e reaterro levemente compactado até a parte superior do tubo.



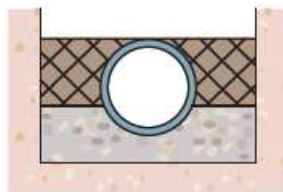
Fonte: Catálogo Saint-Gobain Canalização, 2015

Figura 16 - Tipo 4 – Fundo da vala com areia, pedregulho ou pedra britada com espessura mínima de 10 cm e reaterro compactado até a parte superior do tubo.



Fonte: Catálogo Saint-Gobain Canalização, 2015

Figura 17 - Tipo 5 – Fundo da vala com material granular até a metade do tubo, material granular ou natural compactado até a parte superior do tubo.



Fonte: Catálogo Saint-Gobain Canalização, 2015

2.5.1.9 Escavação e recobrimento

As técnicas adotadas e materiais a serem utilizados na execução da vala e do recobrimento dependem do meio, características da tubulação, solo e profundidade de aterramento. A largura das valas varia ainda em função do DN da tubulação, método de escoramento e compactação (SAINT-GOBAIN, 2015).

Independentemente do tipo de assentamento, o fundo das valas deve ser nivelado conforme o perfil da tubulação e ser livre de materiais orgânicos, rochosos, entulhos ou qualquer corpo estranho perfurante. Os tubos devem estar completamente apoiados ao longo do seu comprimento, sem que haja a presença de vazios (SAINT-GOBAIN, 2015).

A NBR 15420 indica os valores críticos de altura de recobrimentos admissíveis para os grupos de diâmetros nominais, sem que seja necessário nenhum cálculo adicional (figura 18).

Figura 18 - Alturas de recobrimento de tubulações de ferro dúctil (NBR 15420).

Parâmetros	Intervalos de alturas de recobrimento		
	DN 100 a DN 300	DN 350 a DN 450	DN 500 a DN 2 000
K (2.α)	0,110 (20°)	0,105 (45°)	0,103 (60°)
β = 0,75 E' = 0	0,3 a 5,0	0,5 a 3,0	0,5 a 2,0
E' = 1 000	0,3 a 6,0	0,4 a 4,0	0,4 a 3,5
E' = 2 000	0,3 a 6,5	0,3 a 5,0	0,3 a 4,5
E' = 5 000	0,3 a 8,5	0,3 a 8,0	0,3 a 8,0
β = 1,50 E' = 0	0,6 a 5,0	¹⁾	¹⁾
E' = 1 000	0,5 a 5,5	0,7 a 3,5	0,8 a 3,0
E' = 2 000	0,4 a 6,5	0,6 a 5,0	0,6 a 4,5
E' = 5 000	0,3 a 8,5	0,4 a 8,0	0,4 a 7,5

¹⁾ Não recomendada; apenas com cálculo específico pode ser dada uma solução adequada para cada caso.

Fonte: ABNT NBR 15420 Tubos, conexões e acessórios de ferro dúctil para canalizações de esgoto - Requisitos, 2006

O módulo de reação do solo (E') é classificado como 1000 kN/m², 2000 kN/m² e 5000 kN/m² para níveis de compactação quase nulos, fracos e bons, respectivamente. Os coeficientes de cargas rolantes (β) são considerados para áreas de circulação com tráfego pesado, normal ou rural, como 1,50, 0,75 e 0,50, respectivamente (ABNT, 2006).

O coeficiente de apoio (K) depende da distribuição das pressões do solo na geratriz superior e inferior do tubo, sendo 20° referente a uma tubulação simplesmente assentada no fundo da vala sem berço e sem compactação (ABNT, 2006).

Para melhores condições de assentamento, melhor precisão para instalação da tubulação, deve ser feito um cálculo de verificação a partir da seguinte formula (ABNT, 2006):

$$\Delta = \frac{100 \cdot K \cdot (P_e \pm P_t)}{8 \cdot S \pm (f \cdot E')} \quad (24)$$

Onde K é o coeficiente de apoio, P_e é a pressão exercida pela carga do aterro em kN/m², P_t é a carga exercida pelas cargas rolantes em kN/m², S é a rigidez diametral do tubo em kN/m², f é o fator de pressão lateral (f= 0,061) e E' é o modulo de reação do solo em kN/m².

2.5.1.10 Vida útil

Em estudos de viabilidade os tubos em ferro fundido dúctil são considerados com vida útil mínima de 50 anos (SAINT-GOBAIN, 2020).

2.5.1.11 Métodos construtivos

O método a ser utilizado para a realização da montagem das tubulações em ferro fundido dúctil é a abertura de valas, necessitando de escavações em obras (SAINT-GOBAIN, 2015).

2.5.2 PVC DEFOFO

2.5.2.1 Especificações técnicas

Os tubos em PVC DEFOFO são fornecidos de acordo com a norma NBR 7665 – Sistemas para adução e distribuição de água – Tubos de PVC 12 DEFOFO com junta elástica – Requisitos.

2.5.2.2 Diâmetros

São fornecidos com diâmetros nominais de 100 a 500 mm (TIGRE, 2016).

2.5.2.3 Cor dos tubos

Com tensão circunferencial admissível de 12 MPa (PVC 12), o composto de PVC 12 empregado na fabricação dos tubos deve ser de cor azul conforme a NBR 7665. No entanto, a linha comercial destinada a transporte de efluentes é fornecida no mercado com cor ocre (TIGRE, 2016). Ambas as linhas não possuem revestimento interno ou externo.

2.5.2.4 Classes de pressão

Os tubos são fabricados para trabalhar com pressão de serviço máxima de 1,00 MPa (TIGRE, 2016).

