

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Reprojeto de um Sistema de
Extra-Filtragem de Óleos Lubrificantes**

Guilherme Augusto López Gonçalves

**Rio de Janeiro
Novembro de 2020**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

Reprojeto de um Sistema de Extra-Filtragem de Óleos Lubrificantes

Guilherme Augusto López Gonçalves

Projeto final apresentado em cumprimento às
normas do Departamento de Educação Superior do
CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Orientador:
José Luiz Fernandes

**Rio de Janeiro
Novembro de 2020**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

G6325 Gonçalves, Guilherme Augusto López
Reprojeto de um sistema de extra-filtragem de óleos lubrificantes / Guilherme Augusto
López Gonçalves – 2020.
119f : il. color. + apêndice [f 108-116] ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da
Fonseca, 2020.

Bibliografia: f. 117-119

Orientador: José Luiz Fernandes

1. Engenharia mecânica. 2. Óleos lubrificantes. 3. Sistema de filtragem – lubrificantes.
I. Fernandes, José Luiz (Orient.). II. Título.

CDD 620.1

Elaborada pelo bibliotecário Leandro Mota de Menezes – CRB/7 n° 5281

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente à Deus, em seguida aos meus familiares pelo suporte e compreensão ao longo dessa trajetória que, mesmo com todos os desafios, motivaram e deram condições para continuar firme e não desviar do meu objetivo maior.

Dedico também aos meus amigos, que compartilharam desses desafios comigo, tornando mais amigáveis todos os obstáculos e aos mestres que sempre me motivaram buscar e cultivar o conhecimento.

AGRACEDIMENTOS

Aos meus familiares que me deram as condições emocionais e financeiras para chegar até aqui. Os momentos de dificuldade foram numerosos e sempre que precisava meus pais, irmão, namorada, estavam do meu lado para me apoiar e dar forças para seguir em frente.

Agradeço ao meu orientador José Luiz Fernandes por toda a paciência e dedicação ao meu trabalho. Agradeço pelos esclarecimentos, direcionamentos e pela compreensão que possibilitou a realização de todo esse trabalho.

Aos mestres do corpo docente da Engenharia Mecânica por todo o conhecimento transmitido, e aos amigos de trabalho da BR Distribuidora, por todo auxílio e atenção no que foi preciso para a construção deste projeto.

RESUMO

Um projeto vem para melhoria, e um reprojeto vem para melhorar um sistema ou conjunto de equipamentos já definidos e trabalhados. Nesse intuito, irá ser reprojeto um sistema de extra-filtragem de óleos lubrificantes de uma empresa do ramo petrolífero. O óleo lubrificante é basicamente a mistura entre o óleo mineral básico e aditivos, na qual implementam propriedades específicas no fluido para determinada função. Como qualquer outro tipo de matéria, o lubrificante pode ser facilmente contaminado, principalmente por partículas sólidas, mais precisamente pequenos particulados. Nos tempos atuais, as máquinas e sistemas necessitam cada vez mais de cuidados e lubrificação, e são cada vez mais sensíveis a contaminação de seu lubrificante. Portanto, é irreal uma máquina de extra-filtragem não estar nos melhores padrões para entregar ao cliente um óleo dentro dos indicadores especificados de contagem de partículas ideal. Procedimento, processo e equipamentos devem ser revisados, analisados, melhorados e idealizados nas melhores condições possíveis. Com todas as identificações de falhas, problemas, causas e consequências, foi necessário a montagem de um novo equipamento para o processo. O estudo e o conhecimento baseia-se principalmente na filtragem do óleo, no dimensionamento de equipamentos e conexões, na automatização e em meios de aumento de produtividade visando a qualidade do óleo e a segurança e saúde dos operadores e do meio ambiente. O antigo projeto e revisões bibliográficas foram os principais meios de base para a construção do novo.

Palavras-chave: Óleo Lubrificante, Filtragem e Contaminação

ABSTRACT

A project comes for improvement, and a redesign comes to improve a system or set of equipment already defined and worked on. To that end, a system for extra-filtration of lubricating oils from a company in the oil industry will be redesigned. Lubricating oil is basically a mixture between basic mineral oil and additives, in which they implement specific properties in the specified for function. Like any other type of material, the lubricant can be easily contaminated, mainly by solid particles, more precisely small particles. Nowadays, machines and systems are increasingly essential for attention and lubrication, and are increasingly sensitive to contamination from their lubricant. Therefore, it is unrealistic for an extra-filtration machine not to be of the best standards to deliver to the customer an oil within the assigned indicators of ideal database. Procedure, process and equipment must be reviewed, displacement, improved and idealized in the best possible conditions. With all the identification of failures, problems, causes and consequences, it was necessary to assemble new equipment for the process. The study and knowledge is based mainly on oil filtration, equipment and better sizing, automation and qualified means of increasing productivity, oil quality and the safety and health of operators and the environment. The old project and bibliographic reviews were the main basic means for the construction of the new one.

Key-words: Lubricant, Filtration and Contamination

SUMÁRIO

1. Introdução.....	18
1.1 Apresentação do Tema.....	18
1.2 Objetivo.....	19
1.3 Justificativa do Trabalho.....	19
1.4 Metodologia Empregada.....	20
1.5 Conteúdo dos Capítulos.....	21
2. Fundamentação Teórica.....	22
2.1 Aspectos dos Óleos Lubrificantes.....	22
2.1.1 Aditivos.....	23
2.1.2 Normas.....	24
2.2 Contaminação do Óleo Lubrificante.....	25
2.2.1 Contaminação por Partículas.....	27
2.2.2 Contagem de Partículas.....	28
2.2.2.1 Escala Micrômetro.....	29
2.2.3 Níveis de Limpeza.....	29
2.2.3.1 ISO 4406.....	29
2.2.3.2 NAS 1638.....	32
2.3 Equipamentos Mecânicos.....	33
2.3.1 Máquinas Geratrizes – Bombas.....	33
2.3.1.1 Bombas de Deslocamento Positivo ou Volumétrico.....	34
2.3.1.1.1 Características das Bombas Alternativas.....	35
2.3.1.1.2 Características das Bombas Rotativas.....	36
2.3.1.2 Turbobombas ou Bombas Dinâmicas.....	39
2.3.2 Válvulas.....	40
2.3.2.1 Válvulas de Bloqueio.....	41
2.3.2.2 Válvulas de Regulagem.....	41
2.3.2.3 Válvulas que Permitem o Fluxo em Um só Sentido (Retenção).....	42
2.3.2.4 Válvulas que Controlam a Pressão (Alívio).....	43
2.3.3 Filtros Industriais.....	43
2.3.3.1 Meios Filtrantes.....	43
2.3.3.2 Vida do Elemento Filtrante.....	48
2.3.3.3 O Texto de Múltipla Passagem.....	49
2.3.3.4 Razão Beta.....	50
2.4 Propriedade dos Fluidos.....	52
2.4.1 Pressão.....	52
2.4.2 Vazão Volumétrica.....	52
2.4.3 Viscosidade.....	53
2.4.4 Número de Reynolds.....	53
2.4.5 Equação da Continuidade.....	54

2.4.6	Conservação de Energia – Bernoulli.....	55
2.4.7	Perda de Carga.....	55
2.4.7.1	Perda de Carga Distribuída.....	56
2.4.7.2	Perda de Carga Localizada.....	57
2.4.7.3	Método do Comprimento Equivalente ou Virtual.....	57
2.5	Propriedades da Bomba.....	58
2.5.1	Curva Head x Vazão.....	58
2.5.2	Potência Absorvida x Vazão.....	58
2.5.3	Curva de Rendimento x Vazão.....	59
3	Materiais e Metodologia.....	60
3.1	Descrição do Sistema de Filtragem.....	60
3.1.1	Considerações do Antigo Projeto.....	60
3.1.1.1	Equipamento de Filtração.....	60
3.1.1.2	Componentes, Acessórios e Insumos.....	63
3.1.2	Funcionamento.....	68
3.1.3	Esboço do Antigo Projeto.....	70
3.2	Mapeamento dos Gargalos.....	71
3.3	Construção do Reprojeto.....	73
3.3.1	Escolha do Óleo do Reprojeto.....	74
3.3.2	Escolhas Estruturais e Organizacionais de Etapas.....	75
3.3.3	Escolha dos Filtros.....	77
3.3.3.1	Análise de Partículas.....	77
3.3.3.2	Seleção da Granulometria.....	78
3.3.3.3	Dimensionamento.....	82
3.3.3.4	Seleção dos Elementos Filtrantes.....	84
3.3.3.5	Curvas de Características de Vazão em Função da Perda de Carga.....	85
3.3.4	Seleção e Dimensionamento da Bomba.....	87
3.3.4.1	Diâmetro do Projeto.....	87
3.3.4.2	Altura de Carga Requerida pelo Sistema.....	87
3.3.4.3	Escolha da Bomba.....	89
3.3.4.4	Curvas Características da Bomba.....	92
3.3.4.5	Motor Elétrico.....	94
3.3.5	Escolha das Válvulas.....	95
3.3.6	Seleção de Instrumentação, Controles e Acessórios de Montagem.....	96
3.3.6.1	Compressor de Ar Comprimido.....	97
3.3.6.2	Manômetro.....	97
3.3.6.3	Braço de Enchimento.....	98
3.3.6.4	Braço de Descarga.....	99
3.3.6.5	Tubulações e Conexões.....	100
3.3.6.6	Esteira com Balança Eletrônica.....	100
3.3.6.7	Quadro de Comando Elétrico.....	101
4	Resultados e Discussões.....	102

4.1 Testes Realizados.....	102
4.1.1 Antigo Projeto.....	102
4.1.2 Comparativo.....	102
4.2 Desenhos do Reprojeto.....	103
4.3 Viabilidade Técnica e Econômica.....	103
4.3.1 Características em Ganhos Técnicos.....	103
4.3.2 Características Utilizadas na Análise de Investimento.....	104
4.3.3 Análise de Retorno do Investimento Proposto.....	104
4.4 Fatores de Saúde, Meio Ambiente e Segurança.....	106
5 Considerações Finais.....	107
APÊNDICE I – Desenhos do Reprojeto.....	108
Anexos.....	111
Anexo A – Diagrama de Moody.....	111
Anexo B – Comprimento Equivalente dos Acessórios e Conexões.....	112
Anexo C – Fatores Laboratoriais do Óleo Extra-Filtrado Antes e Depois.....	113
Anexo D - Fluxograma com Simbologia de Instrumentação do Processo.....	114
Anexo E - Desenho Isométrico de Descrição dos Instrumentos.....	115
Anexo F – Layout da Linha de Distribuição do Compressor de Ar.....	116
Referências.....	117
Referências Bibliográficas.....	117
Referências Normativas.....	119

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Distribuição das falhas em máquinas devido à contaminação do óleo.....	18
FIGURA 2: Fluxograma da metodologia utilizada no projeto.....	21
FIGURA 3: Fotografia da partícula contaminante (Escala: 1:100).....	26
FIGURA 4: Principais causas de falhas em sistemas mecânicos.....	26
FIGURA 5: Sensores de contaminação por partículas sólidas.....	29
FIGURA 6: Amostra de fluidos.....	30
FIGURA 7: Campo de emprego das bombas.....	35
FIGURA 8: Bomba alternativa de pistão.....	36
FIGURA 9: Palhetas deslizantes no rotor.....	37
FIGURA 10: Bomba de três parafusos.....	38
FIGURA 11: Bomba de engrenagens.....	38
FIGURA 12: Bombas com engrenagens internas com crescente.....	39
FIGURA 13: Válvula gaveta (a), válvula de macho (b), válvula de esfera (c) e válvula de comporta (d).....	41
FIGURA 14: Válvula de globo (a), válvula de agulha (b), válvula de controle (c), válvula borboleta (d) e válvula de diafragma (e).....	42
FIGURA 15: Válvula de retenção (a), válvula de retenção e fechamento (b) e válvula de pé (c).....	42
FIGURA 16: Válvula de segurança e alívio (a), válvula de contrapressão (b), válvula redutora (c) e válvula de quebra-vácuo (d).....	43
FIGURA 17: Filtro de sucção.....	45
FIGURA 18: Filtro de pressão.....	45
FIGURA 19: Filtro de retorno.....	46
FIGURA 20: Filtro <i>off-line</i>	47
FIGURA 21: Fibras de vidro.....	48
FIGURA 22: Elementos filtrantes.....	48

FIGURA 23: 3 meios filtrantes distintos de suas capacidades à pressão diferencial.....	49
FIGURA 24: Teste de filtros.....	50
FIGURA 25: Fórmula da Razão Beta.....	50
FIGURA 26: Fórmula da eficiência.....	51
FIGURA 27: Definição de Pressão.....	52
FIGURA 28: Curva Head vs. Vazão de uma bomba.....	58
FIGURA 29: Curva de eficiência vs. Vazão.....	59
FIGURA 30: Motor Elétrico WEG 10CV Monofásico Blindado Alta Rotação II Polos.....	61
FIGURA 31: Filtro HDA.....	62
FIGURA 32: Carrinho de filtração PALL.....	62
FIGURA 33: Classificador e contador de partículas.....	63
FIGURA 34: Tanque de trabalho para óleo lubrificante.....	64
FIGURA 35: Mangote de sucção/descarga de óleo lubrificante.....	65
FIGURA 36: Conexões macho (a) e conexão fêmea (b).....	65
FIGURA 37: Válvula esfera tripartida.....	66
FIGURA 38: Contentor de 200L.....	66
FIGURA 39: Tambor virgem de dimensão 60x60x85 cm.....	67
FIGURA 40: Bolsa estéril sendo colocada dentro do tambor.....	67
FIGURA 41: Manta absorvente para limpeza.....	67
FIGURA 42: Diagrama de blocos da produção de tambores de extra-filtrados.....	68
FIGURA 43: Fluxograma esquemático do sistema atual de extra-filtragem.....	69
FIGURA 44: Esboço da etapa de circulação do antigo projeto (a) e esboço das etapas de descarga e de envase do reprojeto (b).....	71
FIGURA 45: Válvulas esferas usadas no fechamento/abertura do fluxo do tanque ao mangote.....	72
FIGURA 46: Conexões macho/fêmea na saída do equipamento (a) e conexões na entrada do equipamento (b).....	72

FIGURA 47: Fluxograma esquemático do reprojeto.....	73
FIGURA 48: Contador de partículas iCount PARKER.....	77
FIGURA 49: Válvula de pressão diferencial.....	78
FIGURA 50: Seleção de Tamanho de partícula filtrada.....	81
FIGURA 51: Curvas características de vazão em função da perda de carga do elemento filtrante e carga do filtro.....	86
FIGURA 52: Ilustração do Filtro HDA FR1500A.....	86
FIGURA 53: Gráfico de desempenho.....	90
FIGURA 54: Gráfico de vazão.....	90
FIGURA 55: Gráfico de eficiência.....	91
FIGURA 56: Curvas eficiência/vazão da bomba PVM098.....	92
FIGURA 57: Curva torque de entrada/potência da bomba PVM098.....	93
FIGURA 58: Curva vazão/pressão de saída da bomba PVM098.....	93
FIGURA 59: (a) Válvula de retenção (b) válvula de alívio (c) válvula de regulagem (d) válvula de bloqueio (e) válvula de retenção e fechamento.....	96
FIGURA 62: Tipos de mangueiras.....	97
FIGURA 61: Manômetro R928019224.....	98
FIGURA 62: Braço de carregamento.....	99
FIGURA 63: Braço de descarga.....	100
FIGURA 64: (a) balança digital (b) esteira de roletes com o braço de alavanca.....	101

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Classificação ISO/ASTM.....	25
TABELA 2: Tamanho relativo das partículas.....	29
TABELA 3: Exemplo classificação ISO.....	30
TABELA 4: Padrões de limpeza para os componentes.....	31
TABELA 5: Padrão de níveis de limpeza.....	31
TABELA 6: Classe de pureza.....	32
TABELA 7: Correlação entre as Normas NAS 1638 e ISO 4406.....	32
TABELA 8: Razão Beta/eficiência.....	51
TABELA 9: Dados técnicos do motor elétrico.....	61
TABELA 10: Dados técnicos do elemento filtrante.....	62
TABELA 11: Dados técnicos do conjunto de filtração.....	63
TABELA 12: Dados técnicos do contador de partículas.....	63
TABELA 13: Dados técnicos do tanque de trabalho.....	64
TABELA 14: Dados técnicos dos mangotes.....	65
TABELA 15: Dados técnicos dos engates rápidos.....	65
TABELA 16: Dados técnicos da válvula.....	66
TABELA 17: Classificação dos óleos extra-filtrados.....	74
TABELA 18: Dados técnicos do contador de partículas.....	77
TABELA 19: Severidade da Aplicação dos Lubrificantes Filtrados.....	78
TABELA 20: Fator de pressão.....	78
TABELA 21: Fator de ambiente.....	79
TABELA 22: Fator de sensibilidade do componente.....	79
TABELA 23: Fator de expectativa de vida.....	79
TABELA 24: Fator de responsabilidade econômica.....	79

TABELA 25: Fator econômico operacional.....	79
TABELA 26: Fator de responsabilidade adicional em segurança.....	79
TABELA 27: Fatores selecionados.....	79
TABELA 28: Resumo dos dados apresentados.....	84
TABELA 29: Dados técnicos do filtro de linha FR1500A PARKER.....	85
TABELA 30: Codificação dos meios filtrantes do FR1500A PARKER.....	85
TABELA 31: Parâmetro usados no reprojeto.....	88
TABELA 32: Características presentes na bomba de modelo PVM098.....	92
TABELA 33: Dados técnicos do motor elétrico.....	94
TABELA 34: Parâmetros de funcionamento do antigo projeto.....	102
TABELA 35: Parâmetros temporais do antigo projeto e reprojeto.....	103
TABELA 36: Custo do Reprojeto.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

β_s – Razão Beta

Δp – Diferencial de pressão

ΔA – Potencial da área

ΔF_n – Potencial da força nominal

μ – Viscosidade cinemática

A – Área

ANSI - *American National Standards Institute*

B – Bomba

cte – Constante

cm – Unidade de medida (centímetro)

Cp – Unidade de viscosidade (centipoase)

D – Diâmetro

D_{mi} – Diâmetro médio interno

EUA – Estados Unidos da America

f – Fator de atrito de Darcy

g – Gravidade

gal – Unidade de volume (galão)

h_p – Perda de carga

h - Altura

H – Altura de carga/manométrica

H_{sist} – Altura de carga do sistema

ISO – *International Organization for Standardization*

k/D – Rugosidade relativa a tubulação

Kg – Kilograma

K – Fator de perdas localizadas

lim – Limite

L – Litros

L – Comprimento do conduto

lbm – Unidade de massa (libra massa)

M – Motor de acionamento

m – Unidade de medida (metro)

m^3 – Unidade de Volume (metro cúbico)
mg – miligrama
 n_b – Velocidade angular
 N – Número de partículas por unidade de volume
NAS – *National Aerospace Standart*
NFPA - *National Fluid Power Association*
 p – Pressão
 p_{ste} – Pressão do fluido estático
 p_{tot} – Pressão do fluido total
 P – Potência
PPM – Partes por milhões
 Q – Vazão volumétrica/requerida
 Q_i – Vazão teórica de filtração contínua
 R – Taxa requerida do reprojeto
 R_b – Taxa de contaminação base
RE – Redução excêntrica
SAE – *Society Automotive Engineering*
 t_s – Tempo de filtração
 v – Velocidade do fluido
 V – Volume
VPC – Válvula de pé com crivo
VR – Válvula de retenção
 ρ – Massa específica do fluido de perfuração
 τ – Viscosidade dinâmica
 γ – Peso específico
 η – Rendimento

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: Diagrama de Moody.....	111
ANEXO 2: Comprimento Equivalente dos Acessórios e Conexões.....	112
ANEXO 3: Fatores Laboratoriais do Óleo Extra-Filtrado Antes e Depois.....	113
ANEXO 4: Fluxograma com Simbologia de Instrumentação do Processo.....	114
ANEXO 5: Desenho Isométrico de Descrição dos Instrumentos.....	115
ANEXO 6: Layout da Linha de Distribuição do Compressor de Ar.....	116

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1: Vista 1 da estrutura completa do reprojeto de extra-filtragem.....	108
APÊNDICE 2: Vista 2 da estrutura completa do reprojeto de extra-filtragem.....	108
APÊNDICE 3: Vista 3 da estrutura completa do reprojeto de extra-filtragem.....	108
APÊNDICE 4: Vista 4 da estrutura completa do reprojeto de extra-filtragem.....	109
APÊNDICE 5: Vista 5 da estrutura completa do reprojeto de extra-filtragem.....	109
APÊNDICE 6: Vista 1 do reprojeto do sistema de extra-filtragem.....	109
APÊNDICE 7: Vista 2 do reprojeto do sistema de extra-filtragem.....	110
APÊNDICE 8: Vista cortada com foco no braço de descarga (<i>a</i>) e vista cortada com foco no braço de descarga (<i>b</i>).....	110
APÊNDICE 9: Vista 3 do reprojeto do sistema de extra-filtragem.....	110

Capítulo 1

Introdução

1.1 Apresentação do Tema

Na última década, com o desenvolvimento de peças com alta precisão dimensional e geométrica – redução tanto do peso quanto do tamanho – houve um aumento considerável no rendimento e na eficiência dos equipamentos. Com isso, as máquinas e equipamentos se tornaram cada vez mais sensíveis aos contaminantes sólidos em suspensão no seu **lubrificante**, e o controle do **grau de limpeza** do óleo passou a ser extremamente importante.

A lubrificação e os óleos lubrificantes vão muito além de redutores de desgaste. Desempenham tarefas como transmissão de carga e calor, controle no consumo de combustível de turbinas, aumento tanto da vida útil quanto da eficiência operacional dos componentes de sistemas hidráulicos, limpeza, prevenção contra corrosão, vedação e refrigeração.

Segundo GUSMÃO (2012), o grau de limpeza de um óleo lubrificante é baseado na medição das quantidades de partículas sólidas, de certas faixas de tamanho, e da contaminação da água que se encontram contidas numa unidade de volume desse óleo; tal medida é feita em instrumentos denominados contadores de partículas.

Dentre as características físico-químicas, a contaminação, sobretudo sólida, é responsável pela maior parte das falhas devido a irregularidades constatadas em óleos hidráulicos e lubrificantes de máquinas, cerca de 21%, segundo MANG (2014), a Figura 1 ilustra a distribuição das falhas em uma máquina.

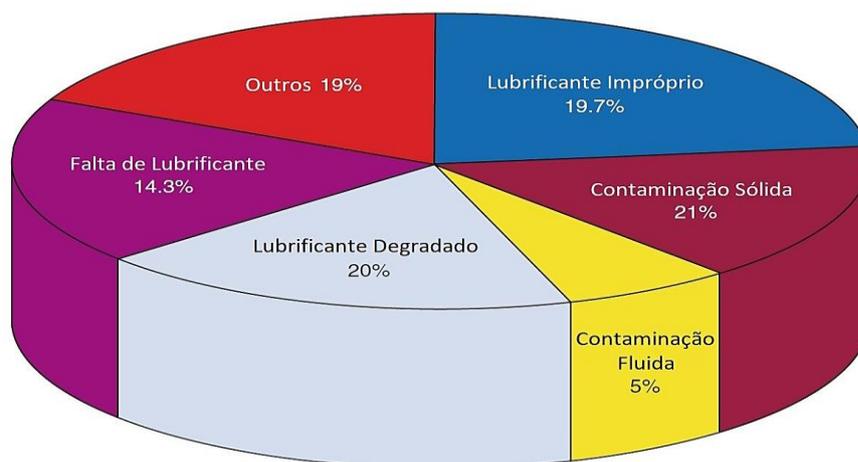


Figura 1: Distribuição das falhas em máquinas devido à contaminação do óleo. Fonte: MANG (2014).

A operação unitária denominada filtração absoluta, também chamada extra-filtração, tem o objetivo de retirar partículas sólidas de certos tamanhos microscópicos do óleo, adequando-o ao grau de limpeza requerido. Os óleos lubrificantes submetidos a essa operação unitária passam a ser designados óleos extra-filtrados. (COUTO, 2013)

Assim como todos os demais processos, o processo de filtração dos óleos apresenta problemas. Estes, estão associados a qualidade do produto – vista em sua amostragem, pela compatibilização do indicador. Com isso, a análise do equipamento/sistema é peça chave para garantir a eficiência no processo – grau de limpeza e tempo. (COUTO, 2013)

Através do mapeamento do processo de filtração e a análise dos equipamentos inseridos nele: carrinho de filtração, tanque, mangotes e conexões, verificou-se pontos críticos para o bom funcionamento dos equipamentos. Estes pontos são erros de processos e procedimentos: como por exemplo etapas grandes, muitos *setups*, perdas de tempo com amostragem; equipamentos: excesso de conexões, falta de válvulas, filtro-bomba ineficiente; e serviços: enchimento manual, necessidade de deslocamento manual dos tambores, etc.

Portanto, neste trabalho, identificou-se as dificuldades presente no processo de filtração de óleos lubrificantes hidráulicos a partir de uma análise técnica e de produção. Tais problemas agiam de forma negativa ao processo, produto, cliente e operador. A partir destes apontamentos, trabalhou-se no reprojeto dos mesmos, com novas características, layout e automação. Neste contexto, insere-se o objetivo do presente trabalho, da busca da otimização e eficiência do sistema de filtração (extra-filtração).

1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo, avaliar o funcionamento e reprojeto o sistema do processo de filtração de óleo lubrificante, para transformar em um óleo lubrificante extra-filtrado.

1.3 Justificativa do Trabalho

Devido às grandes complexidades e eventuais problemas na linha de processo de extra-filtração de uma grande empresa no ramo de produção de óleos lubrificantes, observou-se a necessidade de elaborar uma solução para otimizar a extra-filtração do óleo e, principalmente, a qualidade dele. Exagero de conexões, pouca segurança nas válvulas, ineficiência do

equipamento filtro-bomba e do elemento filtrante, perda de tempo na análise laboratorial, envase e controle de volume manuais, excesso de *setups*, são algumas das falhas mapeadas.

Tais falhas acarretam em perda de produtividade, aumento do custo da operação, riscos ao meio ambiente e ao operador, má qualidade do óleo extra-filtrado e atraso na entrega ao cliente. Dessa forma, para observar esses pontos críticos do processo e minimizar/eliminar suas consequências, foi necessário realizar uma análise completa de parâmetros técnicos do equipamento. Esta análise foi feita através de um mapeamento geral no processo de filtração, propondo assim, um reprojeto do equipamento como um todo, para garantir otimização dos parâmetros.

1.4 Metodologia Empregada

Inicialmente foi entendido e estudado todo o antigo projeto de extra-filtração, seus equipamentos, acessórios, procedimentos, funcionamento, *setups* e as necessidades do cliente. Com isso, foi feito e encontrado os dados técnicos, e foi parametrizado alguns cálculos como base para o reprojeto.

Segundo, foi mapeado e identificado em nível operacional e técnico, todos os gargalos e pontos críticos encontrados no sistema, ou seja, todos os pontos que influenciam na qualidade do óleo, na produtividade, na segurança e saúde do funcionário e do meio ambiente, na entrega ao cliente e no custo de operação. Fatores que se fazem essenciais para o reprojeto.

Em cima das dificuldades, das falhas encontradas, das considerações requeridas e estabelecidas pela empresa, foi realinhado algumas etapas do processo e do procedimento. Para então, após essas mudanças operacionais reprojetermos os equipamentos e o sistema de extra-filtração em cálculos, dados técnicos e teóricos, desenhos técnicos e dimensionamentos (Figura 2).

A principal linha de pensamento foi a eliminação dos riscos, falhas e gargalos, e as soluções delas, dando abertura a automatização e simplicidade do sistema, na qual não necessita de ideias complexas e grandes áreas para a sua implantação. Quanto menos equipamentos e estrutura, menor o nível de complexidade, riscos e falhas.

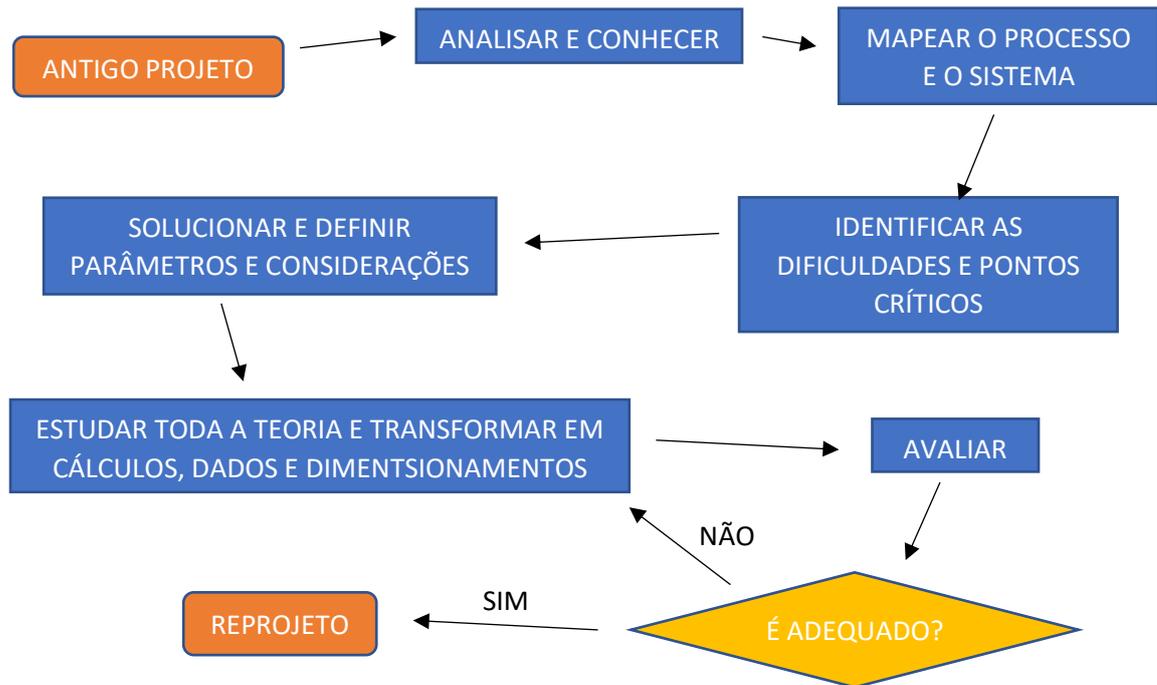


Figura 2: Fluxograma da metodologia utilizada no projeto. Fonte: Autor.

1.5 Conteúdo dos Capítulos

O capítulo 1 aborda a Introdução, que é segmentada em 4 seções, sendo estas: a Apresentação do Tema; Objetivo do Trabalho; Justificativa do Trabalho e por fim, Conteúdo dos Capítulos.

O capítulo 2, sob o título de Fundamentação Teórica, apresentará uma revisão bibliográfica, que será utilizada como base teórica para o trabalho. Este capítulo contará com cinco partes, a saber: Aspectos Gerais de Óleos Lubrificantes, Contaminação do Óleo Lubrificante, Equipamentos Mecânicos, Propriedades dos Fluidos e Propriedades da Bomba.

O capítulo 3, expõe a metodologia aplicada e os materiais, decorrendo e descrevendo as etapas do projeto e a forma como cada etapa foi executada.

O capítulo 4, tratará da discussão da teoria e resultados, logo será realizada a discussão do tema e apresentação de resultados encontrados.

O capítulo 5, intitulado Considerações Finais, compõem a parte final do trabalho, será composto das críticas, comentários e recomendações para Trabalhos Futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Aspectos dos Óleos Lubrificantes

Segundo CARRETEIRO e BELMIRO (2006), as substâncias lubrificantes são muito variadas e de acordo com seu estado podem ser divididas em:

- a. **Lubrificantes líquidos:** Em geral são os mais preferidos porque penetram entre as partes móveis pela ação hidráulica e além de manterem essas superfícies separadas, eles atuam, também, como agentes refrigerantes.
- b. **Lubrificantes pastosos:** Compreendem as graxas e composições lubrificantes. Nas composições lubrificantes podemos citar: as composições betuminosas e pastas especiais para estampagem.
- c. **Lubrificantes sólidos:** O emprego de lubrificantes sólido tem a finalidade de substituir a película fluida por uma película sólida. Dos minerais mais usados destacam-se o grafite, o dissulfeto de molibdênio, a mica e o talco.
- d. **Lubrificantes gasosos:** Estes lubrificantes são usados em casos especiais, em lugares onde não são possíveis as aplicações dos lubrificantes convencionais. São eles: o ar, o nitrogênio e os gases halogenados.

Eles são classificados em tipos de acordo com suas características. Sendo os principais descritos abaixo: (CARRETEIRO e BELMIRO, 2006; PAULI e ULIANA, 1997)

- a. **Óleos Minerais:** São produzidos de crus de composição muito variada, mas formados por grande número de hidrocarbonetos pertencentes a três classes principais: parafínicos, naftênicos e aromáticos.
- b. **Óleos Graxos:** São óleos de origem vegetal ou animal. Foram os primeiros lubrificantes utilizados, satisfaziam às modestas necessidades da época em que predominava a tração animal. A industrialização progressiva dos centros de produção tornou imperativa a substituição dos óleos graxos por produtos derivados de petróleo.
- c. **Óleos Compostos:** Certas aplicações especiais requerem, muitas vezes, o uso de óleos compostos, que consistem na mistura de óleo graxo com óleo mineral. Estas misturas vão conferir ao produto uma maior oleosidade e também uma maior facilidade de emulsão em presença de vapor.

- d. **Óleos Orgânicos:** São óleos como o de oliva, de rícino, de sebo. Possuem elevada capacidade de lubrificação, no entanto, são caros e envelhecem rapidamente (tornam-se resinosos e espessos). Por isso, eles são usados somente em casos especiais.
- e. **Graxas:** As graxas lubrificantes são dispersões estáveis de sabões em óleos minerais. Apresentam-se, sobretudo, em função do tipo de sabão empregado, com determinada textura, que poderá ser fibrosa, untuosa ou amanteigada.
- f. **Composições Betuminosas:** São lubrificantes de aderência, formulados à base de misturas de óleos minerais com asfalto. As composições betuminosas são, geralmente, aplicadas após aquecimento prévio. Alguns tipos, entretanto, possuem solventes leves, podendo ser aplicadas à frio. São indicadas para engrenagens de grande dimensão e baixa rotação.
- g. **Lubrificantes Sintéticos:** Esses lubrificantes suportam as mais diversas condições de serviços. São lubrificantes “criados” em laboratório, especialmente para oferecer características especiais de viscosidade, resistência e temperaturas elevadas ou muito baixas, de forma a atender aplicações especiais em algumas industriais. Esses lubrificantes tendem a ser de custo bastante elevado, só devendo, portanto, ser empregados em casos específicos que não podem ser atendidos pelos lubrificantes minerais.

