



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CAMPUS RECIFE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

ANDRÉ LUIZ CROCCIA MOTTA DA SILVA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE ROTORES RECUPERADOS COM ELETRODO
REVESTIDO EM ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO COM E SEM SISTEMA
DE GRADEAMENTO**

Monografia

Recife
2023

ANDRÉ LUIZ CROCCIA MOTTA DA SILVA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE ROTORES RECUPERADOS COM ELETRODO
REVESTIDO EM ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO COM E SEM SISTEMA
DE GRADEAMENTO**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) como parte das exigências para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Flávio Augusto Bueno
Figueiredo

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, André Luiz Croccia Motta da.

Análise da eficiência de rotores recuperados com eletrodo revestido em estações elevatórias de esgoto com e sem sistema de gradeamento / André Luiz Croccia Motta da Silva. - Recife, 2023.

63 : il., tab.

Orientador(a): Flavio Augusto Bueno Figueiredo

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Mecânica - Bacharelado, 2023.

Inclui referências, apêndices.

1. Recuperação de rotor. 2. Soldagem por eletrodo revestido. 3. Bombas submersíveis. 4. Manutenção corretiva. I. Figueiredo, Flavio Augusto Bueno. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)



Universidade Federal de Pernambuco
Departamento de Engenharia Mecânica Centro de
Tecnologia e Geociências- CTG/EEP



ATA DE SESSÃO DE DEFESA DE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC2

Ao 09º dia do mês de maio do ano de dois mil e vinte e três, às 10:00 horas, de forma virtual através da plataforma google meet, reuniu-se a banca examinadora para a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, intitulado **Análise da eficiência de rotores recuperados com eletrodo revestido em estações elevatórias de esgoto com e sem sistema de gradeamento**, elaborado pelo aluno **André Luiz Croccia Motta da Silva**, matrícula 102.891.524/10, composta pelos avaliadores Prof. **Flávio Augusto Bueno Figueiredo** (orientador), Prof. **José Claudino de Lira Júnior** (avaliador) e Prof. **Guilherme Barbosa Lopes Junior** (avaliador). Após a exposição oral do trabalho, o candidato foi arguido pelos componentes da banca que em seguida reuniram-se e deliberaram pela sua APROVADO, atribuindo-lhe a média 8,0 (oito), julgando-o apto(X) / inapto() à conclusão do curso de Engenharia Mecânica. Para constar, redigi a presente ata aprovada por todos os presentes, que vai assinada pelos membros da banca.

Orientador: Prof. Flávio Augusto Bueno Figueiredo Nota: 8,0 (oito)

Assinatura _____

Avaliador Interno: Prof. José Claudino de Lira Júnior Nota: 8,0 (oito)

Assinatura _____

Avaliador Interno: Prof. Guilherme Barbosa Lopes Junior Nota:8,0 (oito)

Assinatura _____

Recife, 09 de maio de 2023.

Prof. Marcus Costa de Araújo
Coordenador de Trabalho de Conclusão de curso - TCC
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica – CTG/EEP-UFPE

RESUMO

Este trabalho consiste no estudo de durabilidade e viabilidade econômica de rotores de bombas submersíveis dentro das Estações Elevatórias de Esgoto (EEE) perante sua recuperação que, motivada por desgastes de erosão e cavitação, passe por processo de preenchimento geométrico feito pela soldagem com eletrodos revestidos. A compra de novos rotores tem um custo muito alto para as empresas de saneamento em comparação com a recuperação através de solda de eletrodo revestido. Os rotores trabalhados em fluidos densos e com muita areia, como o esgoto, geram uma sobrecarga de trabalho, e assim, uma maior probabilidade de existências de trincas ou rachaduras, perdendo parte do seu material durante sua operação. Essa perda de material influencia no enfraquecimento da peça diminuindo a durabilidade do rotor e diminuição do volume de água transportada para as Estações de Tratamento (ETE), gerando assim, uma perda econômica não só por parte do equipamento (bomba) como um todo mas também no volume de água tratada por dia. Neste trabalho, iremos mostrar através de cenários diferentes, o resultado econômico que as empresas de saneamento podem trazer consigo com o reparo desta peça utilizando o processo de solda por eletrodo revestido. Também trará uma análise de durabilidade destes sob adição de sistemas de gradeamento dentro das elevatórias de esgoto para prevenção do desgaste no rotor.

Palavras chaves: Recuperação de rotor; Soldagem por eletrodo revestido; Bombas submersíveis; Manutenção corretiva.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ANAS - Agência Nacional de Águas e Saneamento

ASME – American Society of Mechanical Engineers

AWS – American Welding Society

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

EE – Estação Elevatória

EEE – Estação Elevatória de Esgoto

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FoFo – Ferro Fundido

MTBF – Mean Time Between Failures

MTTR – Mean Time To Repair

OS – Ordem de Serviço

PV – Poço de Visita

RMR – Região Metropolitana do Recife

SER – Soldagem com Eletrodo Revestido

SES – Sistema de Esgoto Sanitário

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

SS – Solicitação de Serviços

VPL – Valor Presente Líquido

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bomba Submersível instalada em poço úmido	17
Figura 2 - Bomba externa instalada no poço seco	18
Figura 3 - Fluxo da bomba centrífuga em aplicação	19
Figura 4 - Tipo de rotores em relação a sua estrutura	20
Figura 5 - Fatores que influenciam no desgaste dos componentes da bomba.....	21
Figura 6 - Processo de implosão que ocorre no rotor	21
Figura 7- Formação de Bolhas ou cavidades no olho do impulsor	22
Figura 8 - Representação Gráfica do NPSH disponível e requerido	23
Figura 9 - Possíveis mecanismos de desgaste erosivo.....	24
Figura 10 - Fluxograma de recuperação de rotores da oficina.....	27
Figura 11 - a) Vista completa Máquina de Jateamento, b) Vista interna.....	29
Figura 12 - Componentes do Arco Elétrico.....	30
Figura 13 - Equipamentos gerais para solda	31
Figura 14 - Porta Eletrodo.....	32
Figura 15 - Composição do eletrodo revestido	32
Figura 16 - Classificação do eletrodo pela sua nomenclatura.....	33
Figura 17 - Rotor de uma Bomba Submersível quebrado por desgaste.....	34
Figura 18 - Rotor quebrado preenchido por solda: a) Vista Frontal, b)Vista lateral ...	35
Figura 19 - Rotor com revestimento cerâmico.....	36
Figura 20 - Resina Cerâmica de cor azulada utilizada como acabamento	36
Figura 21 - Balanceamento dinâmico do rotor através da raspagem de massa.....	37
Figura 22 - Sistema de Grade aplicado antes da elevação do esgoto.....	38
Figura 23 - Eletrodos 4x450mm utilizados para preenchimento do rotor.....	43
Figura 24 - Gráfico de comparação de custo: Rotor novo x Rotor Recuperado	51
Figura 25 - Histórico de Operação do rotor da bomba de EE Bacia C.....	52
Figura 26 - Gráfico de Custo por hora do rotor novo x Rotor recuperado.....	53
Figura 27 - Gráfico de Confiabilidade do rotor novo e recuperado da Bacia C.....	54
Figura 28 - Gráfico de Operação do rotor da bomba de Prazeres 40.09.....	55
Figura 29 - Gráfico de Custo por hora dos três exemplos de rotores em análise.....	52
Figura 30 - Gráfico de Confiabilidade dos rotores (Bacia C e 40.09).....	57
Figura 31 - Histórico de Operação do rotor da bomba de Prazeres 40.09	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Materiais de abrasivos para jateamento.....	27
Quadro 2 - Classificação dos eletrodos Revestidos AWS.....	33
Quadro 3 - Informações para custo de Jateamento por rotor.....	41
Quadro 4 - Custo do material Eletrodo Revestido utilizado na recuperação	42
Quadro 5 - Informação do Material de Revestimento Cerâmico	44
Quadro 6 - Dados técnicos da bomba SULZER XFP 155J.....	45
Quadro 7 - Dados do Cenário da Estação elevatória da Bacia C	47
Quadro 8 - Dados da Estação Elevatória de Prazeres 40.09.....	54

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Tempo de manutenção por cada processo	39
Tabela 2 - Custo direto por processo de recuperação	40
Tabela 3 - Custo direto por processo de recuperação	40
Tabela 4 - MTBF e Taxa de falhas de cada vez que o rotor foi recuperado	52
Tabela 5 - MTBF e Taxa de falhas de cada vez que o rotor foi recuperado (40.09)..	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Panorama do Saneamento básico no Brasil	10
1.2 A Estrutura do Sistema de Tratamento de Esgoto	10
1.3 Manutenção dos Equipamentos Eletromecânicos	11
1.4 Objetivos	12
1.4.1 Objetivo geral.....	12
1.4.2 Objetivos específicos.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 O Cenário do Tratamento de Esgoto.....	13
2.2 Estações elevatórias de Esgotos (EEE)	13
2.3 Indicadores e Metas de Manutenção.....	14
2.4 Sistema de Bombaeamento	16
2.4.1 Bombas submersíveis	16
2.4.2 Bombas externas.....	17
2.5 Rotores.....	18
2.5.1 Tipologia dos Rotores em relação a sua estrutura	19
2.5.2 Tipologia dos Rotores em relação à direção do escoamento.....	20
2.6 Causas de Desgaste do rotor	20
2.6.1 Desgaste por cavitação	21
2.6.2 Desgaste por corrosão e areia	24
2.6.3 Outros desgastes	25
3 METODOLOGIA.....	26
3.1 Abordagem do trabalho	26
3.2 Método aplicado.....	26
3.3 Diagrama de processo de recuperação do rotor	27
3.4 Recuperação dos rotores	28
3.4.1 Jateamento	28
3.4.2 Definição da Soldagem com Eletrodo revestido	29
3.4.3 Geradores de correntes para ativação do arco elétrico	30
3.4.4 Equipamentos para soldagem.....	31
3.4.5 Composição do Eletrodo Revestido	32
3.4.6 Utilização da soldagem por eletrodo revestido nos rotores	34

3.4.7 Rejuvenescimento cerâmico	35
3.4.8 Balanceamento do rotor (final)	36
3.5 Prevenção de danos no rotor (Gradeamento).....	37
3.6 Análise econômica.....	38
4 ANÁLISE E DISCUSSÕES	40
4.1 Tempo médio de reparo (MTTR)	40
4.2 Custo do material.....	41
4.2.1 Custo do processo de Jateamento.....	42
4.2.2 Custo do processo de Soldagem por Eletrodo Revestido	42
4.2.3 Custo do revestimento cerâmico.....	44
4.2.4 Custo do Balanceamento.	46
4.3 Tempo médio de atividade (MTBF)	46
4.4 Disponibilidade e Confiabilidade.....	47
4.5 Eficiência.....	47
4.6 Cenários de Estudo	48
4.6.1 Cenário da EE Bacia C.....	49
4.6.2 Cenário de EE Prazeres 40.09.....	50
5 RESULTADOS	52
5.1 Análise de economia por rotor recuperado	52
5.1.1 Economia por Recuperação.....	52
5.2 Cenário da EE Bacia C (sem gradeamento)	52
5.2.1 Tempo de atividade dos rotores.....	53
5.2.2 Eficiência	53
5.2.3 Tempo de operação do rotor	54
5.2.4 Gráfico de Confiabilidade sob o tempo total	54
5.3 Cenário de SES Prazeres 40.09 (com gradeamento).....	55
5.3.1 Tempo de atividade de rotor de sistema com gradeamento.....	56
5.3.2 Vantagem do rotor com sistema com gradeamento	56
5.3.3 Projeção da confiabilidade dos cenários.....	57
5.4 Limitações do trabalho.....	58
6. CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 Panorama do Saneamento básico no Brasil

Saneamento básico é tratar de água, esgoto, drenagem urbana e coleta de lixo. Seguindo os dados da ANAS (Agência Nacional de Águas e Saneamento, 2019) registrados em 2019, no Brasil temos que 83,7 % da população atende rede de água, rede de esgoto chega a 54,1 % da população, 92,1% para cobertura de coleta domiciliar de resíduos sólidos. Quando o assunto é captação de água das chuvas, verifica-se que 15,1 % dos municípios brasileiros não possuem sistema de drenagem. Com base nestes números, 100 milhões de pessoas no país vivem com esgotos contaminados passando pela sua porta de casa e 35 milhões sequer têm acesso a água potável para atividades de higiene básica como lavar as mãos.

Com esperança para brasileiros excluídos destas políticas públicas elementares, em 2007, o Brasil ganhou a lei de saneamento básico, o primeiro marco regulatório com diretrizes nacionais para o setor. Treze anos depois (2019), o congresso aprovou mudanças na lei para o marco: a universalização e regionalização de água e esgoto tratado prevista para 2033 e assim, empresas privadas e estaduais ganharam relevância para a prestação de serviços de saneamento para atingir locais desprovidos desta política.

O objetivo desse novo marco legal é estruturar o ambiente regulatório maduro no setor de saneamento, garantir uma segurança jurídica para que ocorra ampliação e efetividade dos investimentos seja privado ou público, e sempre visando o fim útil que é a universalização dos serviços. A atuação das empresas de saneamento neste marco procura trazer recursos hídricos inováveis para que o esgoto possa ser tratado e consiga chegar nos rios sem que haja poluição. Segundo o SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), 2021:

Apenas 51% do esgoto gerado no Brasil passa por tratamento. Isso quer dizer que os outros 49% são despejados diretamente na natureza, o que corresponde a 5,2 bilhões de metros cúbicos por ano ou quase 6 mil piscinas olímpicas de esgoto por dia.

1.2 A Estrutura do Sistema de Tratamento de Esgoto

Basicamente, as unidades de empresas que trabalham com tratamento de esgoto podem ser divididas em EEE's (Estação Elevatória de Esgoto) e ETE'S (Estação de Tratamento do Esgoto). Nas EEE's, ocorre a elevação e movimentação do fluido em si para as ETE's (Estação de Tratamento do Esgoto) onde de fato ocorre o tratamento e purificação do fluido através de processos de separação químicos e físicos, estas duas estações são ligadas através de REDE de tubulações subterrânea com as residências e comércios que geram esgoto para a região. Cada unidade utiliza dos seus próprios equipamentos mecânicos para a movimentação e tratamento do esgoto (SPELING, 2011).

1.3 Manutenção dos Equipamentos Eletromecânicos

A área de Manutenção Eletromecânica atua nas atividades relacionadas aos equipamentos pertencentes a cada unidade da Elevatória e Tratamento de esgoto. Sua função base é manter as unidades operando com seus equipamentos sempre em disponibilidade sem que haja qualquer evento que possa danificar algum equipamento elétrico ou mecânico e ocasione em paradas abruptas em qualquer etapa do processo.

A Oficina é um dos setores existentes dentro da área de Manutenção Eletromecânica para ser feito qualquer manutenção corretiva dos equipamentos que entram avariados. Neste subsetor, acontece a recuperação dos equipamentos avariados que chegam das unidades de EEE ou ETE. É feito sua avaliação na primeira etapa, e em seguida, encaminhado à manutenção que deverá ocorrer no equipamento, seja Manutenção Interna ou Externa.

Outro objetivo da Oficina é trazer o máximo de economia para a empresa, absorvendo o máximo de serviço possível que podia ser custeado externamente para o interno.