2.5.2.5 Tipo de junta (JEI)

Além de sua leveza, seu sistema de montagem proporciona menor força de inserção, prevenção contra o uso incorreto do anel ou o seu deslocamento durante a execução da junta. O sistema junta elástica integrada (JEI) possibilita maior velocidade de assentamento. Com esse tipo de junta também é possível eliminar curvas ao longo do caminhamento da linha, promovendo deflexão dos tubos, de tal forma que as bolsas fiquem isentas de tensão de flexão (TIGRE, 2016).

As juntas elásticas necessitam de ancoragem, sendo necessário a construção de blocos de ancoragem convenientemente dimensionados para absorver eventuais esforços axiais e transversais (TIGRE, 2016).

2.5.2.6 Qualificação da mão de obra

Não é necessária qualificação da mão de obra para a execução das juntas elásticas dos tubos e conexões de PVC DEFOFO. Sua montagem se baseia na limpeza da bolsa e ponta, aplicação de lubrificante e introdução da ponta na bolsa (TIGRE, 2016).

2.5.2.7 Assentamento e recobrimento

As valas para assentamento das tubulações têm suas larguras definidas de acordo com o DN da tubulação. Esta deve ser recoberta com material selecionado e compactado manualmente ou hidraulicamente em camadas de 10 cm, por pelo menos 30 cm acima da

geratriz superior do tubo. Posteriormente, devem ser lançadas camadas de 30 cm e compactadas de tal forma que se obtenha o mesmo estado do terreno lateral da vala (TIGRE, 2016).

Caso o recobrimento seja menor que 80 cm ou quando houver tráfego pesado, deve ser executada canaleta de concreto, colocando o tubo no seu interior envolvido de material granular ou executar uma laje de concreto armado acima da envoltória do tubo (TIGRE, 2016).

2.5.2.8 Vida útil

A vida útil do PVC é, em média, superior a 60 anos, podendo durar de 15 a 100 anos (AMANCO, 2018).

2.5.2.9 Métodos construtivos

O método a ser utilizado para a realização da instalação das tubulações em ferro PVC DEFOFO é a abertura de valas, necessitando de escavações em obras (AMANCO, 2018).

2.5.3 PEAD

2.5.3.1 Especificações técnicas

Os tubos em PEAD são fornecidos de acordo com as normas NBR 15561 – Tubulação de polietileno PE 80 e PE 100 para transporte de água e esgoto sob pressão – Requisitos, ISO 4427 - Plastics piping systems for water supply, and for drainage and sewerage under pressure — Polyethylene (PE) — Part 2: Pipes, EN 12201 - Polyethylene (PE) pipes for water supply, and for drainage and sewerage under pressure - dimensions.

2.5.3.2 Diâmetros

São fornecidos com diâmetros externos de 63 a 2000 mm (ABNT, 2017).

2.5.3.3 *Cor dos tubos*

Segundo a NBR 15561, os tubos devem possuir cores de acordo com a sua aplicação: para ramais de água na cor azul ou preto; para redes de distribuição e/ou adutoras de água na cor azul ou preta com listras azuis; e para transporte de esgoto sanitário sob pressão na cor preta com listras ocreas.

2.5.3.4 *Classes de pressão*

Com pressão de operação de até 2,50 MPa e transportes de fluidos em temperaturas de até 40° C, os tubos de PEAD são designados pelo seu diâmetro externo nominal, pelo seu Standard Dimension Ratio (SDR) e/ou PN, espessura mínima (e) e tipo de resina (PE) (ABPE, 2013).

Os tubos são produzidos com resinas especiais designadas e qualificadas como PE 80 e PE 100, correspondentes à tensão mínima requerida (MRS) que equivale a tensão circunferencial de 8 e 10 MPa (ABPE, 2013).

A pressão nominal (PN) dos tubos é identificada pelo número SDR obtido pela razão entre o diâmetro externo nominal e a espessura do tubo. Para cada material um mesmo SDR define o mesmo PN, que pode ser calculado pela seguinte equação (ABNT, 2017):

$$PN = \frac{2 \cdot (\sigma_d \cdot 10) \cdot e}{DE - e}$$

Onde σ_d é a tensão circunferencial de dimensionamento que corresponde a tensão circunferencial (MRS) dividido por um fator de segurança maior que 1, e é a espessura em mm e DE o diâmetro nominal externo em mm.

2.5.3.5 *Tipos de juntas (soldáveis, mecânicas e híbridas)*

A forma mais comum de unir tubos poliolefinicos é a solda de topo de termofusão, realizada através de um equipamento de soldagem, que funde as extremidades e as comprime, uma contra a outra promovendo a interação entre as superfícies fundidas e sua soldagem. Sua faixa de aplicação está entre os DEs 63 a 1600 mm, não sendo recomendada a solda entre tubos com SDR diferentes. É necessária a construção de “cachimbos” nas valas para a execução das soldas, a menos que elas sejam feitas antes da colocação dos tubos nas valas (ABPE, 2013).

A solda por eletrofusão utiliza uma fonte de tensão elétrica controlada que assegura a quantidade de energia necessária à solda. Sua faixa de aplicação está entre os DEs de 20 a 800 mm e é muito utilizada em reparos, entrocamentos, derivações, expansões de linhas ou quando não é possível realizar a solda por termofusão (ABPE, 2013).

As juntas mecânicas estão disponíveis no tipo compressão para as conexões como tês, cotovelos, uniões, entre outros. São auto-travadas, resistentes a esforços longitudinais, devendo apresentar resistência a tração e pressão compatível com a classe de pressão do tubo a que se destina. São utilizadas para linhas com DE 16 a 160 mm, em redes de água potável e irrigação, e também reparos (ABPE, 2013).

