

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

**LUAN DOMINGUES DE ANGELIS**

**LUCAS CARVALHO ECCARD**

**SISTEMA CIP NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA:  
PROJETO DE EQUIPAMENTOS E TUBULAÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**RIO DE JANEIRO**

**2022**

**LUAN DOMINGUES DE ANGELIS**

**LUCAS CARVALHO ECCARD**

**SISTEMA CIP NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA:  
PROJETO DE EQUIPAMENTOS E TUBULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica do Departamento de Educação Superior, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Jordana Luiza Barbosa da Costa Veiga

**RIO DE JANEIRO**

**2022**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

D278 De Angelis, Luan Domingues  
Sistema CIP na indústria farmacêutica: projeto de equipamentos e tubulação / Luan Domingues de Angelis [e] Lucas Carvalho Eccard. — 2023.  
96f. : il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2023.  
Bibliografia : f. 93-96  
Orientadora: Jordana Luiza Barbosa da Costa Veiga

1. Engenharia mecânica. 2. Tubulações – Cuidado e higiene. 3. Empresas – Projeto e construção. 4. Indústria farmacêutica. I. Eccard, Lucas Carvalho. II. Veiga, Jordana Luiza Barbosa da Costa. (Orient.). III. Título.

CDD 621

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus, por estar presente em nossas vidas, nos dando saúde e força para concluirmos o curso de Engenharia Mecânica.

A nossa família pelo apoio incondicional e pela confiança que nos motivaram a continuar nossos estudos e assim chegar nessa etapa final.

A professora Jordana Luiza Barbosa Da Costa Veiga pela orientação, disponibilidade e dedicação para nos ajudar ao longo deste trabalho.

A todos os professores do curso, que nos ajudaram diretamente ou indiretamente ao longo desses anos, por terem nos proporcionado todos os conhecimentos necessários para realização deste trabalho.

Agradecemos uns aos outros, pela nossa união, apoio e força nesse período tão difícil e importante para nossa vida acadêmica.

## RESUMO

ANGELIS, Luan; ECCARD, Lucas. **SISTEMA CIP NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA: PROJETO DE EQUIPAMENTOS E TUBULAÇÃO**. 2022. 96. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2022.

Na indústria farmacêutica uma das maiores preocupações é a contaminação de seus produtos. Então, é de extrema importância que a higienização realizada nas tubulações e equipamentos seja perfeita. O presente trabalho trata sobre o sistema de limpeza automático em uma indústria farmacêutica, fictícia, produtora de vacina. A fim de incentivar o estudo e desenvolvimento do sistema *Clean in Place (CIP)* é proposto um projeto para esta empresa, contendo a elaboração de um sistema de limpeza automático de um tanque de 300 litros. Realizou-se, então, uma pesquisa teórica, utilizando livros, trabalhos de conclusões de curso, teses e conteúdos técnicos da internet. Através do estudo foi verificado que o *CIP* é fundamental para se ter uma lavagem eficiente e rápida sem a desmontagem do sistema. Diante disso, foi possível concluir o dimensionamento do *spray ball*, das bombas e da tubulação.

**Palavras-chave:** *Clean in Place (CIP)*, *Círculo de Sinner*, *Spray ball*, Injetáveis, Indústria Farmacêutica.

## ABSTRACT

ANGELIS, Luan; ECCARD, Lucas. **CIP SYSTEM IN THE PHARMACEUTICAL INDUSTRY: EQUIPMENT AND PIPING PROJECT** 2022. 96. Completion of course work - Federal Center of Technological Education. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2022.

Among the pharmaceutical industry, one of the biggest concerns is the contamination of its products. Therefore, it is of utmost importance that the hygienization performed in the pipes and equipment is perfect. This work deals with the automatic cleaning system in a fictitious pharmaceutical industry that produces a vaccine. A project was proposed for this company to encourage the study and development of the Clean in Place (CIP) system, developing an automatic cleaning system for a 300-liter tank. Theoretical research was conducted using books, course conclusion papers, theses, and technical content on the Internet. Through the study, it was verified that CIP is fundamental to having efficient and fast washing without disassembling the system. Therefore, it was possible to conclude the dimensioning of the spray ball, pumps, and piping.

**Keywords:** Cleaning, *Clean in Place*, CIP, Sinner's Circle, *Spray ball*, Tank, Piping, Injectables, Pharmaceutical industry.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo dos Metais .....	15
Figura 2 – Corrosão uniforme .....	17
Figura 3 – Exemplo de conexão afetada pela corrosão por pites .....	17
Figura 4 – Processo químico da corrosão .....	17
Figura 5 – Diagrama esquemático para a determinação do fator de pite .....	18
Figura 6 – Esquema de zona deficitária em Cromo.....	19
Figura 7 – Representação da sensitização em aço inox .....	19
Figura 8 – Corrosão intergranular causada pela soldagem .....	20
Figura 9 – Diagrama Ferro-Carbono .....	20
Figura 10 – Estrutura austenítica .....	21
Figura 11 – Classificação de tubulações.....	24
Figura 12 – Soldagem TIG .....	28
Figura 13 – Soldagem Orbital .....	29
Figura 14 – Válvula Globo.....	32
Figura 15 – Ilustração da Válvula Diafragma.....	32
Figura 16 – Válvula Diafragma .....	32
Figura 17 – Purgador .....	33
Figura 18 – Purgador Termostático.....	34
Figura 19 –Componentes da Ligação Tri-clamp.....	35
Figura 20 – Ligação Tri-clamp.....	35
Figura 21 – Curva 90° Solda Orbital.....	36
Figura 22 – Curva 90° Solda Orbital x TC .....	37
Figura 23 – Curva 90° TC x TC.....	37
Figura 24 – Tê reto longo.....	38
Figura 25 – Tê reto com derivação curta TC e extremidades para solda orbital ...	38
Figura 26 – Tê reto com derivação e extremidades TC .....	39
Figura 27 – Possível classificação da mecânica dos fluidos de meios contínuos.	40
Figura 28 – Comparação entre os típicos perfis de velocidade para escoamento laminar (a) e turbulento (b) no interior de dutos.....	41
Figura 29 – Regime de escoamento .....	41
Figura 30 – Exemplificação da lavagem com solução alcalina.....	42

Figura 31 – <i>spray ball</i> 180° (a) e <i>spray ball</i> 360° (b).....	43
Figura 32 – Tipos de aspersão dentro do tanque .....	44
Figura 33 – Ábaco de Moody .....	46
Figura 34 – Comprimento Equivalente .....	47
Figura 35 – Unidade de Limpeza CIP .....	48
Figura 36 – <i>Spray ball</i> (a), Flying Saucer (b), Aspersores Rotativos (c) .....	49
Figura 37 – Bomba centrífuga radial .....	51
Figura 38 – Curvas características das bombas.....	54
Figura 39 – Círculo de <i>Sinner</i> .....	58
Figura 40 – Etapas do ciclo CIP.....	59
Figura 41 – Exemplificação da lavagem com solução alcalina.....	60
Figura 42 – Escala de condutividade .....	65
Figura 43 – Fluxograma .....	67
Figura 44 – Quadro das Simbologia do Fluxograma .....	68
Figura 45 – Modelagem do skid no AutoCad .....	69
Figura 46 - Modelagem do skid no AutoCad .....	70
Figura 47 – Isométrico do trecho de sucção da bomba de avanço.....	72
Figura 48 – Isométrico do trecho de descarga da bomba de avanço (parte 1) .....	73
Figura 49 – Isométrico do trecho de descarga da bomba (parte 2) .....	73
Figura 50 – Isométrico do trecho de sucção da bomba de recirculação .....	74
Figura 51 – Isométrico do trecho de descarga da bomba de recirculação (Pt. 1) .....	76
Figura 52 – Curva H x Q .....	85
Figura 53 – Bomba LKH UP .....	86
Figura 54 – Dados Técnicos da Bomba de Vácuo .....	87



**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Principais falhas em plantas industriais .....	16
Tabela 2 – Efeito na resistência do pite.....	18
Tabela 3 – Aços Inoxidáveis Forjados: Composição Nominal (wt. %) .....	22
Tabela 4 – Tabela de acabamentos .....	23
Tabela 5 – Espessura da parede dos tubos de acordo com o diâmetro .....	23
Tabela 6 – Vapor saturado por pressão .....	55
Tabela 7 – Lista de equipamentos .....	71
Tabela 8 – Comprimento do trecho de sucção da bomba principal .....	71
Tabela 9 – Comprimento do trecho de descarga da bomba de avanço.....	72
Tabela 10 – Comprimento do trecho de sucção da bomba de recirculação .....	74
Tabela 11 – Comprimento do trecho de descarga da bomba de recirculação .....	75
Tabela 12 – Catálogo TankJet® com <i>Spray ball</i> 360º .....	78
Tabela 13 – Parâmetros da seleção da bomba .....	86
Tabela 14 – Tensão admissível por faixa de temperatura .....	89
Tabela 15 – Valores de Y para $t < D/6$ .....	89

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

### ABREVIATURAS E SIGLAS

CIP	<i>Clean in Place</i>
SIP	<i>Sterilization in Place</i>
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
ABRACO	Associação brasileira de corrosão
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
BPE	<i>Bioprocessing Equipment</i>
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
TC	Tri-clamp
EPDM	<i>Ethylene Propilene Diene Methylene</i> (Etileno Propileno Dieno)
PW	<i>Purified Water</i> (Água Purificada)
WFI	<i>Water For Injections</i> (Água para Injetáveis)
CLP	Controlador Lógico Programável
ERU	Especificação de Requisitos do Usuário

### SÍMBOLOS

$S_{ct}$	Tensão circunferencial de tração
$S_l$	Tensão longitudinal de tração
$S_h$	Tensão admissível do material
P	Pressão interna
$d$	Diâmetro interno do cilindro
D	Diâmetro externo do cilindro
t	Espessura da parede
$t_m$	Tensão mínima
$\sigma_{lim}$	Tensão limite
E	Coeficiente de eficiência

Y	Coeficiente de redução
C	Soma das margens para corrosão, erosão, roscas e chanfros
$\mu$	Viscosidade dinâmica
$\rho$	Massa específica
V	Velocidade
$Q_R$	Vazão requerida
$D_t$	Diâmetro do tanque
$F_S$	Fator de sujidade
$h_{fN}$	Perda de carga normal
$h_{fL}$	Perda de carga localizada
L	Comprimento da tubulação
$\nu$	Viscosidade cinemática
f	Coeficiente de atrito
g	Gravidade
H	Altura manométrica total
$H_d$	Altura manométrica da descarga
$H_s$	Altura manométrica de sucção
$Z_S$	Diferença de altura entre a sucção e entrada da bomba
$P_S$	Pressão no reservatório de sucção
$\gamma$	Peso específico do fluido
$h_{fs}$	Perda de carga na sucção
$Z_D$	Diferença de altura entre a saída da bomba e entrada do tanque
$P_D$	Pressão no tanque
$h_{fD}$	Perda de carga na descarga
$\eta$	Rendimento
T	Tempo
$P_1$	Pressão inicial
$P_2$	Pressão final
$P_a$	Pressão atmosférica
$\varepsilon$	Rugosidade
$h_{fsa}$	Perda de carga na sucção da bomba de avanço
$h_{fda}$	Perda de carga na descarga da bomba de avanço
$H_{SBa}$	Altura manométrica na sucção da bomba de avanço
$H_{DBa}$	Altura manométrica na descarga da bomba de avanço

$H_{Ba}$	Altura manométrica total da bomba de avanço
$h_{fsr}$	Perda de carga na sucção da bomba de recirculação
$h_{fdr}$	Perda de carga na descarga da bomba de recirculação
$H_{SB_r}$	Altura manométrica na sucção da bomba de recirculação
$H_{DB_r}$	Altura manométrica na descarga da bomba de recirculação
$H_{B_r}$	Altura manométrica total da bomba de recirculação

## SUMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
2.1	AÇOS INOXIDÁVEIS (304 E 306).....	15
2.1.1	Eletropolimento .....	22
2.2	TUBULAÇÕES.....	24
2.2.1	Espessura da Parede da Tubulação .....	25
2.2.1.1	Cálculo da espessura de parede em função da pressão interna .....	26
2.2.1.2	Cálculo da espessura de parede de acordo com a norma ASME B31 ...	27
2.2.2	Solda TIG e Solda Orbital .....	27
2.3	VÁLVULAS .....	29
2.3.1	Válvula Globo .....	31
2.3.2	Válvula Diafragma.....	32
2.4	PURGADORES .....	33
2.5	MEIOS DE LIGAÇÃO.....	34
2.6	CONEXÕES .....	36
2.7	ESCOAMENTO .....	39
2.7.1	Escoamento Interno.....	39
2.7.2	Escoamento externo .....	42
2.8	PERDA DE CARGA .....	44
2.8.1	Perda de Carga Normal .....	45
2.8.2	Perda de Carga Localizada.....	46
2.9	COMPONENTES E EQUIPAMENTOS BÁSICOS DE UM CIP .....	47
2.9.1	Equipamentos Complementares .....	50
2.10	BOMBAS CENTRÍFUGAS .....	51
2.10.1	Altura Manométrica.....	52
2.10.1.1	Altura manométrica de sucção .....	52
2.10.1.2	Altura manométrica de descarga .....	53
2.10.2	Curvas características das bombas .....	53
2.11	BOMBA DE VÁCUO .....	54
2.12	HIGIENIZAÇÃO CIP .....	57
2.12.1	Ciclo de Sinner.....	57
2.13	FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA CIP.....	59
2.13.1	Tipos de CIP e suas vantagens .....	60
2.14	NORMAS .....	61
<b>3</b>	<b>INSTITUTO DE TECNOLOGIA FICTÍCIO .....</b>	<b>63</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>64</b>
4.1	ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS .....	64
4.2	PROJETO DO SISTEMA .....	66
4.2.1	Fluxograma.....	66
4.2.2	Modelo 3D .....	69
4.3	LISTA DE MATERIAIS.....	70
4.3.1	Trecho de Sucção da Bomba de Avanço .....	71
4.3.2	Trecho de Descarga da Bomba de Avanço .....	72
4.3.3	Trecho de Sucção da Bomba de Recirculação .....	74
4.3.4	Trecho de Descarga da Bomba de Recirculação .....	75
<b>5</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS.....</b>	<b>77</b>

5.1	DADOS UTILIZADOS .....	77
5.2	CÁLCULO DA VAZÃO DO <i>SPRAY BALL</i> .....	77
5.3	CÁLCULOS DA BOMBA CENTRÍFUGA .....	79
5.3.1	Bomba de Avanço .....	79
5.3.1.1	Perda de carga do trecho de sucção .....	80
5.3.1.2	Perda de carga do trecho de descarga .....	80
5.3.1.3	Altura manométrica de sucção .....	81
5.3.1.4	Altura manométrica de descarga .....	82
5.3.1.5	Altura manométrica total .....	82
5.3.2	Bomba de recirculação .....	82
5.3.2.1	Perda de carga do trecho de sucção .....	83
5.3.2.2	Perda de carga do trecho de descarga .....	83
5.3.2.3	Altura manométrica de sucção .....	84
5.3.2.4	Altura manométrica de descarga .....	84
5.3.2.5	Altura manométrica total .....	85
5.3.3	Seleção da Bomba .....	85
5.4	CÁLCULO DA VAZÃO DA BOMBA DE VÁCUO .....	86
5.5	DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DA TUBULAÇÃO .....	88
5.5.1	Cálculo da Espessura de Parede em Função da Pressão Interna .....	88
5.5.2	Cálculo da Espessura de Parede de Acordo com a Norma ASME B 31 .....	89
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>93</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria farmacêutica é responsável pelas pesquisas, desenvolvimento e produção de medicamentos. Para garantir a qualidade e a segurança da fabricação, é fundamental possuir um controle de qualidade das matérias-primas, da embalagem, da formulação farmacêutica e, principalmente, da higienização (RDC Nº 17/10).

Uma das maiores preocupações da indústria farmacêutica está relacionada à higienização de seus equipamentos, visto que qualquer resíduo de material deixado na planta de produção pode gerar uma contaminação dos seus produtos. Com o intuito de evitar esse tipo de problema, toda cadeia produtiva passa por um processo de limpeza rigorosa. Tal processo pode ser realizado pelo sistema *Clean in Place* (CIP).

CIP é um sistema de limpeza automático responsável por higienizar toda superfície interna da linha de produção como, por exemplo: tanques, reatores, tubulações, válvulas etc. Essa higienização é realizada sem que haja a necessidade do desmonte de partes e de peças do sistema, dessa maneira há um aumento da produtividade, diminuição do desperdício de água e aumento da qualidade de produção (COSENTINO, 2013).

No ramo farmacêutico é difícil falar de um sistema de limpeza CIP sem mencionar o processo de esterilização, *Sterilization in Place* (SIP). SIP é um sistema de esterilização automático da planta de produção, no qual também não ocorre a desmontagem prévia dos sistemas. O processo de sanitização ou esterilização é realizado por meio de vapor puro (COSENTINO, 2013).

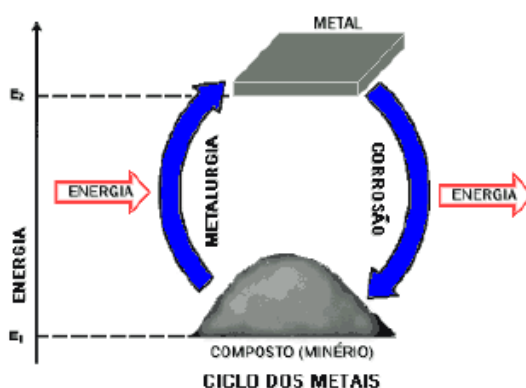
O objetivo do trabalho é elaborar uma proposta para implementação de um sistema CIP em uma fábrica de vacinas. Para isso, será selecionado o *spray ball* para a higienização do tanque, além de ser modelado o fluxograma do processo e o 3D do skid, onde, a partir dele será gerado os isométricos da tubulação com o intuito de dimensionar as bombas centrífugas. Será visto também, o dimensionamento da bomba de vácuo e da espessura da tubulação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 AÇOS INOXIDÁVEIS (304 E 306)

A indústria farmacêutica é responsável pelas pesquisas, desenvolvimento e produção de medicamentos logo, seu maior receio é a contaminação dos seus produtos. Assim, toda a cadeia produtiva envolve cuidados rigorosos com a higiene para que não haja o risco de contaminação dos elementos manipulados no local.

A corrosão da tubulação, de equipamentos ou outros componentes é um dos problemas que podem ocorrer. Nos pontos em que há a corrosão, a limpeza não é efetiva e pode causar a proliferação de bactérias. Segundo a literatura, “a corrosão consiste na deterioração dos materiais pela ação química ou eletroquímica do meio, podendo estar ou não associada a esforços mecânicos.” segundo a ABRACO (Associação brasileira de corrosão), assim, pode-se considerar a corrosão sendo um ataque gradual e contínuo ao metal pelo meio adjacente, podendo ser a atmosfera, meio químico, líquido ou gasoso. O resultado da reação química é a mudança do metal afetado em um composto ou vários que geralmente são óxidos ou sais (CHIAVERINI, 1990), podemos observar o ciclo dos metais na Figura 1.



**Figura 1 – Ciclo dos Metais**  
**Fonte: Dutra & Nunes (1999)**

A corrosão causa duas preocupações: a primeira em relação ao problema econômico provocado pela substituição de peças e a paralisação das fábricas, a



segunda em relação a preservação das reservas minerais, pois ao repor alguma peça há a utilização de metais, aumentando o consumo. No que diz respeito à indústria farmacêutica, a maior preocupação da corrosão está relacionada a contaminação dos produtos, na Tabela 1 podemos observar a atenção que as empresas precisam ter com a corrosão, pois é a maior causadora de falhas em plantas industriais (PONTE, s.d.).

**Tabela 1 – Principais falhas em plantas industriais**

Mecanismo	%
- Corrosão	29
- Fadiga	25
- Fratura frágil	16
- Sobrecarga	11
- Corrosão em alta temperatura	7
- Corrosão sob tensão/ fadiga combinada com Corrosão/ Fragilização por hidrogênio	6
- Fluência	3
- Desgaste, abrasão e erosão	3

**Fonte: Ferrante (1996)**

É possível classificar o processo corrosivo em dois tipos: corrosão eletroquímica e corrosão química. Esse último processo ocorre com mais frequência em ambiente industrial com as seguintes características: presença de água líquida, temperaturas elevadas, contato direto do metal com o meio corrosivo, que são capazes de danificar os metais quando esses estão imersos. Os principais meios corrosivos são: atmosfera, solo, águas naturais, água do mar e produtos químicos. A seguir os principais tipos de corrosão:

**Corrosão uniforme:** ocorre de forma igual em toda a superfície exposta, gerando uma diminuição da espessura do material podendo sofrer uma ruptura. Do ponto de vista técnico não gera muitas complicações caso tenha um acompanhamento, pois a vida útil do material pode ser prevista através de testes comparativos. (PONTE, s.d.). Podemos observar um exemplo de corrosão uniforme na Figura 2.

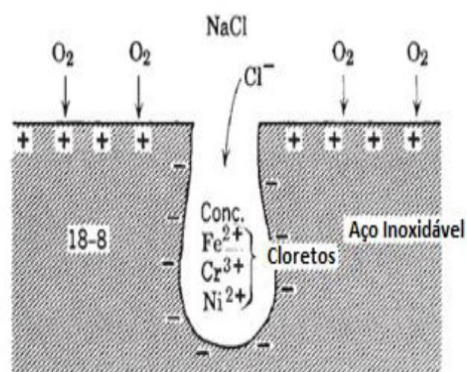


**Figura 2 – Corrosão uniforme**  
 Fonte: Portal Rizeja

**Corrosão por pites:** ocorre de forma localizada formando-se cavidades de pequenos diâmetros, mas de profundidade suficiente para inviabilizar o uso da peça, na Figura 3 é possível observar esse fenômeno. É um tipo de corrosão que pode ocorrer em quase todos os tipos de aços inox quando em algum ponto a camada passiva é rompida, por isso o restante do material pode permanecer praticamente intacto. Essa camada passiva é destruída quando há grandes concentrações dos íons  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  e  $\text{H}^+$  pode ser observado na Figura 4, sendo o íon cloreto o maior causador desse tipo de corrosão.