As bombas e os motores geram serviços como rebobinamento de motor, metalização de eixos, serviços de recuperação de selo mecânicos, substituição de rotores desgastados, e estes, podem ser tanto feito externamente por fornecedores aliados como internamente utilizando recursos da própria empresa. De frente isto, a Oficina busca a absorção desses serviços e também aprimorar os serviços feitos impactando ainda mais no rendimento do equipamento como um todo.

Assim surge o serviço de recuperação de rotores por eletrodos que vem sendo cada vez mais realizado dentro da Oficina. O material utilizado para isto é de baixo custo e o processo é majoritariamente artesanal, cumprindo com a ideia universal de trazer novos recursos e projetos para dentro do saneamento buscando um maior impacto econômico e eficiência nas estações.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Este trabalho tem o objetivo geral de validar o projeto de recuperação dos rotores por soldagem a eletrodo revestido através da comparação entre a durabilidade dos rotores de fábricas e rotores recuperados dentro de ambientes de oficinas eletromecânicas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estudo da absorção custo de rotores recuperados por soldagem a eletrodo revestido em relação ao valor de compra do rotor novo de fábrica.
- Comparação da durabilidade de um rotor novo de fábrica e um recuperado por soldagem a eletrodo revestido até que se gere baixa eficiência da unidade de estação elevatória por desgaste com base nos dados retirados do histórico de manutenção corretiva de Software de Gestão de Manutenção da empresa.
- Análise de indicadores de manutenção como MTBF (Mean Time Between Failures ou Tempo médio entre falhas), MTTR (Mean Time To Repair ou Tempo médio entre reparos), Confiabilidade, Distribuição de falha e Disponibilidade
- Comparação dos resultados deste processo de recuperação dentro de estações elevatórias de esgoto que não utilizem sistemas de gradeamento e compararemos com sistemas que contenham gradeamento, reforçando a necessidade da utilização destes para aumento de vida útil da peça.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O Cenário do Tratamento de Esgoto

O tratamento de esgoto sanitário é um dos elementos chamados saneamento básico onde a água depois de usada torna-se o esgoto, a partir disto, a empresa é responsável pelo cuidado dos sistemas de coleta do fluido e principalmente do tratamento de todo esse efluente na região. Para sair de casa até chegar na estação de tratamento (ETE), o esgoto percorre um longo caminho através de redes de coletas emissárias e interceptores que recolhem todo o esgoto gerado na cidade/região e direciona a Estação Elevatória de Esgoto (EEE) mais próxima. Quando esse esgoto chega à EEE, o fluido é elevado para a estação de tratamento onde tem o início a um amplo trabalho formado por diferentes processos físico-químicos-biológicos para devolvê-lo limpo à natureza sem que cause poluição.

2.2 Estações elevatórias de Esgotos (EEE)

O esgoto quando sai dos estabelecimentos, percorre através das tubulações e redes com a força da gravidade até estação elevatória mais próxima. No caminho destas tubulações, existem os chamados PV's (poço de visita) que garantem a manutenção das redes em casos de obstrução ou entupimento.

As estações elevatórias de rede de esgoto são implantadas em locais onde precisa-se fazer o recalque do efluente bruto ou tratado, e é aplicado onde a cota de empreendimento ou cota de rede de esgoto está mais baixo ou afastada da rede coletora, então precisa-se de um sistema de bombeamento para fazer o lançamento na rede coletora de esgoto e entregar o efluente até a ETE mais próxima, que é onde ocorre o todo processo de despoluição do esgoto por processos físicos, químicos e biológicos, e então o efluente tratado é devolvido para os rios (SPELLING, 2011).

As elevatórias possuem diversos tamanhos, podendo atender pequenos até grandes bairros e municípios interferindo no tamanho da elevatória e no modelo da bomba. A entrada destas estações possui normalmente uma válvula gaveta que

serve para o controle de entrada do efluente e evita extravasamentos ao longo da rede (MENDONÇA, 2017).

O esgoto é acumulado dentro dos poços que agem como reservatório e que são pré-elaborados dependendo da região e características dos esgotos brutos em si. Nestes poços, o ideal é se manter com o nível de efluente baixo para que faça com que as bombas funcionem de maneira saudável e com segurança de que não haja nenhum transbordamento do esgoto e gere qualquer tipo de danificação em todos os equipamentos mecânicos ou elétricos trabalhando acima.

Antes de chegar nas EEE's o esgoto passa por sistemas de gradeamento que impedem a passagem de sólidos mais rígidos, como exemplo, os lixos que são indevidamente jogados nas bacias sanitárias e PV's. Esses gradeamentos também servem para diminuir o esforço na bomba e no seu rotor. Devido também a alta proporção de areia que é transportada com o esgoto bruto, é adicionado caixas de areia usadas como um segundo filtro no processo de tratamento, mesmo que nas EEE's ainda não tenha como objetivo final esse tratamento, apenas a elevação e transporte do esgoto.

Normalmente, as EEE podem funcionar de duas maneiras diferentes dependendo do seu projeto e modelo de estação de elevatória: com bombas submersíveis ou bomba em poço seco. As bombas submersíveis, como o próprio nome indica, trabalham diretamente ao fundo do poço quando o mesmo é úmido, bombeando diretamente o fluido para as ETE'S. Já as bombas que trabalham em poço seco, trabalham em um segundo poço ao lado do poço úmido, o qual não funciona como reservatório de esgoto e deve ser mantido sempre limpo para o funcionamento destas bombas que muitas vezes são centrífugas ou lobulares (MENDONÇA, 2017).

2.3 Indicadores e Metas de Manutenção

Para a qualidade de cada processo, existem indicadores que podem ser submetidos a metas de saneamento convergindo com o objetivo do marco da lei de saneamento básico. Todo material/equipamento utilizado em cada processo (REDE, EEE, ETE) trabalha sob controle da Manutenção Eletromecânica para que variáveis como níveis de vazão, vazamento entre redes, entupimento de tubulações, paradas abruptas de qualquer processo, mal funcionamento de equipamentos

eletromecânicos dentre outros, operem sempre dentro da margem de qualidade, e impactem diretamente no resultado da água que é entregue para a região em que se é tratada.

Para o controle dessa qualidade, são feitas mensalmente vistorias que avaliam os índices de disponibilidade (IDE) de cada unidade para que evite qualquer paralisação por motivos eletromecânicos. Estes índices são definidos como o coeficiente entre o número de estações disponíveis (em operação) sobre o número total de elevatórias localizadas na área de concessão. Entende-se por elevatória disponível para operação, a elevatória que apresente o número mínimo de conjuntos motor-bomba em condições de operação, ou seja, no momento da vistoria o conjunto motobomba será colocado em operação e serão verificados aspectos característicos de cada equipamento que mantenham a elevatória em disponibilidade.

$$IDE = NED/NTE \quad (1)$$

Onde:

IDE=Indicador de Disponibilidade de Estação Elevatória

NED=Número de Estações Elevatórias Disponíveis para Operação

NTE=Número Total de Estações Elevatórias localizadas na ÁREA DA
CONCESSÃO

Em paralelo e além destas vistorias, há metas internas, como dentro da Manutenção eletromecânica, que visam tratar os equipamentos avariados de forma mais eficiente possível, para que no final, consiga não só impactar nestes indicadores de disponibilidade, mas como trazer uma maior economia por recuperação de equipamento por manutenção corretiva. Por isto, o trabalho de conclusão em questão é feito para com o intuito mais claro possível de nos mostrar resultados da recuperação dos rotores danificados destas bombas por métodos corretivos que aplicados na OFICINA ELETROMECÂNICA.

“Estações de tratamento de esgoto que devem operar de forma contínua e confiável 24 horas por dia, 7 dias por semana. No caso de uma falha grave, que envolve a interrupção do fluxo e tratamento de águas

residuais, o meio ambiente pode ser contaminado, podendo haver multas elevadas. Equipamentos na estação de tratamento de esgoto, como bombas, devem ser capazes de operação contínua com alta confiabilidade” (CZWILA; PAPROCKA, 2023)

2.4 Sistema de Bombaeamento

As estações elevatórias de esgoto são unidades de tratamento de esgoto que utilizam bombas hidráulicas e tanques como seus principais equipamentos onde aumentam a pressão do líquido para que tenhamos um sistema de captação e distribuição do efluente. Estas bombas têm mecanismos tecnológicos de prática, instalação, içamento e transporte. Por isso, precisam ser planejadas para uma fácil manutenção e adaptadas com uso de painel de controles com sensores (ROLIM, 2017).

A tipologia das bombas se diferencia por diversas características como sua geometria, funcionamento de rotores, vetores de sucção e recalque e etc. Cada bomba tem sua curva de gráfico, que representa seus valores de vazão em relação a altura manométrica de operação, assim, cabendo ao projeto de elevatória adotar cuidadosamente a melhor bomba e o ponto de operação que apresentará o melhor rendimento de acordo com as características topográficas da região. (GOMES, 2009)

Porém, no ambiente de EEE simplificamos em dois tipos de bombas: submersíveis e externas.

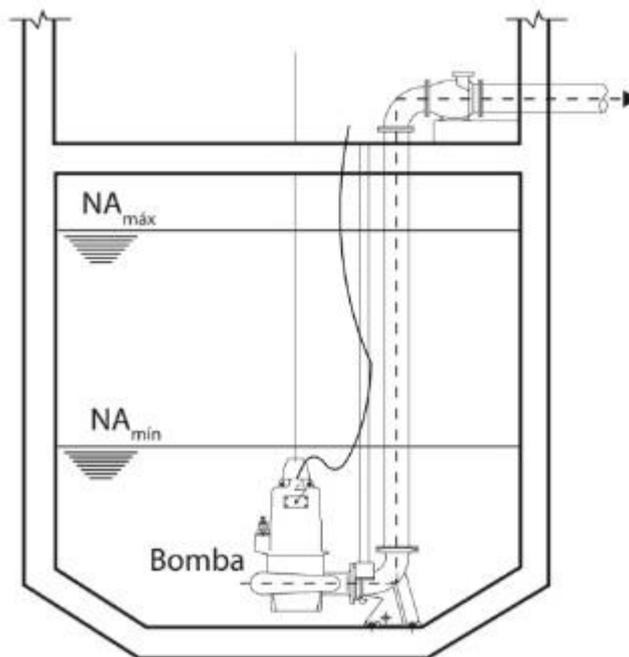
2.4.1 Bombas submersíveis

Uma bomba submersível é a unidade combinada por uma parte que trabalha em contato direto com o efluente e outra parte elétrica representada por um motor (TISUTIYA e SOBRINHO, 2000). Conhecida por trabalhar em eixo vertical, o motor elétrico fica acoplado na sua parte superior da bomba e trabalha verticalmente passando energia para o rotor que se localiza na parte inferior, através do eixo. O rotor por sua vez trabalha no plano paralelo ao piso.

Para separar a parte elétrica (motor) da mecânica (rotor) onde passa o efluente, é projetado a caixa de selagem, onde se localiza o selo mecânico. Esse material de vedação é o mais utilizado quando se deseja o mínimo de vazão possível para o interior da parte elétrica visto que, a bomba como o próprio nome diz, trabalha totalmente submersa ao efluente, precisando da maior proteção possível no sistema elétrico.

Estas bombas têm a vantagem de trabalharem alocadas diretamente em poços úmidos (Figura 1) sem que precise de outros espaços secos que não sejam para painéis de controle. Também são colocadas em estações que possuem pórticos para içamentos, correntes e tubos-guia para subir as bombas em caso de qualquer vistoria delas.

Figura 1 - Bomba Submersível instalada em poço úmido



(Fonte: Sistemas Sustentáveis de Esgotos, p217, 2023)

2.4.2 Bombas externas

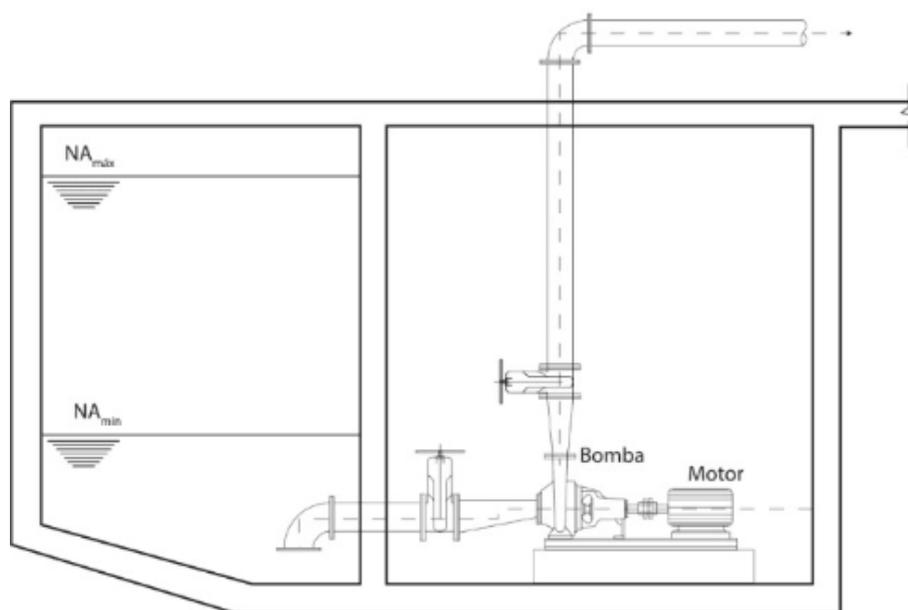
Este modelo de bomba precisa trabalhar em poços secos juntamente com poços úmidos. São chamadas em geral de Conjuntos Girantes por se tratar do equipamento ser formado separadamente da bomba do motor. O formato das

elevatórias que trabalham com este tipo de bomba é caracterizado pelas existências destes dois poços: úmido e seco (TISUTIYA e SOBRINHO, 2000).

O poço seco não funciona como reservatório de esgoto, sendo inviável qualquer umidade em excesso no local devido a existência de motores em funcionamento junto com a bomba em si. Para isto o poço seco trabalha ao lado de um poço úmido separadas por paredes resistentes a qualquer tipo de vazamento (Figura 2). Normalmente, estes poços secos estão no mesmo nível ou abaixo do poço úmido para uma melhor eficiência destas bombas no transporte do efluente e para garantir a escorva por gravidade da bomba.

É utilizado em sua grande maioria, gaxetas como sistema de vedação para estas bombas por ser um material de baixo custo e que mantém uma ótima resistência a vazamento do líquido bombeado em relação ao limite de umidade que o poço seco demanda.

Figura 2 - Bomba externa instalada no poço seco



(Fonte: Sistemas Sustentáveis de Esgotos, p217, 2023)

2.5 Rotores

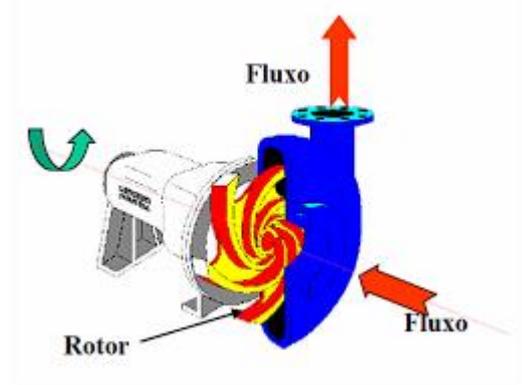
Toda máquina de fluxo possui um rotor, ou impulsor, que proporciona aceleração ao fluido para que ele adquira energia cinética. Estes rotores são peças muito importantes para a bomba, além de contribuir para a diferença de alta e baixa

pressão, é um dos fatores que vai contribuir para a escolha do tipo de motor que vai ser trabalhado (TISUTIYA e SOBRINHO, 2000).