As juntas híbridas fazem transição entre peças com extremidade soldável e a outra para junta mecânica. Normalmente são utilizadas entre tubos de materiais diferentes e designadas como adaptadores ou juntas de transição. Podem ser aplicadas em linhas com DE 20 a 1600 mm (ABPE, 2013).

2.5.3.6 Qualificação da mão de obra

As empresas ou o instalador devem possuir equipamentos qualificados para sondagens, procedimentos de sondagens e instalação, controle de qualidade e registros de sondagens por seus soldadores, que serão exigidos pela contratante na assinatura do contrato de serviços (ABPE, 2013).

O soldador deve possuir treinamento prático e teórico na modalidade de solda, podendo ser exigido até mesmo ensino fundamental completo. A qualificação é válida por 2 anos, desde que não fique mais de 6 meses sem executar sondagens (ABPE, 2013).

O inspetor deve ter treinamento prático e teórico, sendo o último com mais ênfase. Alguns órgãos de certificação exigem segundo grau completo ou experiência comprovada. A qualificação é válida por 5 anos, desde que não fique mais de 6 meses sem realizar inspeções (ABPE, 2013).

2.5.3.7 Assentamento e recobrimento

As valas para assentamentos dos tubos devem possuir menor largura possível, porém o suficiente para permitir a compactação mecânica ou manual entre o tubo e a parede da vala. Para DEs menores ou iguais a 160 mm, a vala deverá ter largura de 300 mm, para DEs entre 200 a 400 mm, 600 mm e para DEs maiores que 400 mm, deve-se somar ao DE, 300 mm (ABPE, 2013).

Sempre que possível, utilizar a flexibilidade do tubo para fazer curvas, eliminando a necessidade de utilização de conexões. O raio de curvatura provisório adotado durante a instalação do tubo e o raio permanente são expressos na figura 19 (ABPE, 2013).

Figura 19 - Raios provisórios e permanentes admissíveis.

SDR	Raio Permanente (mm)	Raio Provisório (mm)
≤ 17	30 . DE	15.DE
21	33 . DE	20.DE
26 a32,25	40 . DE	30.DE
41	50 . DE	35.DE

Fonte: ABPE - Manual de boas práticas, 2013

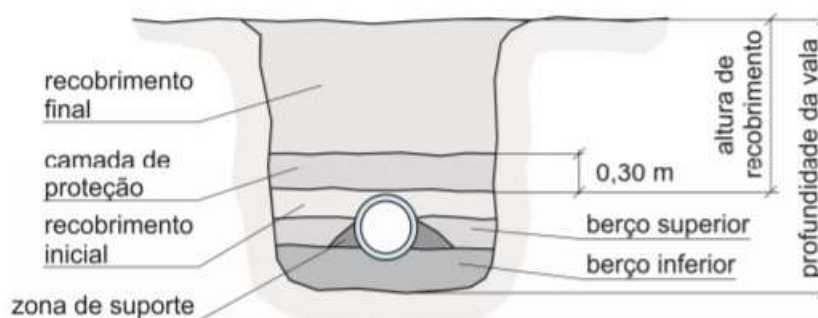
Em casos de instalações em terreno com lençol freático, faz-se necessária a remoção da água antes do assentamento da tubulação. Deve-se evitar pressão de colapso na tubulação, principalmente para os tubos com SDR menores que 17 (ABPE, 2013).

Segundo a ABPE (2013), os tubos de SDR menor ou igual a 17 possuem comportamento parecido com os tubos semirrígidos, suportando a grande maioria das situações práticas de instalação. O fundo da vala deve ser isento de pedras, corpos estranhos cortantes ou perfurantes,

assim como o material da envoltória do tubo. O recobrimento da tubulação acima da geratriz superior do tubo deve ser feito em camadas de 20 cm com material tipo granular, granular/coesivo ou misto. O restante do recobrimento pode ser feito com o material da própria escavação compactado em camadas de no máximo 20 cm. Caso o material natural não apresente suporte necessário, o reaterro deverá ser feito com outro material de melhor qualidade (ABPE, 2013).

Para tubos com SDR maior que 17, que possuem menor espessura, o material de reaterro é de extrema importância, devendo-se utilizar materiais granulares como areia lavada. Deve-se executar um berço e zona de suporte que envolva de 120° a 180° a superfície inferior do tubo, reaterro inicial que vigorosamente compactado manualmente ou mecanicamente em camadas de no máximo 20 cm até a geratriz superior do tubo, camada de proteção de 30 cm de espessura acima da geratriz superior do tubo compactado hidraulicamente ou com soquetes leves, recobrimento final com material da própria escavação se possuir suporte necessário (figura 20) (ABPE, 2013).

Figura 20 - Envolvimento da tubulação de SDR > 17.



Fonte: ABPE - Manual de boas práticas, 2013

2.5.3.8 Vida útil

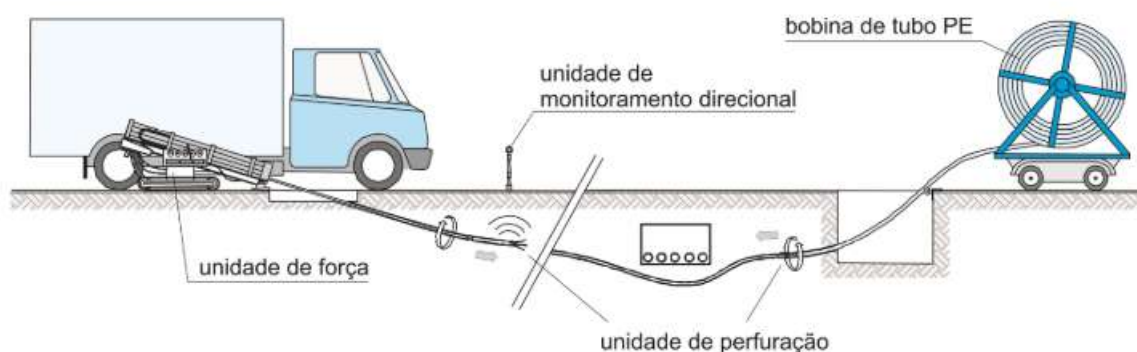
Os tubos em PEAD são projetados para uma vida útil de 50 anos (ABPE, 2013).

