



**MARCO HENRIQUE LANG**

**DIMENSIONAMENTO DE BANCADA PARA PRODUÇÃO DE  
IOGURTE**

**Horizontina  
2016**

**MARCO HENRIQUE LANG**

**DIMENSIONAMENTO DE BANCADA PARA PRODUÇÃO DE  
IOGURTE**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Marcelo Gonzalez Passos, Mestre em Ciências e Tecnologia de Alimentos.

Horizontina

2016

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:**

**“Dimensionamento de bancada para a produção de iogurte”**

**Elaborada por:**

**Marco Henrique Lang**

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 29/11/2016  
Pela Comissão Examinadora**

---

**Mestre em Ciências e Tecnologia de Alimentos. Marcelo Gonzalez Passos  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

---

**Farmacêutica com Habilitação em Bioquímica e Tecnologia de Alimentos e  
Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente, área de concentração:  
microbiologia de alimentos. Cláudia Verdum Viegas  
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

---

**Mestre. Luis Carlos Wachholz  
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Horizontalina**

**2016**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho aos meus pais, minha esposa e meu filho por todo apoio e espera, principalmente em memória do meu querido irmão que está sempre presente no meu coração.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço primeiramente aos meus pais por todo o suporte durante esses anos de estudo, principalmente para o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço aos professores Marcelo e Cláudia, que acreditaram e apoiaram as soluções encontradas para a realização do projeto.

Por fim, a minha esposa e meu filho que em muitas vezes tiveram que esperar eu terminar meus trabalhos acadêmicos, sempre me apoiando.

## RESUMO

O ensino está sempre em processo de atualização, e as instituições devem estar sempre em busca de métodos diferenciais. Com a inclusão de um novo curso, Engenharia de Alimentos, a FAHOR pretende oferecer condições para aplicação desses métodos. Surge então a ideia de uma bancada para a produção de iogurte, que junta conhecimentos nas áreas de engenharia mecânica, produção e automação. Esse trabalho foi apresentado na forma de projeto de produto, contendo o projeto informacional, conceitual e detalhado. Com a baixa escala de produção de iogurte, há dificuldade de encontrar equipamentos para a aplicação, dessa forma é necessário encontrar soluções com o que existe disponível no mercado, ou dimensionar se necessário. A bancada começou a ser dimensionada pela limitação de vazão da centrífuga e no estudo do processo, verificou-se que a perda volumétrica dos equipamentos foi um determinante para a mudança de todo o planejamento. Com o processo remanejado, dividiu-se o equipamento em sistemas: pré-tratamento do leite; tubulação do produto; tanques de processo; sistema de aquecimento; sistema de resfriamento; sistema de transferência; sistema de envase; sistema elétrico; e estrutura. Para cada equipamento selecionado e dimensionado estão descritos quais conceitos foram utilizados. No final foi obtido um conjunto compacto, prático, com diversas possibilidades de uso e alteração dos parâmetros desenvolvidos.

**Palavras-chave:** Equipamento. Iogurte. Engenharia.

## ABSTRACT

Teaching is always in a upgrade process, and institutions must always be looking for different methods. With the addition of a new course, Food Engineering, FAHOR aims to provide conditions for the application of these methods. Then comes the idea of a bench for the production of yogurt, which brings together expertise in the areas of mechanical engineering, production and automation. This paper was introduced in the form of product design, containing the informational, conceptual and detailed design. With a low production scale of yogurt, it is difficult to find equipment for this purpose, so it is necessary to find solutions to what exists on the market, or designed if necessary. The bench started to be designed by the centrifugal flow limitation, and the process of study found that the volumetric loss of equipment was a key to change the whole design. With the new process, dividing the equipment systems in: pre-treatment of milk; pipe product; process tanks; heating system; cooling system; transfer system; packaging system; electrical system; and structural. Each selected and sized equipment have the concepts described. At the end, the project obtained a compact set, practical, with many possibilities of use and alteration of the developed parameters.

**Keywords:** Equipment. Yogurt. Engineering.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$l$  – Litros  
 $cP$  – Centipoise  
 $t$  – Tempo em  $s$  e  $h$   
 $Q$  – Vazão em  $m^3/h$  ou  $l/h$   
 $v$  – Velocidade em  $m/s$   
 $\emptyset$  – Diâmetro em  $mm$  e  $m$   
 $\emptyset_H$  – Diâmetro hidráulico em  $mm$  e  $m$   
 $T$  – Temperatura em  $^{\circ}C$   
 $\rho$  – Densidade em  $kg/m^3$   
 $\mu$  – Viscosidade dinâmica em  $Pa \cdot s$   
 $Re$  – Número de Reynolds (adimensional)  
 $h_f$  – Perda de carga distribuída em  $m$   
 $f$  – Fator de fricção (adimensional)  
 $L$  – Comprimento em  $m$   
 $g$  – gravidade em  $m/s^2$   
 $v_m$  – Velocidade média na tubulação em  $m/s$   
 $A$  – Área em  $m^2$   
 $\epsilon$  – Rugosidade em  $mm$   
 $ks$  – Perda de carga unitária em  $m$   
 $V_s$  – Volume unitário em  $m^3$   
 $P_c$  – Perda de carga total em  $m$   
 $V_c$  – Volume total em  $m^3$   
 $m$  – Massa em  $kg$   
 $c$  – Calor específico em  $kJ/kg \cdot ^{\circ}C$   
 $W$  – Trabalho em  $J$   
 $P$  – Potência em  $W$  e  $J/s$   
 $p$  – Pressão em  $Pa$   
 $\gamma$  – Peso específico em  $m^3/kg$   
 $z$  – Altura em  $m$   
 $H_M$  – Pressão da bomba em  $m$   
 $\hat{Q}_1$  – Quantidade de Calor em  $J$



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Processos de produção dos diversos tipos de iogurte. _____   | 18 |
| Figura 2: Processo de pré-tratamento do leite. _____                   | 19 |
| Figura 3: Sistema industrial de pré-tratamento _____                   | 19 |
| Figura 4: Resfriador de leite. _____                                   | 21 |
| Figura 5: Caminhão para transporte de leite. _____                     | 21 |
| Figura 6: Silo _____   | 21 |
| Figura 7: Esquema de uma centrífuga. _____                             | 22 |
| Figura 8: Representação microscópica dos glóbulos de gordura. _____    | 23 |
| Figura 9: Esquema de um homogeneizador. _____                          | 24 |
| Figura 10: Esquema de um trocador de calor à placas. _____             | 26 |
| Figura 11: Planta de processo do iogurte batido. _____                 | 28 |
| Figura 12: Planta de processo do iogurte líquido. _____                | 28 |
| Figura 13: Temperaturas ideais de cultura das cepas. _____             | 29 |
| Figura 14: <i>Spray Ball</i> _____                                     | 31 |
| Figura 15: Fases do desenvolvimento de produto. _____                  | 32 |
| Figura 16: <i>Briefing</i> do processo repassado pela faculdade. _____ | 33 |
| Figura 17: Esboço inicial do processo para a bancada. _____            | 34 |
| Figura 18: Tanque pulmão. _____  | 35 |
| Figura 19: Trocador de calor à placas. _____                           | 35 |
| Figura 20: Centrífuga. _____   | 36 |
| Figura 21: Homogeneizador. _____                                       | 36 |
| Figura 22: Fermentador. _____  | 37 |
| Figura 23: Gerador de água quente. _____                               | 37 |
| Figura 24: Tanque isotérmico vertical. _____                           | 38 |
| Figura 25: Unidade condensadora. _____                                 | 38 |
| Figura 26: Bomba de escoamento positivo. _____                         | 39 |
| Figura 27: Bombas centrífugas. _____                                   | 39 |
| Figura 28: Dosador de pote. _____                                      | 39 |
| Figura 29: Painel de comando. _____                                    | 40 |
| Figura 30: Equipamento instalado em <i>skid</i> . _____                | 40 |
| Figura 31: Tubulação instalada em uma indústria. _____                 | 41 |
| Figura 32: Esboço final do processo para a bancada. _____              | 42 |
| Figura 33: Concepção 3D do produto. _____                              | 43 |
| Figura 34: Definição dos sistemas da bancada. _____                    | 44 |
| Figura 35: Diagrama das seções da tubulação do pré-tratamento. _____   | 49 |
| Figura 36: Fórmula de Reynolds. _____                                  | 49 |
| Figura 37: Fórmula da perda de carga distribuída. _____                | 50 |
| Figura 38: Fórmula da velocidade média. _____                          | 50 |
| Figura 39: Cálculo realizado no site <i>pressure-drop</i> . _____      | 51 |
| Figura 40: Tubulação 1 da seção 2. _____                               | 52 |
| Figura 41: Tubulação 2 da seção 2. _____                               | 52 |
| Figura 42: Tubulação 3 da seção 2. _____                               | 53 |
| Figura 43: Válvula de retorno automático. _____                        | 54 |
| Figura 44: Tubulação da seção 3. _____                                 | 54 |
| Figura 45: Tubulação da seção 4. _____                                 | 55 |
| Figura 46: Tubulação da seção 5. _____                                 | 56 |
| Figura 47: Tubulação da seção 6. _____                                 | 56 |
| Figura 48: Tubulação da seção de envase do iogurte. _____              | 57 |
| Figura 49: Fórmula para o cálculo da densidade do iogurte. _____       | 58 |
| Figura 50: Fórmula da quantidade de calor. _____                       | 59 |
| Figura 51: Fórmula da potência. _____                                  | 60 |
| Figura 52: Sistema de aquecimento. _____                               | 61 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 53: Tubulação 1 do sistema de aquecimento. _____                      | 63 |
| Figura 54: Tubulação 2 do sistema de aquecimento. _____                      | 63 |
| Figura 55: Sistema de resfriamento. _____                                    | 64 |
| Figura 56: Fórmula da Lei do Equilíbrio. _____                               | 65 |
| Figura 57: Tubulação 1 do sistema de resfriamento. _____                     | 67 |
| Figura 58: Tubulação 2 do sistema de resfriamento. _____                     | 68 |
| Figura 59: Esquema da diferença de altura entre os níveis dos tanques. _____ | 69 |
| Figura 60: Fórmula de Bernoulli _____  | 70 |
| Figura 61: Painel elétrico. _____  | 74 |
| Figura 62: Análise 1 estrutural estática de Von Mises com 04 apoios. _____   | 75 |
| Figura 63: Fórmula do coeficiente de segurança. _____                        | 76 |
| Figura 64: Análise 1 de deslocamento de URES para 04 apoios. _____           | 76 |
| Figura 65: Análise 2 estrutural de Von Mises e URES para 06 apoios. _____    | 77 |
| Figura 66: Análise 3 estrutural estática de Von Mises para 06 apoios. _____  | 78 |
| Figura 67: Dimensional macro da bancada. _____                               | 79 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Composição mais comum de um iogurte frutado. _____                        | 17 |
| Tabela 2: Tempos e temperaturas para os processos de tratamento térmico. _____      | 25 |
| Tabela 3: Características dos equipamentos do pré-tratamento. _____                 | 48 |
| Tabela 4: Características do fluido por seção. _____                                | 49 |
| Tabela 5: Cálculo das perdas de carga e volume da seção 2. _____                    | 53 |
| Tabela 6: Cálculo das perdas de carga e volume da seção 3. _____                    | 55 |
| Tabela 7: Cálculo das perdas de carga e volume da seção 4. _____                    | 55 |
| Tabela 8: Cálculo das perdas de carga e volume da seção 5. _____                    | 56 |
| Tabela 9: Cálculo das perdas de carga e volume da seção 6. _____                    | 57 |
| Tabela 10: Perdas de carga e volume totais da etapa de pré-tratamento. _____        | 57 |
| Tabela 11: Características do iogurte no envase. _____                              | 58 |
| Tabela 12: Cálculo da perda de carga e de volume do iogurte no envase. _____        | 58 |
| Tabela 13: Perda de carga e de volume no sistema de aquecimento. _____              | 64 |
| Tabela 14: Perda de carga e de volume no sistema de resfriamento. _____             | 68 |
| Tabela 15: Perdas de carga totais do pré-tratamento. _____                          | 69 |
| Tabela 16: Perdas totais nos sistemas de aquecimento e resfriamento. _____          | 70 |
| Tabela 17: Peso dos componentes da bancada. _____                                   | 74 |
| Tabela 18: Custo estimado dos equipamentos com valores de referência out/2016 _____ | 81 |