**Figura 3 – Exemplo de conexão afetada pela corrosão por pites**  
 Fonte: Oliveira (2012)



**Figura 4 – Processo químico da corrosão**  
 Fonte: Winston Revie (2008)

É possível quantificar o tamanho de um pite através do fator de pite ( $p/d$ ) em que  $p$  é a penetração máxima medida com um microscópio e  $d$  é a penetração média obtida pela diminuição de massa (PONTE, s.d.), na Figura 5 verifica-se a exemplificação do fator de pite.

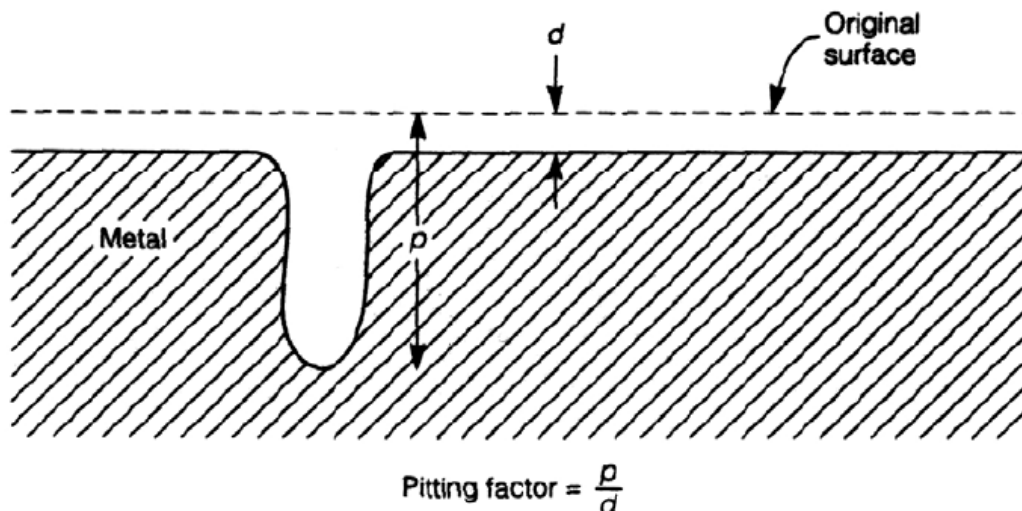


Figura 5 – Diagrama esquemático para a determinação do fator de pite  
 Fonte: Ponte, Haroldo (2003)

Para aumentar a prevenção desse tipo de corrosão, pode-se aumentar a velocidade dos fluidos impedindo que se tenha áreas estagnadas, evitando danos no filme passivo e ânions cloretos. Podemos observar na Tabela 2 que ao adicionar elementos de liga nos aços inox teremos efeitos em relação a resistência a corrosão por pite (PONTE, s.d.).

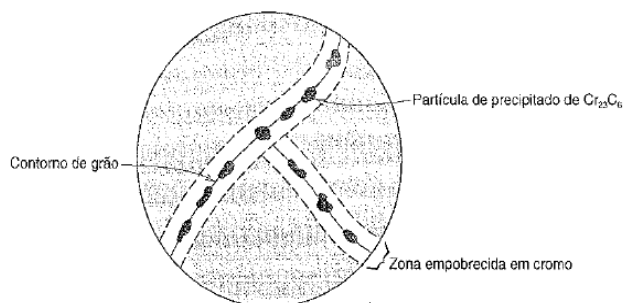
Tabela 2 – Efeito na resistência do pite

ELEMENTO	EFEITO NA RESISTENCIA DO PITE
Cr	Aumenta
Ni	Aumenta
Mo	Aumenta
Si	Diminui (aumenta quando junto com Mo)
Ti e Nb	Diminui em FeCl <sub>3</sub> . Não afeta outros meios
S	Diminui
C	Diminui (principalmente quando sensitizados)
N	Aumenta

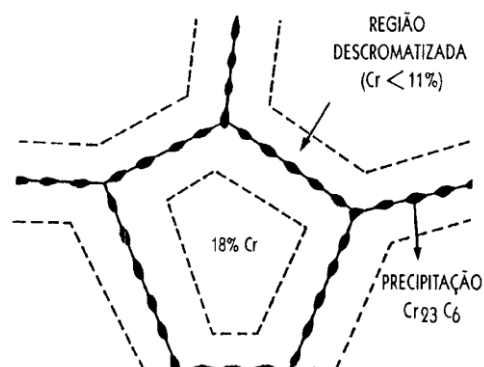
Fonte: D'Alkaine (1988)

**Corrosão intergranular:** ocorre ao longo dos contornos de grãos principalmente em aços inoxidáveis austeníticos quando aquecidos entre 500°C e 800°C por um determinado tempo. Ao ser aquecido nessa faixa de temperatura durante um tempo específico, haverá a formação de partículas de precipitado de carbeto de cromo (Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>), ou seja, uma zona deficitária em Cromo propícia à

corrosão. Essas partículas de precipitado não são suscetíveis a corrosão devido à alta quantidade de Cromo, diferente das regiões vizinhas em que houver a retirada (CALLISTER, 2012). Esse fenômeno é conhecido como sensitização, pode-se visualizar na Figura 6 e na Figura 7.



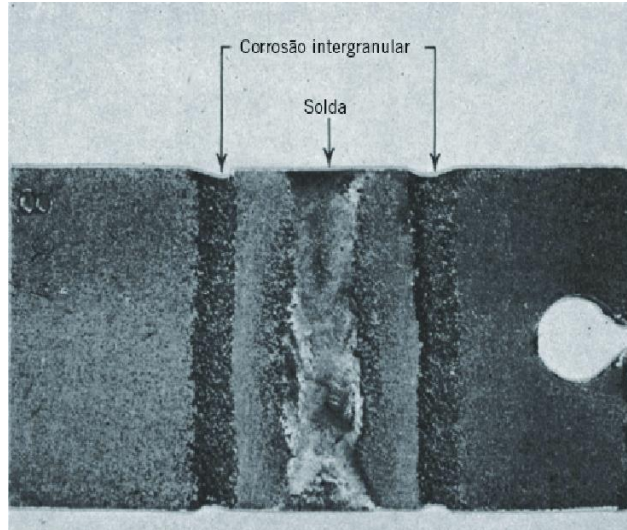
**Figura 6 – Esquema de zona deficitária em Cromo**  
Fonte: Callister (2012)



**Figura 7 – Representação da sensitização em aço inox**  
Fonte: Oliveira (2015)

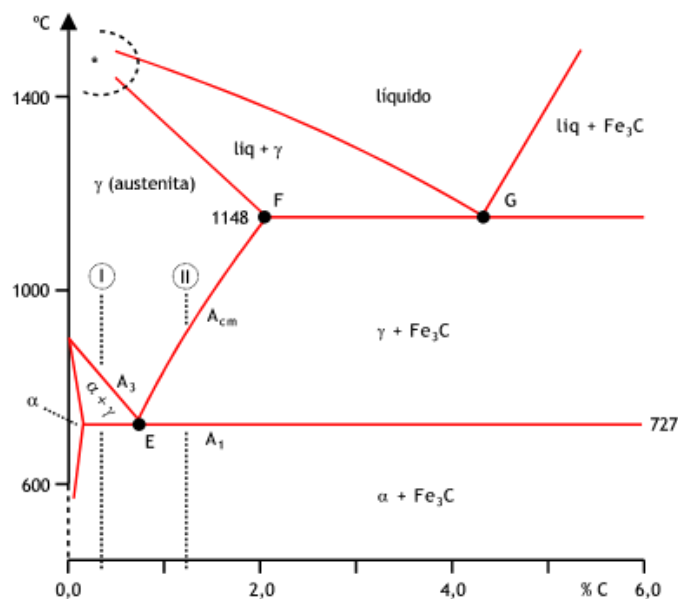
Um dos maiores problemas que causam essa corrosão em aço inoxidável austenítico é a soldagem, visto que o material fica submetido a temperaturas dentro da faixa crítica, exemplo na Figura 8. Uma possível solução para esse problema é a utilização de aços inoxidável austenítico com baixa porcentagem de Carbono (0,03%) conhecidos como *Low Carbon*, podemos citar como exemplo o 304L e o 316L. Quanto menor for a taxa de carbono na composição maior será o tempo necessário para provocar a sensitização (PAREDES, 2020).

A fim de se evitar alguns tipos de corrosão são utilizados os aços inoxidáveis que estão divididos em três grupos referentes as suas microestruturas: os aços inoxidáveis Martensíticos, ferríticos e Austeníticos, os dois primeiros são ligas de ferro e cromo e o último ligas de ferro, cromo e níquel. Na indústria farmacêutica, os aços inox austenítico da série 300 se destacam devido a sua alta resistência à corrosão e por sua superfície lisa, que facilita a limpeza dos equipamentos (PROJINOX, s.d.).



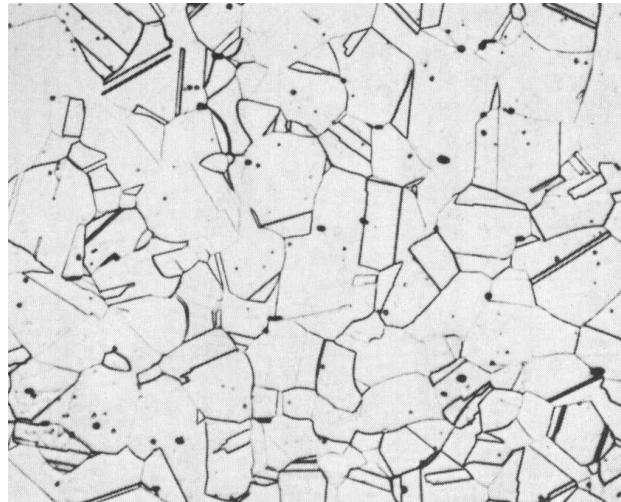
**Figura 8 – Corrosão intergranular causada pela soldagem**  
**Fonte: Callister (2010)**

A austenita é uma solução sólida de carbono em ferro gama, possui grãos poligonais irregulares, é estável em temperaturas superiores a 723° C e somente em aços austeníticos é estável em temperatura ambiente, apresenta também boa resistência mecânica, considerável tenacidade e é não magnética. Podemos observar no diagrama de equilíbrio do Fe-C (Figura 9) a formação da Austenita e a maior quantidade de carbono (2,11%) que corresponde ao ponto F (CHIAVERINI, 1990).



**Figura 9 – Diagrama Ferro-Carbono**  
**Fonte: mspc.eng.br (2009)**

Os aços austeníticos (Figura 10) são ligas de Fe + Cr + Ni. Os aços inoxidáveis austeníticos que mais se destacam na indústria farmacêutica, 304, 304L, 316 e 316L, possuem excelente resistência à corrosão, ductilidade e soldabilidade. Por conta dessas características são os aços inoxidáveis mais utilizados nesse segmento (COSENTINO, 2006).



**Figura 10 – Estrutura austenítica**  
Fonte: boaspraticasnet.com.br (2014)

O grande diferencial do aço inox é a sua proteção contínua pela camada passiva de óxido de cromo, uma película fina invisível a olho nu que protege o aço contra agentes agressivos e se regenera caso tenha a superfície arranhada. (APERAM, s.d.).

Segundo a ASME/BPE os aços inoxidáveis 304, 304L, 316 e 316L devem seguir as composições químicas demonstradas na Tabela 3.

Como mencionado, o cromo é responsável pela camada superficial de óxido de cromo. Essa camada é responsável por tornar o aço realmente inoxidável, vale ressaltar que nenhum outro elemento confere essas propriedades ao aço. Além disso, o níquel junto ao cromo aumenta a resistência ao ataque de elementos químicos redutores que prejudicam essa camada.

Tabela 3 – Aços Inoxidáveis Forjados: Composição Nominal (wt. %)

UNS NÚMERO	EN DESIGNAÇÃO	C	Mn	N	Cr	Ni	Mo	Cu
<b>Aços Inoxidáveis Austeníticos</b>								
S30400	...	0.07	2.00	0.10	17.5-19.5	8.0-10.5	...	...
...	1.4301	0.07	2.00	0.10	17.5-19.5	8.0-10.5	...	...
S30403	...	0.030	2.00	0.10	17.5-19.5	8.0-12.0	...	...
...	1.4307	0.030	2.00	0.10	17.5-19.5	8.0-10.5	...	...
...	1.4306	0.030	2.00	0.10	18.0-20.0	10.0-13.0	...	...
S31600	...	0.08	2.00	0.10	16.0-18.0	10.0-14.0	2.00-3.00	...
...	1.4401	0.07	2.00	0.10	16.5-18.5	10.0-13.0	2.00-2.50	...
S31603	...	0.030	2.00	0.10	16.0-18.0	10.0-14.0	2.00-3.00	...
...	1.4404	0.030	2.00	0.10	16.5-18.5	10.0-14.5	2.00-2.50	...
...	1.4435	0.030	2.00	0.10	17.0-19.0	12.5-15.0	2.50-3.00	...

Fonte: ASME BPE (2019)

### 2.1.1 Eletropolimento

Pode-se definir eletropolimento como o processo de polimento da superfície metálica utilizando corrente elétrica e solução química a fim de melhorar as propriedades do material. Após o processo de eletropolimento nas superfícies de aço inoxidável há a remoção do ferro e do níquel, formando uma camada de óxido de cromo resistente a corrosão. Esse processo demonstra a passivação das superfícies eletropolidas (HUMMA, 2008).

A peça eletropolida apresenta em sua superfície uma diminuição da rugosidade o que é extremamente necessário quando se trata de indústria farmacêutica. Essa característica eliminam os problemas de acumulação de resíduos nas paredes internas das tubulações e equipamentos (ASME BPE, 2019).

A medição da rugosidade normalmente é feita através da distância entre o pico e o fundo do vale de uma superfície, utiliza-se a Ra (Rugosidade absoluta) tendo como unidade  $\mu\text{m}$  (micrômetro). A ASME BPE define os tipos de acabamento de SF0 até SF6. A Tabela 4 apresenta os acabamentos.

**Tabela 4 – Tabela de acabamentos**

<b>Superfície</b>	<b>Ra(μm)</b>
SF <sub>0</sub>	Sem exigência
SF <sub>1</sub>	0,51
SF <sub>2</sub>	0,64
SF <sub>3</sub>	0,76
SF <sub>4</sub>	0,38
SF <sub>5</sub>	0,51
SF <sub>6</sub>	0,64

**Fonte: ASME BPE (2019)**

Segundo a Humma, empresa especializada na área de engenharia de materiais e acabamentos de superfícies, as principais vantagens de uma superfície eletropolida são:

- Aumenta a sanitariedade
- Melhora a proteção contra corrosão
- Maior facilidade de limpeza
- Melhora a aparência da peça
- Melhora as propriedades mecânicas

O processo de eletropolimento não altera a espessura da parede do tubo, portanto independente do acabamento (SF1 ou SF4) os tubos com diâmetros entre 1/2" a 3" tem a parede de 1,65 mm. As espessuras dos tubos são definidas de acordo com os diâmetros e reguladas pela norma ASME BPE, podemos verificar as espessuras de acordo com a Tabela 5.

**Tabela 5 – Espessura da parede dos tubos de acordo com o diâmetro**

Tamanho Nominal, in.	Tubo O.D.		Espessura da Parede do Tubo	
	in.	mm	in.	mm
1/4	0.250	6.35	0.035	0.89
3/8	0.375	9.53	0.035	0.89
1/2	0.500	12.70	0.065	1.65
3/4	0.750	19.05	0.065	1.65
1	1.000	25.40	0.065	1.65
1 1/2	1.500	38.10	0.065	1.65
2	2.000	50.80	0.065	1.65
2 1/2	2.500	63.50	0.065	1.65
3	3.000	76.20	0.065	1.65
4	4.000	101.60	0.083	2.11
6	6.000	152.40	0.109	2.77

**Fonte - ASME BPE (2019)**



## 2.2 TUBULAÇÕES

Há evidências que a utilização de tubulações pelo homem seja muito antiga, nas ruínas da Babilônia da China antiga foram encontradas redes completas de tubulações. (TELLES, 2001) Um outro exemplo que podemos citar são os aquedutos dos antigos romanos, o primeiro foi construído 312 a.C e a soma de todos os aquedutos chegou a ter aproximadamente 416 km de extensão.

Sabe-se que a principal função da tubulação (conjunto de tubos e acessórios) é transportar qualquer tipo de fluido para um determinado ponto. O uso de tubulação é indispensável pois em algumas ocasiões a geração, armazenamento e utilização do fluido estão distantes. Nas indústrias de processo, como são chamadas as indústrias em que os fluidos passam por alterações físicas e químicas, a importância das tubulações é ainda maior. Uma das classificações das tubulações é em relação ao seu emprego, na Figura 11 uma divisão para abordar algumas de suas características (TELLES, 2001).

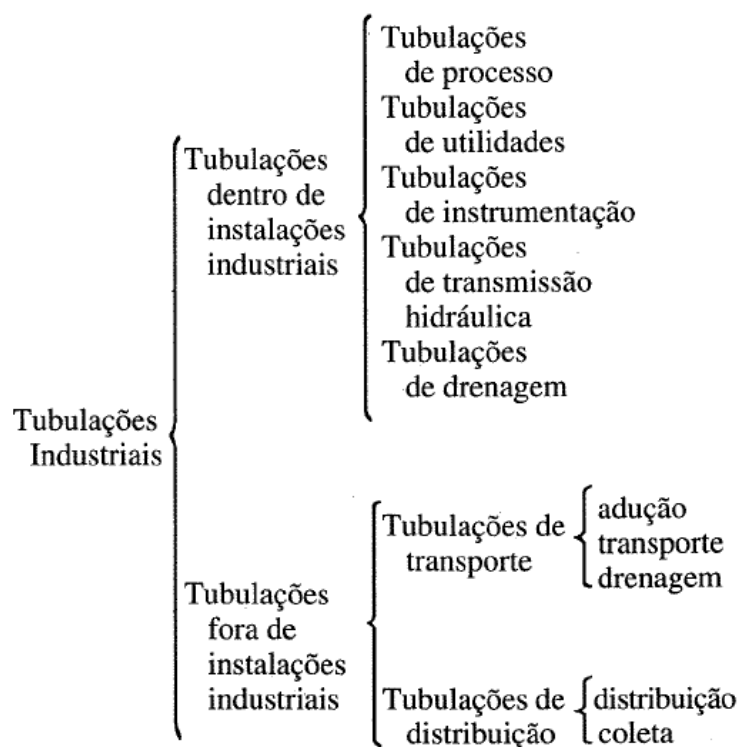


Figura 11 – Classificação de tubulações  
Fonte: Telles (2001)

- Tubulações de processo são as tubulações dos fluidos que compõem a finalidade básica de indústrias em que a atividade principal é o processamento, armazenagem ou distribuição de fluido (TELLES, 2001).

- Tubulação de utilidades são as tubulações de fluidos auxiliares nas indústrias que tem como função o processamento, armazenagem ou distribuição de fluido (TELLES, 2001).

- Tubulação de instrumentação tem como finalidade transmitir os sinais de ar comprimido para as válvulas e instrumentos. Não são tubulações cuja finalidade seja o transporte de fluidos (TELLES, 2001).

- Tubulação de drenagem tem como função coletar e transportar os efluentes dos fluidos para o local adequado. São tubulações que não sofrem influência da pressão (TELLES, 2001).

### 2.2.1 Espessura da Parede da Tubulação

Sabe-se que o dimensionamento da espessura da tubulação é importante por conta das pressões internas e externas que podem danificar, rompendo a tubulação. Iremos abordar duas maneiras de se calcular a espessura da parede do tubo, em função da pressão interna e pela norma ASME B31. A espessura dos tubos não depende das características de cada tubulação (configuração geométrica), então o cálculo da espessura é feito em função de cada serviço levando em consideração a pressão e temperatura. Quando se tem pressões baixas, temperatura ambiente ou moderada, a tensão admissível do material elevada, a espessura calculada será muito pequena, fazendo com que o tubo tenha uma parede muito fina não resistindo ao próprio peso. Acrescenta ainda, falhas por vibração e por corrosão quando se tem uma espessura muito fina, por esses motivos consideram-se uma espessura mínima aceitável (TELLES, 2001).

### 2.2.1.1 Cálculo da espessura de parede em função da pressão interna

Considerando a parede do tubo desprezível em relação ao diâmetro (diâmetro maior em 6 vezes comparado a espessura), pode-se concluir as seguintes fórmulas para a tensão circunferencial (1) e tensão longitudinal (2) do tubo:

$$S_{ct} = \frac{P \cdot d_m}{2 \cdot t} \quad (1)$$

$$S_l = \frac{P \cdot d_m}{4 \cdot t} \quad (2)$$

Onde:

$S_{ct}$  = Tensão circunferencial de tração (tendendo a romper o cilindro segundo uma geratriz)

$S_l$  = Tensão longitudinal de tração (tendendo a romper o cilindro segundo uma circunferência)

P = pressão interna

$d_m$  = diâmetro interno do cilindro (D externo – t)

t = espessura da parede

Analisando as fórmulas, vemos que a tensão circunferencial é o dobro da tensão longitudinal, logo essa será a limitante. Substituindo a tensão circunferencial pela tensão admissível do material do tubo ( $S_h$ ), obtemos a seguinte equação 3 para a tensão mínima ( $t_m$ ):

$$t_m = \frac{P \cdot d_m}{4 \cdot S_h} \quad (3)$$

Ao substituir o  $D_m$  por D (diâmetro externo), é obtida a equação proposta por Barlow:

$$t_m = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S_h} \quad (4)$$

A tensão admissível pode ser escrita pela fórmula 5.

$$S_h = \frac{\sigma_{lim}}{FS} \quad (5)$$

Onde,  $\sigma_{lim}$  representa a tensão limite que pode ser a tensão limite de escoamento ou a tensão limite de resistência. FS é o fator de segurança adotado.