2.5.3.9 Métodos construtivos

Os tubos em PEAD são instalados pelo método destrutivo ou pelos métodos não destrutivos conhecidos como MND. Ele tem sido cada vez mais empregado, seja na recuperação de linhas velhas, quanto na instalação de novas linhas. Facilita a maioria das instalações em grandes centros urbanos, evitando a intervenção e distúrbio ao tráfego e a população (ABPE, 2013).

Hoje em dia, o método mais utilizado é o Furo Dirigido ou Direcional ou *Horizontal Directional Drilling* (HDD). É utilizado em travessias de ruas e estradas para a instalação de novos tubos sem a abertura de valas, quando for conveniente, econômico ou quando as condições locais forem determinantes (figura 21) (ABPE, 2013).

Figura 21 - Esquema da operação de furo dirigido ou direcional.



Fonte: ABPE - Manual de boas práticas, 2013

Esse método se baseia na perfuração linear e rotativa do conjunto haste e sonda com a utilização de lama bentonítica que perfura hidráulicamente o solo, consolidando o micro túnel para não ocorrer o desmoronamento, constituindo o furo piloto que posteriormente é alargado para a passagem do tubo a ser instalado (ABPE, 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A partir da indagação de qual o melhor material a ser utilizado na linha de recalque visando os custos para sua implantação e seus parâmetros técnicos na fase de projeto, avaliou-se qual material possui melhor viabilidade técnica e econômica dentro da proposta deste trabalho.

Sendo assim, inicialmente, foi feita uma revisão bibliográfica para explorar as características técnicas e de dimensionamento das estações elevatórias de esgotos, a fim de contextualizar os dados da estação elevatória de esgotos da sub-bacia 08, obtidos por meio do memorial de cálculo, memorial descritivo e do projeto executivo, cedidos pela empresa projetista Senha Engenharia:

- a) Vazão total: 48,85 L/s;
- b) Vazão de cada bomba: 48,85 L/s;
- c) Altura manométrica máxima: 22,71 m;
- d) Número de conjuntos motobombas: 2, sendo 1 reserva;
- e) Tipo de bomba: centrífuga submersível;
- f) Extensão da linha de recalque: 438,98 m;
- g) Diâmetro econômico da linha de recalque: DE (diâmetro externo) 225 mm;
- h) Material especificado na linha de recalque: PEAD com SDR 17, PE 100 e PN-10.

Após isso, foram apresentadas as características técnicas dos três principais materiais disponíveis no mercado que podem ser utilizados na implantação de linhas de recalques, sendo eles o Ferro Fundido Dúctil, o PVC DEFOFO e o PEAD.

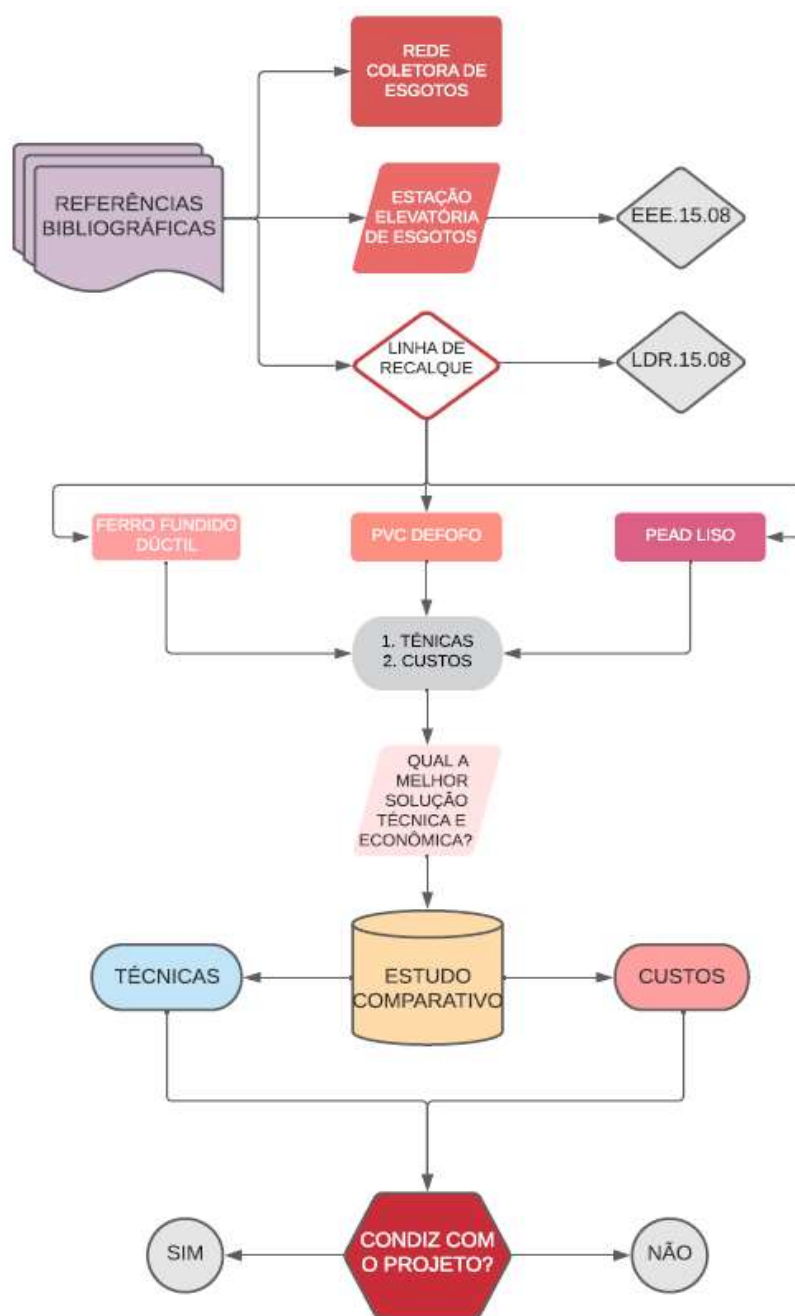
Em seguida, buscou-se avaliar as características técnicas e construtivas destes materiais, bem como os custos relativos à implantação da linha de recalque dentre as soluções tecnicamente possíveis.