## SUMÁRIO

|          |                                   |           |
|----------|-----------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                 | <b>14</b> |
| 1.1      | PROBLEMA DE PESQUISA              | 14        |
| 1.2      | JUSTIFICATIVA                     | 15        |
| 1.3      | OBJETIVO GERAL                    | 16        |
| 1.4      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS             | 16        |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DA LITERATURA</b>      | <b>17</b> |
| 2.1      | IOGURTE                           | 17        |
| 2.2      | PROCESSO DE PRODUÇÃO DO IOGURTE   | 18        |
| 2.2.1    | PRÉ-TRATAMENTO DO LEITE           | 19        |
| 2.2.1.1  | ESCOLHA DO LEITE                  | 20        |
| 2.2.1.2  | PADRONIZAÇÃO DO LEITE             | 22        |
| 2.2.1.3  | ADITIVOS DO LEITE                 | 23        |
| 2.2.1.4  | HOMOGENEIZAÇÃO                    | 23        |
| 2.2.1.5  | TRATAMENTO DE CALOR               | 24        |
| 2.2.1.6  | ESCOLHA E PREPARAÇÃO DA CULTURA   | 26        |
| 2.2.1.7  | PLANTA DO PROCESSO                | 27        |
| 2.2.2    | PROJETO DA PLANTA DE IOGURTE      | 27        |
| 2.2.3    | FERMENTAÇÃO/INCUBAÇÃO DO LEITE    | 29        |
| 2.2.4    | RESFRIAMENTO                      | 29        |
| 2.2.5    | ADIÇÃO DE SABORES                 | 30        |
| 2.2.6    | EMBALAGEM E CONSERVAÇÃO           | 30        |
| 2.2.7    | SISTEMA CIP DE LIMPEZA            | 30        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA</b>                | <b>32</b> |
| 3.1      | MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS     | 32        |
| 3.1.1    | PROJETO INFORMACIONAL             | 32        |
| 3.1.1    | PROJETO CONCEITUAL                | 41        |
| <b>4</b> | <b>PROJETO DETALHADO</b>          | <b>44</b> |
| 4.1      | DEFINIÇÃO DOS SISTEMAS DO LAYOUT  | 44        |
| 4.2      | NORMAS TÉCNICAS                   | 45        |
| 4.3      | DETALHAMENTO DO LAYOUT DEFINITIVO | 46        |
| 4.1.1    | CONJUNTO PRÉ-TRATAMENTO DO LEITE  | 46        |
| 4.1.2    | CONJUNTO TUBULAÇÃO DE PRODUTO     | 48        |
| 4.1.3    | TANQUES DE PROCESSO               | 59        |
| 4.1.4    | SISTEMA DE AQUECIMENTO            | 61        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.1.5    | SISTEMA DE RESFRIAMENTO                                       | 64        |
| 4.1.6    | SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA                                      | 68        |
| 4.1.7    | SISTEMA DE ENVASE   | 71        |
| 4.1.8    | SISTEMA ELÉTRICO  | 71        |
| 4.1.9    | CONJUNTO ESTRUTURAL   | 74        |
| 4.1.10   | DIMENSÕES MACRO DO LAYOUT                                     | 79        |
| 4.4      | LIMPEZA DO EQUIPAMENTO  | 80        |
| 4.5      | CUSTOS ESTIMADOS DO EQUIPAMENTO                               | 80        |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                                   | <b>82</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                             | <b>84</b> |
|          | <b>ANEXO A - DIAGRAMA DE MOODY</b>                            | <b>87</b> |
|          | <b>ANEXO B – TABELA DE NEUTRALIZAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS</b> | <b>88</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A educação sempre está em processo de atualização, e um dos principais pontos é como o professor pode tornar a prática de lecionar mais cativante, conseguindo prender a atenção dos alunos. Uma das formas é utilizar conhecimentos teóricos agregados a experiências práticas reais, onde o aluno consegue associar a teoria com a prática de forma experimental, mesmo com acertos ou erros, observando o rendimento e limitações dos equipamentos que podem ser encontrados no ambiente de trabalho.

Com a implantação do curso de Engenharia de Alimentos, a FAHOR precisará investir em estrutura para oferecer um curso semelhante ou melhor do que os outros cursos já ofertados pela instituição.

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo dimensionar uma bancada semi-industrial para a produção de iogurte, direcionada ao curso de Engenharia de Alimentos. Também serão dimensionados outros itens como estrutura, sistema de bombeamento, processo de operação e seleção de equipamentos já existentes no mercado, como fermentador, trocador de calor, padronizadora, bombas centrífugas, entre outros.

A ideia é que essa bancada torne possível a realização de testes com mudanças de parâmetros para a realização de experimentos, os quais geralmente despertam um maior interesse por parte dos alunos, proporcionando uma situação de investigação (ANGOTI; DELIZOICOV, 2000). A proposta é que todo o sistema seja demonstrado de forma didática, além de apresentar, em uma escala experimental, o processo realizado em uma indústria, aproximando assim o estudante da realidade.

Este projeto está principalmente envolvido com a área de engenharia mecânica, responsável pelo dimensionamento e definição de como o equipamento irá trabalhar, mas também abrange conceitos de engenharia de produção, engenharia de controle e automação, e um ramo pouco explorado pela instituição até o momento, a área alimentícia.

### 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Com a introdução do novo curso de Engenharia de Alimentos na FAHOR, a instituição busca ferramentas de ensino onde os alunos possam aprender de forma sistemática e prática, juntando o embasamento teórico com a realidade das indústrias. Segundo Krasilchik (1996), quanto mais as experiências educacionais se assemelharem com o ambiente profissional, mais fácil se tornará o aprendizado, tanto para o aluno quanto para o professor.

O papel do engenheiro mecânico nesse projeto é identificar os pontos críticos do processo e transformar em requisitos do produto, utilizando-se da tecnologia para soluções práticas e funcionais, ser objetivo nas decisões e sempre buscar a solução adequada para cada parte do projeto.

Dessa forma, seria possível dimensionar uma bancada para a produção de iogurte que atende as necessidades didáticas de ensino?

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Com quatro cursos bem estruturados pela instituição (Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção, Engenharia de Controle e Automação e Ciências Econômicas), se torna necessária uma ampliação para atender a mais nichos de mercado, tendo o estudante como cliente. Para se tornar atraente ao consumidor, a instituição deve apresentar um novo produto, no caso, um novo curso, que ofereça estrutura similar ou melhor que os demais, para assim impulsionar sua procura e tornar-se viável.

Uma estrutura adequada e laboratórios específicos são ótimas alternativas para oferecer um diferencial. Apresentando um ambiente inovador, diferenciado e favorável à prática, a instituição consegue, além do interesse de possíveis alunos, captar a atenção de corpo docente para a nova área.

Surge então a necessidade de um laboratório específico para Engenharia de Alimentos, sempre buscando qualidade de ensino e juntando a teoria com a prática. Neste laboratório, serão necessárias ferramentas adequadas, às quais auxiliarão o professor a transmitir seus conhecimentos. Após o *briefing* repassado pela instituição, com a ideia de dimensionar um laboratório para mostrar na prática a produção de derivados do leite, como o iogurte, demonstrando todos os processos de forma separada para melhor visualização e melhor compreensão, a proposta desenvolvida será a de uma bancada didática, uma ferramenta fundamental ao

ensino, considerando o fato de que os conceitos abordados apenas em sala de aula são em muitos casos insuficientes para o aprendizado (AMORIM, 2006).

A bancada didática reunirá todos os equipamentos para a produção de iogurte, mostrando cada etapa do processo separadamente, facilitando o entendimento do assunto abordado e deixando o ambiente mais próximo possível de como funciona uma indústria.

### 1.3 OBJETIVO GERAL

De acordo com as necessidades as quais a instituição pesquisou e tem interesse em ter em seu curso, o objetivo geral é definido como:

Dimensionamento de uma bancada para a produção de iogurte, contendo todos os equipamentos necessários e montados de forma sistêmica separando todos os processos da mesma forma que são realizados em uma indústria.

### 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com o intuito de dimensionar a bancada de forma correta, primeiramente serão estudados os seguintes objetivos específicos:

- realizar pesquisa bibliográfica sobre a produção de iogurte, o processo utilizado e colocar esse processo em uma forma didática de fácil compreensão;
- definir os requisitos da instituição para determinar o esboço da bancada, no projeto informacional;
- fazer pesquisa de mercado sobre os equipamentos com produção em escala piloto;
- determinar a concepção da bancada com todos os equipamentos e máquinas necessárias para mostrar o processo do iogurte, no projeto conceitual;
- para o projeto detalhado, definir a escolha dos equipamentos selecionados, conforme necessário para a produção de iogurte; modelagem 3D em software, da estrutura da bancada e tubulação, respeitando normas vigentes;
- definir o custo estimado necessário para a fabricação da bancada, com valores base no mês de outubro de 2016.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Para que se possa entender o funcionamento da bancada, será necessário estar ciente dos processos para a fabricação do iogurte, para o total entendimento do funcionamento da bancada e de cada item escolhido.

### 2.1 IOGURTE

O iogurte é um produto transformado pela fermentação do leite, o qual não se sabe com exatidão quando e onde foi fabricado pela primeira vez. Tamime e Robinson (1999) dizem que pode ter sido entre 10.000 a 15.000 anos atrás, logo quando os seres humanos deixaram de ser coletores e se transformaram em produtores de alimentos, após o início da domesticação dos animais.

Entende-se por iogurte o produto obtido pela fermentação láctea através da ação do *Lactobacillus bulgaricus* e do *Streptococcus thermophilus* sobre o leite integral, desnatado ou padronizado (BRASIL, 2007).

Para Bylund (1995), o iogurte é o produto fermentado do leite mais conhecido no mundo inteiro, consumido principalmente no Mediterrâneo, Ásia e na Europa Central. O qual ainda é classificado em cinco tipos: natural, batido, de beber, congelado e o concentrado.

Tabela 1: Composição mais comum de um iogurte frutado.

| Componente                      | Percentual  |
|---------------------------------|-------------|
| Gordura                         | 0,5% a 3,0% |
| Lactose                         | 3,0% a 4,5% |
| Sólidos do Leite não Gordurosos | 11% a 13%   |
| Estabilizadores (Se utilizados) | 0,3% a 0,5% |
| Fruta                           | 12% a 18%   |

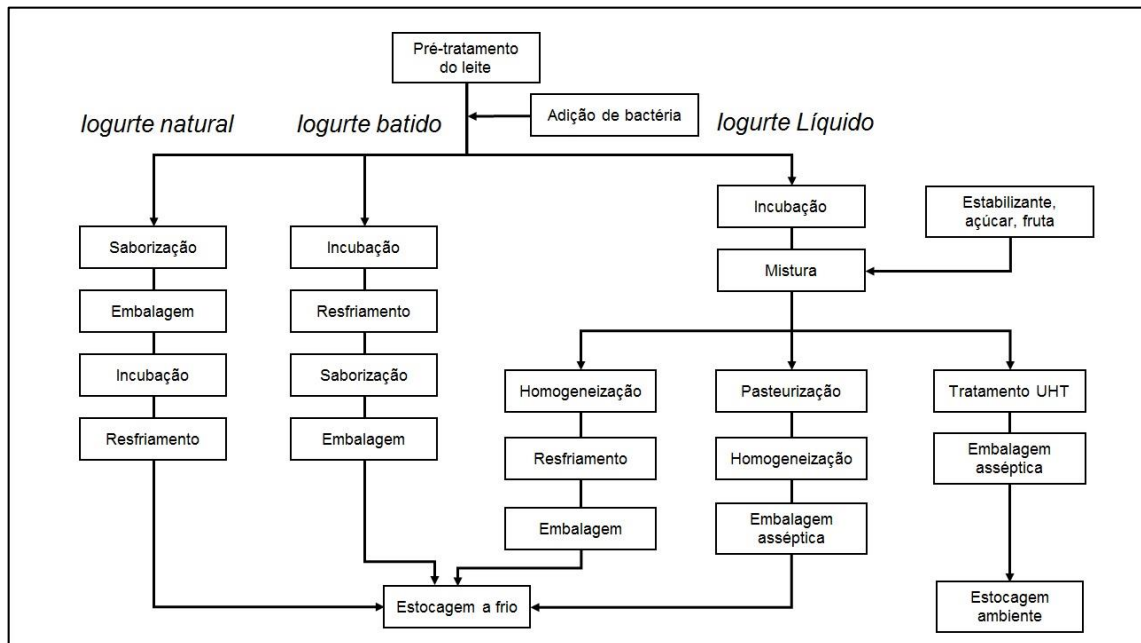
Fonte: Adaptado de BYLUND, 1995, p. 244.

Campbell-Platt (2015) afirma que a temperatura ideal para crescimento do *Streptococcus* é aproximadamente 40°C, enquanto que para o *Lactobacillus* é 45°C. Por esse motivo a fermentação do iogurte é entre 40 a 42°C, para acomodar os dois organismos.

## 2.2 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO IOGURTE

O processo de produção pode variar de um processo artesanal ou tradicional, para um processo aperfeiçoado ou industrial. Nesse trabalho será focado no processo industrial, pelo fato da bancada ser o mais próximo do ambiente de trabalho em uma indústria.

Figura 1: Processos de produção dos diversos tipos de iogurte.

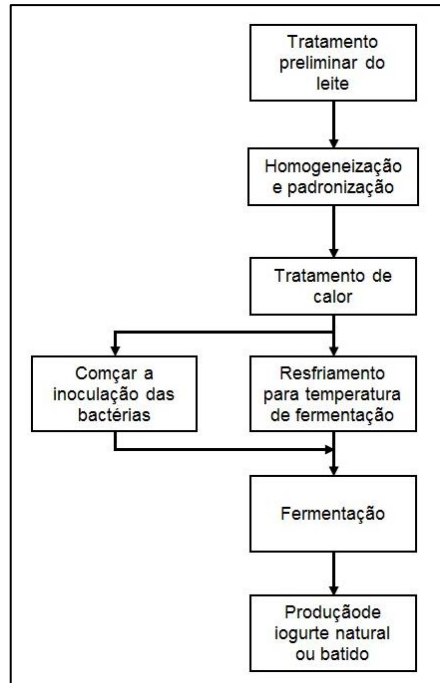


Fonte: Adaptado de BYLUND, 1995, p. 248.

Analisando a Figura 1, percebe-se que diversos tipos de iogurte possuem as mesmas etapas de fabricação ou operações unitárias, apenas com sua ordem alterada. Estas etapas são: pré-tratamento do leite (pré-aquecimento, evaporação, homogeneização, pasteurização); incubação ou fermentação com adição de cultura; resfriamento; mistura; adição de sabores e aromas; envase e estocagem.

As etapas de fabricação não precisam estar exatamente nessa ordem, e o produto final pode exigir que o mesmo processo seja executado mais de uma vez, dependendo da região. De forma resumida, as etapas seguem conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2: Processo de pré-tratamento do leite.