Sua forma a ser escolhida depende da altura e vazão requerida no bombeamento e sua geometria é composta por um conjunto de pás ou palhetas que, em contato com o fluido, o impelem. Estas pás, giram na mesma velocidade angular que o eixo girante pelo qual o motor transfere energia cinética.

Enquanto o rotor gira, o fluido é succionado para dentro da voluta (ou carcaça) que é formatada para reduzir a velocidade do escoamento e descarregado no rotor aumentando a pressão de sucção, assim empurrando o fluido para a saída da voluta (Figura 3).

Figura 3 - Fluxo da bomba centrífuga



(Fonte: Franco Brunetti, 2020)

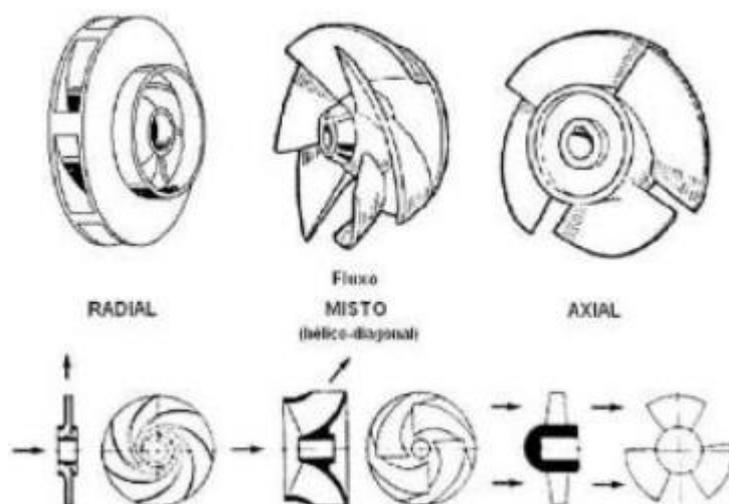
2.5.1 Tipologia dos Rotores em relação a sua estrutura

- Rotores fechados: aplicados a fluidos sem a presença de sólidos em suspensão ou partículas que possam de alguma maneira causar um entupimento do rotor ou das palhetas. Rotor mais utilizado na aplicação de bombeamento de fluidos limpos. Evita o retorno de água por sucção e apresenta o melhor rendimento para as bombas.
- Rotores semiabertos: Utilizado para bombeamento de fluidos com sólidos em suspensão. Normalmente utilizada em bombas de diversos tamanhos e possui uma parede onde são fixadas as palhetas.

- Rotores abertos: aplicação em bombeamento de fluidos com sólidos em suspensão. O rotor aberto parece com o rotor semi-aberto, porém sem a parede traseira. Utilizada em bombas pequenas e com baixo rendimento.

A Figura 4 ilustra a geometria dos três tipos de rotores em relação a sua estrutura citados acima.

Figura 4 - Tipo de rotores em relação a sua estrutura



(Fonte: projetap.com.br, 2023)

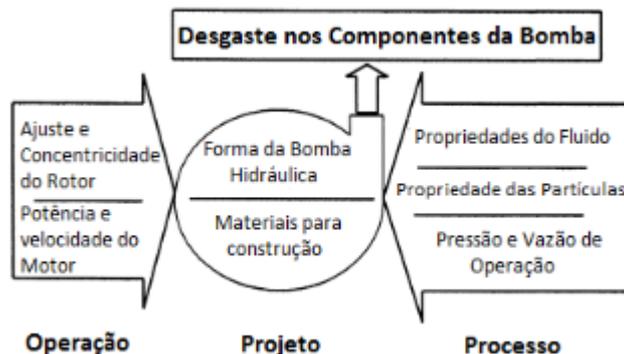
2.5.2 Tipologia dos Rotores em relação à direção do escoamento

- Radial: Movimento do efluente é na direção perpendicular à direção do eixo no sentido do seu raio. Podem ser utilizados para bombas que trabalham para qualquer altura manométrica.
- Diagonal ou fluxo misto: Fluido escoar na direção diagonal ao eixo independente do seu ângulo de saída. São conhecidos por sua complexidade de fabricação.
- Axial: Escoamento do fluido age de forma paralela ao eixo do motor.

2.6 Causas de Desgaste do rotor

Um bom funcionamento do rotor evita problemas na bomba como um todo. A perda do material da peça sofrida por motivos de desgastes gera problema de concentricidades do rotor que interfere no bom funcionamento do sistema que é a bomba. A Figura 5 mostra, além deste, outros fatores que influenciam no desgaste dos componentes das bombas.

Figura 5 - Fatores que influenciam no desgaste dos componentes da bomba

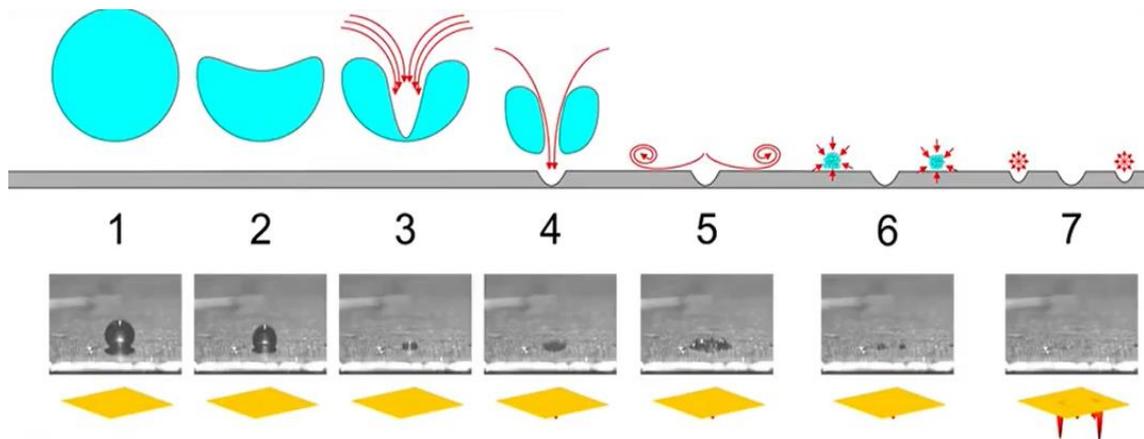


(Fonte: Walker, 1999 apud Walker & Bodkin, 2000)

2.6.1 Desgaste por cavitação

A cavitação é um dos responsáveis pelo dano que acontece em geral nas pás e nas volutas que sofrem desgastes e podem causar ruídos e vibrações na bomba, causando parada prematura do equipamento para reparos em especiais para máquinas de grande porte, ou para substituição de componentes. Esse fenômeno é a implosão de bolhas de vapor de um líquido escoando que são formadas a partir da queda de pressão local do escoamento, estas bolhas ao serem implodidas geram ondas de choques que causam desgastes dos materiais dos componentes das máquinas (CHEN, 2022).

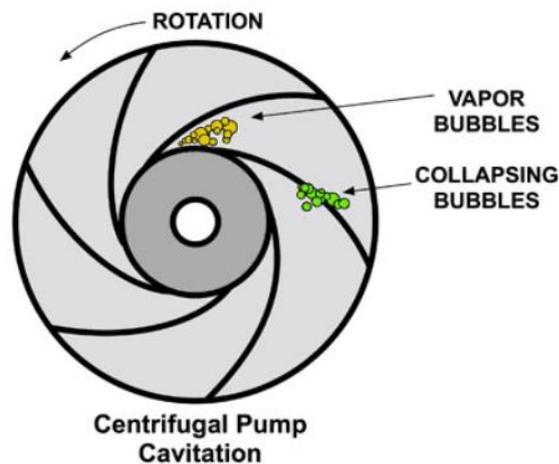
Figura 6 - Processo de implosão que ocorre no rotor



(Fonte: Instituto de Engenharia, 2018)

Na figura 6, nota-se uma bolha de vapor em escoamento, suponhamos que foi causada pela vaporização devido a uma queda de pressão local, ao ser transportada pelo escoamento, a bolha eventualmente encontrará regiões que a pressão é maior, então a bolha começa a implodir o que leva ao seu colapso. Durante esse colapso a assimetria na formação da bolha ocorra micro jatos de vapor que acabam indo em contato com a superfície sólida dos rotores. Aos poucos, com a repetição deste processo milhares de vezes, gera-se um enfraquecimento da peça que ocorre em rupturas e quebras.

Figura 7 - Formação de Bolhas ou cavidades no olho do impulsor



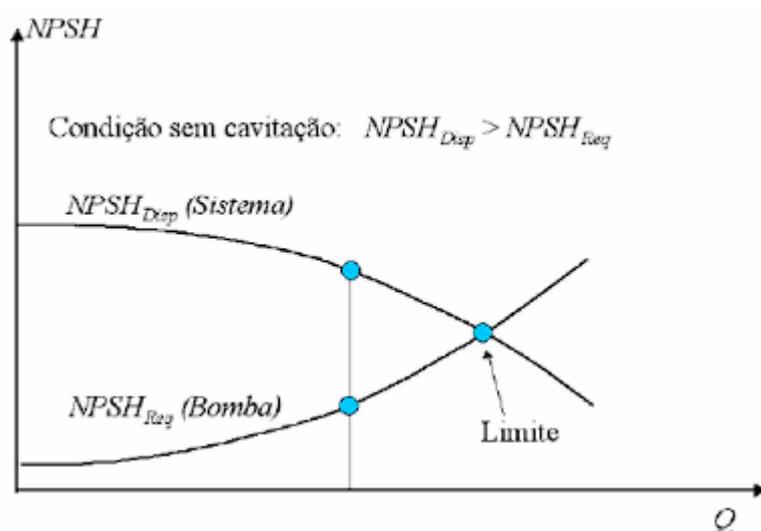
(Fonte: Cavitação por Sucção, Nick Connor, 2019)

Na figura 7, mostra como as bolhas ou cavidades se formam no olho rotor (região de sucção) e subsequentemente as bolhas de vapor formadas se movem para as regiões de pressão mais alta (pás do rotor) à medida que viajam em direção à descarga da bomba. Nas partes externas, as bolhas de vapor implodem e assim gera o desgaste na região, além de vibrações e barulhos na bomba.

A energia em altura absoluta na região de sucção é denominada como NPSH (Net Positive Suction Head), um parâmetro fundamental que deve ser analisado em cada operação da bomba a fim de evitar a cavitação. Toda bomba apresenta seu NPSH Requerido ($NPSH_r$) sendo a pressão mínima exigida na entrada da bomba para que não ocorra cavitação. Este, deve ser comparado com o NPSH Disponível ($NPSH_d$), que é calculado pelo profissional de instalação, não podendo se igualar ao requerido e sempre em função onde o $NPSH_d$ seja maior que o $NPSH_r$ (DUAN & KARELIN, 2002).

Curva de $NPSH_{req}$ e $NPSH_{disp}$ é mostrada na figura 8. Podemos ver onde a vazão máxima de operação ($Q_{m\acute{a}x}$) surge quando encontramos a interseção das duas curvas. Após a interseção, o $NPSH_r$ passa a ser maior que o $NPSH_d$, assim surgindo o fenômeno da cavitação.

Figura 8 - Representação Gráfica do NPSH disponível e requerido



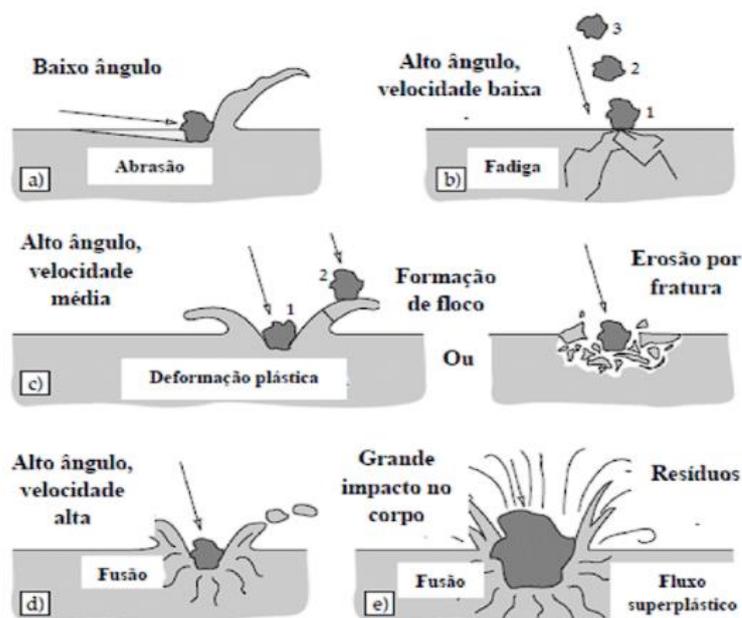
(Fonte: Carlos Abreu, 2020)

2.6.2 Desgaste por corrosão e areia

Outra forma de desgaste do rotor, é a abrasão que se gera quando ocorre contato entre o rotor e sedimentos que seguem em fluxo com o efluente. Sendo sedimento, termo considerado que representa quaisquer tipos de sólidos transportados, o atrito que gera no rotor por estes sólidos, faz com que perca massa do rotor ou até mesmo gere deformações geométricas da polpa ou pás dele (WARMAN, 2016).

A resistência de suportar esse atrito sobre altas rotações do rotor, é o parâmetro principal para a escolha do material usado na fabricação destes rotores de bombas. O impacto gerado com estas pequenas partículas em suspensão sob efluentes como esgoto bruto é ainda maior por haver maior concentração destes sedimentos, principalmente areia, que, quando escoam pela bomba, gera um aumento de velocidade e automaticamente aumento de energia e assim, se choca contra a superfície do rotor ocasionando desgaste mecânico de abrasão. De acordo com Yang (2013), a taxa de desgaste tende a aumentar com o aumento do diâmetro do sedimento. A figura 9 mostra diferentes tipos de consequência de abrasão sobre os rotores.

Figura 9 - Possíveis mecanismos de desgaste erosivo



(Fonte: STACHOWIAK & BATCHELOR, 2007, p. 528)

“Apesar dos cuidados especiais quanto à escolha do material de fabricação das bombas, o desgaste por abrasão e erosão do rotor é praticamente impossível de ser evitado totalmente, com reflexos na eficiência da bomba. Como os conjuntos moto-bomba são responsáveis pela maior parte do consumo de energia de uma EEE, a evolução do desgaste do rotor merece atenção especial, pois uma bomba com rotor desgastado e fora do ponto de operação apresenta perda de rendimento significativo” (CONDURÚ & PEREIRA, 2010).

2.6.3 Outros desgastes

Além dos motivos citados nos últimos dois tópicos, existem outros desgastes gerados nos rotores por motivos eventuais e, porém, bem menos recorrentes. Algumas regiões, por exemplo, possuem esgotos que transportam materiais mais densos como lama e argamassa. Outras possuem um bioma que faz com que animais mortos apareçam neste transporte do efluente, como tartarugas mortas dentre outros bichos. Nestes exemplos em específicos, podem-se ocasionar em uma parada/travada abrupta do rotor, gerando não só problemas no rotor em si como em outras peças que trabalham em conjunto com o rotor como eixos e motores (SPELING, 2011).