#### 2.2.1.2 Cálculo da espessura de parede de acordo com a norma ASME B31

Para calcular a espessura mínima, o código ASME B 31 recomenda utilizar a equação 6 quando  $t < \frac{D}{6}$ . É interessante que para se calcular a espessura mínima de um tubo se faça o cálculo pelos dois métodos, garantindo maior segurança.

$$t = \frac{P \cdot D}{2 (S \cdot E \cdot W + P \cdot Y)} \quad (6)$$

Sendo,

P = pressão interna de projeto

D = diâmetro externo

$S_h$  = tensão admissível do material na temperatura de projeto

E = coeficiente de eficiência de solda (válido somente para tubos com costura, tubos sem costura, considerar E = 1)

W = fator de diminuição da resistência em junta soldada

Y = coeficiente de redução de acordo com o material e a temperatura do tubo.

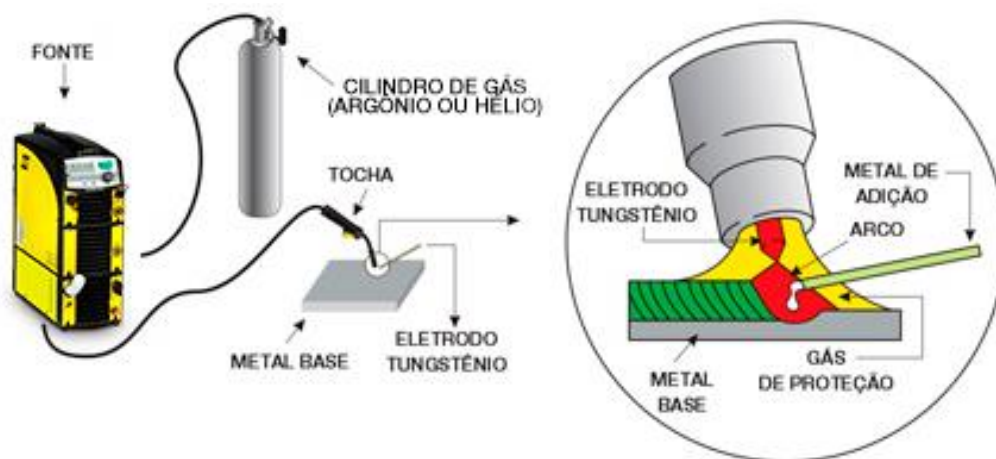
#### 2.2.2 Solda TIG e Solda Orbital

Como visto anteriormente, o aço inoxidável austenítico AISI 316L e o AISI 304L são os mais utilizados na indústria farmacêutica. Fábricas desse gênero exigem grande controle de higiene, portanto, é importante que as soldas na tubulação apresentem um acabamento superficial liso, para evitar regiões de

retenção de sólidos e proliferação de colônias de bactérias. Para atender a esse requisito, a solda indicada é a Soldagem por Gás Inerte de Tungstênio, conhecida pela sigla TIG (*Tungsten Inert Gas*). Como ela não gera escória, é capaz de produzir uma solda limpa, de alta qualidade e com excelentes propriedades mecânicas.

A soldagem TIG pode utilizar dois tipos de corrente, a corrente contínua (CC) e a corrente alternada (CA). A corrente alternada é mais indicada para alumínio e ligas de alumínio, enquanto a CC é mais utilizada por abranger diversos tipos de materiais, como aços carbono, inoxidável, titânio, cobre, ligas especiais e aços ferramentas (COSENTINO, 2014).

O processo de soldagem TIG consiste em um arco elétrico aberto entre um eletrodo de Tungstênio não consumível e a peça a ser soldada, protegidos por uma atmosfera de gás inerte, conforme visualizado na Figura 12. Este gás inerte, geralmente o argônio, protege a área fundida de oxidação provocada por causa do oxigênio atmosférico, estabiliza o arco elétrico e resfria o eletrodo durante a solda.



**Figura 12 – Soldagem TIG**  
**Fonte: deltagases.com.br**

Nesse processo de soldagem não ocorrerá modificação na composição química do Aço, devido a adição ser do mesmo material base ou de metais com a mesma propriedade mecânicas, além disso, a atmosfera inerte impede a oxidação do material base. Porém, poderá haver uma mudança nas propriedades físicas em função do aquecimento (COSENTINO, 2014).



**Figura 13 – Soldagem Orbital**  
**Fonte: Autores (2022)**

Para garantir a qualidade de soldagem do sistema de tubulação, é utilizado a soldagem orbital, na Figura 13 temos um exemplo de uma máquina de solda orbital. Nessa soldagem o arco é girado automaticamente e de forma contínua em torno da tubulação, obtendo uma uniformidade na parede do tubo e na região de fusão, evitando assim a formação de depressões que acontecem quando a solda é realizada manualmente (COSENTINO, 2014).

## 2.3 VÁLVULAS

A função das válvulas é controlar o fluxo dos fluidos na tubulação, mas deve haver em menor quantidade possível por conta de seu custo financeiro, chances de vazamentos e perdas de carga (TELLES, 2001). As válvulas são classificadas da seguinte forma:

**Válvula de bloqueio:** funcionam totalmente aberta para estabelecer o fluxo do fluido ou completamente fechada para interromper o fluxo (TELLES, 2001).

- Válvulas gaveta
- Válvulas macho
- Válvulas esfera
- Válvulas de comporta

**Válvulas de regulagem:** podem funcionar em posição de fechamento parcial, as válvulas diafragma e borboleta podem funcionar como válvula de bloqueio (TELLES, 2001).

- Válvulas Globo
- Válvulas de agulha
- Válvulas de controle
- Válvulas de borboleta
- Válvulas de diafragma

#### **Válvulas que permitem o fluxo em um só sentido**

- Válvulas de retenção
- Válvulas de retenção e fechamento
- Válvulas de pé

#### **Válvulas que controlam a pressão de montante**

- Válvulas de segurança e de alívio
- Válvulas de excesso de vazão
- Válvulas de contrapressão

#### **Válvulas que controlam a pressão de Jusante**

- Válvulas redutoras e reguladoras de pressão
- Válvulas de quebra-vácuo

As extremidades são uma característica importante das válvulas que podem ser flangeadas para 2" ou maiores, solda de encaixe para válvulas menores que 2", rosqueadas para válvulas de mais de 2" em que se deve ter segurança absoluta e solda de topo para válvulas com mais de 2" para se ter certeza contra vazamentos. Outra classificação possível das válvulas é em relação aos meios de operação delas (TELLES, 2001).

Podemos dividir em operação manual e operação motorizada:

Operação manual é um sistema mais barato e basta rotacionar a haste para fechar ou abrir:

- por meio de volante
- por meio de alavanca
- por meio de engrenagens

Operação motorizada é quando há alguma força externa, que não seja manual, comandando a operação:

- pneumática
- hidráulica
- elétrica

Operação automática dispensa qualquer ação externa para o funcionamento

- pelo próprio fluido
- por molas

### 2.3.1 Válvula Globo

A válvula globo, pode-se visualizar na Figura 14, é uma válvula de regulagem, ou seja, não trabalha somente totalmente aberta ou totalmente fechada e pode trabalhar em qualquer posição intermediária. O fechamento é feito pelo tampão que se ajusta com a sede, é uma válvula que gera fortes perdas de cargas, cerca de 300 a 400 diâmetros de tubos independentemente da posição. Por conta de um possível acúmulo de sedimentos embaixo do tampão de fechamento não é recomendado o uso onde há detritos ou sedimentos (TELLES, 2001).

A válvula globo de assento reto é utilizada em diâmetros maiores e em situações exigentes de alta velocidade de vazão por conta de sua ação forte e uniforme sobre a haste. As válvulas globo de assento angular são mais leves, compactas e possuem alto valor de vazão. A válvula globo pode ser utilizada até



180°C e pressão até 40 bar e com algumas modificações é possível chegar até 300°C. São recomendadas para altos ciclos, aplicações de enchimento e dosagem.

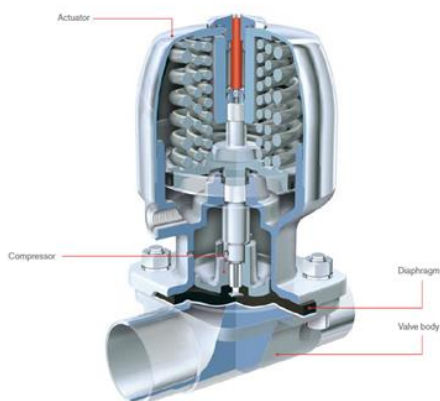


**Figura 14 – Válvula Globo**  
**Fonte: Autores (2022)**

### 2.3.2 Válvula Diafragma

São válvulas utilizadas para bloqueio e regulação de fluidos corrosivos, tóxicos, muito voláteis ou que tenham necessidade de total segurança contra vazamentos. Uma grande vantagem é que apenas dois componentes têm contato com o fluido, o diafragma e o corpo da válvula. Podemos ver uma ilustração dessa válvula na Figura 15 e um exemplo real na Figura 16

Para o fechamento, o diafragma se deforma e bloqueia a passagem de fluido.



**Figura 15 – Ilustração da Válvula Diafragma**  
**Fonte: Gemü (2017)**



**Figura 16 – Válvula Diafragma**  
**Fonte: Autores (2022)**

## 2.4 PURGADORES

Segundo Silva Telles (TELLES, 2001) “Os purgadores de vapor são dispositivos automáticos que separam e eliminam o condensado formado nas tubulações de vapor e nos aparelhos de aquecimento, sem deixar escapar o vapor.” e segundo ANSI (TLV, s.d. “Purgador de vapor – Válvula autônoma que drena o condensado automaticamente de um invólucro que contenha vapor e que ao mesmo tempo permaneça vedado para o vapor vivo, ou se necessário, que permita que o vapor flua à uma taxa controlada ou estabelecida. A maioria dos purgadores de vapor também passará gases não condensáveis enquanto permanecem vedadas ao vapor vivo.”).

O purgador deve ser utilizado para eliminar o condensado das tubulações (drenagem) ou para reter o vapor quando estiver em aquecimento, esquema na Figura 17. A formação de condensado ocorre quando o vapor fornece calor latente ao sistema, o vapor se condensa e gera o condensado.



**Figura 17 – Purgador**  
Fonte: [tlv.com](http://tlv.com)

Existem recomendações sobre a instalação dos purgadores que devem ser seguidas (TELLES, 2001):

- O condensado da tubulação ou do equipamento sempre que possível deve escoar para o purgador por gravidade;
- Instalação de um filtro antes dos purgadores de boia e termostáticos;

- O diâmetro das tubulações de entrada e saída dos purgadores devem ter o menor tamanho possível;
- A instalação dos purgadores deve ser em locais de fácil acesso para manutenção.

Será detalhado o funcionamento do purgador termostático de pressão balanceada, exemplo na Figura 18, que será importante para o entendimento do trabalho. Esse tipo de purgador tem como função remover o condensado na linha de vapor puro, muito utilizado em sistema de *Sterilization In Place* (SIP). Dentro do purgador há uma cápsula preenchida por um líquido sensível a temperatura que quando não está na temperatura do vapor, a cápsula está completamente aberta para permitir que o ar e o condensado sejam drenados. Quando se está na faixa de temperatura do vapor, o fluido dentro da capsula se expande e a válvula fecha o purgador evitando a perda do vapor puro.



**Figura 18 – Purgador Termostático**  
**Fonte: Autores (2022)**

## 2.5 MEIOS DE LIGAÇÃO

Ao escrever sobre tubulação é necessário mencionar os tipos de ligações existentes entre os tubos, conexões, válvulas, equipamentos, entre outros. As principais ligações para o presente trabalho são as seguintes:

- Ligação soldada
- Ligação tri-clamp

### 1) Ligações soldadas

Quando se fala em tubulação industrial a maior parte das ligações são soldadas por conta das seguintes vantagens: boa resistência mecânica, melhor estanqueidade, boa aparência, sem necessidade de manutenção. As principais desvantagens são duas: necessidade de mão de obra especializada (soldador) e impossibilidade desmontagem.

### 2) Ligações tri-clamp

A ligação TC (Tri-clamp) é uma ligação sanitária muito utilizada onde não se pode usar roscas pela possibilidade de se reter o produto e contaminar o meio. Esse tipo de ligação é mais aplicado na indústria farmacêutica, alimentícia e de cosméticos. É formada por 4 componentes: dois niples tri-clamp curtos ou alongados, abraçadeira e anel de vedação, pode-se ver os componentes na Figura 19 e a ligação montada na Figura 20. Esse último pode ser em EPDM ou EPDM revestido com Teflon, irá depender da temperatura do produto.

Uma grande vantagem dessa ligação é a facilidade para montar e desmontar, agilidade e não há a necessidade de mão de obra especializada pois não há solda.



**Figura 19 –Componentes da Ligação Tri-clamp**  
Fonte: Autores (2022)



**Figura 20 – Ligação Tri-clamp**  
Fonte: sanitaryfittings-cad.com

## 2.6 CONEXÕES

No meio industrial as conexões têm um papel fundamental, pois sua função é conectar tubos, válvulas, equipamentos e auxiliar no transporte de fluidos. Ao se tratar de instalações industriais farmacêuticas é recomendado seguir o padrão das conexões sanitárias definidas pela norma ASME BPE.

As conexões sanitárias normalmente são fabricadas de ¼” a 6” em aço inox (304 ou 316), devem ter a garantia que os contaminantes sejam removidos da superfície e que o acabamento não proporcione acúmulo de resíduos (sujidade). Apresentam 2 tipos de extremidades, para solda orbital e para união tri-clamp. Abaixo estão as conexões mais utilizadas, conforme norma ASME BPE.

- Curva 90°
  - Curva 90°(DT-4.1.1-1), OD, com extremidades sem ovalização e alongada para solda orbital (Figura 21).



**Figura 21 – Curva 90° Solda Orbital**  
**Fonte: Autores (2022)**

- Curva 90 TC X SO (DT-4.1.1-2), OD, com extremidade sem ovalização, plana e alongada para solda orbital e outra TC (Figura 22).



**Figura 22 – Curva 90° Solda Orbital x TC**  
Fonte: Autores (2022)

- Curva 90° TC (DT-4.1.1-3), OD, com extremidades tri-clamp (Figura 23).



**Figura 23 – Curva 90° TC x TC**  
Fonte: Autores (2022)



- Tês
  - Tê reto (DT-4.1.2-1), OD, extremidade plana, alongada para solda orbital (Figura 24).



**Figura 24 – Tê reto longo**  
**Fonte: Autores (2022)**

- Tê reto (DT-4.1.2-2), OD, extremidade plana, alongada para solda orbital, com derivação tri-clamp (Figura 25).



**Figura 25 – Tê reto com derivação curta TC e extremidades para solda orbital**  
**Fonte: Autores (2022)**

- Tê reto TC (DT-4.1.2-4), OD, extremidades tri-clamp (Figura 26).



**Figura 26 – Tê reto com derivação e extremidades TC**  
**Fonte: Autores (2022)**

## 2.7 ESCOAMENTO

A eficiência da higienização CIP está diretamente ligada ao escoamento do fluido e de sua temperatura, o escoamento é relacionado à ação cisalhante proporcionada pela solução sobre a superfície do equipamento; enquanto a temperatura permite melhor solubilização dos resíduos facilitando sua remoção (FORNI, 2007).

Em uma indústria farmacêutica, os principais equipamentos encontrados são tubulações e tanques de armazenamento. Para obter a melhor ação mecânica no processo de limpeza adota-se, respectivamente, o princípio do escoamento interno e externo conforme estudados na mecânica dos fluidos.

### 2.7.1 Escoamento Interno

A solução química exerce um papel importante na limpeza de tubulações, entretanto, é utilizada a ação mecânica dos fluidos para alcançar uma maior eficiência na higienização. Assim, as forças viscosas durante o escoamento do fluido geram uma tensão de cisalhamento na superfície da tubulação auxiliando no arrancamento da sujidade. A partir disso, deve-se escolher um regime de



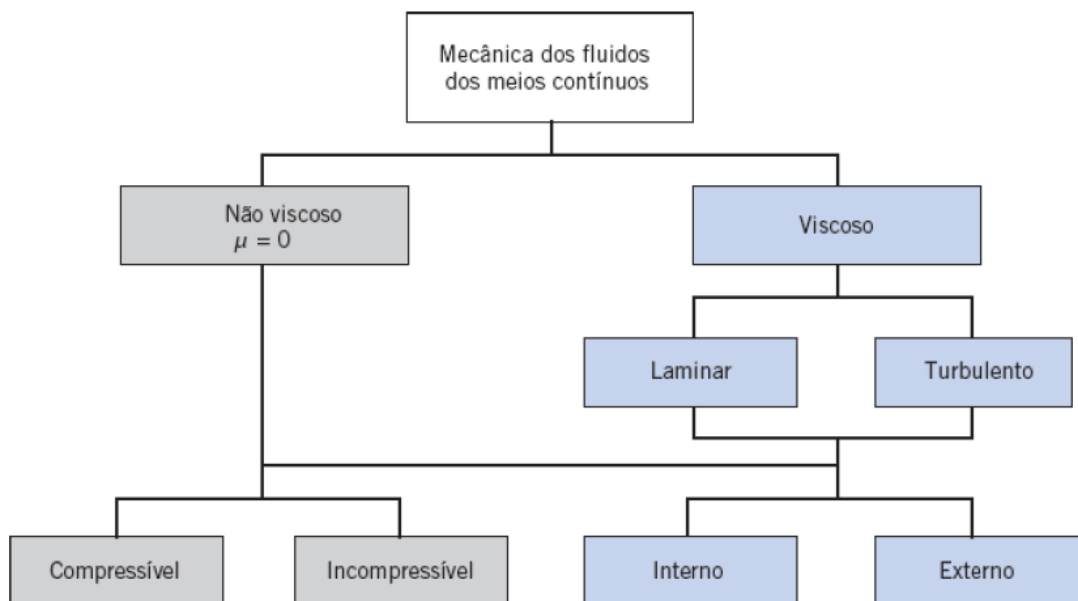
escoamento com a maior tensão de cisalhamento. A tensão de cisalhamento é definida pela equação 7, onde a tensão de cisalhamento é dada em N/m<sup>2</sup>, a viscosidade  $\mu$  em Pa.s e  $du/dy$  representa a taxa de deformação (FOX, 2010).

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (7)$$

Conforme mostra a Figura 27, o escoamento interno viscoso pode ser classificado em laminar ou turbulento, em que a velocidade, irá definir o perfil de escoamento. No escoamento laminar, o fluido se desloca em planos paralelos, sem haver mistura macroscópica de camadas de fluido, onde o campo de velocidade é dado pela equação 8. Já no escoamento turbulento, as partículas fluidas se misturam ao longo do deslocamento devido às flutuações aleatórias no campo de velocidades, calculada a partir da equação 9 (FOX, 2010).

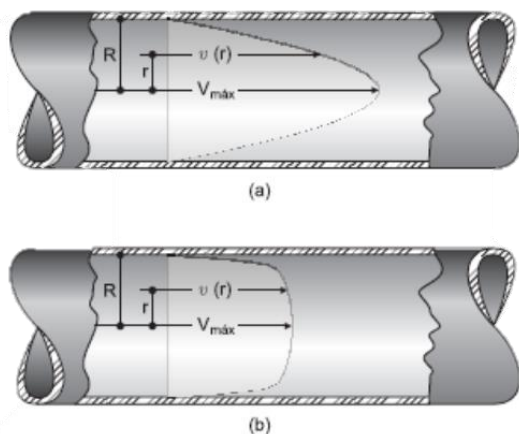
$$V(r) = V_{Max} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (8)$$

$$V(r) = V_{Max} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{1/n} \right] ; n \cong 7 \quad (9)$$

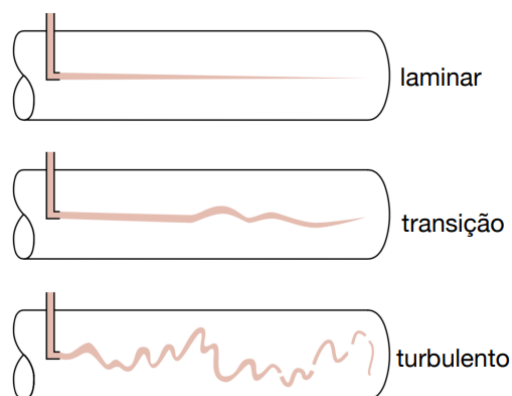


**Figura 27 – Possível classificação da mecânica dos fluidos de meios contínuos.**  
Fonte: Dutra (2016)

Na Figura 28 observa-se um decaimento brusco da velocidade próximo a parede do regime turbulento visto que em ambos os casos a velocidade é zero junto a parede, assim se gera uma tensão de cisalhamento elevada no escoamento turbulento se comparada com a tensão de cisalhamento do caso laminar. Conclui-se então que o escoamento turbulento é o mais adequado para a higienização CIP (FORNI, 2007).