Óleos aditivados são óleos minerais puros, os chamados óleos básicos, aos quais foram adicionadas substâncias comumente chamadas de aditivos, para lhe referir determinadas propriedades de acordo com sua aplicação, ou seja, são óleos lubrificantes que são criados pela mistura de óleo básico com aditivos.

2.1.1 Aditivos

Segundo PAULI e ULIANA (1997), devido ao constante aperfeiçoamento das máquinas, tornou-se necessário melhorar ou acrescentar qualidades aos óleos minerais puros, com substâncias genericamente chamadas de aditivos.

Existem diversos tipos de aditivos, que possuem a mesma finalidade. A escolha de um deles depende da susceptibilidade do óleo básico para com o aditivo, a compatibilidade do básico para com o aditivo, e destes entre si.

Entre os diversos tipos de aditivos, tem-se os seguintes:

- Detergente-dispersante;
- Antioxidante;
- Anticorrosivo;
- Antiferrugem;
- Extrema pressão;
- Antidesgaste;
- Abaixador do ponto de fluidez;
- Aumentador do índice de viscosidade.

É altamente desaconselhável a adição de novos aditivos a um óleo já aditivado. Sobre este assunto, muitos fabricantes de máquinas e motores vêm-se manifestando, distribuindo circulares a seus usuários e representantes, desaconselhando o uso de tais produtos. Um óleo formulado para determinado fim tem todos os aditivos necessários para desempenhar sua função, não necessitando de novos aditivos, que não se sabe como reagirão quimicamente com os já existentes. (PAULI e ULIANA, 1997)

2.1.2 Normas

De acordo com a aplicação em que o óleo lubrificante é fabricado, ele apresenta normas e obedecem a uma série de classificações, assim como a maioria dos materiais utilizados no mundo mecânico, e respeitadas internacionalmente. Porém existem óleos que são fabricados e nomeados sem classificação por determinada empresa para devidos fins.

A seguir será apresentado exemplos de classificações segundo CARRETEIRO e BELMIRO (2006), de acordo com normas:

- a. **Classificação SAE:** Desenvolvidas pela SAE, que classifica os óleos lubrificantes para motores de combustão e para caixas de engrenagens automotivas (caixa de marcha e diferencial) unicamente pela viscosidade, não levando em conta as outras propriedades necessárias ao óleo. Para óleos de motor a SAE classificou: SAE 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W, 20, 30, 40, 50. Para óleos de transmissão, SAE 70W, 75W, 80W, 85W, 90, 140 e 250.
- b. **Classificação ISO/ASTM:** Esta classificação é apresentada na Tabela 1 e baseia-se na viscosidade cinemática (centistokes) a 40° C. Este sistema se aplica apenas aos lubrificantes industriais em que a viscosidade seja um fator primário de seleção, estando excluídos, portanto, os óleos de proteção, óleos de tratamento

térmico, óleos de transformador, óleos de corte, etc. Os números que indicam cada grau de viscosidade ISO representam o ponto médio de uma faixa de viscosidade compreendida entre 10% abaixo e 10% acima desses valores.

Tabela 1: Classificação ISO/ASTM.

GRAU DE VISCOSIDADE	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (cSt) a 40° C	
ISO VG 2	1,98	2,42
ISO VG 3	2,88	3,52
ISO VG 5	4,14	5,06
ISO VG 7	6,12	7,48
ISO VG 10	9,00	11,0
ISO VG 15	13,5	16,5
ISO VG 22	19,8	24,2
ISO VG 32	28,8	35,2
ISO VG 46	41,4	50,6
ISO VG 68	61,2	74,8
ISO VG 100	90,0	110,0
ISO VG 150	135	165
ISO VG 220	198	242
ISO VG 320	288	352
ISO VG 460	414	506
ISO VG 680	612	748
ISO VG 1000	900	1100
ISO VG 1500	1350	1650

Fonte: CARRETEIRO e BELMIRO (2006).

2.2 Contaminação do Óleo Lubrificante

Segundo CATERPILLAR (2002) e PARKER (2015), a contaminação do óleo é o maior inimigo do sistema hidráulico, em qualquer máquina. Em torno de 80% das avarias dos componentes hidráulicos ficam a dever-se à contaminação por partículas estranhas ao óleo. Este tipo de contaminação afeta negativamente o rendimento das máquinas, tanto por abrasão como pelo progressivo acumular de partículas sobre a superfície dos componentes, como ilustrado na Figura 3.

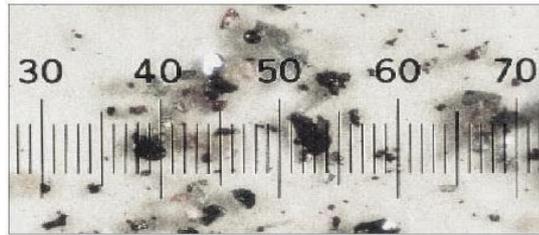


Figura 3: Fotografia da partícula contaminante (Escala: 1:100). Fonte: PARKER (2015).

O resultado da contaminação contribuirá para uma fricção desgastante já que cada vez mais as folgas entre peças são menores. Além disso, a experiência de projetistas e usuários de sistemas de óleos lubrificantes tem demonstrado o seguinte fato: mais de 75% das falhas de sistemas são resultantes diretas da contaminação. A Figura 4 ilustra um gráfico de análise feita de falhas em sistemas mecânicos. (PARKER, 2015)

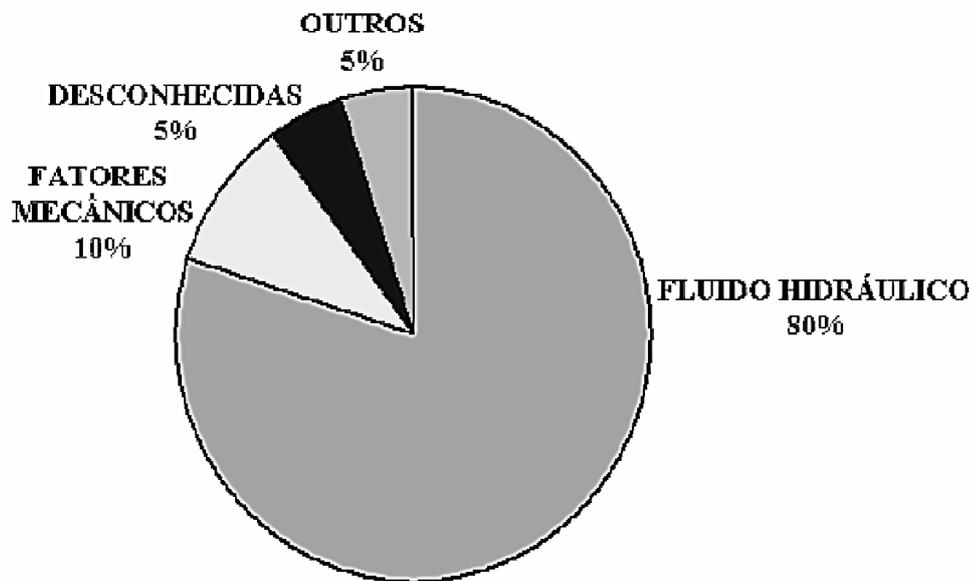


Figura 4: Principais causas de falhas em sistemas mecânicos. Fonte: HYDAC (2014).

Devido as falhas, as empresas passam a ter diversos tipos de problemas e custos em sua produção devido a contaminação, que é de estarrecer, como pode-se verificar descrito abaixo:

- Perda de produção (paradas);
- Custos de reposição dos componentes;
- Reposição frequente do fluido;
- Baixa vida dos componentes;
- Aumento dos custos da manutenção geral;
- Aumento do índice de sucata.

E os danos da contaminação seriam:

- Bloqueio dos orifícios;
- Desgaste dos componentes;
- Formação de ferrugem ou outra oxidação;
- Formação de componentes químicos;
- Deficiência dos aditivos;
- Formação de contaminantes biológicos.

2.2.1 Contaminação por Partículas

A contaminação por partículas geralmente é classificada como sedimento ou pequenas partículas. Sedimento pode ser definido como o acúmulo de partículas menores que 5 microns. Este tipo de contaminação também causa falha no sistema; componente ao decorrer do tempo. Por outro lado, as pequenas partículas são contaminantes maiores que 5 microns e podem causar falhas catastróficas imediatas.

Segundo PARKER (2015) e MANG (2014), as fontes que geram tais partículas, são:

- Formada durante os processos de manufatura, montagem e envase;
- Adicionado com novos fluídos, aditivos;
- Inserção externa durante a operação;
- Desgaste abrasivo;
- Desgaste por cavitação - fluxo de entrada restrito para a bomba causa vazios de fluido que implodem, causando choques e ocasionando pequenas quebras na superfície do material;
- Desgaste por fadiga - partículas passando pela folga causam tensão na superfície, que se expande ocasionando escamas devido ao repetido tensionamento da área danificada;
- Desgaste corrosivo – contaminação por água ou química no fluido causa ferrugem ou reação química que degrada a superfície.

Se não forem adequadamente absorvidos, os contaminantes da manufatura ou montagem serão deixados no sistema. Estes contaminantes incluem sujeira, respingo de solda, partículas de borracha de mangueiras e vedações, areia de fundição e sedimentos de metal dos componentes usinados. Também quando o fluido é inicialmente adicionado ao sistema, a contaminação é introduzida. (PARKER, 2015)

Durante o sistema de operação a contaminação entra através das tampas de respiro, vedações gastas e outros sistemas de abertura. A operação do sistema também gera contaminação interna. Isto ocorre quando o desgaste do sedimento do metal e os produtos químicos reagem com as superfícies dos componentes para gerar mais contaminação. (PARKER, 2015)

Os sinais da contaminação podem ser vistos com:

- Descentralização do carretel da válvula;
- Vazamento e trepidação;
- Falha na bomba;
- Perda de vazão;
- Não adequação ao indicador necessário de partículas.

Com isso, é essencial além de usos corretos de equipamentos mecânicos, o uso correto de um filtro – tanto o filtro para bomba fazer a filtragem, como um filtro de respiro do ar do reservatório (tanque). Aliás, a maioria das inserções de contaminantes entra no sistema através da tampa de respiro do reservatório e das vedações.

2.2.2 Contagem de Partículas

Os sistemas de medição on-line são chamados de contadores de partículas por extinção. Nestes, a determinação da quantidade e o tamanho de partículas ocorre com auxílio de detectores óticos. A montagem pode ser efetuada na linha de pressão assim como na linha de retorno. A intensidade e a duração do obscurecimento da luz, causado por uma partícula que passa por ela, permite, em conjunto com a velocidade do fluxo, a determinação das classes de pureza do óleo. (ZSCHIESCHANG, 2006)

A vantagem dos aparelhos de medição é sua grande faixa de medição, sua precisão, a capacidade de autodiagnóstico e os valores medidos correspondem às normas internacionais ISO ou NAS. Além disso, deve-se destacar sua insensibilidade frente ao turvamento do meio hidráulico originado pela contaminação; esta é compensada por recalibração da intensidade de luz internamente no sensor. (ZSCHIESCHANG, 2006)

Na Figura 5, são ilustrados alguns tipos de sensores de contaminação por partículas sólidas.

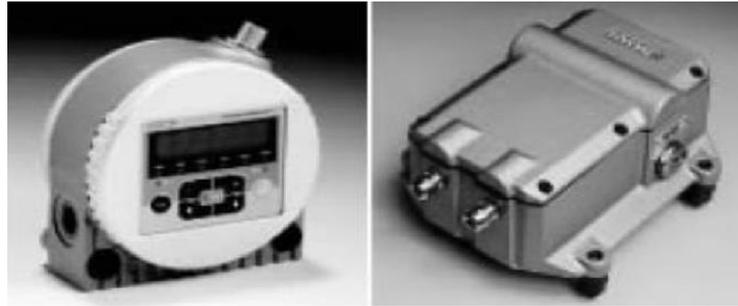


Figura 5: Sensores de contaminação por partículas sólidas. Fonte: HYDAC (2014).

2.2.2.1 Escala Micrômetro

Segundo a empresa HYDAC (2014), os tamanhos das partículas geralmente são medidos em uma escala micrométrica. Um micron é uma milionésima parte de um metro ou 39 milionésimos de uma polegada. O limite da visibilidade humana é de aproximadamente 40 microns. Sendo que, a maioria das partículas, que causam danos aos sistemas de lubrificação ou hidráulicos, são menores que 40 microns (Tabela 2).

Tabela 2: Tamanho relativo das partículas.

Tamanho Relativo das Partículas		
Substância	Mícrons	Polegadas
Grão de sal refinado	100	0,0039
Cabelo humano	70	0,0027
Limite máx. de visibilidade	40	0,0016
Farinha de trigo	25	0,0010
Célular verm. do sangue	8	0,0003
Bactéria	2	0,0001

Fonte: HYDAC (2014).

2.2.3 Níveis de Limpeza

A fim de detectar ou corrigir os problemas, é usada a escala de referência de contaminação. A contagem de partículas é o método mais comum para obterem-se níveis de padrão de limpeza. São usados instrumentos ópticos muito sensíveis para contar o número de partículas em várias faixas de tamanho. Estas contagens são reportadas como um número de partículas maiores que um certo tamanho, encontradas em um específico volume de fluido. As normas mais difundidas são a ISO 4406:1999 e a NAS 1638:1964.

2.2.3.1 ISO 4406

A ISO 4406, nível padrão de limpeza, tem obtido uma vasta aceitação em muitas indústrias de hoje. Uma versão modificada vastamente utilizada deste padrão, refere-se ao

número de partículas maior que 2, 5 e 15 microns em um certo volume, geralmente 1 mililitro ou 100 mililitros. O número de partículas 2+ e 5+ microns é usado como ponto de referência para partículas sedimentadas. O tamanho 15+ indica a quantidade de partículas maiores presentes que contribuem grandemente para uma possível falha catastrófica do componente. (PARKER, 2015)

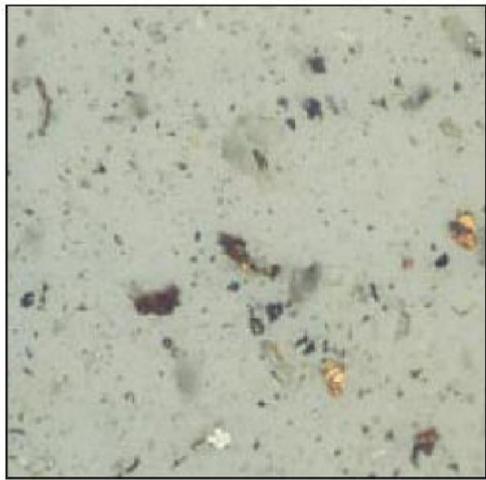
Uma classificação ISO 4406 de 18/16/13 é definida na Tabela 3:

Tabela 3: Exemplo classificação ISO.

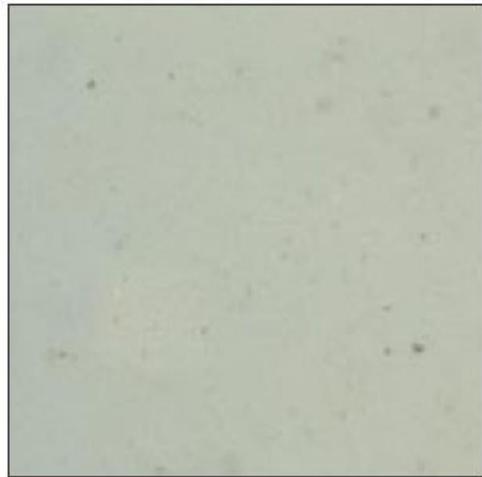
Faixa	Mícron	Faixa de Contagem
18	2+	1.300 – 2.500
16	5+	320 – 640
13	15+	40 – 80

Fonte: PARKER (2015).

Nas Figura 6, são exemplificados em ilustrações microscópicas os números ISO de acordo com a quantidade de partículas contaminantes.



Fluido ISO 21/19/17 (ampliação 100x).



Fluido ISO 16/14/11 (ampliação 100x).

Figura 6: Amostra de fluidos. Fonte: PARKER (2015).

Nas Tabelas 4 e 5, são ilustrados alguns componentes e seus níveis de limpeza recomendados, respectivamente. É sempre bom consultar o fabricante do componente para obter por escrito as recomendações do nível de contaminação do fluido. Esta informação é necessária para selecionar o nível de filtragem correto. Pode servir também como garantia contra possíveis reclamações futuras, visto que pode delinear a linha entre o uso normal e operação excessiva ou abusiva. (GUSMÃO, 2012)

Tabela 4: Padrões de limpeza para os componentes.

Limpeza do Fluido Requerido para Tópicos Componentes Hidráulicos	
Componentes	Código ISSO
Controle de servo válvulas	16/14/11
Válvulas proporcionais	17/15/12
Bombas/motores de palheta e pistão	18/16/13
Válvulas de controle direcional e pressão	18/16/13
Bombas de engrenagem sem motores	19/17/14
Válvulas de controle de fluxo, cilindros	20/18/15
Fluido novo não usado	20/18/15

Fonte: GUSMÃO (2012).

Tabela 5: Padrão de níveis de limpeza.

Tabela de Correlação dos Níveis de Limpeza					
Cód ISO	Partículas/Mililitros			NAS 1638 (1964)	SAE Nível (1963)
	≥ 2 Microns	≥ 5 Microns	≥ 15 Microns		
23/21/18	80.000	20.000	2.500	12	-
22/20/18	40.000	10.000	2.500	-	-
22/20/17	40.000	10.000	1.300	11	-
22/20/16	40.000	10.000	640	-	-
21/19/16	20.000	5.000	640	10	-
20/18/16	10.000	2.500	320	9	6
19/17/14	5.000	1.300	160	8	5
18/16/13	2.500	640	80	7	4
17/15/12	1.300	320	40	6	3
16/14/12	640	160	40	-	-
16/14/11	640	160	20	5	2
15/13/10	320	80	10	4	1
14/12/9	160	40	5	3	0
13/11/8	80	20	2.5	2	-
12/10/8	40	10	2.5	-	-
12/10/7	40	10	1.3	1	-
12/10/6	40	10	.64	-	-

Fonte: GUSMÃO (2012).

O resultado da análise de contagem de partículas de um óleo segundo a norma ISO 4406 é reportado por um código contendo três escalas. A primeira escala relata o número de partículas com diâmetro entre 4 μm e 6 μm ; a segunda se refere ao número de partículas com diâmetro entre 6 μm e 14 μm ; e a terceira abrange o número de partículas com diâmetro maior que 14 μm . (GUSMÃO, 2012)

Um exemplo: seja um óleo industrial cuja análise revelou 22.340 partículas entre 4 μm e 6 μm , 1.950 partículas entre 6 μm e 14 μm e 43 partículas $> 14 \mu\text{m}$; o resultado da contagem de partículas para esse óleo será reportado como ISO 22/18/13 (Tabela 6). (GUSMÃO, 2012)

2.2.3.2 NAS 1638

Assim como a ISO 4406, a NAS 1638 descreve a concentração de partículas em fluidos. Os métodos de análise podem ser utilizados análogos à ISO 4406:1987. Do contrário à ISO 4406, na NAS 1638 são contadas determinadas faixas de partículas e agregadas a estes números indicativos. Na Tabela 6 são representadas as classes de pureza em função da concentração de partículas averiguadas.

Tabela 6: Classe de pureza.

	Tamanho de Partícula (μm)				
	5-15	15-25	25-50	50-100	> 100
	Quantidade de partículas em 100ml de amostra				
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	88	16	3	1
2	1.000	178	32	6	1
3	2.000	356	63	11	2
4	4.000	712	126	22	4
5	8.000	1.425	253	45	8
6	16.000	1.850	506	90	16
7	32.000	5.700	1.012	180	32
8	64.000	11.600	2.025	360	64
9	128.000	22.800	4.050	720	128
10	256.000	45.600	8.100	1.440	256
11	512.000	91.200	16.200	2.880	512
12	1.024.000	182.400	32.400	5.760	1.024

Fonte: PARKER (2015).

A Tabela 7 apresenta a correlação entre os graus de limpeza especificados pelas normas NAS 1638 e ISO 4406.

Tabela 7: Correlação entre as Normas NAS 1638 e ISO 4406.

Classe NAS	Classe ISO	Classe NAS	Classe ISO
NAS 12	23/21/18	NAS 6	17/15/12
NAS 11	22/20/17	NAS 5	16/14/11
NAS 10	21/19/16	NAS 4	15/13/10
NAS 9	20/18/15	NAS 3	14/12/9
NAS 8	19/17/14	NAS 2	13/11/8
NAS 7	18/16/13	NAS 1	12/10/7

Fonte: GUSMÃO (2015).

Via de regra, os fabricantes de lubrificantes entregam óleo com classe de pureza (ou classe de limpeza) NAS 9 ou equivalente. A maioria dos equipamentos hidráulicos e alguns mecanismos de transmissão necessitam de óleo com grau de pureza melhores. (PURILUB, 2009)

Para se assegurar que os óleos lubrificantes novos que serão utilizados nos maquinários móveis e industriais estejam com o Nível Geral de Limpeza adequado, é necessário que se faça uma filtração antes de serem colocados em operação. Esta ação simples assegurará que os óleos lubrificantes não conduzirão contaminantes, como água e material particulado sólido, que possam afetar o seu desempenho e causar avarias aos componentes móveis. (PURILUB, 2009)

Durante o processo de envasamento, armazenamento, transporte e entrega os óleos lubrificantes novos podem sofrer contaminação por água e material particulado sólido. A este fato acrescenta-se que, durante o manejo e armazenamento na planta industrial ou no site de construção civil, os óleos lubrificantes se contaminam ainda mais, o que torna de grande importância assegurar-nos que os lubrificantes que ingressem nos maquinários móveis e industriais estejam livres de contaminação por água e material particulado sólido. (LOBO, 2018)

Para que os óleos lubrificantes novos que serão utilizados nos maquinários móveis e industriais estejam com o Nível Geral de Limpeza adequado será necessário que os filtremos antes de serem colocados em operação. Esta ação simples vai assegurar que os óleos lubrificantes não conduzirão contaminantes, como água e material particulado sólido, que possam afetar o seu desempenho e causar avarias aos componentes móveis. (LOBO, 2018)

2.3 Equipamentos Mecânicos

2.3.1 Máquinas Geratrizes – Bombas

Segundo SANTOS (2007) e BRASIL (2013), são máquinas que transformam energia mecânica em energia hidráulica, comunicando ao líquido um acréscimo de energia sob as formas de energia potencial de pressão e cinética. As bombas hidráulicas realizam esse tipo de serviço acionadas por motores elétricos, estacionários etc.

As bombas hidráulicas são chamadas, também, de máquinas operatrizes hidráulicas, por que realizam um trabalho útil específico ao deslocarem um líquido. O modo pelo qual é feita a transformação do trabalho em energia hidráulica e o recurso para cedê-la ao líquido aumentando

sua pressão e/ou sua velocidade permitem classificar as bombas em dois grandes grupos apresentados pelo “*Hydraulic Institute*”: (BRASIL, 2013)

- **Bombas de deslocamento positivo** ou volumógenas (**volumétricas**);
- **Turbobombas**, chamadas de hidrodinâmicas, rotodinâmicas ou **dinâmicas**.

Ainda, segundo SANTOS (2007), esta classificação também pode ser feita em dois grupos, estudando suas diferenças e principais características. Quando ao deslocamento, as bombas podem ser de:

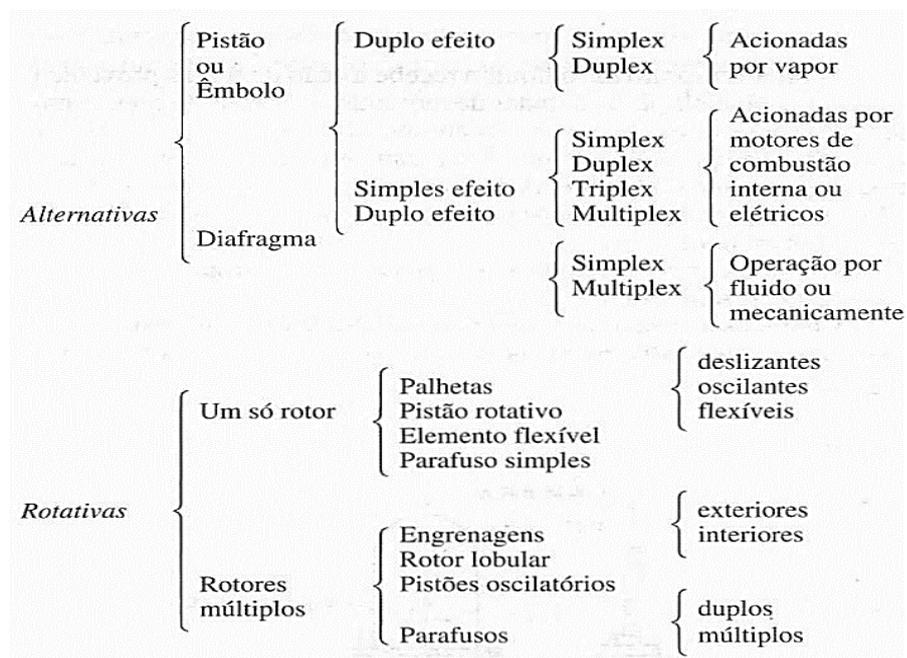
- **Deslocamento positivo (volumétricas)**;
- **Deslocamento não-positivo (dinâmicas)**.

2.3.1.1 Bombas de Deslocamento Positivo ou Volumétricas

São normalmente utilizadas em circuitos hidráulicos que acionam atuadores lineares ou rotativos (cilindros ou motores hidráulicos) para movimentação de carga. Nessas bombas existe uma vedação mecânica separando a entrada da saída e isso acaba impedindo ou dificultando o “vazamento interno”, que é a possibilidade de recirculação interna no fluido (SANTOS, 2007)

Possuem uma ou mais câmaras, em cujo interior o movimento de um órgão propulsor comunica energia de pressão ao líquido, provocando o seu escoamento. Proporciona então as condições para que se realize o escoamento na tubulação de aspiração até a bomba e na tubulação de recalque até o ponto de utilização. (BRASIL, 2013)

As bombas de deslocamento positivo são divididas em alternativas e rotativas:



As bombas alternativas e rotativas são usadas para pressões elevadas e descargas relativamente pequenas, conforme pode-se observar na Figura 7.

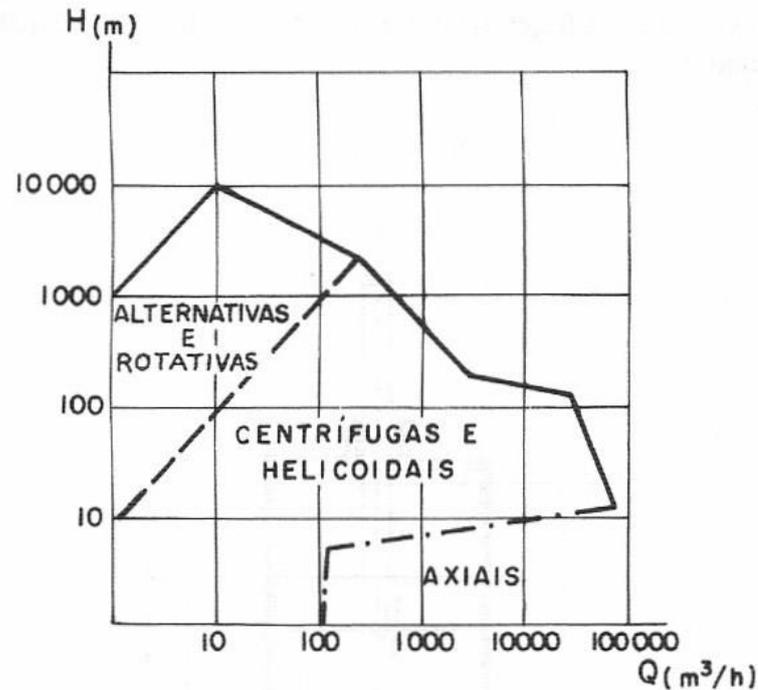


Figura 7: Campo de emprego das bombas. Fonte: SANTOS (2007).

2.3.1.1.1 Características das Bombas Alternativas

Nas bombas alternativas, o líquido recebe a ação das forças diretamente de um pistão ou êmbolo (pistão alongado) ou de uma membrana flexível (diafragma). Podem ser acionadas pela ação do vapor (*steam pumps*) ou por meio de motores elétricos ou também por motores de combustão interna (*power pumps*). (BRASIL, 2013)

Abaixo têm-se as principais bombas alternativas voltadas para filtragem de óleos de média a alta viscosidade:

a) Bomba de Pistão (Figura 8): o órgão que produz o movimento do líquido é um pistão que se desloca, com movimento alternativo, dentro de um cilindro. O princípio de funcionamento é o seguinte. No curso de aspiração, o movimento do pistão tende a produzir vácuo. A pressão do líquido no lado de aspiração faz com que a válvula de admissão se abra e o cilindro se encha; e enquanto isso ocorre, a válvula de recalque mantém-se fechada pela pressão pela própria diferença de pressões. No curso de recalque, o pistão força o líquido, empurrando-o para fora do cilindro, através da válvula de recalque. Mantém-se, neste curso, fechada a válvula de admissão devido à diferença de pressão. Assim, pode-se observar que o movimento do líquido

é efetivamente causado pelo movimento do pistão, sendo da mesma grandeza e tipo do movimento deste. (RAMOS e SILVA, 2009)

As **Vantagens do uso de Bombas de Pistão**, segundo BRASIL (2013):

- (1) Baixo nível de ruído;
- (2) Compensação de pressão e compensação remota de pressão;
- (3) Sensoriamento de carga;
- (4) Baixa pressão de alívio;
- (5) Manter a vazão média;
- (6) Montagens combinadas;
- (7) Utilizada em pressões elevadas e descargas pequenas.

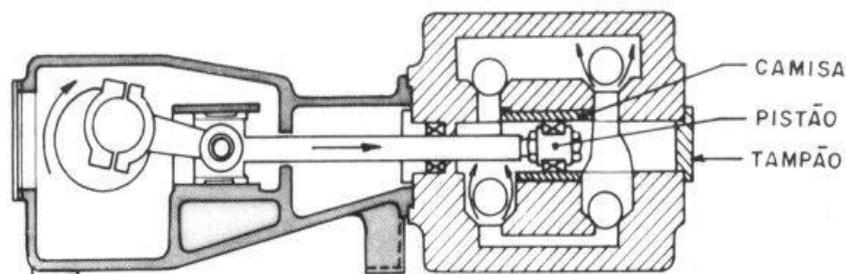


Figura 8: Bomba alternativa de pistão. Fonte: RAMOS e SILVA (2009)

b) Bomba de Êmbolo: Difere da anterior somente pela forma do órgão movimentador. O êmbolo nada mais é que um "pistão alongado". Tem o mesmo princípio de funcionamento e as mesmas aplicações, só que suporta pressões mais elevadas. (RAMOS e SILVA, 2009)

2.3.1.1.2 Características das Bombas Rotativas

Segundo CONCER (2015), a bomba rotativa consta de uma parte móvel girando dentro de uma carcaça. A rotação da parte móvel cria uma cavidade onde o líquido é transportado da sucção para a descarga, por efeito do empurrão dado pelo elemento rotatório.

Neste tipo de bomba, o líquido recebe a ação de forças provenientes de uma ou mais peças dotadas de movimento de rotação que, comunicando energia de pressão, provocam seu escoamento. A ação das forças se faz segundo a direção que é praticamente a do próprio movimento do escoamento do líquido. A descarga e a pressão do líquido bombeado sofrem pequenas variações quando a rotação é constante. (RAMOS e SILVA, 2009)

Abaixo têm-se as principais bombas rotativas voltadas para filtragem de óleos de média a alta viscosidade:

1) Bombas de um só rotor:

a) **Bombas de Palhetas** (Figura 9): Produzem uma ação de bombeamento fazendo com que as palhetas acompanhem o contorno de um anel ou carcaça. O mecanismo de bombeamento de uma bomba de palheta consiste de: rotor, palhetas, anel e uma placa de orifício com aberturas de entrada e saída. Todo o fluído entra e sai do mecanismo de bombeamento através da placa de orifício (as aberturas de entrada e de saída na placa de orifício são conectadas, respectivamente, às aberturas de entrada e de saída na carcaça das bombas). (BRASIL, 2013)

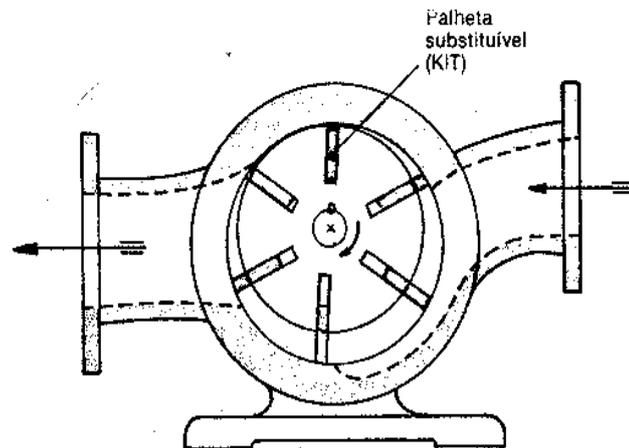


Figura 9: Palhetas deslizantes no rotor. Fonte: BRASIL (2013).

- Vantagens:

- (1) Baixo nível de ruído;
- (2) Fornece uma vazão mais uniforme de óleo que minimizando as oscilações nas linhas dos sistemas hidráulicos;
- (3) Grande tolerância à contaminação do sistema.