3 METODOLOGIA

A pesquisa utilizada neste trabalho será exploratória, que tem como objetivo identificar melhor, fazer sondagem, apresentar relações de variáveis e propor possíveis novos caminhos a serem estudados, em outras palavras, visa investigar e aplicar o assunto da introdução da recuperação dos rotores por soldagem a eletrodo revestido em ambientes de manutenção corretiva, que pode até ser conhecido, porém, ainda de difícil acesso às fontes de conhecimentos.

A estratégia para demonstração do objetivo citado é estudar o custo que a recuperação dos rotores de maneira geral traria para a empresa ao adotá-la como procedimento de manutenção e projetar seu comportamento consolidando e gerando confiança para aplicação.

3.1 Abordagem do trabalho

A pesquisa será tratada de forma quantitativa utilizando modelos matemáticos e estatísticos, a fim de obter o valor mais exato possível dos resultados. Os gráficos e quadros utilizados no trabalho atua como suporte de entendimento da pesquisa para melhor compreensão.

A coleta de dados é feita em campo pelo autor, observações e análise de registros on-line de manutenções feitas na peça, e como suporte, estudos bibliográficos. A partir destes dados, são gerados previsões e gráficos de tendências para o estudo de viabilidade de custo.

3.2 Método aplicado

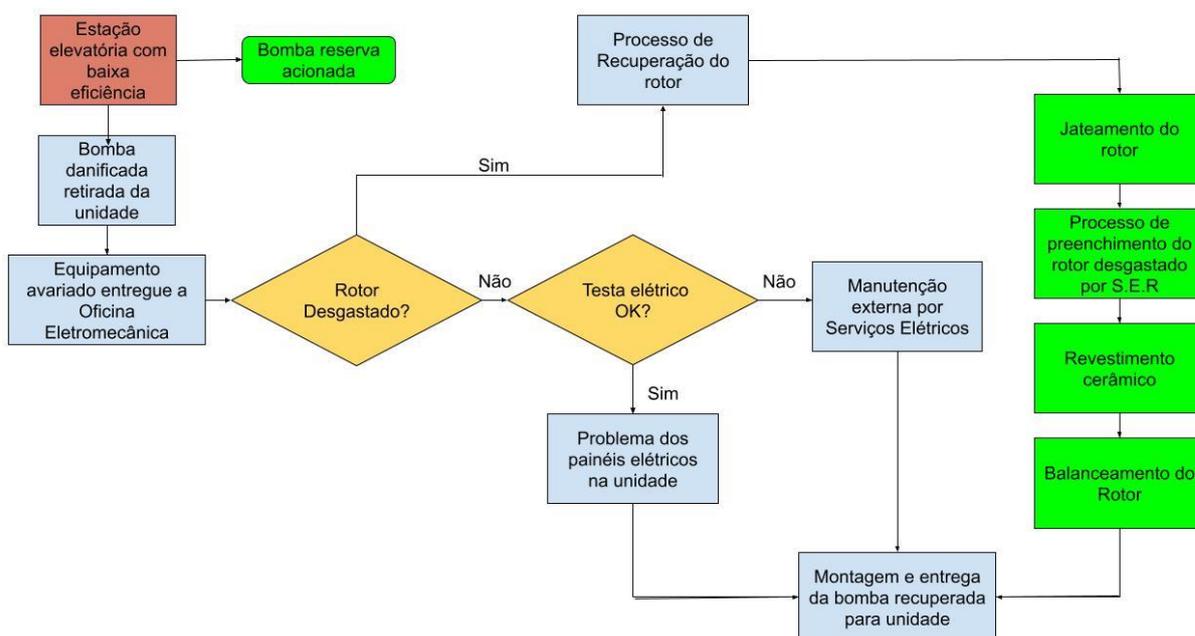
Este estudo apresentado analisa o caso da recuperação do rotor por um método que é pouco explorado dentro de ambientes de manutenção corretiva e busca mostrar vantagens técnicas e econômicas. O trabalho será indutivo, ou seja, a partir do desenvolvimento e resultado mostrado, o consideraremos apto para ser aplicado nos ambientes de estações elevatórias e possa gerar relevância para área do estudo de máquinas rotativas, como consequência, explorando e questionando possíveis rumos que os resultados poderão trazer consigo.

3.3 Diagrama de processo de recuperação do rotor

No diagrama da figura 22, mostra-se o processo que ocorre a partir do momento da necessidade de manutenção da bomba, perante sua baixa eficiência na estação elevatória de tratamento de esgoto, até ser devolvida à unidade em condições de trabalho.

A baixa eficiência ocorre quando a bomba não consegue entregar a vazão requerida dentro do projeto de bombeamento podendo até chegar no estado “em vazio”, onde o rotor continua girando porém sem conseguir elevar volume de efluente, ocasionando em desperdício de energia da unidade elevatória. Torna-se necessário o acionamento de outras bombas reservas para suprir a esta perda de volume do efluente bombeado e levado à ETE mais próxima.

Figura 10 – Fluxograma de recuperação de rotores da Oficina



(Fonte: Autor, 2023)

A Oficina eletromecânica recebe a bomba avariada que passa por avaliação de bancada pelos mecânicos, e se a causa raiz da baixa eficiência gerada na elevatória for por motivos de rotor desgastado, os serviços são absorvidos para serem feitos internamente por limpeza da peça com jateamento, preenchimento do

material perdido por soldagem a eletrodo revestido, cobrimento da peça por revestimento cerâmico e o balanceamento dinâmico da peça.

Após peça instalada na bomba e colocada em campo, consolidamos as vantagens numéricas do rotor recuperado por soldagem a eletrodo revestido analisando seu comportamento em relação ao custo e duração e comparando com a de um rotor novo de fábrica.

3.4 Recuperação dos rotores

Para a recuperação destes rotores, a fim de repor o material perdido pela erosão causada da areia e pelo fenômeno da cavitação, é utilizado a técnica de soldagem por eletrodo revestido e aplicado como suporte, jateamento e revestimento cerâmico do rotor.

3.4.1 Jateamento

O Jateamento abrasivo é uma técnica que elimina todas as partículas superficialmente indesejadas por impactos e fica totalmente livre de resíduos visíveis atingindo certos níveis de limpeza e acabamento. Os rotores têm ótimos resultados dentro destas cabines por serem peças fundidas e de geometria complexa.

Os abrasivos utilizados são de acordo com o tipo de trabalho (para pintar em seguida); tempo de trabalho (sazonalidade esporádica ou mensal) e tipo de material que vai jatear (ferro, aço, inox, alumínio).

Quadro 1 - Materiais de abrasivos para jateamento

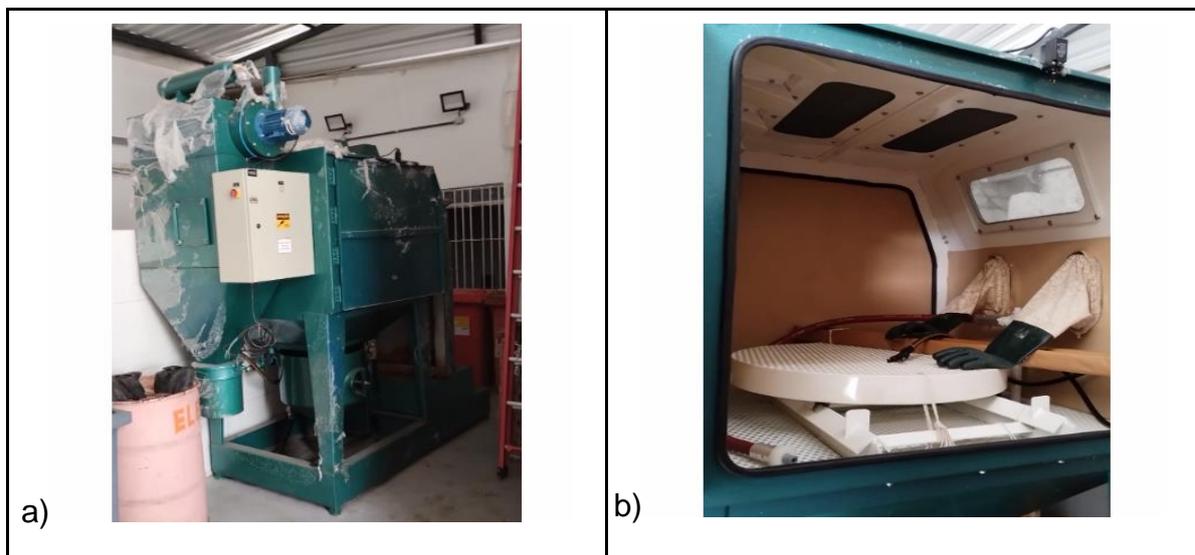
Materiais	Ação abrasiva	Contaminação superficial	Geração de pó	Uniformidade acabamento	Eficiência Limpeza	Custo operacional
Esferas de vidro	Nula	Nula	Baixa	Ótimo	Alta	Baixo
Granalha de aço	Média	Baixa	Baixa	Ótimo	Alta	Baixo
Óxido de Alumínio	Muito Alta	Baixa	Alta	Bom	Alta	Médio
Materiais	Nula	Baixa	Baixa	-	Alta	Médio

Orgânicos						
Quartzo	Alta	Média	Alta	Regular	Alta	Alto
Areia	Alta	Alta	Muito Alta	Mau	Alta	Alto

(Fonte: BRASIBRAS, 2018)

O Óxido de alumínio é o abrasivo mais utilizado em larga escala nos rotores das bombas que trabalham com efluente de esgoto devido à sua dureza e sua eficiência na limpeza e ancoragem. Muito utilizado para revestimentos de peças metalizadas ou de plasmas. (Fonte: BRASIBRAS,2020)

Figura 11 - a) Vista completa Máquina de Jateamento, b) Vista interna



(Fonte: Autor, 2023)

3.4.2 Definição da Soldagem com Eletrodo revestido

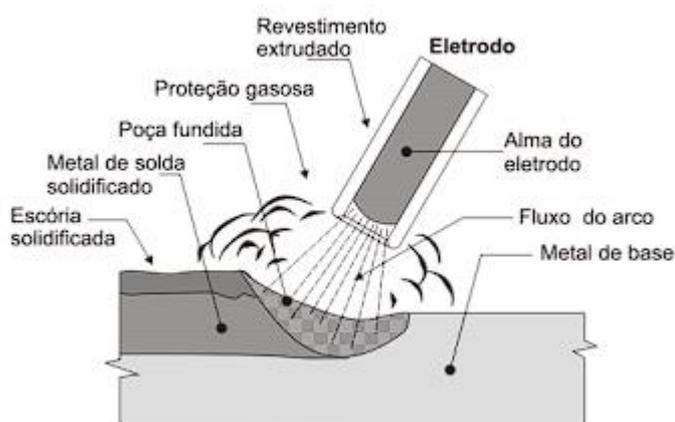
Um processo utilizado na montagem de várias peças e estruturas, a soldagem por eletrodo revestido utiliza da física do arco voltaico para recuperação do material danificado. Este processo também é conhecido como solda elétrica.

A soldagem elétrica com eletrodo revestido, é um processo que efetua a união entre metais através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico revestido e as partes a soldar. O eletrodo revestido é constituído por uma

vareta metálica chamada “alma” coberta por uma camada constituída de diferentes materiais formando o revestimento do eletrodo (GUARTIERI, 2011).

Este arco elétrico acontece quando há dois polos que superam a resistência e um gás condutor entre eles, assim agindo como fonte térmica de alta temperatura para derreter os metais e depois, soldando um material ao outro. Devido a enorme quantidade de energia gerada entre estes dois pólos sendo suficiente para derreter um metal, há uma forte liberação de calor e luz, sendo assim, necessário a utilização de EPI'S específicos para quem trabalha com este tipo de mecanização. O uso da picadeira retira toda a escória proveniente da soldagem e a escova do fio de aço finaliza limpando o cordão de solda (Figura 12).

Figura 12 - Componentes do Arco Elétrico



(Fonte: Solda a arco elétrico, Bruno Becker weber, 2021)

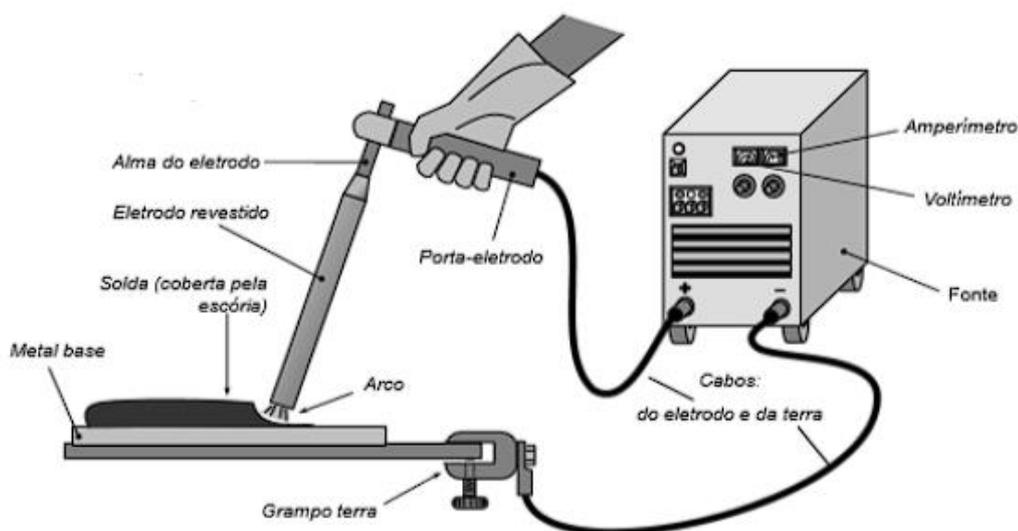
3.4.3 Geradores de correntes para ativação do arco elétrico

Para soldagem manual do eletrodo revestido são utilizados normalmente dois tipos de fontes de energia: transformador e retificador. O transformador fornece corrente elétrica alternada, neste caso existe uma mudança periódica da polaridade. Quando os valores da corrente ficam próximas de 0, ocorre uma instabilidade do arco elétrico tornando inadequada esta corrente para a soldagem com certos tipos de eletrodo revestido.

Já os retificadores de solda fornecem uma corrente denominada contínua, o fluxo de elétrons percorre um só sentido, do pólo negativo ao positivo. O polo mais

quente é sempre o positivo, quando o cabo do porta eletrodo é ligado no terminal negativo, temos uma polaridade direta, ou negativa.

Figura 13 - Equipamentos gerais para solda



(Fonte: Solda a arco elétrico, Bruno Becker weber, 2021)

3.4.4 Equipamentos para soldagem

Para a escolha do equipamento ideal, deve-se levar em consideração a aplicação, o tipo e revestimento do eletrodo, e o fator de trabalho a ser adotado.

Um dos principais acessórios neste processo é o porta eletrodo, cuja função é transferir ao eletrodo revestido a corrente gerada na fonte e conduzida pelo cabo de soldagem. O porta-eletrodo (figura 15) deve ser isolado existindo vários modelos que são escolhidos em função da amperagem a ser utilizada, o sistema de fixação possui ranhuras que permitem o emprego de eletrodos de diferentes diâmetros e várias angulações.