Os custos foram obtidos através de tabelas de custos unitários de três fontes, sendo elas Companhias de Saneamento, tabela SINAPI (O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) e fornecedores do produto. Os dados foram sistematizados por meio de planilhas eletrônicas do software *Microsoft Excel*.

Por fim, foi avaliado se o resultado obtido neste trabalho condiz com a solução adotada pela empresa projetista.

A seguir é apresentado em forma de fluxograma a metodologia descrita acima para a realização deste trabalho (figura 22):

Figura 22 - Fluxograma da metodologia.



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTOS 15.08

A estação elevatória de esgotos em estudo é identificada com a numeração 15.08, sendo 15 referente ao número da bacia e 08, referente à sub-bacia. Ela estará situada na rua Tessalônica, em Cavaleiro, Jaboatão dos Guararapes – PE, e será responsável por receber os esgotos da sub-bacia 08 e encaminhá-los para a sub-bacia 11, de onde os efluentes seguirão para a estação elevatória de esgotos 15.11 (EEE.15.11). Além das vazões da própria sub-bacia, a elevatória receberá as contribuições provenientes das sub-bacias 06 e 07, configuradas como vazões concentradas.

Tendo como data base o ano de 2019, início de plano em 2020 com população total de 3218 habitantes, final de plano em 2047 com população total de 5127 habitantes e 100% de atendimento, a mesma receberá uma vazão total de 48,85 L/s. Considera-se consumo efetivo de água per capita de 150 L/hab.dia e coeficiente de retorno igual a 0,80.

A estação elevatória de esgotos irá conter tratamento preliminar com dois cestos a serem instalados na entrada do poço de sucção. Quando um dos cestos forem removidos para limpeza, a comporta de vedação do mesmo deverá ser fechada e todo o fluxo de esgoto será direcionado para o cesto em operação. Com a recolocação do cesto, a comporta será aberta, e o fluxo de esgoto voltará a ser dividido entre os dois cestos. O recalque será realizado por bomba do tipo submersível, tendo previsto um equipamento reserva.

O poço de sucção será dividido em duas câmaras e cada uma abrigará uma bomba. Haverá uma comporta entre as câmaras permitindo a comunicação entre estas, que deverá ficar normalmente aberta.

A área da elevatória contará com alguns dispositivos de segurança para a operação da unidade como: grupo gerador para o caso de falha no fornecimento de energia e guindaste giratório para içamento das bombas e cestos coletores.

4.2 LEVANTAMENTO DE DADOS DA LINHA DE RECALQUE 15.08

A linha de recalque (LDR) da estação elevatória de esgotos 15.08 será em tubulação de PEAD com diâmetro externo de 225 mm, de acordo com a empresa projetista. Iniciará na rua Tessalônica até convergir a esquerda na Avenida Bom Sucesso, por onde seguirá até o PV projetado da sub-bacia 11 (figura 23).

Figura 23 - Planta de situação da linha de recalque 15.08.



Fonte: SENHA Engenharia, 2019.

A linha de recalque possui extensão de 438,98 m e profundidade média de 1,10 m. Ao longo do seu caminhamento, no ponto mais alto, foi prevista a instalação de uma ventosa tríplice função. Esta, é utilizada para expelir o ar deslocado pelo esgoto durante o enchimento da linha, admitir ar durante o esvaziamento da linha e expelir continuamente o ar acumulado durante a operação da linha.

4.3 ANÁLISE TÉCNICA DAS TUBULAÇÕES

As características técnicas das tubulações são fatores importantes para a sua escolha. Seus diâmetros e suas classes de pressão disponíveis no mercado, são um dos principais fatores para a definição do tipo de material da tubulação a ser utilizada na linha de recalque.

Sendo assim, inicialmente foi analisada a equivalência dos diâmetros das tubulações em PEAD, PVC DEFOFO e Ferro Fundido Dúctil. A empresa projetista definiu, dentre as alternativas estudadas de DE 200, 225 e 250 mm, o diâmetro econômico da linha de recalque como DE 225 mm em PEAD com SDR 17, PE 100 e PN-10. Logo, foi possível fazer a seguinte análise, como mostra o Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Diâmetros equivalentes.

	PEAD	PVC DEFOFO	FERRO FUNDIDO DÚCTIL
DE (mm)	225	222	222
DI (mm)	198,20	204,20	211,20
DN (mm)	-	DN 200	DN 200
Referência	FGS Brasil	Tigre	Saint Gobain
Sendo, DE o diâmetro externo, DI o diâmetro interno e DN o diâmetro nominal.			

Fonte: Autora, 2021.