2) Bombas de Rotores Múltiplos:

a) **Bombas de Parafusos** (Figura 10): Constam de um, dois ou três "parafusos" helicoidais que têm movimentos sincronizados através de engrenagens. Esse movimento se realiza em caixa de óleo ou graxa para lubrificação. Por este motivo, são silenciosas e sem pulsação. O fluido é admitido pelas extremidades e, devido ao movimento de rotação e aos filetes dos parafusos, que não têm contato entre si, é empurrado para a parte central onde é descarregado. Essas bombas são muito utilizadas para o transporte de produtos de viscosidade elevada. (CONCER, 2015)

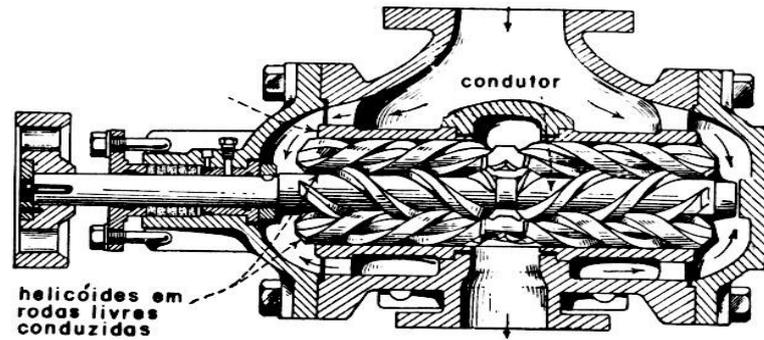


Figura 10: Bomba de três parafusos. Fonte: RAMOS e SILVA (2009).

b) Bombas de Engrenagens: As externas (Figura 11) consistem de duas rodas dentadas, trabalhando dentro de uma caixa com folgas muito pequenas em volta e dos lados das rodas. Com o movimento das engrenagens, o fluido aprisionado nos vazios entre os dentes e a carcaça, é empurrado pelos dentes e forçado a sair pelo lado oposto e assim sucessivamente. Destinam-se ao bombeamento de substâncias líquidas e viscosas, lubrificantes ou não, mas que não contenham particulados ou corpos sólidos granulados. (SANTOS, 2007)

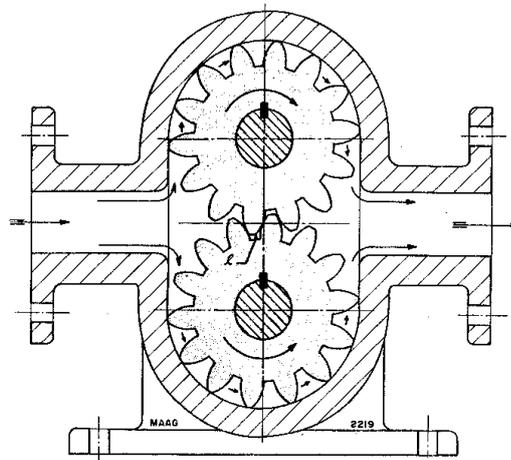


Figura 11: Bomba de engrenagens. Fonte: SANTOS (2007).

As internas (Figura 12) possuem uma roda dentada exterior presa a um eixo e uma roda dentada livre interna acionada pela externa. A cada rotação do eixo da bomba, uma determinada quantidade de líquido é conduzida ao interior da bomba, enchendo os espaços dos dentes da roda motora e da roda livre quando passa pela abertura de aspiração. O líquido é expelido dos espaços entre os dentes em direção à saída da bomba pelo engrenamento dos dentes numa posição intermediária entre a entrada e a saída. (SANTOS, 2007).

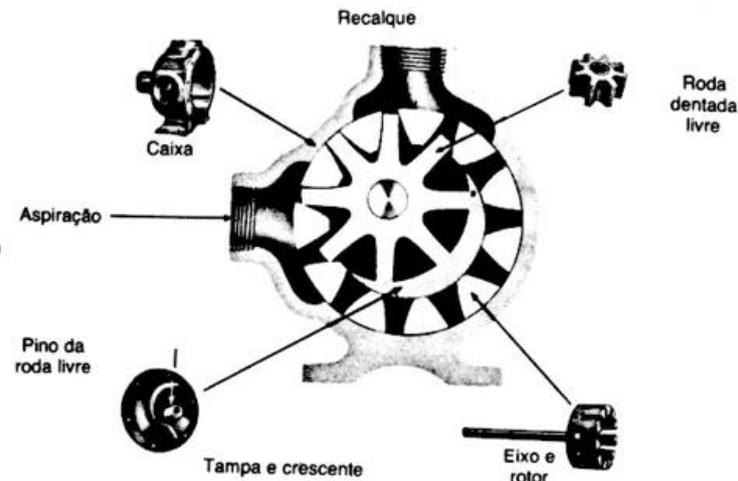


Figura 12: Bombas com engrenagens internas com crescente. Fonte: SANTOS (2007).

- Vantagens:

- (1) Eficiente, de projeto simples;
- (2) Excepcionalmente compacta, leve para sua capacidade e de projeto simples;
- (3) Eficiente à alta pressão de operação e baixas temperaturas;
- (4) Resistente aos efeitos de cavitação;
- (5) Alta tolerância à contaminação dos sistemas;
- (7) Construída com mancal de apoio no eixo;
- (8) Compatibilidade com vários fluidos.
- (9) Em bombeamento de substâncias líquidas e viscosas, lubrificantes ou não, mas que não contenham particulados ou corpos sólidos granulados.

2.3.1.2 Turbobombas ou Bombas Dinâmicas

Em geral, tem seção transversal gradativamente crescente e dependendo do tipo de turbobomba pode ser: de tubo reto (nas bombas axiais); de caixa com forma de caracol ou voluta ou coletor (nas demais bombas). Entre a saída do rotor e do caracol, em certos tipos de bombas, colocam-se palhetas devidamente orientadas (pás diretrizes) para que o líquido que sai do rotor seja conduzido ao coletor com velocidade, direção e sentido tais que a transformação da energia cinética em energia potencial de pressão se processe com um mínimo de perdas por atrito ou turbulências. (RAMOS e SILVA, 2009)

São bombas normalmente utilizadas nas instalações hidráulicas para o transporte de fluidos. Diante disso a importância da vazão aumenta e reduz a pressão em relação às bombas de deslocamento positivo. Nessa bomba não existe vedação mecânica separando a entrada da

saída, por isso ocorre vazamento interno. Esse tipo de recirculação é significativo se o compararmos ao que ocorre na bomba de deslocamento positivo. (SANTOS, 2007)

2.3.2 Válvulas

As tubulações industriais permitem o encaminhamento de produtos líquidos ou gasosos de um equipamento a outro. Esses produtos serão designados, genericamente, de fluidos de trabalho ou simplesmente fluidos. As válvulas, por sua vez, se configuram como acessórios importantes de um sistema de tubulação, permitindo, de acordo com suas características construtivas, a execução de uma ou mais das seguintes atividades: (PETROBRÁS, 2009)

- **Regulagem** da vazão de um produto, adequando-a a uma determinada condição de processo solicitada;
- **Bloqueio** da passagem de um produto, permitindo a remoção de equipamentos para atividades de manutenção;
- **Alívio**, a partir de um valor predefinido, da pressão de um sistema industrial, permitindo o restabelecimento de condições seguras num processo;
- **Alinhamento** de um fluido, de um equipamento a outro, permitindo apenas um sentido de escoamento, isto é, impedindo o seu retorno.

Em muitas situações, dependendo das condições de trabalho (pressão, temperatura e corrosividade), as válvulas são flangeadas, que permite a fácil instalação e remoção desses acessórios. Entretanto, qualquer que seja sua concepção, as válvulas rigorosamente representam pontos de possíveis vazamentos, os quais, se ocorrerem, podem determinar a interrupção de um processo produtivo ou um acidente de grandes proporções. (PETROBRÁS, 2009)

Segundo SILVA TELLES (2012), são os acessórios mais importantes existentes nas tubulações, e que por isso devem merecer o maior cuidado na sua seleção, especificação e localização. A localização das válvulas deve ser estudada com cuidado, para que a manobra e a manutenção das mesmas sejam fáceis e as válvulas sejam realmente úteis.

Outro aspecto importante é que as válvulas, como quaisquer outros acessórios ou componentes de tubulação, introduzem resistência ao escoamento do fluido de trabalho, “perda de carga”, exigindo que equipamentos, como bombas ou compressores, imponham ao sistema aos quais estão ligados pressão suficiente na descarga para produzir o escoamento à custa de maior potência desenvolvida pelos acionadores correspondentes (motores elétricos, turbinas

etc.). Tais perdas de carga dependem da configuração interna da válvula, da sua dimensão e da vazão do fluido nas diversas condições de trabalho. (PETROBRÁS, 2009)

A partir de considerações de SILVA TELLES (2012) e SANTOS (2007), abaixo irá se destacar os tipos mais importantes de válvulas, algumas para uso geral e outras para finalidades específicas.

2.3.2.1 Válvulas de Bloqueio (*block-valves*)

Denominam-se válvulas de bloqueio as que se destinam primordialmente a apenas estabelecer ou interromper o fluxo, isto é, que só devem funcionar completamente abertas ou completamente fechadas. As válvulas de bloqueio costumam ser sempre do mesmo diâmetro nominal da tubulação, e têm uma abertura de passagem de fluido com secção transversal comparável com a da própria tubulação. Não provocam muita perda de carga. Os tipos são:

- Válvulas de gaveta (*gate valves*) (Figura 13a);
- Válvulas de macho (*plug, cock valves*) (Figura 13b);
- Válvulas de esfera (*ball valves*) (Figura 13c);
- Válvulas de comporta (*slide, blast valves*) (Figura 13d).

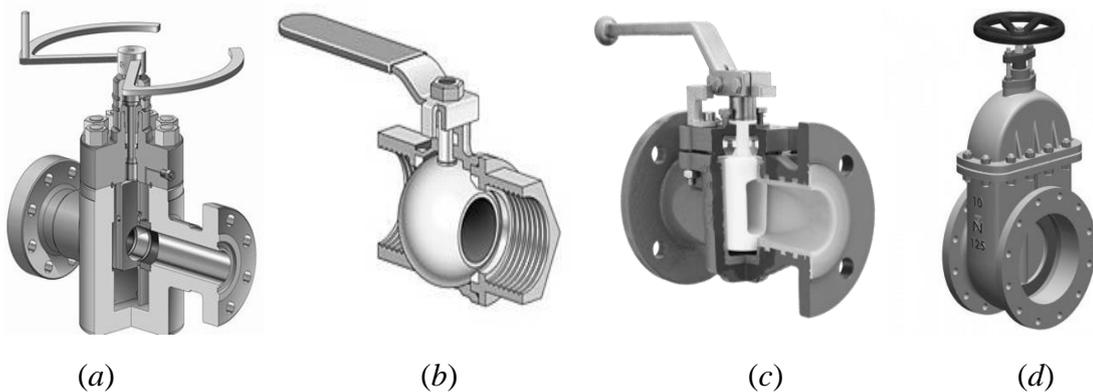


Figura 13: Válvula gaveta (a), válvula de macho (b), válvula de esfera (c) e válvula de comporta (d). Fonte: Catálogo AUTODESK (2009).

2.3.2.2 Válvulas de Regulagem (*throttling valves*)

Válvulas de regulagem são as destinadas especificamente para controlar o fluxo, podendo por isso trabalhar em qualquer posição de fechamento parcial. Devem ser colocadas com critério, pois normalmente provocam muita perda de carga, mesmo que estejam totalmente abertas. Os tipos são:

- Válvulas de globo (*globe valves*) (Figura 14a);
- Válvulas de agulha (*needle valves*) (Figura 14b);

- Válvulas de controle (*control valves*) (Figura 14c);
- Válvulas borboleta (*butterfly valves*) (Figura 14d);
- Válvulas de diafragma (*diaphragm valves*) (Figura 14e).

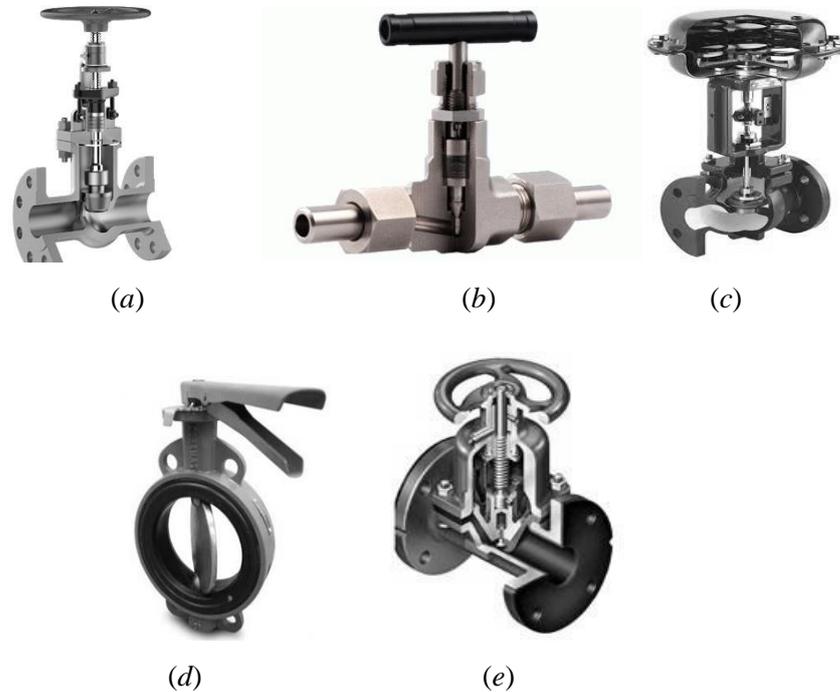


Figura 14: Válvula de globo (a), válvula de agulha (b), válvula de controle (c), válvula borboleta (d) e válvula de diafragma (e). Fonte: Catálogo AUTODESK (2009).

2.3.2.3 Válvulas que Permitem o Fluxo em Um só Sentido (Retenção)

São utilizadas nas saídas das bombas, nas pontas de tubulações de sucção etc. Funcionam automaticamente, sem volante, normalmente com o auxílio da gravidade. Os tipos são:

- Válvulas de retenção (*check valves*) (Figura 15a);
- Válvulas de retenção e fechamento (*stop-check valves*) (Figura 15b);
- Válvulas de pé (*foot valves*) (Figura 15c).

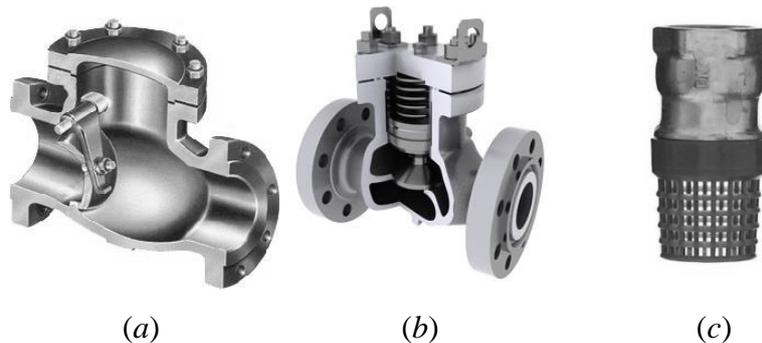


Figura 15: Válvula de retenção (a), válvula de retenção e fechamento (b) e válvula de pé (c). Fonte: Catálogo AUTODESK (2009).

2.3.2.4 Válvulas que Controlam a Pressão (Alívio)

A válvula de alívio é uma espécie de válvula de retenção, no entanto possui uma mola que pressiona o tampão e pode ser regulada. Ao atingir certo valor de pressão a mola é empurrada e o fluido é descarregado. A válvula redutora de pressão também pode ser automática dependendo de um piloto que é acionado pela pressão de montante e pode dar maior ou menor passagem para o fluido em função da pressão desejada jusante. Os tipos são:

- Válvulas de segurança e de alívio (*safety, relief valves*) (Figura 16a);
- Válvulas de contrapressão (*back-pressure valves*) (Figura 16b);
- Válvulas redutoras e reguladoras de pressão (Figura 16c);
- Válvula de quebra-vácuo (ventosas) (Figura 16d).

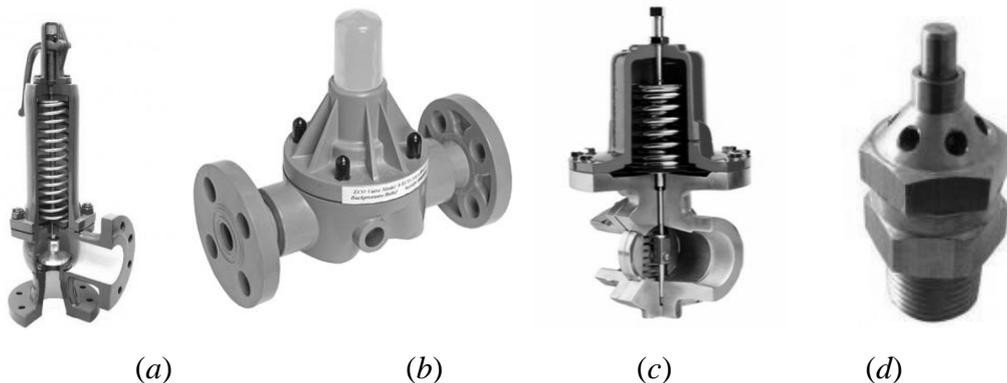


Figura 16: Válvula de segurança e alívio (a), válvula de contrapressão (b), válvula redutora (c) e válvula de quebra-vácuo (d). Fonte: Catálogo AUTODESK (2009).

2.3.3 Filtros Industriais

Os filtros industriais para óleo têm como objetivo realizar a filtração de sólidos e outras substâncias que possam estar presentes no fluido. Esse processo é necessário para que as características do produto sejam mantidas e até mesmo melhoradas. Os filtros atendem as mais críticas condições de aplicação, adequados a cada sistema de operação, com elementos filtrantes de fibras sintéticas e naturais em diferentes micragens.

2.3.3.1 Meios Filtrantes

O meio filtrante é aquela parte do elemento que remove o contaminante. Geralmente o meio filtrante vem em forma de folhas e então é plissado para expor mais área da superfície para o fluxo do fluido. Isto reduz a pressão diferencial enquanto aumenta a capacidade de retenção de contaminantes. O mais comum inclui tela de aço, celulose e compostos da fibra de vidro. Ele é geralmente classificado de superfície ou profundidade. (PARKER, 2015)

1) Tipo Superfície

Para PARKER (2015), no meio filtrante do tipo **superfície**, o fluido basicamente tem um caminho direto para a passagem do meio filtrante. O contaminante é capturado na superfície do elemento onde passa o fluxo do fluido. Visto que o processo usado no entrelaçamento do fio pode ser controlado com a curacidade, os elementos filtrantes de superfície têm um poro de tamanho consistente. Este poro de tamanho consistente é o diâmetro da partícula esférica mais larga que passará através do elemento.

A entrada do contaminante no elemento é simplesmente o processo de bloquear os poros por todo o elemento. Visto que o elemento fica bloqueado com partículas de contaminantes, há poucos poros para o fluxo do fluido e a pressão requerida para manter o fluxo através do meio filtrante aumenta. Inicialmente, a pressão diferencial através do elemento aumenta vagarosamente porque há uma abundância de poros do meio filtrante para o fluido passar, e o processo de bloqueio do poro tem pouco efeito na perda de pressão geral. (PARKER, 2015)

Entretanto, alcança-se um ponto em que sucessivos bloqueios dos poros do meio filtrante reduzem significativamente o número de poros disponíveis para o fluxo do fluido através do elemento. Neste ponto, a pressão diferencial pelo elemento aumenta exponencialmente. A quantidade, o tamanho, a forma e o arranjo dos poros através do elemento são algumas razões para alguns elementos terem vidas mais longas que outros.

Podemos classificar os meios filtrantes de superfícies de acordo com o tipo de fibra de:

- A fibra de vidro permite operar com temperaturas superiores a 100°C com grau de retenção entre 3 e 20 microns com eficiência $B_x = 200$ (99,5%);
- Fibras sintéticas (polipropileno) apresentam grau de retenção de 10 e 20 microns com temperatura de trabalho de 0 a 80°C;
- Fibras naturais de celulose permitem reter partículas entre 5 e 20 microns operando com temperatura máxima de 100°C. com baixa eficiência;
- Já as telas metálicas podem ter grau de retenção variando entre 25 e 430 microns, sendo lavável e reutilizável.

E quanto a sua aplicação, segundo PARKER (2015):

1. Filtro de Linha/Retorno;
2. Filtro de Sucção;
3. Filtro de Pressão;
4. Filtragem Off-line.

a) Filtro de Sucção

Os filtros de sucção servem para proteger a bomba da contaminação do fluido. Eles são localizados antes da conexão de entrada da bomba. Alguns podem ser de tela submersos no fluido. Em ambos os casos, eles usam elementos muito abertos, devido aos limites da cavitação das bombas. Por este motivo, eles não são usados como proteção primária contra a contaminação. Alguns fabricantes de bombas não recomendam o uso do filtro de sucção. Na Figura 17 é ilustrada a localização do filtro de sucção.



Figura 17: Filtro de sucção. Fonte: HYDAC (2014).

b) Filtro de Pressão

Os filtros de pressão são localizados após a bomba. São projetados para proteger o sistema de pressão e dimensionados para uma faixa específica de fluxo na linha de pressão. Localizados logo após a bomba, eles também protegem o sistema todo da contaminação gerada pela bomba, como demonstrado na Figura 18.



Figura 18: Filtro de pressão. Fonte: HYDAC (2014).

c) Filtro de Retorno

Quando a bomba é um componente sensível no sistema, o filtro de retorno pode ser a melhor escolha. Na maioria dos sistemas, o filtro de retorno é o último componente pelo qual passa o fluido antes de entrar no reservatório. Assim, captura sedimentos do desgaste dos componentes do sistema e partículas que entram através das vedações do cilindro antes que tais contaminantes possam entrar no reservatório e serem circulados.

Em alguns casos, cilindros com largos diâmetros da haste podem resultar em multiplicação do fluxo. O aumento da faixa do fluxo na linha de retorno pode levar a válvula by-pass a ser aberta, permitindo que o fluxo não filtrado passe para o lado filtrado. Isto pode ser indesejável e deve-se tomar cuidado no dimensionamento do filtro. Na Figura 19, é ilustrado a localização do filtro de retorno.



Figura 19: Filtro de retorno. Fonte: HYDAC (2014).

Também referida como re-circulação, ou filtragem auxiliar, este sistema é totalmente independente de um sistema hidráulico principal de uma máquina.

d) Filtragem *Off-line*

A filtragem *off-line* consiste de uma bomba, filtro, motor elétrico e os sistemas de conexões. Estes componentes são instalados fora da linha como um pequeno subsistema separado das linhas de trabalho ou incluído em um de resfriamento. O fluido é bombeado fora do reservatório através do filtro e retorna para o reservatório em um ciclo contínuo. Com este efeito “polidor”, a filtragem *off-line* é capaz de manter um fluido em um nível constante de

contaminação. Como com o filtro da linha de retorno, este tipo de sistema adequa-se melhor para manter a pureza, mas não fornece proteção específica aos componentes (Figura 20).

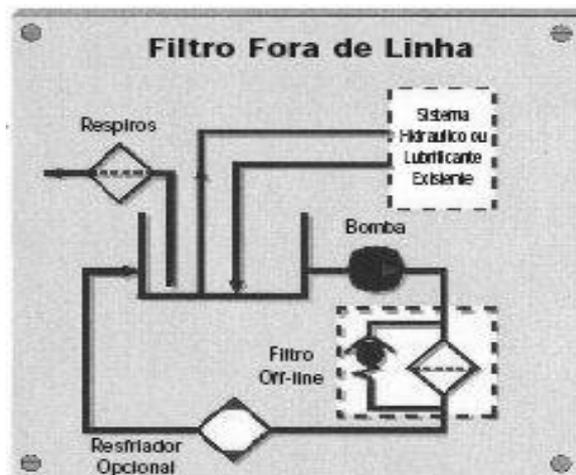


Figura 20: Filtro *off-line*. Fonte: HYDAC (2014).

2) Tipo Profundidade

Para tipos de meio filtrantes de **profundidade**, segundo PARKER (2015), o fluido deve tomar caminhos indiretos através do material que forma o meio filtrante. As partículas são depositadas nas aberturas em forma de labirinto por todo o meio filtrante. Por causa de sua construção, um meio filtrante tipo profundo tem muitos poros de vários tamanhos. Dependendo da distribuição dos tamanhos dos poros, este meio filtrante pode ter uma alta faixa de captura de partículas com tamanhos pequenos.

A natureza do meio filtrante e o processo de entrada do contaminante no elemento do filtro explicam porque alguns elementos duram muito mais do que outros. Em geral, o meio filtrante contém milhões de pequeníssimos poros formados pelas fibras do meio filtrante. Os poros têm um faixa de diferentes tamanhos e são interconectados por todas as camadas do meio filtrante para formar um caminho tortuoso para o fluxo do fluido. (PARKER, 2015)

Os dois tipos básicos de meio filtrante de profundidade que são usados para elementos de filtros, são celulose e fibra de vidro. Os poros no meio filtrante de celulose tendem a ter uma vasta faixa de tamanhos e são muito irregulares em formas, devido ao tamanho e forma irregulares das fibras. Em contraste, o meio filtrante de fibra de vidro consiste de vários tamanhos de fibras que são muito uniformes em tamanho e forma. As diferenças típicas das fibras contam para a vantagem de desempenho do meio filtrante de fibra de vidro. Além do mais, fibras mais finas podem ser arranjadas mais perto uma das outras para produzir poros menores para filtragem fina. (PARKER, 2015)

Como resultado a capacidade de retenção de contaminante, assim como a eficiência da filtração é aumentada. Na Figura 21 é ilustrada a construção típica das fibras.

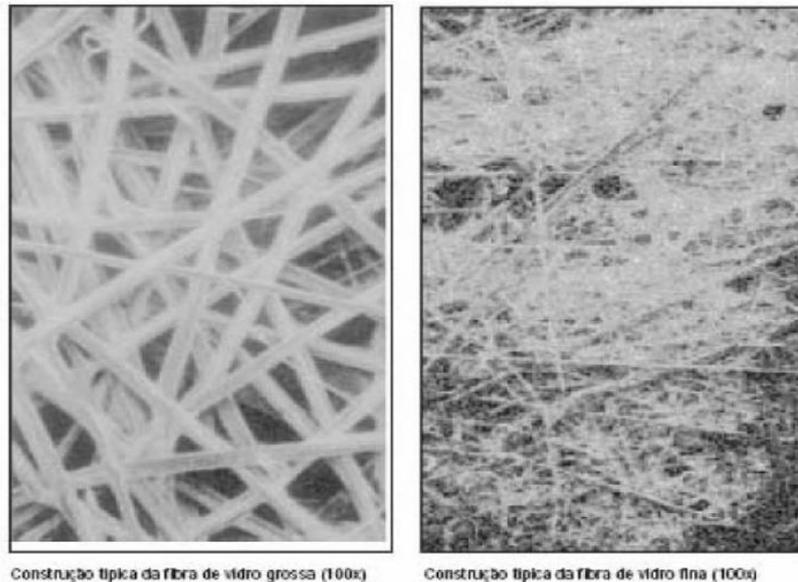


Figura 21: Fibras de vidro. Fonte: HYDAC (2014).

2.3.3.2 Vida do Elemento Filtrante

Todo elemento tem uma relação de diferencial de pressão característico versus entrada de contaminante. Este relacionamento pode ser definido como o “perfil da vida do elemento”. O perfil real da vida é obviamente afetado pelas condições do sistema operante. Variações no fluxo do sistema e a viscosidade do fluido afetam o diferencial de pressão para o elemento limpo e têm um efeito bem definido sobre o perfil real da vida do elemento. (PARKER, 2015)

Na Figura 22 tem-se exemplos de elementos filtrantes:



Figura 22: Elementos filtrantes. Fonte: HYDAC (2014).

É muito difícil avaliar o perfil de vida do elemento nos sistemas de operações reais. O sistema operante versus o tempo em operação suave, o ciclo de trabalho e a mudança das condições ambientais de contaminação afetam o perfil de vida do elemento. Além do mais, a instrumentação de alta precisão para reportar as variações na perda de pressão do elemento está raramente disponível. A maioria dos usuários e projetistas de máquinas simplesmente especificam a carcaça do filtro com indicadores de pressão diferencial para avisar quando o elemento deve ser substituído. (PARKER, 2015)

Como já mencionado, tais condições de operação como: vazão de fluxo e viscosidade do fluido afetam o perfil de vida para um elemento. Os elementos que são fabricados de meio filtrante de celulose, de fibra de vidro de uma só camada e de várias camadas, têm todos um perfil de vida diferente. A Figura 23 faz um comparativo de três meios filtrantes com configurações mais comuns mostra claramente a vantagem de vida do elemento de fibra de vidro de múltiplas camadas. (PARKER, 2015)

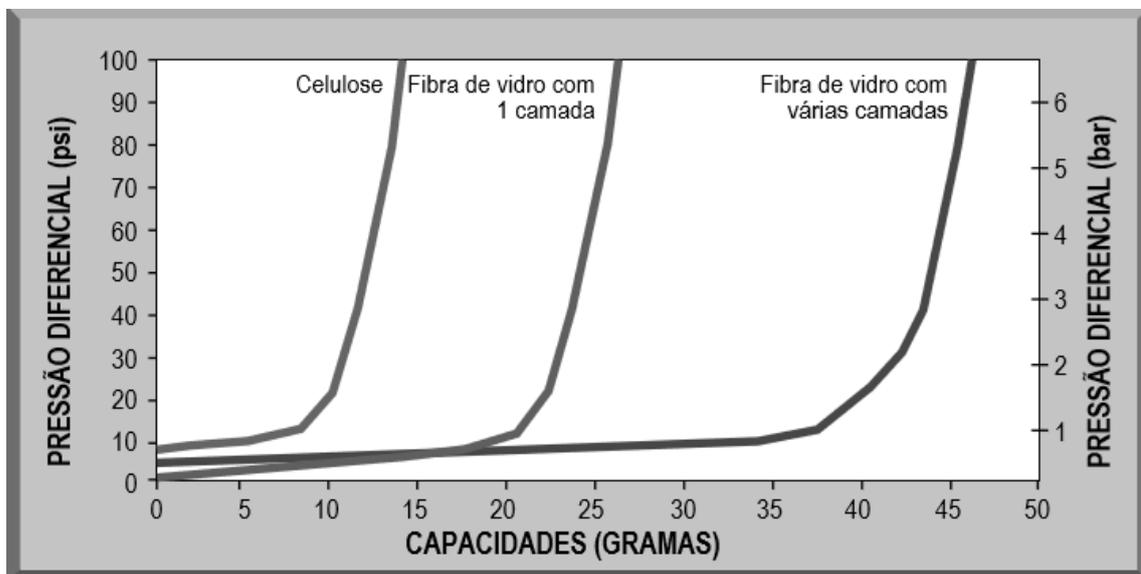


Figura 23: 3 meios filtrantes distintos de capacidades em relação à pressão diferencial. Fonte: PARKER (2015).

2.3.3.3 O Teste de Múltipla Passagem

A indústria de filtragem usa os procedimentos da ISO 4572 “Procedimento para Teste de Múltipla Passagem” para avaliar o desempenho do elemento de filtro. Este procedimento é também reconhecido pela ANSI (*American National Standards Institute*) e NFPA (*National Fluid Power Association*). (PARKER, 2015)

Durante o Teste de Múltipla Passagem, o fluido circula através do circuito sob condições precisamente controladas e monitoradas. A pressão diferencial pelo elemento de teste é

continuamente anotada, conforme uma quantidade de contaminante constantemente injetado no lado do óleo não filtrado do elemento, como é mostrado na Figura 24. (PARKER, 2015)

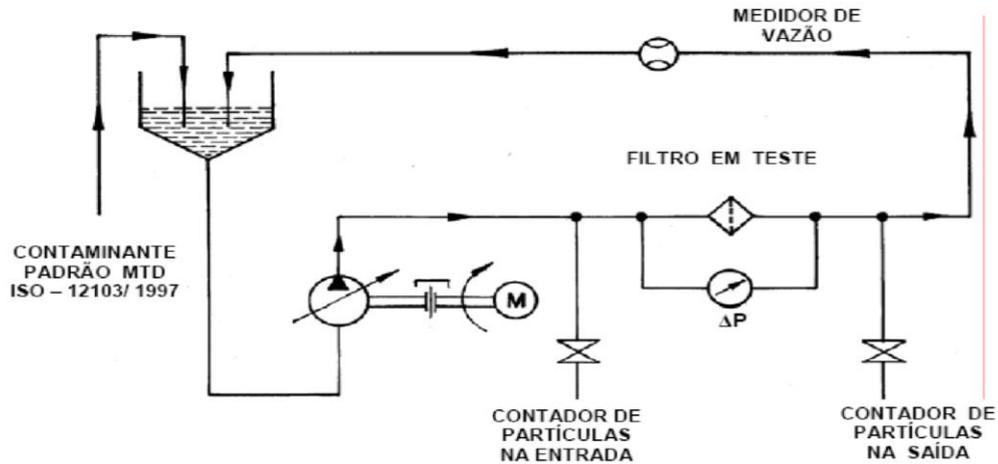


Figura 24: Teste de filtros. Fonte: HYDAC (2014).

Sensores de partículas à laser determinam os níveis de contaminantes no lado filtrado e não filtrado do elemento de teste. Este atributo de desempenho (Razão Beta) é determinado para vários tamanhos de partículas. Três importantes características de desempenho do elemento são resultado do Teste de Múltipla Passagem, segundo PARKER (2015):

- Capacidade de retenção de contaminante;
- Diferencial de pressão de elemento de filtro de teste;
- Eficiência de filtragem ou separação, expressada como “Razão Beta”.

2.3.3.4 Razão Beta

A Razão Beta, também conhecida como a razão filtragem, é a medida da eficiência de captura de partículas por um elemento de filtro. Ela é, portanto, uma razão de desempenho e é calculada pela fórmula na Figura 25. (PARKER, 2015)

$$B_x = \frac{\text{N}^\circ \text{ de partículas lado não filtrado}}{\text{N}^\circ \text{ de partículas lado filtrado}}$$

"x" está em um tamanho de partícula específico

$$B_{10} = \frac{50.000}{10.000} = 5$$

Figura 25: Fórmula da Razão Beta. Fonte: PARKER (2015).

O exemplo poderia ser lido: Beta 10 é igual a 5. Agora, um número de Razão Beta sozinho significa muito pouco. Ele é um passo preliminar para achar-se a eficiência de captura de contaminante pelo filtro. Esta eficiência, expressada como percentual, pode ser encontrada através de uma simples equação mostrada na Figura 26.

$$\begin{aligned} \text{Eficiência}_x &= \left(1 - \frac{1}{\text{Beta}}\right) 100 \\ \text{Eficiência}_{y_{10}} &= \left(1 - \frac{1}{5}\right) 100 \\ &= 80\% \end{aligned}$$

Figura 26: Fórmula da eficiência. Fonte: PARKER (2015).