Figura 14 - Porta Eletrodo



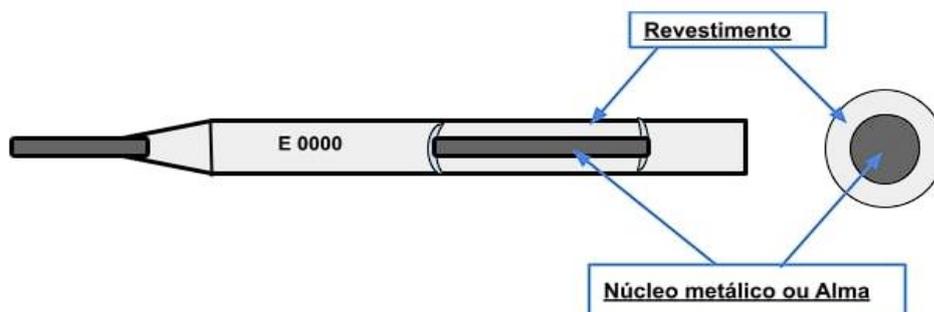
(Fonte: Autor, 2023)

O cabo de soldagem tem a função de conduzir a corrente do equipamento ao porta eletrodo, o cabo de retorno tem por sua vez a função de conduzir a corrente do metal base de volta ao equipamento, fechando assim o circuito elétrico.

3.4.5 Composição do Eletrodo Revestido

O eletrodo revestido (Figura 15) é formado pelo seu revestimento que tem como função a proteção do metal de solda, e o núcleo metálico ou alma como dito anteriormente que pode ser composto por diversos metais e elementos químicos a depender de sua aplicação.

Figura 15 - Composição do eletrodo revestido



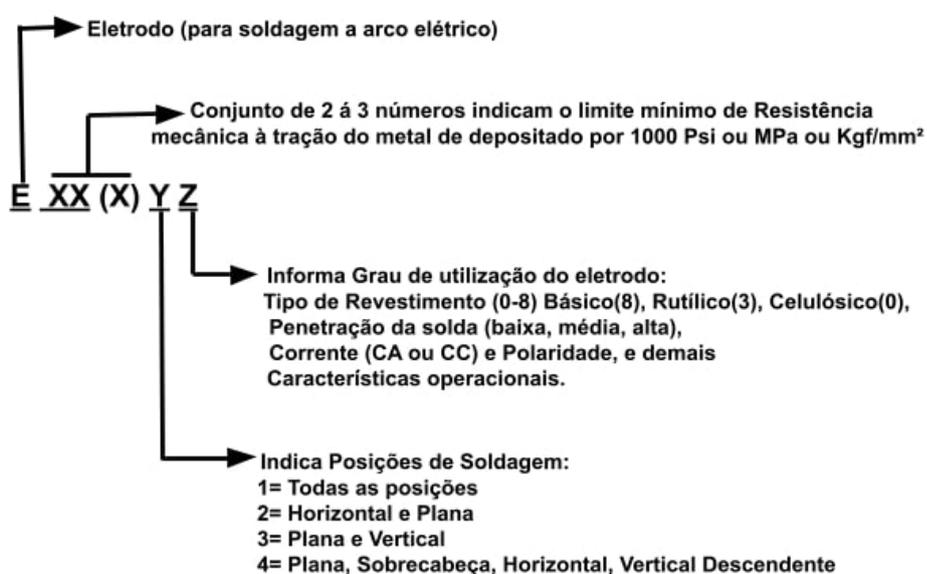
(Fonte: Alusolda, Paulo Cezar, 2022)

“Os eletrodos são identificados pelos fabricantes segundo as definições de classificação e especificação da Norma Americana de Soldagem (AWS-American Welding Society), de acordo com o

tipo de consumo, propriedades mecânicas/físicas, posição de soldagem, tipo de revestimento, composição química do metal de adição e corrente de soldagem (CA ou CC)” (ASME - American Society of Mechanical Engineers, 2020)

Em cada eletrodo, há uma identificação com suas características representado pela sua nomenclatura, tornando fácil a compreensão para seu uso. A figura 16 mostra a classificação do eletrodo revestido com base na sua nomenclatura.

Figura 16 - Classificação do eletrodo pela sua Nomenclatura



(Fonte: Alusolda, Artigos de Soldagem, Eletrodo Revestido, 2022)

Quadro 2 - Classificação dos eletrodos Revestidos AWS

Tabelas de Eletrodos Revestido	
Aço Carbono Comum	5.1
Aço Baixa Liga	5.5
Aço Inoxidável	5.4
Alumínio e suas ligas	5.3
Ferro Fundido	5.15
Níquel e suas ligas	5.11
Cobre e suas ligas	5.6

Liga Metal Duro / Revestimentos (alma sólida)	5.13
---	------

(Fonte: Soldagem segura com eletrodo revestido, 2016)

A classificação de eletrodo utilizado para este trabalho é a 5.4 (Aço inoxidável) e a 5.15 (Ferro Fundido), no qual são material de referência em resistência à erosão.

3.4.6 Utilização da soldagem por eletrodo revestido nos rotores

Processo totalmente artesanal, mesmo utilizando a soldagem por gravidade, é conhecido por ter baixo investimento e ter uma ótima flexibilidade de aplicação, como exemplo neste trabalho, utilizado para preenchimento da geometria do rotor, danificada durante seu trabalho por desgastes já citados anteriormente (figura 19).

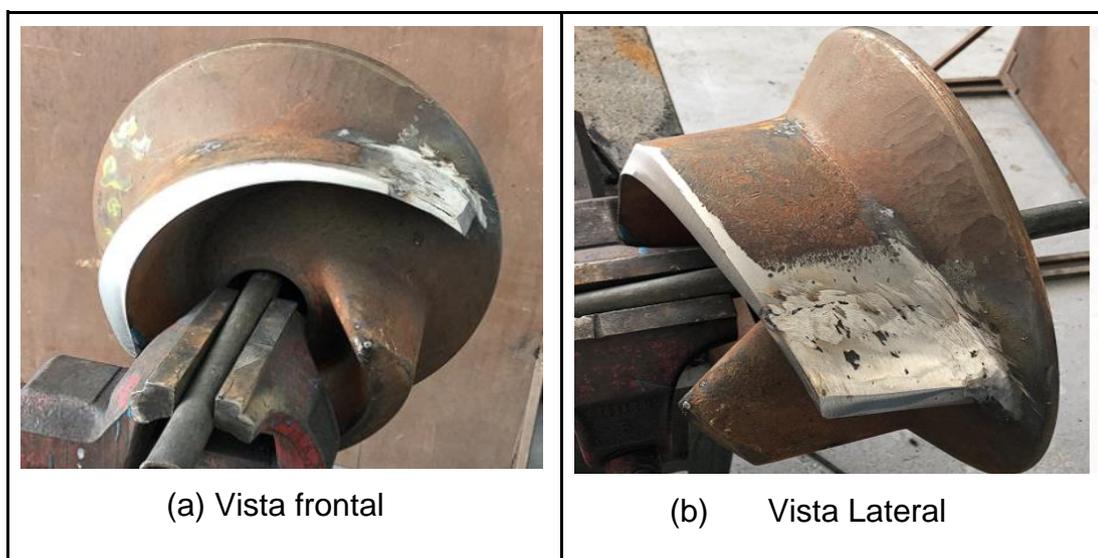
Na recuperação destes rotores utilizando o eletrodo revestido, todo o núcleo metálico, localizado no interior do eletrodo, é derretido durante a passagem de corrente, e através do movimento de tecimento, o metal é solidificado com a temperatura ambiente e preenchendo o material no intuito de refazer a geometria 3D que foi perdida com o desgaste (Figura 17 e 18).

Figura 17 - Rotor de uma Bomba Submersível quebrado por desgaste



(Fonte: Autor, 2023)

Figura 18 - Rotor quebrado preenchido por solda: a) Vista Frontal, b) Vista lateral



(Fonte: Autor, 2023)

3.4.7 Rejuvenescimento cerâmico

Após o rotor passar pela recuperação da sua geometria, ele é submetido a um revestimento por resinas cerâmicas (Figura 19), com objetivo de manutenção preventiva para que garanta uma melhor durabilidade da peça aumentando a disponibilidade. O revestimento cerâmico pode ser utilizado em outras peças também como eixos, buchas e carcaças dos rotores.

Estas resinas poliméricas são 100% sólidas e de fácil endurecimento, podendo resistir até uma temperatura de 170 °C. Sua aplicação é simples com apenas utilização de pincéis (Figura 20).

As bombas, por trabalharem em ambientes ácidos e alcalinos, utilizam do revestimento cerâmico para suportar uma maior corrosão nas superfícies metálicas e assim, influenciar positivamente na eficiência da bomba. O resultado desta etapa é de aumento de 300% da vida útil do rotor. (Rijeza, Revestimentos contra desgastes, 2022)

Figura 19 - Rotor com revestimento cerâmico



(Fonte: Autor, 2023)

Figura 20 - Resina Cerâmica de cor azulada utilizada como acabamento



(Fonte: Autor, 2023)

3.4.8 Balanceamento do rotor (final)

Como última etapa do processo, o balanceamento do rotor é necessário devido à adição de material vindo do processo de eletrodo revestido e até mesmo do revestimento cerâmico aplicado evitando qualquer assimetria de massa da peça rotativa.

O desbalanceamento é uma das principais causas para a vibração das máquinas que causam desgaste prematuro de todo o equipamento, e, ao reduzir a vibração, a vida útil calculada no rotor conseqüentemente aumentará. Também diminui a poluição sonora causada por esse desalinhamento, que muitas vezes é danoso para a audição dos operários que trabalham no ambiente da elevatória.

O balanceamento dinâmico de rotores é o processo que utiliza a adição ou raspagem de massa no material, corrigindo a distribuição assimétrica e fazendo com que haja um equilíbrio das forças radiais do objeto rotativo (Figura 21). Estes erros geométricos influenciam na excentricidade, paralelismo ou cilindridade do rotor, fazendo com que o centro de massa do eixo não coincida com o centro geométrico de giro, portanto assim, havendo o desbalanceamento. (Norma Técnica ISO 21940-11, norma sobre balanceamento de rotores)

Figura 21 - Balanceamento dinâmico do rotor através da raspagem de massa



(Fonte: Autor, 2023)

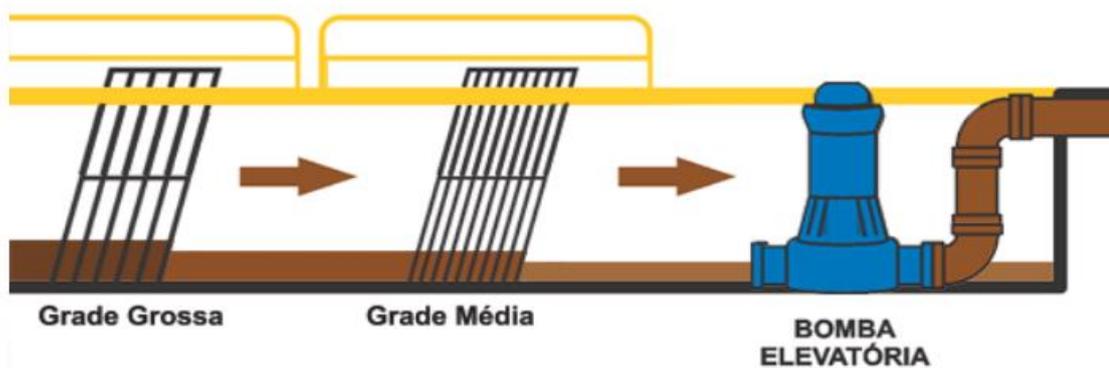
3.5 Prevenção de danos no rotor (Gradeamento)

No tratamento Preliminar (muitas vezes antes do sistema de elevação) trabalha-se com mecanismos básicos de remoção de sólidos grosseiros e areias (JORDÃO; PESSÔA, 2014). Essa remoção tem finalidade de proteção destes dispositivos de transporte de esgoto (bombas e tubulações), além de também evitar obstruções durante o caminho do efluente (tanques, orifícios, sifões, etc).

Essas remoções podem ser feitas pela adição de **grades**. No gradeamento, os sedimentos que possuem dimensões maiores que o espaçamento entre as

grades são retidos (Figura 10) e este material que sobra, pode ser retirado manualmente ou mecanizado. Atualmente, há uma tendência de se inserir grades com espaçamento cada vez menores para remoção de sedimentos com diâmetros ainda menores (SPELING, 2021).

Figura 22 - Sistema de Grade aplicado antes da elevação do esgoto



(Fonte: ets-sustentáveis.org, 2021)

3.6 Análise econômica

Entende-se como análise econômica, o estudo que prevê se um determinado projeto é viável ou não através da projeção de custos, estrutura e implementação do projeto e análise de indicadores. Para verificar se a recuperação do rotor consiste em um plano realizável dentro do seu principal objetivo, gerar economia para as estações elevatória, precisamos avaliar e comparar o desempenho dos rotores recuperados por eletrodo revestido com o desempenho de da compra de um novo rotor (DUBOIS, 2019).

Para melhor compreensão do trabalho, o termo *custo de recuperação* é classificado por todo o gasto efetuado para a recuperação do rotor, isto inclui os custo de mão de obra direta como material aplicado e salário de soldador e operadores de apoio e custos indiretos como aluguel de espaço, energia elétrica, gasto por transporte de material dentre outros (DUBOIS, 2019).

Já o termo *valor de compra* refere-se ao preço do rotor no mercado em termos monetários, este valor é atribuído à venda da peça para o cliente que inclui a

importação do produto, o custo de fabricação e lucro para o fornecedor (WERNKE, 2012).

Os rotores desgastados, seja causado pela erosão da areia ou cavitação, não geram em constância, uma perda significativa e exata de material. O estudo do custo seria mais exato se pudéssemos ter um valor exato, seja em porcentagem ou não, mas de antemão, trabalharemos com médias dentro de um número significativo de amostras de rotores já recuperados.

As condições para que possa se utilizar da recuperação por solda com eletrodo revestido é baseada simplesmente em uma análise visual do rotor em si. O rotor precisa, pelo menos, ter 50 % das suas paletas ainda em condições vivas.

A compra de um rotor por um novo de fábrica terá um valor que deve ser comparado com o custo de recuperação do rotor por soldagem a eletrodo revestido, a partir disto, analisado seu comportamento e durabilidade para que se mostre viável ou não a adição deste processo de recuperação.

4 ANÁLISE E DISCUSSÕES

Para o estudo econômico de viabilidade, iremos precisar do cálculo de algumas variáveis como o tempo médio de recuperação total para que o rotor possa estar em condições de trabalho (MTTR), o custo total desta recuperação, o tempo médio que o rotor se mantém em atividade até que entre em condições de manutenção corretiva (MTBF), e por fim, valores referenciais de custo de um rotor novo.

A viabilidade econômica da adição do processo de recuperação do rotor por S.E.R dentro da oficina não deve ser apenas analisando o valor da compra do rotor importado com o custo de recuperação total, mas também pondo em comparação a durabilidade das duas peças (rotor novo e recuperado) até sua quebra.

$$\text{Economia por recuperação} = \left(1 - \frac{\text{Valor de um rotor novo}}{\text{Custo por recuperação}}\right) * 100 \quad (2)$$

4.1 Tempo médio de reparo (MTTR)

Soma do tempo de reparo total será soma do tempo de cada processo e tempo de movimentação, desmontagem e montagem do rotor. Este tempo se define como tempo de indisponibilidade do rotor.