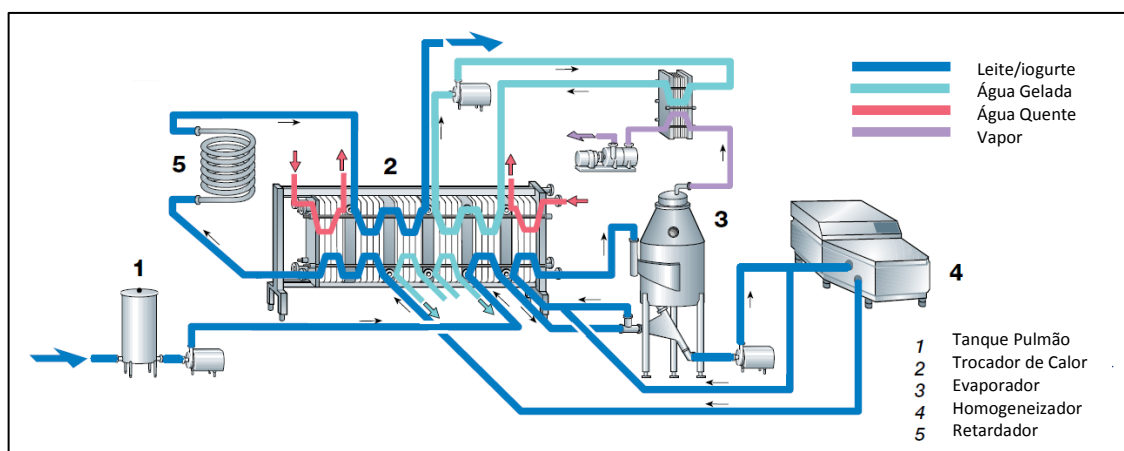


Fonte: Adaptado de TAMIME; ROBINSON, 1999, p. 12.

### 2.2.1 Pré-tratamento do leite

A Figura 3 mostra como é feito o pré-tratamento do iogurte, etapa necessária para todos os tipos de iogurte. De forma geral, o que diferencia os tipos de iogurte são os processos posteriores.

Figura 3: Sistema industrial de pré-tratamento



Fonte: BYLUND, 1995, p. 247.

O pré-tratamento do leite é de extrema importância, pois nessa fase alguns fatores irão afetar diretamente na qualidade do iogurte. Parâmetros sensoriais e tecnológicos como o aroma, sabor, consistência, viscosidade, aparência, livre de soro de leite e vida longa de prateleira (BYLUND, 1995).

Tais parâmetros são afetados diretamente pelos seguintes fatores:

- escolha do leite;
- padronização do leite;
- aditivos do leite;
- homogeneização;
- tratamento de calor;
- escolha da cultura;
- preparação da cultura;
- planta do processo.

#### 2.2.1.1 Escolha do leite

O leite deve ser manipulado com bastante cuidado desde a coleta até durante o processamento. Deve ser o de melhor qualidade possível, e isso quer dizer, não conter antibióticos, resíduos de limpeza, agentes esterilizantes e outras substâncias que impedem o desenvolvimento dos microrganismos (BYLUND, 1995).

Bylund (1995) afirma que, após a coleta até sua produção, o leite deve ser imediatamente resfriado e mantido abaixo de 4°C. Se por algum motivo o leite aquecer acima dos 4°C durante o transporte, os microrganismos existentes no leite começam a se multiplicar, resultando em vários produtos metabólicos, tal como, enzimas. Mesmo se resfriado novamente, o dano causado irá influenciar na qualidade dos produtos finais, tanto do leite como de seus derivados.

Logo após ser ordenhado, o leite é armazenado em resfriadores de leite, conforme Figura 4, até a chegada dos caminhões de coleta e transporte (Figura 5), os quais possuem resfriamento até a chegada na indústria de laticínios, onde o leite passará por vários testes de qualidade e posteriormente, rapidamente realocado em silos como se vê na Figura 6 (TAMIME; ROBINSON, 1999).

Figura 4: Resfriador de leite.



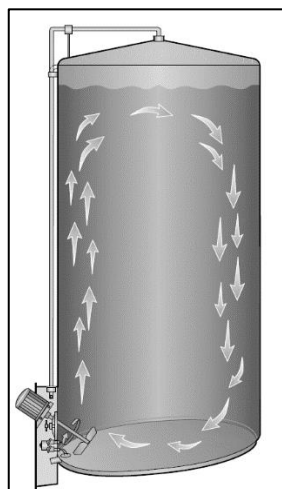
Fonte: JARDINOX, 2016

Figura 5: Caminhão para transporte de leite.



Fonte: JARDINOX, 2016

Figura 6: Silo



Fonte: BYLUND, 1995, p. 71.

### 2.2.1.2 Padronização do leite

Os teores de gordura e de partículas sólidas no leite variam dependendo da região, da forma de alimentação, entre outros. Para tal é necessário executar a padronização, justamente para manter sempre a mesma qualidade entre um lote e outro (TAMIME; ROBINSON, 1999).

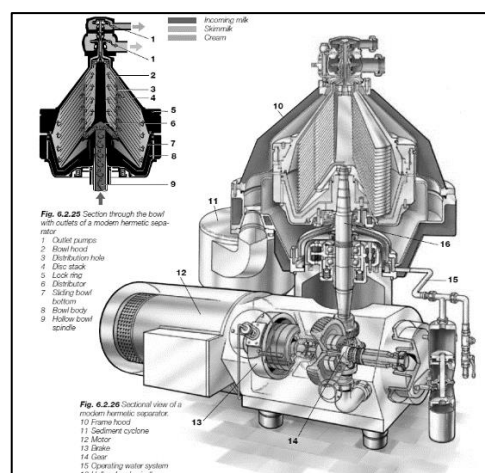
Segundo Tamime e Robinson (1999), os métodos para a padronização são:

- evaporação (10 a 20% do leite é normalmente evaporado);
- remoção parcial do teor de gordura do leite;
- mistura de leite concentrado com leite desnatado;
- adição de leite em pó.

Um dos processos que combina a maioria dos métodos mencionados acima é a padronização por centrífugas, onde somente a evaporação é feita antes, pelo evaporador.

A centrífuga ou padronizadora, conforme Figura 7, pode ser utilizada para a clarificação do leite, separando as partículas sólidas através da força centrífuga, para desnatar o leite, retirando sua gordura e também para padronizar o leite, separando o teor de gordura desejado e deixando somente o necessário para cada processo. No iogurte, o teor comumente utilizado é de 3% de gordura. A temperatura do leite indicada para os processos usados na centrífuga é entre 55 a 65°C (BYLUND, 1995). Chandan (2006) afirma que quando a separação é realizada com o leite frio, há perda de eficiência.

Figura 7: Esquema de uma centrífuga.



Fonte: BYLUND, 1995, p. 100.

### 2.2.1.3 Aditivos do leite

Alguns dos aditivos utilizados no leite são os estabilizantes e açúcares.

Em uma correta produção do iogurte natural, não há necessidade de adicionar estabilizantes, mas eles podem ser usados nos iogurtes frutados e devem ser adicionados em iogurtes pasteurizados. Os estabilizantes incrementam viscosidade e ajudam na prevenção da separação do soro do iogurte (BYLUND, 1995).

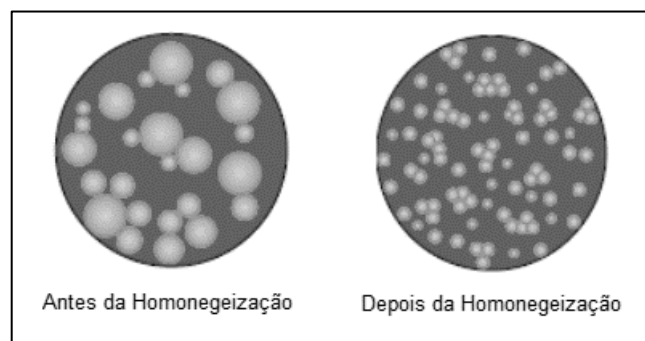
Os açúcares servem para complementar o açúcar das frutas, quando estas estão em baixa qualidade e também para dar sabor ao iogurte. Adoçantes são utilizados em produto para diabéticos (BYLUND, 1995).

### 2.2.1.4 Homogeneização

O processo de homogeneização foi inventado por Gaulin em 1899 (BYLUND, 1995). Os principais motivos para que se efetue este processo são prevenir que se formem aglomerados sólidos durante a incubação e assegurar que a gordura do leite seja distribuída uniformemente (BYLUND, 1995). A homogeneização vai levar à redução do tamanho dos glóbulos de gordura tornando a consistência mais lisa, conforme Figura 8, melhorando a estabilidade e consistência de produtos de leites fermentados (TAMIME; ROBINSON, 1999).

Bylund (1995) afirma que normalmente as temperaturas de homogeneização são aplicadas entre 60 e 70°C e uma pressão de 10 a 20 MPa, dependendo do produto final.

Figura 8: Representação microscópica dos glóbulos de gordura.



Fonte: Adaptado de BYLUND, 1995, p. 115.

Tamime e Robinson (1999) e Bylund (1995) asseguram que além de reduzir o tamanho dos glóbulos de gordura e evitar que se forme os aglomerados posteriores, com a homogeneização se obtém outras vantagens como:

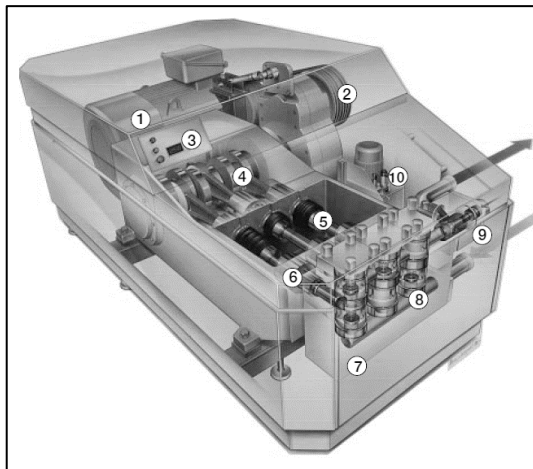
- deixar o leite com cor mais branca e de aparência mais apetitosa;
- redução da sensibilidade à oxidação de gordura;
- mais sabor incorporado;
- melhor estabilidade de produtos lácteos fermentados.

Porém traz algumas desvantagens como:

- perda na eficiência de separação;
- maior sensibilidade a luz, podendo mudar o sabor devido a oxidação da gordura;
- redução na estabilidade ao calor.

A Figura 9 mostra o esquema de um homogeneizador de escala industrial.

Figura 9: Esquema de um homogeneizador.



Fonte: BYLUND, 1995, p. 117.

#### 2.2.1.5 Tratamento de calor

Segundo Tamime e Robinson (1999), os efeitos do tratamento térmico na preparação do leite podem ser resumidos como:

- destruição e/ou eliminação de agentes patogênicos e outros microrganismos indesejáveis;
- produção de fatores estimulantes/inibitórios para o início de preparação das culturas do iogurte;



- alterações nas propriedades físico-químicas dos componentes do leite que são relevantes na fabricação do iogurte.

Na prática comercial, o tratamento de calor do leite, tanto para consumo como para fabricação de derivados é o processo mais utilizado. Esse processo depende praticamente da combinação do tempo e temperatura (TAMIME e ROBINSON, 1999). Essas duas variáveis são as responsáveis por mudarem, ou não, as propriedades físicas do leite, e algumas dessas combinações podem ter vantagens e/ou desvantagens, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Tempos e temperaturas para os processos de tratamento térmico.

| <b>Tempo</b>    | <b>Temperatura (°C)</b> | <b>Processo</b>     |
|-----------------|-------------------------|---------------------|
| Poucos segundos | ≤65                     | Termização          |
| 30 min          | 65                      | Pasteurização lenta |
| 15 s            | 72                      | Pasteurização       |
| 4-20 s          | 85                      | Pasteurização alta  |
| 5 min           | 90-95                   |                     |
| 40-20 min       | 110-120                 | Esterilização       |
| 20-2 s          | 135-150                 | UHT                 |

Fonte: Adaptado de TAMIME; ROBINSON, 1999, p. 61.

O tipo de combinação escolhido irá determinar aspectos do produto final desejado e também as condições de trabalho do equipamento utilizado no tratamento térmico, o trocador de calor.

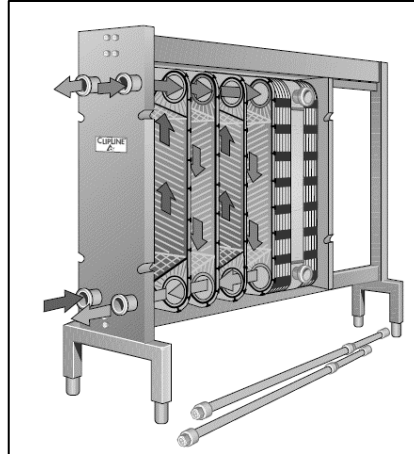
Para que se dê a pasteurização correta do leite para a fabricação de iogurte, é necessário que o leite permaneça entre 90°C e 95°C durante aproximadamente 5 minutos. Esse processo é realizado em um equipamento anexo ao pasteurizador, chamado retardador. Ele consiste em uma tubulação previamente dimensionada, conforme a vazão e o tempo de retardo (TAMIME e ROBINSON, 1999).

Além dos processos citados acima, o trocador de calor é aplicado simplesmente para troca de calor, onde é possível aquecer ou resfriar o produto nas temperaturas desejadas (BYLUND, 1995).

No iogurte, alguns processos como a padronização e a homogeneização, devem ser feitos a uma temperatura entre 55 e 65°C e 65°C respectivamente (BYLUND, 1995), portanto, há um aquecimento do produto. Como o próximo processo é a pasteurização (90°C) entende-se que há um pré-aquecimento do leite.

Já depois da pasteurização é realizado o processo de fermentação, onde a temperatura é de 42°C (TAMIME; ROBINSON, 1999). Como a temperatura de pasteurização é maior, será necessário um resfriamento desse leite pasteurizado.

Figura 10: Esquema de um trocador de calor à placas.



Fonte: BYLUND, 1995, p. 86.