**Figura 28 – Comparação entre os típicos perfis de velocidade para escoamento laminar (a) e turbulento (b) no interior de dutos.**  
Fonte: Bistafa (2016)



**Figura 29 – Regime de escoamento**  
Fonte: Mauricio (2012)

Para avaliar o tipo de escoamento é calculado o número de Reynolds, conforme a equação 10. Esse é um número adimensional representado pela razão entre as forças inerciais e as forças viscosas. Para o caso de um fluxo de água num tubo cilíndrico, admite-se os valores de 2100 e 4000 como limites. Desta forma, para valores menores que 2100 o fluxo será laminar, e para valores maiores que 4000 o fluxo será turbulento. Como mostra a Figura 29, entre estes dois valores temos um fluxo denominado como transitório (FOX, 2010).

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (10)$$

Onde:

V é a velocidade do fluxo (m/s);

D é o diâmetro tubo (m);

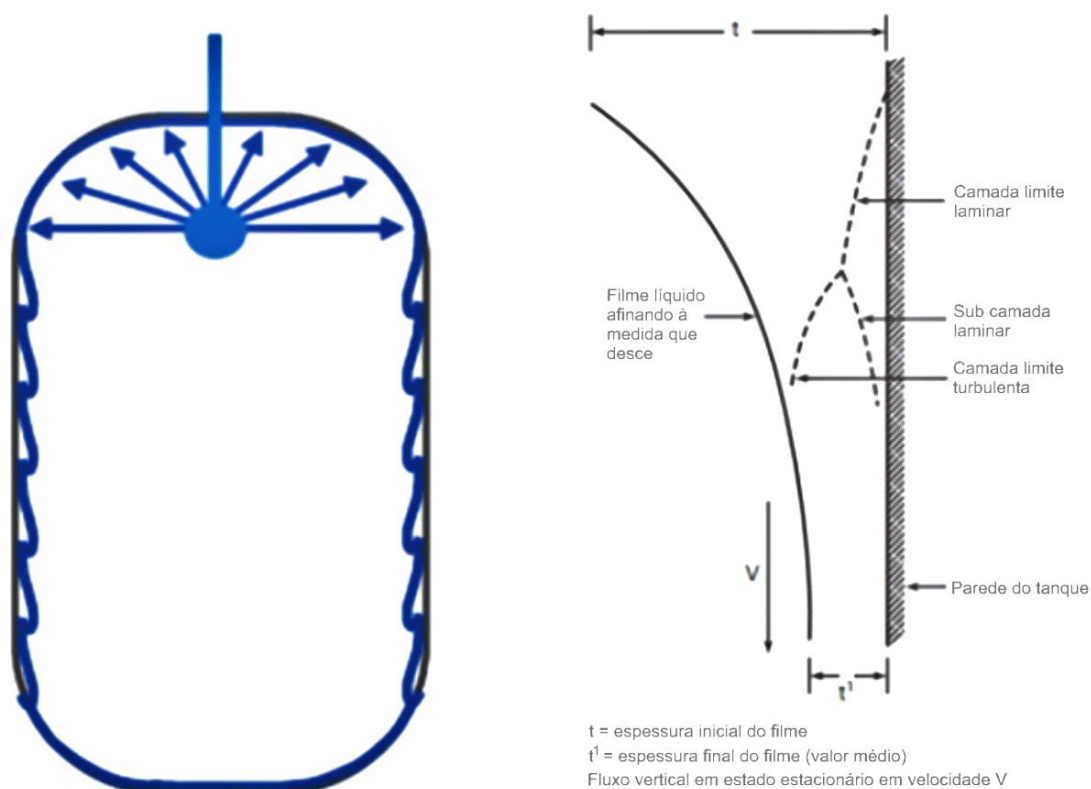
$\rho$  massa específica do fluido (kg/m<sup>3</sup>);

$\mu$  viscosidade dinâmica (Pa.s).

### 2.7.2 escoamento externo

Para compreender a higienização de tanques em um processo de higienização CIP, deve-se entender os princípios do escoamento externo. Engenheiros da empresa JohnsonDiversey (JohnsonDiversey, 2002), realizaram estudos experimentais para obter a melhor ação mecânica através do escoamento do fluido na parede interna do tanque.

Na Figura 30, o escoamento da solução química está representado na parede interna do tanque. No detalhamento a direita é possível observar regiões com escoamento laminar e turbulento.



**Figura 30 – Exemplificação da lavagem com solução alcalina**  
**Fonte: Forni (2007) e Macedo (2018) (Modificado)**

Nas pesquisas realizadas não foram encontradas fontes em literatura, para calcular a vazão necessária no *spray ball*. Portanto, utilizou-se a pesquisa da JohnsonDiversey onde não foram apresentados com clareza o procedimento para obtenção da equação. Essa pesquisa propõe a equação 11, por meio dela é

possível calcular uma vazão que forneça a ação mecânica suficiente para a remoção da sujidade na parede do tanque.

$$Q_R = F_S \times \pi \times D_t \quad (11)$$

Onde:

$Q_R$  = Vazão Requerida para spray ball 180° (l/min)

$D_t$  = Diâmetro do tanque (metro)

$F_S$  = Fator de sujidade (l/m . min)

JohnsonDiversey propõe que o fator de sujidade é dado pela condição inicial do tanque a ser limpo:

$F_S = 27$  (para baixa condições de sujidade)

$F_S = 30$  (para média condições de sujidade)

$F_S = 32$  (para alta condições de sujidade)

$F_S = 35$  (para alta condições de sujidade limpas com ácido)

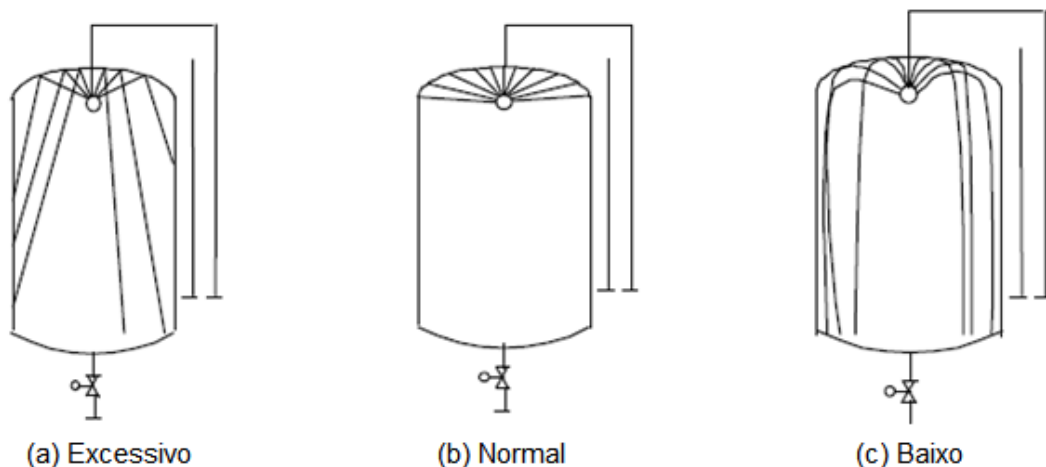
Ainda na pesquisa da JohnsonDiversey é definido a necessidade de multiplicar o resultado da equação 11 por dois ao utilizar um *spray ball* 360°, assim foi obtido a equação 12. A Figura 31 mostra o comparativo entre o *spray ball* 180° (a) e o *spray ball* 360° (b), sendo que este último apresenta furação em todo seu corpo.



Figura 31 – *spray ball* 180° (a) e *spray ball* 360° (b)  
Fonte: sanimatic.com

$$Q_R = 2 \times F_S \times \pi \times D_t \quad (12)$$

Segundo a JohnsonDiversey, com a vazão requerida calculada, ocorre a formação de uma camada de pelo menos 2 mm do fluido escorrendo na parede do tanque. Mas, para que isso ocorra é necessário que a velocidade do jato seja forte o suficiente para alcançar a superfície do tanque. Na Figura 32, são apresentadas as 3 condições de velocidade que podem ocorrer. Na Figura 32 (b) é representado uma situação ideal de vazão e velocidade. Na Figura 32 (a) é representado um jato excessivo, não sendo ideal pois não ocorrerá a formação de uma película de 2 mm devido ao ricocheteamento do jato. A Figura 32 (c), representa uma situação inadequada devido à baixa pressão, onde os jatos não alcançam a parede do tanque e conseqüentemente não há uma formação da película do fluido (FORNI, 2007).



**Figura 32 – Tipos de aspersão dentro do tanque**  
**Fonte: Forni (2007)**

## 2.8 PERDA DE CARGA

Perda de carga total refere-se à perda de energia do fluido em um trecho da tubulação. Essa perda é ocasionada devido a vários fatores como o atrito com a parede interna do tubo ou em razão da turbulência gerada pelas conexões da tubulação. A perda de carga total é expressa pela equação 13, onde são somadas a perda de carga normal ( $h_{fN}$ ), representada pelos trechos retos de tubulação, e a perda localizada ( $h_{fL}$ ), aquela ocasionada pelos acessórios de tubulação como curvas, válvulas entre outros acessórios (TELLES, 1999).

$$h_f = h_{fN} + h_{fL} \quad (13)$$

### 2.8.1 Perda de Carga Normal

A perda de carga normal ocorre nos trechos retos da tubulação. Para o escoamento laminar é tipicamente empregada a fórmula de Poiseuille (equação 14) para calcular o valor da perda de carga (TELLES, 1999).

$$h_{fN} = \frac{32.L.v.V}{d^2.g} \quad (14)$$

onde:

L = Comprimento reto de tubulação (m);

$v$  = viscosidade cinemática do líquido.

V = Velocidade de escoamento do fluido (m/s)

d = Diâmetro interno da tubulação (m);

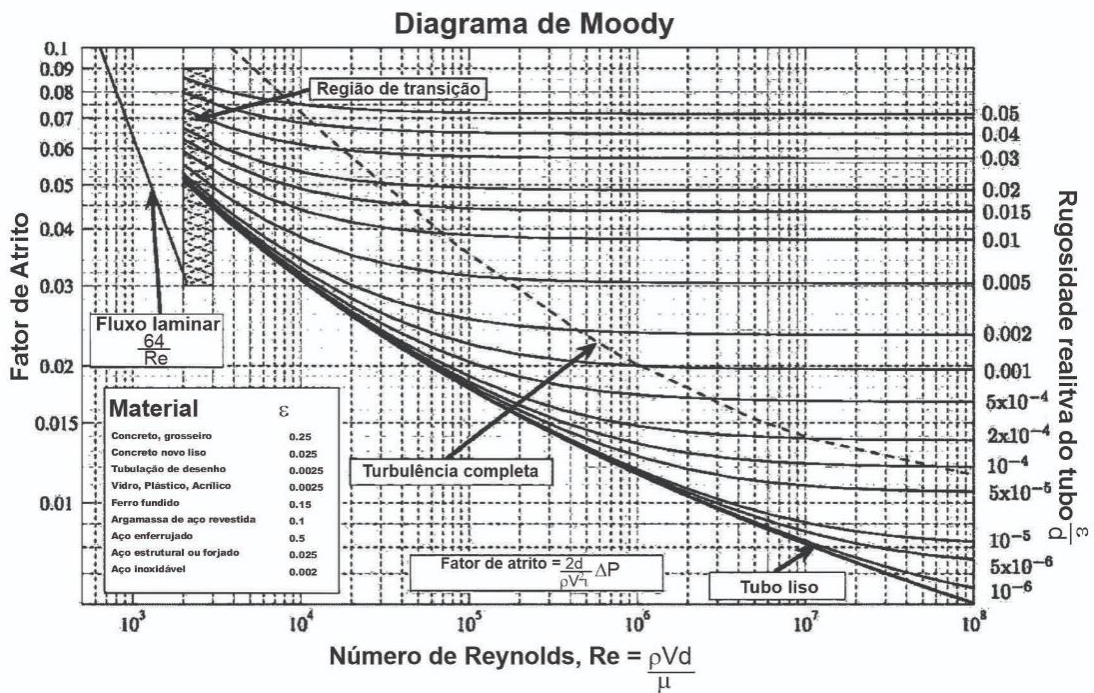
No regime turbulento é tipicamente empregada a equação 15 denominada de fórmula de Darcy.

$$h_{fN} = f \frac{L.V^2}{D.2.g} \quad (15)$$

onde:

f – Coeficiente de atrito do líquido (adimensional);

O diagrama de Moody (Figura 33) apresenta uma relação entre o número de Reynolds e o grau de rugosidade das paredes do tubo ( $\epsilon/D$ ). A partir do diagrama obtém-se o coeficiente de atrito. Analisando o diagrama nota-se que no escoamento completamente turbulento o grau de rugosidade do tubo é constantes, com isso o fator de atrito não dependerá do número de Reynolds (PALHOTA, 2018).



**Figura 33 – Ábaco de Moody**  
 Fonte: commons.wikimedia.org

### 2.8.2 Perda de Carga Localizada

As perdas de carga localizadas, também chamadas de perdas de carga em acidentes, ocorre em conexão, válvula, derivação entre outros. Esses acidentes causam perdas de carga diferentes das causadas pelo simples atrito nas paredes da tubulação. E para calcular esse tipo de perda, utiliza-se o método direto ou o método do comprimento equivalente (TELLES, 1999).

#### 1) Método Direto

Este método utiliza a equação 16 para calcular as perdas de carga. Onde  $h_{fL}$  é a perda de carga total localizada,  $V$  é a velocidade do fluido e  $k_1, k_2, k_3$  etc. são coeficientes para cada tipo de acidente e cada diâmetro. Essa equação considera a velocidade do fluido ao calcular a perda em acidentes, portanto é mais precisa do que o cálculo por comprimento equivalente, embora seja mais trabalhoso.

$$h_{fL} = \sum K \frac{V^2}{2.g} \quad (16)$$



## 2) Método do Comprimento Equivalente

O cálculo da perda de carga localizada pelo método do comprimento equivalente utiliza valores tabelados que correspondem a um valor de comprimento reto de tubulação, conforme a Figura 34. Esses valores são obtidos de forma empírica pela determinação experimental para cada tipo e tamanho de acessórios da tubulação (TELLES, 1999).

Diâmetro nominal <i>D</i>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
(mm)	(pol.)																			
13	1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2 1/2	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	8,4	12,9
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

**Figura 34 – Comprimento Equivalente**

Fonte: Macintyre, 2017

Após obter todos os comprimentos equivalentes presentes no sistema, somamos o comprimento do trecho reto com os equivalentes de cada acessório para obter o comprimento total. Dessa forma, podemos usar a equação 17 para calcular a perda de carga total do sistema estudado.

$$h_f = f \frac{L_{Total} \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} \quad (17)$$

## 2.9 COMPONENTES E EQUIPAMENTOS BÁSICOS DE UM CIP

Os equipamentos que compõe uma central CIP podem ser divididos em duas categorias, sendo os equipamentos básicos e os dispositivos aspersores de solução. O sistema CIP completo, como mostra a Figura 35, pode ser chamado de



*skid*. E suas funções e as características desejadas para o projeto irão influenciar na quantidade e na variedade dos equipamentos e componentes do *skid*.

Os equipamentos básicos são compostos por tanques, bombas, tubulações e válvulas. Sendo o tanque, denominado de unidade CIP, responsável pelo armazenamento da solução química utilizada na higienização. Assim, o volume e a área superficial dos tanques e tubulações que se deseja higienizar irá influenciar no volume e na quantidade de unidades CIP necessárias para realização do processo (FORNI, 2007).



**Figura 35 – Unidade de Limpeza CIP**  
Fonte: biosan.net.br

As bombas utilizadas no processo podem ser classificadas como de avanço ou de retorno. As bombas de avanço são responsáveis pelo envio de solução química das unidades CIP até o local em que será realizada a higienização, e as de retorno são responsáveis pela sucção e recirculação da solução química utilizada na higienização. O modelo das bombas depende da vazão requerida pelo *spray ball* na higienização do tanque, o arranjo e o comprimento das tubulações também irão influenciar na seleção das bombas (FORNI, 2007).

Assim como as bombas, os sistemas de tubulação são divididos em: de avanço ou de retorno. A tubulação de avanço é responsável pela comunicação

entre o tanque do CIP até os pontos de limpeza. Conforme já mencionado, o comprimento da tubulação está relacionado a perda de carga distribuída durante o escoamento. Já a tubulação de retorno conduz a solução utilizada para os locais definidos no projeto (FORNI, 2007).

Os dispositivos aspersores são os elementos que permitem a aplicação da solução química, além de provocar uma ação mecânica nas superfícies a serem higienizadas. Cada um dos tipos de aspersores de solução possui condições e especificações de projeto que devem ser respeitadas, como a pressão e a vazão de trabalho. Essas especificações também são fundamentais para o dimensionamento das bombas (FATUCHE e SILVA, 2015).



**Figura 36 – *Spray ball* (a), *Flying Saucer* (b), Aspersores Rotativos (c)  
Fonte: tetralon.com.br**

Um dos principais tipos de aspersores é o *Spray ball*, ele garante que o processo de limpeza seja altamente eficaz e automatizado para permitir a cobertura de todo o interior do tanque, geralmente são produzidos na forma de uma esfera, mas podem ter o formato de cogumelos para possibilitar mais orifícios voltados para cima que serão responsáveis pela limpeza das superfícies superiores dos tanques. Os modelos de *Spray ball* podem variar no tamanho da esfera, na espessura do elemento, o tipo e a localização dos furos ou rasgos, como mostrado na Figura 36 (a). Essas características influenciam na qualidade da limpeza, por exemplo, uma parede mais espessa torna cada furo em um bico que irá expelir um jato de limpeza mais eficiente, enquanto em uma parede mais fina acarreta um *spray* divergente. Quanto à localização dos furos, o *Spray ball 360°* possui furação por toda a esfera, *Spray ball 180° Top* e *180° Bottom* possuem furação na metade superior e na metade inferior, respectivamente (FORNI, 2007).

Outro tipo de aspersor é o *Flying Saucer*, mostrado na Figura 36 (b). Nele os furos estão posicionados com uma angulação em relação a normal da superfície, provocando dessa forma a rotação do aspersor, sendo essa a maior vantagem se comparado ao *Spray ball*, pois com a rotação, o impacto do fluido com as superfícies sujas será maior, melhorando a ação mecânica durante a higienização. Se comparado ao *Spray ball*, o *Flying Saucer* requer maior cuidado com a instalação e manutenção devido à presença de elementos rotativos em sua constituição (FORNI, 2007).

Parecido com o *Flying Saucer* tem-se os aspersores rotativos, mostrado na Figura 36 (c). A principal diferença entre eles está na rotação, na qual é realizada em mais de uma direção. Diferente do *Spray ball*, a rotação é imposta por um conjunto de engrenagens internas, sendo um elemento bastante preciso. Embora seja um aspersor de alto custo, é o que entrega uma melhor ação mecânica (FATUCHE e SILVA, 2015).

### 2.9.1 Equipamentos Complementares

Os equipamentos básicos do CIP realizam o trabalho de forma manual do sistema. Para automatizar o processo de limpeza são utilizados equipamentos como controlador de condutividade e de PH, bombas pneumáticas, válvulas solenoides e CIP Timer. Com o controlador de condutividade elétrica é possível saber a concentração da solução química. Com a informação coletada é possível controlar a válvula solenoide para aumentar ou diminuir a concentração de solução química. A válvula solenoide nada mais é do que uma válvula eletromecânica onde é possível controlar a abertura e o fechamento a partir da tensão elétrica (FORNI, 2007).

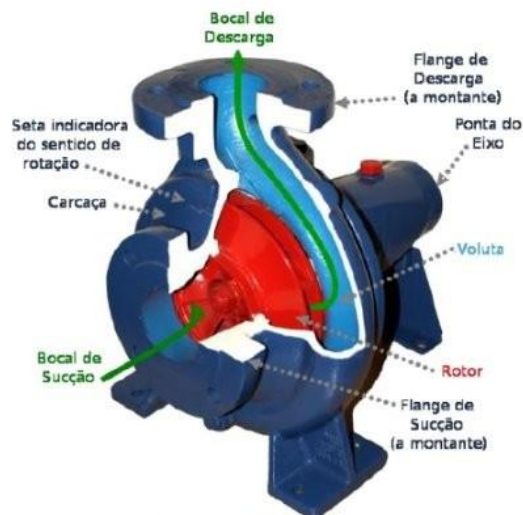
Acrescentando ao sistema tem-se o controlador de PH, são essenciais em alguns sistemas CIP em que é necessário manter a acidez da solução. Já as bombas pneumáticas são responsáveis pela dosagem de produto químico, possibilitando a sucção ou o recalque. Para aumentar a precisão da higienização é utilizado o CIP Timer, um dispositivo que permite controlar o tempo para a saída

do fluido. Todos esses equipamentos juntos possibilitam o funcionamento sem a necessidade de um operador realizando o processo.

## 2.10 BOMBAS CENTRÍFUGAS

Como mencionado, teremos bombas de avanço e de retorno em nosso sistema CIP. Geralmente são turbobombas do tipo centrífuga radial por serem capazes de transferir grandes cargas com baixa vazão (DeFaco, 1998).

Seu funcionamento baseia-se no Princípio de Bernoulli, onde ocorre a transferência de energia cinética em energia potencial. Essa energia cinética é gerada a partir da rotação do rotor, suas paletas giram formando uma zona de alta pressão que suga o fluido para o interior da bomba. A rotação faz com que o fluido seja bombeado da entrada para a voluta, que contém o fluido direcionando-o para o bocal de descarga, esse percurso está exemplificado pelas setas verdes na Figura 37 (Palhota, 2018).



**Figura 37 – Bomba centrífuga radial**  
Fonte: Almada (2016)

No escoamento do fluido ocorrem perdas de carga, seja pelo atrito com a tubulação ou com as conexões, como curvas e válvulas. Com isso é importante dimensionar corretamente a bomba para que atenda aos requisitos de uso, como vazão, velocidade e pressão (Palhota, 2018).