Considerando a tubulação em Ferro Fundido Dúctil com classe K-7, com características semelhantes a tubulação definida em projeto pela empresa projetista, verificou-se que o diâmetro interno (DI) da tubulação em PEAD possui menor valor e pouca variabilidade em relação aos DI's das tubulações de DN 200 mm em PVC DEFOFO e em Ferro Fundido Dúctil, podendo assim afirmar suas equivalências.

Em seguida, observou-se que a altura manométrica máxima de projeto corresponde a aproximadamente 0,23 MPa. Avaliando se as outras tubulações além do PEAD atendem essa classe de pressão com suas características já definidas, concluiu-se que sim, como é mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 – Classes de pressão.

	PEAD	PVC DEFOFO	FERRO FUNDIDO DÚCTIL
Classe de pressão (MPa)	1,00	1,00	6,30
Referência	FGS Brasil	Tigre	Saint Gobain

Fonte: Autora, 2021.

Verificou-se assim que, além do PEAD, utilizado pela empresa projetista, também o PVC DEFOFO e o Ferro Fundido Dúctil são soluções tecnicamente possíveis para a implantação desta linha de recalque. Portanto, o Ferro Fundido Dúctil possui capacidade de classe de pressão muito elevada, não sendo necessário o uso do mesmo na linha de recalque 15.08.

Para uma melhor visualização e comparação dos demais parâmetros técnicos das tubulações, é apresentado o quadro 4.

Quadro 4 - Comparativo técnico das tubulações.

	PEAD	PVC DEFOFO	FERRO FUNDIDO DÚCTIL
Especificações Técnicas	NBR 15561	NBR 7665	NBR 15420
Cor dos tubos ou revestimento externo	Preta com listas ocre	Ocre	Zinco e pintura epóxi vermelha
Revestimento Interno	-	-	Argamassa de cimento aluminoso
Classes de pressão	2,50 MPa	1,00 MPa	6,30 MPa (JGS) - Classe K-7
			7,40 MPa (JGS) - Classe K-9
Juntas	Soldáveis, mecânicas e híbridas	JEI	JE2GS, JTE, JTI, flanges
Diâmetros	63 a 2000 mm	100 a 500 mm	80 a 2000 mm
Qualificação da mão de obra	Soldador e inspetor	-	-
Vida útil	50 anos	60 anos	50 anos
Coefficientes de Hazem-Williams	140	140	130/140
Métodos construtivos	Destritivo e não destrutivo	Destritivo	Destritivo

Fonte: Autora, 2021.

Apesar das cores dos tubos não interferirem tecnicamente na definição do tipo do material da tubulação, os demais itens podem influenciar de forma negativa ou positivamente na construção, operação, manutenção, conservação e funcionamento do sistema, quando comparados entre si.

As juntas das tubulações podem influenciar diretamente na agilidade da montagem. Tendo em vista que o PEAD necessita de mão de obra qualificada para manusear o equipamento de solda, o PVC DEFOFO possui maior produtividade de assentamento por possuírem juntas de mais fácil montagem. Já os tubos em Ferro Fundido Dúctil, apesar de serem montados facilmente, possuem peso elevado e necessitam de máquinas para sua movimentação e montagem, elevando o custo da obra e o tempo de assentamento (BEVILACQUA, 2006).

Arrais et al. (2015) também afirmam que a montagem das juntas dos tubos e conexões em Ferro Fundido Dúctil é uma operação simples e pode ser feita com uma equipe reduzida, não sendo necessário pessoal especializado. Porém, há a necessidade de retroescavadeira para auxiliar na montagem das uniões.

Outro fator importante em relação as juntas é a sua estanqueidade. Se as juntas elásticas dos tubos em PVC DEFOFO e Ferro Fundido Dúctil forem montadas de forma inadequada ou se o anel de borracha sofrer algum dano na obra, vazamentos poderão vir a acontecer nestes pontos de união. Ao contrário do PEAD, que possui sistema de união através de solda de topo, promovendo a interação das superfícies fundidas e sua soldagem (ABPE, 2013).

Segundo Marcondes (2016), o PEAD apresenta problemas de adaptação a outros tipos de materiais, principalmente na questão de falta de estanqueidade, e também em tubulações de reparo ou intervenções que impossibilitam a união por termofusão ou eletrofusão.

No entanto, o PEAD tem pouca necessidade de reparos visto ser um produto forte, resistente e bastante durável (ANDRADE; ABREU, 2017). Florência e Back (2016) também afirmam que as tubulações em PEAD são extremamente resistentes e possui ótima resistência às solicitações de tráfego.

As valas para o assentamento das tubulações em PVC DEFOFO e PEAD possuem similaridades entre si. Por se tratarem de tubulações plásticas, necessitam de material

selecionado para reaterro, a garantia de eliminação de vazios, suporte lateral e respeito dos recobrimentos mínimos e máximos. Já as valas em Ferro Fundido Dúctil, podem ser executadas com reaterro com baixa compactação e sem controle (SAINT-GOBAIN, 2021).

Em casos de transições de materiais ou manutenções em linhas de PVC DEFOFO, pode-se utilizar peças em Ferro Fundido Dúctil sem a utilização de peças adaptadoras (BEVILACQUA, 2006). Diferentemente para o PEAD, onde essa adaptação só é possível com a utilização de colarinhos flangeados em junção com peças em Ferro Fundido Dúctil ou Aço (SILVA; MORAES, 2017).