Então, no exemplo, o filtro testado possui 80% de eficiência ao remover 10 micra e partículas maiores. Para cada 5 partículas introduzidas no filtro nesta faixa de tamanho, 4 eram retiradas pelo meio filtrante do filtro. Quando um filtro possui eficiência maior que 99%, a filtração é chamada de absoluta.

A Razão Beta/tabela de eficiências (Tabela 8) mostra alguns números Razão Beta comuns e suas correspondentes eficiências:

Tabela 8: Razão Beta/eficiência.

Razão Beta/Eficiências	
Razão Beta (a um tamanho de partícula estipulado)	Eficiência de separação (o mesmo tamanho de partícula)
1,01	1,0%
1,1	9,0%
1,5	33,3%
2,0	50,0%
5,0	80,0%
10,0	90,0%
20,0	95,0%
75,0	98,7%
100	99,0%
200	99,5%
1000	99,9%

Fonte: PARKER (2015).

2.4 Propriedade dos Fluidos

2.4.1 Pressão

Segundo POTTER (2012), a pressão é resultado da força de compressão normal à área em que é aplicada Figura 27. A pressão p é definida na equação 1:

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A} \quad (1a)$$

Onde ΔF_n é o potencial da força nominal e ΔA é o potencial da área.

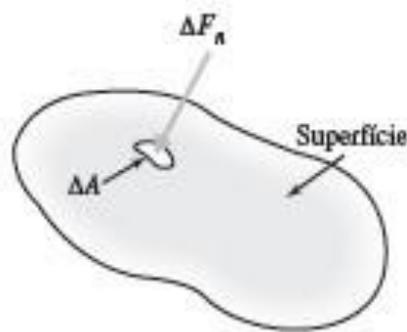


Figura 27: Definição de Pressão. Fonte: POTTER (2012).

Segundo BRUNETTI (2008), pode-se calcular pelo teorema de Stevin a pressão de um fluido estático como sendo:

$$p_{st} = \rho gh \quad (1b)$$

Onde p_{st} é a pressão estática, ρ é a massa volumétrica, g é a gravidade e h a altura. A pressão total, p_{tot} , é definida como:

$$p_{tot} = p_{st} + 2\rho v^2 \quad (1c)$$

Onde v é a velocidade do fluido.

2.4.2 Vazão Volumétrica

Segundo FOX (2006), a vazão volumétrica que flui através de uma seção em uma data superfície de controle de área A pode ser calculada como ilustrada na equação 2:

$$Q_v = \int_A \vec{V} d\vec{A} \quad (2)$$

A segunda equação 3 é obtida quando se considera a velocidade como sendo a média:

$$\bar{V} = \frac{Q_v}{A} \quad (3)$$

Onde, Q_v é a vazão volumétrica, \bar{V} é a velocidade média e A é a área.

2.4.3 Viscosidade

Segundo WHITE (2011) viscosidade é uma medida quantitativa da resistência de um fluido ao escoamento. Mais especificamente, ela determina a taxa de deformação do fluido que é gerada pela aplicação de uma dada tensão de cisalhamento.

A lei de Newton da viscosidade, segundo BRUNETTI (2008), afirma uma proporcionalidade existente entre a tensão de cisalhamento devido à aplicação de uma força ao fluido e taxa de variação da velocidade em relação a um eixo perpendicular à direção do escoamento. O coeficiente é comumente indicado por μ e denomina-se viscosidade dinâmica ou absoluta, logo a lei de Newton é indicada na equação 4:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (4)$$

Onde τ é a viscosidade dinâmica, v é a velocidade e y é o eixo perpendicular.

Ainda segundo BRUNETTI (2008) pode-se dizer, de maneira simples, que a viscosidade dos fluidos é originada na coesão entre as moléculas e os choques entre elas. A viscosidade, portanto, não é uma propriedade observável em um fluido em repouso. No entanto, com o fluido em movimento ela faz sentir seu efeito, criando as condições para equilibrar as forças externas. O fluido que respeita a lei de Newton é chamado de fluido newtoniano.

Com relação à temperatura, a viscosidade de fluidos possui uma correlação, onde em líquidos a viscosidade diminui com o aumento da temperatura e em gases ela aumenta com o aumento de temperatura.

Seguindo com BRUNETTI (2008), é convenientemente usado o quociente a seguir na equação 5, para referir-se à viscosidade cinemática, ν :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (5)$$

Onde μ é a viscosidade dinâmica e ρ é a massa volumétrica.

2.4.4 Número de Reynolds

VILANOVA (2011) menciona e resume o estudo do cientista britânico, Osborne Reynolds, acerca de escoamento em tubos ou dutos. Reynolds, utilizando um experimento simples, adaptou uma sonda de corante em um tubo transparente, na intenção de introduzir um elemento de contraste no escoamento, a fim de verificar suas condições. Através do

experimento o cientista observou comportamentos diferentes, quando variava as características do tubo, do fluido e do escoamento. Para identificar o tipo de escoamento, Reynolds propôs um parâmetro adimensional conhecido como número de Reynolds. O número de Reynolds para tubos circulares é calculado na equação 6:

$$Re_D = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (6)$$

Onde, ρ é massa específica, μ é a viscosidade; D o diâmetro do tubo e V é a velocidade média do escoamento.

Dotados do cálculo do número de Reynolds, pode-se chegar ao tipo de escoamento:

- $Re_D < 2100$ – Escoamento Laminar;
- $2100 < Re_D < 4000$ – Escoamento de Transição;
- $Re_D > 4000$ – Escoamento Turbulento.

Segundo WHITE (2011), é seguro considerar $Re_{D,crit}$ como o valor de 2100 para Reynolds calculado em tubos e mangueiras comerciais, ou seja, o limite superior do regime laminar.

2.4.5 Equação da Continuidade

A partir de WHITE (2011) tem-se a equação da continuidade (Equação 7) como um conceito básico de destaque na análise de fluidos, onde sua equação de forma geral pode ser escrita na seguinte disposição diferencial:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (7)$$

Onde $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ é a variação de massa com o tempo dentro do volume de controle e $\nabla \cdot (\rho V)$ é o fluxo líquido de massa através das fronteiras do volume de controle.

Ainda segundo WHITE (2011), ao aplicar as fórmulas de escoamento em tubos para problemas práticos, é de costume usar uma análise de volume de controle. Em escoamentos dessa natureza, quando consideramos entre as seções 1 e 2 de um tubo de área transversal constante nesses pontos, fluxo unidimensional, fluido incompressível, regime permanente, a expressão pode ser interpretada na equação 8.

$$Q_1 = Q_2 = cte \quad (8)$$

Onde Q_1 é a vazão no ponto 1 e Q_2 é a vazão no ponto 2.

2.4.6 Conservação de Energia – Bernoulli

Segundo WHITE (2011) e FOX (2006), através da equação de conservação de energia para fluidos, a equação de Bernoulli é deduzida. Escrita sob algumas hipóteses simplificadoras, a equação costuma ser usada para fazer análises de volumes de controle com certas condições especificadas e também é usada para representar com boa confiança problemas práticos de engenharia. Dentre suas variadas disposições, WHITE (2011) apresenta a seguinte forma (Equação 9):

$$\left(\frac{p}{\rho V} + \alpha \frac{V^2}{2g} + z\right)_1 = \left(\frac{p}{\rho V} + \alpha \frac{V^2}{2g} + z\right)_2 + h_l \quad (9)$$

Onde h_l representa a perda de carga que será apresentada adiante, α a condição do escoamento com relação a sua região onde considera-se o valor $\alpha = 1$ para escoamento plenamente desenvolvido, p é a pressão ao longo, V é a velocidade do fluido ao longo do conduto e z é a altura do ponto médio do conduto até a base.

Segundo BRUNETTI (2008), a equação 9 descrita tem a validade condicionada as seguintes hipóteses: regime permanente, sem máquina no trecho de estudo, propriedades uniformes nas seções, fluido incompressível, sem trocas de calor. Cada termo corresponde a um tipo de energia atribuída ao fluido naquela seção, onde a soma dos termos de cada seção pode ser denotada por H como a representação de energia total do estado em unidades de comprimento. A definição de energia total é de fundamental importância para analisarmos escoamentos com a presença de máquinas hidráulicas e ou térmicas, por exemplo. Logo, resume-se a equação 9, na equação 10.

$$H_1 = H_2 + h_l \quad (10)$$

2.4.7 Perda de Carga

Segundo considerações de MUNIZ (2014), a perda de carga é usualmente definida como a perda de energia do fluido ocasionado pelo escoamento. Ela é comumente dividida em duas fontes, a primeira está relacionada a perdas de carga normal h_n e a segunda a perda de carga localizada h_l .

A perda de carga normal é definida como a perda dada pelo atrito do fluido com as paredes do duto. Já a perda de carga localizada, é gerada por descontinuidades na linha, provocando alterações no escoamento do fluido. Será estudada cada uma separadamente, com

o propósito de determinar a perda de carga total do sistema. A perda de carga total do sistema é dada pela equação 11, considerando a equação de Bernoulli, a saber:

$$h_p = h_n + h_l \quad (11)$$

Onde, h_p é H_1 e h_n é H_2 .

2.4.7.1 Perda de Carga Distribuída

A perda de carga normal em um duto pode ser avaliada por meio da relação de Darcy Weisbach. Por meio dela, se relaciona o comprimento da tubulação, a sua rugosidade, bem como as características do escoamento no duto de acordo com a equação 12 (MUNIZ, 2014):

$$h_n = f \frac{LV^2}{2Dg} \quad (12)$$

Onde, f é o fator de atrito, L é o comprimento do duto, D o diâmetro e g a gravidade.

O fator de atrito, segundo MUNIZ (2014) é uma característica construtiva do conduto e pode ser avaliada de acordo com o regime de escoamento do duto. Têm-se as seguintes relações:

a) Escoamento laminar

Quando o escoamento se dá de forma laminar, o fator de atrito (f) pode ser aproximado por meio de uma relação experimental com o número de Reynolds (Re), representada pela seguinte expressão, segundo o escoamento de Poiseuille (Equação 13):

$$f = \frac{64}{Re} \quad (13)$$

O intervalo de validade desta expressão, porém, é pequeno. Isso ocorre, pois o erro se torna maior conforme o número de Reynolds aumenta. Assim, para aplicação desta expressão, o intervalo deve ter $Re < 2000$.

b) Escoamento turbulento

O fator de atrito, no escoamento turbulento, tem seu cálculo simplificado quando se utiliza a equação de Colebrook-White. Esta é a melhor aproximação para o transiente do escoamento, ou seja, é a que melhor aproxima o fator de atrito nas zonas de transição e de escoamento turbulento desenvolvido, de acordo com a equação 14.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k}{D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (14)$$

Onde, k/D é a rugosidade relativa da tubulação.

c) Diagrama de Moody

A fim de facilitar a determinação do fator de atrito de uma tubulação para diversos padrões de escoamento, adotou-se um diagrama, diagrama de Moody. Este diagrama possui uma escala duplamente logarítmica que define o fator de atrito de acordo com a rugosidade relativa da tubulação e com o número de Reynolds do escoamento interno. O diagrama é gerado através da plotagem de diversas condições da equação de Colebrook-White. Ele se encontra disponível no Anexo A deste trabalho e será utilizado para a determinação do fator de atrito do escoamento como simplificação à utilização das equações citadas anteriormente.

2.4.7.2 Perda de Carga Localizada

A perda de carga localizada é aquela associada às descontinuidades da tubulação, sendo gerada no escoamento pela perturbação. A expressão geral para a perda de carga localizada pode ser expressa pela equação 15 (MUNIZ, 2014):

$$h_l = K \frac{V^2}{2g} \quad (15)$$

Onde, K é o expoente associado ao acidente, V a velocidade de escoamento e g a gravidade.

2.4.7.3 Método do Comprimento Equivalente ou Virtual

Neste caso, cada perda localizada foi substituída por um comprimento equivalente de uma única tubulação reta que, por sua vez, possua a mesma perda de carga associada a ela. A perda de carga da tubulação, deste modo, pode ser calculada com o auxílio da equação 16 (MUNIZ, 2014):

$$h = f \frac{LV^2}{2Dg} \quad (16)$$

Onde, f é o fator de atrito, V é a velocidade de escoamento, g a gravidade, D o diâmetro e L o comprimento da tubulação.

Esta substituição facilita o cálculo da perda de carga global de uma linha, pois foram acopladas as diversas perdas de carga em apenas um fator (fator de atrito). As tabelas de perda de carga dos diversos acidentes presentes na linha deste projeto constam no Anexo B.

2.5 Propriedades da Bomba

Segundo MUNIZ (2014, pode-se dimensionar a bomba através de curvas que permitem avaliar o desempenho da bomba em diversas condições de uso. Uma das grandes vantagens deste método é a análise gráfica simplificada para diversas situações de carregamento das bombas. Os gráficos mais importantes serão vistos a seguir.

2.5.1 Curva Head x Vazão

Esta curva, visto na Figura 28, permite determinar a vazão atingida pela bomba para determinadas situações de carregamento do sistema. Com este método, pode-se obter, por exemplo, o tempo de enchimento, de pressurização, ou o volume deslocado por uma bomba ao longo do tempo. Para se determinar as características de operação da bomba para cada determinado ponto, é importante localizar o ponto de trabalho da bomba, no qual há o equilíbrio da energia necessária pelo sistema e a energia fornecida pela bomba.

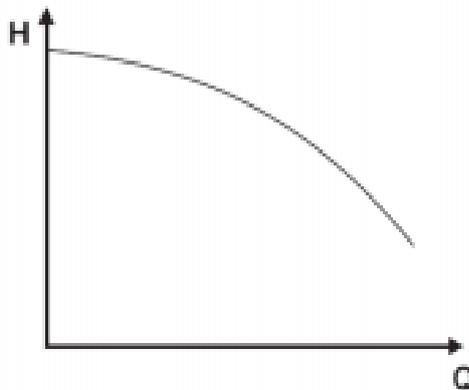


Figura 28: Curva Head vs. Vazão de uma bomba. Fonte: Autor.

2.5.2 Potência Absorvida x Vazão

É a curva que mostra como a potência absorvida, P_{abs} , pelo conjunto varia de acordo com a vazão dada pela bomba. Geralmente, as potências consumidas pelas bombas são proporcionais às vazões. Existe também um método analítico para determinar a potência absorvida através da equação 17:

$$P_{abs} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad (17)$$

Onde, γ é o peso específico de fluido bombeado, H é o Head demandado pelo sistema, fornecido pela bomba, e η é o rendimento global do conjunto.

Aqui, vale ressaltar o conceito de energia cedida ao fluido, $P_{fluid.}$, que é o trabalho acrescentado à energia do fluido. Ela difere da potência absorvida, equação 17, do conjunto motor apenas na questão de não levar em consideração a eficiência do mesmo. Assim, obtém-se a equação 18:

$$P_{fluid.} = \gamma \cdot Q \cdot H \quad (18)$$

Onde, γ é o peso específico de fluido bombeado, H é o Head demandado pelo sistema, fornecido pela bomba, e Q é a vazão requerida.

2.5.3 Curva de Rendimento x Vazão

O rendimento é determinado por meio da razão entre as potências absorvidas pelo conjunto (P_{abs}) e a potência cedida ao fluido ($P_{fluid.}$). Sua análise é fundamental para determinar o melhor ponto de trabalho de um sistema, com o intuito de economizar energia. Algebricamente, o rendimento global, η_{global} , é definido na equação 19:

$$\eta_{global} = \frac{P_{fluid.}}{P_{abs}} \quad (19)$$

Assim, se há energia absorvida pelo conjunto motor e levando em consideração suas perdas, como também há a energia cedida ao fluido, pode-se determinar a eficiência global da bomba em transformar energia de acionamento em energia de fato cedida ao fluido. Graficamente, Figura 29, obtém-se:

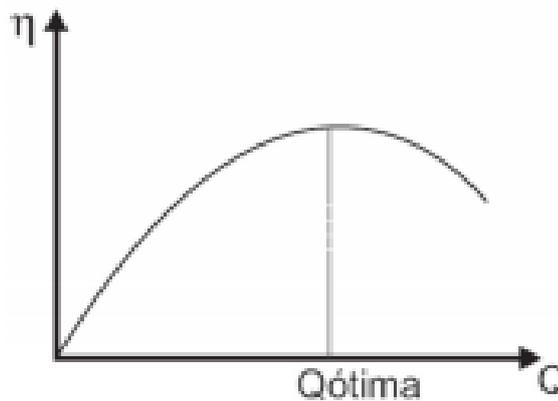


Figura 29: Curva de eficiência vs. Vazão. Fonte: Autor.

Capítulo 3

Materiais e Metodologia

3.1 Descrição do Sistema de Filtragem

O sistema de filtragem faz um trabalho de limpeza no fluido de turbina e de sistema hidráulico e apresenta como principal agente ativo um filtro. O filtro pode ser trabalhado de diversas maneiras durante o processo e pode ser de diferentes tipos e composições. Todo o sistema apresenta elementos mecânicos e acessórios, que serão responsáveis pelo transporte do óleo dentro do processo, além de não deixar que o óleo fique em contato com o meio externo.

Pode-se então verificar a total importância de se ter um sistema compatível com o objetivo final do óleo, na qual a filtragem ocorra de maneira eficiente e de acordo com as normas a serem aplicadas. É importante ressaltar, que impor todas essas análises físicas e químicas do sistema e do óleo, é para se ter total certeza de que o óleo ao ser aplicado no equipamento hidráulico, turbina, venha atingir seus objetivos.

O óleo lubrificante extra-filtrado trará em sua aplicabilidade um maior desempenho ao equipamento, onde terá uma maior longevidade, menor desgaste de seus componentes, menos oxidação e corrosão e menor abrasão. Além disso, melhora no trabalho mecânico e resistência, uma maior produtividade do equipamento, e um dos principais, redução de custos operacionais.

3.1.1 Considerações do Antigo Projeto

3.1.1.1 Equipamento de Filtração

O equipamento base de filtração é um carrinho, no qual é composto por elementos mecânicos (filtro-bomba) sobre a sua base/carcaça, e que pode ser movimentado dependendo da disposição do processo de filtragem. Tais elementos mecânicos, são:

- **Motor elétrico;**
- **Bomba hidráulica:** transporta o fluido e impulsiona sua passagem pelo filtro;
- **Filtro industrial:** é um compartimento disposto de um elemento filtrante.

Portanto, o equipamento de filtração apresenta um conjunto composto por basicamente, motor, bomba e compartimento de filtro, além de válvulas de amostragem, tubulações, manômetro e de outros componentes. Sua principal funcionalidade é a filtragem do óleo lubrificante que é transportado em seu interior, mas também tem a função apenas de transporte

do fluido (óleo) de um local de armazenamento para outro. Para o seu funcionamento, é necessária sua ligação na energia elétrica do local, e a devida posição de seu botão *on/off*.

Ela apresenta duas saídas, acopladas por machos e/ou fêmeas em mangotes, conforme a Figura 52. Um mangote se conecta na entrada da bomba e o outro na saída do compartimento do filtro. Este compartimento serve para a colocação do filtro de 5 microns e a passagem do óleo por ele para atender ao indicador de partículas necessário. Pode ser retirado através de 2 (dois) drenos, amostras do óleo. Um dreno se encontra depois do filtro e o outro antes.

Abaixo será apresentado os principais responsáveis pela extra-filtragem dos óleos lubrificantes, os equipamentos que têm por finalidade o transporte e filtração do óleo.

- a. Motor Elétrico:** WEG 10CV Monofásico Blindado Alta Rotação II Polos fabricado em ferro fundido. Dispõem de carcaça com invólucro fechado que permite aos motores que operem em bombas em ambientes, úmidos ou empoeirados (Figura 30 e Tabela 9).



Figura 30: Motor Elétrico WEG 10CV Monofásico Blindado Alta Rotação II Polos. Fonte: WEG.

Tabela 9: Dados técnicos do motor elétrico.

DADOS TÉCNICOS	
Norma	ABNT NBR 17094
Potência	7.5 kW (10 HP-cv)
Frequência	60 Hz
Polaridade	2 Polos
Rotação Nominal	1760 RPM
Tensão Nominal	220/380/440 V
Forma Construtiva	B34D
Refrigeração	IC411 – TFVE
Grau de Proteção	IP55 – Proteção relativa contra poeira e contato a partes internas ao invólucro e protegido contra jatos de água
Nível de Ruído	72.0 dB(A)

Fonte: WEG.

- b. Elemento Filtrante:** HDA 114243 – FP100 03FV. É um filtro de pressão, e não deve possuir válvula by-pass. Fica acoplado (embutido) em um compartimento presente no conjunto de filtração, na qual pode ser trocado a qualquer momento, desde que o processo esteja desligado, conforme é ilustrado na Figura 31 e Tabela 10.



Figura 31: Filtro HDA. Fonte: HDA (2004).

Tabela 10: Dados técnicos do elemento filtrante.

DADOS TÉCNICOS	
Pressão de Colapso	>140 bar diferencial
Material	Microfibra inorgânica (absoluta)
Micragem	3 microns
Temperatura Máxima	95°C

Fonte: HDA (2004).

- c. Conjunto de filtração:** PALL Corporation EP332/0713. Nele se encontram os elementos mecânicos, componentes e conexões, conforme ilustrado na Figura 32 e Tabela 11.



Figura 32: Carrinho de filtração PALL. Fonte: Autor.

Tabela 11: Dados técnicos do conjunto de filtração.

DADOS TÉCNICOS	
Vazão	110 LPM
Voltagem	220/380/440 V
Pressão de Projeto	7 bar/104 psi
Temperatura de Projeto	40°C

Fonte: Equipamento em estudo.

3.1.1.2 Componentes, Acessórios e Insumos

Os componentes, acessórios e insumos utilizados no processo de extra-filtragem tem como características dar sustentabilidade e apoio, na qual será ilustrado a seguir:

- a. Contador de Partículas:** instrumento analítico de bancada LaserNet Fines LNF-C (BP 208.001.100.0) (Figura 33 e Tabela 12). Utilizado para avaliação das análises, contando o tamanho das partículas de impureza presentes no óleo, conforme as normas ISO, NAS. Fica localizado no laboratório.

**Figura 33:** Classificador e contador de partículas. Fonte: Autor.**Tabela 12:** Dados técnicos do contador de partículas.

DADOS TÉCNICOS	
Tempo de Preparação	2,5 min
Tempo de Análise	3 min
Resultado	Quantitativo
Máximo de Análise	Até 20 microns

Fonte: Equipamento em estudo.

b. Tanque de Trabalho: é o compartimento que recebe o produto para ser filtrado, na qual se conecta a ele o equipamento filtro-bomba (carrinho de filtração) para o processo de filtragem. É utilizado um tanque portátil offshore (Figura 34, Tabela 13) da TIGER RENTANK, bastante aplicado em transporte de produtos químicos.



Figura 34: Tanque de trabalho para óleo lubrificante. Fonte: Catálogo TIGER.

Tabela 13: Dados técnicos do tanque de trabalho.

DADOS TÉCNICOS	
Capacidade	5.000 L
Dimensão	3000x2270x2270 (mm)
Faixa de Temperatura	-10°C à 70°C
Pressão Máxima de Trabalho	177 kpa
Material	Aço inox com estrutura galvanizada a fogo. AISI 304
Formato	Cilindro horizontal
Tara	2146 kg
MGW	9000
Payload	11146
Saídas	Dreno inferior e tampa.

Fonte: Equipamento em estudo.

c. Mangotes: MCT 150 (Figura 35, Tabela 14), sua função é transportar (sucção/descarga) o óleo lubrificante de um compartimento para o outro, através de sua conexão em saídas/entradas.

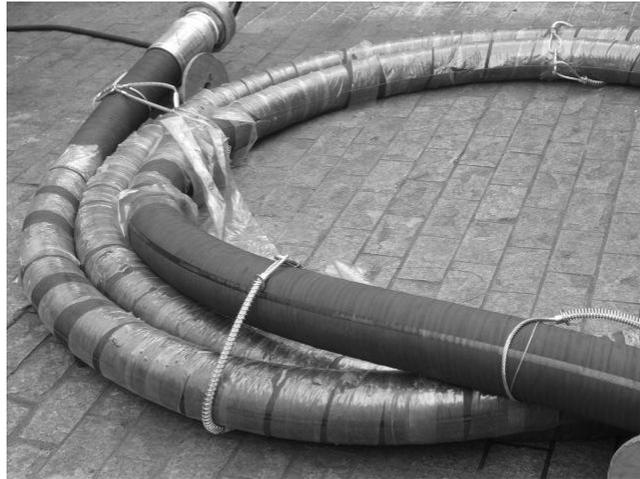


Figura 35: Mangote de sucção/descarga de óleo lubrificante. Fonte: Autor.

Tabela 14: Dados técnicos dos mangotes.

DADOS TÉCNICOS	
Diâmetro Interno	2 pol
Material	Borracha sintética NBR
Temperatura de Operação	-40°C a 90°C
Pressão	150 psi a 600psi
Terminais	Retos com punhos
Reforços	2

Fonte: GATES, 2017.

d. Engate rápido macho e fêmea com alavanca: Conexões de rosca NPT ou BSP com anel de vedação em BUNA N e passagem livre (Figura 36a e 36b, Tabela 15), para a ligação dos mangotes com o equipamento filtro-bomba e com o tanque de trabalho.



(a)

(b)

Figura 36: Conexões macho (a) e conexão fêmea (b). Fonte: FUNGUAP, 2017.

Tabela 15: Dados técnicos dos engates rápidos.

DADOS TÉCNICOS	
Diâmetro Interno	2 pol
Material	Bronze
Pressão de Trabalho	Até 300 psi

Fonte: FUNGUAP, 2017.

- e. **Válvulas:** Válvula de bloqueio, tipo esfera e tripartida. Utilizada para bloquear a passagem do fluxo de óleo lubrificante (passagem plena). São utilizadas 2 para uma maior segurança e em caso de falha em alguma (Figura 37, Tabela 16).



Figura 37: Válvula esfera tripartida. Fonte: MGA (2005).

Tabela 16: Dados técnicos da válvula.

DADOS TÉCNICOS	
Diâmetro Interno	2 pol
Material	Inox 304
Temperatura de Operação	-40°C a 150°C
Pressão	800 psi
Acionamento	Manual. ¼ da volta (90°)
Norma	ASME B16.34

Fonte: MGA (2005).

- f. **Contentor de 200L com óleo básico:** Destinado para limpeza da linha (mangotes, equipamento filtro-bomba e tanque de trabalho, na qual circula dentro dele, passando pelos outros segmentos) (Figura 38).



Figura 38: Contentor de 200L. Fonte: Autor.

g. Tambores virgens: Tambor nunca utilizado de 200L em aço com tampa removível.



Figura 39: Tambor virgem de dimensão 60x60x85 cm. Fonte: Autor.

h. Bolsa plástica estéril: Bolsa tipo duas camadas em PEBD (Polietileno de Baixa Densidade), estas bolsas plásticas são indicadas para o acondicionamento de alimentos, entre outros produtos, e são considerados “limpos”, no entanto não possuem certificação do grau de limpeza.



Figura 40: Bolsa estéril sendo colocada dentro do tambor. Fonte: Autor.

i. Mantas absorventes: Manta que absorve vazamentos e derramamentos de óleo e líquidos agressivos no meio ambiente e no meio industrial.



Figura 41: Manta absorvente para limpeza. Fonte: Autor.

3.1.2 Funcionamento

Para a produção atual de óleos lubrificantes industriais extra-filtrados, tem-se um processo composto de três operações, cujo diagrama de blocos se encontra abaixo (Figura 42).

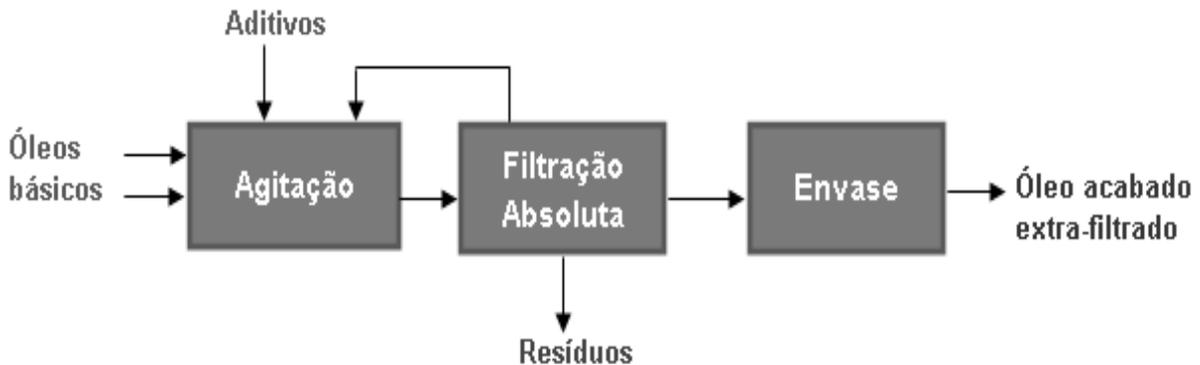


Figura 42: Diagrama de blocos da produção de tambores de extra-filtrados. Fonte: Autor.

Os óleos básicos e os aditivos são misturados e aquecidos de modo idêntico ao dos óleos acabados convencionais; após a homogeneização do óleo acabado, este é envasado diretamente em tambores virgens. Do tambor é enviado para o local do processo de extra-filtragem por meio de paletes e descarregado com o auxílio do próprio equipamento filtro-bomba para dentro do tanque de trabalho.

Com o óleo lubrificante a ser filtrado já dentro do tanque, conecta-se o equipamento ao tanque para fazer a circulação e, conseqüentemente, a filtração do produto por meio do escoamento por uma bomba de engrenagens, com potência suficiente para superar a perda de carga imposta pelo elemento filtrante. Durante esse processo de filtragem, amostras são retiradas e levadas ao laboratório para análise das partículas de impurezas, essa etapa é feita repetidamente até chegar ao número requerido do indicador pelas empresas a serem destinadas os óleos lubrificantes: NAS 5.

Ao chegar ao grau exato, o processo de filtragem e circulação é parado, conecta-se o tanque à uma bolsa plástica e estéril dentro dos tambores virgens – na qual foram retirados os tambores usados pela empilhadeira e colocado tambores virgens – por meio do próprio equipamento filtro-bomba para iniciar a etapa de envase dos tambores de 200L. Desta forma, o produto estará protegido do próprio tambor, que poderá apresentar resíduos e do ar, pois os tambores não impedem este contato.

Após a conexão, será feito o enchimento das bolsas, cada por vez, com 200L do óleo extra-filtrado, medidos através da visualização aproximada, não podendo deixar ultrapassar o

volume para poder ser feito o fechamento do tambor. Depois de enchido os tambores, será retirado o ar de forma manualmente dos sacos de envaze, e seguidamente lacrados, é feito assim o fechamento dos tambores com as tampas, passando o anel de vedação, e depois lacrados e etiquetados com as informações necessárias para suas identificações.

Em caso de vazamentos, é utilizado a manta absorvente para fazer toda secagem do óleo no local de processo. Após a secagem o material é destinado para um setor responsável para a destinação correta.

No fluxograma abaixo (Figura 43), ilustra-se uma esquemática atual de maneira reduzida, da estrutura do processo, de forma a entendermos a cadeia do equipamento em suas etapas:

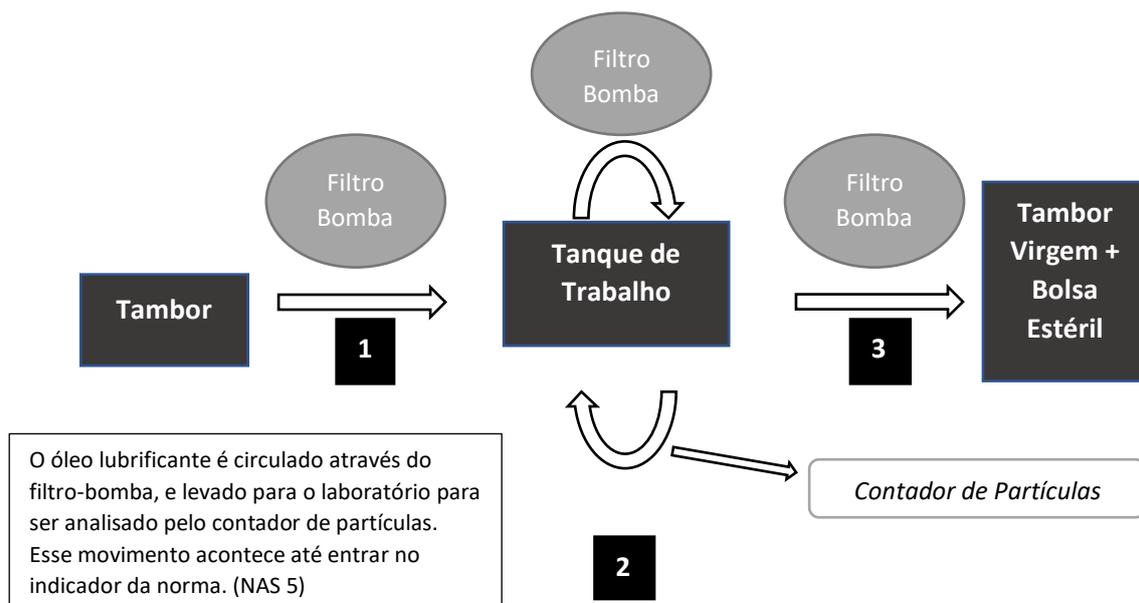


Figura 43: Fluxograma esquemático do sistema atual de extra-filtragem. Fonte: Autor.

Etapa 1: O óleo lubrificante a ser trabalhado, podendo ser turbina ou hidráulico, será enviado do tambor para o tanque de trabalho por meio do filtro-bomba, na qual fará o transporte. Este óleo vem do setor da mistura, na qual foi produzido por movimento de mistura através de um óleo básico e aditivos, e posteriormente, envazados no tambor.

Etapa 2: O óleo lubrificante, já dentro do tanque, irá ser circulado através da ligação do filtro-bomba ao tanque por meio de mangotes e conexões. Em meio a circulação, irá ser retirado amostras de 1 em 1 hora na válvula de amostragem do filtro-bomba, e levada para o laboratório para análise. Este procedimento de amostragem será feito até o óleo se enquadrar nas normas requeridas.