Um problema gerado ao se utilizar bombas é a cavitação, trata-se da formação de bolhas de ar durante o bombeamento do fluido. Essas bolhas de vapor são formadas em regiões de baixa pressão, onde um ponto do sistema atinge valores inferiores à pressão de vapor desse líquido (DeFaco, 1998).

A cavitação ocorre devido a uma alta aceleração da velocidade, e trazem sérios problemas como erosão das lâminas rotativas, ruídos e vibrações, ocasionando uma redução na eficiência do sistema. Esses problemas são gerados quando essas bolhas chegam em regiões de pressão mais alta, pois as minúsculas bolhas se colapsam criando uma onda de choque de alta energia no fluido (DeFaco, 1998).

### 2.10.1 Altura Manométrica

A altura manométrica total representa a altura que uma bomba consegue levantar o fluido. É calculada a partir da equação 18, que expressa a diferença entre a altura manométrica de descarga ( $H_d$ ) e de sucção ( $H_s$ ), ambas dadas em metros (PALHOTA, 2018).

$$H = H_d - H_s \quad (18)$$

Onde:

$H$  = Altura manométrica total

$H_d$  = Altura manométrica da descarga

$H_s$  = Altura manométrica de sucção

#### 2.10.1.1 Altura manométrica de sucção

A altura manométrica de sucção trata-se da distância entre a ponta do tubo de sucção até o bocal da bomba, ela representa a energia manométrica por unidade de peso no bocal da bomba. Essa altura pode ser calculada pelo Teorema de Bernoulli, conforme a equação 19 que expressa a energia por unidade de peso no

bocal de sucção subtraída pelas perdas de carga no trecho de sucção (PALHOTA, 2018).

$$H_s = Z_s + \frac{P_s}{\gamma} - h_{fs} \quad (19)$$

Onde:

$Z_s$  = Diferença de altura entre a sucção e entrada da bomba (m)

$P_s$  = Pressão no reservatório de sucção (kgf/m<sup>2</sup>)

$\gamma$  = Peso específico do fluido (kgf/m<sup>3</sup>)

$h_{fs}$  = Perda de carga na sucção (m)

#### 2.10.1.2 Altura manométrica de descarga

A altura manométrica de descarga refere-se a distância entre o bocal de sucção da bomba até a saída da tubulação de descarga e representa a energia por unidade de peso no bocal de descarga para que o líquido atinja seu ponto final no processo de bombeamento. Essa altura pode ser calculada pela equação 20, no entanto aqui a perda de carga deve ser adicionada à energia necessária (PALHOTA, 2018).

$$H_D = Z_D + \frac{P_D}{\gamma} + h_{fD} \quad (20)$$

$Z_D$  = Diferença de altura entre a saída da bomba e entrada do tanque (m)

$P_D$  = Pressão no tanque (kgf/m<sup>2</sup>)

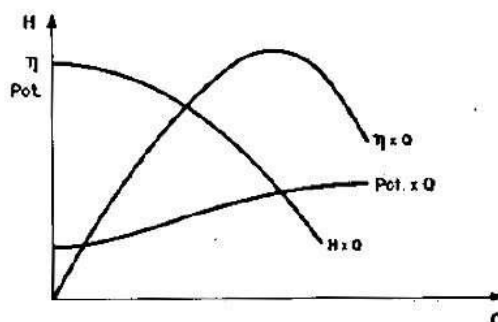
$h_{fD}$  = Perda de carga na descarga (m)

#### 2.10.2 Curvas características das bombas

As curvas características da bomba são provenientes de ensaios onde a bomba encontra-se em uma rotação constante (PORTO, 1998). Portanto, as curvas

são apresentadas pelo próprio fabricante. A Figura 38 mostra as principais curvas características das bombas.

A curva da carga por vazão ( $H \times Q$ ) representa a variação da carga fornecida pela bomba em função da vazão.



**Figura 38 – Curvas características das bombas**  
Fonte: MATTOS, DE FALCO, 1998

A curva de potência por vazão ( $Pot \times Q$ ) representa a potência da bomba em função da vazão.

A partir da equação 21 calcula-se a potência absorvida pela bomba. Pela equação 22 encontra-se a potência hidráulica.

$$Pot_{abs} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \eta} \quad (21)$$

$$Pot_{Hidr} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75} \quad (22)$$

onde: Pot está em CV e  $\eta$  é o rendimento da bomba (dada pelo fabricante).

A curva de rendimento total por vazão ( $\eta \times Q$ ) representa a capacidade de converter a energia motriz do motor em energia hidráulica (bomba).

## 2.11 BOMBA DE VÁCUO

Sabe-se que em muitas situações quando se quer um aquecimento entre 60°C e 90°C as indústrias utilizam água quente como aquecimento indireto, mas

nessa faixa de temperatura é possível fazer o aquecimento com vapor saturado, diminuindo a pressão (TLV, s.d.).

**Tabela 6 – Vapor saturado por pressão**

Temperatura (C°)	Pressão (bar)	Volume específico do vapor (m <sup>3</sup> /Kg)	Energia interna do líquido (Cal/Kg)	Energia interna do vapor (Cal/Kg)	Varição de entalpia (Cal/Kg)
59,7	0,2	7,797	59,7	585,8	526,1
80,9	0,5	3,304	80,9	592,8	512
99,1	1	1,727	99,1	598,6	499,5
110,8	1,5	1,182	110,9	602,1	491,3
125,5	2,4	0,7616	125,8	606,2	480,4
141,1	3,8	0,4951	141,7	610,2	468,5
164,2	7	0,2785	165,6	615,3	449,7

Fonte: tlv.com

Considerando a pressão atmosférica a nível do mar aproximadamente igual a 1 bar, a temperatura do vapor saturado é de aproximadamente 100 C°, mas com uma pressão de 0,2 bar essa temperatura cai para 60 C°. Pode-se concluir por meio da Tabela 6 que quanto maior a pressão, maior será a temperatura para se ter o vapor saturado.

O sistema de vácuo tem um papel muito importante no CIP devido a sua aplicação no processo de aquecimento quando a temperatura ideal é abaixo dos 100°C. Esse tipo de vapor é chamado também de vapor a vácuo por conta das pressões utilizadas serem abaixo da pressão atmosférica normal. Segundo a empresa TLV, algumas vantagens da utilização do vapor a vácuo são:

- A pressão controla a temperatura
- Redução dos gastos de energia pois aquece mais rápido
- Melhor qualidade de aquecimento pois o aquecimento fica uniforme

Todas essas vantagens ocorrem pois o vapor transfere maior quantidade de calor do que a água quente. O vapor ao se condensar libera calor latente (mudança de fase) que são cerca de 540 cal/g enquanto a água quente transfere calor sensível é cerca de 1 cal/g. Devido a essa grande diferença é mais vantajoso utilizar o vapor a pressões mais baixas quando se quer um aquecimento abaixo de 100°C (TLV, s.d.).



O sistema de vácuo deverá produzir uma pressão abaixo de 1 bar definida de acordo com cada processo específico e a fim de medir essa pressão utiliza-se o vacuômetro, dessa forma é possível garantir a qualidade do ciclo. Caso a pressão esteja maior ou menor do que o necessário, entra em ação o vacuostato que irá ligar ou desligar a bomba de vácuo a qual irá retirar ar do sistema. Caso tenha que aumentar a pressão, é necessário liberar a entrada de ar da atmosférica e para isso há a necessidade da instalação de um filtro separador de condensado. Nesse ar contém umidade o que pode prejudicar o processo gerando uma quantidade maior de condensado. A válvula reguladora de fluxo irá controlar a quantidade de ar que será ajustada de acordo com a contaminação do filtro. Para garantir a pressão do sistema pré-definida se utilizará a válvula reguladora de pressão (Valéria Moreno, 2020).

Uma outra vantagem para se utilizar o sistema de vácuo é em relação a eliminação das bolhas de ar que estejam no tanque, pois dificultam o aquecimento fazendo com que ele não seja uniforme. O ideal é que a pressão de vácuo seja aproximadamente 0,2 bar e o tempo para atingir essa pressão seja o mais rápido possível.

Para se dimensionar a bomba de vácuo podemos usar a fórmula 23, e uma vez definida a vazão selecionar a bomba adequada:

$$Q = \frac{V}{t} \times \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (23)$$

Onde:

Q = Vazão da bomba (l/min)

V = Volume do reservatório a ser evacuado (m<sup>3</sup>)

T = Tempo para atingir a pressão final desejada (horas)

P<sub>1</sub> = Pressão inicial (mbar)

P<sub>2</sub> = Pressão final desejada (mbar)

## 2.12 HIGIENIZAÇÃO CIP

O sistema *Clean in Place* (CIP) é um processo de higienização que pode ser automatizado, usualmente usada em indústrias que necessitam de um rigoroso controle contra contaminação, como os setores alimentícios e farmacêuticos. Essa higienização consiste na limpeza e na desinfecção, onde os detergentes e soluções circulam em um ciclo fechado da planta industrial, até a limpeza total, sem a necessidade de desmontar todo o equipamento (FATUCHE e SILVA, 2015).

A limpeza é responsável pela remoção de resíduos visíveis na superfície dos equipamentos. Essas partículas geralmente são materiais orgânicos, detritos, entre outros, e podem servir como fonte de alimento para microrganismos. Para evitar a proliferação e remover esses microrganismos realiza-se a desinfecção, sendo essa a segunda etapa da higienização. Nela são utilizados procedimentos com agentes físicos e químicos (FATUCHE e SILVA, 2015).

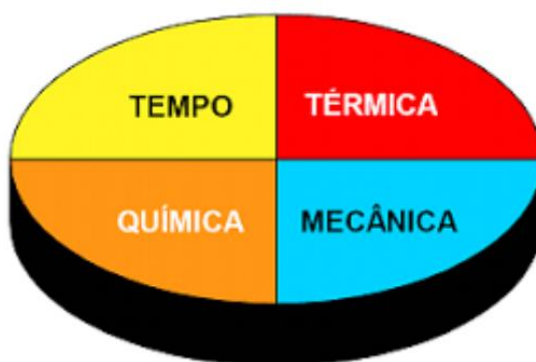
### 2.12.1 Ciclo de Sinner

O controle e a utilização desses agentes são importantes para se obter uma boa qualidade na higienização. Em 1959, o químico Herbert Sinner, durante seu trabalho na fábrica de detergentes alemã Henkel, definiu as etapas essenciais para uma boa higienização, conhecida como Círculo de *Sinner*. Inovando, assim, o conceito de lavagem de roupas, no qual definiu a ação química, mecânica, térmica e o tempo como os quatro agentes essenciais para o processo (G2F, 2022).

O círculo é representado por um gráfico circular (do estilo pizza) onde cada agente corresponde a partes iguais de 25%, Figura 39. Além disso, ao desenvolver o gráfico, o objetivo de Sinner era mostrar que estes quatro parâmetros são interconectados e dependem um do outro, a redução de um fator pode ser compensada por qualquer um dos outros três fatores. Com isso, o círculo pode ser redimensionado para cada etapa do processo de limpeza, como o enxague que utiliza mais ação mecânica e pouca ação química em seu processo (FORNI, 2007).

A ação mecânica é realizada para remover fisicamente a sujidade seja através da raspagem, de escovação ou da utilização de água sob pressão. Sendo este último meio, o utilizado no processo CIP. Conforme mencionado na revisão de escoamento interno (Capítulo 2.7.1), as forças viscosas durante o escoamento do fluido geram uma tensão de cisalhamento na superfície da tubulação auxiliando na retirada da sujidade. Embora a ação mecânica não seja o principal agente de limpeza, é fundamental para os outros fatores. Por exemplo, um escoamento turbulento, além de aumentar as tensões de cisalhamento, auxilia na homogeneização dos agentes químicos (FARIAS e PICCHIAI, 2013).

A ação química é considerada o agente mais importante da higienização. Os desinfetantes devem possuir alto poder de eliminação de elementos patogênicos. Portanto, é necessário selecionar cada produto de acordo com o tipo de limpeza. Deve-se ter atenção na escolha do produto químico, pois alguns produtos possuem alta toxicidade, instabilidade em condições adversas de PH, elevado poder de penetração e elevado potencial de corrosão. Além disso, é importante definir corretamente e respeitar a dose recomendada para evitar resíduos químicos após o enxague (FORNI, 2007).



**Figura 39 – Círculo de Sinner**  
Fonte: Forni (2007)

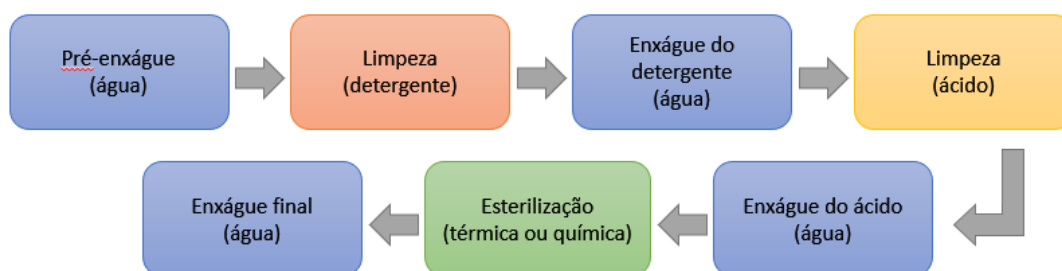
A temperatura influencia diretamente nos agentes químicos, pois seu aumento provoca a agitação das moléculas. Essa agitação aumenta a quantidade de colisões durante a reação química, provocando o aumento da velocidade da reação química. Somado a isso, a temperatura auxilia na remoção de substâncias

gordurosas. Entretanto é necessário conferir se o sistema a ser higienizado resiste a altas temperaturas (FORNI, 2007).

O tempo do processo será determinado pelo tipo de superfície, pela sujeira acumulada e pelo desinfetante utilizado, pois é necessário um tempo mínimo para que ocorra a ação química. O tempo de limpeza é inversamente proporcional a temperatura, como mencionado anteriormente, a limpeza ocorre de forma mais rápida em elevadas temperaturas (FORNI, 2007).

### 2.13 FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA CIP

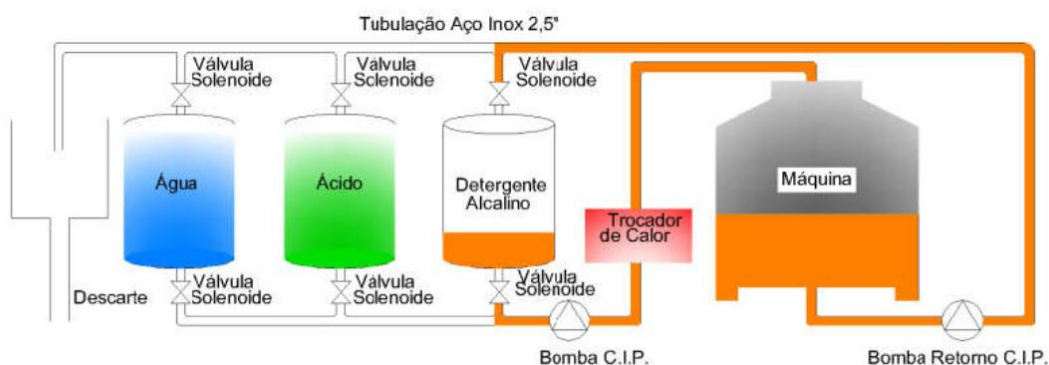
As etapas do ciclo de higienização CIP consiste no enxágue, na lavagem com solução química e na drenagem, as etapas do processo são mostradas na Figura 40. Em alguns casos, onde exigem uma higienização mais rigorosa, pode-se aplicar o uso de vapor para realizar a esterilização do sistema, essa é uma extensão do processo CIP denominada *Sterilization In Place* (SIP). Os parágrafos a seguir descreverem as principais etapas do ciclo CIP (Macedo, 2018).



**Figura 40 – Etapas do ciclo CIP.**  
Fonte: Autores (2022)

O enxágue utiliza água para remover a sujeira ou resíduos da solução química. Geralmente se utiliza água potável, porém na indústria farmacêutica deve-se utilizar água purificada (PW), pois não contém nenhum outro elemento ou outra substância adicionada, como o flúor. Em casos mais rigorosos usa-se o WFI (água para injetáveis), que é uma água extremamente pura geralmente utilizada na indústria farmacêutica no setor de fabricação de injetáveis. O pré-enxágue é realizado no início do processo tendo o objetivo de remover partículas soltas no

sistema. Já os enxagues intermediários são responsáveis por remover possíveis produtos químicos remanescente no sistema (Macedo, 2018).



**Figura 41 – Exemplificação da lavagem com solução alcalina**  
**Fonte: Macedo (2018)**

Na lavagem são utilizadas soluções químicas alcalinas e/ou ácidas, Figura 41. As soluções alcalinas removem a sujidade mais aderida à superfície, como gorduras e proteínas. Já as soluções ácidas removem os depósitos minerais e neutralizam possíveis resíduos da solução alcalina (ALCARRIA, 2021).

### 2.13.1 Tipos de CIP e suas vantagens

Os sistemas CIP podem ser divididos de acordo com suas características. Podendo ser classificado em três aspectos: automático ou manual, central ou móvel e sistema aberto ou fechado.

Um sistema CIP que funciona de forma manual é caracterizado por ter todo o processo realizado de forma manual por um operador. Desde as aberturas das válvulas até os ajustes de parâmetros importantes como tempo e temperatura são de responsabilidade do operador. Já no sistema automático, todos os parâmetros são definidos no Controlador Lógico Programável (CLP). Esse CLP é responsável por todas as etapas, como o controle de válvulas solenoides, dosagem da solução química, controles de tempo, temperatura e pressão. Com um sistema automatizado aumenta a confiabilidade que todos os parâmetros foram respeitados

obtendo assim uma melhor higiene com um menor custo de mão de obra (FORNI, 2007).

O sistema também pode ser classificado como central CIP ou CIP móvel. A central CIP fica fixa em uma determinada área da planta industrial, sendo essa uma das principais características que a difere do CIP móvel, que como seu nome já diz, é possível movê-lo pela fábrica para atender as necessidades de diferentes setores. Além disso, a central possui um sistema mais completo, podendo possuir múltiplos tanques de solução o que permite realizar a lavagem acida, básica e o enxague de forma automatizada, sem a necessidade de encher o tanque com a solução correspondente a etapa de higienização. Devido aos múltiplos tanques, é possível realizar a higienização de dois tanques simultâneos (FORNI, 2007).

Já o CIP móvel é menor, mais simples e barato, já que não necessita de uma bomba de retorno pois é colocado abaixo do tanque no qual irá higienizar. Sendo assim, só é possível limpar um tanque por vez. Outra limitação é observada na higienização de tubulações devido à falta da bomba de retorno, se torna inviável o retorno da solução química ao tanque, sendo uma alternativa, quando viável, o descarte diretamente em drenos (FORNI, 2007).

Por último temos o sistema que pode ser classificado como aberto ou fechado. Em um sistema aberto não há o reaproveitamento de solução química, logo essa solução é descartada em dreno após a utilização, como o caso citado acima de um CIP móvel utilizado na higienização de uma tubulação. Por outro lado, alguns processos evitam a reutilização como medida para diminuir os riscos de contaminação do tanque. Portanto, em um sistema fechado não ocorre o descarte da solução química após a higienização (FORNI, 2007).

## 2.14 NORMAS

O projeto atenderá o requisito estabelecido pela norma ASME BPE (*American Society of Mechanical Engineers: Bioprocessing Equipment*). Essa norma foi criada em 1997 e vem sendo atualizada até os dias atuais, sendo sua última edição aprovada neste ano, 2022.

A ASME BPE é um padrão internacional, escrito por uma equipe de mais de trezentos especialistas da área, foi desenvolvido para auxiliar no projeto e construção de equipamentos da indústria biofarmacêutica. Nesse ramo da indústria é necessário um nível de pureza controlada, tendo isso em vista a norma controla o desenvolvimento de forma rigorosa para tornar os procedimentos confiáveis.

O padrão ASME BPE normatiza os sistemas e componentes de limpeza, sanitização e esterilização. Neles estão inclusos o Sistemas CIP, principal estudo deste trabalho, e Sistema SIP, de esterilização, que são utilizados nas indústrias farmacêuticas. Geralmente, a norma é aplicada aos componentes que estão em contato com o produto fabricado, e para indústrias com produto críticos, como o presente estudo de uma fábrica de injetáveis, nesse caso a norma estabelece o uso de água para injetáveis (WFI) e de vapor puro.

### 3 INSTITUTO DE TECNOLOGIA FICTÍCIO

O instituto de tecnologia em imunobiológicos que o presente trabalho se baseia, é responsável pela produção de vacinas, kits para diagnóstico e biofármacos. A produção desse instituto é voltada para atender principalmente as demandas do país, possuindo uma das maiores indústrias de vacinas da América Latina. No ano de 2021, esse instituto produziu cerca de 230 milhões de doses de vacinas, garantindo a população brasileira acesso gratuito a imunobiológicos.

As seguintes vacinas fazem parte do portfólio de produção:

- DTP e Hib
- Febre amarela
- Haemophilus influenzae B
- Meningite A e C
- Pneumocócica 10-valente
- Vacina COVID-19
- Poliomielite inativada 1, 2, 3
- Poliomielite oral
- Rotavírus Humano
- Tetravalente viral
- Tríplice viral – Sarampo, Caxumba e rubéola
- Sarampo e rubéola (atenuada)



## 4 METODOLOGIA

Aqui serão apresentados os dados e informações para realização do dimensionamento e a seleção comercial do *spray ball*, da tubulação e das bombas centrífugas e de vácuo para atender os requisitos do sistema.

### 4.1 ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS

Neste trabalho será elaborado a resolução de um problema fictício baseado em características de fabricantes de vacinas. É assumida a existência de um sistema de lavagem manual que será adequado tecnologicamente para um sistema automático visando ter uma melhor eficiência.

