

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**CAMPUS LONDRINA**

**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**GIOVANNI CIAPPINA FEIJO**

**DESENVOLVIMENTO DE ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE  
ESGOTO EM EMPRESA DE TRATAMENTO DE CHORUME**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA**

**2022**

**GIOVANNI CIAPPINA FEIJO**

**DESENVOLVIMENTO DE ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE  
ESGOTO EM EMPRESA DE TRATAMENTO DE CHORUME**

**DEVELOPMENT OF A SEWAGE LIFTING STATION IN A  
LEACHATE TREATMENT COMPANY**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,  
apresentado à Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná (UTFPR), Campus Londrina  
como requisito parcial para obtenção do  
título de Engenheiro Químico.

Orientadora: Profa. Dra. Larissa Maria Fernandes

Coorientadora: Profa. Dra. Silvia Priscila Dias  
Monte Blanco

**LONDRINA**

**2022**



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

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

**GIOVANNI CIAPPINA FEIJO**

**DESENVOLVIMENTO DE ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE  
ESGOTO EM EMPRESA DE TRATAMENTO DE CHORUME**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,  
apresentado à Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná (UTFPR), Campus Londrina  
como requisito parcial para obtenção do  
título de Engenheiro Químico.

Orientadora: Profa. Dra. Larissa Maria Fernandes  
Coorientadora: Profa. Dra. Silvia Priscila Dias  
Monte Blanco

**LONDRINA**

**2022**

**GIOVANNI CIAPPINA FEIJO**

**DESENVOLVIMENTO DE ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE  
ESGOTO EM EMPRESA DE TRATAMENTO DE CHORUME**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,  
apresentado à Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná (UTFPR), Campus Londrina  
como requisito parcial para obtenção do  
título de Engenheiro Químico.

Orientadora: Profa. Dra. Larissa Maria Fernandes  
Coorientadora: Profa. Dra. Sílvia Priscila Dias  
Monte Blanco

Data de aprovação: 24 de Novembro de 2022

---

Larissa Maria Fernandes

Doutorado em Engenharia Química Universidade Estadual de Maringá

---

Sílvia Priscila Dias Monte Blanco

Doutorado em Engenharia Química Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Lucimara Lopes da Silva

Doutorado em Ciências Universidade Estadual de Campinas

---

Sidmara Bedin

Doutorado em Engenharia Química Universidade Estadual de Campinas

**LONDRINA**

**2022**

## RESUMO

O presente estudo de caso foi realizado em um aterro sanitário e apresenta uma sugestão de um novo sistema de transporte de esgoto até a estação de tratamento da empresa, visando tornar o processo automatizado e diminuir custos em longo prazo. O objetivo central deste trabalho foi propor a implementação de uma estação elevatória de esgoto em uma empresa de tratamento de chorume, além de realizar comparações entre os custos de implementação e os custos atuais da empresa com o transporte deste resíduo. A empresa de tratamento de efluentes se encontra dentro do aterro sanitário da Kurica Ambiental, localizada em Londrina, Paraná, e trata em média 240 m<sup>3</sup> de efluentes por dia. Devido às concepções do projeto da estação, a empresa utiliza o modelo de tratamento combinado, que se baseia na mistura de chorume produzido no aterro com uma carga de esgoto de fonte externa para o tratamento e posterior lançamento na Estação de Tratamento de Esgoto da Sanepar. Atualmente, a empresa custeia o transporte do esgoto para a estação por meio do uso de caminhões pipa, que fazem diversas viagens diárias da estação de tratamento de esgoto da Sanepar, localizada em uma propriedade vizinha, até a estação de tratamento de chorume da Kurica. A implementação da elevatória de esgoto é proposta visando substituir o modelo de transporte de esgoto atual por um modelo mecanizado de transporte. Para tanto, é apresentado um projeto de bombeamento a partir de uma área de captação da linha de esgoto, passando por dois tanques intermediários, até alcançar o tanque final, onde os caminhões pipa atualmente levam o esgoto. Foi elaborado um projeto de linha de tubulação e foram detalhados os acessórios e disposições construtivas. Para o dimensionamento da bomba, realizaram-se cálculos com base na literatura especializada e, a partir dos valores obtidos, encontrou-se o sistema de bombeamento que melhor atendeu ao projeto. Com base no projeto apresentado, foram feitos levantamentos de custos para a implementação. A fim de analisar a viabilidade do projeto, foram comparados os valores de custo de implementação e custo com o processo atual. Concluiu-se que, com base nos cálculos de execução de engenharia, o projeto seria pago em aproximadamente 3 anos e 2 semanas considerando a operação atual e 1 ano e 18 semanas considerando a operação de transporte máxima, como permitida pela licença de operação da empresa.

**Palavras-chave:** Tratamento de chorume. Estações elevatórias de esgoto. Bombeamento de esgoto. Instalações hidráulicas.

## ABSTRACT

The central aim of this work is to propose the implementation of a sewage lifting station in a leachate treatment company, in addition to weighing the costs of the suggested project and the cost of the company's current mode of transportation. The leachate treatment company is within the premises of a landfill owned by Kurica Ambiental, located in Londrina, Paraná, and it treats, on average, 240 m<sup>3</sup> of effluents daily. Due to the station's design, the company operates using the combined treatment method, which relies on mixing the landfill leachate with a sewage load from an external source, treating it and subsequently releasing the effluent into a nearby river. Currently, the company bears the cost of transporting the sewage to the station using water trucks that make several daily trips from a Sanepar sewage treatment plant, located on a neighboring property, to the Kurica leachate treatment plant. The implementation of the sewage lift station is proposed in order to replace the current sewage transport method with a mechanized transport method. To this end, this work suggests an engineering project for pumping the sewage from the sewage line, passing through two intermediate tanks, until it reaches a final tank, where the trucks currently pour the sewage. A piping line project was elaborated and its accessories and constructive arrangements were presented on this work. In order to design and determine the ideal pumping system, calculations were made based on specialized literature, and then the ideal pumping system was selected based on the values obtained. Furthermore, a cost survey for the implementation of the pumping system was built. In order to analyze the project's financial feasibility, the cost of implementation and the cost of the current method of transportation were compared. This work concludes that, based on the engineering execution studies, this project would pay off in approximately three years and 2 weeks considering the maintenance of the current operation and one year and 18 weeks considering maximum transport operation, as allowed by the company's operating license.

**Keywords:** Leachate treatment. Sewage lifting station. Sewage pump. hydraulic installation.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DN	Diâmetro Nominal
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
NBR	Norma Brasileira
NPSH	Carga Positiva de Sucção
PV	Poço de Visita
PVC	Policloreto de Vinila

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
1.1.1	Objetivos Gerais .....	11
1.1.2	Objetivos Específicos .....	11
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>ATERRO SANITÁRIO</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>CHORUME</b> .....	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>TRATAMENTO DE CHORUME</b> .....	<b>12</b>
2.3.1	Tipos de tratamento de chorume .....	12
2.3.2	Tratamento combinado .....	13
<b>2.4</b>	<b>ESGOTO SANITÁRIO</b> .....	<b>14</b>
<b>2.5</b>	<b>ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO SANITÁRIO</b> .....	<b>14</b>
<b>2.6</b>	<b>NORMAS PARA PROJETOS DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO SANITÁRIO</b> .....	<b>14</b>
<b>2.7</b>	<b>LICENCIAMENTO AMBIENTAL PARA SISTEMAS DE ESGOTO SANITÁRIO</b> .....	<b>15</b>
<b>2.8</b>	<b>BOMBAS UTILIZADAS EM ELEVATÓRIAS DE ESGOTO</b> .....	<b>15</b>
<b>2.9</b>	<b>TUBULAÇÕES UTILIZADAS NA REDE COLETORA DE ESGOTO</b> ..	<b>17</b>
<b>2.10</b>	<b>TANQUES DE ESGOTO</b> .....	<b>18</b>
<b>2.11</b>	<b>REGISTROS, VÁLVULAS E COMPORTAS</b> .....	<b>19</b>
<b>2.12</b>	<b>DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS</b> .....	<b>20</b>
<b>2.13</b>	<b>REMOÇÃO DE SÓLIDOS GROSSEIROS</b> .....	<b>21</b>
<b>2.14</b>	<b>DADOS DO ESGOTO</b> .....	<b>22</b>
<b>2.15</b>	<b>DADOS EXTERNOS</b> .....	<b>24</b>
<b>2.16</b>	<b>DIMENSIONAMENTOS</b> .....	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>34</b>
<b>5.1</b>	<b>SISTEMA ATUAL</b> .....	<b>34</b>
<b>5.2</b>	<b>PROPOSTA DO NOVO SISTEMA</b> .....	<b>37</b>
5.2.1	Sistema de captação .....	39
5.2.2	Bombeamento do tanque de captação ao tanque de passagem ..	41
5.2.3	Escoamento do tanque de passagem ao tanque intermediário ....	45



5.2.4	Bombeamento do tanque intermediário ao tanque final .....	46
<b>5.3</b>	<b>MATERIAIS E CUSTOS .....</b>	<b>50</b>
5.3.1	Bomba Centrífuga.....	50
5.3.2	Custos totais .....	53
<b>5.4</b>	<b>COMPARAÇÃO DE CUSTOS.....</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Aterro sanitário de resíduos sólidos é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, que previne danos à saúde pública e minimiza os impactos ambientais. Nesta técnica são adotados princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos visando à redução do volume, com posterior cobertura de camada de terra.

Dentre as tecnologias de tratamento utilizadas, o tratamento de lixiviado combinado de chorume com esgoto sanitário se aponta como uma alternativa técnica bastante estabelecida e difundida (BIDONE, 2008).

O presente estudo de caso foi realizado em um aterro sanitário localizado em Londrina, Paraná. A empresa utiliza em seu processo de tratamento de chorume o método de tratamento combinado com o esgoto doméstico. Para o transporte do esgoto para esse processo, o aterro atualmente utiliza caminhões pipas, que retiram o esgoto de uma estação de tratamento em uma propriedade vizinha e levam até a sua estação interna, fazendo diversas viagens diárias.

Dessa forma, identificou-se um processo que pode ser otimizado. O presente trabalho apresenta a sugestão de um novo sistema de transporte de esgoto até a estação de tratamento da empresa, visando tornar o processo automatizado e diminuir custos a longo prazo. Para isso, propõe-se a substituição do transporte por caminhões atualmente utilizado por um sistema automatizado de bombeamento de esgoto.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivos Gerais**

Apresentar uma proposta de construção de um sistema de transporte de esgoto a partir de um desvio em adutora de esgoto até a estação de tratamento de chorume da empresa, a fim de se reduzir custos de transporte.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Analisar o processo atual de transporte de esgoto dentro da empresa e seus custos envolvidos;
- Propor um sistema de bombeamento até a estação de tratamento de esgoto da empresa;
- Fazer uma análise econômica para a implementação do sistema de bombeamento proposto;
- Comparar os custos entre o projeto de construção do novo sistema de bombeamento e as despesas com o modelo de transporte atual.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 ATERRO SANITÁRIO**

De acordo com a NBR 8419 (1992), aterro sanitário de resíduos sólidos é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, e minimizando os impactos ambientais. Esse método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

Os aterros sanitários são uma forma de disposição final de resíduos sólidos de grande aplicabilidade devido à sua flexibilidade para receber diferentes tipos de resíduos, simplicidade operacional, baixo custo, comparado a outras soluções, domínio da tecnologia e a possibilidade de associação do aterro sanitário a técnicas de reciclagem e valorização dos resíduos, como forma de aumento de sua vida útil (RUSSO, 2003).

### **2.2 CHORUME**

Chorume é o nome usualmente utilizado para caracterizar o líquido gerado durante o processo da decomposição predominantemente anaeróbia de resíduos sólidos dispostos em aterro sanitário. Esse líquido, ou essa mistura de líquidos, conceitua-se modernamente como lixiviado (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Segundo Giordano (2003), algumas das características dos lixiviados que aumentam a dificuldade de seu tratamento são as elevadas concentrações de matéria orgânica recalcitrante, sais, surfactantes e nitrogênio amoniacal e as baixas concentrações de matéria orgânica biodegradável e de fósforo.

### **2.3 TRATAMENTO DE CHORUME**

#### **2.3.1 Tipos de tratamento de chorume**

As alternativas mais conhecidas de tratamento de lixiviado são as seguintes: remoção de amônia por aeração mecânica; adsorção em carvão ativado; processos de membrana (osmose reversa); evaporação; aspersão sobre o solo; coagulação, floculação, sedimentação ou flotação; oxidação química; processo foto-eletroquímico; lagoas anaeróbias e lagoas facultativas;

tratamento conjunto em estação de tratamento de esgoto; recirculação; tratamento em leito de vermicomposto; processos biológicos aeróbios; processos biológicos anaeróbios; banhados construídos (BIDONE, 2008; BELTRÃO, 2006).