Etapa 3: Após a aprovação do óleo lubrificante, será enviado o mesmo do tanque para as bolsas estéreis dentro dos tambores virgens através do equipamento filtro bomba. Em seguida, será tampado, lacrado e adesivado.

Etapa de Limpeza: Esta etapa ocorrerá em caso de troca de óleo lubrificante à ser filtrado, na qual deverá ocorrer a limpeza da linha e do tanque. Primeiramente, irá ser jogado por meio do filtro-bomba para o tanque de trabalho 1000 litros de óleo básico contidos no contentor. Após isso, irá ser conectado o filtro-bomba somente com o tanque para haver a circulação de óleo básico pela linha e pelo tanque por pelo menos 30 minutos. No fim, irá ser jogado para *Slop* os 1000 litros de óleo circulado.

3.1.3 Esboço do Antigo Projeto

Para fim de esboçar a planta do antigo projeto, farasse ilustrados os seguintes desenhos abaixo, a fim de representar as etapas do índice anterior:

- Figura 44a: Etapa 2. Esta figura tem como representação o carrinho filtro-bomba, o tanque de armazenagem (circulação), os mangotes e a válvula de fechamento;
- Figura 44b: Etapa 1 e 3. Esta figura tem como representação o carrinho filtro-bomba, o tanque, os mangotes, a válvula de fechamento e o tambor (descarga inicialmente e, posteriormente, carregamento).

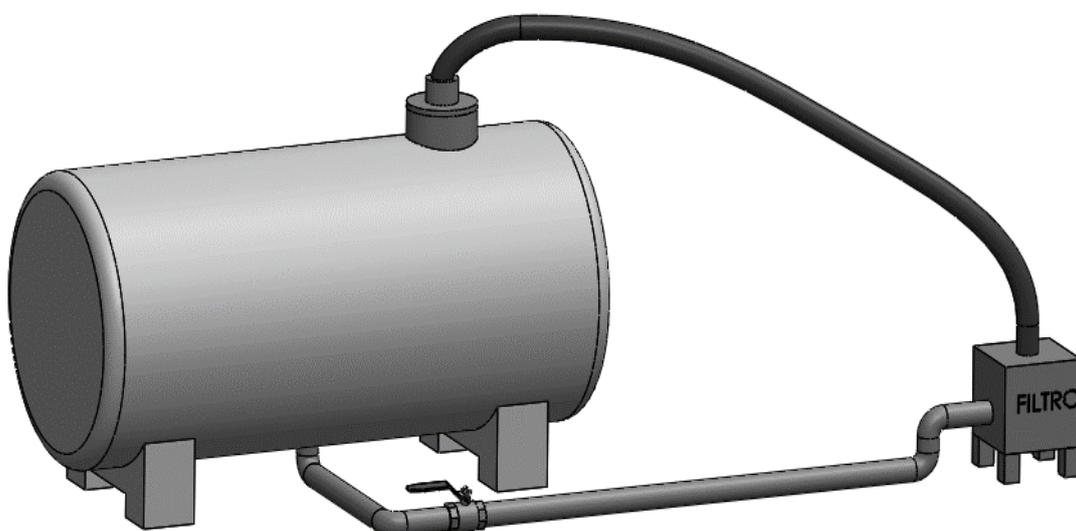


Figura 44a: Esboço da etapa de circulação do antigo projeto. Fonte: Autor.

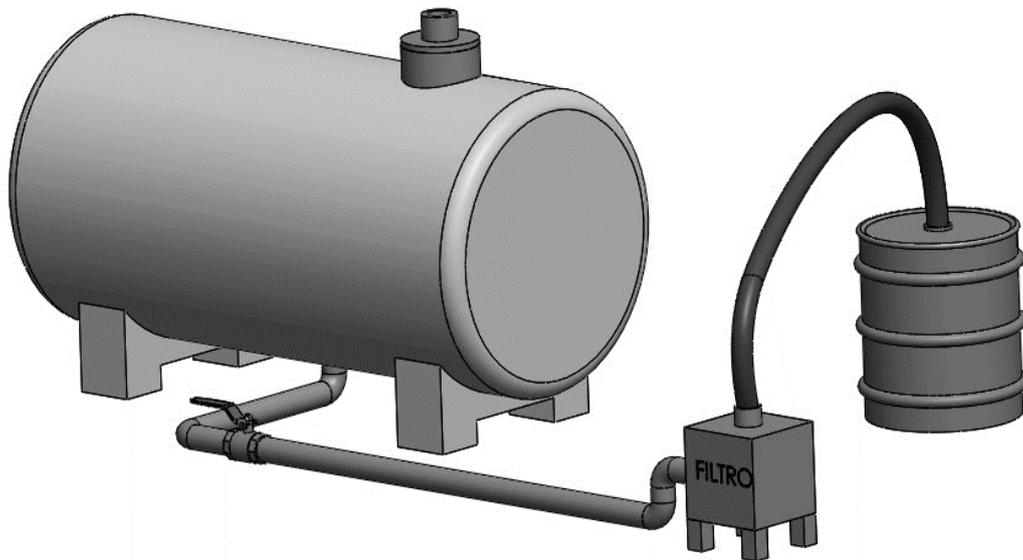


Figura 44b: Esboço das etapas de descarga e de envase do reprojeto. Fonte: Autor.

3.2 Mapeamento dos Gargalos

Identificou-se na análise e mapeamento do processo e equipamento, possíveis dificuldades que serão trabalhados no reprojeto. Os pontos críticos encontrados foram:

1. Poucas válvulas e de pouca eficiência;
2. Mangotes interligados por conexões, excesso dos mesmos;
3. Não existência de um respiro e um filtro no mesmo ponto;
4. Equipamento filtro-bomba pouco eficiente;
5. Análise laboratorial com perda de tempo;
6. Envaze manual e sem controle de volume;
7. Paradas de operação, *setups*;
8. Limpeza do tanque/linha;
9. Necessidade de locomoção do mangote de enchimento dos tambores.

Agora, irá ser detalhado os problemas encontrados em cada um desses pontos:

1. Poucas válvulas e ineficazes, de tipo impróprio para o processo, e más inspeccionadas, ocorrendo vazamento do óleo lubrificante (Figura 45);
2. Mangotes e saídas/entradas interligados por conexões que acarretam em vazamento de óleo e perda de pressão (Figura 46a e Figura 46b);
3. Não há um respiro no tanque de filtração – podendo haver problemas no óleo e problemas relacionados a pressão e ao ar comprimido no tanque;

4. O equipamento que faz o processo de filtragem, apresenta filtro e motor-bomba ineficientes e com baixa potência, acarretando em perda de tempo e produção;
5. A análise das amostras retiradas é feita em laboratório, na qual se encontra em local distante e dependente de disponibilidade do equipamento e técnico;
6. O enchimento do tambor é feito de forma manual – segurando o mangote – e a medida do óleo no tambor é visualmente, portanto, acarreta-se em perdas e sobras;
7. Como visto anteriormente, as etapas e os *setups* da operação, acarretam em perda de tempo e produtividade, tendo que parar a operação para cada etapa.
8. A limpeza do tanque e da linha, descrita no índice anterior, não é eficiente e demanda de uma grande quantidade de perda de óleo básico para o processo;
9. Como a linha não apresenta esteira, o operador posiciona os palhetes em fileiras e vai com o mangote na mão enchendo tambor por tambor, deslocando-se.

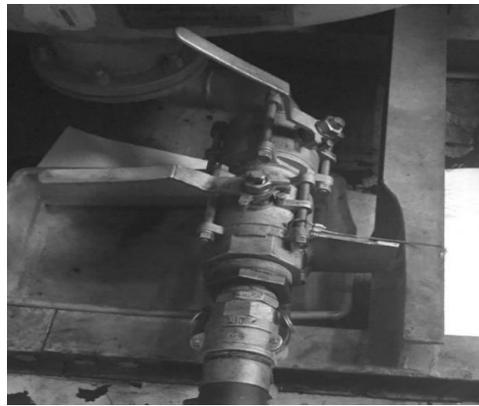


Figura 45: Válvulas esferas usadas no fechamento/abertura do fluxo do tanque ao mangote. Fonte: Autor.

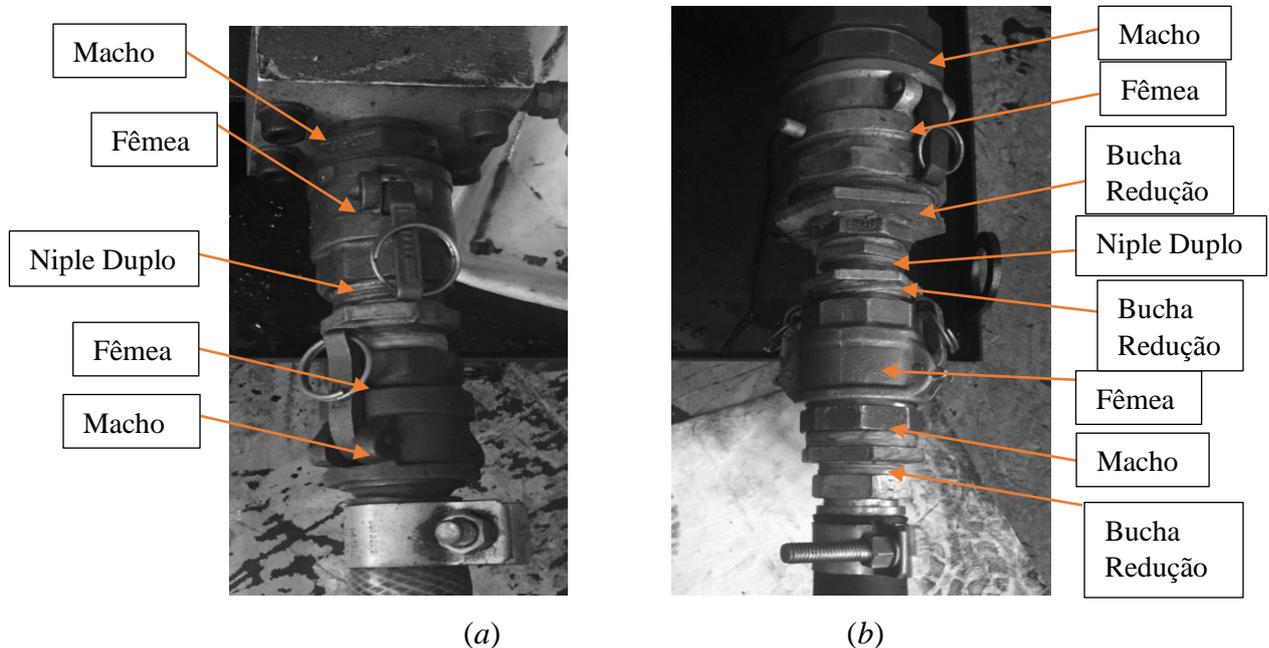


Figura 46: Conexões macho/fêmea na saída do equipamento (a) e conexões na entrada (b). Fonte: Autor.

Como visto, é encontrado no sistema diversos problemas que devem ser solucionados para concretizar essa aplicabilidade. Não se deve somente olhar para problemas que são gerados no óleo, mas também, no operador e no meio-ambiente em que se realiza a operação, que é realizado por 1 operador, 2 auxiliares de produção e 1 empilhador.

De modo geral, os principais problemas são gerados de falhas mecânicas, na qual apresentam como consequências a contaminação do óleo lubrificante. Além de problemas mecânicos (operacionais) e ambientais, tem-se problemas técnicos e estruturais. Juntas de ligação posicionadas de forma inadequada, tubulações mal colocadas e de diâmetro incorreto, bomba não desejável, válvula ineficiente: essas são algumas das causas dos problemas acarretados no sistema.

As consequências podem ser de baixa ou alta proporção, porém capazes de ser evitadas e trabalhadas. Neste trabalho, será feito um reprojeto do sistema de filtragem, afim de solucionar os problemas e riscos, dando maior eficiência e segurança à filtragem do lubrificante. No reprojeto, haverá um novo layout, substituir equipamentos e componentes mecânicos, filtros, tanque, e acessórios pertencentes ao processo de filtragem.

3.3 Construção do Reprojeto

A empresa a ser trabalhada, colocou algumas especificações para o projeto:

1. Aumentar em 4 vezes a produtividade, ou seja, 50 a 60 tambores;
2. Continuar com o mesmo número de funcionários na área;
3. Retirar os setups das etapas, de 3 para 1, automatizando a linha;
4. Serão 8h de trabalho diário.

No fluxograma abaixo (Figura 47), ilustra-se uma esquemática do reprojeto, de maneira reduzida da estrutura do processo:

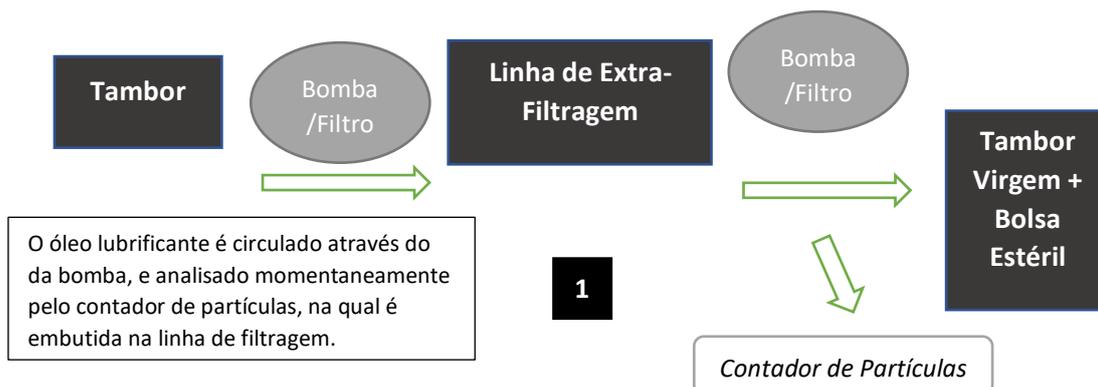


Figura 47: Fluxograma esquemático do reprojeto. Fonte: Autor.

Etapa 1: O óleo lubrificante extra-filtrado é processado em apenas uma etapa, aonde não haverá setup do sistema para novas conexões. Esta etapa irá descarregar o tambor de óleo lubrificante para linha, que irá filtrar o óleo, e quando aprovado pelo contador de partículas, irá carregar a bolsa estéril e envasar os tambores virgens com o óleo extra-filtrado.

Etapa de Limpeza: Esta etapa ocorrerá em caso de troca de óleo lubrificante a ser filtrado, na qual deverá ocorrer a limpeza de toda a linha. Irá ser feito a limpeza por um sistema de soprador de ar por com compressor de ar, na qual irá deslocar todo óleo e impureza que estiver na linha pra um reservatório de *slop*.

3.3.1 Escolha do Óleo do Reprojeto

No processo de extra-filtragem, trabalha-se com os seguintes óleos lubrificantes líquidos, na qual é fabricado pela mistura de óleos básicos minerais com aditivos específicos para sua finalidade. Basicamente, óleos para sistemas hidráulicos e óleos para turbinas. Na Tabela 17 são ilustrados estes principais óleos e suas respectivas especificações.

Tabela 17: Classificação dos óleos extra-filtrados.

ÓLEO	ISO	VISC. CIN. (cSt)	DENS. (kg/dm ³)
HYDRA XP 32	VG 32	30,2	0,8630
HYDRA XP 46	VG 46	44,3	0,8690
HYDRA XP 68	VG 68	65,3	0,8740
TURBINA EP 32	VG 32	33,1	0,8620
TURBINA EP 46	VG 46	46,1	0,8680
TURBINA EP 68	VG 68	63,9	0,8730
TURBINA PLUS 32	VG 32	32,3	0,8640
TURBINA PLUS 46	VG 46	46,3	0,8700

Fonte: Autor.

Será escolhido para estudo e construção do projeto o óleo mais crítico a ser filtrado, ou seja, o óleo que apresenta maior ISO, ou seja, maior necessidade de filtragem, e Viscosidade Cinemática à 40°, na qual é a temperatura de trabalho do óleo, temperatura que ele vem envasado para filtragem. A partir disso, tem-se o HYDRA XP 68 como o óleo em tais condições.

O HYDRA XP 68 é um óleo para sistemas hidráulicos que operam em condições severas de pressão a temperatura, como sistemas automotivos (tratores, escavadeiras, máquinas

agrícolas), elevadores, equipamentos de mineração, etc. É formulado com óleos básicos parafínicos e aditivos.

Os dados que precisa-se para os cálculos de projeto são os indicados na tabela. As demais especificações do fluido independem para construção do reprojeto: os aditivos não são alterados na filtragem e nem suas propriedades físicas e químicas. E além dessa consideração, o óleo apresenta somente contaminação de partículas, a contaminação do ar e de água já são eliminadas na fabricação e mistura do mesmo.

3.3.2 Escolhas Estruturais e Organizacionais de Etapas

Como tem-se, a partir da empresa, a necessidade de se ter somente uma etapa do processo para eliminação da perda de produtividade, tempo e trabalho braçal, ou seja, diminuir os *setups* de operação, far-se-á a operação diretamente de tambor para tambor. Para confirmar se irá ser uma operação lucrativa, sem muitos gastos e prejuízos, comparar-se-á 2 (duas) opções de configurações, a partir de tambor e a partir de um caminhão-tanque para o processo de extra-filtragem.

1ª OPÇÃO: Tambor para tambor. Nesta operação temos o gasto do tambor que envasamos com o óleo ainda não filtrado, um custo de R\$130/tambor. Ou seja, em um dia de operação tem-se um custo de R\$6.500.

2ª OPÇÃO: Caminhão-tanque para tambor. Nesta operação temos o gasto da diária do veículo mais a limpeza de linha para o carregamento do mesmo, um custo de R\$1.000/diária mais 1.500 L de limpeza. Ou seja, em um dia de operação tem-se um custo de R\$11.500, levando em consideração o valor de R\$10 o óleo.

Portanto, a **OPÇÃO 1** torna-se de menor custo e mais viável, de tambor para tambor. Tal condição, faz-se necessário a projeção de uma esteira para estabelecer uma dinâmica de descarga dos tambores e carregamento dos tambores virgens. Essa dinâmica irá facilitar o trabalho braçal do auxiliar de operação, fazendo com que o mesmo tenha somente o trabalho de posicioná-los em cima de palhete para o empilhador levar. O outro auxiliar operacional irá posicionar os tambores dos óleos extra-filtrados para o empilhador retirar.

O operador ficará responsável pelo controle do processo: fluxo, válvulas pneumáticas, contador de partículas, limpeza de linha e saturação/troca dos filtros. A limpeza de linha será feita através do deslocamento/arraste do fluido por ar comprimido no sentido contrário ao fluxo

para um reservatório simples caso haja algum líquido no sistema, configurando, também, uma linha de alívio para não forçar o trabalho contrário da bomba.

Esse ar comprimido será obtido através de um compressor de ar com reservatório de 20L. Além desse processo de sopragem de ar, iremos passar pela linha um tambor de óleo básico para finalizar a limpeza, estes são processos bem eficiente, ainda mais pela questão da linha ser pequena e simples.

Utilizar-se-á filtros em série para maior eficiência na filtragem, com um pré-filtro antes da bomba para “protege-la” de partículas mais suspensas e de maior diâmetro. A distribuição será em duas baterias dispostas em paralelo, tipo cascata, possibilitando a operação em regime de *stand by*, ou seja, podendo mudar a configuração das válvulas pneumáticas para troca do(s) elemento(s) filtrante(s). Isso, sem a parada da operação.

Os filtros serão montados em linha e isolados por válvulas esféricas (pneumáticas) destinadas à essa manobra para substituição dos elementos saturados, resultando em ganho de tempo e produtividade. Sua característica construtiva oferecerá excelente condições de manutenção, assim como fácil manuseio para troca dos elementos. Eles serão equipados com indicador elétrico de saturação, assim como válvula *by-pass*.

Toda configuração do reprojeto, ou grande parte do controle operacional, será feita de maneira automatizada, segue-se as seguintes condições:

- Tem-se um braço de engrenagem, acionado por um botão, que irá ser introduzido no tambor com o óleo a ser filtrado e assim que vazio, irá ser acionado outro botão para a transmissão contrária da engrenagem;
- Os 200 L de óleo no sistema, circulará pelos filtros através da bomba até que o indicador no contador de partículas esteja nas especificações NAS 5;
- Quando o óleo estiver aprovado, válvulas pneumáticas serão abertas/fechadas, e o óleo será enchido no saco estéril dentro do tambor virgem. Esse enchimento poderá ser controlado através de uma válvula de regulagem.
- Ao finalizar o enchimento dos 200L, a operação será reiniciada com a descarga do tambor com o óleo a ser filtrado.

3.3.3 Escolha dos Filtros

3.3.3.1 Análise de Partículas

Será acoplado ao sistema um contador de partículas PARKER icountPD (Tabela 18 e Figura 48), na qual fará a análise contínua e imediata segundo os padrões ISO/NAS do óleo filtrado. O óleo deve ser aprovado com a indicação de análise de ISO 16/14/11, ou NAS =< 5.



Figura 48: Contador de partículas iCount PARKER. Fonte: PARKER (2015).

Tabela 18: Dados técnicos do contador de partículas.

DADOS TÉCNICOS	
Conexão hidráulica	M16 x 2
Faixa de fluxo por meio do dispositivo	40 a 140 ml/min
Taxa de viscosidade	10 a 500 cSt
Fluido de operação	0°C a +85°C
Pressão de trabalho	30 a 6000 PSI (2 a 420 bar)
Dimensões	182 mm x 155 mm x 86mm

Fonte: PARKER (2015).

Ele apresenta indicadores visuais com avisos do poder e da saída do alarme, projetados para facilitar o uso em campo. Realizam a análise a laser, fornecendo dados em tempo real. O contador terá uma tubulação de entrada antes da bomba juntamente à uma válvula de alívio e start e uma tubulação de saída após a bomba em uma válvula de segurança.

Neste contador será acoplado um controlador de pressão e fluxo PARKER ACC6NN019, Figura 49, que se encaixa na lateral (saída) do icountPD e está conectado com uma válvula de pressão diferencial, que ajusta o fluxo do sistema automaticamente para dentro das especificações do icountPD.



Figura 49: Válvula de pressão diferencial. Fonte: PARKER (2015).

3.3.3.2 Seleção da Granulometria

Será aplicado o método de SUTHERLAND (2008), na qual determina a classificação absoluta do filtro mais adequado a partir de um conjunto de fatores. A combinação da escolha dos fatores definirá o real tamanho de partículas necessários a ser filtrado, e com isso, as micragens dos elementos filtrantes.

Em um primeiro momento, define-se a severidade da operação (Tabela 19, e posteriormente, através do conjunto de Tabelas (20 a 25) é calculado o fator ponderado.

Tabela 19: Severidade da Aplicação dos Lubrificantes Filtrados.

SEVERIDADE DA PRESSÃO DE OPERAÇÃO	
Baixa	Operação contínua na pressão dimensionada
Média	Variação em torno das pressões média e nominal
Alta	Variação em torno das pressões zero e nominal
Altíssima	Variação em torno das pressões zero e nominal com regimes transientes de alta frequência

Fonte: Adaptado de SUTHERLAND (2008).

Tabela 20: Fator de pressão.

Pressão (bar)	SEVERIDADE			
	Pequena	Média	Alta	Severo
0-70	1	2	3	4
70-150	1	3	4	5
150-250	2	3	4	6
250-350	3	5	6	7
359+	4	6	7	8

Fonte: Adaptado de ANDRADE (2018).

Tabela 21: Fator de ambiente.

Exemplos		Peso
Bom	Áreas limpas, laboratórios	0
Médio	Oficinas mecânicas em geral, elevadores	1
Inferior	Plantas móveis	2
Hostil	Fundições, onde o ingresso de contaminantes é esperado, equipamentos de teste de componentes	3

Fonte: Adaptado de ANDRADE (2018).

Tabela 22: Fator de sensibilidade do componente.

Exemplos		Peso
Extra alto	Servo válvulas de alto desempenho	8
Alto	Servo válvulas industriais	6
Acima da média	Bombas de pistão, válvulas proporcionais, sistemas de compensação de vazão	4
Média	Bombas de palhetas, válvulas de carretel	3
Abaixo da Média	Bombas de engrenagem, manuais e válvulas de assento	2
Mínimo	Carneiro hidráulico	1

Fonte: Adaptado de ANDRADE (2018).

Tabela 23: Fator de expectativa de vida.

Expectativa de vida (h)	Peso
0-1000	0
1000-5000	1
5000-10000	2
10000-20000	3
20000+	5

Fonte: Adaptado de ANDRADE (2018).

Tabela 24: Fator de responsabilidade econômica.

Exemplos		Peso
Muito alto	Bombas de pistão grande, torque alto, motores de baixa velocidade	4
Alto	Cilindros, servo-válvulas, bombas de pistão	3
Médio	Válvulas montadas em linha	2
Baixo	Válvulas montadas em juntas, bombas de cartuchos baratas e bombas de engrenagem	1

Fonte: Adaptado de ANDRADE (2018).

Tabela 25: Fator econômico operacional.

Exemplos		Peso
Muito alto	Tempo de inatividade muito caro, por ex. certos equipamentos siderúrgicos	5
Alto	Planta de produção de alto volume	3
Médio	Instalações móveis	2
Baixo	Equipamento não crítico para produção	1

Fonte: Adaptado de ANDRADE (2018).

Tabela 26: Fator de responsabilidade adicional em segurança.

Exemplos		Peso
Alto	Sistemas de travagem de engrenagem de enrolamento de mina	3
Médio	Onde a falha é susceptível de causar um perigo	1
Baixo	Algumas plataformas de teste de componentes hidráulicos	0

Fonte: Adaptado de ANDRADE (2018).

Os pesos selecionados das Tabelas anteriores em relação ao nosso reprojeto são apresentados na Tabela 27 a seguir:

Tabela 27: Fatores selecionados.

FATORES DE SELECÇÃO DE MICRAGEM	
Componente-base considerado	Sistemas hidráulicos em condições severas de pressões
Severidade	Média
Fator de pressão	2
Fator de ambiente	3
Fator de sensibilidade	3
Fator de expectativa de vida	5
Responsabilidade econômica	3
Responsabilidade operacional	3
Responsabilidade adicional em segurança	1
Total	18

Fonte: Autor.

A justificativa de cada fator apresentado na Tabela 27 é descrita a seguir:

- **Severidade:** Em um sistema hidráulico a pressão de operação não apresenta grandes variações, estando sempre em torno da média;
- **Fator de Pressão:** 0-70 bar (0-7000000 Pa);
- **Fator de Ambiente:** O fator ambiente pode ser tanto 1/2/3, mas, pela necessidade da extra-filtragem, trabalham-se em ambientes hostis;

- **Fator de Sensibilidade:** Está normalmente acima da média, utilizado em bombas de pistão e etc;
- **Fator de Expectativa de Vida:** É realista para os componentes considerados estipular o alcance de 20000 h, usando como base o intervalo de 15000 a 25000 horas referenciado em HITACHI (2011);
- **Responsabilidade Econômica:** Alto;
- **Responsabilidade Operacional:** Alto custo com paradas e perdas de produção;
- **Responsabilidade em Segurança:** A falha é susceptível a causar um perigo.

No gráfico da Figura 50, onde a área hachurada representa todos os pares ordenados possíveis para a relação do fator ponderado com a granulometria, obtém-se para o total de 18 pontos, o intervalo 4-13 μ m marcado como seguimento de linha vermelha. Desta forma foi considerado a aplicação de um filtro principal de 5 μ m na unidade, pois este está dentro do intervalo e o valor está compatível com as recomendações anteriores e com antigo projeto.

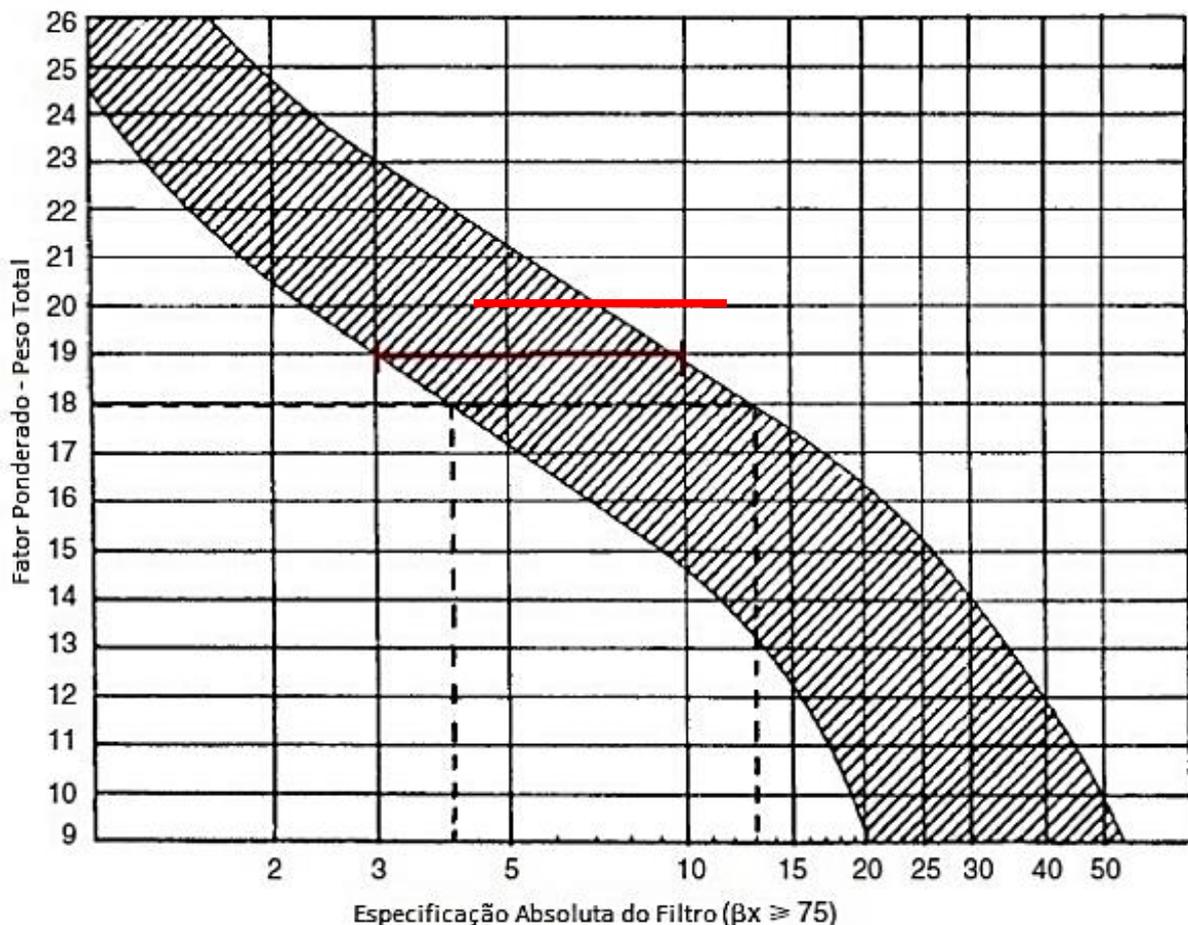


Figura 50: Seleção de Tamanho de partícula filtrada. Adaptado de: ANDRADE, 2018.

3.3.3.3 Dimensionamento

Primeiramente, deve-se saber o grau de contaminação inicial do óleo, ou seja, o grau antes de começar a filtragem. Por análises laboratoriais, tem-se que o grau de contaminação a partir do padrão NAS do óleo HYDRA XP 68, é 11. Portanto, devemos transformar o mesmo em NAS=5/ ISO=16/14/11 através do nosso sistema de filtragem, com filtros e dimensionamentos capazes de atingir esse objetivo especificado.

Será utilizado, como dito anteriormente, uma configuração de filtros em série e formato de cascata para troca dos elementos em regime de *standby*. O filtro de menor granulometria será calculado a seguir, cujo é o filtro principal. Os demais serão de entradas com granulometria maior, irão aumentar a eficiência da filtração. A seguir descrevem as etapas de seleção do filtro, baseado como referência ANDRADE (2008):

1) Taxa de Contaminação Base - R_b

O óleo, inicialmente, apresenta uma quantidade entre 256.000 a 512.000 partículas/100 ml na granulometria de 5 μm (Tabela 6), que foi selecionada no índice anterior. E filtra-se para ser encontrado de 4.000 a 8.000 partículas/100 ml na composição final do óleo.

Tem-se em consideração testes de um sistema de filtragem simples como base para dimensionamento dos filtros do reprojeto. Nestes testes feitos compõem-se um filtro-bomba com granulometria de 5 μm , apenas um filtro, e vazão de 40 L/min. Filtrou-se o óleo HYDRA XP 68 com grau de contaminação inicial NAS = 11 em uma quantidade de 1.000 L para um contentor na mesma quantidade.

Para ter-se o óleo extra-filtrado foram necessários 70 minutos de operação, na qual foi identificado a realização de 3 (três) ciclos pelo circuito com mangotes e conexões de 2" e sem nenhum tipo de alteração e gargalos. Transformou-se na operação, levando em consideração a seleção de dados mais crítica, para colocar-se como base do reprojeto, 256.000 partículas/100 ml de 5 μm em 8.000 partículas/100 ml da mesma granulometria.

A partir desses dados, tem-se a seguinte razão de operação:

$$R_b = \frac{(256000 - 8000)partículas}{100ml * 70min} * 1000 L * 1000ml/L$$

Logo, o resultado de R_b é:

$$R_b = 35.428.571,4 partículas/min$$

2) Taxa Requerida do Reprojeto - R

Precisa-se no reprojeto para a filtragem de 50/60 tambores por dia (6 horas em média) uma taxa, em uma situação mais crítica de contaminação, de:

$$R = \frac{(512000 - 8000) \text{partículas}}{100 \text{ml} * 360 \text{min}} * 10000 \text{ L} * 1000 \text{ml/L}$$

Logo, o resultado da taxa de contaminação requerida, R é, aproximadamente:

$$R = 140.000.000 \text{ partículas/min}$$

3) Vazão Requerida - Q

Como tem-se que a taxa de contaminação é proporcional a vazão entre dois modelos de sistemas, sabe-se que (Equação 20):

$$\frac{Q_b}{R_b} = \frac{Q}{R} \quad (20)$$

Portanto, a vazão requerida é:

$$Q = \frac{40 * 140.000.000}{35.428.571,4}$$

Então, aproximadamente:

$$Q = 158 \text{ L/min}$$

Utiliza-se a vazão de operação de 160 L/min.