O projeto consiste num sistema de lavagem e esterilização automática para um tanque de 300 litros com requisitos de qualidade para equipamentos de processamento farmacêuticos de injetáveis. O sistema CIP irá lavar e secar e o SIP esterilizará.

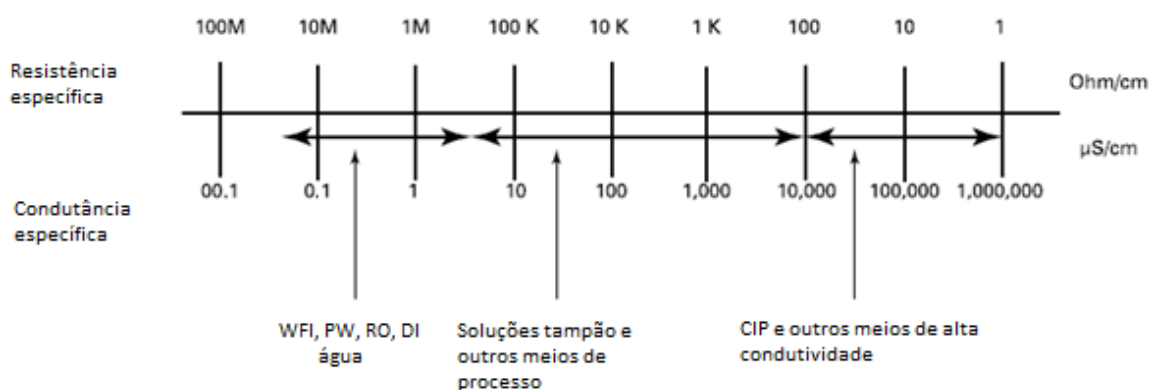
O projeto é baseado numa especificação de requisitos do usuário (ERU) onde podemos analisar todos os requisitos necessários para o *skid*. A seguir, alguns pontos importantes presentes na ERU.

O sistema de lavagem deverá conter as seguintes etapas:

- Pré enxague com água purificada (PW);
- Drenagem total;
- Lavagem com recirculação de solução de hidróxido de sódio;
- Drenagem total;
- Enxágue com água purificada (PW);
- Drenagem total;
- Enxágue final com água para injetáveis (WFI);
- Drenagem total;
- Secagem com ar comprimido seco estéril por filtro absoluto;
- Injeção de vapor puro.

Requisitos para a fabricação do *skid*:

- O sistema deve utilizar solução de hidróxido de sódio a 2%, partindo de solução a 20% preparada manualmente (diluição por bomba dosadora);
- O *skid* deverá efetuar de forma automática a aquisição dos fluidos (água purificada, solução de hidróxido de sódio, água para injetáveis e ar comprimido);
- A bomba de circulação deverá operar a uma vazão de pelo menos 5 m<sup>3</sup>/h;
- O *skid* deverá ser dotado de sensores para medir a vazão na linha de alimentação dos fluidos ao tanque;
- O *skid* deverá ser dotado de sensores para medir a condutividade combinado com temperatura na linha de dreno. A condutividade deverá ser utilizada como determinante de fim de ciclo seguindo os padrões da ASME BPE, como podemos ver na Figura 42.



**Figura 42 – Escala de condutividade**  
**Fonte: ASME BPE (2019)**

- A tubulação deve ser toda em aço inox AISI 316 L:
  - Acabamento externo: rugosidade  $\leq 1,2\mu\text{m Ra}$ ;
  - Acabamento interno: eletropolido e passivado, rugosidade interna  $\leq 0,6\mu\text{m Ra}$ .
- As características acima adotadas seguem a norma ASME BPE, onde diz que as superfícies de contato com o processo devem ser fabricadas com aço inoxidável 316 ou 316L e acabamento interno SF4. Sempre que possível escolher ligação por solda orbital a ligação tri-clamp. Essas

recomendações são importantes para evitarem corrosão, “ponto morto” e acúmulo de resíduos.

- Filtros sanitários com carcaça em aço inox 316L eletropolida;
- Válvulas diafragmas em aço inox 316L eletropolida para superfície em contato com WFI ou PW;
- Válvula de segurança em aço inox AISI 316L eletropolida quando em contato com WFI ou PW;
- Bomba e propulsor de recirculação sanitária em aço inox AISI 316L.

## 4.2 PROJETO DO SISTEMA

Os cálculos iniciam pelo *spray ball*, componente principal do skid que determinará a vazão do sistema e terá grande influência na seleção da bomba. Em seguida será realizado o dimensionamento da bomba centrífuga, logo se torna necessário verificar o tipo de escoamento e posteriormente calcular a perda de carga e a altura manométrica do sistema com a finalidade de selecionar uma bomba que atenda aos requisitos do sistema. É verificado, por meio de cálculos, se a espessura da tubulação especificada pela ASME BPE atende satisfatoriamente o projeto. E então, é dimensionada a bomba de vácuo.

### 4.2.1 Fluxograma

Foi feito o fluxograma de engenharia do sistema CIP (Figura 43) para facilitar a compreensão do leitor a respeito do circuito do *skid* projetado. Logo após é apresentado a Figura 44 com um quadro das simbologias utilizadas no fluxograma.

No fluxograma, é mostrado os pontos de água (PW e WFI), vapor (VPp) e ar comprimido (ACp) fornecidos pelo cliente, assim como os pontos de drenagem (DRE). O foco será o trecho de adição de água e o trecho de recirculação por conter as bombas centrífugas e o *spray ball*.

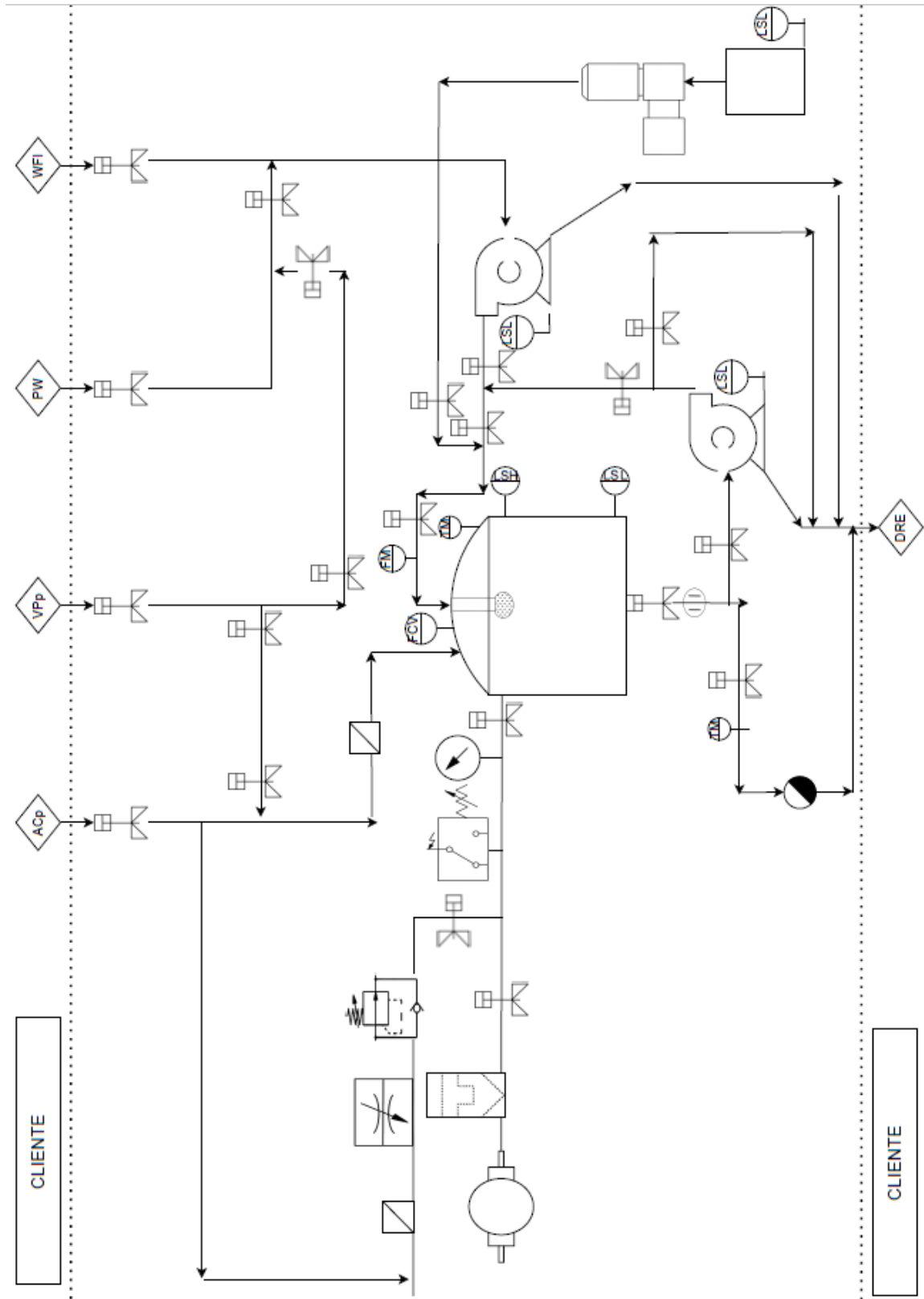


Figura 43 – Fluxograma  
Fonte: Autores (2022)

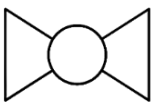

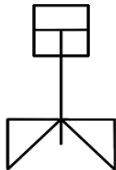
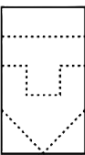

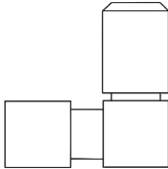
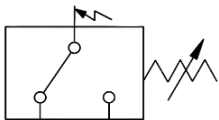
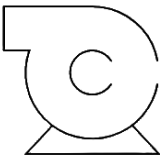
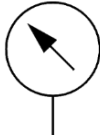

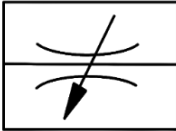
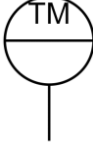
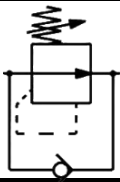
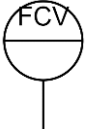

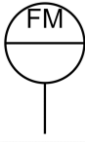
	Válvula esfera		Filtro do vapor e do ar comprimido
	Válvula diafragma		Filtro do sistema de vácuo
	Purgador		Bomba dosadora
	Vacuostato		Bomba centrífuga
	Vacuômetro		Sprayball
	Válvula reguladora de fluxo		Medidor de temperatura
	Válvula reguladora de pressão		Válvula reguladora de fluxo
	Condutivímetro		Medidor de fluxo

Figura 44 – Quadro das Simbologia do Fluxograma  
Fonte: Autores (2022)

#### 4.2.2 Modelo 3D

Foi realizada a modelagem, no software *AutoCad Plant 3D*, do sistema CIP, conforme a mostra a Figura 45 e a Figura 46, respeitando os requisitos do cliente, citados no capítulo 4.1. A partir dessa modelagem foi gerado os isométricos do sistema e extraído a lista de material que será utilizada no cálculo de perda de carga.

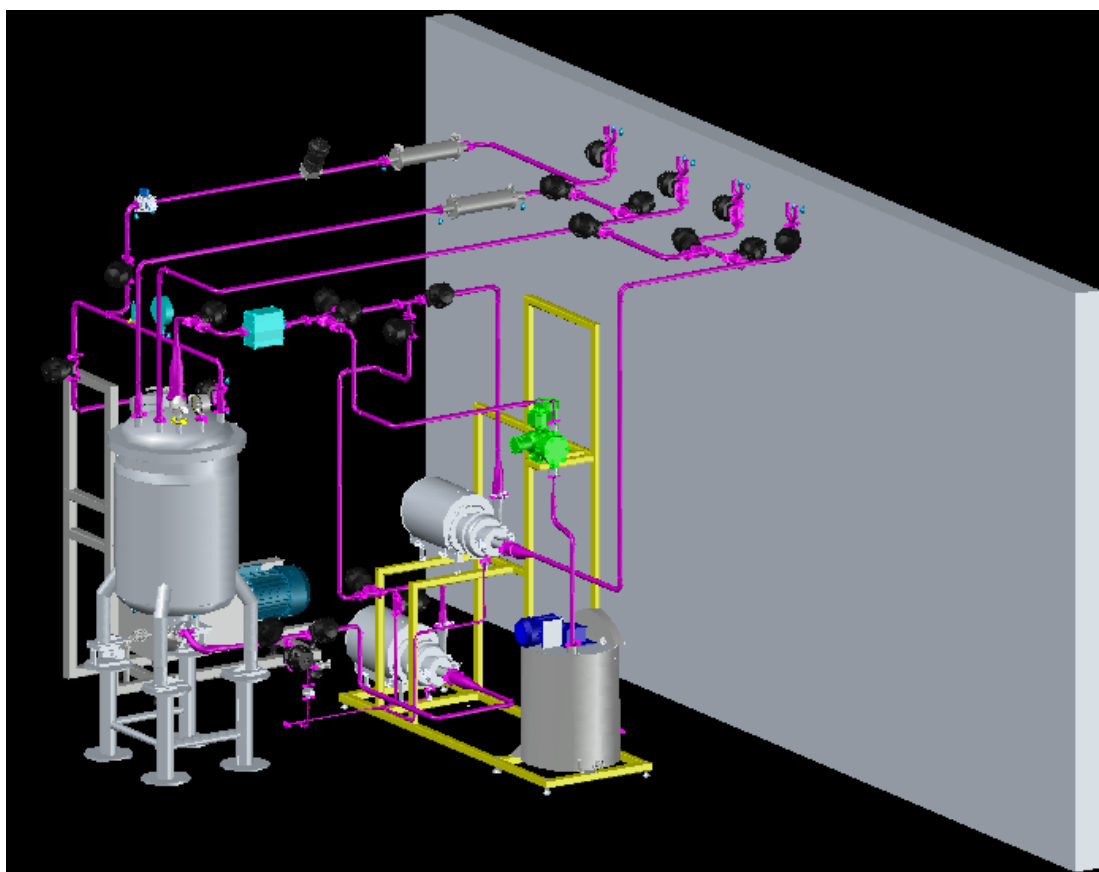


Figura 45 – Modelagem do skid no AutoCad  
Fonte: Autores (2022)

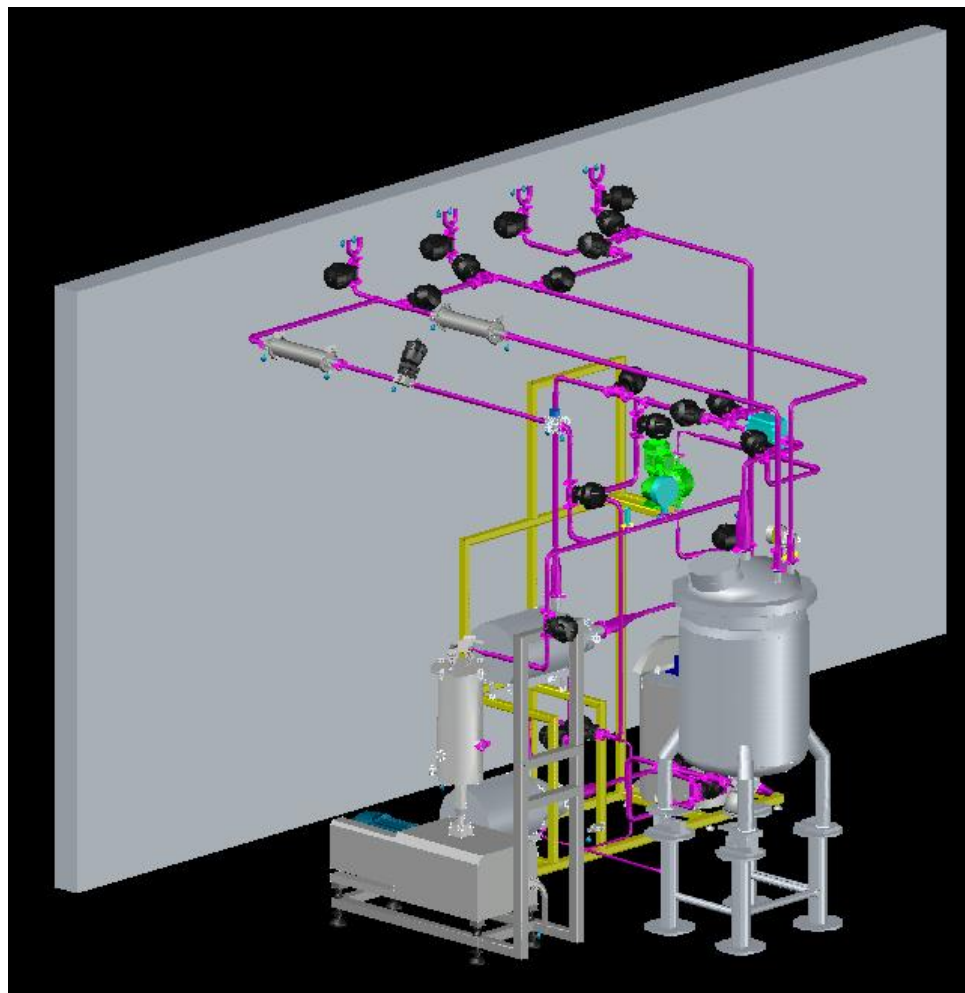


Figura 46 - Modelagem do skid no AutoCad  
Fonte: Autores (2022)

#### 4.3 LISTA DE MATERIAIS

A partir do fluxograma, pode ser visualizado que o sistema possui um *spray ball*, duas bombas centrífugas sendo uma de avanço e outra de recirculação, uma bomba de vácuo, uma bomba dosadora, na qual não será o foco de estudo, 15 válvulas de diafragma e aproximadamente 13 metros de tubulação de 1" de diâmetro.

Para facilitar o cálculo de perda de carga, o isométrico e a lista de material foram divididos em quatro partes. Sendo por tipo de bomba, principal e de recirculação, e pelo seu respectivo trecho, sendo o trecho de sucção e de descarga de cada bomba. Além disso, acrescentou-se as perdas de carga localizada para cada tipo de acessório da tubulação, com base na Figura 34.

Tabela 7 – Lista de equipamentos

Identificação	Nome	Quantidade	Observação
Bc-01	Bomba centrífuga de avanço	1 unid.	Responsável pela circulação de água
Bc-02	Bomba centrífuga de recirculação	1 unid.	Responsável por recircular a solução
Bv-03	Bomba de vácuo	1 unid.	Auxilia o processo de esterilização (vapor)
Bd-04	Bomba dosadora	1 unid.	Fora do escopo do trabalho
Valve	Válvulas de diafragma	15 unid.	Válvula de bloqueio do fluido
Tubulação	Tubulação de aço 316 L	13 metros	Tubos de 1" de diâmetro

Fonte: Autores (2022)

#### 4.3.1 Trecho de Sucção da Bomba de Avanço

A fim de simplificar o estudo, será analisado o trecho de sucção de PW (água purificada) devido ao trecho apresentar uma curva, um tê e uma válvula a mais que o trecho de WFI (água para injetáveis), além do comprimento em trecho reto ser similar. Essa decisão foi tomada visando a seleção da bomba, que ao atender o requisito do trecho PW, é possível afirmar que irá satisfazer ao trecho de WFI, pois teremos menor perda de carga.

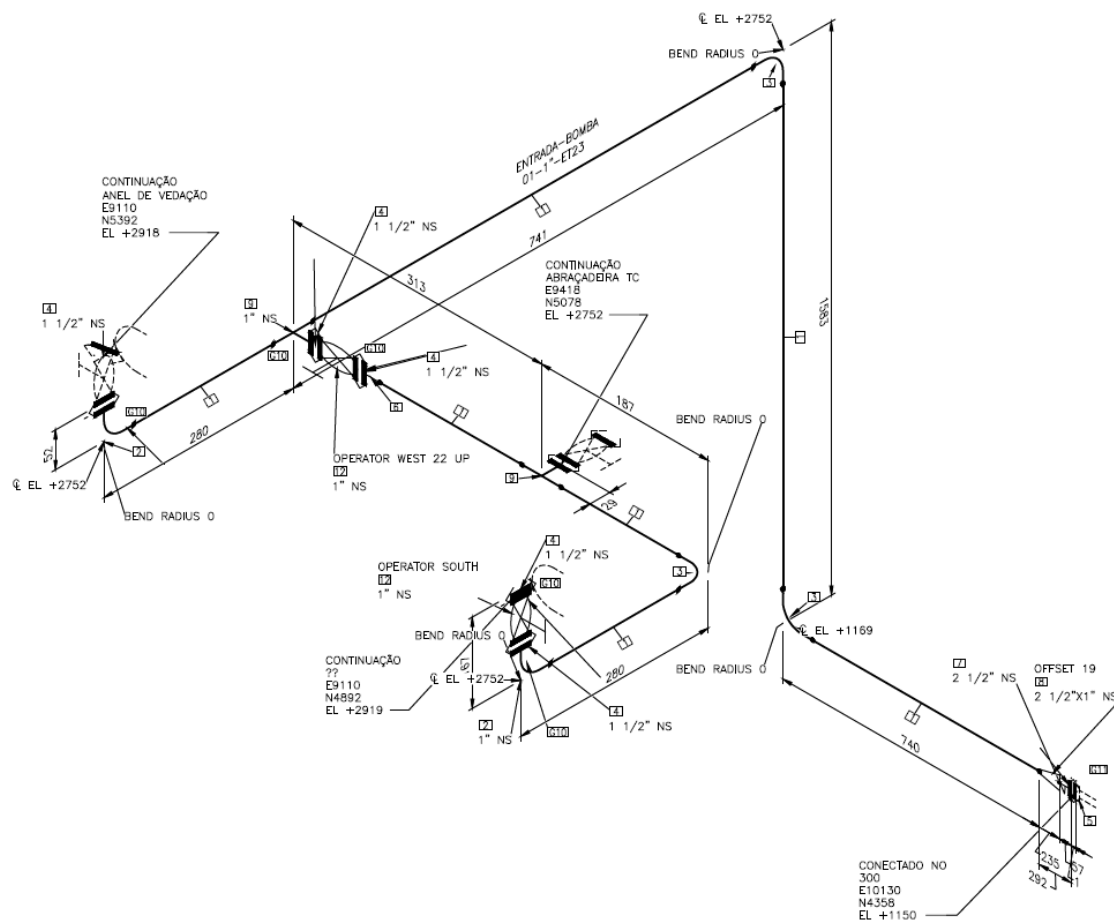
Pelo trecho de sucção da bomba de avanço, Figura 47, foi extraído a lista de material apresentado na Tabela 8. A perda de carga da válvula de diafragma não foi encontrada na literatura, logo será considerada igual a perda da válvula globo, por ser, também, uma válvula de regulação. Os valores de comprimento equivalentes aqui apresentados foram retirados da Figura 34.