#### 2.2.1.6 Escolha e preparação da cultura

O manuseio no início da produção do iogurte demanda muita precisão e higiene. Atualmente as culturas são concentradas, congeladas e liofilizadas, para estarem disponíveis no mercado. Adquirindo a cultura por meio de compra, são cortados alguns custos iniciais do processo de cultura. Além disso, diminui o risco de contaminação da cultura (BYLUND, 1995).

As culturas produzidas em laboratórios agora possuem uma avançada tecnologia para satisfazer as exigências de sabor e viscosidade. Como exemplo, é possível ter um iogurte batido com alta viscosidade e baixo teor de acetaldeído e um pH final alto, em contrapartida, é possível ter uma baixa viscosidade e acetaldeído médio adequado para beber iogurte (BYLUND, 1995). Os acetaldeídos são sugeridos como componentes indispensáveis que acentuam sabor ao iogurte, dando o sabor característico de maçã verde ou nozes (ESKIN; SHAHIDI, 2015).

### 2.2.1.7 Planta do processo

Segundo Chandan (2006), a planta do processo deve ser sanitária, onde as tubulações, acessórios e conexões devem ser de aço inoxidável da série AISI 300. Outros materiais que podem entrar em contato com o alimento, como vedações, devem ser atóxicas. O equipamento deve ser projetado para fácil limpeza.

Bylund (1995) afirma que o coágulo formado durante a fermentação é sensível ao tratamento mecânico, sendo de extrema importância a seleção e dimensionamento das linhas de distribuição do produto, como tubos, válvulas e bombas.

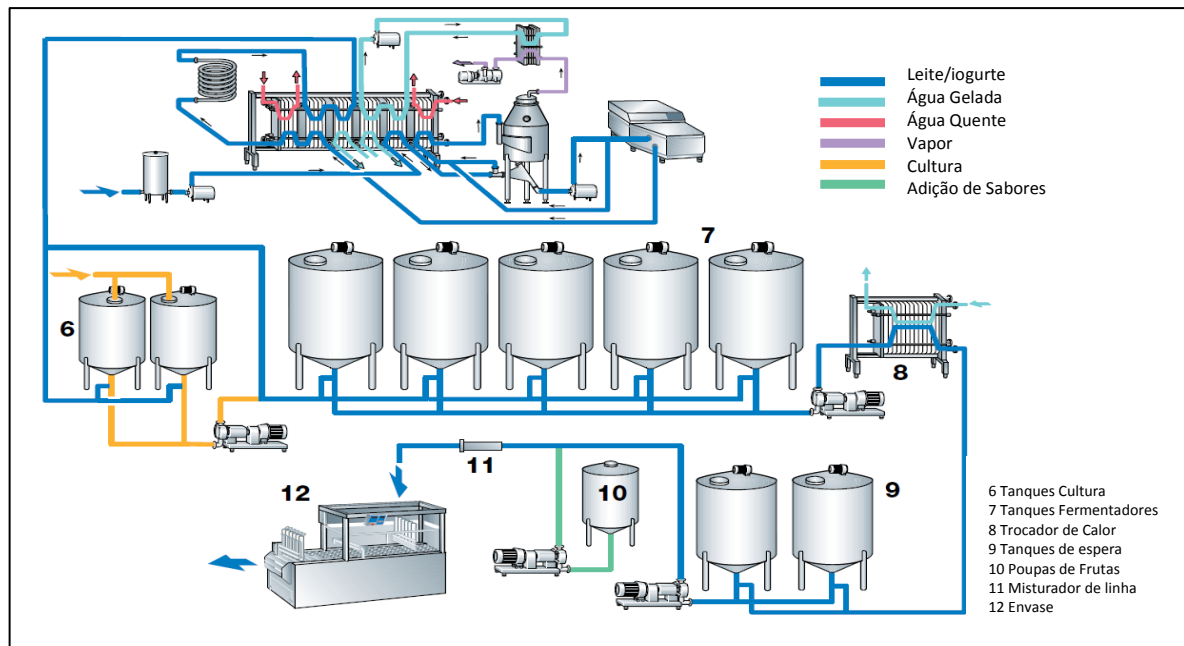
Outro item essencial para a planta do processo é o tanque pulmão. Em grandes indústrias, serve para interromper o abastecimento de leite quando há alguma parada na linha, como por exemplo, caso o leite não esteja pasteurizando corretamente (geralmente ocorre no início do processo). Esse leite precisa ficar retornando ao trocador de calor até chegar às condições de pasteurização. Somente depois o tanque pulmão abre para receber mais leite e não deixar a tubulação vazia. Em pequenas produções, o tanque pulmão serve também como recipiente onde serão inseridos os aditivos (BYLUND, 1995).

### 2.2.2 Projeto da planta de iogurte

Os processos anteriores fazem parte do pré-tratamento que o leite deve ter para a fabricação do iogurte, sendo os mesmos para qualquer uma de suas variações (BYLUND, 1995). O que define o tipo de iogurte são as operações unitárias posteriores, que são em sua maior parte, os mesmos processos executados durante o pré-tratamento, porém em ordem diferente.

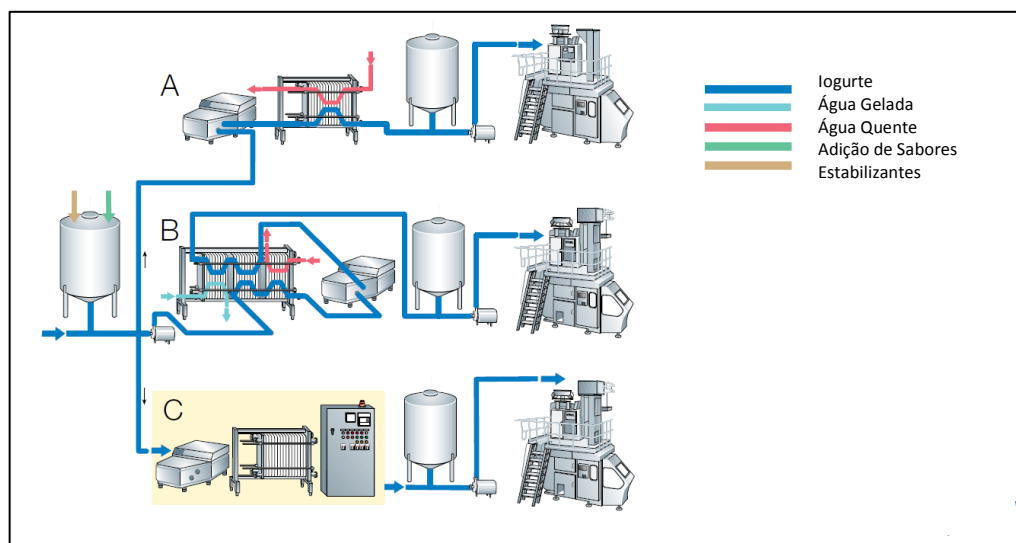
A Figura 11 e Figura 12, mostram os processos posteriores ao pré-tratamento do iogurte batido e do iogurte líquido, respectivamente.

Figura 11: Planta de processo do iogurte batido.



Fonte: BYLUND, 1995, p. 249.

Figura 12: Planta de processo do iogurte líquido.



Fonte: BYLUND, 1995, p. 254.

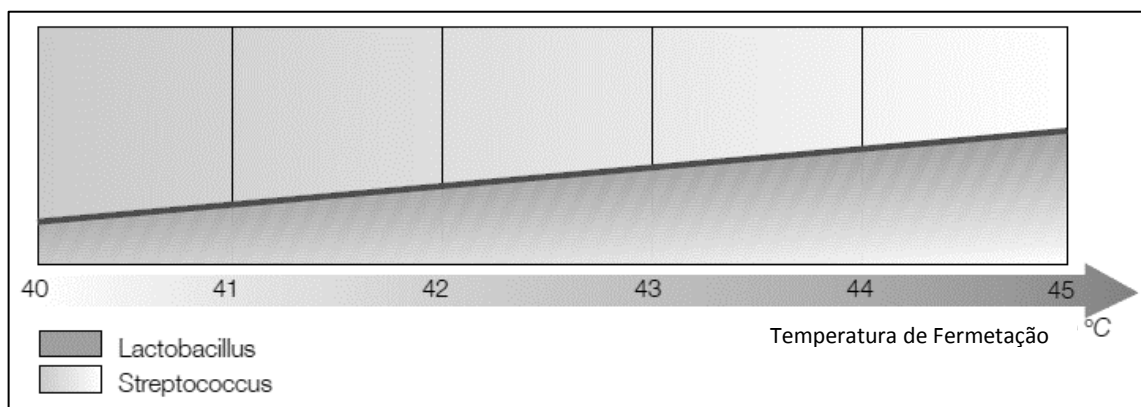
Abaixo serão descritos os processos após o tratamento do leite, usando como referência o iogurte batido.

### 2.2.3 Fermentação/incubação do leite

Nesta fase, com a adição da cultura, ocorre fermentação láctica que consiste na redução do ácido pirúvico, proveniente da glicólise, em ácido láctico. A fermentação é a fase fundamental de todo o processo, pois é o ácido láctico produzido que tem a função de agente coagulante do leite (TAMIME; ROBINSON, 1999).

Antes de começar a fermentação do leite pasteurizado, ele deve ser resfriado à temperatura de fermentação. A partir desse ajuste, é iniciada a fermentação utilizando as seguintes cepas: *Lactobacillus* e *Streptococcus*. A Figura 13 apresenta a temperatura ideal para cada uma delas.

Figura 13: Temperaturas ideais de cultura das cepas.



Fonte: BYLUND, 1995, p. 238.

A temperatura ideal para a *Lactobacillus* é 45°C, e para a *Streptococcus* é 40°C. Usualmente, a temperatura média utilizada fica entre 42°C e 43°C. O tempo de incubação para o iogurte batido é entre 2,5 a 3 horas. (BYLUND, 1995).

### 2.2.4 Resfriamento

Ao final da fermentação, é verificado o pH do iogurte, que normalmente deve estar entre 4,2 e 4,5. Após este processo, o produto é resfriado entre 15 e 22°C. Nessa fase é recomendado que a movimentação do produto seja a mais suave possível, para garantir a correta consistência do iogurte batido (BYLUND, 1995).

### 2.2.5 Adição de sabores

O produto recebe a polpa de frutas, aromas ou pedaços de frutas de acordo com as características pretendidas. Essa mistura é feita continuamente a uma velocidade variável para garantir que todos os componentes sejam misturados de forma homogênea, como por exemplo, no caso das frutas que necessitam de uma mistura mais vigorosa (BYLUND, 1995).

Em grandes indústrias, essa adição acontece na linha de produto, através de um misturador de frutas tubular. É comum ver essa mistura ser feita em tanques com um agitador, onde a agitação deve ser lenta para garantir a consistência do iogurte, esse processo acontece em outros tipos de iogurte, com a mistura feita em tanques (BYLUND, 1995).

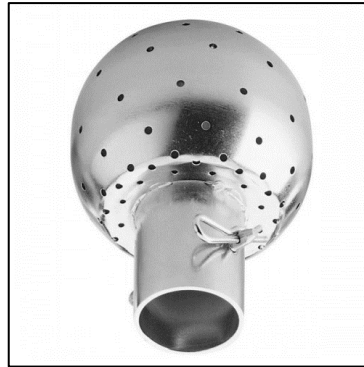
### 2.2.6 Embalagem e conservação

Para o envase, os iogurtes apresentam diversos tipos de unidades processuais. É necessária uma atenção especial ao tamanho, sabores, capacidade, entre outros, de maneira a identificar o envase correto. Após essa etapa é necessário conservar a uma temperatura abaixo de 8°C (BYLUND, 1995).

### 2.2.7 Sistema CIP de limpeza

Esse tipo de produto acumula resíduos e impurezas nos equipamentos ao fim dos processos, como gordura e perdas volumétricas. Se não limpados corretamente, esses resíduos podem incrustar e acarretar em contaminação. Para isso, deve se limpar os equipamentos fazendo sua sanitização e limpeza.

O sistema de limpeza "*Cleaning-In-Place*", mais conhecido como sistema CIP, funciona enxaguando soluções de detergente e água circulando nos equipamentos e tubulações sem desmontá-los (BYLUND, 1995). Essa circulação deve ser de alta velocidade nas tubulações e equipamentos, porém nos tanques se utiliza um *spray-ball*, acessório que direciona o fluido para todos os lados nos tanques, e que deve ser instalado no centro do equipamento.

Figura 14: *Spray Ball*

Fonte: TECNICONFIAL, 2016.

Inicialmente, é realizada uma limpeza com algum tipo de detergente, ácido ou básico, deixado na concentração correta conforme indicações. Este produto também é aquecido para aumentar sua eficiência. Durante o processo é necessário verificar a concentração, e caso seja necessário, inserir mais detergente até a concentração desejada. Após a limpeza, é feita uma neutralização com base ou ácido, dependendo do detergente, e este neutralizante passa por todos os equipamentos. Por último se passa água de limpeza pelo tempo necessário para eliminar qualquer tipo de resíduo (BYLUND, 1995).