4) Tempo de Filtragem - t_s

Como confirmação, se o tempo de filtragem está dentro do período de trabalho em um dia, de no máximo 8 horas, segundo DONALDSON, calcula-se como (Equação 21):

$$t_s = \frac{7 * V}{Q} \quad (21)$$

Onde V é o volume total filtrados no período, na qual são 10.000 L.

Logo,

$$t_s = 7 \text{ h e } 20 \text{ min}$$

Portanto, está dentro do limite exigido.

5) Razão Beta - β_5

A razão beta mínima recomendada para escolha do elemento filtrante é:

$$\beta_5 = \frac{N_I}{N_D} + 1 \quad (22)$$

Onde, N_I é a quantidade de partículas iniciais na granulometria exigida, 512.000 partículas/100 ml, e N_D é a quantidade após a filtração do óleo, 8.000 partículas/100 ml. Todos esses termos retirados da Tabela 6.

Tem-se, então, que a razão beta deverá ser:

$$\beta_5 \geq 65$$

Logo,

$$Eficiência_x \geq \left(1 - \frac{1}{65}\right) * 100 \geq 98,5\% \quad (23)$$

Portanto, na Tabela 28, têm-se os principais dados para o dimensionamento dos filtros:

Tabela 28: Resumo dos dados apresentados.

Variáveis	Dados
R	140.000.000 partículas/min
R_b	35.428.571,4 partículas/min
Q	160 L/min
t_s	7 h e 20 min
β_5	≥ 65

Fonte: Autor.

3.3.3.4 Seleção dos Elementos Filtrantes

Escolhe-se, a partir dos resultados encontrados, os filtros e os elementos filtrantes do projeto do sistema de extra-filtração. Sabe-se que a pressão de operação média dos sistemas de filtração fica de 7 a 20 bar, então, escolhe-se filtros na especificação da pressão máxima de trabalho: 20 bar.

Os filtros aplicados são de linha, série FR1500A PARKER da HDA, na qual garantem a sua eficiência de retenção com micragem absoluta Beta mínimo maior ou igual a 200. Além disso, são filtros próprios em sistemas de recirculação. As micragens serão de 5 μm , 10 μm e 20 μm em série. Os dados técnicos encontram-se na Tabela 29 e a codificação na Tabela 30.

Tabela 29: Dados técnicos do filtro de linha FR1500A PARKER.

DADOS TÉCNICOS	
Pressão máxima de trabalho e ruptura	20 bar/ 70 bar
Válvula by-pass	3,5 ± 0,3 bar
Temperatura máxima de trabalho	80°C
Vedação	Borracha níttrica
Material	Microfibra de vidro

Fonte: HDA (2004).

Tabela 30: Codificação dos meios filtrantes do FR1500A PARKER.

Meio Filtrante	Descrição	Eficiência (ISO4572)
05FV	5 µm	$\beta_5 \geq 200$
10FV	10 µm	$\beta_{10} \geq 200$
20FV	20 µm	$\beta_{20} \geq 200$

Fonte: HDA (2004).

3.3.3.5 Curvas de Características de Vazão em Função da Perda de Carga ($Q \times \Delta p$)

Curvas obtidas a partir de um fluido com densidade de 0,86 kg/dm³, e viscosidade de 32 cSt a 40°C. A perda de carga na carcaça correspondente ao filtro selecionado e da perda de carga do seu respectivo elemento filtrante. Para fluidos com características diferentes das citadas acima, é necessário corrigir os valores de perda de carga, conforme ilustrado na equação 24 (HDA, 2004):

$$\Delta p_{total} = \Delta p_{carcaça} * \left(\frac{\rho}{0,86}\right) + \Delta p_{elemento} * \left(\frac{\mu}{32}\right) \quad (24)$$

Onde, $\Delta p_{carcaça}$ epe a perda de carga na carcaça, $\Delta p_{elemento}$ T é no elemento filtrante e ρ é a massa específica do fluido.

O HYDRA XP 68 apresenta viscosidade cinemática de 65,3 cSt e densidade de 0,8740 kg/dm³, portanto, tem-se a partir do gráfico da Figura 51, os seguintes valores para vazão de 160 L/min:

$$\Delta p_{total} = 3 * 0,035 * \left(\frac{0,874}{0,86}\right) + (0,065 + 0,04 + 0,025) * \left(\frac{65,3}{32}\right)$$

Logo,

$$\Delta p_{total} = 0,372 \text{ bar} = 5,4 \text{ Psi}$$

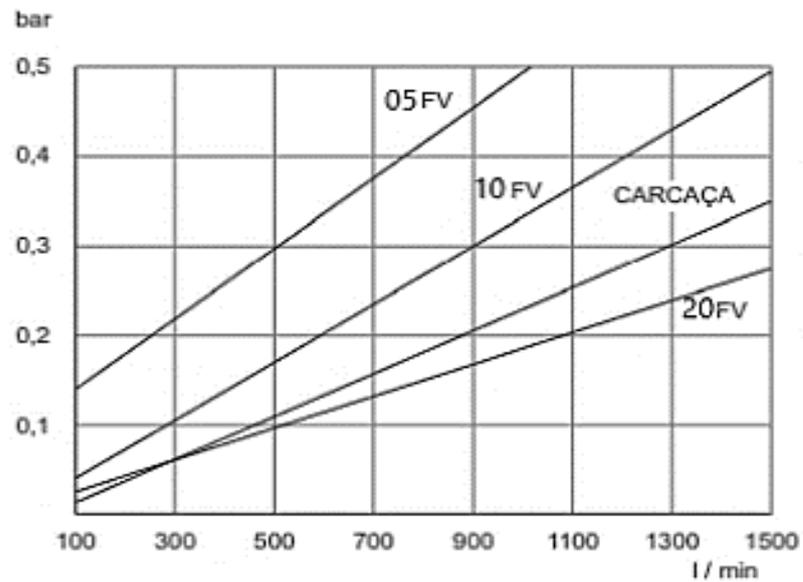


Figura 51: Curvas características de vazão em função da perda de carga do elemento filtrante e carcaça do filtro. Fonte: HDA (2004).

É importante ressaltar a recomendação de SUTHERLAND (2008), onde a pressão de abertura do by-pass deve ser no mínimo 3 vezes a pressão de início com filtro novo. Tem-se para confirmação da recomendação a válvula by-pass com o mínimo de 3,2 bar e a perda de carga inicial do conjunto 0,372 bar, respeitando-a.

O filtro é ilustrado na Figura 52.



Figura 52: Ilustração do Filtro HDA FR1500A. Fonte: HDA (2004).

3.3.4 Seleção e Dimensionamento da Bomba

Antes mesmo de saber qual bomba escolher, deve-se primeiramente fazer todos os cálculos para se ter parâmetro em sua escolha e retirar as dúvidas em questão, uma bomba que opere nas condições determinadas na filtragem e a potência requerida pelo sistema. Tal sistema, foi esquematizado anteriormente (Figura 68).

Calcula-se primeiramente a potência requerida pelo sistema, logo é preciso definir o comprimento das tubulações e o diâmetro, pois essa informação é crucial no dimensionamento das perdas hidráulicas. Da mesma forma, é preciso estimar um diâmetro mínimo para que o escoamento se mantenha laminar, preferível para a filtragem.

3.3.4.1 Diâmetro de Projeto

Para a seleção do diâmetro os seguintes valores são considerados:

- $Q = 160$ l/min – Calculado anteriormente;
- Viscosidade cinemática do óleo menos viscoso a ser filtrado, no caso o HYDRA XP 32, com 30,2 cSt;
- Temperatura de referência de filtragem no valor de 40 graus Celsius a fim de representar a temperatura média em que o óleo será filtrado.

Através da equação 4, define-se o menor diâmetro para que o sistema mantenha o regime de escoamento laminar, no valor máximo de 2100, utilizando o cálculo do fator de atrito como sendo o da equação 13. Para se ter o diâmetro dentro da equação de Reynolds, usa-se o conceito de vazão dentro dela e transformam-se na equação 25:

$$d_{min} \geq \frac{Q}{575 \pi v} \quad (25)$$

Logo, substituindo com os valores abordados, tem-se:

$$d_{min} \geq 48,88 \text{ mm}$$

Desta forma, foi definida a utilização de tubulações com o diâmetro de 50,8 mm ou 2 in, pois corresponde ao menor valor acima da especificação com facilidade comercial.

3.3.4.2 Altura de Carga Requerida pelo Sistema

Segundo WHITE (2011), a altura de carga requerida pode ser descrita pela equação 26.

$$H_{sist} = (z_2 - z_1) + \frac{V^2}{2g} \left(\sum \frac{fL}{D} + \sum K \right) + \frac{\Delta p_f}{\rho g} \quad (26)$$

Onde as partes representam a altura estática de elevação e as perdas dinâmicas. Os termos da equação e os parâmetros utilizados no cálculo se encontram na Tabela 31.

Tabela 31: Parâmetro usados no reprojeto.

DADOS – ALTURA REQUERIDA			
Variável	Definição	Valor	Unidade
Q	Vazão	160	l/min
d	Diâmetro nominal	50,8	Mm
g	Gravidade	9,81	m/s ²
z_2	Altura de sucção	0	M
z_1	Altura de descarga	-0,88	M
L	Comprimento	14	M
K	Comprimento equivalente (constante)	$2*4,2 + 5*0,4 + 4,2 + 8,5 + 2*0,6 + 15 + 4*0,6 + 1,1 + 3,5 = 32,8$	M
$\Delta p f_{max}$	Variação da pressão diferencial máxima	3,5	Bar
$\Delta p f_0$	Variação da pressão diferencial mínima	0,4	Bar
ρ	Massa específica	874	kg/m ³
K CONSIDERADOS (Anexo B)			
Kn	Descrição	Valor (mca)	
K1	Válvula de retenção	4,2	
K2	Válvula de bloqueio	0,4	
K3	Válvula de regulação	17,4	
K4	Válvula de retenção e fechamento	4,2	
K5	Válvula de alívio	8,5	
K6	Redução concêntrica	0,6	
K7	Saída de tubulação	1,5	
K8	Curva 90°	0,6	
K9	T fluxo direto	1,1	
K10/K11	T fluxo lateral/bilateral	3,5	

Fonte: Autor.

Para encontrar a velocidade do escoamento, tem-se a equação 27 da vazão:

$$Q = A * V \quad (27)$$

Onde, tem-se o valor da vazão (Q) e do diâmetro nominal (d) para encontrar a área (A), e V a velocidade de escoamento, conforme ilustrado na equação 28.

$$V = \frac{Q*4}{\pi*d^2} \quad (28)$$

Logo,

$$V = 1,3321 \text{ m/s}$$

Aplicando os dados da Tabela 29 e o valor de V na equação 32, têm-se:

$$H_{sist} = (0 - (-0,88)) + \frac{1,3321^2}{2 \cdot 9,81} \left(f * \frac{14}{0,0508} + 32,8 \right) + \frac{\Delta pf}{\rho g} \quad (29)$$

A partir da equação de Reynold, pode-se descobrir o regime de escoamento e posteriormente calcular o fator de atrito (f):

$$Re_D = \frac{\rho V d}{\mu} \quad (4)$$

Logo,

$$Re_D = \frac{874 \cdot 1,3321 \cdot 0,0508}{0,0571} = 1036$$

Portanto, pode-se considerar que o escoamento é laminar, onde $Re_D < 2100$. Assim sendo, para a forma laminar tem-se o fator de atrito, equação 13, como:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (13)$$

Substituindo,

$$f = 0,0616$$

Portanto, completando a equação 30, tem-se:

$$H_{sist} = 6 + \frac{\Delta pf}{\rho g} \quad (30)$$

Voltando na expressão de H_{sist} , têm-se:

- $H_{sist_{\Delta pf_0}}$ – Para o valor inicial de pressão diferencial do filtro;
- $H_{sist_{\Delta pf_{m\acute{a}x}}}$ – Para o valor limite de pressão diferencial no filtro.

Substituindo,

$$H_{sist_{\Delta pf_0}} = 6 + 4,7 = 10,7 \quad \text{e} \quad H_{sist_{\Delta pf_{m\acute{a}x}}} = 6 + 40,8 = 46,8$$

3.3.4.3 Escolha da Bomba

Inicialmente, se escolhem entre as bombas volumétricas (deslocamento positivo) e as dinâmicas (deslocamento não-positivo). Para um melhor desempenho, temos nas bombas de deslocamento positivo as seguintes vantagens na sua escolha:

- Vedação mecânica separando a entrada da saída, dificultando o “vazamento interno”, possibilitando a recirculação interna;
- Aplicadas principalmente no bombeamento de fluidos viscosos, demandando elevadas pressões;

- Seu fluxo não é praticamente afetado pelo diferencial de pressão, ele é contínuo e sem pulsações.

Para ajudar a compreender melhor, observa-se as Figuras 53 a 55.

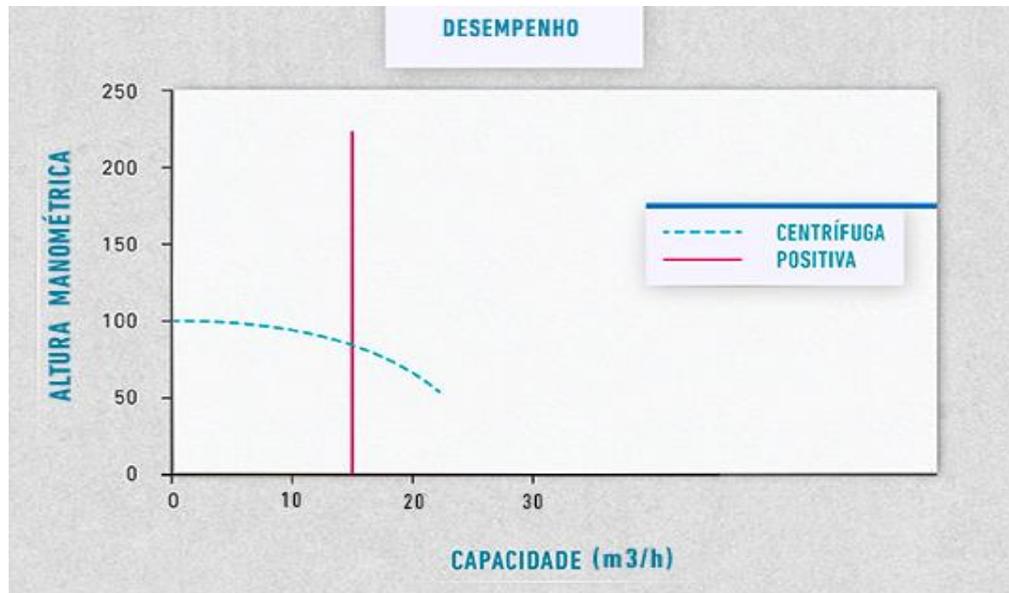


Figura 53: Gráfico de desempenho. Fonte: RZR Bombas.

A bomba dinâmica terá variação do fluxo dependendo da coluna de pressão na saída da bomba, já a volumétrica mantém quase a mesma vazão, independente da pressão. Outra diferença é a influência da viscosidade sobre a vazão, na qual a bomba dinâmica diminui a vazão quando a viscosidade aumenta, enquanto a volumétrica aumenta a vazão. Este fato ocorre devido ao fluido de alta viscosidade preencher as folgas internas da bomba, acarretando numa eficiência volumétrica maior (Figura 54).

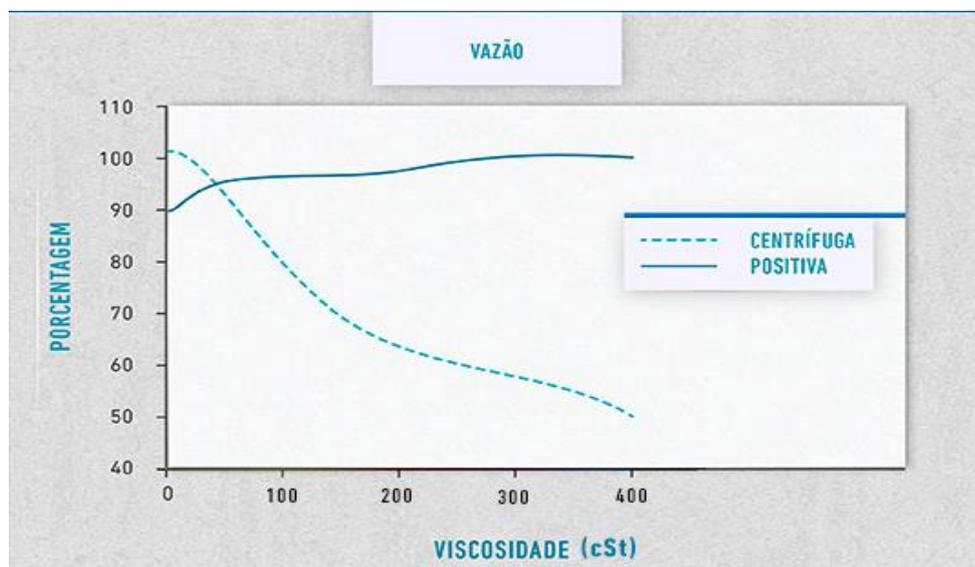


Figura 54: Gráfico de vazão. Fonte: RZR Bombas.

Outra diferença é quando se analisa a eficiência mecânica. No gráfico ilustrado na Figura 55, vê-se o impacto das mudanças de pressão sobre a eficiência dos dois tipos de bombas. Em pressões mais elevadas a eficiência da bomba volumétrica quase não se altera, em compensação a bomba dinâmica diminui criando uma parábola com concavidade para cima.

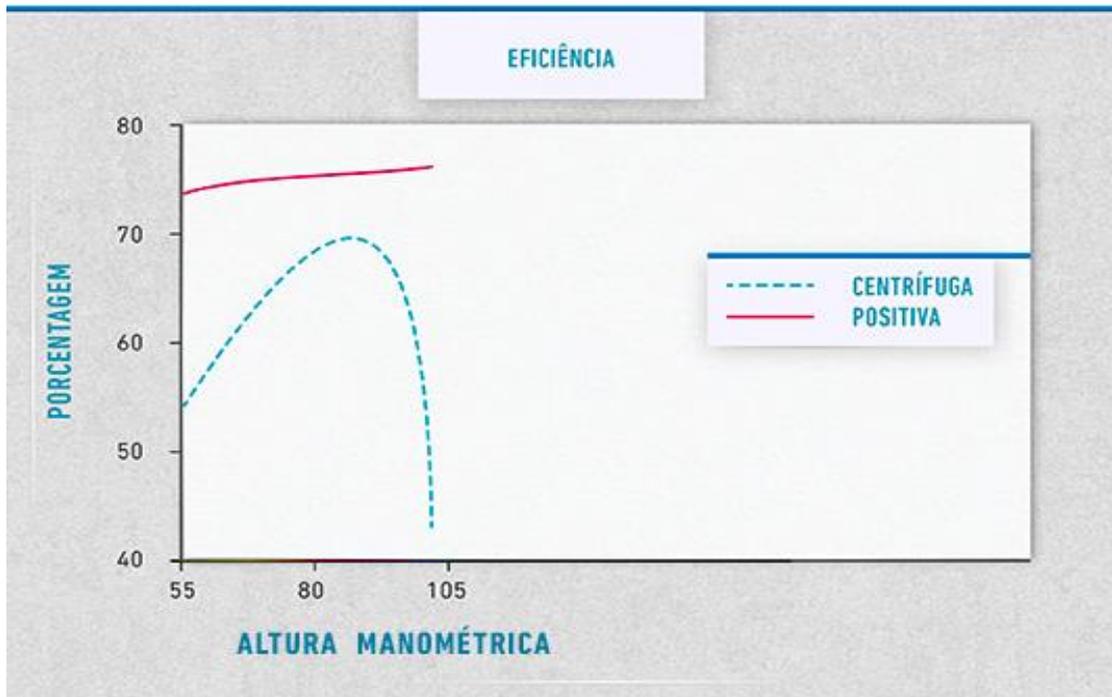


Figura 55: Gráfico de eficiência. Fonte: RZR Bombas.

Conforme a escolha das bombas volumétricas, de deslocamento positivo, agora têm-se que escolher qual dos tipos faz mais presente em nosso projeto de extra-filtragem. A grande dúvida era entre bomba alternativa de engrenagem ou bomba rotativa de pistão axial. São as bombas mais eficientes para sistemas de filtragem de fluidos viscosos, onde possuem várias possibilidades em tamanhos de deslocamento e capacidade de pressão. Além disso, trabalham em elevadas pressões.

No entanto, um dos aspectos mais úteis das bombas de pistão é sua habilidade de deslocamento variável. Isto significa que controladores como compensadores de pressão, compensadores de fluxo ou sensores de carga podem reduzir o fluxo da bomba quando há uma demanda menor. É neste contexto que se escolhe a bomba de pistão axial no reprojeto.

A bomba de pistão selecionada é do fabricante VICKERS, modelo **PVM098**, de até 4000 Psi e 1800 RPM, própria para trabalhar com fluidos de média viscosidade, circuito aberto, e possui as seguintes características, descritas na Tabela 32.

Tabela 32: Características presentes na bomba de modelo PVM098.

PVM098			
Deslocamento teórico		in. ³ /rot.	6.00
		cm ³ /rot.	98.3
Fornecimento máximo de pressão admissível do modelo		Psi	4000
		Bar	280
1800 RPM	Vazão	USgpm	45
		Lpm	170
	Demanda de potência	Hp	118
		kW	88
1500 RPM	Vazão	USgpm	37
		Lpm	141
	Demanda de potência	Hp	97
		kW	72
1200 RPM	Vazão	USgpm	29.6
		Lpm	112
	Demanda de potência	Hp	78
		kW	58

Fonte: Autor.

3.3.4.4 Curvas Características da Bomba

A bomba de pistão de deslocamento variável PVM098 possui as seguintes curvas características, ilustrados nas Figuras 56 a 58.

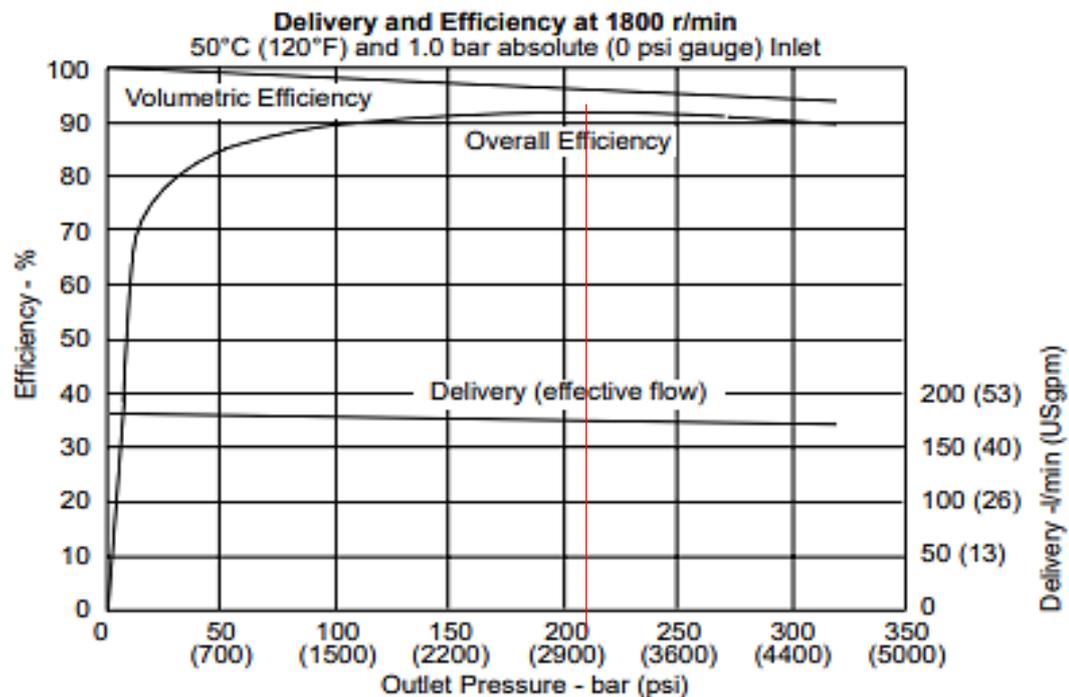


Figura 56: Curvas eficiência/vazão da bomba PVM098. Fonte: EATON, 2017.

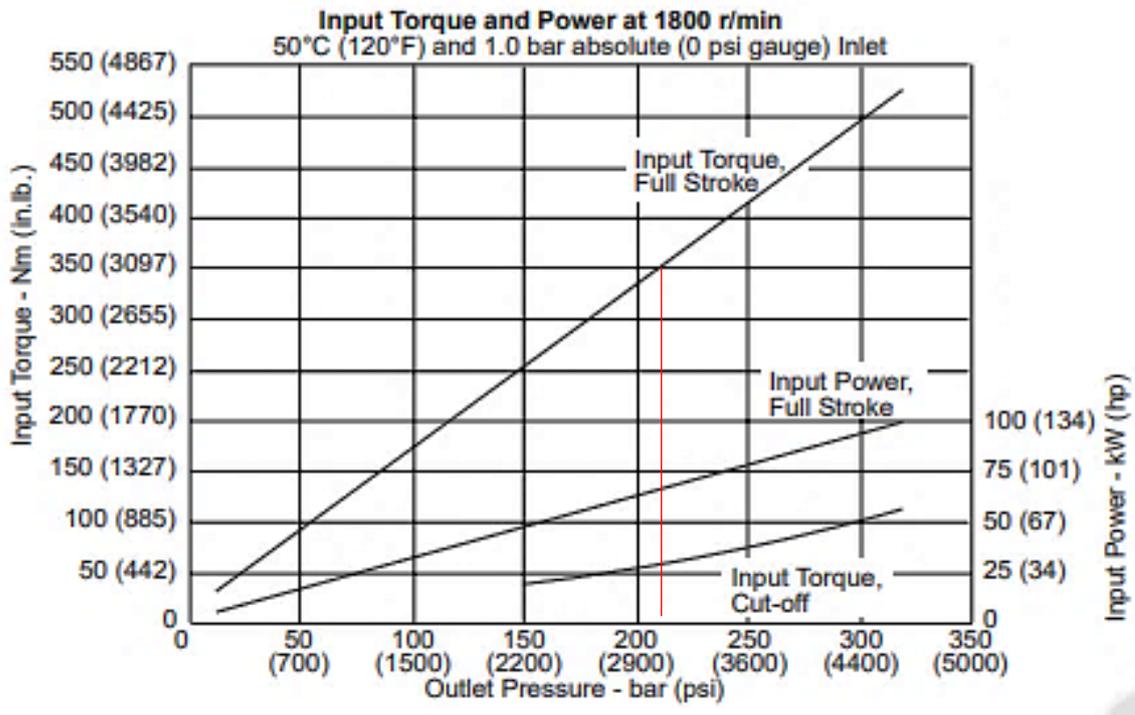


Figura 57: Curva torque de entrada/potência da bomba PVM098. Fonte: EATON, 2017.

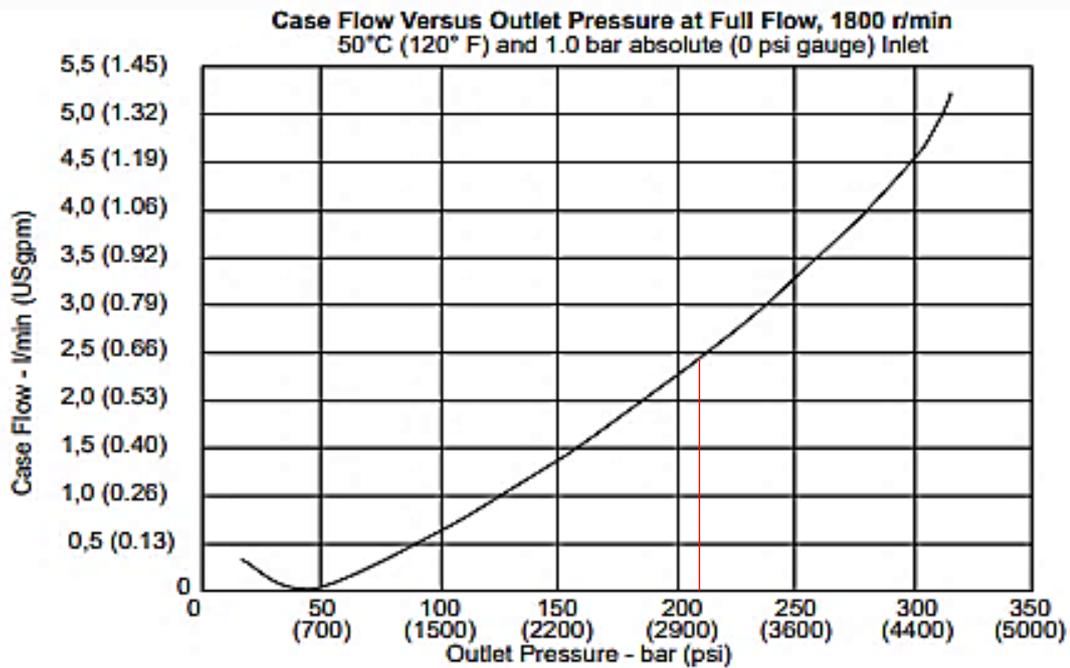


Figura 58: Curva vazão/pressão de saída da bomba PVM098. Fonte: EATON, 2017.

Para a pressão máxima de trabalho do sistema (3000 Psi ou 210 Bar): De acordo com a Figura 56, a eficiência volumétrica máxima é de aproximadamente 97,0%, então com a equação 31, encontra-se a rotação necessária:

$$Q = \frac{V \cdot n \cdot \eta_v}{1000} \tag{31}$$

Onde, V é a cilindrada máxima igual a $98,3 \text{ cm}^3/\text{rot}$ (Tabela 32), n é a rotação da bomba e η_v é a eficiência volumétrica.

Logo,

$$n = 1750 \text{ RPM}$$

O torque necessário do acionador é calculado pela equação 32:

$$M = \frac{1,59 * V * \Delta P}{100 * \eta_t} \quad (32)$$

Onde, V é a cilindrada máxima (Tabela 32), η_t é a eficiência da bomba e ΔP é a variação de pressão máxima.

Logo,

$$M = 82,3 \text{ N.m}$$

A potência necessária para o acionamento da bomba pode ser calculada pela expressão:

$$P = \frac{2\pi * M * n}{60000} [\text{kW}] \quad (33)$$

Onde, M é o torque e n é a rotação da bomba.

Logo,

$$P = 14,6 \text{ kW} = 19,8 \text{ CV}$$

3.3.4.5 Motor Elétrico

A bomba de pistão será acionada pelo motor elétrico de indução trifásico IP 55 da Fabricante WEG, com características apresentadas na Tabela 33.

Tabela 33: Dados técnicos do motor elétrico.

Motor Elétrico – Dados Técnicos	
Acionamento	Indução
Rotação	1775 RPM
Potência	20 HP
Voltagem	4 polos (220, 380, 440 e 760 V)
Frequência	60 Hz
Forma construtiva	Tipo “B35D” NBR 5301
Classe de isolamento	B

Fonte: Autor.

3.3.5 Escolha das Válvulas

No Anexo D, onde se encontra o diagrama com a simbologia de instrumentação do processo, estão destacadas as válvulas que utilizaremos no reprojeto, assim como as suas localizações. As válvulas são de diâmetro de conexão de 2 in e feitas em aço inox.

No Anexo E, destaca-se os acessórios/equipamentos, e abaixo irá ser destacado melhor sua descrição e funcionalidade no projeto de acordo com a numeração no anexo, de acordo com SILVA TELLES (2013):

- (4) **Válvula de Retenção Vertical:** Permitir o fluxo do óleo somente em um sentido, não deixando-o retornar novamente ao tambor descarregado;
- (4) **Válvula de Retenção:** Permitir o fluxo do óleo somente em um sentido, não deixando-o retornar novamente ao tambor descarregado, válvula de segurança (Figura 59a);
- (8) **Válvula de Retenção e Fechamento:** Permitir o fluxo do óleo somente na direção indicada, a favor do sentido da bomba, não permitindo o aparecimento de ar na linha, e fechamento quando um dos filtros da linha estiver saturado para troca e usar a outra linha do sistema para a filtração (Figura 59e);
- (3) **Válvula de Bloqueio:** Não permitir o retorno do óleo e fazer o fechamento pneumático por um controlador quando o óleo estiver aprovado ao zerar o óleo do tambor de descarga ou quando algum filtro da linha estiver saturado para troca e usar a outra linha do sistema para a filtração (Figura 59d);
- (5) **Válvula de Alívio:** Será pneumática e será aberta em caso de extrema pressão do sistema e na abertura do ar comprimido para limpeza de linha, diminuindo a passagem contrária do óleo/ar pela bomba (Figura 59b);
- (3) **Válvula de Bloqueio:** Pneumática, será aberta através de um controlador quando o contador de partículas indicar a aprovação da análise do óleo extra-filtrado (Figura 59d);
- (9) **Válvula de Regulagem:** Para caso necessário, o operador controlar a vazão requerida para o enchimento do saco estéril (Figura 59c).

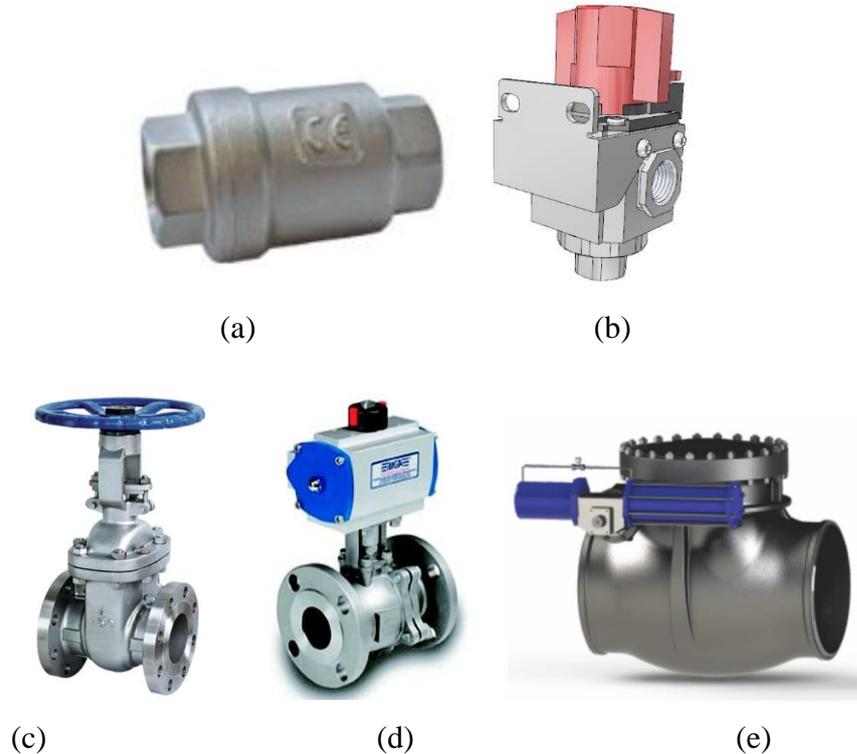


Figura 59: (a) Válvula de retenção (b) válvula de alívio (c) válvula de regulagem (d) válvula de bloqueio (e) válvula de retenção e fechamento. Fonte: AUTODESK.