Tabela 8 – Comprimento do trecho de sucção da bomba principal

Acessório	Qt	Leq unitário (m)	L (m)
Trecho Reto	-	-	3,844
Entrada normal	1	0,3	0,3
Curva de 90°	4	0,3	1,2
Tê de passagem direta	1	0,5	0,5
Tê de passagem de lado	1	1,7	1,7
Válvula Diafragma	2	8,2	16,4
L Total (m)			23,944

Fonte: Autores (2022)





**Figura 47 – Isométrico do trecho de sucção da bomba de avanço**  
**Fonte: Autores (2022)**

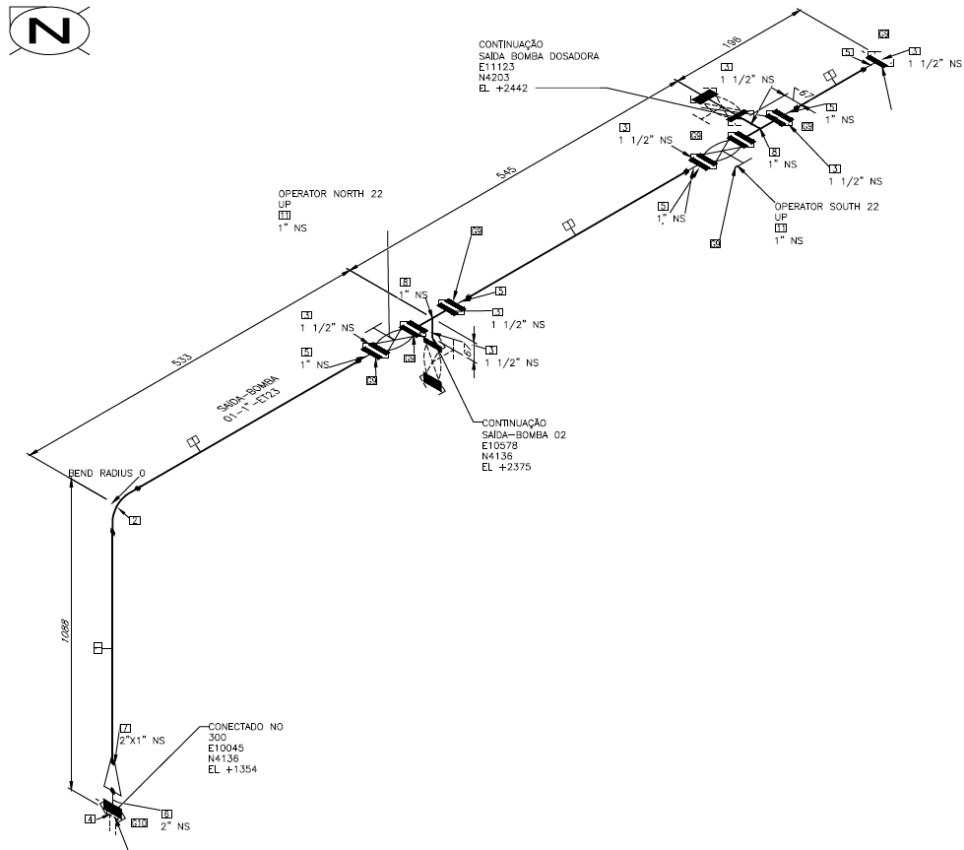
#### 4.3.2 Trecho de Descarga da Bomba de Avanço

A Figura 48 representa o isométrico da saída da bomba de avanço até o medidor de vazão. Logo em seguida inicia-se o trecho após o medidor de vazão até a entrada no tanque, mostrado no isométrico da Figura 49. A partir desses isométricos foi extraída a lista de material apresentada na Tabela 9 com os respectivos comprimentos equivalentes de cada acessório de tubulação.

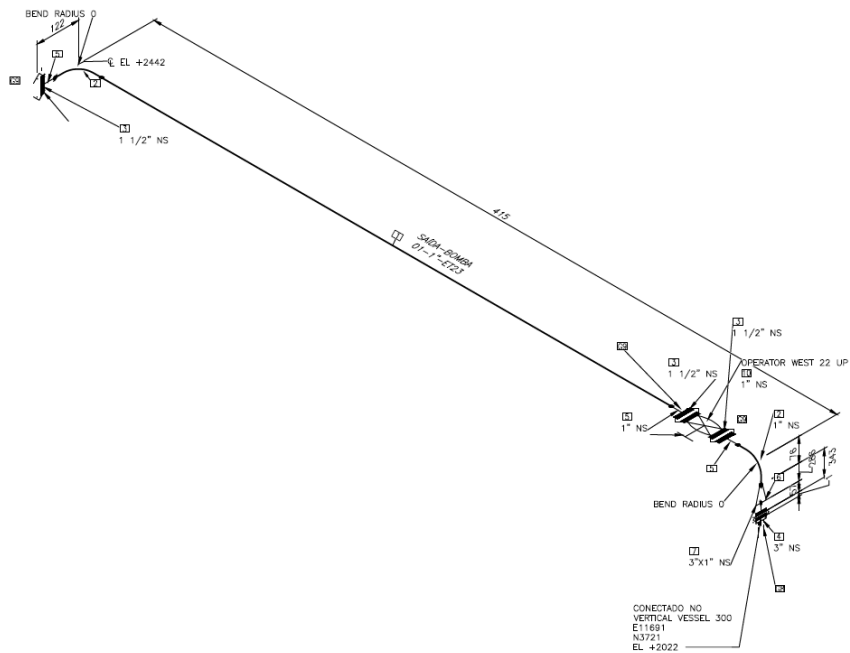
**Tabela 9 – Comprimento do trecho de descarga da bomba de avanço**

<b>Acessório</b>	<b>Qt</b>	<b>Leq unitário (m)</b>	<b>L (m)</b>
Trecho Reto	-	-	2,777
Curva de 90°	3	0,3	0,9
Tê de passagem direta	2	0,5	1
Válvula Diafragma	3	8,2	24,6
<b>L Total (m)</b>			<b>29,277</b>

**Fonte: Autores (2022)**



**Figura 48 – Isométrico do trecho de descarga da bomba de avanço (parte 1)**  
**Fonte: Autores (2022)**



**Figura 49 – Isométrico do trecho de descarga da bomba (parte 2)**  
**Fonte: Autores (2022)**

### 4.3.3 Trecho de Sucção da Bomba de Recirculação

Pelo trecho de sucção da bomba de recirculação, Figura 50, foi extraído a lista de material apresentado na Tabela 10 com os respectivos comprimentos equivalentes de cada acessório de tubulação.

Tabela 10 – Comprimento do trecho de sucção da bomba de recirculação			
Acessório	Qt	Leq unitário (m)	L (m)
Trecho Reto	-	-	2,732
Curva de 90°	4	0,3	1,2
Tê de passagem direta	1	0,5	0,5
Válvula Diafragma	2	8,2	16,4
<b>L Total (m)</b>			<b>20,832</b>

Fonte: Autores (2022)

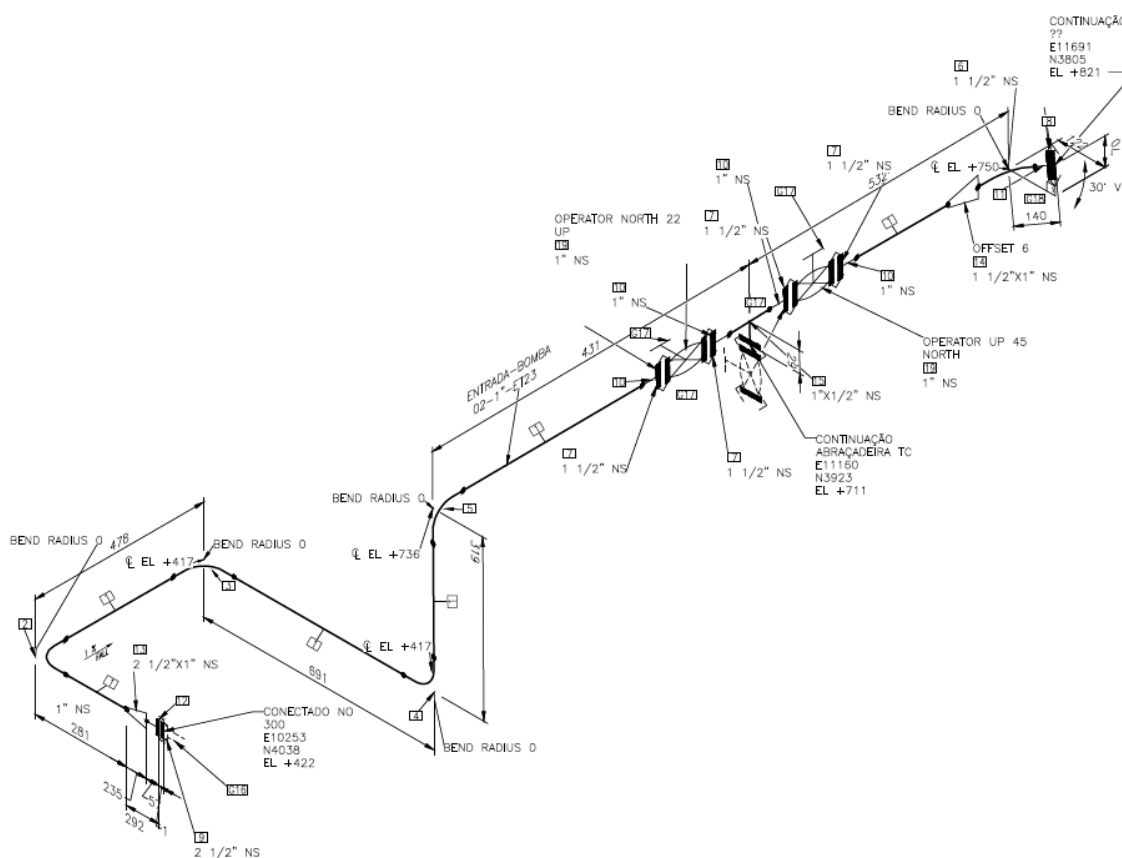


Figura 50 – Isométrico do trecho de sucção da bomba de recirculação  
Fonte: Autores (2022)

#### 4.3.4 Trecho de Descarga da Bomba de Recirculação

A Figura 51 representa o isométrico da saída da bomba de recirculação até o medidor de vazão. A Figura 49 consta a segunda parte do trecho de descarga que também é válida para a bomba de recirculação. A recirculação realizada, principalmente, da solução química serve para diminuir a quantidade de solução necessária na higienização. A partir dos isométricos foi extraída a lista de material apresentada na Tabela 11 com os respectivos comprimentos equivalentes de cada acessório de tubulação.

<b>Acessório</b>	<b>Qt</b>	<b>Leq unitário (m)</b>	<b>L (m)</b>
Trecho Reto	-	-	3,549
Entrada normal	1	0,3	0,3
Curva de 90°	7	0,3	2,1
Tê de passagem direta	2	0,5	1
Tê de passagem de lado	1	1,7	1,7
Válvula Diafragma	4	8,2	32,8
<b>L Total (m)</b>			<b>41,449</b>

Fonte: Autores (2022)



## 5 DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS

### 5.1 DADOS UTILIZADOS

- Dados gerais

Diâmetro da tubulação (D): 1" (0,0254 m);

Pressão atmosférica (Pa): 1 bar (101,325 kPa).

- Dados da bomba de avanço

Elevação do reservatório de sucção em relação à bomba ( $Z_S$ ): 1,583 m;

Elevação do tanque de descarga em relação à bomba ( $Z_D$ ): 1,088 m.

- Dados da bomba de recirculação

Elevação do reservatório de sucção em relação à bomba ( $Z_S$ ): 0,319 m;

Elevação do reservatório de descarga em relação à bomba ( $Z_D$ ): 1,588 m.

- Dados do fluido

Fluido bombeado: água

Temperatura de bombeamento: 25°C;

Pressão de vapor da água: 0,03 bar (3,2 kPa);

Massa específica ( $\rho$ ): 1000 Kg/m<sup>3</sup>;

Viscosidade dinâmica ( $\mu$ ): 1 cP.

### 5.2 CÁLCULO DA VAZÃO DO *SPRAY BALL*

Primeiramente, precisamos calcular, a partir da equação 12, a vazão ideal do spray ball pois ele é o principal elemento do sistema. A partir dessa vazão é selecionado a bomba centrífuga.

O tanque a ser higienizado, conforme mencionado anteriormente, possui capacidade de 300 litros com 0,620 metros de diâmetro por 1 metro de altura. Devido as condições iniciais do tanque, onde a remoção é de um fluido de

injetáveis, portanto, bem aquoso e pouco denso foi adotado o fator de sujidade igual a 27 (baixa condição de sujidade).

$$Q_R = 2 \times F_S \times \pi \times D_t \quad (12)$$

$$Q_R = 2 \times 27 \times \pi \times 0,62$$

$$Q_R = 105,18 \text{ l/min}$$

A Tabela 12 mostra parte do catálogo da *Spraying Systems*, a partir dele foi selecionado o *spray ball* VSM-3/4-140 com uma pressão de 40psi (3 bar) que possui uma vazão de 108 l/min, sendo 3% maior que a vazão requerida de 105 l/min. O *spray ball* selecionado atende o sistema de modo que não haja ricocheteamento dos jatos devido o valor ser bem próximo da vazão requerida.

$$Q = 108 \text{ l/min}$$

**Tabela 12 – Catálogo TankJet® com Spray ball 360°**

Bico No.	Pass. Livre máx. Pol. (mm)	Vazão gpm (l/min)							
		10 psi (0,7 bar)	20 psi (1,5 bar)	40 psi (3 bar)	60 psi (4 bar)	80 psi (5 bar)	100 psi (7 bar)	130 psi (9 bar)	150 psi (10 bar)
VSM-1/2-28	0,031 (0,8)	2,7 (10,4)	3,9 (15,3)	5,5 (22)	6,7 (25)	7,8 (28)	8,7 (33)	9,9 (38)	10,6 (40)
VSM-1/2-44	0,039 (1,0)	4,3 (16,3)	6,1 (24)	8,6 (34)	10,6 (39)	12,2 (44)	13,7 (52)	15,6 (59)	16,7 (62)
VSM-1/2-90	0,059 (1,5)	8,8 (33)	12,5 (49)	17,7 (70)	22 (81)	25 (90)	28 (107)	32 (121)	34 (127)
VSM-3/4-90	0,059 (1,5)	8,8 (33)	12,5 (49)	17,7 (70)	22 (81)	25 (90)	28 (107)	32 (121)	34 (127)
VSM-1/2-140	0,077 (1,95)	13,7 (52)	19,4 (77)	28 (108)	34 (125)	39 (140)	43 (166)	50 (188)	53 (198)
VSM-3/4-140	0,077 (1,95)	13,7 (52)	19,4 (77)	28 (108)	34 (125)	39 (140)	43 (166)	50 (188)	53 (198)
VSM-1/2-190	0,091 (2,3)	18,6 (71)	26 (104)	37 (147)	46 (170)	53 (190)	59 (225)	67 (254)	72 (269)
VSM-3/4-190	0,091 (2,3)	18,6 (71)	26 (104)	37 (147)	46 (170)	53 (190)	59 (225)	67 (254)	72 (269)

Fonte: **Spraying Systems**

### 5.3 CÁLCULOS DA BOMBA CENTRÍFUGA

Para selecionar uma bomba comercial precisamos calcular a potência requerida pelo sistema, com isso se torna necessário o calcula de perda de carga e da altura manométrica.

#### 5.3.1 Bomba de Avanço

Para iniciar, precisamos calcular o número de Reynolds a partir na equação 10 para saber o tipo de escoamento do sistema. Sabemos que a vazão (Q) requerida pelo sistema é definida pelo *spray ball*, sendo de 108 L/min, isto é, 0,0018 m<sup>3</sup>/s. Primeiramente, foi calculado a velocidade do escoamento a partir da equação 24.

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (24)$$

$$V = \frac{4 \cdot 0,0018}{\pi \cdot (0,0254)^2}$$

$$V = 3,55 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} \quad (10)$$

$$Re = \frac{0,0254 \cdot 3,55 \cdot 1000}{0,001} = 9,017 \times 10^4$$

Logo temos um escoamento turbulento, pois  $Re > 4000$ .



### 5.3.1.1 Perda de carga do trecho de sucção

Para calcular a perda de carga total no trecho de sucção, foi utilizada a equação 17. Porém é necessário encontrar o coeficiente de atrito utilizando o diagrama de Moody (Figura 33). Pela ASME BPEa-2002 o aço inox AISI 316 L possui uma rugosidade  $\epsilon = 0,51 \mu\text{m}$ , valor que atende ao especificado pelo cliente no capítulo 4.1, onde a rugosidade interna deve ser menor que  $0,6 \mu\text{m}$ . Com o diâmetro da tubulação igual a 1" (25,4 mm), temos:  $\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,51}{25400} = 2,01 \times 10^{-5}$ . Pelo ábaco de Moody, foi encontrado um coeficiente de atrito de aproximadamente  $f = 0,03$ . Esse valor será utilizado para calcular a perda de carga nos outros trechos do sistema, visto que todo o skid possui o mesmo material base para a tubulação, assim como as exigências de rugosidade.

$$h_f = f \frac{L_{Total} \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} \quad (17)$$

O comprimento total foi apresentado na Tabela 8, onde o somatório do comprimento total calculado é de 23,944 m. Substituindo os valores já obtidos na equação 17, obteve uma perda de carga de 18,17 m na sucção da bomba de avanço.

$$h_{f_{s_a}} = 0,03 \frac{23,944 \cdot 3,55^2}{0,0254 \cdot 2 \cdot 9,81}$$

$$h_{f_{s_a}} = 18,17 \text{ m}$$

### 5.3.1.2 Perda de carga do trecho de descarga

Pela Tabela 9, foi encontrado o comprimento total do trecho de descarga igual a 29,277 m. Pela equação 17, calcula-se a perda de carga do trecho de descarga e como o diâmetro da tubulação é o mesmo na sucção e na descarga, encontramos, então, uma perda de 22,21 m.

$$h_f = f \frac{L_{Total} \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} \quad (17)$$

$$h_{fd_a} = 0,03 \frac{29,277 \cdot 3,55^2}{0,0254 \cdot 2 \cdot 9,81}$$

$$h_{fd_a} = 22,21 \text{ m}$$

### 5.3.1.3 Altura manométrica de sucção

Já foram calculadas as perdas de cargas da bomba de avanço. Para selecionar a bomba do nosso sistema precisamos calcular a altura manométrica total pela equação 18.

$$H = H_d - H_s \quad (18)$$

Primeiramente calculou-se a altura manométrica de sucção pela equação 19. Pelo isométrico da Figura 47 concluímos que a elevação do reservatório de sucção em relação à bomba possui 1,583 m ( $Z_s$ ). Definindo a pressão do tanque igual a coluna de líquido ( $\rho g Z$ ), chegamos na equação 25 onde  $Z_s = Z$ , a partir dela encontramos a altura manométrica para o trecho de sucção de -15,00 m.

$$H_s = Z_s + \frac{P_s}{\gamma} - h_f \quad (19)$$

$$H_s = Z_s + \frac{\rho g Z}{\rho g} - h_{fs_a} \quad (25)$$

$$H_{SB_a} = 1,583 + 1,583 - 18,17$$

$$H_{SB_a} = - 15,00 \text{ m}$$

#### 5.3.1.4 Altura manométrica de descarga

A pressão de descarga no tanque a ser higienizado foi determinado ao selecionar o *spray ball*, onde a pressão é igual a 3 bar. Pela Figura 48 nota-se que a elevação do ponto de descarga em relação à saída da bomba é de 1,088 m ( $Z_D$ ). Pela equação 20, encontramos o valor da altura manométrica do trecho de descarga para a bomba de avanço igual a 53,88 m.

$$H_D = Z_D + \frac{P_D}{\gamma} + h_{fd_a} \quad (20)$$

$$H_{DB_a} = 1,088 + \frac{3 \cdot 10^5}{1000 \cdot 9,81} + 22,21$$

$$H_{DB_a} = 53,88 \text{ m}$$

#### 5.3.1.5 Altura manométrica total

Substituindo os valores calculados anteriormente, obtemos a altura manométrica total para a bomba de avanço igual a 68,88 m.

$$H = H_d - H_s \quad (18)$$

$$H_{B_a} = 53,88 - (-15,00)$$

$$H_{B_a} = 68,88 \text{ m}$$

#### 5.3.2 Bomba de recirculação

Iniciam, a seguir, os cálculos da bomba de recirculação. Onde foi repetido o procedimento usado nos cálculos da bomba de avanço, por isso houve algumas simplificações nas explicações.