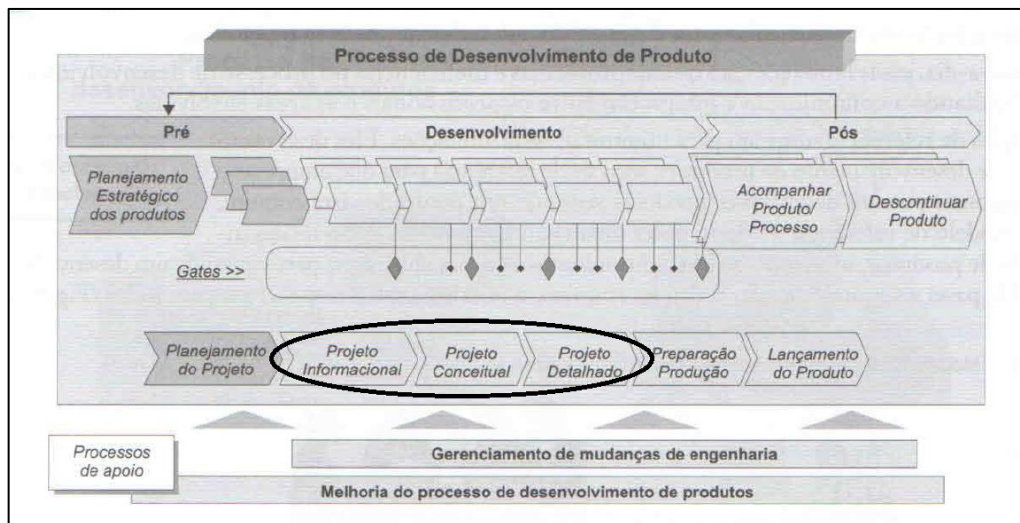
### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Primeiramente foram coletadas informações sobre o processo de fabricação do iogurte, bem como os equipamentos utilizados para tal finalidade. Essas informações foram retiradas de bibliografias e com experiências de profissionais que trabalham no ramo.

O presente trabalho pode ser considerado como um projeto de produto, que começou na fase informacional e será concluído na fase detalhada para aprovação. Sendo a instituição FAHOR o cliente, a qual tem um responsável técnico pela aprovação das ideias criadas para a solução do problema, a bancada para iogurte.

Figura 15: Fases do desenvolvimento de produto.



Fonte: AMARAL, 2010, p. 44.

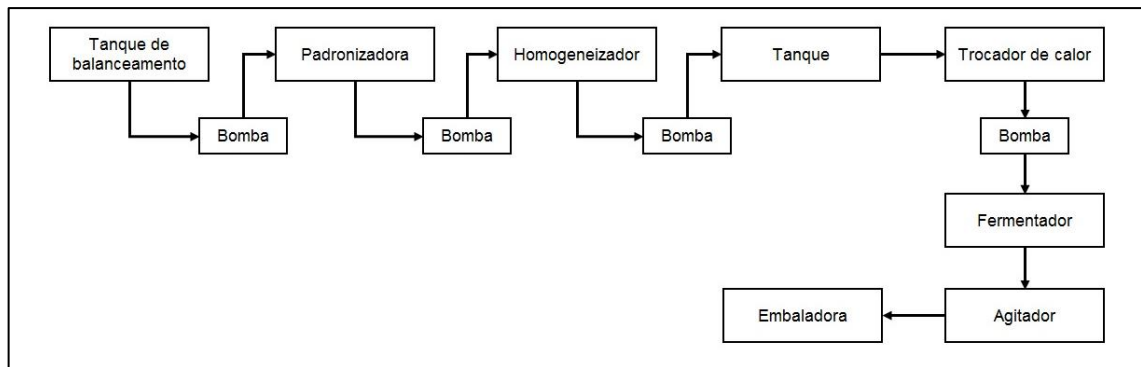
Serão apresentados de forma sucinta três fases do projeto de produto: Projeto Informacional; Projeto Conceitual; e Projeto Detalhado.

##### 3.1.1 Projeto Informacional

Junto com o responsável técnico da instituição, foram obtidas as primeiras informações para montagem de um esboço. O *briefing* foi apresentado em forma de fluxograma de produção para o produto, conforme a Figura 16.



Figura 16: *Briefing* do processo repassado pela faculdade.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

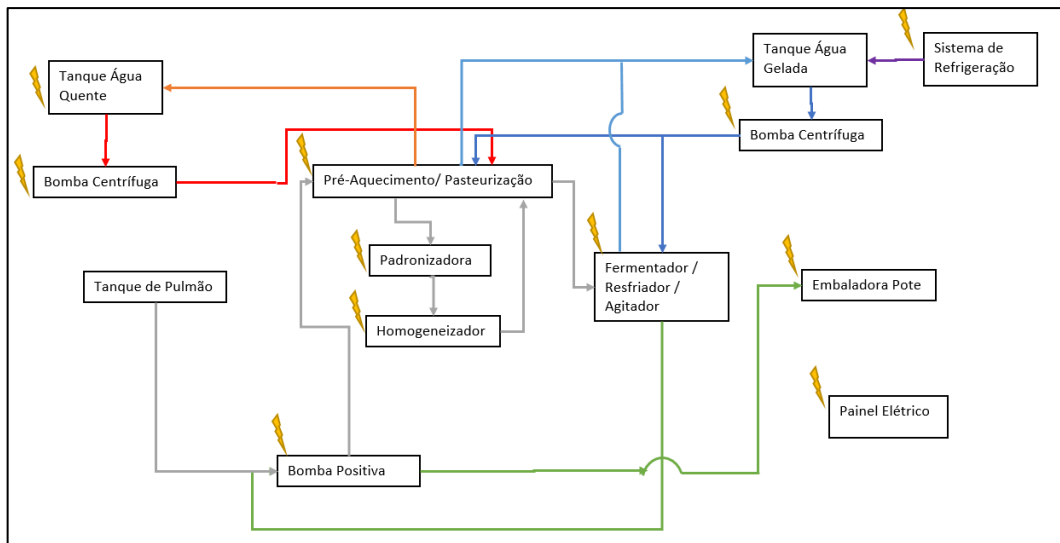
Foi delimitado o volume inicial de fabricação para 50 litros de iogurte e que todos os equipamentos deveriam estar acomodados em uma estrutura ou bancada de fácil movimentação, e principalmente, fácil identificação dos processos, os quais serão montados de forma a reproduzir uma indústria atual.

Após a identificação dos requisitos, foi feita uma pesquisa sobre o processo de fabricação do iogurte. Nessa pesquisa foram analisados vários tipos, processos e diferenças entre eles, sendo que a maioria só altera a ordem das operações unitárias, conforme visto na revisão bibliográfica.

Logo após foi realizado mais um contato afim de definir o tipo de iogurte que seria fabricado nas aulas práticas. Foi delimitado como o iogurte batido, com a possibilidade de que o mesmo equipamento pudesse fabricar também outros tipos de iogurte, até mesmo bebida láctea.

O ponto de partida foi definir um dos processos como o principal, sabendo que as operações estariam presentes em todos os outros produtos, mudando somente a ordem. Dessa forma foram listados os equipamentos necessários para o desenho do fluxograma do projeto, conforme Figura 17.

Figura 17: Esboço inicial do processo para a bancada.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

Nesse primeiro esboço, foi concluído que seria possível realizar toda a transferência de produto somente com uma bomba, tanto para o leite como para o iogurte.

O processo iniciará ao inserir o leite no tanque pulmão, onde a bomba de escoamento positivo fará a transferência para o trocador de calor, pré-aquecendo o leite até a temperatura de padronização e homogeneização. Esse pré-aquecimento é obtido com água quente, aquecida por resistência elétrica e transferida por uma bomba centrífuga. Depois da homogeneização, o leite volta ao trocador para pasteurizar, passando pelo retardador e então sendo resfriado em outra seção de placas com água gelada, resfriada em um tanque isotérmico com serpentina e bombeada por outra bomba centrífuga. Este processo já deixará o leite na temperatura de fermentação. Essa etapa é chamada de pré-tratamento do leite.

No fermentador, serão adicionadas as cepas para a transformação do leite em iogurte. Após o período de fermentação, o produto será resfriado e agitado afim de misturar os sabores e polpas, até chegar na temperatura de envase. A escolha da bomba positiva para o produto foi justamente pelo envase do iogurte, que será realizado por um dosador de potes, o qual possui uma célula de carga. Quando a célula atinge o peso desejado, a bomba automaticamente desliga para a troca dos potes. Todo esse processo é controlado por um painel elétrico.

Com o processo definido, foram pesquisados quais os equipamentos necessários para a fabricação do iogurte em pequena escala. Houve dificuldade

para encontrar alguns desses equipamentos devido à limitação de quantidade, uma vez que há pouca procura no mercado para produção em pequena escala.

As características dos equipamentos podem ser vistas abaixo:

- Tanque Pulmão –Tanque construído totalmente em aço inoxidável AISI304 com capacidade útil de 50 litros para recebimento do leite e início do processo. Também pode servir para outros processos do iogurte, além do iogurte batido, funciona como um tanque de transferência para outro processo. Produzido pela empresa Tecniconfial, é um item que pode ter sua capacidade volumétrica alterada de acordo com o requisitado.

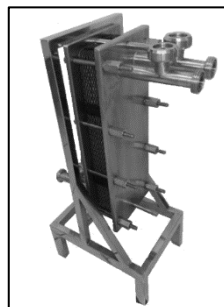
Figura 18: Tanque pulmão.



Fonte: TECNICONFIAL, 2016.

- Trocador de calor / Pasteurizador – Trocador de calor a placas com um ou mais estágios de aquecimento ou resfriamento, usado como pasteurizador de leite ou simplesmente como trocador de calor. Constituído de placas de aperto revestidas em aço inoxidável AISI304 e placas corrugadas de aço inoxidável AISI316L. Produzido pela Tecniconfial de acordo com o regime de trabalho desejado.

Figura 19: Trocador de calor à placas.



Fonte: TECNICONFIAL, 2016.

- Padronizadora – Desnatadeira e padronizadora de leite modelos T500L com capacidade volumétrica máxima de 250 l/h no desnate total do leite, 350 l/h na padronização, e 500 l/h na clarificação. Potência do motor de 0,75 CV e tensão de 220V. Produzido pela empresa JC Centrífugas.

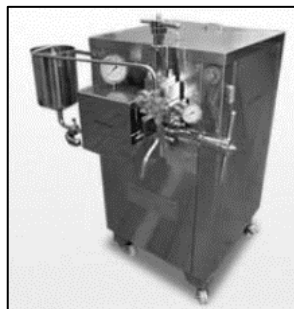
Figura 20: Centrífuga.



Fonte: JC CENTRÍFUGAS, 2016.

- Homogeneizador – Homogeneizador de alta pressão para leite e iogurte com capacidade volumétrica de 300 l/h, pressão de trabalho de 200 bar. Motor elétrico de 3 CV, trifásico e tensão de 220V. Peças em contato com produto em aço inoxidável. Produzido pela empresa Arte Peças Homogeneizadores.

Figura 21: Homogeneizador.

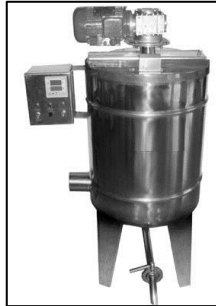


Fonte: ARTE PEÇAS HOMOGENEIZADORES, 2016.

- Fermentador/Agitador – Tanque Fermentador/Agitador/Resfriador construído em aço inoxidável AISI304 com capacidade útil de 50 litros para produção de iogurte com sistema de aquecimento elétrico (4kW) de camisa dupla, conhecido como aquecimento tipo "banho maria", entrada de água gelada para resfriamento no tanque do iogurte, e segunda camisa com isolamento de

poliuretano. Possui sistema de agitador para mistura dos ingredientes e sabores do iogurte. Perda de carga na passagem da água é de 1,5 mca.

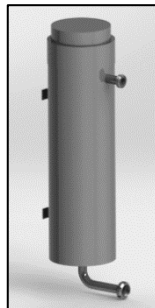
Figura 22: Fermentador.



Fonte: TECNICONFIAL, 2016.

- Gerador de Água Quente – Tanque com aquecimento elétrico construído em aço inoxidável AISI304 para aquecer água no regime de trabalho desejado para o trocador de calor. Produzido pela empresa Tecniconfial.

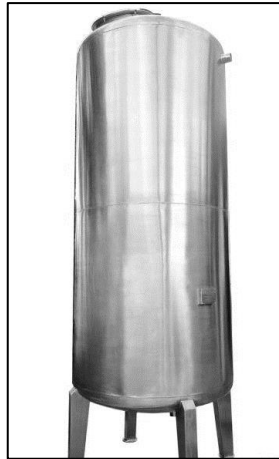
Figura 23: Gerador de água quente.



Fonte: TECNICONFIAL, 2016.

- Tanque de Água Gelada – Tanque isotérmico para água gelada, usada no resfriamento do iogurte. Construído em aço inoxidável com isolamento em poliuretano. Fabricado pela Tecniconfial, é um item que pode ter sua capacidade volumétrica alterada de acordo com o requisitado.

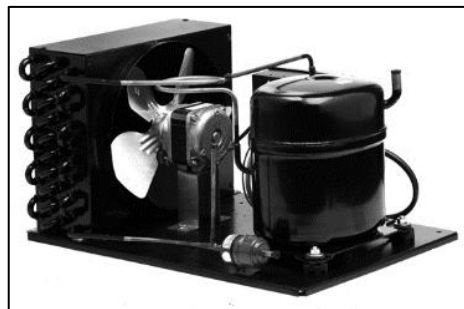
Figura 24: Tanque isotérmico vertical.



Fonte: TECNICONFIAL, 2016.

- Unidade de Refrigeração – É um conjunto que inclui um compressor, um condensador, um motor de ventilação, controles e uma base de montagem. Tem a função de realizar troca de calor para que o gás refrigerante que entra seja resfriado, condensado e transformado em estado líquido, além de receber o auxílio da ventilação externa, que passa pelo trocador de calor, para resfriar o gás refrigerante interior do sistema. Existem diversos modelos de unidades condensadoras, de diversos tamanhos que vão desde a unidade de pequena aplicação residencial à unidade de grande escala industrial utilizada em processos de fábricas.