Todas as válvulas ditadas pneumáticas acima, são eletropneumáticas, na qual permitem controlar a direção do fluxo do fluido, sua pressão e também a vazão no circuito hidráulico através de controle elétrico, acopladas por solenoides. Apresentam as seguintes características:

- Tornam os circuitos elétricos e pneumáticos mais simples;
- Não apresentam desgaste mecânico das peças;
- Controladas por CLPs, facilitando o processo de automação e controle das mesmas.

São constituídas num fio elétrico enrolado num carretel, formando uma bobina. Ao fornecer uma corrente ao fio, o núcleo da bobina sofre a ação de uma força eletromagnética e desloca-se dentro do carretel. O carretel é uma peça cilíndrica com várias ranhuras radiais. Quando se aciona a válvula, o carretel desloca-se em movimento linear, abrindo algumas passagens para o fluido e fechando outras. Assim, dependendo da posição do carretel no interior da válvula, o fluido percorre um caminho ou outro. O carretel apresenta movimento nos dois sentidos: para a direita ou para a esquerda.

3.3.6 Seleção de Instrumentação, Controles e Acessórios de Montagem

Os itens que irão compor o sistema são descritos a seguir.

3.3.6.1 Compressor de Ar Comprimido

Será utilizado na linha, um compressor de ar comprimido com reservatório de 20 para funções de controle em automatismos nas válvulas pneumáticas, efetuando a distribuição por meio de tubulações de ar comprimido situando as tomadas nas proximidades dos utilizadores. E outra função é a de limpeza de linha, na qual fará o deslocamento do produto para um tambor de *slop*, eliminando o produto que ainda se encontra na linha.

Sendo assim, ele possuirá duas funções:

1. Comunicar a fonte produtora com as válvulas pneumáticas;
2. Funcionar como um reservatório para atender ao deslocamento da linha;

O *layout* da Anexo F apresenta a linha de distribuição do compressor de ar pelas válvulas e a ramificação dela na linha para deslocamento da mesma. Através do *layout*, pode-se então definir o menor percurso da tubulação, acarretando menores perdas de carga e proporcionando economia. O sistema de interligação é feito com o auxílio de mangueiras em P.V.C. flexível, recoberto com trama de poliéster, onde apresenta flexibilidade, proteção ao termoplástico e maior resistência à ruptura. Conforme exemplo da Figura 60.



Figura 60: Tipos de mangueiras. Fonte: FESTO (2006).

3.3.6.2 Manômetro

Como a pressão pós filtro no circuito é sempre zero, por se tratar de retorno, a indicação de pressão diferencial no filtro pode ser dada instalando apenas um manômetro na entrada dos filtros de 5 μm . A instalação pode ser feita diretamente no cabeçote do filtro. O modelo selecionado que atende as especificações do sistema é da BOSCH ROXROTH, modelo R928019224, com leitura de 0 a 6 bar (Figura 61).

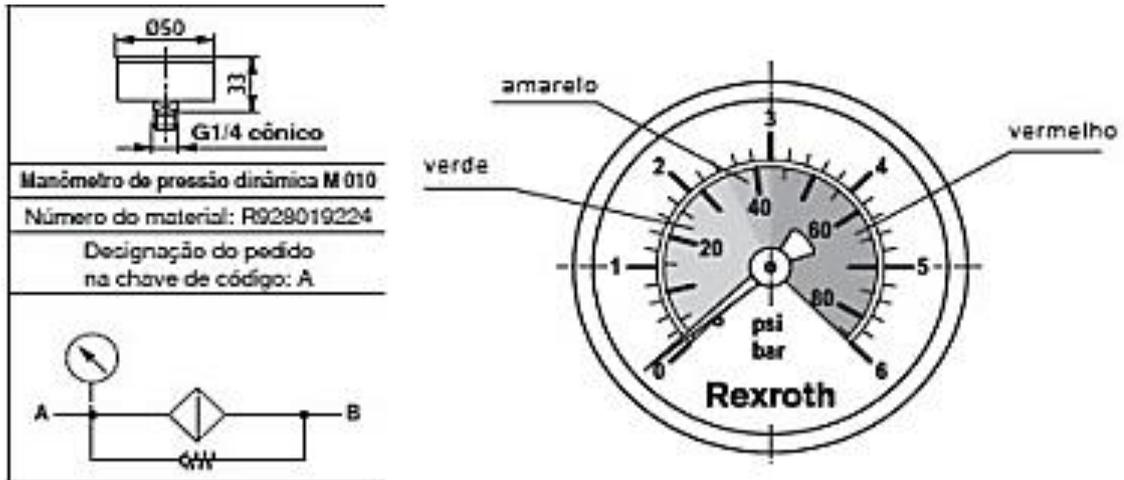
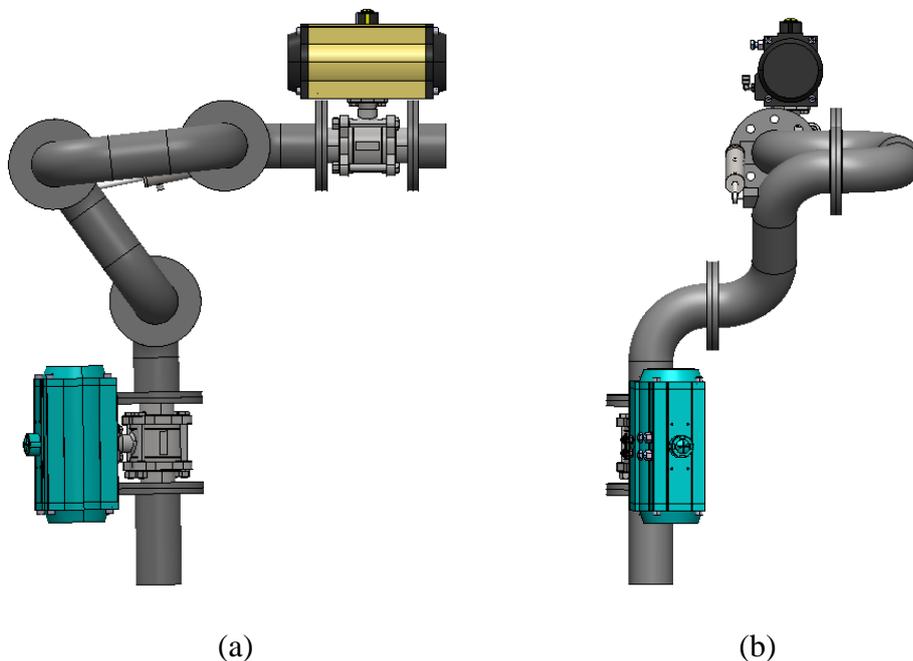


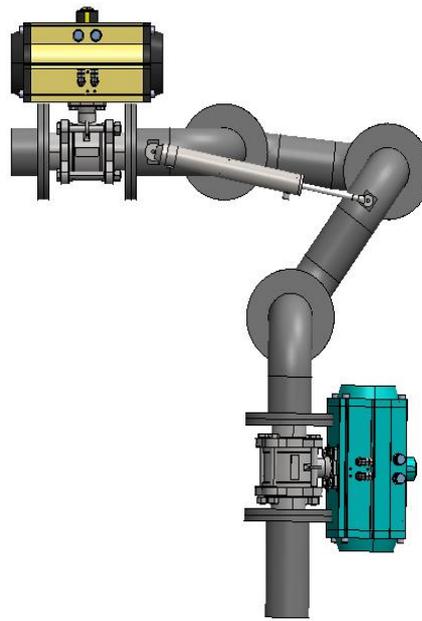
Figura 61: Manômetro R928019224. Fonte: Adaptado de REXROTH (2013).

3.3.6.3 Braço de Enchimento

O braço de enchimento do saco estéril, conforme a Figura 62, será articulado em três pontos do mecanismo através de conexões rotatórias, dando uma flexibilidade vertical e horizontal ao processo de carregamento. O bico será composto de um volante para auxiliar no controle e no posicionamento no acoplamento do saco estéril. No intuito de deixar a articulação do braço mais fixa, será vinculado ao braço de carregamento um feixe de molas, onde permite a manutenção do braço em uma posição fixa.

O bico é composto também de uma válvula de retenção vertical (azul na Figura 62), na qual permite o fechamento do carregamento em caso de algum problema no enchimento ou em caso de conclusão do carregamento dos 200 L permitidos no tambor.



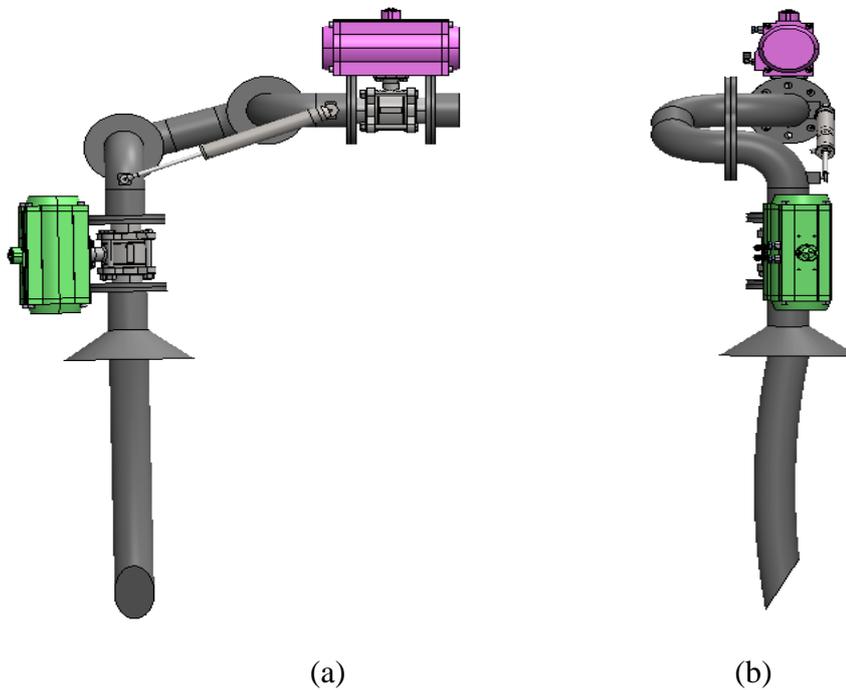


(c)

Figura 62: Braço de carregamento em diferentes visualizações (a), (b) e (c). Fonte: Autor.

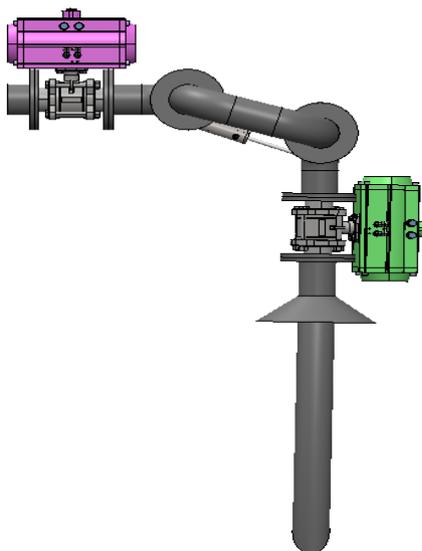
3.3.6.4 Braço de Descarga

O braço de descarga será bem parecido com o de carregamento, no entanto apresentará um bico maior para fixar-se no fundo do tambor a ser descarregado. O final do bico terá uma angulação de 40° para poder fazer todo o processo de descarga, sem permitir a entrada de ar pela angulação reta da boquilha. Além disso, no final do braço de descarga terá uma válvula de bloqueio/regulagem (verde na Figura 63). Abaixo, tem-se um esboço do braço de descarga.



(a)

(b)



(c)

Figura 63: Braço de descarga em diferentes visualizações (a), (b) e (c). Fonte: Autor.

3.3.6.5 Tubulações e Conexões

1. Os tubos de todo sistema são de aço inox 2" padrão Schedule SCH-10s nas normas ASTM A312, A409, A778 conforme ANSI B36.10 e B36.19.
2. Para a linha de ar comprimido foi optado por tubulação e conexões rígidas galvanizadas, de latão, na medida de ½".
3. O acoplamento flexível e o flange de ligação do motobomba serão de latão e aço inox, respectivamente.

3.3.6.6 Esteira com Balança Eletrônica

Ter-se-á 2 esteiras com roletes por acionamento, uma posicionada na descarga dos tambores e outra posicionada no enchimento dos tambores virgens junto aos sacos estéreis. A esteira de descarga será composta por uma balança digital (Figura 64a), onde pode-se ver o término de transferência do óleo para a linha de extra-filtragem.

Com o término, far-se-á uma comunicação através do comando eletrônico com a válvula pneumática de bloqueio do braço, fechando-a. Além disso, a balança será composta de uma possibilidade de inclinação através de um braço alavanca, conforme ilustrado na Figura 86b na qual permitirá a descarga de algum pequeno acúmulo ainda dentro do mesmo.

A esteira de carregamento terá o mesmo princípio da esteira de descarga, no entanto não terá o vínculo de um braço alavanca. A balança terá comunicação com o sistema de controle

eletrônico do processo de extra-filtragem, na qual quando o tambor já estiver preenchido com o óleo extra-filtrado, visto através do peso, será fechado a válvula pneumática de bloqueio do braço de carregamento e permitirá a abertura da válvula do braço de descarga pelo acionamento da botoeira no quadro. Assim sendo, será iniciado novamente o processo de extra-filtragem do próximo tambor.



Figura 64: (a) balança digital (b) esteira de roletes com o braço de alavanca. Fonte: LÍDER BALANÇAS.

3.3.6.7 Quadro de Comando Elétrico

O quadro de comando elétrico será posicionado nas duas esteiras e será equipado com botoeiras e luzes de comando. O quadro contará com as seguintes especificações e indicações:

- Apresentará luzes indicando a abertura de cada válvula pneumática;
- Cada válvula pneumática poderá ser aberta ou fechada por uma botoeira;
- Terá visor de cada balança digital;
- Irá acionar e desligar o sistema de extra-filtragem computadorizado;
- Poderá acionar e desligar manualmente o motor elétrico;
- Terá o indicador do contador de partículas, indicando a análise do grau de contaminação e acionando uma luz ao aprovar o óleo da extra-filtragem.

Capítulo 4

Resultados e Discussões

4.1 Testes Realizados

Foram realizados dois testes de desempenho do antigo projeto, os dois testes foram a partir do óleo lubrificante HYDRA XP 68 e com o processo em contentor de 1000 L. Os testes práticos no reprojeto ainda não podem ser realizados, pois o projeto só entrará em construção física dentro de um ano. Portanto, trataremos de modo teórico a comparação dos dois sistemas especificados.

4.1.1 Antigo Projeto

No Anexo C está detalhado todos os fatores laboratoriais conclusivos da análise do óleo extra-filtrado antes e depois de filtrado. Pode-se perceber que não temos alteração das propriedades físicas e químicas do óleo, portanto, leva-se em consideração as características temporais e físicas do processo de extra-filtragem como comparativo.

Abaixo, na Tabela 34, tem-se alguns parâmetros seguidos na operação do equipamento e filtragem do óleo:

Tabela 34: Parâmetros de funcionamento do antigo projeto.

Dados do antigo projeto em operação			
Variável	Descrição	Valor	Unidade
Q_o	Vazão da bomba	110	l/min
P_{ar}	Pressão de acionamento	7	Bar
P_m	Pressão diferencial no filtro	0,14	Bar

Fonte: Autor.

4.1.2 Comparativo

Para forma de comparação entre o antigo projeto e o reprojeto, pegamos os valores temporais para trabalharmos no custo e no retorno a prazo da construção do reprojeto. Além disso, trar-se-á todas as melhorias de processo para o ambiente, para o próprio óleo e para segurança físico do operador ou auxiliar de operação na qual atua na atividade operacional.

Os valores do reprojeto já foram calculados e projetados no capítulo anterior para dimensionamentos. Abaixo, na Tabela 35, será destacado todo os parâmetros necessários para ter-se um comparativo a partir da operação de extra-filtragem de um tambor de 200 L.

Tabela 35: Parâmetros temporais do antigo projeto e reprojeto.

Dados temporais do antigo projeto e reprojeto		
Características	Antigo Projeto (min)	Reprojeto (min)
Tempo de descarga	2 min	1,5 min
Setup de filtragem	3 min	0 min
Tempo de filtragem	12 min	4 min
Setup de carregamento	3 min	0 min
Tempo de carregamento e envase	2 min	1,5 min
Total	22 min	7 min

Fonte: Autor.

Pode-se perceber uma melhor em quase 300% no tempo de toda operação para envase de óleo extra-filtrado, ou seja, acatando a especificação prevista de aumento da produtividade em aproximadamente 3x da antiga operação. Tal operação processava cerca de 15 a 20 tambores diariamente, passando a processar 60 tambores diários.

4.2 Desenhos do Reprojeto

Os desenhos do reprojeto encontram-se no APÊNDICE I.

4.3 Viabilidade Técnica e Econômica

4.3.1 Características em Ganhos Técnicos

Com o reprojeto do sistema de extra-filtragem, os resultados que serão alcançados proporcionam ganhos inimagináveis e eliminação aos gargalos mapeados e analisados. Abaixo, listam-se alguns pontos do estudo em questão:

- **Aumento da confiabilidade do sistema:** Com o aumento da eficiência hidráulica, a diminuição de conexões e reduções e a diminuição da potência destrutiva do sistema, os esforços mecânicos sobre a bomba são extremamente reduzidos, permitindo assim, um aumento da confiabilidade dos equipamentos do sistema;
- **Aumento da produtividade e da demanda de vendas:** Aumento da possibilidade de venda, na qual já se tem esta demanda, e isso se deve ao

aumento da produtividade de extra-filtragem do óleo lubrificante para envase no tambor;

- **Redução do trabalho braçal dos funcionários:** A redução no trabalho braçal é diretamente proporcional o aumento da automatização do reprojeto, onde se tem válvulas pneumáticas e esteiras rolantes;
- **Diminuição das falhas e riscos nos set-points:** Com a diminuição dos set-points, diminui os riscos de falhas em alinhamento, riscos de contaminação e vazamento;
- **Eficiência na troca dos elementos filtrantes e na diminuição de paradas:** Com a nova montagem em cascata dos filtros e os elementos filtrantes em série, pode-se diminuir a parada para troca dos elementos no sistema e a continuidade da produção. Além disso se obtém uma eficiente válvula by-pass que permite a análise da vida útil do mesmo.

4.3.2 Características Utilizadas na Análise de Investimento

Para a análise do investimento foram consideradas as premissas listadas abaixo:

- A. Para o estudo de viabilidade econômica foram considerados todos os valores em reais;
- B. O valor de contingência para este estudo foi de 10%;
- C. O custo estimado de materiais e serviços necessários perante uma empresa que trabalha na construção de plantas de filtragem;
- D. O custo da energia elétrica, também foi considerado: 1 MWh = R\$ 292,00;
- E. A margem de erro estabelecida para as estimativas deste estudo está entre -15% e 15%;
- F. Para este estudo foi considerado disponível o espaço para o reprojeto, na qual já se obtinha no antigo projeto.

4.3.3 Análise de Retorno do Investimento Proposto

Em relação aos custos e os retornos esperados provindos da construção do reprojeto, realizou-se um simples estudo de viabilidade econômica para o empreendimento em questão, analisando-se assim, a viabilidade econômica do projeto.

Para o custo estimado de todo reprojeto, temos a seguinte proposta de valores (Tabela 36), onde irá ser trabalhado em cima dela a análise de retorno do investimento a se fazer.

Tabela 36: Custo do Reprojeto.

Descrição	
Motor elétrico de indução + Bomba de pistão	
Flange de ligação do motor-bomba	
Acoplamento flexível do motor-bomba	
2 Braços de carregamento/descarga	
6 Filtros Parker FR 1500 A	
Contador de partículas Parker + Válvula de pressão diferencial	
2 Balanças Eletrônicas	
Válvulas (pneumáticas)	
Compressor de ar comprimido e todo o sistema	
Quadro de comando elétrico para controle	
Conjunto de tubos de aço inox 2' SCH-10s, flanges e conexões para interface do sistema	
Mão de obra para instalação e start-up	
2 Esteiras rolantes para tambor	
Condições comerciais	
Preço de materiais	R\$ 410.000,00
Preço de mão de obra	R\$ 70.000,00
Preço total	R\$ 480.000,00

Fonte: Autor.

Somado a este custo, tem-se o aumento do consumo de energia elétrica, na qual se tinha 280 min/dia de motor elétrico em funcionamento e com o reprojeto passou à 420 min/ dia do motor em atividade. Com isso, há um aumento de 140 min/dia, que se equivale a 2,33 horas a mais. Isso se eleva o custo mensal, considerando 22 dias trabalhados no mês, em aproximadamente R\$ 15.000,00.

O processo de extra-filtragem de cada tambor custa ao cliente o valor de aproximadamente R\$ 200,00. Com o aumento das vendas de 20 tambores extra-filtrados para uma dedução, na qual o setor comercial já constatou em sua análise de demanda, de 60 tambores, têm-se um lucro mensal de R\$ 176.000,00.

Portanto, na diminuição do lucro com o custo mensal de diferença para o antigo projeto, tem-se um lucro de, aproximadamente, R\$ 160.000,00 por mês com a construção física do reprojeto. Levando em consideração o custo de implantação de R\$ 480.000,00, o retorno do

investimento se dará em rapidamente com a atuação na nova produtividade, passando assim da real expectativa de 12 meses (1 ano) de retorno do investimento a ser feito.

A partir destes dados, pode-se concluir que, o reprojeto além de apresentar resultados extremamente positivos tecnicamente, é ainda uma solução viável economicamente para a construção proposta, que possui uma taxa de retorno mensal de 33,33 %. Considerando isso, o *payback* do projeto como um todo seria em 3 meses.

4.4 Fatores de Saúde, Meio Ambiente e Segurança

Além de toda otimização técnica e de viabilidade financeira, tem-se outras principais melhorias no reprojeto, melhorias que favorecerão os trabalhadores da operação e o meio-ambiente em questão. Abaixo, destacam-se:

1. Diminuição da probabilidade de vazamento dos óleos lubrificantes, que geram contaminação do solo, poluição;
2. Diminuição da probabilidade de contato do operador com o óleo;
3. Diminuição do trabalho braçal com o rolamento dos tambores e movimentação dos mangotes para conexão;
4. Eliminação do tanque de circulação, que elimina o trabalho em altura e a probabilidade de queda;
5. Diminuição da quantidade em volume de limpeza de linha, ou seja, geração de lubrificante contaminado.
6. Eliminação dos frascos para amostragem do óleo e posteriormente, eliminação dos frascos contaminados para o lixo.

Capítulo 5

Considerações Finais

A principal proposta deste trabalho foi alcançada com sucesso e será daqui para frente tirada do papel, para construção deste reprojeto do sistema de extra-filtragem de uma grande empresa do ramo. O reprojeto foi necessário devido as dificuldades operacionais e os riscos que a operação estava acarretando. A questão mais requerida foi a automatização e simplificação de toda a linha para facilitar a operação e diminuir todos os gargalos encontrados, sem fugir das especificações de produtividade e viabilidade técnica.

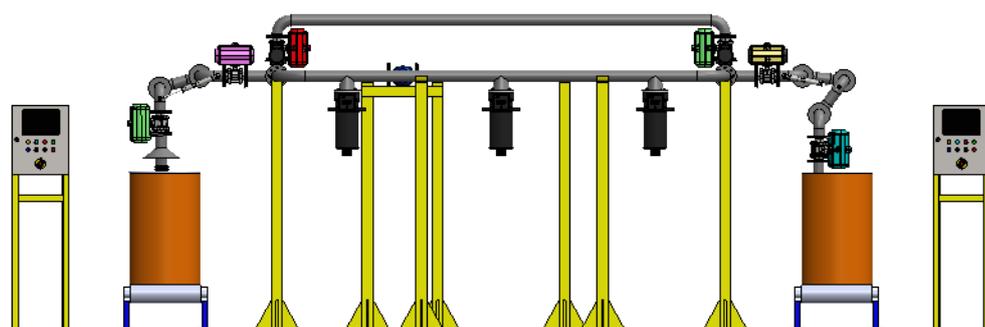
A começar pelo *layout* do circuito, percebe-se essa questão requerida. Baseado na referência de eliminação dos *setups*, das paradas, possibilitando uma confiança extra na filtragem realizada pelo sistema. Com controles simples, foi permitido fácil operação sem comprometer nenhum ponto da funcionalidade ou controle do mesmo, feito basicamente por aberturas e fechamentos de válvulas pneumáticas em comportamento junto às balanças digitais.

Apesar de trazer para o reprojeto uma base de caráter teórico, tendo como referência cálculos e análises físicas e teóricas do antigo projeto, os acervos técnicos proporcionaram o dimensionamento e seleção dos componentes com uma projeção confiável e completa. Tendo assim, a composição de um sistema bem alinhado às necessidades estabelecidas, de produção de aproximadamente 60 tambores por dia de óleos lubrificantes extra-filtrados.

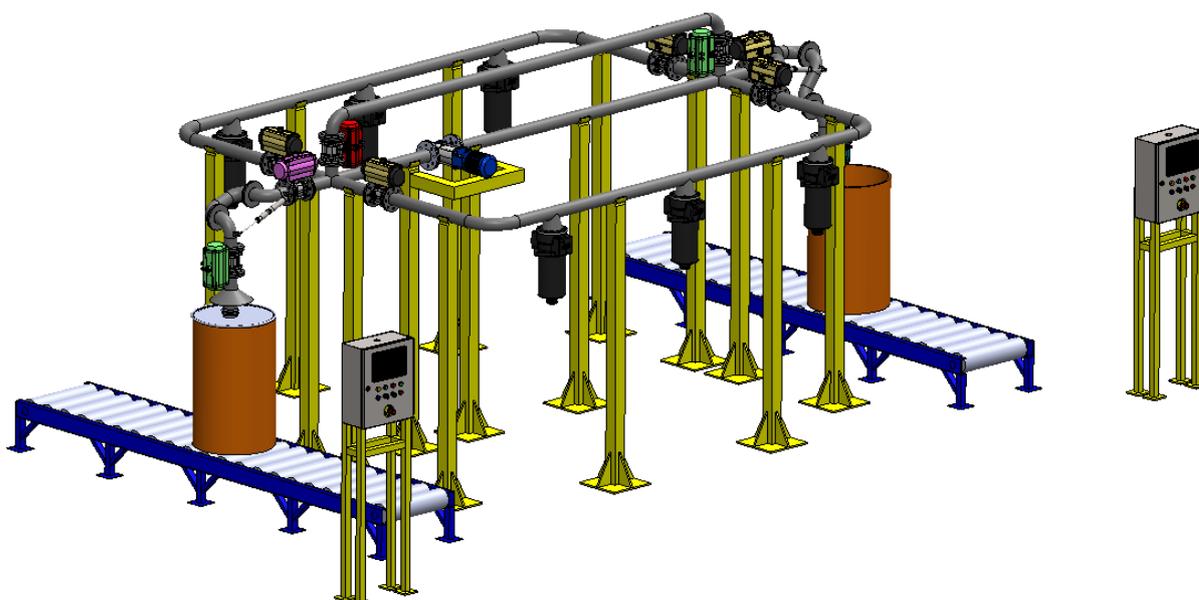
A partir do desenvolvimento deste trabalho, é sugerido a título de contribuição para o estudo da filtragem de lubrificantes e desenvolvimento de sistemas hidráulicos pesquisar em:

- Continuidade do tema com abordagem na utilização de filtros com granulometria menor e eficiências diferentes;
- Abordagem de outras técnicas como a filtragem centrífuga;
- Estudo da filtragem no aspecto de gestão de manutenções, abordando os procedimentos, economia para a manutenção e desempenho dos equipamentos;
- O comparativo prático entre este projeto e o antigo do sistema de extra-filtragem;
- A análise comportamental dos elementos filtrantes com o passar do tempo em relação a sua vida útil, como a análise mais adentro dos demais tipos de bombas;
- Comparar a eficiência de filtragem entre lubrificantes de base mineral e sintética, além de comparar as técnicas atualmente utilizadas.

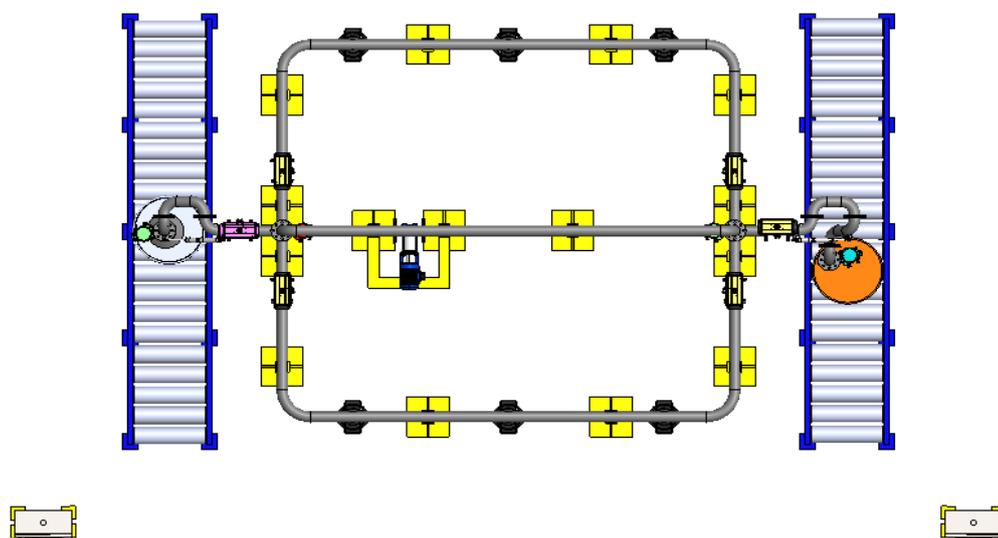
APÊNDICE I – DESENHOS DO REPROJETO



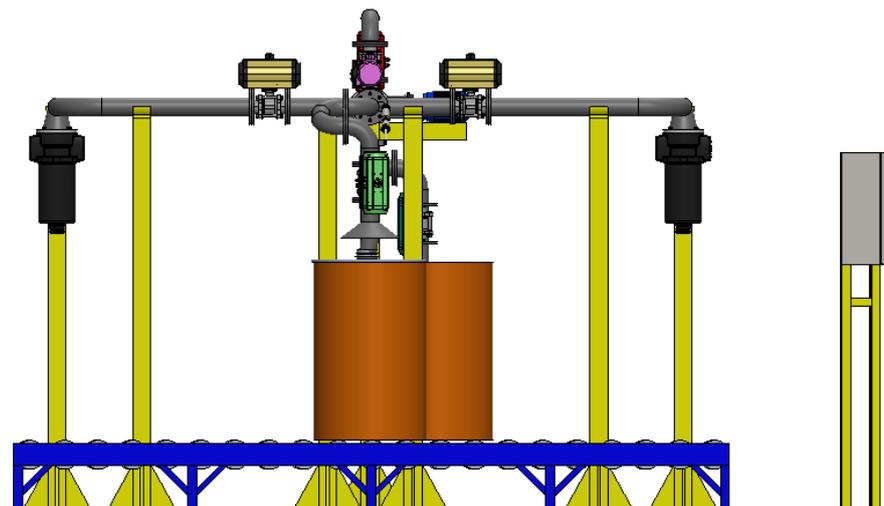
Apêndice 1: Vista 1 da estrutura completa do reprojeto de extra-filtragem. Fonte: Autor.



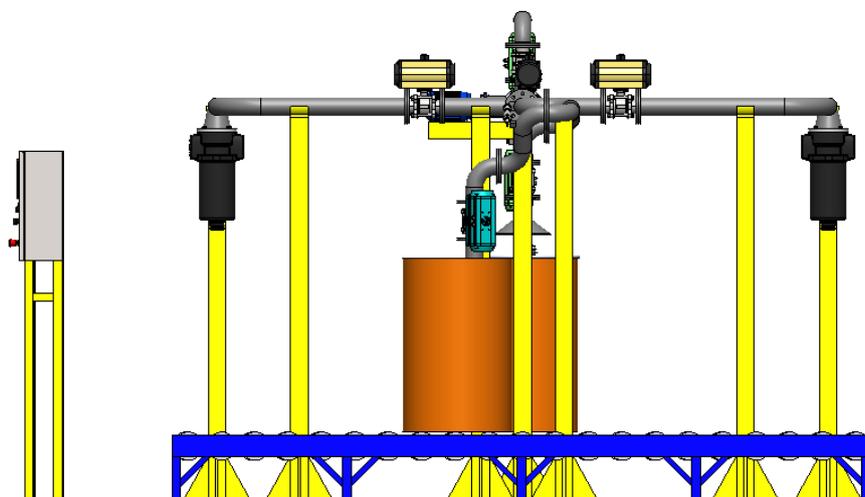
Apêndice 2: Vista 2 da estrutura completa do reprojeto de extra-filtragem. Fonte: Autor.