### 5.3.2.1 Perda de carga do trecho de sucção

Foi encontrado, conforme a Tabela 10, o comprimento total no trecho de descarga igual a 20,832 m. A partir da equação 17, encontramos uma perda de carga de 16,56 m para o trecho de sucção da bomba de recirculação.

$$h_f = f \frac{L_{Total} \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} \quad (17)$$

$$h_{f_{s_r}} = 0,03 \frac{20,832 \cdot 3,55^2}{0,0254 \cdot 2 \cdot 9,81}$$

$$h_{f_{s_r}} = 16,56 \text{ m}$$

### 5.3.2.2 Perda de carga do trecho de descarga

O comprimento total do trecho de descarga possui 41,449 m como visto no capítulo 4.3.4. Pela equação 17 calcula-se a perda de carga do trecho de descarga da bomba de recirculação, onde foi encontrado uma perda igual a 31,45 m.

$$h_f = f \frac{L_{Total} \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} \quad (17)$$

$$h_{f_{d_r}} = 0,03 \frac{41,449 \cdot 3,55^2}{0,0254 \cdot 2 \cdot 9,81}$$

$$h_{f_{d_r}} = 31,45 \text{ m}$$

### 5.3.2.3 Altura manométrica de sucção

Já foram encontradas as perdas de cargas da bomba de recirculação. Para seleccionar a bomba do sistema é necessário calcular a altura manométrica total, logo os cálculos iniciam pela altura manométrica de sucção utilizando a equação 25, onde a pressão do tanque é considerada igual a coluna de líquido ( $\rho gZ$ ),  $Z_s = Z$ .

Pelo isométrico da Figura 50 pode-se concluir que a elevação do tanque em relação à bomba possui 0,319 m ( $Z_s$ ). Definindo a pressão do tanque igual a coluna de líquido ( $\rho gZ$ ), chegamos na equação 25 onde  $Z_s = Z$ , a partir dela encontramos a altura manométrica para o trecho de sucção igual a -15,92 m.

$$H_s = Z_s + \frac{\rho g Z}{\rho g} - h_{fsr} \quad (25)$$

$$H_{SB_r} = 0,319 + 0,319 - 16,56$$

$$H_{SB_r} = -15,92 \text{ m}$$

### 5.3.2.4 Altura manométrica de descarga

A pressão de descarga no tanque a ser higienizado foi determinado ao seleccionar o *spray ball*, onde a pressão é igual a 3 bar. Pela Figura 51 nota-se que a elevação do ponto de descarga em relação à saída da bomba é de 1,588 m ( $Z_D$ ). Pela equação 20, foi encontrado o valor da altura manométrica de descarga para a bomba de recirculação igual a 63,62 m.

$$H_D = Z_D + \frac{P_D}{\gamma} + h_{fd_r} \quad (20)$$

$$H_{DB_r} = 1,588 + \frac{3 \cdot 10^5}{1000 \cdot 9,81} + 31,45$$

$$H_{DB_r} = 63,62 \text{ m}$$

### 5.3.2.5 Altura manométrica total

Substituindo os valores calculados anteriormente, foi encontrado a altura manométrica total igual a 79,54 m.

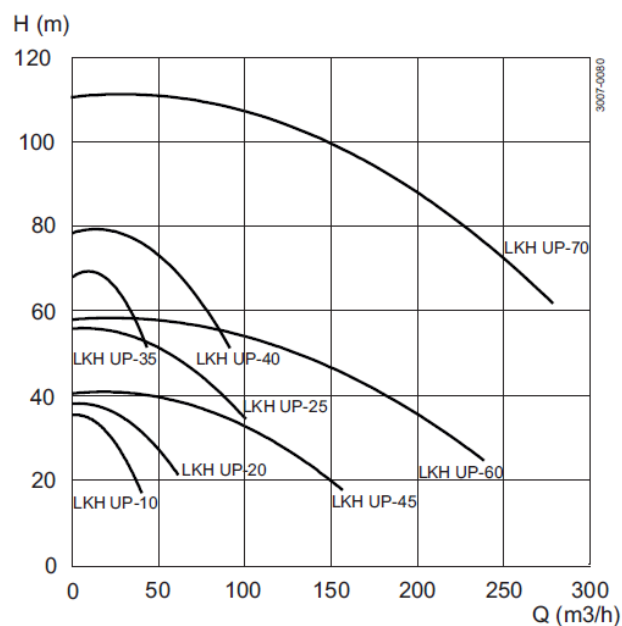
$$H = H_d - H_s \quad (18)$$

$$H_{B_r} = 63,62 - (-15,92)$$

$$H_{B_r} = 79,54 \text{ m}$$

### 5.3.3 Seleção da Bomba

Foi selecionado o fabricante Alfa Laval por ser renomeado no mercado e possuir uma linha de bombas centrífugas específicas para sistema CIP. A linha de bombas LKH UltraPure possuem alta pureza que atendem às especificações de água para injeção (WFI) sendo ideal para ser utilizada no projeto. As curvas características dos modelos dessa linha estão representadas na Figura 52.



**Figura 52 – Curva H x Q**  
**Fonte: Catálogo Alfa Laval**

O sistema requer uma vazão de 108 l/min (6,5 m<sup>3</sup>/h). A altura manométrica da bomba de avanço foi de H = 68,88 m. Pela Figura 52, vemos que a bomba LKH UP-35 atende perfeitamente ao requisito do sistema de avanço. Já a altura manométrica calculada no trecho da bomba centrífuga de recirculação foi de H = 79,54 m logo a bomba selecionada deve ser a LKH UP-40 (Figura 53), pois pelo gráfico da Figura 52 o valor da altura manométrica é bem próximo de 80 m. A Tabela 13 mostra os parâmetros do sistema e o equipamento selecionado.

**Tabela 13 – Parâmetros da seleção da bomba**

<b>Bomba</b>	<b>Vazão do sistema</b>	<b>Head do sistema</b>	<b>Modelo proposto</b>
Avanço	108 l/min (6,5 m <sup>3</sup> /h)	68,88 m	LKH UP-35
Recirculação	108 l/min (6,5 m <sup>3</sup> /h)	79,54 m	LKH UP-40

Fonte: Autores (2022)



**Figura 53 – Bomba LKH UP**  
Fonte: Catálogo Alfa Laval

#### 5.4 CÁLCULO DA VAZÃO DA BOMBA DE VÁCUO

Para calcular a vazão da bomba de vácuo utilizaremos a equação 23, já descrita anteriormente. Onde  $P_1$  representa a pressão atmosférica e  $P_2$  a pressão que se deseja atingir. Iremos utilizar  $P_2 = 0,2 \text{ bar}$ , para conseguir a menor temperatura de vapor saturado, de acordo com a Tabela 6.

$$Q = \frac{V}{t} \times \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (23)$$

$$Q = \frac{0,3}{0,0083} \times \ln \frac{1,0133}{0,2}$$

$$Q = 36,1446 \times 1,6227$$

$$Q = 58,6518$$

$$Q = 59 \text{ m}^3/\text{h}$$

O sistema do presente trabalho precisa de uma bomba com vazão de apenas 59 l/min (3,54 m<sup>3</sup>/h). Portanto não foi encontrado uma bomba de vácuo com a vazão calculada, logo a mais adequada é a MM 1104 BV de 50 Hz por possuir uma vazão de 62 m<sup>3</sup>/h. Embora a seleção tenha sido superdimensionada, irá satisfazer a necessidade do projeto.

		MM 1104 BV	MM 1144 BV	MM 1102 BV	MM 1142 BV
Caudal nominal da bomba (50 Hz / 60 Hz)	m <sup>3</sup> /h ACFM	62 / 75 36 / 44	80 / 95 47 / 57	110 / 135 65 / 79	140 / 175 82 / 103
Pressão final	hPa (mbar) abs. torr abs.	60 45			
Potência nominal do motor (50 Hz / 60 Hz)	kW HP	1,5 / 1,7 1,5 / 2,0	2,2 / 2,4 2,2 / 3,0	3,0 / 3,5 / 1,7 3,0 / 4,0	3,5 / 4,8 3,7 / 5,0
Velocidade nominal do motor (50 Hz / 60 Hz)	rpm	1500 / 1800		3000 / 3600	
Intervalo permitido de velocidade do motor	rpm	600 ... 1800 ► ≥60 hPa (mbar) abs. 600 ... 1800 ► ≥45 torr abs.		600 ... 3600 ► ≥60 hPa (mbar) abs. 600 ... 3600 ► ≥45 torr abs.	
Nível de ruído (EN ISO 2151) a 400 hPa (mbar) abs. Pressão de aspiração (50 Hz / 60 Hz)	dB(A)	66 / 70		75 / 79	
Intervalo de temperatura ambiente	°C °F	0 ... 40* 32 ... 104*			
Intervalo de temperatura da entrada de gás	°C °F	0 ... 40* 32 ... 104*			
Pressão ambiente		Pressão atmosférica			
Capacidade de óleo	L Qt	0,85 1			
Peso aprox. (50 Hz / 60 Hz)	Kg lbs	~180 ~439	~185 ~448	~180 ~443	~185/195 ~449

\* Em caso de temperaturas mais altas ou mais baixas, consulte o seu representante da Busch.

**Figura 54 – Dados Técnicos da Bomba de Vácuo**  
Fonte: Catálogo Bush



## 5.5 DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DA TUBULAÇÃO

Como já vimos anteriormente, existem duas maneiras de se calcular a espessura mínima do tubo. É possível calcular a espessura em função da pressão interna e utilizando a fórmula recomendada pela ASME.

### 5.5.1 Cálculo da Espessura de Parede em Função da Pressão Interna

Seguindo a fórmula de Barlow:

$$t_m = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S_h} \quad (4)$$

Segundo a norma ASTM A270, o limite de escoamento do aço inox 316L é de 170Mpa (24656,4 psi) e a resistência a tração é de 485Mpa (70343,3 psi).

Para calcular a tensão admissível do aço inox 316L, pode-se considerar o pior caso (limite de escoamento), por ser o de valor mais baixo. Para o fator de segurança, deve-se considerar 1,1.

$$S_h = \frac{\sigma_{lim}}{FS} \quad (5)$$

$$S_h = \frac{24656,4}{1,1} = 22414,9 \text{ psi}$$

Voltando para a fórmula de Barlow:

$$t_m = \frac{40 \cdot 1}{2 \cdot 22414,9}$$

$$t_m = 0,001216723'' = 0,0309047642 \text{ mm}$$

Podemos afirmar que a espessura mínima é de 0,001216723'' ou 0,0309047642 mm.

### 5.5.2 Cálculo da Espessura de Parede de Acordo com a Norma ASME B 31

Pela equação 6 temos:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 (S \cdot E \cdot W + P \cdot Y)} \quad (6)$$

Onde:

- S = 16300, pois considerando a temperatura crítica igual a 200 °C, teremos uma tensão admissível igual 16300 psi. A Tabela 14 indica qual a tensão admissível por faixa de temperatura de acordo com a norma B31,3.

**Tabela 14 – Tensão admissível por faixa de temperatura**

Tipo de Aço	Tensão admissível (S)			
	-198,3 °C a 37,8 °C	37,8 °C a 93,3 °C	93,3 °C a 148,9 °C	148,9 °C a 204,5 °C
304	18800 (psi)	16700 (psi)	16300 (psi)	16300 (psi)
304L	18800 (psi)	16700 (psi)	16300 (psi)	16300 (psi)
316	18800 (psi)	17300 (psi)	16300 (psi)	16300 (psi)
316L	18800 (psi)	17300 (psi)	16300 (psi)	16300 (psi)

**Fonte: ASME B31.3 (2012)**

- E = 1, pois segundo a tabela A-1B da ASME B31.3 esse é o valor de E para os tubos sem costura;
- W = 1, pois segundo a tabela 302.3.5 da ASME B31.3 esse é o valor de W para os aços inoxidáveis austeníticos da classe 3XX.
- Y=0,4; pois para temperaturas menores que 482 °C a norma ASME B31.3 definiu esse valor, conforme podemos ver na Tabela 15.

**Tabela 15 – Valores de Y para t<D/6**

Tipo de aço	Temperatura					
	≤ 482 °C	510 °C	538 °C	566 °C	593 °C	≥ 621 °C
Aço ferrítico	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7
Aço austenítico	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7

**Fonte: ASME B31.3 (2012)**

$$t = \frac{40 \cdot 1}{2(16300 \cdot 1 \cdot 1 + 40 \cdot 0,4)}$$

$$t = 0,001226392'' = 0,0311503568 \text{ mm}$$

Chegamos ao valor de  $t = 0,001226392''$  ou  $0,0311503568$  mm.

Podemos concluir que independente da fórmula a ser utilizada se obtém resultados muito próximos. Considerando a espessura mínima de  $0,031$  mm, por se tratar de uma espessura muito pequena, devemos seguir a orientação da norma ASME BPE e utilizar em tubos SF4 a espessura de  $1,65$ mm, o que irá garantir a integridade da tubulação.

## 6 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi apresentado um projeto de um sistema de limpeza automático voltado para indústrias farmacêuticas, sistema comumente conhecido como *Clean in Place* (CIP), para isso foram propostas condições e requisitos fictícios para a elaboração de projeto dentro de um escopo similar ao que ocorre nas indústrias farmacêuticas.

Para isso, foram feitas análises que competem, especialmente, a disciplina de mecânica. Primeiramente, foram abordadas questões a respeito do sistema CIP e seus requisitos para a indústria farmacêutica. Posteriormente, foram feitos os cálculos dos dimensionamentos de alguns equipamentos, como *spray ball*, bombas centrífugas e de vácuo e o cálculo da espessura da tubulação, também foi realizado um fluxograma do sistema, um modelo 3D do skid e os isométricos da tubulação dos trechos de avanço e descarga dos pontos de água.

O presente projeto apresentou dimensionamentos e etapas sólidas, dentro dos recursos disponíveis, que possibilitariam iniciar a implementação do CIP em um possível cliente, bem como demonstrar credibilidade quanto ao conhecimento teórico necessário para a produção do projeto. Foi constatado, que a implementação de um sistema CIP oferece grandes vantagens para a planta industrial a ser higienizada, podendo ser aplicada em diversas áreas fabris, entretanto o projeto do *skid* deve ser desenvolvido considerando as particularidades de cada projeto, o que influencia na quantidade e nos tipos de equipamentos selecionados na elaboração do projeto.

A pesquisa teórica e o projeto contribuíram com o aprimoramento do conhecimento dos autores na elaboração de projetos de engenharia e a compreensão das etapas necessárias para seu cumprimento, além disso colabora com a difusão de informação sobre o funcionamento do sistema *Clean in Place*, uma vez que ainda é pouco utilizado nas indústrias nacionais, porém há uma enorme gama de vantagens no seu uso.

Diante de tais considerações, recomenda-se para trabalhos futuros a construção de algumas etapas não elaboradas no presente trabalho, como a

cotação de preços, análise dos produtos químicos utilizados no processo, etapas de esterilização, simulação de testes de aceitação em fábrica, entre outros. Também seria indicado o estudo de caso de um sistema real para verificação da implementação das propostas do projeto.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARRIA, Gabriela Caixeta. **Simulação da etapa de enxágue de um processo CIP usando modelos acoplados**. 2021.

AMERICAN ASSOCIATION OF MECHANICAL ENGINEERS. Bioprocessing Equipment.

APERAM. **What is Stainless Steel?** Aperam. Disponível em: <<https://www.aperam.com/stainless/what-is-stainless-steel/>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

BUSCH VACUUM SOLUTIONS. **Manual de instruções MINK Bombas de vácuo de garras MM 1104 BV, MM 1144 BV, MM 1102 BV, MM 1142 BV**

CALLISTER, William. **Ciência E Engenharia de Materiais: Uma Introdução** . [s.l.]: Grupo Gen-LTC, 2000.

CALLISTER, WILLIAM D. **Engenharia e Ciência dos Materiais: Uma Introdução**. [s.l.]: Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. [s.l.]: Abm, 1977.

COSENTINO, Rodolfo. **Aços inoxidáveis para equipamentos e instalações farmacêuticas**. Disponível em: <<http://boaspraticasnet.com.br/acos-inoxidaveis-para-equipamentos-e-instalacoes-farmaceuticas/>>. Acesso em: 5 dez. 2022.

FORNI, Renato. **Projeto Mecânico de um Sistema de Higienização CIP (Cleaning in Place)**. Trabalho de Conclusão de Curso, USP, São Paulo, 2007.

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**, 5ª edição. LTC Editora, 2001.

GORMEZANO, Lucien. **Desenvolvimento e implementação de sistema para avaliar a cinética de remoção de resíduos presentes nos tubos de trocador de calor feixe tubular**. 2007.

KATHUSHIKO, OGATA. **Engenharia de controle moderno. 5º edição**. [s.l.: s.n.], 2011.

MACEDO, Fernanda Rodrigues. **Desenvolvimento de um sistema embarcado genérico para automação do processo de limpeza de tubulações em laticínios**. Engenharia de Computação, n. 1, 2018.

OLIVEIRA, Jéssica Machado de. **Caracterização de peça em aço inox 316L fabricada por manufatura aditiva (DMLS)**. 2019.

PALHOTA, Nathália da Fonseca. **Seleção de Bomba Utilizada em Sistema CIP Aplicado na Higienização de Circuito de Envase em uma Cervejaria**. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.

PAREDES, Ramón S. Cortés; BORSATO, Karin Soldatelli; BERNARDINI, Pedro Amadeo Nanneti; *et al.* **Avaliação da soldabilidade de aços inoxidáveis especiais a ser utilizados na indústria do petróleo**. *In: Anais do II Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás*. [s.l.: s.n.], 2003.

PICCHIALI, Djair; FARIAS, Roberto Maia. **A Visão Sistêmica da Lavanderia Hospitalar: Limites e Propostas**. Revista de Gestão em Sistemas de Saúde, v. 02, n. 02, p. 124–147, 2013.

PONTE, Haroldo de Araujo. **Fundamentos da corrosão**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003.

PROJINOX. **A importância do aço inox na indústria farmacêutica**. Disponível em: <<https://www.projinox.com.br/blog/inox/a-importancia-do-aco-inox-na-industria-farmaceutica>>. Acesso em: 6 jun. 2022.

REDE, Israel. **Corrosão - Uma Abordagem Geral**. *In: Universidade Tecnológica Federal do Paraná*: [s.n., s.d.].

SILVA, Jessica Pavan Da; FATUCHE, Natália Szekeres Eleuterio. **Aplicação do Sistema CIP em uma Indústria de Cosméticos**. Faculdades Oswaldo Cruz, São Paulo, 2015.

SILVA, Lucas Donizete. **Otimização da limpeza CIP (clean in place) por meio de vazão pulsada**. Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

SPRAYING SYSTEMS CO. **TankJet® Produtos para Limpeza de tanque**.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. **Tubulações industriais: materiais, projeto e montagem.** [s.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 2001.

ALFA LAVAL. **Close at hand: Pumps for Hygienic Fluid Handling Equipment.** , 2021.

BISTAFA, S. R. **Mecânica dos fluidos: noções e aplicações.** [s.l.] Editora Blucher, 2018.

CARVALHO, E. J. B. DE. **Desenvolvimento de célula eletrolítica para ensaios de corrosão em materiais metálicos.** [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.

COSENTINO, R. **Conheça o funcionamento do sistema de lavagem Clean in Place (CIP). Boas Práticas,** [s.d.]. Disponível em: <<http://boaspraticasnet.com.br/conheca-o-funcionamento-do-sistema-de-lavagem-clean-in-place-cip/>>. Acesso em: 21 set. 2022

COSENTINO, R. **Saiba como funciona o sistema Steam In Place (SIP). Boas Práticas,** [s.d.]. Disponível em: <<http://boaspraticasnet.com.br/saiba-como-funciona-o-sistema-steam-in-place-sip/>>. Acesso em: 21 set. 2022

D'ALKAINE, C. V. et al. **Corrosão e proteção. Pinturas industriais.** UFSCar, São Carlos, 1988.

DE MATTOS, E. E.; DE FALCO, R. **Bombas industriais.** [s.l.] Interciência, 1998.

DUTRA, A. C.; DE PAULA NUNES, L. **Proteção catódica: técnica de combate à corrosão.** [s.l.] Interciência, 1999.

DUTRA, K. **Fenômenos de transporte - Aula 3 - classificação de escoamentos.** , [s.d.].

GEMÜ GROUP. **The Gemü group: strong growth and stability.** Gemü News, n. 2, 2017.

GRUPO HUMMA. **Guia do eletropolimento.** , 2021.

JOHNSON DIVERSEY. **Cleaning in place.** , 2002.



MACINTYRE, A. J. **Manual de instalações hidráulicas e sanitárias**. [s.l.] LTC-Livros Técnicos e Científicos, 1990.

MOUTINHO, M. E. **Sistema de limpeza CIP (clean in place) aplicado à planta-piloto de processamento de aloe vera**. 2022.

OLIVEIRA, A. R. DE. **Corrosão e tratamento de superfície**. 2016.

PONTE, H. DE A. Fundamentos da corrosão. **Curitiba: Universidade Federal do Paraná**, 2003.

PORTO, R. DE M. **Hidráulica básica**. 2004.

REDE, I. **Corrosão - Uma Abordagem Geral**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [s.d.].

RIJEZA METALURGIA. **Corrosão uniforme: o que é e como evitar? Rijeza Metalurgia**, [s.d.]. Disponível em: <<https://rijeza.com.br/blog/corrosao-uniforme-o-que-e-e-como-evitar/>>. Acesso em: 12 out. 2022

RODRIGUEZ, O. M. **Escoamento interno - I**. Universidade de São Paulo, [s.d.].

SANITARYFITTINGS-CAD. **Hygienic clamp ring for triclamp connections**. Disponível em: <<https://www.sanitaryfittings-cad.com/Clamp-rings-for-triclamp-connections-DIN-32676-3D-CAD-models>>. Acesso em: 26 out. 2022.