Para o tratamento do chorume, pode-se efetuar tratamento *in situ* (no local) ou *ex situ* (fora do local) (STEGMANN *et al.*, 2005). Dentre as tecnologias *ex situ*, o tratamento de lixiviado combinado de chorume com esgoto sanitário se aponta como uma alternativa técnica bastante estabelecida e difundida (BIDONE, 2008).

### **2.3.2 Tratamento combinado**

Segundo Torres *et al.* (2008), a alternativa de tratamento combinado é caracterizada por ser menos sujeita a falhas em comparação à maioria das tecnologias de tratamento *in situ*.

Outra vantagem apresentada é que, no tratamento combinado, a adição de nutrientes geralmente é dispensada uma vez que o nitrogênio é suprido pelo chorume e o fósforo pelo esgoto. Esse fato, além de reduzir os custos operacionais, simplifica a reação (RENOU *et al.* 2008).

Del Borghi *et al.* (2003) afirmam que o tratamento combinado de lixiviado e esgoto doméstico em sistemas de lodos ativados é uma alternativa economicamente viável, mas destaca que para se projetar corretamente sistemas de tratamento com esta finalidade deve-se recorrer a estudos de bancada para avaliar sua cinética de biodegradação e a relação lixiviado/esgoto ideal, que não comprometa o processo.

A opção de mistura de lixiviado e de esgoto na ETE é sempre viável em termos quantitativos, resultando em grande diluição do lixiviado. O aspecto negativo da alternativa pode ser o custo de logística (transporte) do lixiviado até as ETEs (BIDONE, 2008).

## **2.4 ESGOTO SANITÁRIO**

Segundo a norma brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986), o esgoto sanitário pode ser definido como o “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”.

As características físicas, químicas e biológicas dos esgotos sanitários são variadas, no entanto, sua composição apresenta predominantemente as parcelas de 99,8% a 99,9% de água e 0,01 a 0,02% de sólidos, sendo que do total de sólidos, 70% são orgânicos e 30% inorgânicos (MELO; MARQUES, 2000).

Já segundo NUVOLARI et al (2003), o esgoto é um líquido de composição aproximada de 99,87% de água, 0,04% de sólidos sedimentáveis, 0,02% de sólidos não sedimentáveis, e 0,07% de substâncias dissolvidas. Devido à forte prevalência de água na composição do esgoto, admite-se que suas propriedades físicas são as mesmas da água e, portanto, suas reações à ação de forças externas também são as mesmas. Portanto, o escoamento de esgoto em tubulações e canais é comumente tratado como se fosse de água.

## **2.5 ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO SANITÁRIO**

Todas as vezes que por algum motivo não seja possível, sob o ponto de vista técnico e econômico, o escoamento de esgoto pela ação da gravidade, é necessário o uso de instalações que transmitam ao líquido energia suficiente para garantir tal escoamento (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

As estações elevatórias de esgoto (EEE) são instalações que se destinam ao transporte de esgoto do nível do poço de sucção das bombas ao nível de descarga na saída do recalque, acompanhando aproximadamente as variações da vazão afluente (NUVOLARI et al, 2003).

## **2.6 NORMAS PARA PROJETOS DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO SANITÁRIO**

A NBR 12208 – Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário (ABNT, 1992) fixa as condições exigíveis para a elaboração de projeto hidráulico

sanitário de estações elevatórias de esgoto sanitário com emprego de bombas centrífugas.

A NBR 9648 - Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário (ABNT, 1986) fixa as condições exigíveis no estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário do tipo separador, com amplitude suficiente para permitir o desenvolvimento do projeto de todas ou qualquer das partes que o constituem.

A NBR 9649 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário (ABNT, 1986) fixa as condições exigíveis na elaboração de projeto hidráulico-sanitário de redes coletoras de esgoto sanitário.

## **2.7 LICENCIAMENTO AMBIENTAL PARA SISTEMAS DE ESGOTO SANITÁRIO**

A Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 5, de 15 de junho de 1988, artigo 3º, inciso II, estabelece que para sistemas de esgotamento sanitário as seguintes obras ficam sujeitas ao licenciamento ambiental:

- obras de coletores troncos;
- interceptores;
- elevatórias;
- estações de tratamento;
- emissários; e
- disposição final.

Dessa forma, na elaboração do projeto de elevatória de esgoto, o empreendedor deverá atender aos critérios e parâmetros estabelecidos previamente pelo órgão ambiental competente.

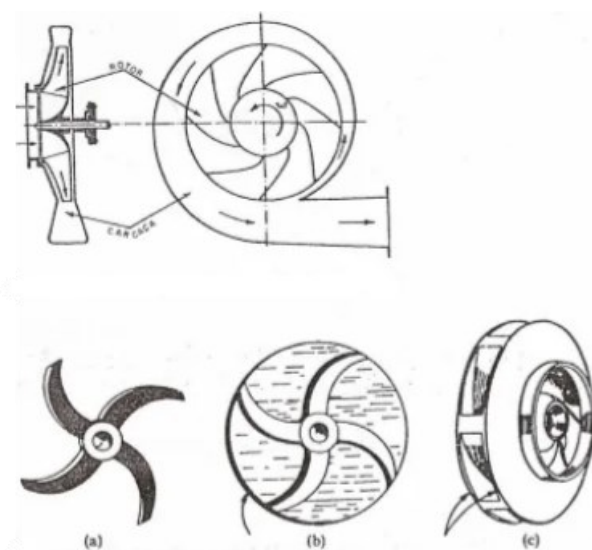
## **2.8 BOMBAS UTILIZADAS EM ELEVATÓRIAS DE ESGOTO**

Segundo Tsutiya *et al* (1999), as bombas comumente utilizadas em estações elevatórias de esgoto são as bombas centrífugas, bombas parafuso e ejetores pneumáticos.

Para o bombeamento do esgoto na rede são comumente utilizadas bombas centrífugas em razão da sua amplitude de aplicações e relativa simplicidade das obras civis envolvidas (NUVOLARI et al, 2003). Algumas das vantagens das bombas centrífugas são sua construção simples, baixo custo, possibilidade de bombear líquidos com sólidos, e menor custo de manutenção (CREMASCO, 2012).

Segundo Tsutiya et al. (1999), as bombas centrífugas são caracterizadas por possuírem um elemento rotativo dotado de pá (rotor), que fornece ao líquido o trabalho mecânico para vencer o desnível necessário. A bomba centrífuga é composta fundamentalmente de duas partes: o rotor e a carcaça. As pás do rotor impulsionam o líquido em direção à carcaça, proporcionando-lhe um acréscimo de pressão. Os rotores podem ser do tipo aberto, semiaberto e fechado (Figura 1). Para bombeamento de esgoto, as bombas são normalmente dotadas de rotores abertos, para evitar entupimentos.

**Figura 1– Corte esquemático de uma bomba centrífuga e esquema com os tipos de rotor: a) aberto; b) semiaberto; c) fechado**



**Fonte: TSUTIYA; ALEM SOBRINHO (1999).**

Segundo a NBR 12208 (ABNT, 1990), para a seleção do conjunto motor-bomba, são determinadas três características hidráulicas: vazão de recalque, altura manométrica, e NPSH disponível.



A seleção de bombas deve considerar as variações da vazão afluyente, combinando-as adequadamente com o esquema de entrada em operação das bombas (NBR 12208, 1990).

O cálculo da altura manométrica deve levar em consideração o envelhecimento dos tubos, a variação dos níveis no poço de sucção e na saída do recalque, e a aderência dos materiais às paredes do tubo (NBR 12208, 1990).

O NPSH disponível deve superar o NPSH requerido pelas bombas em todos os pontos de operação, nas diversas situações possíveis (NBR 12208, 1990).

Quanto ao número de unidades de bombas, a NBR 12208 (ABNT, 1990) cita que devem ser previstos pelo menos dois conjuntos motor-bomba, cada um com capacidade para recalcar a vazão máxima, sendo um deles reserva. Recomenda-se que os conjuntos motor-bomba sejam iguais.

## **2.9 TUBULAÇÕES UTILIZADAS NA REDE COLETORA DE ESGOTO**

Os principais fatores que devem ser observados para a escolha do material a ser utilizado nas tubulações de esgoto são: características do esgoto; resistência à abrasão e ao ataque químico; resistência a cargas externas; facilidade de transporte; disponibilidade de diâmetros necessários; custo do material; custo de assentamento; custo de transporte; métodos aplicados na construção; e condições locais (BEVILACQUA, 2006).

A disposição das tubulações deve prever espaço adequado para serviços de operação, manutenção e reparação. Deve ser prevista a colocação de juntas de montagem para possibilitar a montagem e desmontagem sem transmissão de esforços a peças e equipamentos instalados. As tubulações devem ter revestimento interno e externo resistentes às características adversas do esgoto (NBR 12208, 1990). Os diâmetros a empregar devem ser previstos nas normas e especificações brasileiras, sendo o menor diâmetro não sendo inferior a DN 100 (NBR 9649, 1986).

Os principais materiais que vêm sendo utilizados em sistemas de coleta e transporte de esgotos são os tubos de cerâmica, plástico, concreto e ferro fundido dúctil. Nas redes coletoras, observa-se uma tendência de substituir o

material cerâmico pelo PVC, principalmente devido à sua praticidade de instalação, manuseio e redução de manutenção (BEVILACQUA, 2006).

A Tabela 1 apresenta os valores do coeficientes de rugosidade para diferentes materiais utilizados em tubos.

**Tabela 1 – Coeficientes de rugosidade K para diferentes materiais**

Material	Coeficiente de Rugosidade (mm)
Tubos de aço com revestimento	0,025 - 0,125
	0,125 (*)
Tubos de concreto	0,04 - 3
	0,3 (*)
Tubos de ferro galvanizado	0,06 - 0,24
	0,15 (*)
Tubos de PVC	0,02 - 0,12
	0,10 (*)
Tubos cerâmicos	1,0 - 3,0
	1,5 (*)

**Fonte: Azevedo Netto et al (1998).**

(\*) Valor sugerido por Azevedo Netto para tubulações em serviço.

## 2.10 TANQUES DE ESGOTO

Os poços de sucção devem ser determinados seguindo os seguintes critérios: não permitir formação de vórtice; não permitir descarga livre na entrada; e não permitir depósitos no fundo ou nos cantos, adotando-se parâmetros inclinados no sentido das tomadas das bombas (NBR 12208, 1992).

Segundo a NBR 7229 (ABNT, 1993), os materiais empregados na execução dos tanques sépticos, tampões de fechamento e dispositivos internos devem atender às seguintes exigências:

- resistência mecânica adequada às solicitações a que cada componente seja submetido;
- resistência ao ataque químico de substâncias contidas no esgoto afluente ou geradas no processo de digestão.

Ainda de acordo com a NBR 7229 (ABNT, 1993), as aberturas de inspeção dos tanques sépticos devem ter número e disposição que permitam a

remoção do lodo e espuma acumulados e desobstrução dos dispositivos internos. A norma cita que o tanque deve ter uma abertura com dimensão igual ou superior a 0,60 m, que permita acesso direto ao dispositivo de entrada do esgoto no tanque, e o máximo raio de abrangência horizontal, admissível para efeito de limpeza, deve ser de 1,50 metro, a partir do qual nova abertura é necessária.

Os requisitos de estabilidade são, em geral, atendidos por construções em alvenaria de tijolo inteiro (espessura de 20 cm a 22 cm, fora revestimento) ou por concreto armado, moldado no local, com espessura de 8 cm a 10 cm (NBR 7229, 1993).

### **2.11 REGISTROS, VÁLVULAS E COMPORTAS**

De acordo com a NBR 7229 (ABNT, 1993), esses dispositivos devem ser instalados em locais acessíveis à operação, com indicação clara de posição aberta ou fechada e de modo a possibilitar a montagem e desmontagem. No caso de acionamento manual, o esforço tangencial a ser aplicado ao volante ou acionador deve ser inferior ou igual a 200 N; quando esta condição não pode ser atendida, deve ser previsto acionamento motorizado, hidropneumático ou redutor mecânico.

Não devem ser usadas válvulas borboleta e válvula de retenção do tipo “dupla portinhola” no fluxo de esgoto. Os componentes sujeitos a desgaste devem ser de bronze ou aço inoxidável. As pressões de serviço devem ser compatíveis com as máximas pressões previstas (NBR 7229, 1993).

A Tabela 2 apresenta os valores do coeficiente  $k$  de perda de carga de válvulas e acessórios nas tubulações.