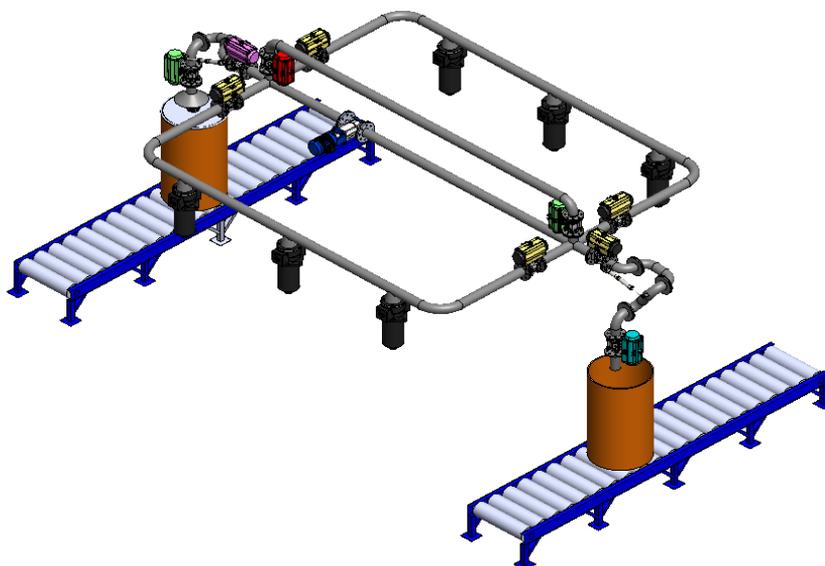
Apêndice 3: Vista 3 da estrutura completa do reprojeto de extra-filtragem. Fonte: Autor.



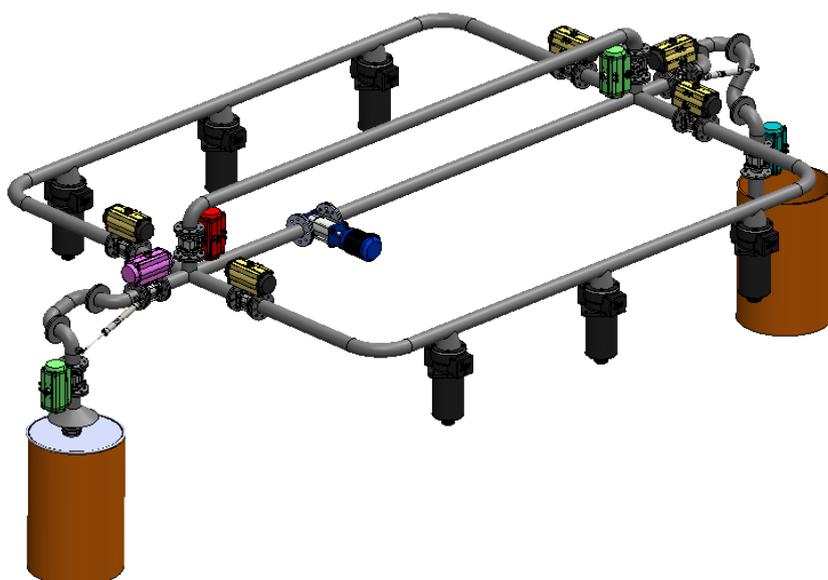
Apêndice 4: Vista 4 da estrutura completa do reprojeto de extra-filtragem. Fonte: Autor



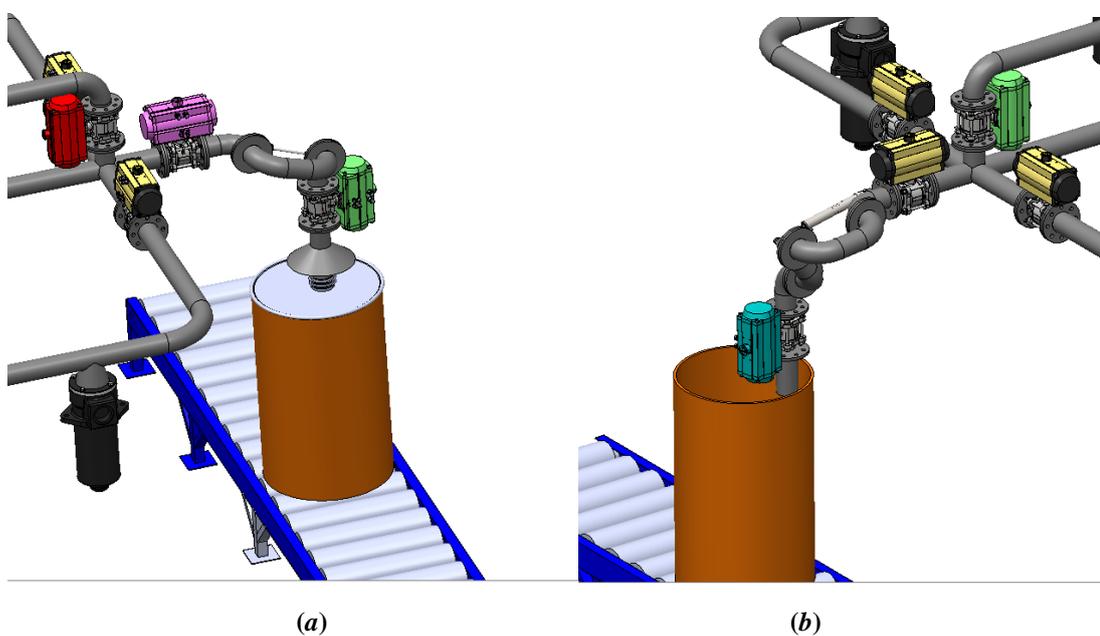
Apêndice 5: Vista 5 da estrutura completa do reprojeto de extra-filtragem. Fonte: Autor.



Apêndice 6: Vista 1 do reprojeto do sistema de extra-filtragem. Fonte: Autor.

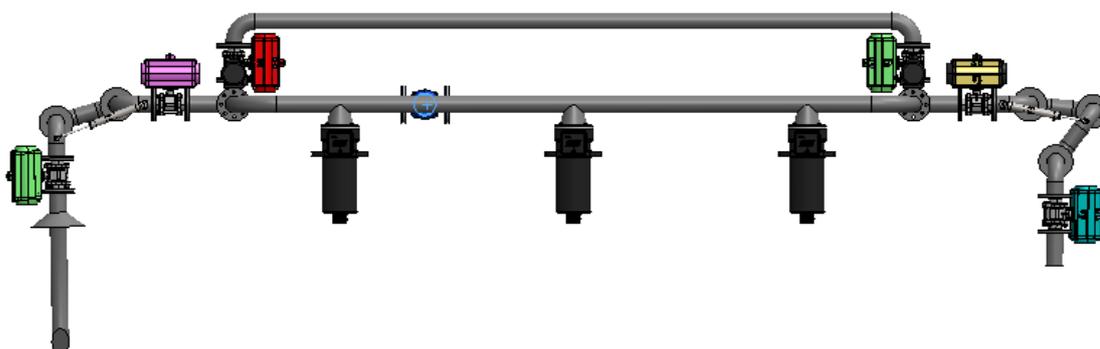


Apêndice 7: Vista 2 do reprojeto do sistema de extra-filtragem. Fonte: Autor.



Apêndice 8: Vista cortada com foco no braço de descarga (a) e vista cortada com foco no braço de descarga (b).

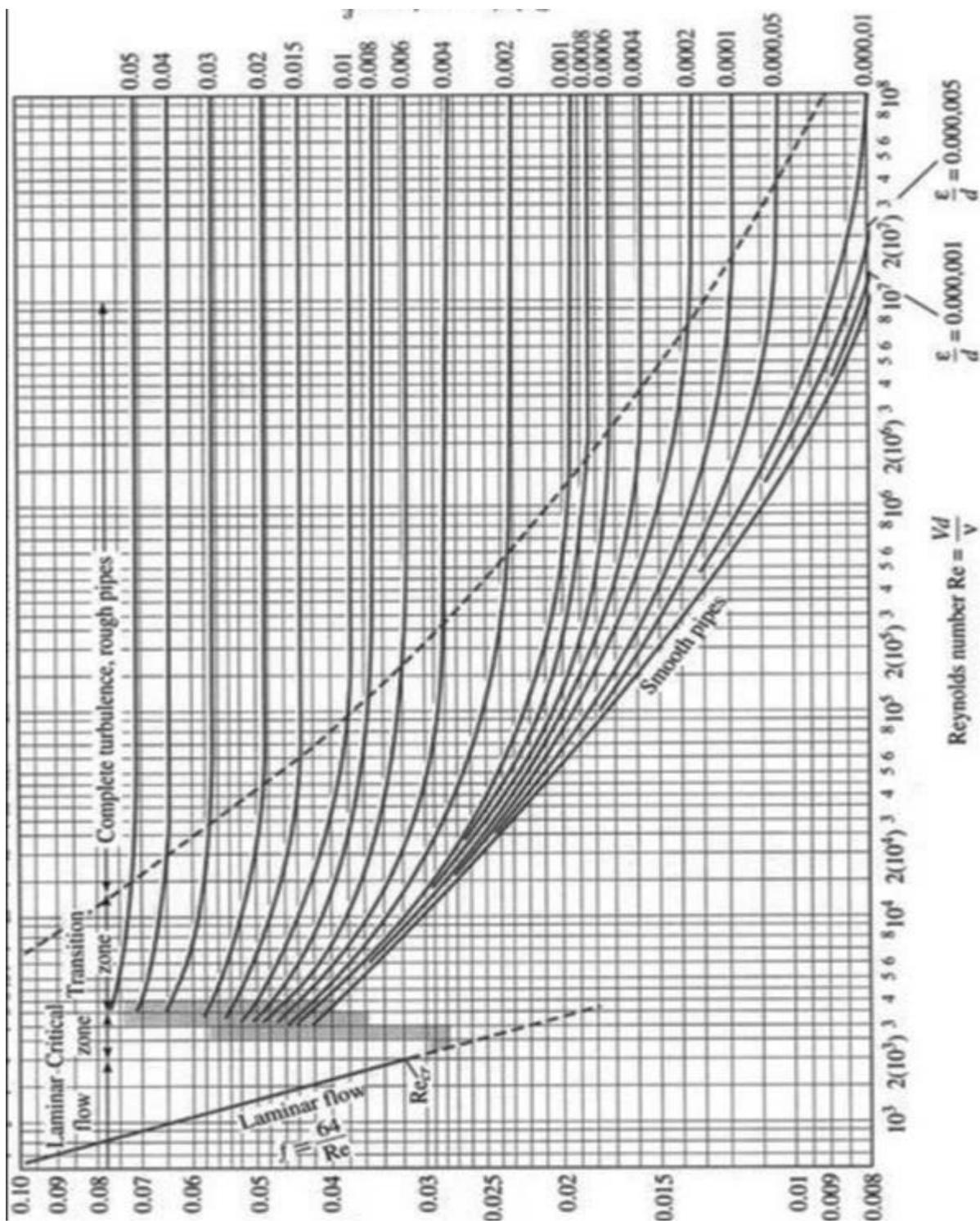
Fonte: Autor.



Apêndice 9: Vista 3 do reprojeto do sistema de extra-filtragem. Fonte: Autor.

ANEXOS

Anexo A – Diagrama de Moody



Anexo 1: Diagrama de Moody. Fonte: BRUNETTI (2008).

Anexo B – Comprimento Equivalente dos Acessórios e Conexões

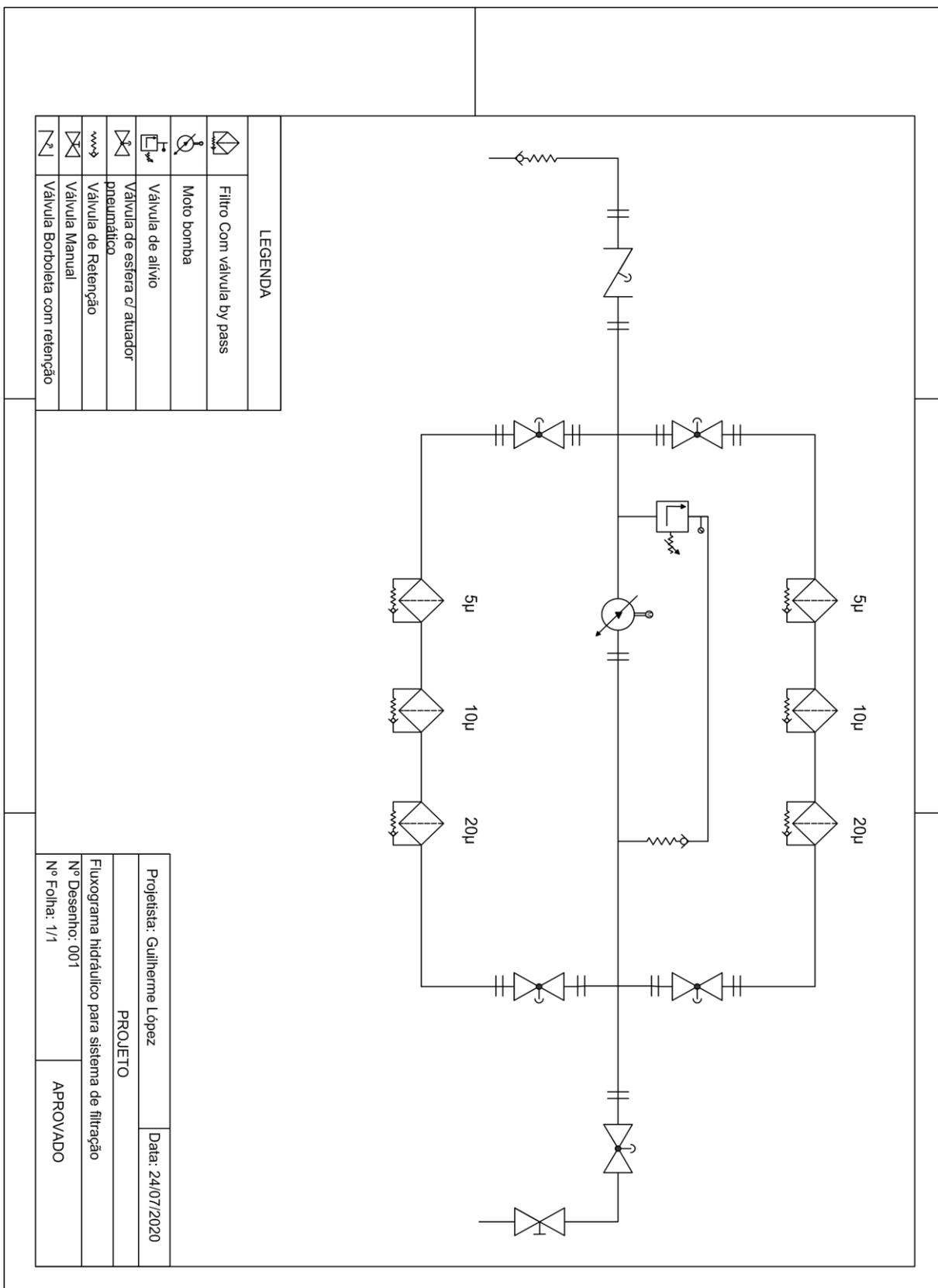
PERDA LOCALIZADA EM MCA	½"	¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"	2 ½"	3"	4"	5"	6"
 Cotovelo ou joelho 90º Raio longo	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,6	2,1	2,7	3,4	4,3
 Cotovelo ou joelho 90º Raio médio	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,1	2,8	3,7	4,3
 Cotovelo ou joelho 90º Raio curto	0,5	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,2	4,9
 Cotovelo ou Joelho 45º	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9	2,3
 Curva 90º	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	1,9
 Curva 90º R/D=1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,0	2,5
 Curva 45º	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1
 Redução concentrica	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2
 Tê fluxo direto	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7	3,4
 Tê fluxo lateral	1,0	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	10,0
 Tê fluxo bilateral	1,0	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	10,0
 Saída de tubulação	0,4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0	5,0
 Entrada de tanque s/ borda	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,6	2,0	2,5
 Entrada de tanque c/ borda	0,4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0	5,0
 Válvula gaveta aberta	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1
 Válvula globo aberta	4,9	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	43,0	51,0
 Válvula gaveta angular	2,6	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0	26,0
 Válvula de pé com crivo	3,6	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	20,0	23,0	30,0	39,0
 Válvula de retenção leve	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	8,4	10,4	12,5
 Válvula de retenção pesada	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	12,9	16,1	19,3

Anexo C - Fatores Laboratoriais do Óleo Extra-Filtrado Antes e Depois

PRODUTO (CÓDIGO)			HYDRA XP 68 - Tambor Metálico de 200L (01.002.282)					
ORDEM DE SERVIÇO / DATA EXTRA-FILTRAGEM			29.11.2015		29.11.2015		29.11.2015	
EQUIPAMENTO DE EXTRA-FILTRAGEM			CARRINHO 110L (EP-129/0809)		CARRINHO 110L (EP-129/0809)		CARRINHO 110L (EP-129/0809)	
ELEMENTO FILTRANTE			PALL - 5 MICRAS (HC 7504 FKT8H)		PALL - 5 MICRAS (HC 7504 FKT8H)		PALL - 5 MICRAS (HC 7504 FKT8H)	
TEMPO DE FILTRAGEM MÍNIMO			15 minutos		15 minutos		15 minutos	
EQUIPAMENTO DE DETERMINAÇÃO DE NAS			LASER NET FINES (PB)		LASER NET FINES (PB)		LASER NET FINES (PB)	
AMOSTRA			1		2		3	
			ANTES	DEPOIS	ANTES	DEPOIS	ANTES	DEPOIS
NAS (GMLC - fim filtragem)			NA	3	NA	3	NA	3
NAS (GTECNO - Laudo)			11	4	11	4	12	4
LOTE / AMOSTRA			119207	119207	119459	119459	119542	119542
LOTE CONTROLE			89-38373	89-38374	89-38375	89-38376	89-38377	89-38378
DATA COLETA			30.11.2015	30.11.2015	29.11.2015	29.11.2015	30.11.2015	30.11.2015
DATA ANÁLISE			20.02.2016	20.02.2016	20.02.2016	20.02.2016	20.02.2016	20.02.2016
CARACTERÍSTICA	MÉTODO	UN.						
CONT. PART. NAS 1638	NAS 1638	NA	11	4	11	4	12	4
COR ASTM	ASTM D6045	NA	L2	L2	L2	L2	L2	L2
APARÊNCIA VISUAL	PE-2BR-136	NA	LÍMPIDO	LÍMPIDO	LÍMPIDO	LÍMPIDO	LÍMPIDO	LÍMPIDO
ESPUMA SEQ I (TENDÊNCIA)	ASTM D892	ml	0	0	0	0	0	0
ESPUMA SEQ I (ESTABILIDADE)	ASTM D892	ml	0	0	0	0	0	0
ESPUMA SEQ II (TENDÊNCIA)	ASTM D892	ml	20	20	10	20	30	20
ESPUMA SEQ II (ESTABILIDADE)	ASTM D892	ml	0	0	0	0	0	0
ESPUMA SEQ III (TENDÊNCIA)	ASTM D892	ml	0	0	0	0	0	0
ESPUMA SEQ III (ESTABILIDADE)	ASTM D892	ml	0	0	0	0	0	0
PONTO DE FLUIDEZ (*1)	ASTM D7346	o C	-12	-12	-15	-12	-12	-12
DEMULSIMIBILIDADE 54 Oc (óleo)	ASTM D1401	ml	42	42	42	41	41	42
DEMULSIMIBILIDADE 54 Oc (água)	ASTM D1401	ml	38	38	38	39	39	38
DEMULSIMIBILIDADE 54 Oc (emulsão)	ASTM D1401	ml	0	0	0	0	0	0
DEMULSIMIBILIDADE 54 Oc (tempo)	ASTM D1401	min	15	10	10	15	15	10
VISCOSIDADE 40 o C	D445	cSt	63,94	62,79	66,30	61,51	62,15	62,2
VISCOSIDADE 100 o C	D445	cSt	8,383	8,255	8,682	8,148	8,242	8,224
ÍNDICE DE VISCOSIDADE (*2)	ASTM D2270	NA	100	99	103	99	101	100
CCS - VISC. BAIXA TEMP.	ASTM D5293							
IAT D-974	ASTM D975	mgKOH/g	0,40	0,51	0,42	0,48	0,43	0,47
IBT (*3)	ASTM D 2896							
TEOR DE ÁGUA	ASTM D95	%						
ÁGUA POR CREPITAÇÃO	PE-2BR-133	NA	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
DENSIDADE DIGITAL 20oC/4oC	ASTM D4052	g/cm ³	0,8825	0,883	0,8829	0,8824	0,8821	0,8820
PONTO DE FULGOR COC	ASTM D92	o C						
CORROSÃO LÂMINA COBRE (3h, 100 oc)	ASTM D130	NA	1a	1a	1a	1a	1a	1 ^a
TEOR DE ZINCO RAIOS-X OU PLASMA	ASTM D4927	%(m)	0,0390	0,0395	0,0391	0,0393	0,0393	0,0396
TEOR DE FÓSFORO RAIOS-X OU PLASMA	/ D5185	%(m)						
TEOR DE CÁLCIO RAIOS-X OU PLASMA		%(m)						
INFRAVERMELHO	FTIR	NA						
FERRUGEM - PROC. B (4H, 60 Oc) (*4)	ASTM D665	NA						
BOMBA ROTATÓRIA (*5)	ASTM D2272	min						
QUATRO ESFERAS (75 oc,1h,1200 rpm,	ASTM D4172							
LAUDO			APROVADO	APROVADO	APROVADO	APROVADO	APROVADO	APROVADO

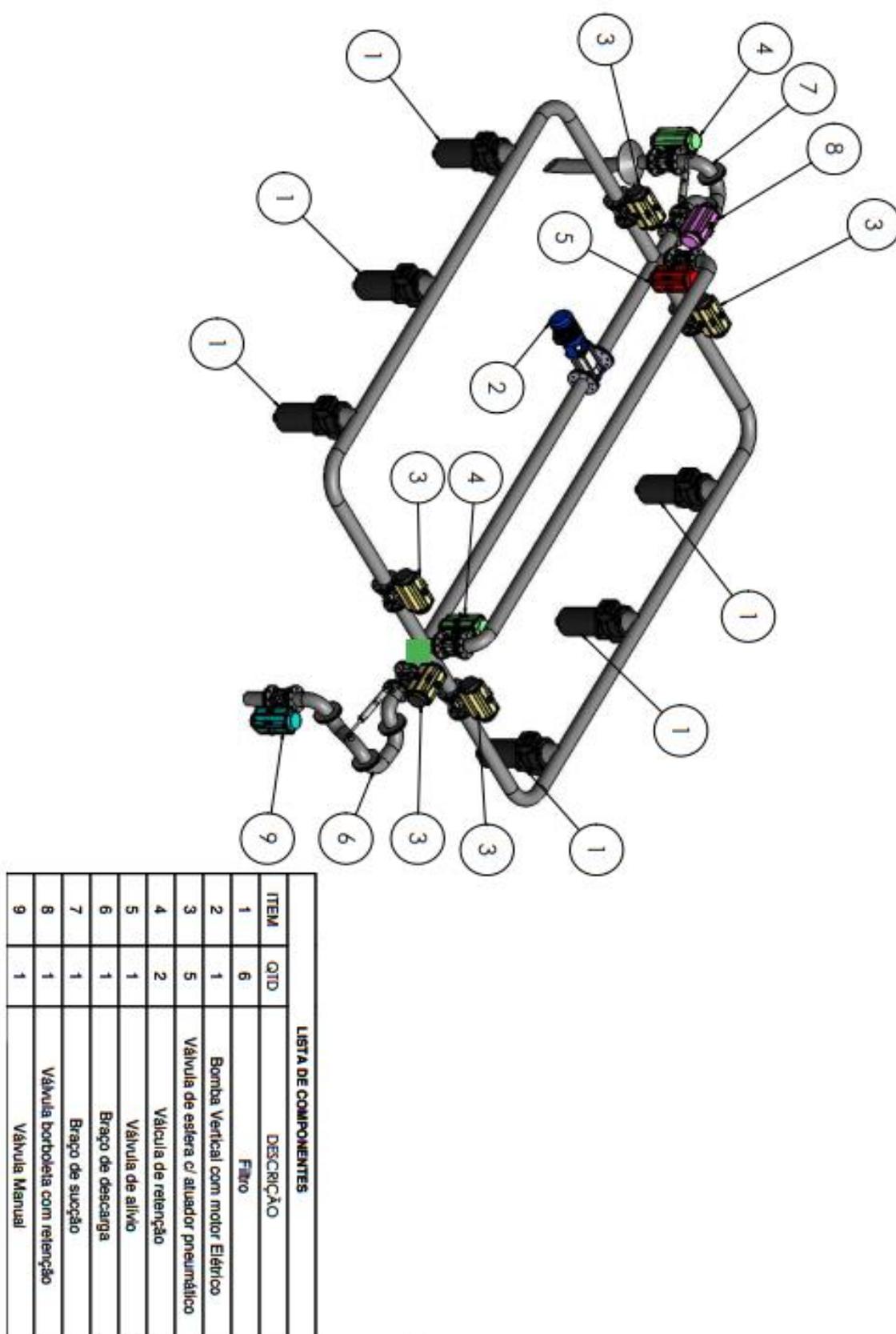
Anexo 3: Fatores Laboratoriais do Óleo Extra-Filtrado Antes e Depois. Fonte: Autor.

Anexo D – Fluxograma com Simbologia de Instrumentação do Processo



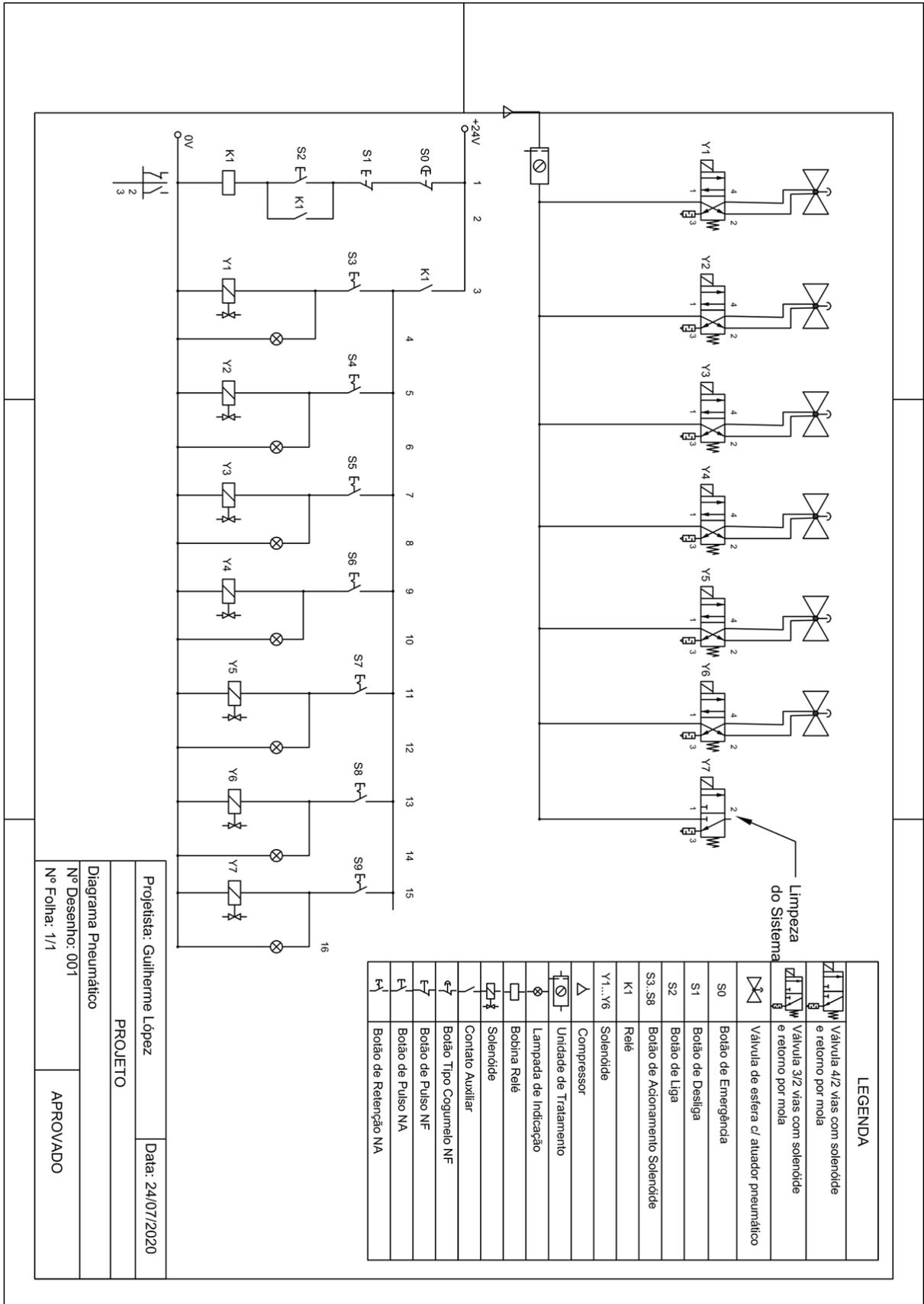
Anexo 4: Fluxograma com Simbologia de Instrumentação do Processo. Fonte: Autor.

Anexo E – Desenho Isométrico de Descrição dos Instrumentos



Anexo 5: Desenho Isométrico de Descrição dos Instrumentos. Fonte: Autor.

Anexo F – Layout da Linha de Distribuição do Compressor de Ar



Anexo 6: Layout da Linha de Distribuição do Compressor de Ar. Fonte: Autor.

Referências

Referências Bibliográficas

ANDRADE, V. M. **Desenvolvimento de Uma Unidade de Filtragem de Lubrificantes**. Juiz de Fora: UFJF, TCC do curso de Engenharia Mecânica, 2008.

AUTODESK. **Coleção de Válvulas**. Autodesk, Inc., 2009.

BRASIL, A. N. **Hidráulica Básica a Máquinas de Fluxos**. Itaúna: Universidade de Itaúna, 2013

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos**. Pearson Prentice Hall, 2008.

CARRETEIRO, R. P.; BELMIRO P. N. A. **Lubrificantes e Lubrificação Industrial**. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2006.

CATERPILLAR. **Controle de Contaminação: Manual de Referência**. 2002.

CONCER, H. S. **Fenômenos da Engenharia: Bombas Rotativas**. Santa Caratina: UNISUL, 2015.

COUTO, M. **Projeto para Serviço de Extra-Filtragem em Lubrificantes: Propriedades dos Lubrificantes após o Serviço de Extra-Filtragem**. Duque de Caxias: Petrobrás Distribuidora; Gerência de Mercado de Lubrificantes, 2013.

EATON. **PVM Piston Pumps Service Manual E-PUIO-II001-E4**. [S.l.]: Eaton Electrical, 2017

FESTO. **Tubos Flexíveis**. [S.l.]: Festo Brasil Ltda, 2006.

FOX, Robert W. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. [S.l.]: LTC, 2006.

FUNGUAP. **Catálogo Engate Dupla Alavanca – Série MIL**. [S.l.]: FUNGUAP Fundação e Usinagem LTDA, 2017.

GATES. **Catálogo Hidráulida**. [S.l.]: Gates Corporation, 2017.

GUSMÃO, F. **Relatório Técnico: Produção de Óleos Lubrificantes Extra-Filtrados**. Duque de Caxias: Petrobrás Distribuidora; Gerência de Mercado de Lubrificantes, 2012.

HDA. **Folheto de Produtos**. [S.l.]: Hda Acessórios e Equipamentos LTDA, 2004.

HITACHI. **Preventive Service Schedule For Major Components**. [S.l.]: Hitachi Construction Machinery Co., Ltd., 2011.

HYDAC. **Catálogo Filtros**. [S.l.]: Hydac Filters Systems GMBH, 2014.

- LÍDER BALANÇAS. **Catálogo de Balanças**. [S.l.]: Líder Balanças e Máquinas Ltda, 2020
- LOBO, M. N. **Relatório de Avaliação de Filtragem**. Duque de Caxias: Petrobrás Distribuidora; Gerência de Mercado de Lubrificantes, 2018.
- MANG, Theo. **Encyclopedia of Lubricants and Lubrification**. Springer, 2014.
- MGA. **VET – Valvulas Esferas Tripartidas**. [S.l.]: Metalúrgica Golden Arts, 2005.
- MUNIZ, L. F. **Projeto de Uma Fonte de Força Hidráulica para Operação de Sistemas Submarinos Offshore**. Rio de Janeiro: UFRJ, TCC do curso de Engenharia Mecânica, 2014.
- PARKER. **Manual Parker Filtration: Manual de Referência**. 2015.
- PAULI, E. A.; ULIANA, F. S. **Lubrificação Mecânica**. Vitória: SENAI, 1997. 98 p.
- PETROBRÁS. **Válvulas e Conexões**. Duque de Caxias: Petrobrás Distribuidora; Gerência de Mercado de Lubrificantes, 2018.
- POTTER, Merle C. **Mecânica dos Fluidos**. Thompson Learning, 2002.
- PURILUB. **Extra-Filtragem e Filtragem em Transporte**. [S.l.]: Purilub Transporte e Purificação LTDA, 2014.
- RAMOS, R. A.; SILVA, J. B. **Máquinas Hidráulicas e Térmicas**. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.
- REXTROTH, Bosch. **Catálogo RP 51426/11.13**. [S.l.]: Bosch Rexroth AG, 2013.
- RZR BOMBAS. **Suporte: Como Decidir Entre uma Bomba Centrífuga e uma Bomba de Deslocamento Positivo**. [S.l.]: RZR – Bombas Positivas Ltda.
- SANTOS, S. L. **Bombas e Instalações Hidráulicas**. LCTE Editora, São Paulo, 2007.
- SILVA TELLES, P. C. **Tubulações Industriais**. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. São Paulo
- SUTHERLAND, K. **Filters and Filtration Handbook**. [S.l.]: Elsevier, 2008.
- VILANOVA, Luciano C. **Mecânica dos Fluidos**. CTI-UFSM, Etec Brasil, 2011.
- WHITE, Frank M. **Mecânica dos Fluidos**. [S.l.]: McGraw-Hill, 2011.
- ZSCHIESCHANG, H. **Monitoramento das Condições**.

Referências Normativas

ANSI B36.10, *Welded and Seamless Wrought Steel Pipe*, 2004.

ANSI B36.19, *Stainless Steel Pipe*, 2004.

ASTM A312 *Standard Specification for Seamless, Welded, and Heavily Cold Worked Austenitic Stainless Steel Pipes*, 1996.

ASTM A409, *Standard Specification for Welded Large Diameter Austenitic Steel Pipe for Corrosive or High-Temperature Service*, 1996.

ASTM A778, *Standard Specification for Welded, Unannealed Austenitic Stainless Steel Tubular Products*, 1996.

ISO 4406, *Method for Coding the Level of Contamination by Solid*, 1999.

NAS 1638, *Particle Count Table*, 1964.