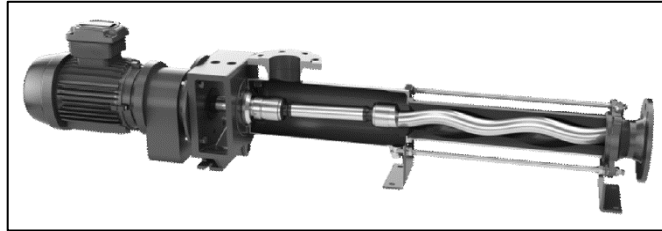
Figura 25: Unidade condensadora.



Fonte: TECUMSEH, 2016.

- Bomba Positiva – Bomba de escoamento positivo para transferência de produto, no caso o leite e o iogurte, com acabamento sanitário.

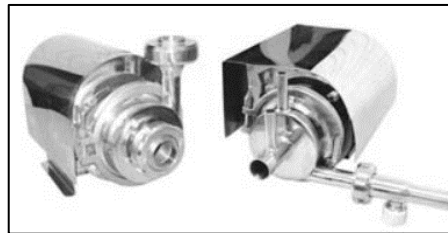
Figura 26: Bomba de escoamento positivo.



Fonte: NETZSCH, 2016.

- Bomba Centrífuga – Bombas centrífugas utilizada tanto para água quente, como para água gelada.

Figura 27: Bombas centrífugas.



Fonte: TORNOCAR, 2016.

- Dosadora de Pote – Dosadora de pote com dosador-injetor anti-gota. Possui célula de carga para desligar o acionamento da bomba de transferência conforme peso dos potes.

Figura 28: Dosador de pote.



Fonte: TECNICONFIAL, 2016.

- Painel elétrico – Painel de comando elétrico para controle dos equipamentos elétricos e controle do processamento do iogurte. Fabricado pela Tecniconfial de acordo com o trabalho necessário para realização da tarefa desejada. Construído nas normas vigentes.

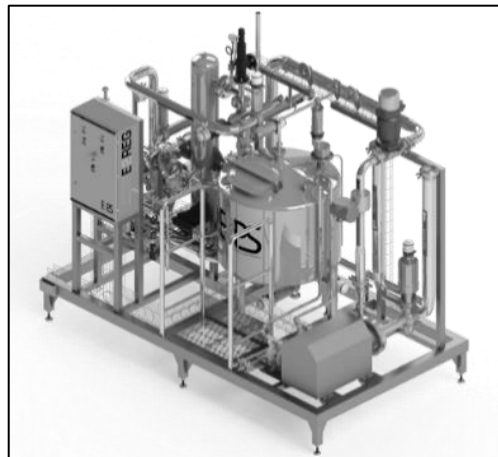
Figura 29: Painel de comando.



Fonte: TECNICONFIAL, 2016.

- Estrutura tipo *Skid* – Estrutura para acomodação e posicionamento dos equipamentos necessários para produção do iogurte. Fabricado pela Tecniconfial.

Figura 30: Equipamento instalado em *skid*.



Fonte: TECNICONFIAL, 2016.



- Tubulação – Fabricado e instalado pela Tecniconfial.

Figura 31: Tubulação instalada em uma indústria.



Fonte: TECNICONFIAL, 2016.

### 3.1.1 Projeto Conceitual

No decorrer do estudo, foi constatado que alguns dos itens da bancada de iogurte precisariam ser fabricados sob medida conforme os requisitos iniciais de projeto, já que em alguns dos processos ocorrem perdas que precisam ser compensadas em outros processos.

Tomando como exemplo inicial o primeiro equipamento do processo, o tanque pulmão, que precisa possuir uma capacidade superior a 50 litros para compensar as perdas volumétricas que cada um dos equipamentos subsequentes possui. Caso essa perda não seja considerada, a quantidade de leite no final do pré-tratamento, e conseqüentemente, a quantidade final de iogurte será inferior aos 50 litros desejados.

Ciente desse problema, foram analisadas as opções disponíveis no mercado e suas respectivas perdas, para que assim o processo fosse ajustado afim de estabelecer um volume final de 50 litros de iogurte. Os equipamentos com perda mais significativa foram a centrífuga com 0,5 litros, o homogeneizador com 0,8 litros e o trocador/pasteurizador com 0,13 litros por placa em contato com o leite. Além das placas, o pasteurizador possui o retardador. É nesse ponto que se concentra uma quantidade significativa de perda volumétrica, já que a pasteurização do leite para iogurte exige um retardo entre 3 a 5 minutos.

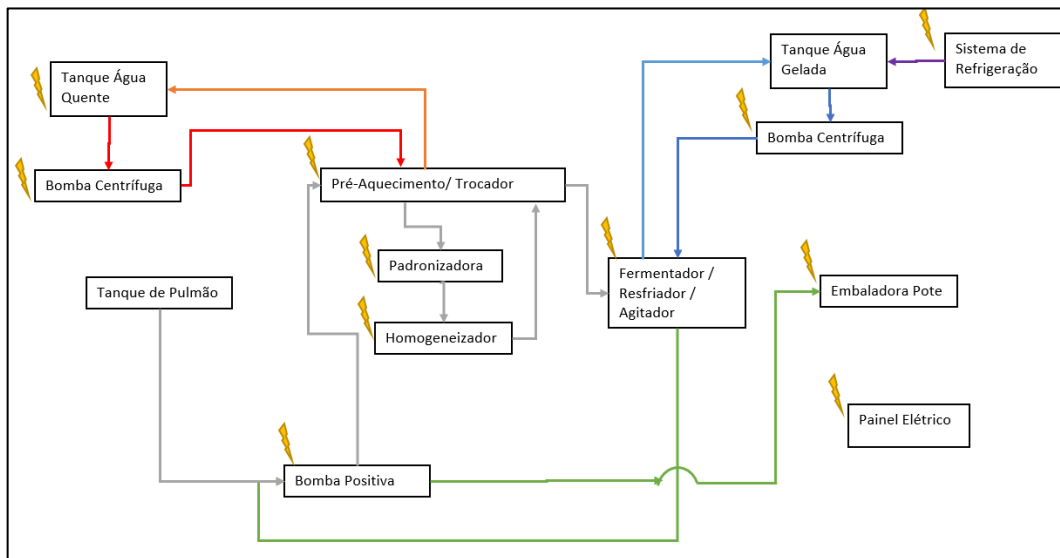
Para o dimensionamento desse retardador, deve ser considerada a vazão de 300 litros por hora dos equipamentos, definido por causa da centrífuga. O leite deve permanecer na temperatura de 90°C durante 5 minutos. Em 1 hora o sistema transfere 300 litros de leite, para que ele demore 5 minutos dentro do retardador é necessário uma regra de 3 simples onde se definirá o volume necessário.

$$\begin{aligned} 300 \ell &\rightarrow 3600 \text{ s} \\ x \ell &\rightarrow 300 \text{ s} \\ x &= 25 \ell \end{aligned}$$

Quando o tanque pulmão é esvaziado, a bomba positiva não consegue mais fazer o recalque, ficando assim com pelo menos 25 litros de produto dentro do retardador, sem considerar os outros equipamentos, portanto, somente a metade do volume desejado estará no fermentador, e para compensar essa perda seria necessário um volume aproximado de 75 litros.

Além disso, o equipamento vai ter as perdas de tubulação, que serão calculadas na modelagem 3D dos equipamentos. Para contornar esse problema, foi necessário repensar o processo, chegando à solução conforme Figura 32.

Figura 32: Esboço final do processo para a bancada.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

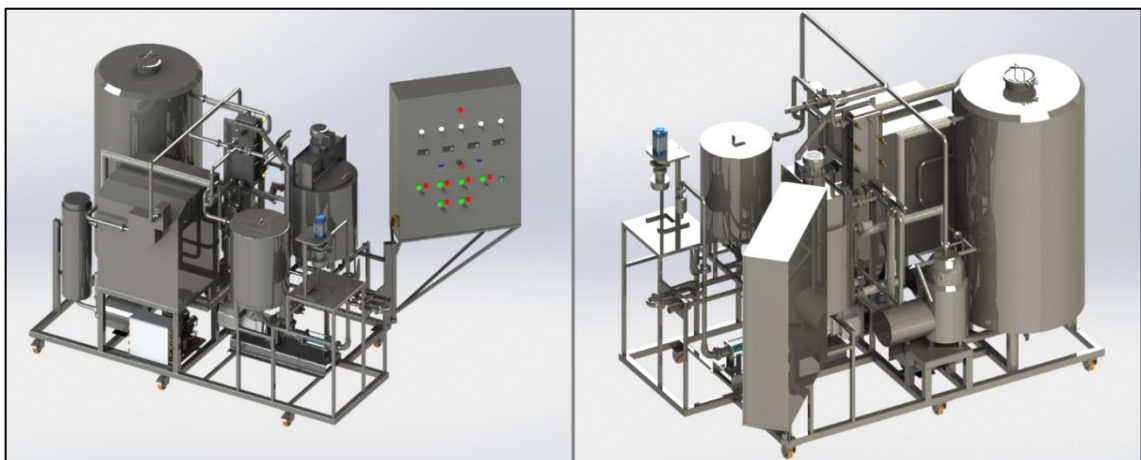
No novo procedimento de operação da bancada, após o leite ser inserido no tanque pulmão, a bomba positiva será acionada, juntamente com a bomba do tanque de água quente. O leite então será transferido do tanque pulmão para o trocador de calor, que agora irá somente aquecer o produto em dois estágios, sendo o primeiro estágio até a temperatura de padronização e homogeneização. Após o produto passar pela centrífuga e pelo homogeneizador, ele irá retornar para o trocador, onde o segundo estágio o aquecerá até uma temperatura próxima a de pasteurização, seguindo para o tanque fermentador.

Como o tanque fermentador possui uma resistência elétrica, ele aquecerá o leite até a temperatura de pasteurização (90°C) e manterá essa temperatura por 5 minutos. Depois desse tempo a resistência é desligada. A água quente é retirada, e logo após a água gelada circula na camisa para resfriar o leite até a temperatura de fermentação, terminando assim o pré-tratamento do leite. Depois da fermentação o produto será novamente resfriado, e o agitador será acionado para a mistura da polpa. Ao fim do processo, a bomba positiva enviará o iogurte para envase no dosador de pote.

Com essa mudança foi possível diminuir a quantidade de tubulações, válvulas, uma seção de placas no trocador e retirar o retardador, item crítico na perda volumétrica, transformando o próprio fermentador em retardador.

Foi então definida a concepção da bancada conforme Figura 33.

Figura 33: Concepção 3D do produto.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

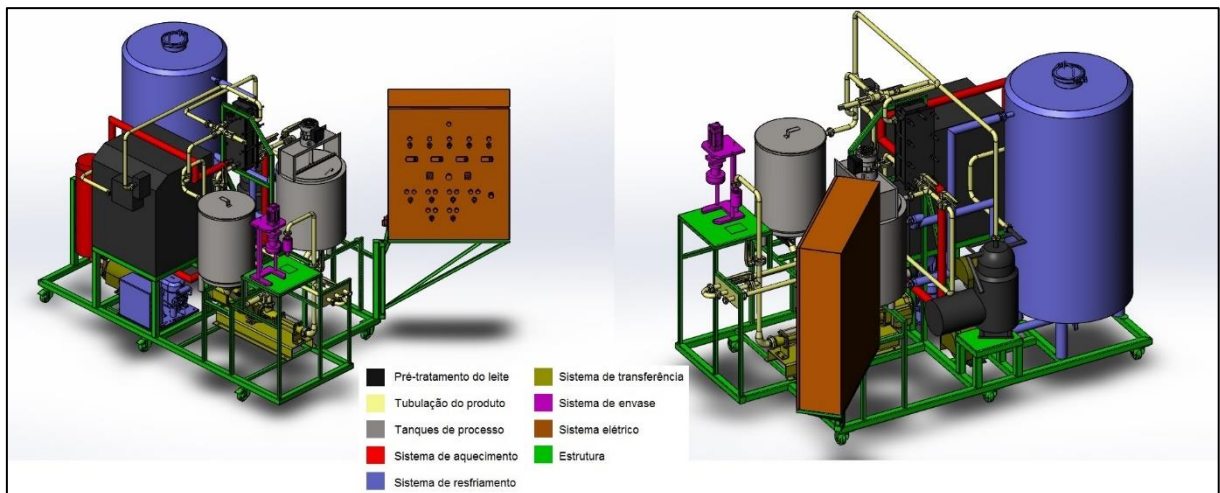
## 4 PROJETO DETALHADO

Diferente do projeto conceitual, onde os cálculos foram realizados para a identificação do ponto crítico, essa etapa do projeto detalhado apresentará as especificações ou cálculos que foram utilizados para seleção dos equipamentos, embasando as decisões tomadas para cada sistema da bancada.

### 4.1 DEFINIÇÃO DOS SISTEMAS DO LAYOUT

Com a concepção da bancada definida, o produto foi separado por sistemas ou conjuntos, que representam as funções na bancada de iogurte. Para melhor entendimento, o desenho dos sistemas foi destacado com cores diferentes, como mostra a Figura 34.

Figura 34: Definição dos sistemas da bancada.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

Essa separação facilita detalhamento e explicação de cada item selecionado e dimensionado. No total são nove sistemas: pré-tratamento do leite; tubulação do produto; tanques de processo; sistema de aquecimento; sistema de resfriamento; sistema de transferência; sistema de envase; sistema elétrico; e estrutura.

## 4.2 NORMAS TÉCNICAS

Com base nos dados disponibilizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), as normas foram definidas pelo tipo de equipamento e mercado, principalmente pela segurança exigida em equipamentos industriais, conforme abaixo.