O cálculo do tempo de reparo total será a soma do tempo de cada processo descrita na tabela 1.

Tabela 1 - Tempo de manutenção por cada processo

Processo	Subprocesso	Tempo (h)	%
Jateamento do corpo (Tj)	Jateamento com abrasivo	4	8,8%
	Limpeza (preparação pré-solda)	3	6,6%

Soldagem (Ts)	Aplicação da Solda	12	26,6%
	Resfriamento	2	4,5%
	Aplicação da resina no corpo	5	11,1%
Revestimento Cerâmico (Tr)	Secagem do corpo revestido	3	6,5%
	Balanceamento (Tb)	Análise de vibração/ Adição ou remoção de massa	7
Adicional	Movimentação, desmontagem e montagem do rotor	9	20%
Total		-	45 100%

(Fonte: Autor, 2023)

O valor de 36 horas para recuperação nos dá aproximadamente 4 dias de trabalho úteis. Adicionando mais 9 horas (1 dia de trabalho útil) de toda movimentação, desmontagem e montagem do rotor de etapa para etapa nos dá um total de 45 horas (5 dias) do tempo total de reparo da peça.

4.2 Custo do material

O custo da recuperação será a soma do material direto ou indireto utilizado em todos os 4 processos com o custo dos serviços.

Tabela 2 - Custo HxH por processo de recuperação

Custo	Un.	Valor
Salário-Mínimo Operador Apoio	R\$/mês	1612,00
Salário Médio Soldador por mês	R\$/mês	1963,00
EPI's	R\$/mês	317,67
Ferramentas	R\$/mês	220,74
Total do Custo (45/220*valor)	R\$	841,37
Custo indireto (1,5 *Total Custo)	%	*1,5

Total HxH por rotor	R\$	1262,06
---------------------	-----	---------

(Fonte: SINAPI, 2023)

4.2.1 Custo do processo de Jateamento

Quadro 3 - Informações para custo de Jateamento por rotor

	
Peso peça a ser jateada (rotor)	33kg
Tipo do Abrasivo	Óxido alumínio
Preço por kilo do abrasivo	R\$25,00
Peso do abrasivo utilizado por Jateamento	15kg
Preço total	R\$375,00

(Fonte: Mercado Livre, 2023)

O custo do Jateamento é baseado diretamente no tamanho da peça, peso e no abrasivo utilizado, sendo o óxido de alumínio o abrasivo padrão o que nos dá um valor de R\$500,00 por rotor (BRASIBRAS, 2023).

4.2.2 Custo do processo de Soldagem por Eletrodo Revestido

Quadro 4 - Custo do material Eletrodo Revestido utilizado na recuperação

	
Produto	Eletrodo
Marca	ESAB
Modelo	E7018 OK 48.04
Norma	AWS 5.1
Diâmetro/Comprimento do por eletrodo	4x450 mm
Peso total (Pt)	25kg (25000g)
Peso un. eletrodo (Pue)	66g
Eletrodos utilizados (Eu)	30 un.
Corrente (i)	140-195 A
Polaridade	CA/AC > 70
Preço total da caixa (Prt)	R\$2200,16

(Fonte: Valores médios estudado no site do Mercado Livre, 2023)

Como material direto, o custo do eletrodo revestido de 4mm de diâmetro, 450mm de comprimento e de Aço Inoxidável, para cada caixa contendo 25 kg do

material, sua média é de R \$2200,16 (Quadro 6). O Cálculo foi feito com base no estudo de preço da CONARCO- ESAB, fabricante de material de soldagem é utilizado como material padrão da recuperação. Para recuperação do rotor, foram utilizados 30 eletrodos de uma caixa de 25kg, então:

$$\begin{aligned} \text{Custo} &= Eu * Pue/Pt) * Prt & (3) \\ \text{Custo} &= (33 * 66/25000) * 2200,16 = R\$ 174,24 \end{aligned}$$

O custo médio de eletrodos utilizados na recuperação é de **R\$ 174,24**.

Figura 23 - Eletrodos 4x450mm utilizados para preenchimento do rotor



(Fonte: Autor, 2023)

4.2.3 Custo do revestimento cerâmico

Quadro 5 - Informação do Material de Revestimento Cerâmico

	
Produto	Revestimento Epóxi
Marca	Plasteel
Cor	Azul Claro
Aplicação	Bombas, eixos, válvulas e rotores
Resistência	Abrasiva
Peso material (P_m)	1,1kg (1100g)
Peso da resina utilizada (P_{ru})	0,3kg (300g)
Temperatura res.	170 °C
Tempo endurecimento	2 horas
Preço (P_t)	R\$ 800,00

(Fonte: Valores médios retirados do site do Mercado Livre, 2023)

Para o revestimento cerâmico, utiliza-se Resina Epóxi. O balde de 1,1kg custa em média R\$800,00 e o utilizado por rotor é em média 300g.

$$\text{Custo resina} = (P_{ru}/P_m) * P_t \quad (4)$$

$$\text{Custo resina} = \left(\frac{300}{1100} \right) * 800 = \mathbf{R\$ 218,18}$$

4.2.4 Custo do Balanceamento.

O custo por balanceamento do rotor depende diretamente do seu Peso, para uma média de 33 kg de material rotativo, é de R \$1200,00 por rotor (ISOBOMBAS, 2023).

4.2.5 Custo total da recuperação do rotor

Tabela 3 - Custo direto do material total.

Processo	Custo (R\$)
Jateamento (5.3.1)	500,00
Soldagem (5.3.2)	174,24
Revestimento Cerâmico (5.3.3)	218,18
Balanceamento (5.3.4)	1200,00
Total	2092,42

(Fonte: Autor, 2022)

O Valor utilizado como Custo de recuperação total será:

$$\text{Custo total recuperação} = (\text{Custo do material} + HxH \text{ por rotor}) \quad (5)$$

$$\text{Custo total por recuperação} = (2092,42 + 1262,06) = \mathbf{R\$3.354,48}$$

4.3 Tempo médio de atividade (MTBF)

O tempo de acionamento e atividade das bombas de qualquer elevatória é monitorado através de softwares de gestão de manutenção. Nesta gestão, é sinalizado se a elevatória está trabalhando conforme os padrões estabelecidos no

projeto da elevatória para que o fluido chegue na ETE mais próxima e possa ser tratado.

Por monitoramento on-line, é possível saber quando uma bomba tem parada abrupta ou baixa eficiência e logo é gerado Solicitação de Serviço (SS) para equipes de vistorias na unidade, e assim após esta, gerada uma nova Ordem de Serviço (OS), caso necessário, para manutenção corretiva, baseada na análise da vistoria. Estas equipes de campo trabalham com objetivo de retirada da bomba e então se inicia o processo de manutenção corretiva.

4.4 Disponibilidade e Confiabilidade

Estes dois indicadores são determinados pelo MTBF e MTTR. *Disponibilidade* é um indicador que aponta o quanto o ativo esteve disponível para produção em um dado período olhando para o passado, e nos diz quanto o equipamento operou normalmente durante o intervalo de tempo. Já a *Confiabilidade* diz respeito a probabilidade de o ativo operar normalmente num dado período projetado no futuro, nos permite analisar a projeção probatória que o equipamento funcionará normalmente é um ótimo indicador para planos de manutenção preventiva quando se adota uma probabilidade limite para ser feito a preventiva e assim, aumentar a confiabilidade novamente.

$$\text{Disponibilidade} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) * 100 \quad (6)$$

$$\text{Confiabilidade} = R(t) = e^{-\lambda * t} \quad (7)$$

Para,

$$\lambda(t) = \text{taxa de falhas} = 1 / \text{MTBF} \quad (8)$$

t = tempo de estudo

e = Número de Euler = 2,71

4.5 Eficiência

Todo equipamento quando recuperado tem percas, mesmo que mínima, do seu desempenho comparado com seu momento anterior a recuperação. Vamos

chamar de eficiência, a porcentagem de perda de operação do tempo de operação do rotor de fábrica para o rotor recuperado.

$$\text{Eficiência} = \varepsilon = T_n / T_{(n-1)} \quad (9)$$

$$T(n) = T(n-1) * \varepsilon$$

Sendo T = tempo de operação e n = ordem de recuperação.

4.6 Cenários de Estudo

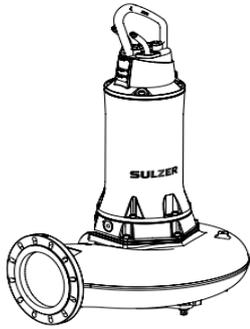
O primeiro cenário estudado será de uma unidade que não possui gradeamento, vamos utilizar o rotor da bomba SULZER XFP 155J utilizada na Estação Elevatória da Bacia C. Nesta unidade, temos a coleta de dados da média do tempo de operação do rotor e da média de tempo de operação do rotor após sua primeira recuperação.

O segundo cenário estudado será de uma unidade que possua gradeamento, vamos utilizar o rotor da bomba SULZER XFP 105J localizada na unidade de SES Prazeres 40.09. Nesta unidade, temos apenas os dados do tempo médio de atividade do rotor sem nenhuma recuperação.

As duas unidades foram escolhidas devido a utilização do mesmo rotor para os dois tipos de bombas, apresentarem alturas de elevação do fluido parecida e se diferenciarem pelo uso ou não de sistema de gradeamento. Este último, nos permite comparar e mostrar a vantagem quantitativa da utilização de um sistema de filtro para que aumente a duração da vida do rotor em operação em relação à um sistema sem quaisquer sistemas de filtro. As características das bombas são apresentadas no quadro 6.

Após a manutenção feita no rotor, a bomba é instalada no local semelhante ao inicial atendendo os mesmos requisitos de pressão e vazão.

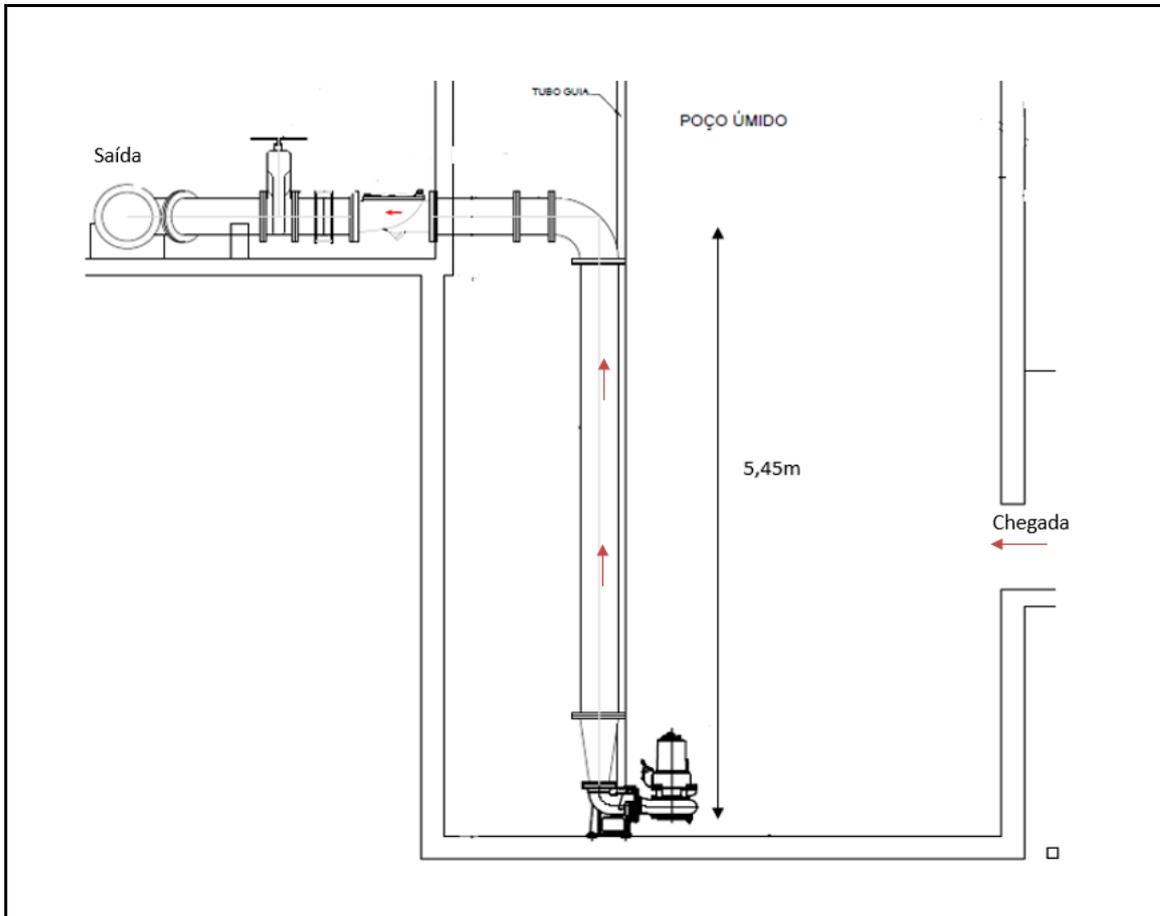
Quadro 6 - Dados técnicos da bomba SULZER XFP 155J

		
Cenário	Bacia C	Prazeres 40.09
Marca	Sulzer	
Modelo	XFP 155J - CB2 PE350/4	XFP 105J - CB2 PE430/4
Potência	86 (kW)	43 (kW)
Tensão	380 (V)	380 (V)
Frequência	60 (hz)	60 (hz)
Rotação por minuto (RPM)	1786	1733
MCA	50,4	38,6
Vazão máx.	100 (l/s)	70 L/s
Rotor	Semi Aberto	
Diâmetro do rotor	346 (mm)	
Peso rotor	33 (kg)	
Preço Avaliado do rotor	R\$ 25.000,00	

Fonte: Placa de dados técnicos de bombas modelo Sulzer, 2023.