Tabela 2 – Valores de k de válvulas e acessórios. Diâmetro nominal – pol (mm)

	Parafusada				Flangeada				
	1/2 (13)	1 (25)	2 (50)	4 (100)	1 (25)	2 (50)	4 (100)	8 (200)	20 (500)
<b>Válvulas (totalmente abertas)</b>									
Globo	14	8,2	6,9	5,7	13	8,5	6,0	5,8	5,5
Gaveta	0,3	0,24	0,16	0,11	0,8	0,35	0,16	0,07	0,03
Retenção basculante	5,1	2,9	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Em ângulo	9,0	4,7	2,0	1,0	4,5	2,4	2,0	2,0	2,0
<b>Cotovelos (joelhos)</b>									
45° normal	0,39	0,32	0,3	0,29	-	-	-	-	-
45° raio longo	-	-	-	-	0,21	0,20	0,19	0,16	0,14
90° normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,50	0,39	0,30	0,26	0,21
90° raio longo	1,0	0,72	0,41	0,23	0,40	0,30	0,19	0,15	0,10
180° normal	2,0	1,50	0,95	0,64	0,41	0,35	0,30	0,25	0,20
180° raio longo	-	-	-	-	0,40	0,30	0,21	0,15	0,10
<b>Tês (T)</b>									
Escoamento direto	0,9	0,9	0,9	0,9	0,24	0,19	0,14	0,10	0,07
Escoamento no ramal	2,50	1,80	1,40	1,10	1,0	0,80	0,64	0,58	0,41

Fonte: White (1988).

## 2.12 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

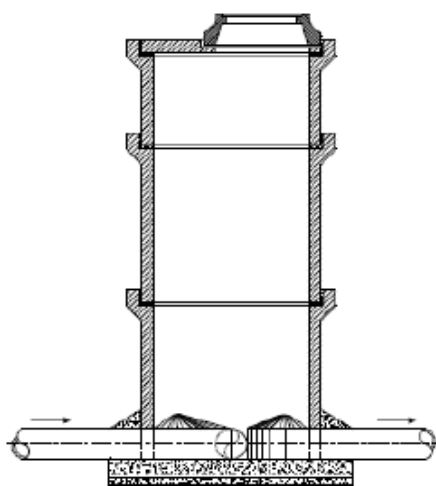
Tradicionalmente, poços de visita (PV) têm sido construídos nos chamados pontos singulares da rede coletora, entendendo-se essas singularidades como sendo os pontos em que podem ocorrer variações no fluxo, em decorrência das quais possam advir dificuldades de operação (NUVOLARI et al, 2003).

Devem ser construídos poços de visita em todos os pontos singulares da rede coletora, tais como no início de coletores, nas mudanças de direção, de declividade, de diâmetro e de material, na reunião de coletores e onde há degraus (NBR 9649, 1986).

Poços de visita são câmaras que, através de abertura existente em sua parte superior, permitem o acesso de pessoas e equipamentos para executar trabalhos de manutenção (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

As dimensões dos poços de visita (PV) devem se ater aos seguintes limites: o tampão deve ter diâmetro mínimo de 0,60 metros e a câmara deve possuir dimensão mínima em planta de 0,80 metros. A distância entre PV consecutivos deve ser limitada pelo alcance dos equipamentos de desobstrução (NBR 9649, 1986).

**Figura 2 - Poço de visita em corte**



**Fonte: NURENE (2008).**

O fundo do PV deve ser constituído de calhas destinadas a guiar os fluxos afluentes em direção à saída. Lateralmente, as calhas devem ter altura coincidindo com a geratriz superior do tubo de saída (NBR 9649, 1986).

### **2.13 REMOÇÃO DE SÓLIDOS GROSSEIROS**

A seleção e dimensionamento dos dispositivos ou equipamentos dependem das características das bombas ou equipamentos que devem ser protegidos, das características e quantidade prevista do material a ser retido, bem como das dificuldades e necessidades operacionais da instalação. São admitidos os seguintes dispositivos: grade de barras, de limpeza manual ou mecânica; cesto; triturador; e peneira (NBR 12208, 1992).

A remoção de sólidos grosseiros do esgoto afluente às elevatórias é efetuada basicamente com o intuito de proteger os conjuntos elevatórios. No

Brasil, a solução normal para tal fim é o uso de gradeamento logo a montante, na entrada do poço de sucção (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

Quando a limpeza for mecanizada, recomenda-se a instalação de pelo menos duas unidades; quando não existir esta possibilidade, deve ser construído canal de desvio (“by-pass”), protegido por grade de limpeza manual de mesmo espaçamento entre barras. Quando houver risco de danos ao equipamento de remoção, deve ser instalada a montante grade grossa de limpeza manual (NBR 12208, 1992).

Ainda segundo a NBR 12208 (1992), para o dimensionamento, a inclinação das barras de gradeamento em relação à horizontal é de 45° a 60° para barras de limpeza manual e 60° a 90° para barras de limpeza automática.

#### **2.14 DADOS DO ESGOTO**

Alguns dados do fluido são importantes para dimensionamento da tubulação e escolha de bombas e material dos tubos. Assim, é relevante conhecer informações como viscosidade dinâmica, densidade, vazão desejada, e características de acidez e corrosividade.

Viscosidade ( $\mu$ ) é a propriedade dos fluidos resistirem a esforços externos tangenciais, ou seja, às chamadas forças de cisalhamento. No caso dos líquidos, essa resistência é devida principalmente às forças de coesão entre suas partículas, as quais se manifestam quando há tendência de afastamento causada por algum gradiente de velocidade (NUVOLARI et al, 2003).

Devido à forte prevalência de água na composição do esgoto, admite-se que suas propriedades físicas são as mesmas da água e, portanto, suas reações à ação de forças externas também são as mesmas. Assim, o escoamento de esgoto em tubulações e canais é comumente tratado como se fosse de água (NUVOLARI et al, 2003). A Tabela 3 apresenta os valores da viscosidade dinâmica da água em função da temperatura.

A viscosidade também é chamada de atrito interno e, juntamente com o atrito externo devido à adesão nas superfícies externas, é responsável pelo aparecimento das perdas de carga no escoamento (NUVOLARI et al, 2003).

**Tabela 3 – Viscosidade dinâmica da água em função da temperatura**

Temperatura (°C)	Viscosidade ( <i>Pa.s</i> . 10 <sup>-3</sup> )
0	1,791
10	1,308
15	1,144
20	1,007
30	0,799
50	0,549

**Fonte: Azevedo Netto et al (1988).**

A massa específica ou densidade absoluta é a relação entre a massa e o volume do corpo. No sistema Internacional de Unidades (SI), é medida em  $kg/m^3$  (NUVOLARI et al, 2003). A Tabela 4 apresenta a relação da densidade da água em função da temperatura.

**Tabela 4 - Densidade da água em função da temperatura**

Temperatura (°C)	Densidade ( $kg/m^3$ )
0	999,87
4	1.000,00
10	999,73
20	998,23
30	995,67
40	992,24

**Fonte: Azevedo Netto et al (1988).**

A Tabela 5 apresenta os dados de pressão de vapor da água em função da temperatura.

Tabela 5 – Pressão de vapor d'água em função da temperatura

Temperatura (°C)	Pressão atmosférica (mH <sub>2</sub> O)
0	0,062
10	0,125
20	0,238
25	0,323
30	0,433
40	0,752

Fonte: TSUTIYA; ALEM SOBRINHO (1999).

## 2.15 DADOS EXTERNOS

A Tabela 6 apresenta a relação de pressão atmosférica em função da altitude.

Tabela 6 – Pressão atmosférica em função da altitude

Altura (m)	Pressão atmosférica (mH <sub>2</sub> O)
0	10,33
300	9,96
600	9,59
900	9,22
1200	8,88
1500	8,54
1800	8,20

Fonte: TSUTIYA; ALEM SOBRINHO (1999).

## 2.16 DIMENSIONAMENTOS

De acordo com a NBR 9649 (ABNT, 1986), a máxima declividade admissível é aquela para a qual se tenha velocidade final do fluido de 5 m/s. Segundo Tsutiya et al (1999), a declividade máxima admissível pode ser obtida pela Equação 1.

$$I_{m\acute{a}x} = 4,65 \cdot Q^{-0,67} \quad (1)$$

Sendo:

$$I_{m\acute{a}x} = \text{declividade m\acute{a}xima admiss\acute{i}vel} \left( \frac{m}{m} \right)$$

$$Q = \text{Vaz\~{a}o do fluido} (L s^{-1})$$

Em pequenas instalações, a fórmula de Bresse traz um diâmetro de recalque aceitável para as tubulações, e em grandes instalações, traz uma primeira aproximação, sendo conveniente uma pesquisa econômica para



investigar os diâmetros mais próximos (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999). A fórmula de Bresse é apresentada na Equação 2.

$$D = k \cdot \sqrt{Q} \quad (2)$$

Sendo:

$D =$  Diâmetro da tubulação (m)

$k =$  Coeficiente de Bresse ( $m \cdot s^{1/2}$ )

$Q =$  Vazão do fluido ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )

O valor do coeficiente de Bresse é função da velocidade de escoamento na linha de recalque e pode ser determinado pela Equação 3 (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

$$k = \sqrt{\left(\frac{4}{\pi v}\right)} \quad (3)$$

Em que:

$v =$  Velocidade do fluido ( $m \cdot s^{-1}$ )

Segundo a NBR 12208 (ABNT, 1990), são recomendados os limites de velocidade de 0,60 a 1,50 m/s na sucção e 0,60 a 3,00 m/s no recalque.

Para o recalque de esgotos, a velocidade econômica tem se situado entre 1,0 m/s ( $k=1,12$ ) e 1,5 m/s ( $k = 0,85$ ). Para tubulações longas, no entanto, tem se utilizado velocidades de recalque de cerca de 0,8 m/s (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 1999).

A velocidade de sucção e recalque na tubulação é calculada a partir da vazão do fluido e diâmetro do tubo pela equação 4 (CREMASCO, 2012).

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (4)$$

Em que:

$v =$  Velocidade do fluido ( $m \cdot s^{-1}$ )

$Q =$  Vazão do fluido ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )

$D =$  Diâmetro da tubulação (m)

Com os valores de densidade, viscosidade e comprimento do tubo, calcula-se o número de Reynolds por meio da Equação 5 (CREMASCO, 2012).

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \quad (5)$$

Sendo:

$Re$  = Número de Reynolds

$\rho$  = Densidade do fluido ( $kg\ m^{-3}$ )

$v$  = Velocidade do fluido ( $m\ s^{-1}$ )

$d$  = Diâmetro da tubulação ( $m$ )

$\mu$  = Viscosidade Dinâmica ( $kg\ m^{-1}\ s^{-1}$ )

O número de Reynolds ( $Re$ ) obtido permite a classificação do regime do fluido. Escoamentos laminares são classificados como tendo  $Re \leq 2100$ , enquanto escoamentos turbulentos possuem  $Re \geq 4000$  e os regimes transitórios possuem  $4000 > Re > 2100$  (CREMASCO, 2012). Com o número de Reynolds, calcula-se o fator de atrito de Fanning específico para o tipo de escoamento como mostrado nas Equações 6, 7, 8 e 9 (CREMASCO, 2012).

$$f(\text{laminar}) = \frac{64}{Re} \quad (6)$$

$$f(\text{turbulento liso}) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (7)$$

$$f(\text{turbulento intermediário}) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left( \frac{6,9}{Re} + \left( \frac{\varepsilon r}{3,7} \right)^{1,11} \right) \quad (8)$$

$$f(\text{turbulento rugoso}) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon r}{3,7} \right) \quad (9)$$

Sendo:

$f$  = Fator de atrito de Fanning

$Re$  = Número de Reynolds

$\varepsilon r$  = Rugosidade relativa do tubo

A partir dos dados obtidos, é possível o cálculo das perdas de carga do sistema. As perdas de carga em acessórios ( $\Delta P/\rho$ ) são constantes no regime turbulento e tem relação linear com o termo de energia cinética,  $v^2/2$  (CREMASCO, 2012). O cálculo de perdas de acessórios é apresentado na Equação 10, e os valores de perda localizada  $k$  são obtidos na Tabela 2.

$$J_m = \sum \frac{kv^2}{2g} \quad (10)$$

Em que:

$J_m$  = Total de perdas de cargas menores (m)

$k$  = Coeficiente de perda localizada do equipamento

$v$  = Velocidade de escoamento do fluido ( $m s^{-1}$ )

$g$  = Aceleração da gravidade no local ( $m s^{-2}$ )

Para calcular as perdas de cargas maiores, que são consequências do atrito do fluido com a superfície interna do tubo e de turbulências no seu escoamento, utiliza-se a equação de *Darcy-Weisbach* (CREMASCO, 2012). A equação de Darcy-Weisbach é representada pela Equação 11.

$$J_M = \frac{f.L.v^2}{D.2.g} \quad (11)$$

Em que:

$J_M$  = Perdas de carga maiores (m)

$f$  = Fator de atrito de Fanning

$L$  = Comprimento total da tubulação (m)

$v$  = Velocidade de escoamento do fluido ( $m s^{-1}$ )

$D$  = Diâmetro da tubulação (m)

$g$  = Aceleração da gravidade no local ( $m s^{-2}$ )

Com os valores de perdas de carga maiores e menores, é obtida a perda de carga total do sistema, como apresentado na Equação 12.

$$J = J_M + J_m \quad (12)$$

Sendo:

$J$  = Somatório de perdas de carga (m)

$J_M$  = Perda de carga maior (m)