- **ABNT NBR 15635:2015** - Serviços de alimentação - Requisitos de boas práticas higiênico-sanitárias e controles operacionais essenciais. Esta Norma especifica os requisitos de boas práticas e dos controles operacionais essenciais a serem seguidos por estabelecimentos que desejam comprovar e documentar que produzem alimentos em condições higiênicos sanitários adequados para o consumo;
- **ABNT NBR ISO 22000:2006** - Versão Corrigida: 2006 - Sistemas de gestão da segurança de alimentos - Requisitos para qualquer organização na cadeia produtiva de alimentos. Esta Norma especifica requisitos para o sistema de gestão da segurança de alimentos, onde uma organização na cadeia produtiva de alimentos precisa demonstrar sua habilidade em controlar os perigos, a fim de garantir que o alimento está seguro no momento do consumo humano;
- **ISO/TR 17671-3** - Solda - Recomendações para a soldagem de materiais metálicos - Parte 3: soldagem a arco de aços inoxidáveis;
- **ASTM A 480** – Define os acabamentos mais utilizados nos aços inoxidáveis;
- **NR-12** - define referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção visando garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores;
- **NR-17** - Esta Norma Regulamentadora visa a estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente;
- **NR-10** - Esta Norma Regulamentadora fixa as condições mínimas exigíveis para garantir a segurança dos empregados que trabalham em instalações elétricas, em suas diversas etapas, incluindo projeto, execução, operação, manutenção, reforma e ampliação e, ainda, a segurança de usuários e terceiros.

### 4.3 DETALHAMENTO DO LAYOUT DEFINITIVO

Nessa etapa serão apresentadas detalhadamente as soluções encontradas para a seleção dos equipamentos. Os principais pontos levados em conta foram o dimensionamento ideal e o custo do equipamento, pois nos dias de hoje, qualquer empresa deve procurar soluções com baixo custo sem comprometer a qualidade e o atendimento ao cliente, porém permitindo que a empresa obtenha retornos acima da média (PORTER. 1986).

#### 4.1.1 Conjunto Pré-Tratamento do Leite

Os três equipamentos que fazem parte do pré-tratamento do leite são a centrífuga, o homogeneizador e o trocador de calor a placas.

Por ser um item com maiores restrições de fabricação, a centrífuga foi o equipamento tomado como ponto de partida para a definição dos demais. O equipamento de menor vazão encontrado no mercado foi é fornecido pela empresa JC Centrífugas. Enquanto os concorrentes oferecem centrífugas com vazão mínima de 3 m<sup>3</sup>/h, a JC Centrífugas oferece um equipamento que trabalha com vazão entre 0,30 a 0,35 m<sup>3</sup>/h.

A produção de 50 litros de iogurte não exige necessariamente uma vazão de 50 litros por hora saindo da centrífuga, o que provocaria uma demora no processo. Também não é recomendado trabalhar com vazões muito altas, uma vez que todos os outros equipamentos precisarão se adequar a essa vazão, elevando o custo da bancada sem necessidade.

Para isso foi utilizada a vazão do equipamento em 0,3 m<sup>3</sup>/h, o qual determina também o tempo do pré-tratamento do leite, onde:

$$\begin{aligned} 300 \text{ litros} &\rightarrow 3600 \text{ s} \\ 50 \text{ litros} &\rightarrow t \text{ s} \\ t &= 600 \text{ segundos} = 10 \text{ minutos} \end{aligned}$$

Portanto, o tempo necessário para fazer o pré-tratamento do leite será de aproximadamente 10 minutos, já que é preciso considerar também as perdas dos

outros equipamentos e tubulações. Devido a essas perdas, é preciso aumentar o volume inicial de leite, automaticamente alterando o tempo calculado.

No homogeneizador, foram encontradas diversas vazões, mas como o processo do pré-tratamento será contínuo, tanto o homogeneizador como a bomba de transferência precisam ser regulados com a vazão de 0,3 m<sup>3</sup>/h. Caso o processo não fosse realizado de forma contínua, o tempo de pré-tratamento seria superior a 20 minutos, sendo necessária uma regulagem diferente no sistema de bombeamento do leite. Dessa forma, o equipamento produzido pela empresa Arte Peças Homogeneizadores, foi selecionado de acordo com a centrífuga de leite.

Diferente dos equipamentos anteriores, em que o regime de trabalho varia somente de acordo com a vazão, o trocador de calor a placas, fabricado pela empresa Tecnicofial, pode ser montado de acordo com o regime de trabalho desejado, onde as variáveis são as vazões e temperaturas dos fluidos.

A partir dessas duas variáveis se tem a quantidade de calor trocada e o modelo e quantidade de placas utilizadas, as quais irão determinar o volume interno do trocador, a perda volumétrica e a perda de carga para dimensionamento das bombas hidráulicas.

Como já definido no projeto conceitual, o trocador de calor será de dois estágios, sendo o primeiro para aquecer o leite até a temperatura de 60°C para a padronização e homogeneização do leite. Depois do homogeneizador, o produto retorna ao segundo estágio do trocador de calor, onde deverá aquecer até uma temperatura próxima a temperatura de pasteurização. Nesse ponto, foi definida a temperatura de 85°C, uma vez que irá demorar aproximadamente 10 minutos para que todo o volume de leite esteja no fermentador, e para uma pasteurização balanceada, o aquecimento até 90°C será feito posteriormente.

Além da temperatura, a vazão do leite será a mesma já definida anteriormente (0,3 m<sup>3</sup>/h), e como o sistema é contínuo, essa vazão será a mesma nos dois estágios. O aquecimento será realizado através da troca de calor com água quente, na temperatura e vazão indicadas pelo fabricante do equipamento.

As principais características do trocador de calor são: Trocador de calor a placas de dois estágios de aquecimento modelo TTRLH030300. Constituído de placas de aperto revestidas em aço inoxidável AISI304 e placas corrugadas de aço inoxidável AISI316L. Vazão de 300 litros/hora com regime de trabalho de 05-60/55-85 no leite. A água deverá entrar no trocador em contra fluxo do segundo estágio até

o primeiro, com temperatura de entrada de 90°C e vazão de 1 m<sup>3</sup>/h. Perda volumétrica de 0,65 litros.

Com esses dados, foi montada a Tabela 3, que apresenta de forma resumida todas as informações dos equipamentos do pré-tratamento.

Tabela 3: Características dos equipamentos do pré-tratamento.

| Equipamento       | Vazão (l/h) | Potência (CV) | Perda Volumétrica (l) | Perda de Carga (mcA) | Fornecedor     |
|-------------------|-------------|---------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| Padronizadora     | 300         | 0,75          | 0,5                   | 0,8                  | JC Centrífugas |
| Homogeneizador    | 300         | 3             | 0,8                   | 1                    | Arte Peças     |
| Trocador de calor | 300         | -             | 0,65                  | 0,1                  | Tecniconfial   |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

#### 4.1.2 Conjunto Tubulação de Produto

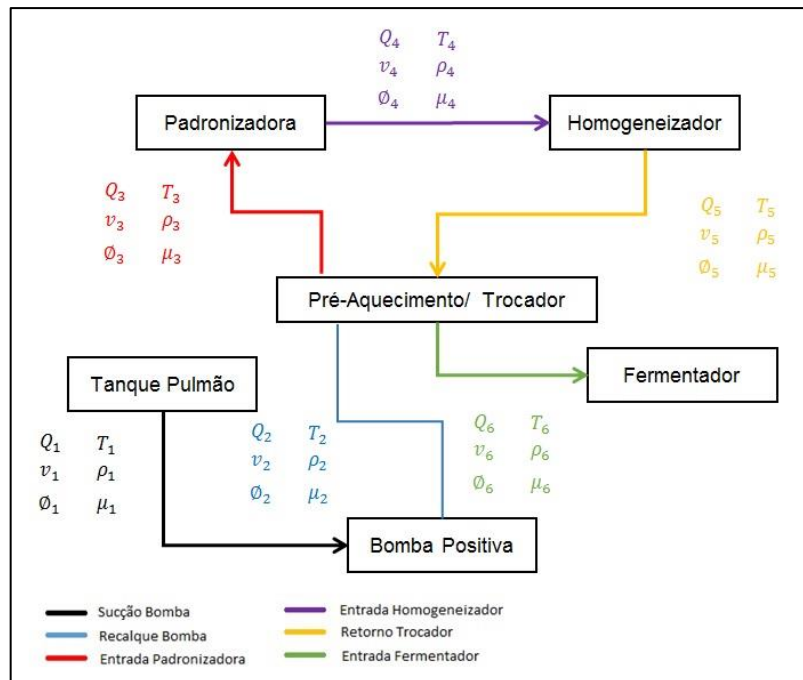
A tubulação é composta por tubos com paredes polidas internamente e externamente, curvas, conexões, válvulas tipo borboleta e válvula direcional, todos construídos em aço inoxidável AISI304, de acordo com a montagem no desenho 3D.

Com esse desenho será possível calcular a perda de carga na sucção e no recalque para o dimensionamento das bombas de transferência, a perda volumétrica na tubulação para dimensionamento dos tanques, e definir o tipo de escoamento. O ideal é que, para o iogurte, esse escoamento seja laminar, pois o coágulo formado durante a fermentação é sensível ao tratamento mecânico (BYLUND, 1995), diminuindo os riscos de dessoragem, mesmo que os estabilizantes utilizados no iogurte auxiliem para que ela não ocorra (PANESAR; MARWAHA, 2014).

Antes de tudo, é necessário saber quais as propriedades dos fluidos e quais as temperaturas em cada fase do escoamento. A Figura 35 mostra algumas informações necessárias para esses cálculos.



Figura 35: Diagrama das seções da tubulação do pré-tratamento.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

Para delimitar se o escoamento é laminar ou turbulento, foi calculado então o Número de Reynolds para cada seção, utilizando-se da equação conforme Figura 36:

Figura 36: Fórmula de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho v \phi}{\mu}$$

Fonte: BRUNETTI, 2008, p. 69.

Sabendo que a vazão é igual em todas as seções, temos:

Tabela 4: Características do fluido por seção.

| Seção                       | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $Q$ (m <sup>3</sup> /h)     | 0,3    | 0,3    | 0,3    | 0,3    | 0,3    | 0,3    |
| $v$ (m/s)                   | 0,0833 | 0,2006 | 0,2006 | 0,2006 | 0,2006 | 0,2006 |
| $\phi$ (mm)                 | 35,7   | 23     | 23     | 23     | 23     | 23     |
| $T$ (°C)                    | 5      | 5      | 60     | 60     | 60     | 85     |
| $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> ) | 1024,7 | 1024,7 | 1005   | 1005   | 1005   | 990    |
| $\mu$ (Pa.s)                | 0,002  | 0,002  | 0,0011 | 0,0011 | 0,0011 | 0,0012 |
| Re                          | 1523   | 2364   | 4215   | 4215   | 4215   | 3795   |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

Comparando os números de Reynolds nas diferentes seções, percebemos que a seção 1 apresenta um escoamento laminar. Na seção 2 temos um escoamento de transição, considerado um ponto crítico, já que não é possível identificar se ele é laminar ou turbulento. Nos demais o escoamento é turbulento, o que é favorável para o leite que está sendo aquecido, pois dificulta a incrustação nas paredes da tubulação.

Para as perdas de carga distribuídas e singulares nas tubulações, são facilmente encontradas tabelas com valores de referência para o aço zincado e ferro fundido, mas não de aço inoxidável. O diagrama de Moody, que pode ser visualizado no ANEXO A, é utilizado para calcular as perdas distribuídas. Para as perdas singulares, foi utilizado um programa online desenvolvido pela empresa alemã *Software-Factory* chamado *pressure-drop*.

Para verificar a acuracidade das informações fornecidas pelo *pressure-drop*, foi realizado um cálculo manual utilizando a equação da Figura 37, com valores de referência da seção 2, com 1 metro de tubo inoxidável de 1" de diâmetro e 1,2mm de parede, com vazão de 300 l/h de leite a 5°C.

Figura 37: Fórmula da perda de carga distribuída.

$$h_f = f \cdot \frac{L \cdot v^2}{\varnothing_H \cdot 2 \cdot g}$$

Fonte: BRUNETTI, 2008, p. 173.

O fator de fricção  $f$ , foi definido através do diagrama de Moody e a velocidade através da fórmula da continuidade.

Figura 38: Fórmula da velocidade média.

$$v_m = \frac{Q}{A}$$

Fonte: BRUNETTI, 2008, p. 73.

Assim temos:

$$h_f = 0,0315 \cdot \frac{1 \cdot (0,201)^2}{0,023 \cdot 2,9,81} = 0,0028m$$

Em comparação, a informação do *pressure-drop* é apresentada na Figura 39.

Figura 39: Cálculo realizado no site *pressure-drop*.

The screenshot shows the 'Pressure Drop Online-Calculator' interface. It is divided into several sections:

- Element of pipe:** Group: Straight pipes, Subgroup: circular. Diameter of pipe D: 23 mm, Length of pipe L: 1 m. Pipe roughness: 0.002 mm.
- Flow medium:** Flow medium: Leite 5 °C, Condition: liquid (selected). Volume flow: 0.3 m³/h, Weight density: 1024.7 kg/m³, Dynamic Viscosity: 2 mPa s.
- Additional data for gases:** Pressure (inlet, abs.): bar, Temperature (inlet): °C, Temperature (outlet): °C.
- Calculation output:**
  - Flow medium: Leite 05 °C / liquid
  - Volume flow: 0.3 m³/h
  - Weight density: 1024.7 kg/m³
  - Dynamic Viscosity: 2 mPa s
  - Element of pipe: circular
  - Dimensions of element: Diameter of pipe D: 23 mm, Length of pipe L: 1 m
  - Velocity of flow: 0.2 m/s
  - Reynolds number: 2364
  - Velocity of flow 2: -
  - Reynolds number 2: -
  - Flow: turbulent
  - Absolute roughness: 0.002 mm
  - Pipe friction number: 0.05
  - Resistance coefficient: 2.04
  - Resist. coeff. branching pipe: -
  - Press drop branch pipe: -
  - Pressure drop: 0.42 mbar
  - 0 bar

Fonte: Feito pelo próprio autor.