4.6.1 Cenário da EE Bacia C

Quadro 7 - Dados do Cenário da Estação elevatória da Bacia C

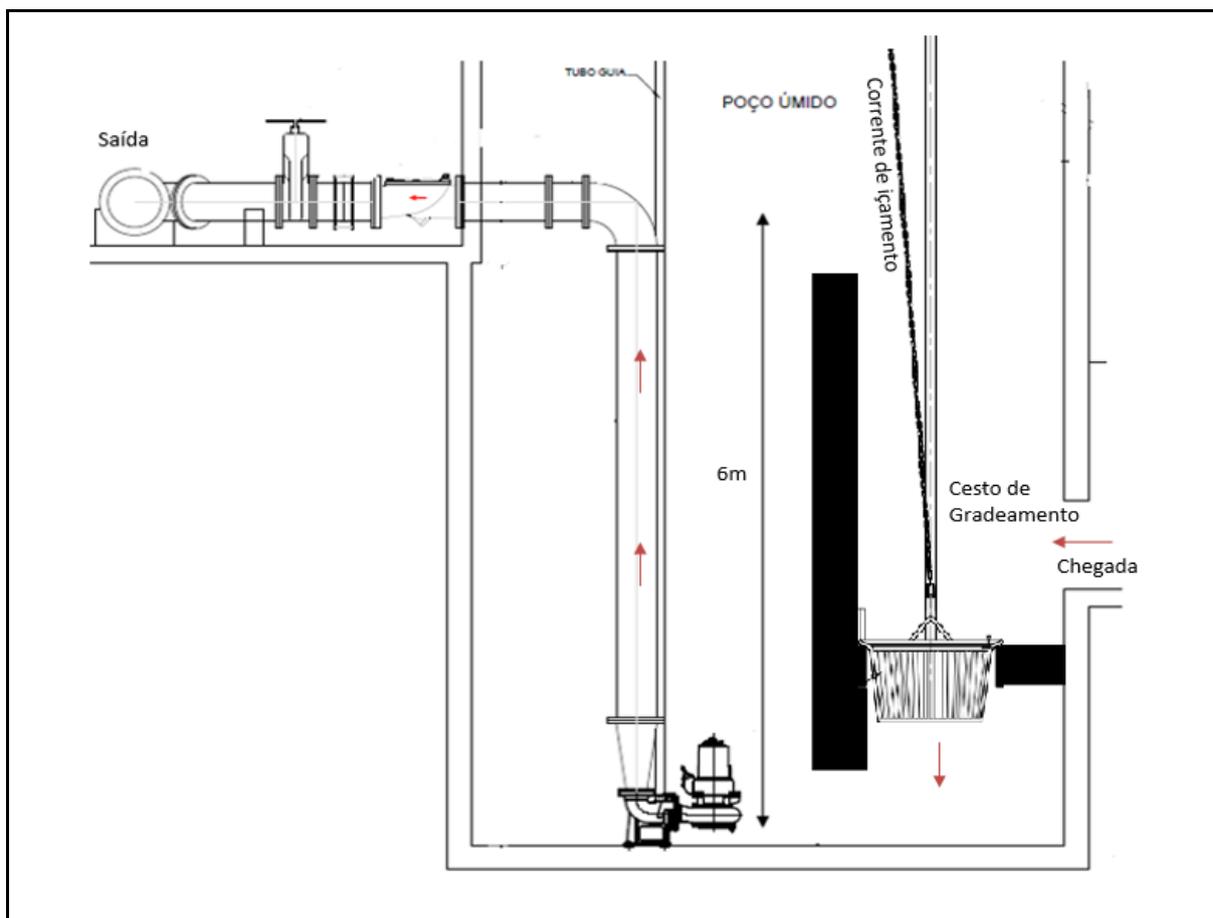


Unidade	EE Bacia C
Localização	Paulista
Escala	2+1
Tempo médio de atividade por bomba	8 horas
Altura de elevação do fluido	5,45 m
Sistema de Gradeamento	Sem

(Fonte: Dados retirados da planta Built, COMPESA,2023)

4.6.2 Cenário de EE Prazeres 40.09

Quadro 8 - Dados da Estação Elevatória de Prazeres 40.09



Unidade	EE PRAZERES 40.09
Localização	Jaboatão dos Guararapes
Escala	2+1
Tempo médio de atividade diária	7 horas
Altura de elevação do fluido	6 m
Sistema de Gradeamento	Cesto de Gradeamento Manual

(Fonte: Dados retirados da planta Built, COMPESA,2023)

5 RESULTADOS

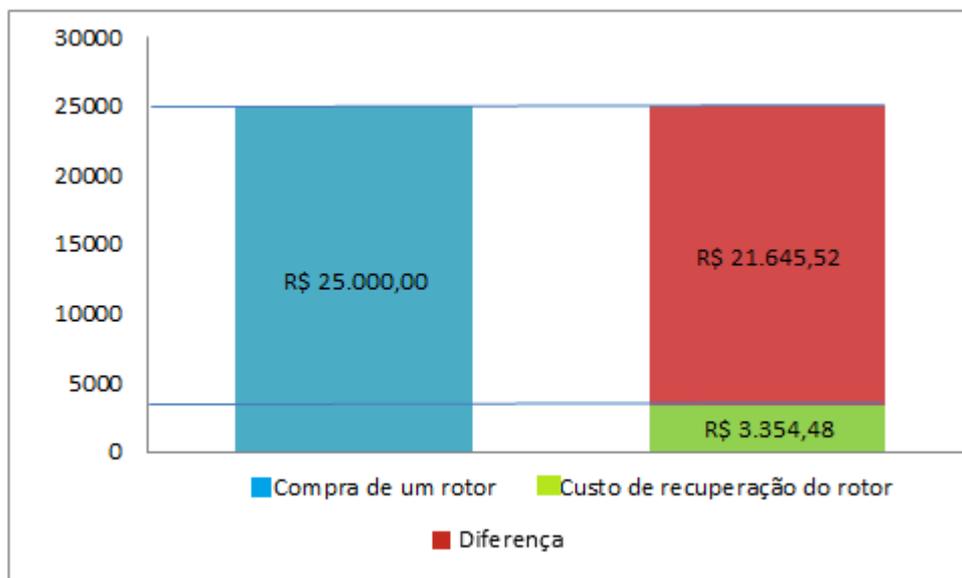
Todo o cálculo de viabilidade vai ser baseado na comparação do rotor recuperado por soldagem por eletrodo revestido com um rotor novo comprado no mercado e um rotor que trabalha em estações que possuam gradeamento como prevenção de desgaste, a partir daí, podemos calcular o quanto se pode economizar por determinado tempo estabelecido no cálculo médio de reparo destes rotores.

5.1 Análise de economia por rotor recuperado

5.1.1 Economia por Recuperação

$$\begin{aligned} \text{Economia por recuperação} &= \left(1 - \frac{\text{Custo Recuperação por rotor}}{\text{Custo de um novo rotor}}\right) * 100 = \\ &= \left(1 - \frac{R\$ 3.354,48}{R\$ 25.000,00}\right) * 100 \cong 86,58\% \end{aligned}$$

Figura 24 – Gráfico de comparação de custo: Rotor Novo x Rotor Recuperado



(Fonte: Autor, 2023)

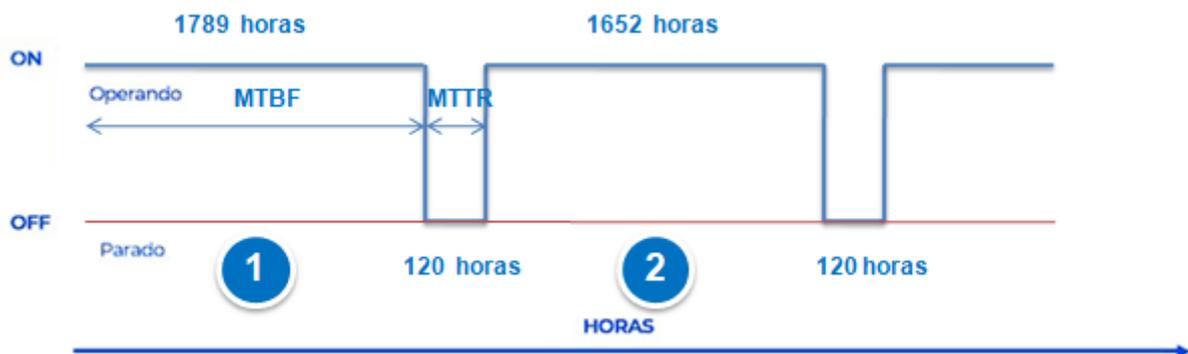
5.2 Cenário da EE Bacía C (sem gradeamento)

O primeiro cenário estudado é dos rotores das estações elevatórias da Bacia C cujo suas informações do modelo da bomba e cenário de operação estão descritas nos quadros 6 e 7 (Tópico 3.6).

5.2.1 Tempo de atividade dos rotores

A figura 25 mostra os dados retirados do histórico de OS's por manutenção corretiva das bombas localizadas no Elevatória 40.09, temos o seguinte gráfico:

Figura 10 - Histórico de Operação do rotor da bomba de EE Bacia C



(Fonte: IBM-Máximo, aplicativo de gestão de manutenção ,2023)

A figura 25, temos a média de operação de uma bomba da unidade enquanto o rotor apresentava condições de operação. No tempo 1 o rotor é trabalhado em seu estado de fábrica, já no tempo 2 o rotor é trabalhado já com a recuperação feita por soldagem a eletrodo revestido.

Adotamos então a diferença de tempo médio de atividade do rotor, sem que haja necessidade de manutenção corretiva, do rotor de fábrica para rotor recuperado foi de 137 horas.

5.2.2 Eficiência

Para o cálculo do VPL, precisaremos dos valores de tempo de operação do rotor novo e o tempo de operação do rotor recuperado pelo processo de solda. Pelo gráfico da figura 25, vemos que o rotor recuperado por soldagem com eletrodo

revestido tem uma diminuição de aproximadamente 8 % do tempo de trabalho comparado com o rotor novo.

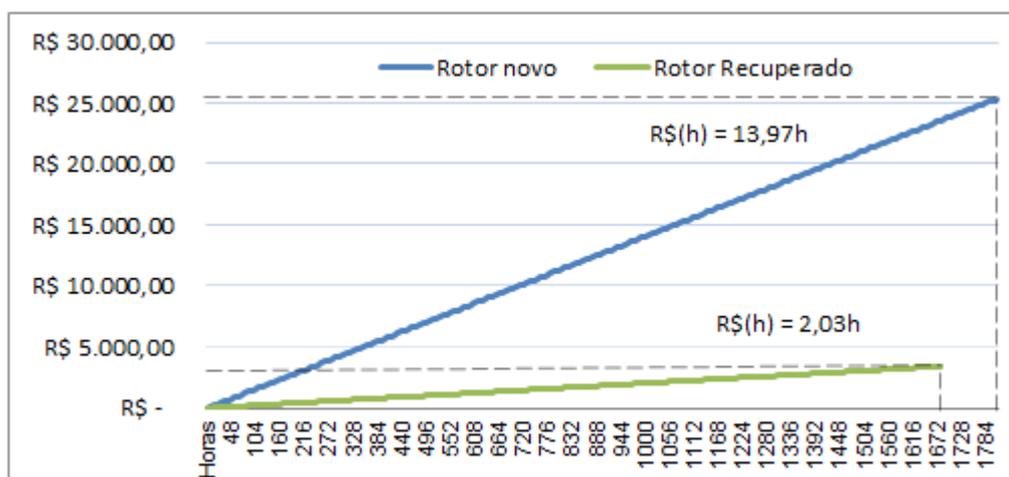
$$Eficiência = T2/T1 = 0,92324 \cong 92,324\%$$

5.2.3 Tempo de operação do rotor

Se considerarmos o custo da recuperação do rotor como o valor do mesmo, podemos chegar a equação de custo por hora, sendo t o tempo em horas de atividade (Figura 26):

$$Custo\ de\ operação\ do\ rotor\ por\ hora = \frac{Valor\ do\ rotor}{Tempo\ de\ operação} * t \quad (10)$$

Figura 11 - Gráfico Custo por hora do Rotor novo x Rotor recuperado



(Fonte: gráfico plotado no aplicativo de excel, Autor, 2023)

5.2.4 Gráfico de Confiabilidade sob o tempo total

Com os tempos individuais de operação de cada rotor recuperado encontrados no tópico anterior, podemos calcular o MTBF, Disponibilidade e taxa de falhas de cada tempo e assim, construir um gráfico geral de confiabilidade do rotor.

Sendo:

Δt (h)= Tempo de operação do rotor recuperado

T_i (h)= Tempo inicial

T_f (h)= Tempo final

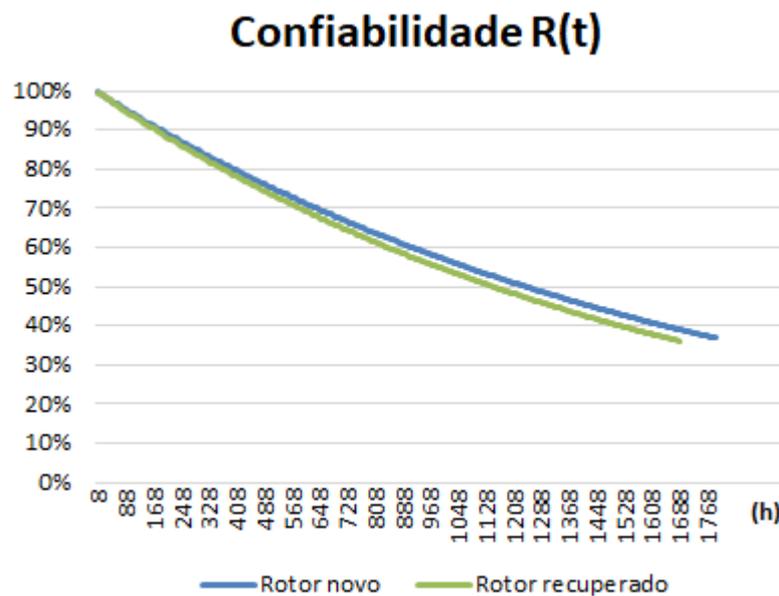
DISP = Disponibilidade

Tabela 4 - MTBF e Taxa de falhas do rotor novo e recuperado

Estado	Δt (h)	t_i (h)	t_f (h)	MTBF (h)	λ	MTTR (h)	DISP.
Rotor novo	1789,3	0	1789,3	1789,3	0,000559	120	0,93715
Rotor recuperado	1652	0	1652	1720,65	0,000581	120	0,934806

(Fonte: Tabela feita no aplicativo de Excel, Autor, 2023)

Figura 12 - Gráfico de Confiabilidade do rotor da Bacia C



(Fonte: gráfico plotado no aplicativo de Excel, Autor, 2023)

Vemos, no gráfico 27, que a confiabilidade durante cada intervalo de tempo de rotor recuperado em operação decai cada vez mais rápido, visto que, o MTBF diminui por recuperação (Tabela 4) fazendo com que a taxa de falha aumente.

5.3 Cenário de SES Prazeres 40.09 (com gradeamento)

Para o estudo dos rotores por completo, é viável que se compare seu tempo de atividade em uma unidade sem gradeamento (EE BACIA C) com uma com

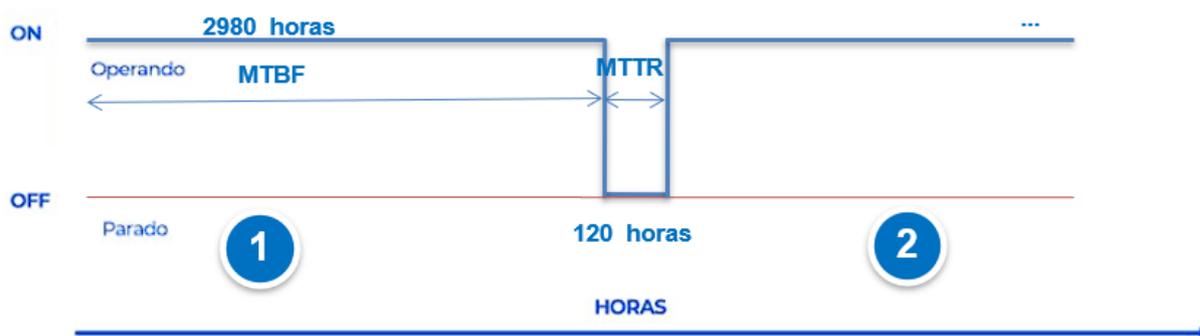
gradeamento (SES Prazeres 40.09), pois estes são capazes de filtrar todo material corrosivo para o rotor aumentando seu tempo de vida de operação.

A unidade de SES Prazeres contém sistema de gradeamento manual logo na entrada do fluido e trabalha com bombas da mesma família da bomba utilizada no estudo anterior. No Quadro 8 tem-se as informações da unidade.