$J_m$  = Perda de carga menor (m)

Para especificar a bomba para uso, é necessário conhecer o valor do trabalho agregado do dispositivo. O trabalho mecânico da bomba gera mudanças nas energias de pressão, cinética, e potencial do fluido, liberando calor por conta do atrito com o meio (CREMASCO, 2012). Com os valores

obtidos até aqui, pode-se calcular a altura manométrica da bomba a partir da Equação de Bernoulli (Equação 13), que compara características de energia nos pontos de sucção e descarga (ou recalque).

$$\frac{P_S}{\rho \cdot g} + \frac{V_S^2}{2 \cdot g} + z_S + H = \frac{P_D}{\rho \cdot g} + \frac{V_D^2}{2 \cdot g} + z_D + J \quad (13)$$

Sendo:

$\rho$  = Densidade do fluido ( $kg\ m^{-3}$ )

$g$  = Aceleração da gravidade no local ( $m\ s^{-2}$ )

$P_S$  = Pressão atmosférica no ponto de sucção ( $kg\ m^{-1}\ s^{-2}$ )

$V_S$  = Velocidade do fluido no ponto de sucção ( $m\ s^{-1}$ )

$z_S$  = Altura da coluna do ponto de sucção (m)

$P_D$  = Pressão atmosférica no ponto de recalque ( $kg\ m^{-1}\ s^{-2}$ )

$V_D$  = Velocidade do fluido no ponto de recalque ( $m\ s^{-1}$ )

$z_D$  = Altura da coluna do ponto de recalque (m)

$H$  = Altura Manométrica da bomba (m)

$J$  = Perda de carga em toda a tubulação (m)

Altura de sucção disponível ou saldo positivo de carga de sucção ou *Net Positive Suction Head* (NPSH) representa a condição ideal para que ocorra sucção minimamente recomendável do líquido. Existe um limite de pressão de vácuo que se pode atingir na sucção de uma bomba, abaixo do qual haverá o fenômeno de cavitação. Este fenômeno está associado ao fato de o líquido ebulir sob determinadas condições de pressão de vácuo e de temperatura. Assim, formam-se bolhas de vapor que se deslocam da zona de sucção até a saída do impelidor. As bolhas colapsam e provocam erosão nas partes metálicas da bomba, além de causar perda de rendimento da mesma (CREMASCO, 2012). A altura de sucção disponível (NPSH) é apresentada na Equação 14.

$$NPSH(\text{disponível}) = \frac{P_0 - P_v}{\rho \cdot g} + \Delta z - J \quad (14)$$

Sendo:

$NPSH(\text{disponível})$  = Altura de sucção disponível (m)

$P_0$  = Pressão na superfície do tanque ( $kg\ m^{-1}\ s^{-2}$ )

$P_v$  = Pressão de vapor do fluido ( $kg\ m^{-1}\ s^{-2}$ )

$\rho$  = Densidade do fluido ( $kg\ m^{-3}$ )

$g =$  Aceleração da gravidade no local ( $m s^{-2}$ )

$\Delta z =$  Diferença de altura entre a superfície do fluido e a bomba (m)

$J =$  Somatório das perdas de carga na região de sucção (m)

O NPSH é interpretado como a quantidade mínima de energia absoluta por unidade de peso acima da pressão de vapor que deve existir no flange de sucção para que não haja cavitação (CREMASCO, 2012). Dessa forma, na aquisição do dispositivo, deve-se escolher uma bomba que possua um NPSH requerido fornecido pelo fabricante menor que o NPSH disponível calculado para o sistema, a fim de se evitar os problemas de uso citados anteriormente.

A potência da bomba está associada à taxa de consumo de energia para transportar uma quantidade de líquido (CREMASCO, 2012). A potência útil da bomba  $W_u$  é calculada pela Equação 15.

$$W_u = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (15)$$

Sendo:

$W_u =$  Potência útil ( $kg m^2 s^{-3}$ )

$Q =$  Vazão do fluido ( $m^3 s^{-1}$ )

$\rho =$  Densidade do fluido ( $kg m^{-3}$ )

$g =$  Aceleração da gravidade no local ( $m s^{-2}$ )

$H =$  Altura manométrica da bomba (m)

Devido às perdas por atrito decorrentes das naturezas construtiva e fluido-dinâmica das bombas, a potência que um determinado motor fornece ao eixo da bomba deve ser maior que a potência útil transmitida ao líquido (CREMASCO, 2012). Dessa forma, pode-se obter a potência total consumida por um sistema ( $W_{consumida}$ ) por meio da relação entre a potência útil produzida pelo sistema com o rendimento da bomba, como mostrado na Equação 16.

$$W_{consumida} = \frac{W_u}{\eta} \quad (16)$$

Sendo:

$W_{consumida} =$  Potência consumida pelo sistema (W)

$W_u =$  Potência útil da bomba (W)

$\eta =$  Eficiência da bomba

### 3 ESTUDO DE CASO

O aterro sanitário da Kurica Ambiental possui uma estação de tratamento de chorume para disposição posterior no corpo hídrico receptor. O processo envolve tanque australiano, lagoas de equalização, reator biológico anóxico, reator biológico aeróbio, reator biológico aeróbio com biomídias, decantação secundária, e tratamento químico-físico de polimento final.

Atualmente a Kurica trata o chorume proveniente do aterro próprio, além do chorume produzido pelo aterro da prefeitura municipal de Londrina – PR. Devido à concepção do projeto da estação, a operação também recebe uma carga diária de esgoto sanitário para utilização no tratamento. O esgoto é um insumo do processo, e a empresa arca com todos os custos da sua captação e recebimento.

A razão para a equalização do chorume com o esgoto sanitário foi uma orientação dos técnicos projetistas da estação devido à baixa relação de carga orgânica e carga nitrogenada do chorume. Com a adição do esgoto ao efluente, além de diluir o chorume gerado, diminui-se a relação carga orgânica biodegradável e carga nitrogenada, o que auxilia o processo de desnitrificação.

A área de tratamento possui um tanque australiano de 60 m<sup>3</sup> em região elevada em relação à estação. Esse tanque possui função de armazenamento do esgoto sanitário externo, trazido diariamente por caminhões pipa próprios da empresa. Do tanque, o esgoto segue por gravidade para a lagoa de equalização, onde se mistura com os outros efluentes.

Da lagoa de equalização, a mistura de efluentes é bombeada para um segundo lago, que possui uma parede vazada interna que o divide em duas regiões, uma de nitrificação e outra de desnitrificação.

A nitrificação é quimicamente dividida em duas etapas, nitrosação e nitrificação. Na fase de nitrosação, a amônia ( $NH_3$ ) é oxidada em nitritos por bactérias nitrosas. Por essa razão, essa área da lagoa possui cinco aeradores superficiais, que continuamente provém oxigênio para o processo. Na etapa de nitrificação, os nitratos são oxidados por bactérias nítricas, formando-se nitratos.

A desnitrificação é uma etapa em que bactérias desnitrificantes transformam nitratos em gás nitrogênio em condições onde há ausência de oxigênio e disponibilidade de carga orgânica.

Da lagoa desnitrificante, o efluente é bombeado para um tanque aeróbio preenchido com biomédias, caracterizando um processo do tipo MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*). As biomédias são meios flutuantes no interior do tanque que aumentam a capacidade de tratamento do reator por conta de sua alta superfície de contato.

Na próxima etapa, o efluente passa por uma estrutura de grades que retém as biomédias e segue para um segundo tanque onde se encontra um decantador, responsável pela separação da biomassa do efluente. O reciclo de biomassa é feita por difusores de bolha fina alimentados por sopradores.

Na sequência do tratamento, o efluente clarificado segue para a fase físico-químico para a remoção da DQO recalcitrante. No misturador é dosado coagulante policloreto de alumínio, alcalinizante e polieletrólito para a etapa de floculação. O lodo gerado no processo é suspenso por ar dissolvido e removido por pás de raspagem no flotador. O lodo removido é estocado em caçambas próximas à estação e posteriormente é disposto no aterro. O efluente tratado é enviado ao Ribeirão Cafezal seguindo as vazões dispostas no licenciamento.

Devido ao projeto da estação, o esgoto é um insumo essencial do processo de tratamento do chorume, e sua captação e transporte para a estação de tratamento atualmente é feito por meio de caminhões custeados pela empresa. Dessa forma, propõe-se uma alteração no meio de transporte do esgoto, substituindo os caminhões por uma rede de bombeamento de esgoto.

#### **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

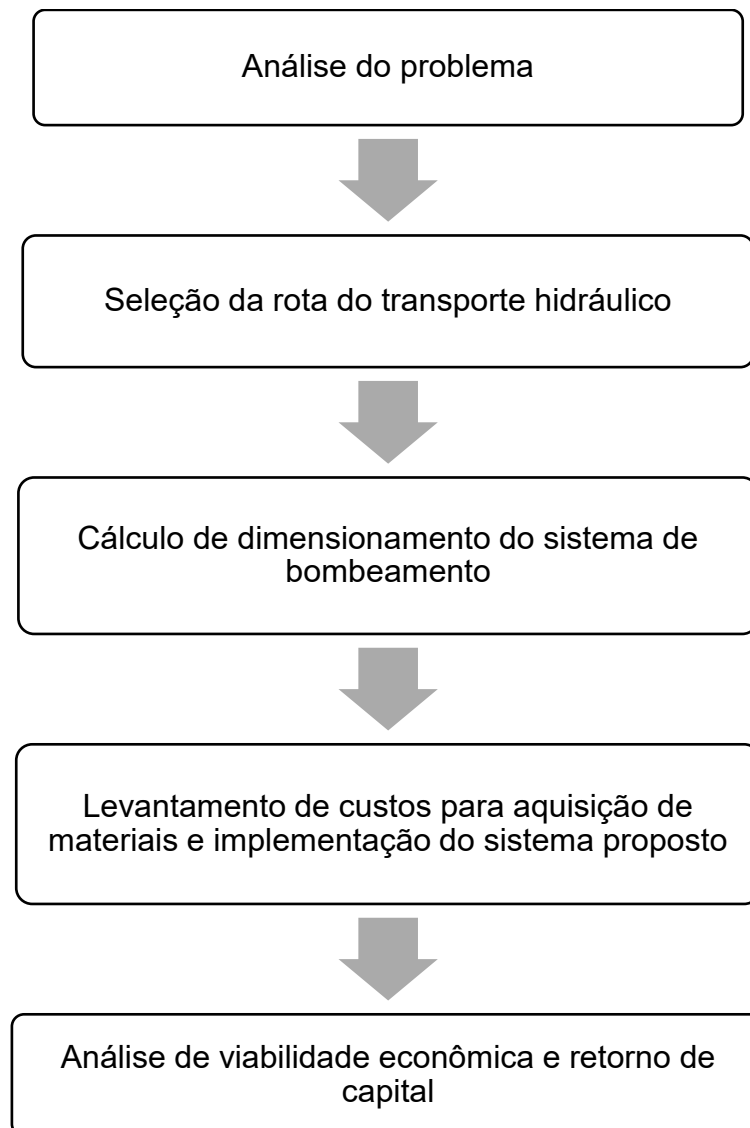
O primeiro passo da metodologia utilizada foi a análise do problema, apresentando os processos adotados atualmente no transporte de esgoto na empresa, além de identificar seus custos e fragilidades de operação. Após isso, é sugerido um novo processo baseado em bombeamento hidráulico, a fim de propor a substituição do sistema de transporte atual por um sistema mecanizado.

Com a rota de transporte e projeto definidos, é realizado o dimensionamento do sistema de bombeamento, calculando os parâmetros necessários para a seleção dos materiais. A partir desses dados, realiza-se o levantamento de custos para a execução do projeto.

Por fim, com os custos determinados, realiza-se a análise de viabilidade econômica e retorno de capital com a implementação do projeto. Nessa etapa, são comparados os custos de execução do projeto proposto com os custos atuais de transporte, a fim de se estabelecer uma estimativa de tempo para o retorno de capital da nova implementação. A metodologia do desenvolvimento foi realizada de acordo com a Figura 3.



**Figura 3 - Metodologia para o desenvolvimento**



**Fonte: Autoria própria, 2022.**

## 5 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 SISTEMA ATUAL

Como discutido, atualmente, pelas concepções do projeto, a estação requer o recebimento de esgoto sanitário para diluição do chorume e diminuição da relação de carga nitrogenada e carga orgânica. Esse é um dos principais gargalos do processo porque a empresa arca com os custos de movimentação de caminhões para a ETE (Estação de Tratamento de Esgoto). A Tabela 7 apresenta a vazão média atual dos efluentes que entram na estação.