Segundo Sampaio (2016), a longo prazo o PVC DEFOFO se torna mais caro que o Ferro Fundido Dúctil em decorrência da sua taxa de quebra e necessidade de manutenção. Já a tubulação em Ferro Fundido, apresenta menor ocorrência de quebras. Bevilacqua (2006) em concordância com Sampaio (2016), afirma que todas as linhas de recalque das estações elevatórias de esgoto de um modo geral, apresentam poucos problemas operacionais. Logo, com durabilidade maior e baixa taxa de quebra, a longo prazo a aquisição do Ferro Fundido Dúctil se mostra vantajosa.

A ABPE (2013) considera que quanto menor o SDR da tubulação em PEAD, seu comportamento tende a se aproximar dos tubos rígidos, como o concreto e o Ferro Fundido Dúctil. Considera-se que ambos possuem comportamentos parecidos.

Quando houver a necessidade de execução de travessias aéreas para transpor vales, córregos ou depressões, para que elas sejam rígidas e consigam vencer o vão, não é indicado o uso de tubulações de PVC DEFOFO ou PEAD. Nesses casos, os tubos de Ferro Fundido Dúctil são indicados, que com o auxílio de pilares garantem rigidez à canalização. Além disso, o PVC DEFOFO possui grande fragilidade a exposição aos raios solares, impossibilitando a execução de travessias aéreas e exigindo área de estocagem coberta (BEVILACQUA, 2006).

Os tubos plásticos, como o PEAD e o PVC DEFOFO, possuem baixa rugosidade e impacta no menor consumo de energia em relação aos tubos em Ferro Fundido Dúctil (SILVA; MORAES, 2017).

Segundo Arrais et al. (2015), a procura por tubulações de Ferro Fundido Dúctil é bem superior se comparada com outros materiais de tubulação como PVC, PEAD, aço e concreto, e são utilizados em milhares de sistemas de água e saneamento. No entanto no Brasil, os tubos

em PEAD vêm crescendo exponencialmente nos últimos anos, devido a popularização do material, menor custo de execução, auxílio no combate as perdas, possibilidade de execução em métodos não destrutivos e facilidade no manuseio devido a sua flexibilidade e leveza (MARCONDES, 2016).

4.4 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS UNITÁRIOS DOS MATERIAIS

Para fazer o levantamento dos custos unitários das tubulações em Ferro Fundido Dúctil, PVC DEFOFO e PEAD, foram utilizadas três fontes, sendo elas Companhias de Saneamento, tabela SINAPI e fornecedores do produto. Usou-se como data base o primeiro semestre de 2020, novembro de 2020 e fevereiro de 2021, respectivamente, com desoneração (quadro 5).

Quadro 5 - Custo unitário das tubulações.

	PVC DEFOFO
	CUSTO - R\$/m
Empresa X	98,60
COPASA	65,84
SINAPI	198,45
	PEAD
	CUSTO - R\$/m
Empresa X	182,26
Empresa Y	176,28
Empresa Z	151,91
	FERRO FUNDIDO DÚCTIL
	CUSTO - R\$/m
Empresa X	425,00
Empresa Y	405,00

Fonte: Autora, 2021.

Ao observar os valores obtidos, é possível verificar que as tubulações em Ferro Fundido Dúctil possuem preço muito elevado em relação as tubulações de PVC DEFOFO ou PEAD. Para o PVC DEFOFO, há uma grande discrepância do valor apresentado pela tabela SINAPI.

Tendo isso em vista, foi levantado o custo de assentamento das tubulações de acordo com a Tabela de Custos Unitários para Obras e Serviços de Engenharia – 2020.1 da COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento) para melhor análise final dos custos (quadro 6).

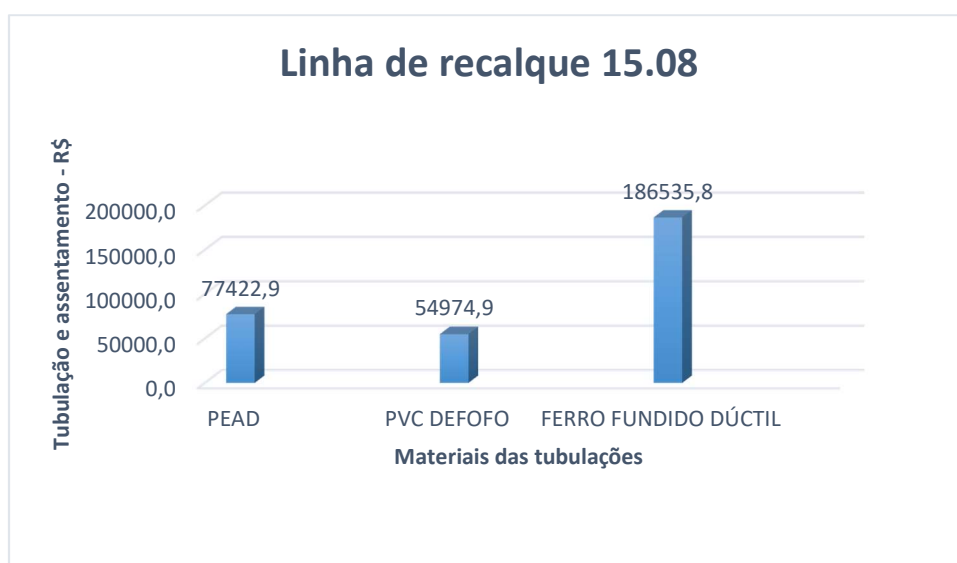
Quadro 6 - Custo de assentamento das tubulações por metro.

ASSENTAMENTOS R\$/m - Equipamentos e mão de obra	
PEAD	6,22
PVC DEFOFO	4,27
Ferro Fundido Dúctil	9,93

Fonte: Autora, 2021.