5.3.1 Tempo de atividade de rotor de sistema com gradeamento

Através do histórico de OS's de parada da bomba por manutenção corretiva do rotor das bombas localizadas no Elevatória 40.09, geramos o gráfico da figura 28.

Figura 13 - Histórico de Operação do rotor da bomba de Prazeres 40.09



(Fonte: IBM-Máximo, aplicativo de gestão de manutenção ,2023)

No primeiro tempo (1), a média de tempo em operação dos rotores das bombas da unidade foi de 2980 horas até sua primeira recuperação. Podemos então adotar este tempo como a durabilidade do rotor em seu estado novo (de fábrica). Não temos o tempo dois (2) ou o MTBF da atividade de rotores recuperado em ambiente de gradeamento por ainda estes rotores estarem em atividade na sua unidade.

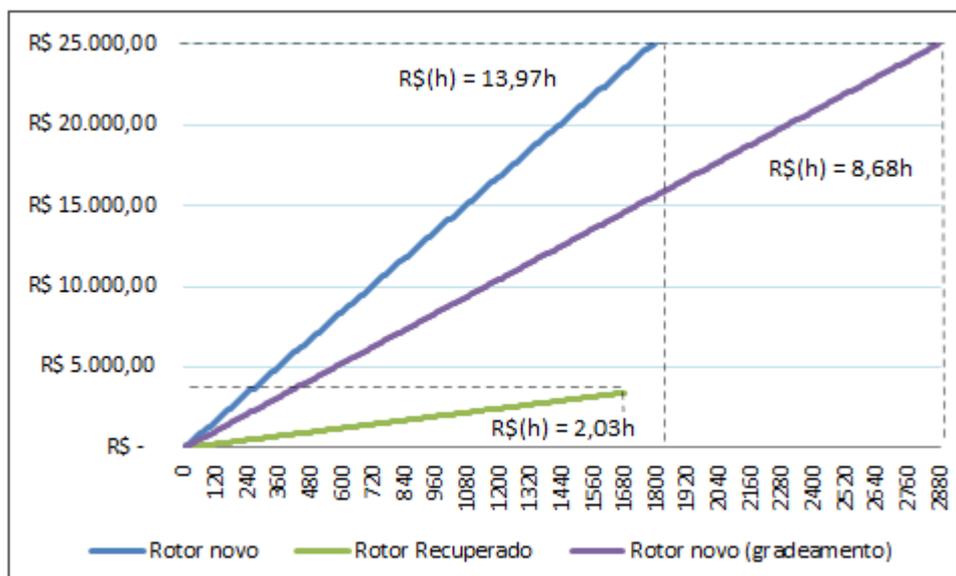
5.3.2 Vantagem do rotor com sistema com gradeamento

$$Eficiência = \frac{\text{Tempo de operação do rotor com gradeamento}}{\text{Tempo de operação do rotor sem gradeamento}} = \frac{2980}{1789}$$

$$Eficiência \cong 166,57\%$$

Isso quer dizer que o rotor tem seu tempo de vida útil aumentado em 66% com a utilização de sistema de gradeamento como prevenção a desgaste. E utilizando o mesmo valor de compra de R\$ 25.000,00, temos que por hora o rotor tem o gasto de R\$ 8,68 como mostra o gráfico 29.

Figura 14 - Gráfico de custo por hora dos três exemplos de rotores em análise



(Fonte: Gráfico plotado no aplicativo de Excel, Autor, 2023)

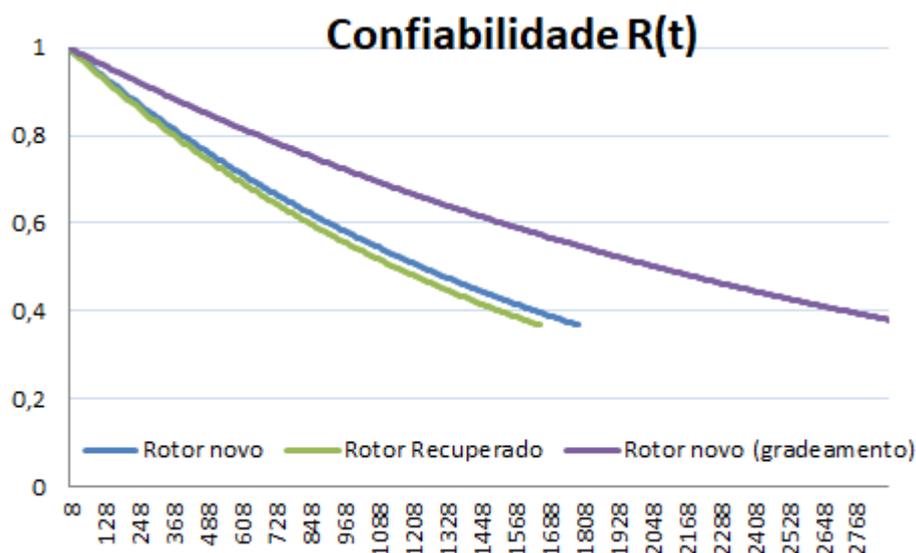
5.3.3 Projeção da confiabilidade dos cenários

Tabela 5 - MTBF e Taxa de falhas dos rotores da Bacia C e 40.09

Estado	Δt (h)	t_i (h)	t_f (h)	MTBF (h)	λ	MTTR	DISP.
Rotor novo	1789,3	0	1789,3	1789,3	0,000559	120	0,93715
Rotor recuperado	1652	0	1652	1720,65	0,000581	120	0,934806
Rotor novo (gradeamento)	2980	0	2980	2980	0,000336	120	0,96129

(Fonte: Tabela feita no aplicativo de Excel, Autor, 2023)

Figura 15 - Gráfico de Confiabilidade dos rotores (Bacia C e 40.09)



(Fonte: gráfico plotado no aplicativo de Excel, Autor, 2023)

No gráfico da Figura 34, podemos ver a projeção de confiabilidade do rotor utilizado na unidade de elevatórias de 40.09 em comparação com os da Bacia C, com base em seus tempos de operação visto anteriormente.

5.4 Limitações do trabalho

O estudo seria mais completo caso tivéssemos o registro de tempo de operação de durabilidade de um rotor recuperado em cenário de estações elevatórias que possuam sistema de gradeamento como prevenção a desgaste do rotor. Porém, neste momento (época em que este trabalho está sendo feito), há rotores com as mesmas características do rotor estudado, recuperados por soldagem a eletrodo revestido e operando em estações com esses gradeamentos, e em um futuro próximo, poderemos analisar e comparar este rotor com os estudado até então.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho, focamos no estudo e análise do processo de recuperação corretiva dos rotores que trabalham nas bombas das unidades elevatórias de estações de esgoto. Por trabalhar com um fluido denso e corrosivo como o esgoto que traz em seu fluxo partículas sólidas que geram desgaste no rotor, torna-se necessário a utilização de métodos que trabalhem com o objetivo de trazer economia para a manutenção desta peça.

A recuperação dos rotores por soldagem com eletrodo revestido utiliza do próprio material derretido do eletrodo por carga elétrica, para o preenchimento da geometria perdida do rotor em sua quebra por erosão ou desgaste. Foi visto que essa manutenção para um rotor de 33 kg custa um valor médio baixo (R\$ 3354,48) comparado a compra de um novo rotor (R\$ 25.000,00), gerando uma absorção de R\$ 21.645,62 equivalente a 86% do valor do rotor novo de fábrica.

Foi utilizado durante o trabalho alguns indicadores de manutenção como MTBF, MTTR, Disponibilidade e Confiabilidade. Estes indicadores foram achados a partir de informações disponíveis vindos de sistemas de gestão de manutenção, que oferece o tempo de operação do equipamento por ordens de serviços.

No primeiro cenário estudado, foi utilizado como exemplo a unidade elevatória da Bacia C que não possuía nenhum sistema de gradeamento para fins de aumento de vida do rotor, e nos mostrou que a durabilidade destes rotores sobre condições de recuperação por solda com eletrodo revestido diminui de apenas 137 horas de operação das 1789 do rotor novo de fábrica, o que equivale á uma queda de 8% da duração de sua atividade até a falha, mantendo os mesmos requisitos de pressão e vazão.

No segundo cenário, foi estudado a projeção do rotor da unidade de SES Prazeres 40.09, que utiliza sistema de gradeamento manual no local de entrada do efluente no poço úmido, e que utiliza das mesmas características do rotor das bombas da Bacia C. Foi possível então comparar os dois rotores de maneira mais igualitária e que se aproxime da média mesmo que existam outros indicadores que possam influenciar neste dados e que não foram inseridos por serem complexos para o objetivo do estudo, exemplo: vazão média das bombas, pH de esgotos,

potência do motor, densidade de areia do fluido dependente de sua região, dentre outros.

Este último cenário, podemos além de estender de 1789 horas de operação para 2980 horas (aumento de 66%) utilizando do mesmo rotor para os dois cenários. Também vemos a confiabilidade diminuindo mais lentamente com o tempo quando comparado ao do rotor da Bacia C, fortalecendo a ideia da importância econômica da elevatória em obter em seu processo um sistema de gradeamento.

O estudo da confiabilidade nos permite também analisar o melhor momento para realizar a manutenção preventiva através dos valores de sua confiabilidade, estabelecendo um valor mínimo para que o rotor entre em manutenção preventiva. Este poderia ser um possível tema para uma continuação do trabalho.

Em função da indisponibilidade da obtenção de algumas informações e do tempo para melhor análise das variáveis envolvidas no trabalho, recomenda-se para temas de trabalhos futuros o estudo do melhor momento para manutenção preventiva em cima dos dados de confiabilidade, impactos de custos gerados nas peças das bombas por um mau funcionamento do rotor, estudo da vazão do rotor recuperado a solda por eletrodo revestido e análise do melhor sistema de gradeamento a ser utilizado em estações elevatórias de esgoto.

REFERÊNCIAS

- A ANA e o Saneamento Básico.** (5 de Dezembro de 2022). Fonte: Governo Federal: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/a-ana-e-o-saneamento>
- ALEXY DUBOIS, L. K. (2019). **Gestão de Custos e Formação de Preços - Conceitos, Modelos e Ferramentas.** 4^o Edição, atlas.
- Aventa.** (02 de Fevereiro de 2021). **Tipos de Eletrodos para Solda** <https://aventa.com.br/novidades/tipos-de-eletrodo-revestido>
- BATCHELOR, G. W. (2014). *Engineering Tribology.* Elsevier.
- blogbarragas. (16 de Maio de 2016). **Soldagem segura com Eletrodo Revestido.** Fonte: Blog Barragas: <https://blogbarragas.wordpress.com/2016/05/16/soldagem-segura-com-eletrodo-revestido/>
- Camargo, M. (07 de Agosto de 2018). **Artigo: O que é cavitação?** Fonte: Instituto de Engenharia: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2018/08/07/o-que-e-cavitacao/>
- César, P. (05 de Fevereiro de 2018). **Características da soldagem com eletrodos revestidos.** Fonte: Alusolda: <https://alusolda.com.br/caracteristicas-da-soldagem-com-eletrodos-revestidos/>
- CHEN, L. (9 de Março de 2022). **Monitoring and Predictive Maintenance of Centrifugal Pumps.** *Mechanical Failure*, p. 24.
- Codinter, E. E. (2023). **Abrasivo de Jato de Areia: Todos os tipos e usos de cada um deles.** Fonte: Codinter: <https://www.codinter.com.br/abrasivo-de-jato-de-areia-todos-os-tipos-e-usos-de-cada-um-deles/>
- Connor, N. (13 de Novembro de 2019). **Cavitação por sucção.** Fonte: Thermal Engineering: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-cavitacao-por-succao-definicao/>
- DUAN, C. G. (2002). **Abrasive Erosion & Corrosion of Hydraulic Machinery.**
- Esgotamento Sanitário.** (2021). Fonte: SNIS - Sistema de Informação sobre Saneamento: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis>
- FIGUEIRA JR. E.A., B. V. (2012). **Rotores de Disco para Bombeamento de Fluidos Abrasivos. Fatores que influenciam no desgaste dos componentes da bomba** (Adaptado de Walker, 1999 apud Walker & Bodkin, 2000).
- Gallindo, P. V. (2020). **Procedimentos matemáticos da engenharia de confiabilidade: um fator determinante no desenvolvimento** e. 20.

GUARTIERI, J. R. (2011). **Técnica de Soldagem com eletrodo revestido de aço carbono**. Virtual Books.

Inct ETEs Sustentáveis. (2023 de Março de 09). Fonte: <https://etes-sustentaveis.org/>

JORDÃO, P. (2014). **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Rio de Janeiro: 7ª ed.

LAMEIRINHAS, G. (13 de Agosto de 2020). **Indicadores de manutenção que são indispensáveis**. Fonte: Tractian: <https://tractian.com/blog/indicadores-de-manutencao>

MACINTYRE. (1987). **Bombas e Instalações de Bombeamento**. LTC; 2ª edição (1 setembro 1987).

MENDONÇA, S. R. (2017). **Sistemas Sustentáveis de Esgotos: Orientações Técnicas Para Projeto e Dimensionamento de Redes Coletoras, Emissários, Canais, Estações Elevatórias, Tratamento e Reúso na Agricultura**. Blucher.

NIGRO, P. D. (31 de Maio de 2021). **Balanceamento de Rotores**.

PACÍFICO, P. A. (2016). **Bombas Centrífugas: Mecânica dos Fluidos I**, p. 30.

PAPROCKA, G. C. (04 de Janeiro de 2023). **Estimativa de tempo livre de falha baseada em condição de uma bomba. Tempo livre de falhas baseado em condição estimativa de uma bomba**, p. 22.

Plataforma EAM para gestão de ativos empresariais. (10 de Abril de 2023). Fonte: IBM Maximo®: <https://www.ibm.com/br-pt/products/maximo>

Produtos Silibonde. (05 de Janeiro de 2023). Fonte: <https://www.silibonde.com.br/produtos.html>

Santos, J. C. (2011). **Análise de Confiabilidade de uma Bomba Centrífuga**. 178.

SERRANO, R. O. (Dezembro de 2017). **Metodologia para avaliação de desgaste abrasivo em pás de rotor de bombas centrífugas de estação elevatória. Classificação de rotores de bombas centrífugas**.

SOBRINHO, P. A., & M. T TSUTIYA. (2000). **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. São Paulo: 2ª ed.

SOLIDÔNIO RODRIGUES DE CARVALHO, E. A. (2015). **Rotores de disco para bombeamento de fluidos abrasivos**. *Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica Faculdade de Engenharia Mecânica*, (p. 5). Uberlândia, MG.

SPERLING, M. V. (2011). **Introdução à Qualidade das águas e ao Tratamento de Esgotos**. UFMG; 4ª edição.

Sulzer Pumps. (15 de Março de 2023). Fonte: Sulzer: <https://www.sulzer.com/en/>

VEIGA, E. (2016). ***Processo De Soldagem - Eletrodos Revestidos***. GLOBUS EDITORA.

WARMAN. (2016). ***Slurry Pump Handbook***. Fifth Edition Electronic Version.

Weber, B. B. (09 de Fevereiro de 2021). *Carbo Grafite*. Fonte: **Introdução a Soldagem - Solda a arco elétrico por eletrodo revestido x Processo Arco-Ar**: <https://carbografite.com.br/blog/detalhe/introducao-a-soldagem/>

WERNKE, R. (2012). ***Análise de Custos e Preços de Vendas***. 1º ed.