**Tabela 7 – Vazões médias diárias de chorume e esgoto sanitário utilizadas no processo**

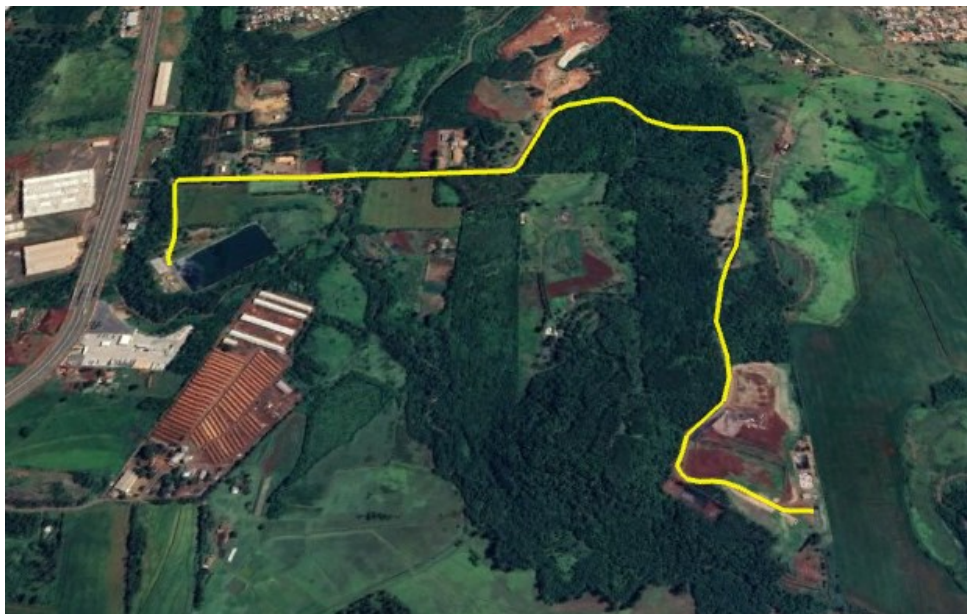
Parâmetros	Vazão Média
Chorume	150 m <sup>3</sup> /dia
Sanitário	90 m <sup>3</sup> /dia

**Fonte: Kurica Ambiental, 2022.**

Até o período de realização do presente trabalho, a empresa custeia uma média de dois caminhões pipa de capacidade de 8 m<sup>3</sup> e 13 m<sup>3</sup> fazendo viagens diárias à estação de tratamento de esgoto até a estação de tratamento de chorume interna. A distância de percurso entre as estações é de 3,20 km. Segundo os responsáveis pelo transporte, tipicamente o caminhão de 13m<sup>3</sup> faz 6 viagens diárias nos dias de semana e o caminhão de 8 m<sup>3</sup> é utilizado no fim de semana (sábado e domingo), fazendo 10 viagens cada dia. Dessa forma, considerando a distância de ida e volta, a movimentação total semanal dos dois caminhões é de 320 km por semana.

A Figura 4 apresenta o percurso percorrido pelos caminhões, da estação de tratamento de esgoto da Sanepar até a estação de tratamento de chorume.

**Figura 4 – Trajeto feito pelos caminhões da empresa da estação de esgoto até a estação de chorume**



**Fonte: Google Earth Pro. Imagem de 21/07/2022.**

A Tabela 8 apresenta a relação de custos de uso de caminhão baseados na média histórica da empresa. Considerando o custo médio de R\$ 7,17 por km rodado como apresentado na tabela e considerando 320 km percorridos por semana, a empresa arca com aproximadamente R\$ 2.294,40 semanalmente no processo de transporte do esgoto.

Tabela 8 – Média de custos com caminhões no ano de 2022

Classificação	Média
Kilômetros	2301
Litros Díesel	949
Manutenção Mecânica	R\$ 1.213,33
Manutenção Elétrica	R\$ 34,33
Manutenção Hidráulica	R\$ 103,13
Díesel	R\$ 5.485,58
Óleos e Lubrificantes	R\$ 502,52
Mão-de-obra	R\$ 3.961,00
Depreciação	R\$ 4.849,94
Rastreador	R\$ 133,11
DPVAT/LIC/IPVA	R\$ 219,27
TOTAIS	R\$ 16.502,20
Custo/km	R\$ 7,17

Fonte: Kurica Ambiental, 2022.

Vale ressaltar que atualmente a empresa opera com metade da sua capacidade de tratamento segundo sua licença de operação. De acordo com essa licença, a empresa pode lançar 480 m<sup>3</sup>/dia ou 20 m<sup>3</sup>/h de efluente tratado no rio, embora atualmente seja lançado aproximadamente de 9 a 10 m<sup>3</sup>/h. Ou seja, se fosse operado com a máxima vazão permitida na licença e mantendo os preços atuais, os custos semanais seriam de aproximadamente R\$ 4.588,80.

Futuramente a estação receberá chorume de um segundo aterro que está em fase de construção na região. Ademais, é observada uma tendência natural no aumento dos preços das variáveis apresentadas. Ou seja, os custos citados anteriormente aumentarão no futuro próximo.

Diante disso, almejando diminuir os custos do processo e automatizar etapas, sugere-se um novo sistema de transporte do efluente para a estação, trocando os caminhões pipas por um sistema de tubulação alimentado por bombas hidráulicas para esgoto sanitário.

## 5.2 PROPOSTA DO NOVO SISTEMA

No projeto sugerido neste trabalho, propõe-se a construção de uma malha de tubos localizados dentro da propriedade da empresa. Nessa malha, o esgoto é bombeado de uma adutora de esgoto que passa no terreno da empresa, para dois tanques intermediários localizados ao longo da tubulação, até finalmente alcançar os tanques de trabalho na estação de tratamento da empresa, eliminando, dessa forma, a necessidade do transporte diário com caminhões.

A Figura 5 mostra uma imagem aérea da malha proposta representada. O caminho de tubulação proposta percorre o terreno da empresa, com um comprimento de construção total de aproximadamente 1033 metros, sendo ele dividido em três partes:

- A primeira, representada em amarelo, de aproximadamente 482 metros, seguindo a estrada interna de caminhões;
- A segunda, representada em vermelho, de aproximadamente 212 metros, na região entre o primeiro pico e o vale;
- A terceira, representada em verde, de aproximadamente 339 metros, do vale até o pico final.

Pelas concepções do projeto, essa foi a alternativa mais viável. Uma das alternativas consideradas inicialmente propunha o bombeamento do tanque do pico intermediário até o tanque final. No entanto, essa alternativa requereria uma obra complexa de engenharia para manter a tubulação aérea além de deixar a manutenção da tubulação mais dificultosa.

**Figura 5 – Proposta de tubulação**



**Fonte: Google Earth Pro. Imagens de 21/07/2022.**

O perfil de relevo do local, representado pela Figura 6, apresenta duas diferenças de altura a serem vencidas até o tanque final. A primeira é de aproximadamente 32 metros. Em seguida há um decréscimo de altura de 23 metros para um vale e mais a frente uma segunda altura a ser vencida de 60 metros. Assim, a diferença de altura total entre o ponto inicial e final é de 69 metros.

**Figura 6 – Corte de relevo do local**



**Fonte: Google Earth Pro. Imagens de 21/07/2022.**

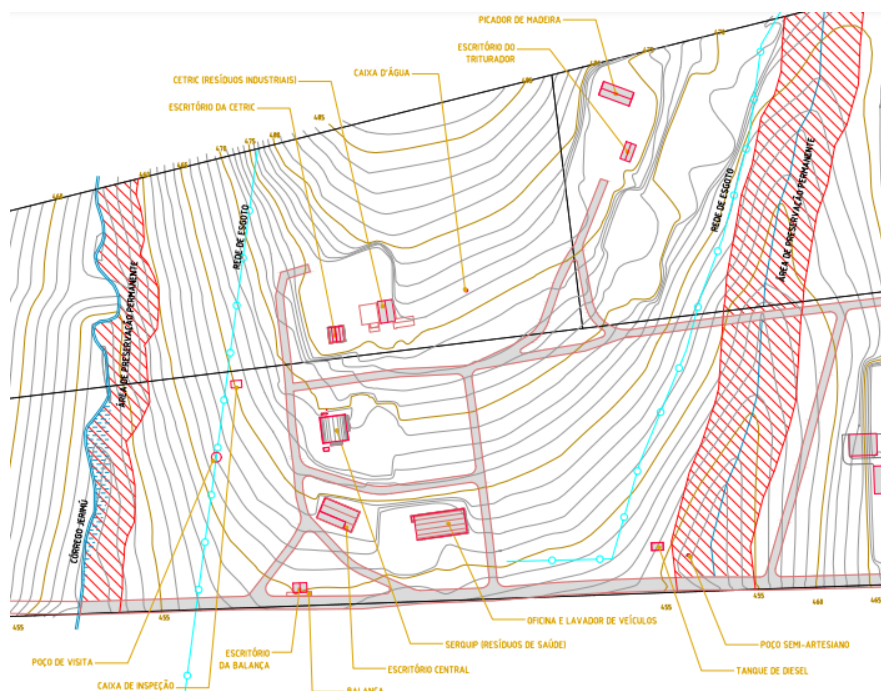
Dessa forma, o projeto é fundamentalmente dividido em quatro partes principais:

- a) Sistema de captação do esgoto;
- b) Bombeamento do esgoto do sistema de captação ao tanque de passagem;
- c) Escoamento do esgoto por gravidade do tanque de passagem ao tanque intermediário;
- d) Bombeamento do esgoto do tanque intermediário até o tanque final, onde atualmente o caminhão deixa o esgoto.

### 5.2.1 Sistema de captação

Para facilitar a captação do esgoto para o transporte para a estação, propõe-se a construção de um sistema de captação de esgoto de uma adutora que passa no terreno da empresa. A Figura 7 mostra uma representação parcial da empresa com as linhas da adutora de esgoto – representadas em azul - que passam no terreno.

Figura 7 – Planta parcial da empresa, destacando a adutora de esgoto em azul



Fonte: Kurica Ambiental, 2022.

Como mencionado, na Figura 7, as linhas azuis representam as duas linhas de adutoras de esgoto que passam hoje pelo terreno da empresa. Cada linha possui em seu comprimento alguns círculos que representam os poços de visita (PVs). Os poços de visita são instalações pontuais ao longo das tubulações e possuem função de manutenção e controle da rede.

A fim de se fazer uma captação inicial do esgoto da adutora, é proposta a construção de um sistema de canalização de desvio (*by-pass*) com tanque de armazenamento de esgoto para posterior bombeamento do fluido. A proposta de sistema *by-pass* é uma prática utilizada pela companhia de saneamento em outros locais para bipartição da linha. Dessa forma, são escolhidos dois poços de visita em sequência na linha, onde será instalado o sistema *by-pass* para coleta.

No projeto, são construídos mais dois poços de visita, um ao lado de cada PV da companhia de saneamento, e esses poços da empresa são conectados aos poços da companhia por meio de uma tubulação de PVC. A fim de representação, os dois poços de visita construídos serão denominados PV de entrada e PV de saída.

Atendendo ao indicado pela NBR 9649 (ABNT, 1986), os poços de visita terão diâmetro de 0,60 metros e profundidade mínima de 1 metro.

Do PV de entrada, munido de uma válvula de fechamento do tipo gaveta, a tubulação segue para um sistema de gradeamento inclinado, que possui a função de reter materiais de maiores dimensões. Do gradeamento, segue então para o tanque de chorume. O tanque de chorume terá capacidade máxima de 20 m<sup>3</sup> e profundidade de aproximadamente 2 metros a partir da linha do tubo. A adutora de esgoto está a cerca de 1 metro de profundidade do solo. Dessa forma, o tanque terá aproximadamente 3 metros de profundidade em relação à superfície do solo, sendo 2 metros para uso prático de armazenamento de esgoto.

O tanque será coberto por laje com uma estrutura de metal de raio de 0,50 metros para inspeção e manutenção interna, assim como indicado pela NBR 7229 (ABNT, 1993). Na região superior do tanque, é instalado um tubo de PVC de saída. Isso proporciona o funcionamento do sistema *by-pass* que possibilita que o tanque não extravase. Independente da vazão, o tanque é enchido e o excedido é lançado para o tubo de saída.

Segundo indicado pela NBR 7229 (ABNT, 1993), o tanque será construído por meio de concreto armado moldado no local, sendo sua espessura de 10 centímetros. O tanque terá 3 metros de altura e base de 2 metros por 5 metros. Após a finalização do concreto armado, o tanque será revestido internamente por epóxi anticorrosivo.

O tubo de saída tem construção semelhante ao tubo de entrada e se conecta ao próximo PV da linha, descendente em relação ao relevo.



### 5.2.2 Bombeamento do tanque de captação ao tanque de passagem

Do tanque de captação de esgoto, o fluido é bombeado para um tanque de passagem intermediário localizado no primeiro pico do relevo, no fim da estrada de caminhões.

Nessa etapa, a tubulação proposta terá um comprimento de 482 metros, começando no tanque de captação, cruzando a estrada e seguindo o percurso dessa estrada até sua primeira curva, onde estará o tanque intermediário. A Figura 8 representa essa região da tubulação proposta.