Para as tubulações em Ferro Fundido Dúctil e PVC DEFOFO, considera-se também a carga, transporte e descarga. Sendo assim, considerando a média dos custos unitários obtidos, seus assentamentos e a quantidade de 438,98 m de tubulação para a linha de recalque da estação elevatória de esgotos 15.08, obteve-se os valores finais ilustrados na figura 24.

Figura 24 - Custo da tubulação e assentamento da linha de recalque 15.08.



Fonte: Autora, 2021.

Verifica-se que o Ferro Fundido Dúctil configura maior valor em praticamente duas vezes e meia em relação ao PEAD. Já o PVC DEFOFO possui 29% a menos do valor do PEAD.

5 CONCLUSÃO

Avaliando os dados obtidos neste trabalho, é possível optar por uma solução técnica e econômica mais viável, porém as tomadas de decisão para cada projeto devem ser analisadas caso a caso. O objetivo deste trabalho foi nortear os engenheiros e projetistas da área de saneamento básico na definição do material da linha de recalque. Teve-se como referência um caso específico da linha de recalque da estação elevatória de esgotos 15.08, em Jaboatão dos Guararapes (PE).

Tecnicamente, é possível afirmar que o PVC DEFOFO, PEAD e o Ferro Fundido Dúctil, atendem satisfatoriamente a linha de recalque da estação elevatória de esgotos 15.08, assim como podem atender várias outras. Porém, deve-se levar em consideração as particularidades de cada material, para cada situação de projeto em específico.

Economicamente, a tubulação e o assentamento do PVC DEFOFO geram o menor custo, comparado ao PEAD e ao Ferro Fundido Dúctil. Dessa forma, mostra-se como a opção mais viável economicamente para este projeto.

Avaliando-se as características técnicas destes materiais, o PEAD se mostrou mais adequado tecnicamente para a execução desta linha de recalque. Foi reconhecida sua trabalhabilidade no momento da carga, transporte, descarga, montagem, assentamento e menor solicitação de manutenções. Além das suas propriedades químicas e físicas, que garantem grande vida útil ao sistema.

Portanto, indica-se para a implantação desta linha de recalque, o PEAD, que apesar de possuir maior custo em relação a tubulação de PVC DEFOFO em 29%, possui características técnicas vantajosas trazendo maiores benefícios a longo prazo. Sendo esta, condizente com a solução adotada pela empresa projetista, que justificou o uso do PEAD conforme solicitação feita pelo cliente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPE. Manual de Boas Práticas - ABPE. p. 242, 2013.

AMANCO. Catálogo Técnico Linha Infraestrutura. p. 68, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15420: Tubos, conexões e acessórios de ferro dútil para canalizações de esgotos - Requisitos. Rio de Janeiro, p. 43. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15561: Tubulação de polietileno PE 80 e PE 100 para transporte de água e esgoto sob pressão — Requisitos. Rio de Janeiro, p. 43. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, p. 7. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12208: Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário - Procedimento. Rio de Janeiro, p. 5. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7665: Sistemas para adução e distribuição de água – Tubos de PVC 12 DEFOFO com junta elástica – Requisitos. Rio de Janeiro, p. 12. 1999.

AZEVEDO NETTO, J. M. et al. Manual de Hidráulica. 8a ed. v. 8a Ed. São Paulo. p. 669. 1998.

BRASIL. LEI No 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007. Diário Oficial da União, p. 1–51, 2020a.

BRASIL. LEI Nº 14.026, DE 15 DE JULHO DE 2020. Diário Oficial da União, p. 1–30, 2020b.

GONÇALVES, R.; SILVA, E. D. A. Tubos e Conexões de Polietileno: Atualização das Normas Técnicas SABESP. AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp, p. 1–7, 2019.

HUMBERTO, Francisco. Saneamento Básico. Goiânia, p. 23, [1990?].

IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017 Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário. p. 128, 2020.

SAINT-GOBAIN. Catálogo Técnico SAINT-GOBAIN Canalização. p.464, 2015.

SAINT-GOBAIN. Características e Aplicação dos Tubos de Ferro Fundido Dúctil. p. 56, 2020.

TIGRE. Catálogo Técnico Infraestrutura Esgoto. Journal of Chemical Information and Modeling, v. 53, n. 9, p. 64, 2016.

TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário. 2a ed. São Paulo. p. 547. 2000.

DANIELETTO, J. R. B. Manual de tubulações de polietileno e polipropileno: características,

dimensionamento e instalação. 1.^a edição, Editora Linha Aberta – São Paulo, 2007.

BEVILACQUA, N. Materiais de tubulações utilizadas em sistemas de coleta e transporte de esgotos sanitários. Estudo de caso da área norte de São Paulo. 2006.

MARCONDES, R. Estudo do uso das tubulações de pead em sistemas de distribuição de água no Brasil. 2016. SAMPAIO, T. Comparativo da tubulação de PVC e Ferro Fundido para adutoras. 2016.

FLORÊNCIO, G. M.; BACK, N. Comparativo De Desempenho E Viabilidade Econômica Entre Tubulações De Pead E Concreto Para Sistemas De Drenagem Pluvial – Estudo De Caso. UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense, p. 1–19, 2016.

ARRAIS, K. F. et al. Identificação dos fatores responsáveis pelo aparecimento de fissuras em tubos de ferro fundido nas redes de esgoto em Palmas-TO. p. 1122–1129, 2015.

SILVA, P. A.; MORAES, A. G. DE. I-204 - Análise comparativa entre materiais de tubulação para construção de redes adutoras de água. n. 1, p. 1–5, 2017.

SAMPAIO, T. Comparativo da tubulação de PVC e Ferro Fundido para adutoras. 2016.

ANDRADE, L.; ABREU, T.A. DE. Análise comparativa entre tubos de Concreto e tubos PEAD para drenagem pluvial. 2017.