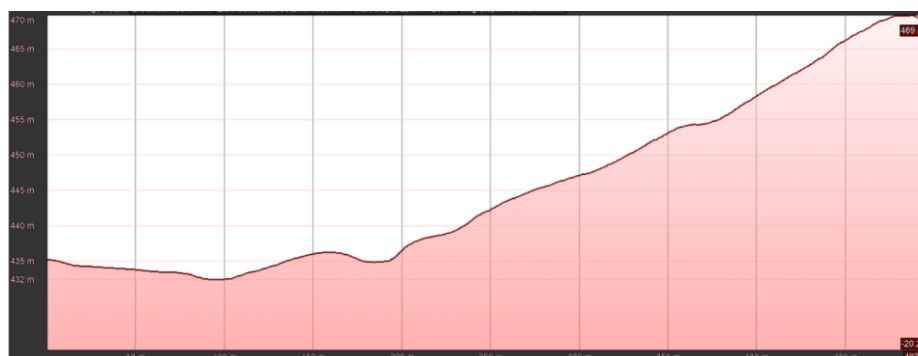
**Figura 8 – Representação da linha de bombeamento do tanque de captação até o tanque intermediário**



**Fonte: Google Earth Pro. Imagens de 21/07/2022.**

A diferença de altura entre os tanques nos pontos iniciais e finais nessa área é de 32 metros. A Figura 9 mostra um corte de relevo do local.

**Figura 9 – Corte de relevo do local da linha de bombeamento do tanque de captação até o tanque intermediário**



**Fonte: Google Earth Pro. Imagens de 21/07/2022.**

No ponto final da linha, é instalado um segundo tanque. Esse tanque intermediário tem disposições construtivas semelhantes ao tanque de captação. O tanque será coberto por laje com uma estrutura de metal de raio de 1,50 metros para inspeção e manutenção interna, construído por meio de concreto armado moldado no local, com espessura de 10 centímetros, 2 metros de altura e base de 2 metros por 5 metros e revestido por epóxi anticorrosivo, totalizando um volume total de 20 m<sup>3</sup>.

Para a tubulação, foi escolhido o PVC, devido à sua praticidade de instalação, manuseio e redução de manutenção. O diâmetro empregado será de 100 mm, seguindo o previsto nas especificações da NBR 9649 (ABNT, 1986).

Para o bombeamento do esgoto na rede serão utilizadas bombas centrífugas dotadas de rotores abertos ou bombas submersíveis para líquidos com sólidos suspensos. A bomba é munida de uma válvula de retenção do tipo pé e crivo, a fim de impedir que o fluido no sistema da motobomba retorne ao reservatório.

Para o bombeamento nessa linha, são previstos dois conjuntos motobomba de especificações iguais, sendo um deles reserva, como especificado pela NBR 12208 (ABNT, 1990).

Segundo a NBR 12208 (ABNT, 1990), para a seleção dos conjuntos motor-bomba, é necessária a determinação de três características hidráulicas: vazão de recalque, altura manométrica, e NPSH disponível. A fim de se dimensionar a bomba para o sistema de deslocamento do fluido, portanto, é

fundamental definir alguns dados de projeto e do fluido a ser bombeado. A Tabela 9 apresenta os dados utilizados para o dimensionamento da bomba.

**Tabela 9 – Dados para dimensionamento do conjunto motor-bomba**

<i>Vazão do fluido (<math>m^3 \cdot h^{-1}</math>)</i>	20,0
<i>Vazão do fluido (<math>m^3 \cdot s^{-1}</math>)</i>	0,0056
<i>Velocidade de escoamento to fluido (<math>m \cdot s^{-1}</math>)</i>	0,77
<i>Densidade do fluido (<math>kg \cdot m^{-3}</math>)</i>	995,67
<i>Viscosidade Dinâmica (<math>kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}</math>)</i>	0,000799
<i>Diâmetro nominal da tubulação (m)</i>	0,1
<i>Comprimento total da tubulação (m)</i>	482
<i>Rugosidade relativa do tubo PVC</i>	0,1
<i>Aceleração da gravidade no local (<math>m \cdot s^{-2}</math>)</i>	9,8
<i>Pressão atmosférica no ponto de sucção (<math>kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}</math>)</i>	91992
<i>Pressão atmosférica no ponto de recalque (<math>kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}</math>)</i>	91326
<i>Pressão de vapor da água a 30°C (<math>kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}</math>)</i>	4239
<i>Diferença de altura entre os pontos (m)</i>	32
<i>Diferença de altura entre a superfície do fluido e a bomba (m)</i>	2,0

**Fonte: Autoria própria, 2022.**

A partir dos dados contidos na Tabela 9, é possível obter as informações necessárias para a escolha dos conjuntos motor-bomba. Utilizando-se a Equação 4 e os dados de vazão do fluido e diâmetro da tubulação, obtém-se a velocidade de escoamento do fluido de 0,77 m/s.

Segundo a NBR 12208 (ABNT, 1990), são recomendados os limites de velocidade de 0,60 a 3,00 m/s no recalque. Já Tsutiya *et al* (1999) cita que para tubulações longas se utilizam velocidades econômicas de recalque próximas de 0,8 m/s. Dessa forma, a velocidade atende aos dados indicados pela normas e aos valores de otimização econômica citados na literatura.

Com os valores de densidade e viscosidade dinâmica do esgoto, velocidade de escoamento e diâmetro da tubulação, e utilizando-se da Equação 5, obtém-se o Número de Reynolds de valor 91819,52, caracterizando o escoamento como turbulento.

Sabendo-se o tipo do escoamento, o valor de Reynolds e a rugosidade relativa do tubo, utiliza-se a Equação 9, relativa ao escoamento turbulento rugoso, para calcular o fator de atrito de Fanning, obtendo-se o valor de 0,102.

A partir dos dados dos coeficientes de perda de carga do sistema e utilizando-se a Equação 10, é possível calcular as perdas por acessórios ou perdas menores do sistema. A linha entre o reservatório de captação e o segundo reservatório intermediário conta com os acidentes apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10 – Acessórios presentes na linha de tubulação**

Acessório	Quantidade
Válvula de retenção	2
Válvula gaveta	1
Cotovelo 45	1

**Fonte: Autoria própria, 2022.**

Com a informação dos acessórios presentes na linha e com base nos seus respectivos valores de coeficiente  $k$  encontrados na Tabela 2, calculou-se um valor de perda de carga menor de 0,13 m.

Com os valores de comprimento total do tubo, fator de atrito de Fanning, velocidade de escoamento, diâmetro do tubo e aceleração da gravidade, e por meio da utilização da Equação 11, obteve-se o valor de perdas maiores de 15,34 m.

Dessa forma, utilizando-se a Equação 12, obtém-se o somatória das perdas de carga na linha, de 15,47 m.

A partir dos dados obtidos até aqui e por meio da utilização da Equação 13, é possível calcular a altura manométrica da bomba. O valor obtido é de 47,40 m.

Por meio da Equação 14, calcula-se o NPSH disponível para o sistema motor-bomba, obtendo-se 10,93 m.

Por fim, calcula-se a potência da bomba com base nas características e dados apresentados e por meio da Equação 15. O valor de potência calculado é de 2569,75 W.

Assim, obtém-se todos os parâmetros requeridos para a seleção de dos conjuntos motor-bomba segundo apresentado pela NBR 12208 (ABNT, 1990). A

Tabela 11 apresenta as características hidráulicas e dados necessários para a seleção da bomba.

**Tabela 11– Parâmetros calculados para seleção da bomba centrífuga**

Parâmetro	Valor
Vazão (m <sup>3</sup> /s)	0,0056
Altura manométrica (m)	47,40
NPSH disponível (m)	10,93

Fonte: Autoria própria, 2022.

### 5.2.3 Escoamento do tanque de passagem ao tanque intermediário

Pelo planejamento, do tanque de passagem, o fluido é escoado para um terceiro tanque de construção semelhante aos outros dois. O escoamento entre os dois tubos nessa linha é totalmente realizado por efeito da gravidade, não havendo necessidade de bombeamento ou ação externa.

A Figura 10 representa a linha de tubulação entre os dois tanques. A medida de comprimento da tubulação no local é de 212 metros.

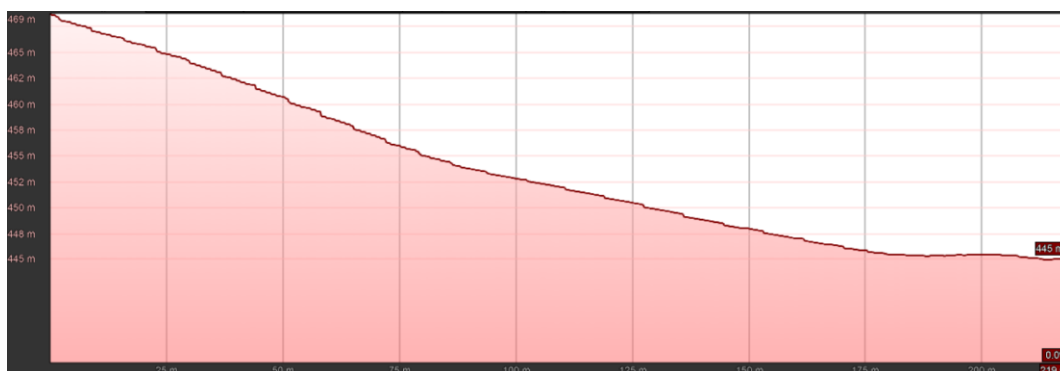
**Figura 10 – Representação da linha entre o segundo e o terceiro tanque**



Fonte: Google Earth Pro. Imagens de 21/07/2022.

A Figura 11 representa o corte de relevo na área analisada. A diferença de altura no local é de 23 metros.

**Figura 11 – Corte de relevo do local da linha entre o segundo e o terceiro tanque**



**Fonte: Google Earth Pro. Imagens de 21/07/2022.**

Utilizando a Equação 1 e sabendo que a vazão é de aproximadamente 5,556 L/s, obtém-se a declividade máxima admissível de 1,445 m/m. A declividade no local é de 23/212, ou seja, é de 0,11 m/m. Dessa forma, a declividade atende à norma.

Para a tubulação, é utilizado o PVC, devido à sua praticidade de instalação, manuseio e redução de manutenção. O diâmetro empregado será de 100 mm, seguindo o previsto nas especificações da NBR 9649 (ABNT, 1986).

A tubulação possui uma válvula gaveta no começo da linha, após o segundo tanque, com a finalidade de fechamento para manutenção e limpeza do tanque. O terceiro tanque tem disposições construtivas semelhantes aos outros. O tanque será coberto por laje com uma estrutura de metal de raio de 1,50 metros para inspeção e manutenção interna, construído por meio de concreto armado moldado no local, com espessura de 10 centímetros, 2 metros de altura e base de 2 metros por 5 metros, totalizando um volume total de 20 m<sup>3</sup>.

#### **5.2.4 Bombeamento do tanque intermediário ao tanque final**

Por fim, o fluido é bombeado do terceiro tanque para o tanque final, onde atualmente os caminhões levam o esgoto. A Figura 12 representa a linha de tubulação entre os dois tanques. A medida de comprimento da tubulação no local é de 339 metros.

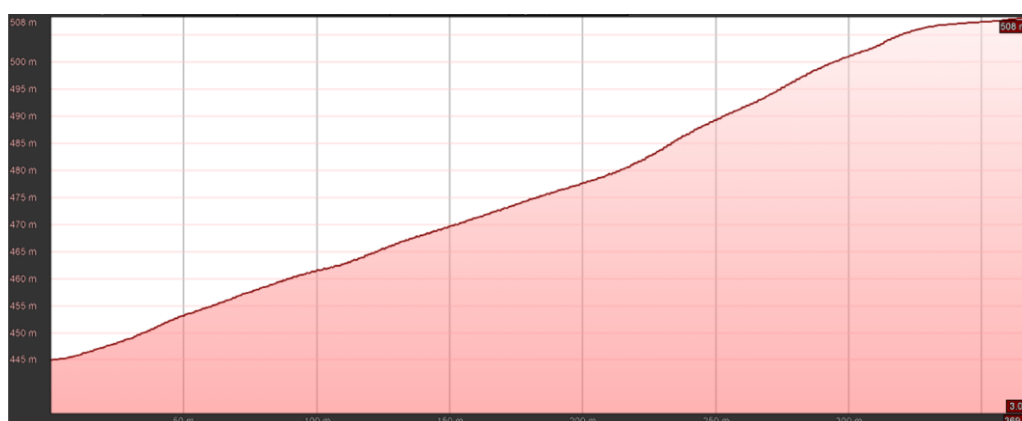
**Figura 12 – Representação da linha de bombeamento do terceiro tanque até o tanque final**



Fonte: Google Earth Pro. Imagens de 21/07/2022.

A Figura 13 representa o corte de relevo na área analisada. A diferença de altura entre os tanques no local é de 60 metros.

**Figura 13 – Corte de relevo do local da linha de bombeamento do terceiro tanque até o tanque final**



Fonte: Google Earth Pro. Imagens de 21/07/2022.

Para a tubulação, também é utilizado o PVC, devido à sua praticidade de instalação, manuseio e redução de manutenção. O diâmetro empregado será de 100 mm, seguindo o previsto nas especificações da NBR 9649 (ABNT, 1986).

Para a determinação das características hidráulicas e seleção dos conjuntos motor-bomba, são definidos os dados de projeto e do fluido a ser bombeado. A Tabela 12 apresenta os dados utilizados para o dimensionamento da bomba.

Tabela 12 – Dados para dimensionamento do conjunto motor-bomba

<i>Vazão do fluido (<math>m^3 \cdot h^{-1}</math>)</i>	20,00
<i>Vazão do fluido (<math>m^3 \cdot s^{-1}</math>)</i>	0,00556
<i>Velocidade de escoamento to fluido (<math>m \cdot s^{-1}</math>)</i>	0,77
<i>Densidade do fluido (<math>kg \cdot m^{-3}</math>)</i>	995,67
<i>Viscosidade Dinâmica (<math>kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}</math>)</i>	0,000799
<i>Diâmetro nominal da tubulação (m)</i>	0,1
<i>Comprimento total da tubulação (m)</i>	339
<i>Rugosidade relativa do tubo PVC</i>	0,1
<i>Aceleração da gravidade no local (<math>m \cdot s^{-2}</math>)</i>	9,8
<i>Pressão atmosférica no ponto de sucção (<math>kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}</math>)</i>	91859
<i>Pressão atmosférica no ponto de recalque (<math>kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}</math>)</i>	90526
<i>Pressão de vapor da água a 30°C (<math>kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}</math>)</i>	4239
<i>Diferença de altura entre os pontos (m)</i>	60
<i>Diferença de altura entre a superfície do fluido e a bomba (m)</i>	2

Fonte: Autoria própria, 2022.

A partir dos dados contidos na Tabela 12, é possível obter as informações necessárias para a escolha do segundo conjunto motor-bomba. Utilizando-se a Equação 4 e os dados de vazão do fluido e diâmetro da tubulação, obtém-se a velocidade de escoamento do fluido de 0,77 m/s.

A velocidade atende aos dados indicados pela normas e aos valores de otimização econômica citados na literatura. Segundo a NBR 12208 (ABNT, 1990), são recomendados os limites de velocidade de 0,60 a 3,00 m/s no recalque. Já Tsutiya *et al* (1999) cita que para tubulações longas se utilizam velocidades econômicas de recalque próximas de 0,8 m/s.

Com os valores de densidade e viscosidade dinâmica do esgoto, velocidade de escoamento e diâmetro da tubulação, e utilizando-se da Equação 5, obtém-se o Número de Reynolds de valor 91819,5, caracterizando o escoamento como turbulento.

Sabendo-se o tipo do escoamento, o valor de Reynolds e a rugosidade relativa do tubo, utiliza-se a Equação 9, relativa ao escoamento turbulento rugoso, para calcular o fator de atrito de Fanning, obtendo-se o valor de 0,102.

A partir dos dados dos coeficientes de perda de carga do sistema e utilizando-se a Equação 10, é possível calcular as perdas menores do sistema.



A linha entre o reservatório de captação e o segundo reservatório intermediário conta com os acidentes apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13 – Acessórios presentes na terceira linha de tubulação**

Acessório	Quantidade
Válvula de retenção	2
Válvula gaveta	1

**Fonte: Autoria própria, 2022.**

Com a informação dos acessórios presentes na linha e com base nos seus respectivos valores de coeficiente  $k$  encontrados na Tabela 2, é possível calcular a perda por acessórios, obtendo-se o valor de 0,12 m.

Com os valores de comprimento total do tubo, fator de atrito de Fanning, velocidade de escoamento, diâmetro do tubo e aceleração da gravidade, pode-se calcular as perdas maiores do sistema por meio da Equação 11. O valor das perdas maiores obtido foi de 10,24 m.

Dessa forma, utilizando-se a Equação 12, obteve-se o somatório das perdas de carga na linha de 10,36 m.

A partir dos dados obtidos até aqui e por meio da utilização da Equação 13, é possível calcular a altura manométrica da bomba. Utilizando a equação de Bernoulli (Equação 13), obteve-se valor de altura manométrica de 69,96 m.

Por meio da Equação 14, calculou-se o NPSH disponível para o sistema motor-bomba, obtendo o valor de 10,92 m.

Por fim, calculou-se a potência da bomba com base nas características e dados apresentados e por meio da Equação 15, obtendo valor de 3806,9 W. Assumindo uma eficiência de 50%, a potência consumida pelo sistema para o bombeamento, calculada por meio da Equação 16, é de 7613,8 W.

Assim, obtém-se todos os parâmetros requeridos para a seleção de dos conjuntos motor-bomba segundo apresentado pela NBR 12208 (ABNT, 1990). A Tabela 14 apresenta as características hidráulicas e dados necessários para a seleção da bomba.

**Tabela 14 – Parâmetros calculados para seleção do segundo conjunto de bomba centrífuga**

Parâmetro	Valor
Vazão (m <sup>3</sup> /s)	0,0056
Altura manométrica (m)	69,96
NPSH disponível (m)	10,93

Fonte: Autoria própria, 2022.

## 5.3 MATERIAIS E CUSTOS

### 5.3.1 Bomba Centrífuga

Para o primeiro bombeamento foi sugerida a bomba KSB submersível KRT Amarex F 40-252 10 cv com rotor à prova de entupimento, indicado para fluidos contendo sólidos grandes. A Figura 14 apresenta uma representação dessa bomba.

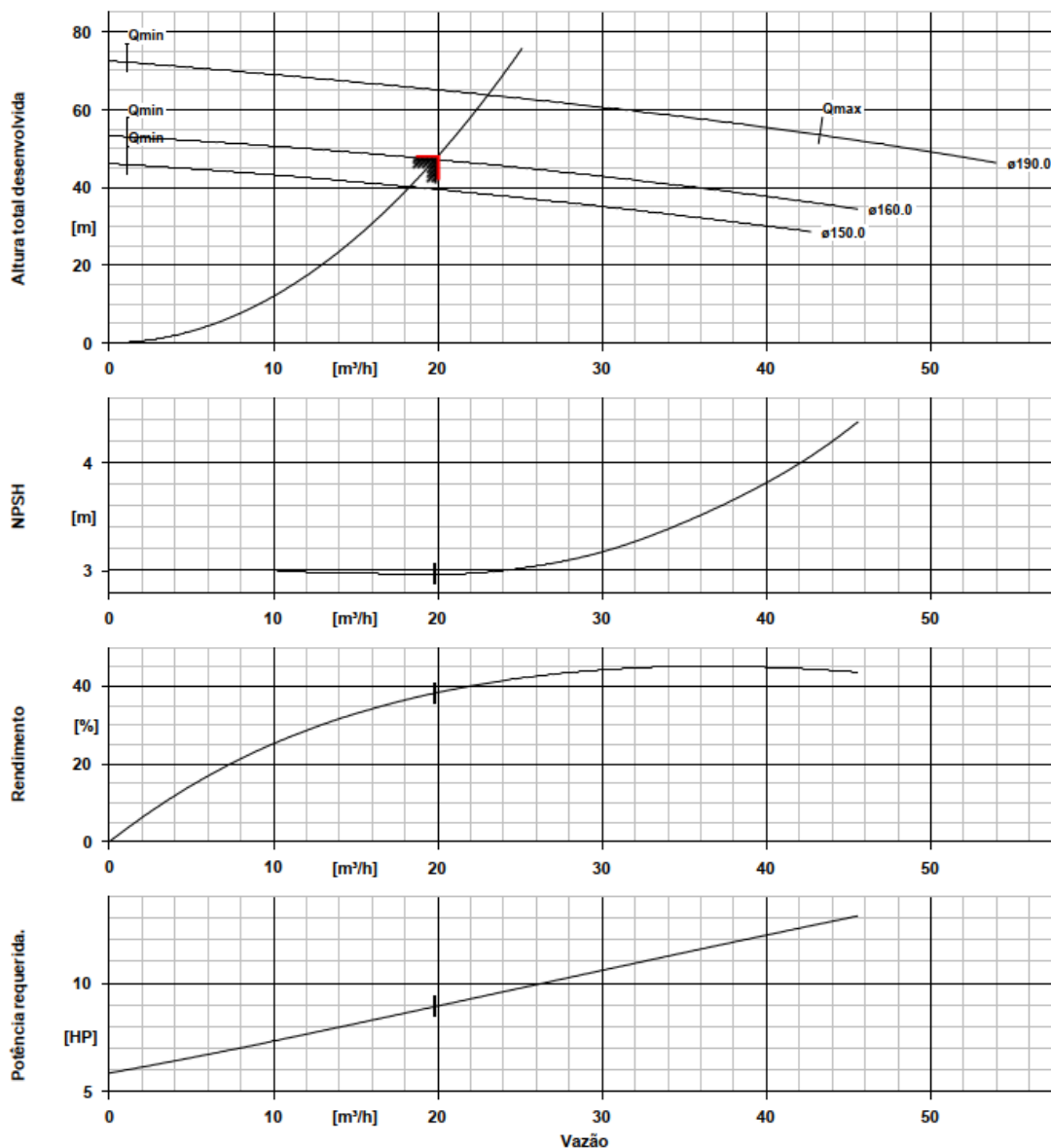
**Figura 14 - Bomba submersível KSB KRT Amarex**



Fonte: KSB Brasil Ltda, 2022.

O valor orçado para a bomba KSB submersível KRT Amarex F 40-252 10 cv foi de R\$ 24.170,00. A Figura 15 apresenta as curvas de altura desenvolvida pela bomba, NPSH requerido pela bomba, rendimento, e potência requerida.

Figura 15 – Curvas de altura desenvolvida, NPSH requerido, rendimento, e potência da bomba submersível KSB KRT Amarex 10 CV



Fonte: KSB Brasil Ltda, 2022.

A altura manométrica desenvolvida apresentada é 47,85 m, a potência absorvida é de 8,91 HP com rendimento de 38,2%, e o NPSH requerido é de 2,97 m. Dessa forma, a bomba consegue atender a todos os requerimentos do sistema.

Para o segundo bombeamento, é apresentada a bomba centrífuga Schneider Motobombas Série MSA-22 R 1 1/4 20 cv para bombeamento de líquidos com sólidos em suspensão (Figura 16).

Figura 16 - Bomba Série MSA-22



Fonte: Schneider Motobombas, 2022.

A bomba foi orçada em revendedora autorizada na Schneider em Londrina, Paraná por R\$ 14.980,00 cada. A Tabela 15 apresenta as características hidráulicas da bomba, de maneira que é possível trabalhar com os intervalos de vazões e atender as alturas manométricas requeridas.

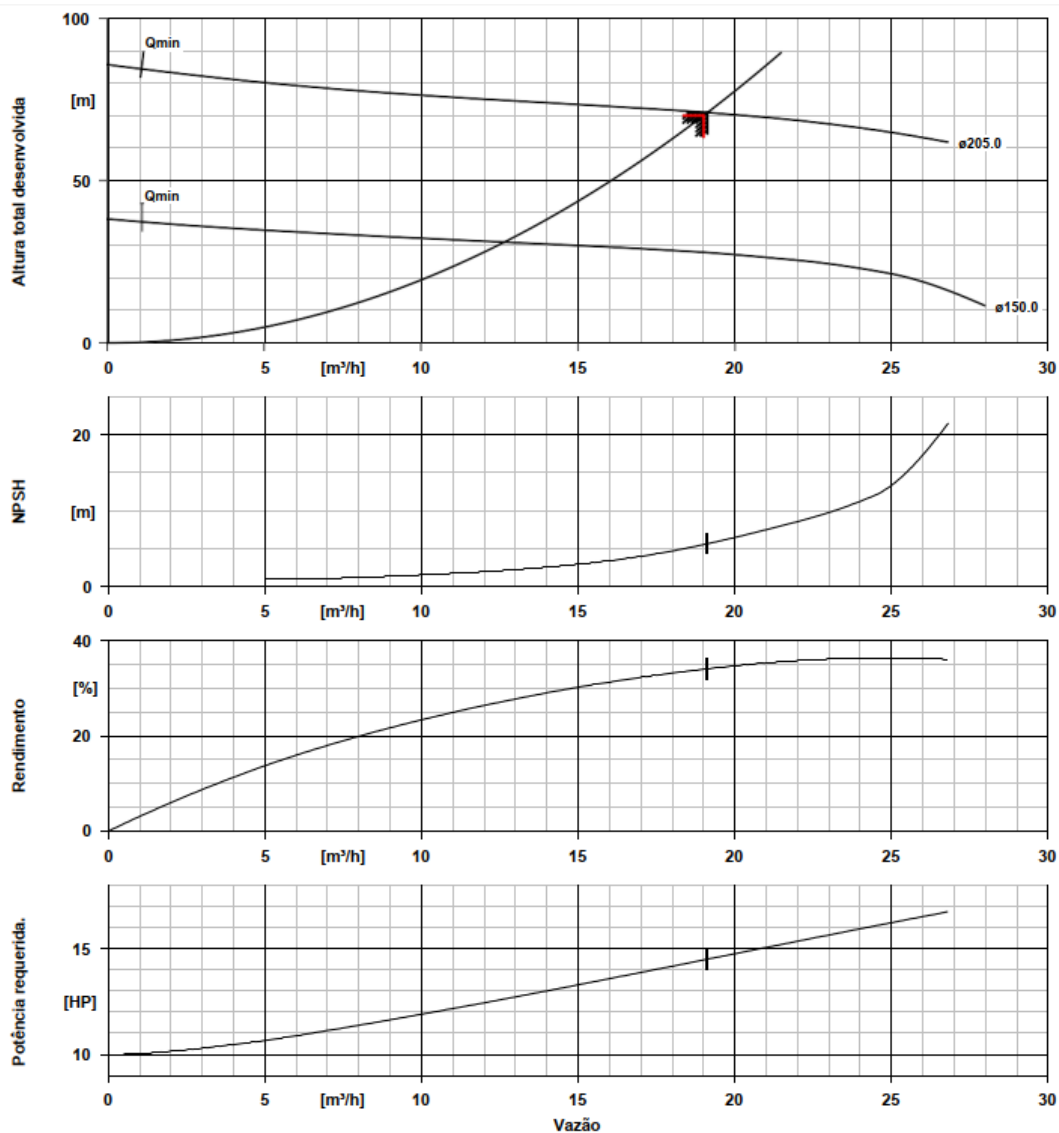
Tabela 15 - Características hidráulicas da bomba MSA 22 R 1 1/4 20 cv

Modelo	Potência (cv)	Altura manométrica total (m.c.a)							
		20	30	38	46	54	62	66	72
		Vazão em m <sup>3</sup> /h							
MSA-22 R 1 1/4	5	34,9	20,9						
	7,5	*	32,3	20,4					
	10	*	*	30,8	18,2				
	12,5	*	*	38,5	29,4				
	15	*	*	*	37,5	27,9			
	20	*	*	*	*	38,8	29,5	23,5	16,0

Fonte: Schneider Motobombas, 2022.  
(\* ) Não utilizar nessa faixa.

Outra opção sugerida foi a bomba KSB submersível KRT Amarex F 40-252 com potência diferente da primeira, 20 CV. A bomba possui rotor à prova de entupimento, indicado para fluidos contendo sólidos grandes. A Figura 18 apresenta a curva de altura desenvolvida pela bomba. O valor orçado para a bomba KSB submersível KRT Amarex F 40-252 20 CV foi de R\$ 32.330,00.

Figura 17 - Curvas de altura desenvolvida, NPSH requerido, rendimento, e potência da bomba submersível KSB KRT Amarex 20 cv



Fonte: KSB Brasil Ltda, 2022.

A altura manométrica desenvolvida apresentada é 70,90 m, a potência absorvida é de 14,50 HP com rendimento de 34,1%, e o NPSH requerido é de 5,65 m. Dessa forma, a bomba consegue atender a todos os requerimentos do sistema.

### 5.3.2 Custos totais

A Tabela 16 apresenta uma relação dos materiais e equipamentos para a construção do sistema, assim como suas quantidades e custos.

Tabela 16 – Itens e valores para construção do sistema de bombeamento

Especificação	Quantidade	Unidade	Valor Unitário	Valor Total
Bomba Submersível	2	Unidade	R\$ 24.170,00	R\$ 48.340,00
Bomba Centrífuga	2	Unidade	R\$ 16.980,00	R\$ 33.960,00
Válvula retenção DN100	4	Unidade	R\$ 973,00	R\$ 3.892,00
Válvula gaveta DN100	5	Unidade	R\$ 1.133,00	R\$ 5.665,00
Tubo PVC 100 mm	1052	Metro	R\$ 20,00	R\$ 21.040,00
Joelho 45° 100 mm	3	Unidade	R\$ 11,70	R\$ 35,10
Tubo de concreto armado 0,60 m	5	Metros	R\$ 290,00	R\$ 1.450,00
Tubo de concreto 0,60 m	12	Metros	R\$ 115,50	R\$ 1.386,00
Componentes elétricos	1	Conjunto	R\$ 9.400,00	R\$ 9.400,00
Vergalhão de ferro 3/8	90	Barras	R\$ 48,00	R\$ 4.320,00
Cimento	70	Sacos	R\$ 38,00	R\$ 2.660,00
Areia	20	M <sup>3</sup>	R\$ 163,00	R\$ 3.260,00
Pedra brita	20	M <sup>3</sup>	R\$ 92,40	R\$ 1.848,00
Tábua de pinus	150	Tábua	R\$ 15,20	R\$ 2.280,00
Epóxi anticorrosiva	30L	3L	R\$ 390,00	R\$ 3.900,00
Bloco concreto	150	Unidade	R\$ 4,40	R\$ 660,00
Tubo de metalon 30x30	18 Metros	6 Metros	R\$ 284,00	R\$ 852,00
Laje treliçada	30 M <sup>2</sup>	M <sup>2</sup>	R\$ 110,00	R\$ 3.300,00
Tampão de ferro de raio 0,50 m	3	Unidade	R\$ 1.810,00	R\$ 5.430,00
Valor total				R\$ 153.678,10

Fonte: Autoria própria, 2022.

Além dos custos de materiais, foram analisados os custos de execução do projeto por empresas de engenharia. A Tabela 17 apresenta orçamentos de construção.

**Tabela 17 – Orçamentos obtidos para a construção do sistema**

Empresa	Custo de execução
Construtora 1	R\$ 145.600,00
Construtora 2	R\$ 124.000,00

**Fonte: Aatoria própria, 2022.**

Foram também orçados os custos de instalação da bomba, construção elétrica e testes. A Tabela 18 apresenta os orçamentos obtidos.

**Tabela 18 - Orçamentos para instalação das bombas e construção elétrica**

Empresa	Custo de execução
Empresa 1	R\$ 13.800,00
Empresa 2	R\$ 14.550,00

**Fonte: Aatoria própria, 2022.**

Baseado nos valores históricos de gastos da empresa, estimou-se também um valor anual de manutenção e operação de R\$ 23.500,00 ou aproximadamente R\$ 450,70 por semana. O funcionamento não prevê um operador exclusivo para o sistema. Nesse caso, um dos operadores da empresa ficará encarregado da operação e supervisão do sistema dentre outras tarefas internas de seu cargo.

Diante dos valores obtidos, é possível estimar um valor de execução do projeto de engenharia. Os custos de materiais estimados ficariam aproximadamente R\$ 153.678,10, enquanto o menor valor obtido para execução do projeto foi de R\$ 124.000,00, e o valor de instalação das bombas e rede elétrica foi de R\$ 13.800,00. Dessa forma, o custo estimado de execução do projeto é de R\$ 291.478,10 mais R\$ 23.500,00 anuais de operação e manutenção.

#### **5.4 COMPARAÇÃO DE CUSTOS**

Segundo os cálculos efetuados anteriormente, sabe-se que a empresa atualmente custeia R\$ 2.294,40 semanalmente no transporte do esgoto, sendo que futuramente poderá operar com o dobro da produção, ou seja, com custos semanais próximos a R\$ 4.588,80. Sabendo-se que o custo aproximado de execução foi calculado em R\$ 291.478,10 mais R\$ 450,70 semanais, é possível

estimar em que período de tempo o custo de engenharia seria pago substituindo o modelo atual. As Equações 17 e 18 apresentam essa estimativa com relação à produção atual e à produção máxima, respectivamente.

$$\text{R\$ } 291.478,10 + \frac{\text{R\$ } 450,70}{\textit{semana}} t = \frac{\text{R\$ } 2.294,40}{\textit{semana}} t \quad (17)$$

$$t = 158 \text{ semanas}$$

$$\text{R\$ } 291.478,10 + \frac{\text{R\$ } 450,70}{\textit{semana}} t = \frac{\text{R\$ } 4.588,80}{\textit{semana}} t \quad (18)$$

$$t = 70,5 \text{ semanas}$$

Dessa forma, comparando-se os custos atuais com os valores de construção apresentados, a empresa poderia pagar integralmente o valor investido na construção em aproximadamente três anos e 2 semanas. Se considerado o valor máximo com dobro de produção, a empresa recuperaria o valor investido na execução do projeto em aproximadamente um ano e 18 semanas.



## 6 CONCLUSÃO

Para o tratamento de chorume, a Kurica Ambiental utiliza um modelo de tratamento combinado, que se baseia na mistura prévia de chorume e esgoto doméstico. A empresa atualmente faz o transporte do esgoto até a estação de tratamento por meio de caminhões pipa, que retiram o esgoto de uma companhia de tratamento de esgoto, localizada em propriedade vizinha, e levam até um tanque dentro da empresa. Esse processo gera um custo semanal de R\$ 2.294,40 à empresa, que opera com metade de sua capacidade descrita em sua licença de operação.

Diante da situação apresentada, foi proposto um sistema de captação e bombeamento de esgoto até a estação de tratamento, a fim de automatizar o processo e buscar uma economia financeira nessa etapa de transporte. Diante disso, apresentou-se uma proposta de um sistema de bombeamento e malha de tubulação seguindo o nivelamento da propriedade em que a empresa se encontra. Com os dados obtidos, foi possível dimensionar os sistemas de bombeamento, apresentar e listar os acessórios e disposições construtivas necessárias ao projeto.

A partir das informações adquiridas, realizaram-se orçamentos para aquisição dos materiais necessários e execução da obra de engenharia. Calculou-se, para a execução do projeto, um valor estimado de R\$ 291.478,10 além de um custo de operação e manutenção anual de R\$ 23.500,00.

Comparando-se os custos atuais com os valores de construção apresentados, concluiu-se que a empresa poderia pagar integralmente o valor investido no projeto em aproximadamente 3 anos e 2 semanas. Se considerada uma operação com a capacidade máxima estabelecida na licença de operação, a empresa poderia recuperar o valor investido em aproximadamente 1 ano e 18 semanas.

Portanto, conclui-se que a automatização do transporte de esgoto para a estação de tratamento da empresa pode ser uma alternativa financeiramente viável à empresa no longo prazo, considerando a análise dos custos de engenharia envolvidos e os custos atuais expendidos no processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 12208: Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1977) Elaboração de Projetos de Sistemas de Adução de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT

AZEVEDO NETTO, J.M.; ALVAREZ, G.A. – Manual de Hidráulica. Ed. Edgard Blucher, 6° ed, São Paulo, 1973.

BELTRÃO, K.G.Q.B. Sistema de barreira bioquímica como alternativa para o tratamento de percolado. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

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. 169 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. (1999). Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. São Carlos: EESC-USP. Projeto REENGE.

BIDONE, F.R.A. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por um sistema composto por filtros anaeróbios seguidos de banhados construídos: estudo de caso – Central de Resíduos de Recreio, em Minas do Leão/RS.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2008.

CREMASCO, M. A. Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidodinâmicos. Ed. Blucher, 2012.

DEL BORGHI, A.; BINAGHI, L.; CONVERTI, A.; DEL BORGHI, M. *Combined Treatment of Leachate from Sanitary Landfill. Chem. Biochem. Eng.* 2003.

GIORDANO, G. Análise e Formulação de Processos para Tratamento dos Chorumes Gerados em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos. Tese de Doutorado. PUC-RJ, Rio de Janeiro, 2003

MELO, W.J., MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. Betitoli, W. e Camargo, Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, SP. EMPRAPA Meio Ambiente, p.11-24, 2000.

NAKAYAMA, Y. Introduction to Fluid Mechanics. Butterworth-Heinemann, 1999.

NURENE. Núcleo Regional Nordeste. Esgotamento sanitário: Projeto e construção de sistemas de esgotamento sanitário. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Slavador: RECESA, 2008.

NUVOLARI, A.; D'ALKMIN TELLES, D.; RIBEIRO, J. T.; MIYASHITA, N. J.; RODRIGUES, R. B.; DE ARAUJO, R. Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola / coordenação Ariovaldo Nuvolari – 1 edição – São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J.; POULAIN, S.; DIRASSOUIAN, F.; MOULIN, P. *Landfill leachate treatment: review and opportunity.* J Hazard. Mater. 2008.

RUSSO, M.A.T. Tratamento de resíduos sólidos. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra, 2003.

STEGMANN, R.; HEYER K.U.; COSSU, R. *Leachate treatment. Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, Cagliari, 3-7 October 2005.*

TORRES, P. et al. Tratabilidade biológica de chorume produzido em aterro não controlado. Engenharia Sanitária Ambiental. V.2. 1997.

TSUTIYA, M.T.; ALEM SOBRINHO, P. Coleta e transporte de esgoto sanitário, 1.ed. São Paulo; Departamento de Energia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. 548p.

WHITE, F. M. *Fluid Mechanics*. Singapore: McGraw-Hill, 1988.