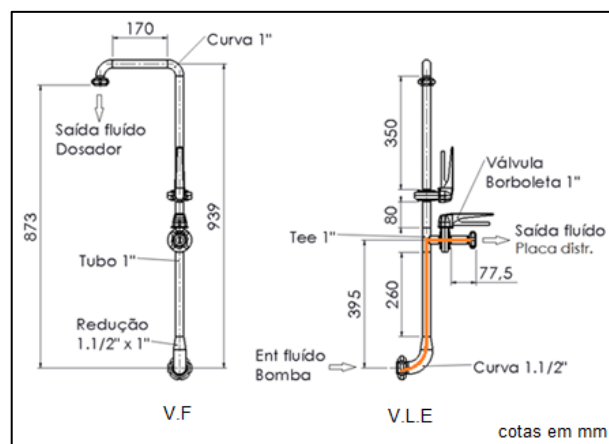
No *pressure-drop* a perda de carga em 1 m de tubo inoxidável de 1" é de 0,42mbar, ou 0,0048m de coluna de água. A diferença entre o cálculo manual e o do programa é justamente devido ao fator de fricção, pois o *presssure-drop* considera o regime como turbulento, utilizando a relação  $\epsilon/\delta$  do diagrama de Moody.

Na situação estudada, o Número de Reynolds calculado foi de 2.364, e segundo White (2011), caso o Número de Reynolds esteja entre 2.000 e 2.400, o escoamento é considerado de transição. Essa foi a informação utilizada para o cálculo manual. Foi então analisado o diagrama de Moody, para delimitar o valor  $f$ , que nessa situação (Re 2364), está localizado na área sombreada. O mesmo autor ressalta que a área sombreada no diagrama de Moody indica a faixa onde ocorre a transição do escoamento laminar para o turbulento, no qual não existem valores confiáveis de  $f$ , acarretando assim a diferença observada no cálculo manual em comparação com o cálculo do *pressure-drop*. Os cálculos das seções 1, 3, 4, 5 e 6 não tiveram diferença nos resultados entre o cálculo manual e no *pressure-drop*.

O *pressure-drop* irá auxiliar principalmente nas perdas de carga singulares dos elementos da tubulação, como válvulas, curvas e tees. A seção 1 é a de sucção da bomba, e como a bomba está afogada, é o mesmo que considerar que a bomba está na saída do tanque, portanto não há a necessidade de calcular a perda de carga.

Na seção 2 existem dois caminhos, o primeiro para o processo de tratamento leite e o segundo para o envase do iogurte, conforme apresentado na Figura 40.

Figura 40: Tubulação 1 da seção 2.

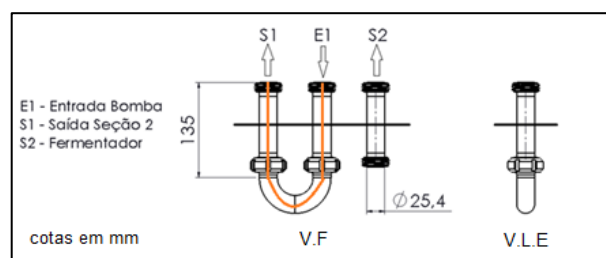


Fonte: Feito pelo próprio autor.

Torna-se então possível calcular as perdas de carga na tubulação usando o *pressure-drop*, tanto para o pré-tratamento do leite como para o envase do iogurte. Também aproveita-se para calcular o volume interno da tubulação, para calcular as perdas volumétricas.

Ainda na seção 2, a placa de distribuição direciona o produto ou para a tubulação ligada ao trocador de calor ou diretamente para o fermentador, sem utilizar as máquinas de processo. Nesse momento, é a seção 2 que interessa.

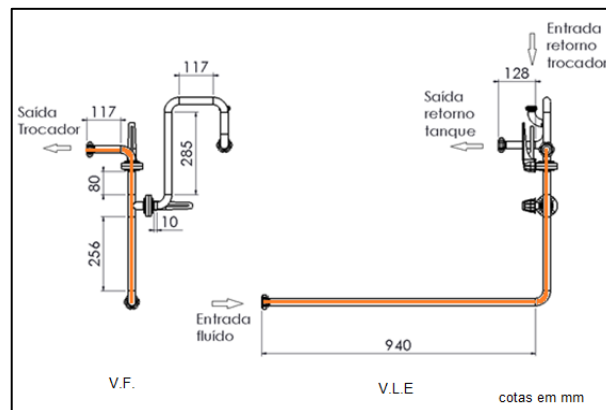
Figura 41: Tubulação 2 da seção 2.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

A tubulação antes do trocador terminando a seção 2 também possui outro caminho de retorno ao tanque pulmão. Há ainda o retorno feito através da válvula de retorno automática.

Figura 42: Tubulação 3 da seção 2.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

As figuras 40, 41 e 42 acima possuem destaques na cor alaranjada, sinalizando a seção 2. A Tabela 5 apresenta os valores de perda de carga calculados para essa seção.

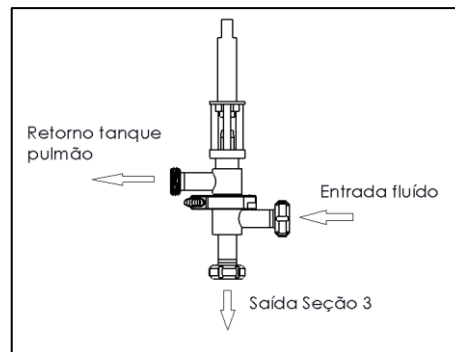
Tabela 5: Cálculo das perdas de carga e volume da seção 2.

| Pré-Tratamento do Leite 5°C - Seção Tubulação 2 - Q=300l/h |        |     |        |        |                |                 |
|--|--------|-----|--------|--------|----------------|-----------------|
| Componentes  | Quant. | Un. | hf (m) | Vs (l) | Pc (m)         | Vc (l)          |
| Curva inox 90° 1.1/2"                                      | 1,00   | pç  | 0,0001 | 0,0860 | 0,0001         | 0,0860          |
| Redução concêntrica inox 1.1/2" x 1"                       | 1,00   | pç  | 0,0003 | 0,0270 | 0,0003         | 0,0270          |
| Tubo inox 1"   | 2,08   | mt  | 0,0042 | 0,4150 | 0,0087         | 0,8636          |
| Curva inox 90° 1"  | 4,00   | pç  | 0,0017 | 0,0230 | 0,0068         | 0,0920          |
| Tee inox 1" saída lateral                                  | 1,00   | pç  | 0,0032 | 0,0440 | 0,0032         | 0,0440          |
| Tee inox 1" passagem direta                                | 1,00   | pç  | 0,0021 | 0,0440 | 0,0021         | 0,0440          |
| Válvula borboleta inox 1"                                  | 2,00   | pç  | 0,0021 | 0,0060 | 0,0042         | 0,0120          |
| <b>TOTAL</b>   |        |     |        |        | <b>0,02544</b> | <b>1,168615</b> |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

Após a seção 2, o leite entra no trocador de calor e é aquecido até 60°C. Após aquecido ele sai do trocador e passa pela válvula de retorno automático.

Figura 43: Válvula de retorno automático.



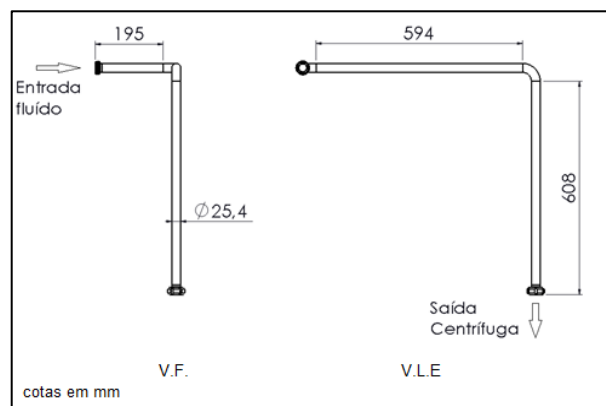
Fonte: Feito pelo próprio autor.

Essa válvula funciona da seguinte maneira: se o leite que está saindo do trocador não estiver na temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$ , um sensor comanda sua bobina elétrica redirecionando o fluido para retornar ao tanque pulmão até que a temperatura se estabilize. Assim que a temperatura é estabilizada, o leite é transferido para os processos seguintes, centrifugação e homogeneização. Geralmente isso ocorre no início do processo, até que as temperaturas estejam estabilizadas.

A perda de carga da válvula no sentido normal de fluxo é de  $0,21\text{m}$ , e no sentido de retorno é de  $0,29\text{m}$  de coluna d'água.

A seção 3 é quando o leite está a  $60^{\circ}\text{C}$ , depois do trocador e antes de entrar na centrífuga ou padronizadora, conforme a Figura 44.

Figura 44: Tubulação da seção 3.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

A Tabela 6 apresenta as perdas de carga calculadas para a seção 3.

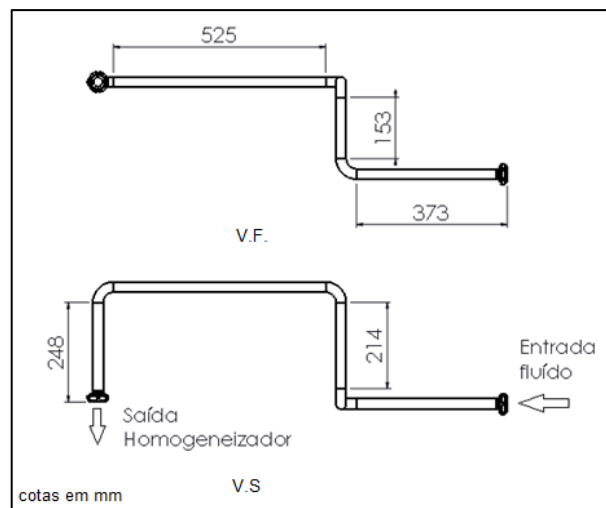
Tabela 6: Cálculo das perdas de carga e volume da seção 3.

| <b>Pré-Tratamento do leite 60°C - Seção tubulação 3 - Q=300l/h</b> |               |            |               |               |                |                 |
|--|---------------|------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|
| <b>Componentes</b>   | <b>Quant.</b> | <b>Un.</b> | <b>hf (m)</b> | <b>Vs (l)</b> | <b>Pc (m)</b>  | <b>Vc (l)</b>   |
| Tubo inox 1"   | 1,40          | m          | 0,0035        | 0,4150        | 0,0049         | 0,5798          |
| Curva inox 90° 1"  | 2,00          | pç         | 0,0014        | 0,0230        | 0,0028         | 0,0460          |
| <b>TOTAL</b>   |               |            |               |               | <b>0,00769</b> | <b>0,625755</b> |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

Na seção 4, depois da centrífuga e antes do homogeneizador, ainda considera-se a temperatura de 60°C.

Figura 45: Tubulação da seção 4.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

A Tabela 7 apresenta as perdas de carga calculadas para a seção 4.

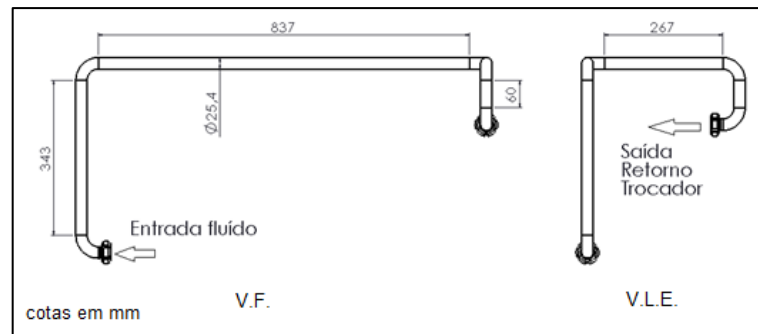
Tabela 7: Cálculo das perdas de carga e volume da seção 4.

| <b>Pré-Tratamento do leite 60°C - Seção tubulação 4 - Q=300l/h</b> |               |            |               |               |                 |                 |
|--|---------------|------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| <b>Componentes</b>   | <b>Quant.</b> | <b>Un.</b> | <b>hf (m)</b> | <b>Vs (l)</b> | <b>Pc (m)</b>   | <b>Vc (l)</b>   |
| Tubo inox 1"   | 1,51          | m          | 0,0035        | 0,4150        | 0,0053          | 0,6279          |
| Curva inox 90° 1"  | 4,00          | pç         | 0,0014        | 0,0230        | 0,0056          | 0,0920          |
| <b>TOTAL</b>   |               |            |               |               | <b>0,010896</b> | <b>0,719895</b> |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

A seção 5 foi delimitada antes de o produto retornar ao trocador de calor, já padronizado e homogeneizado.

Figura 46: Tubulação da seção 5.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

A Tabela 8 apresenta as perdas de carga calculadas para a seção 5.

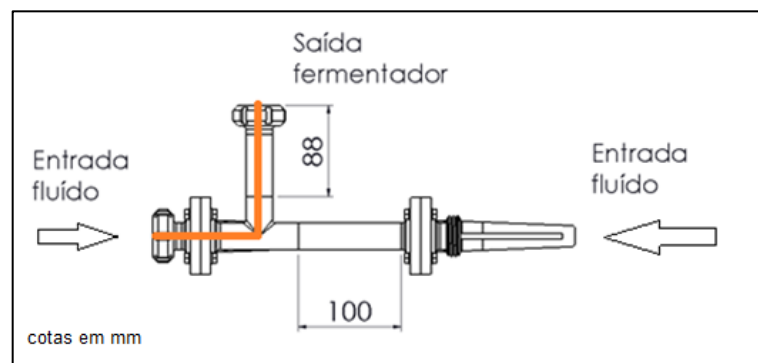
Tabela 8: Cálculo das perdas de carga e volume da seção 5.

| Pré-Tratamento do leite 60°C - Seção tubulação 5 - Q=300l/h |        |     |        |        |                 |                 |
|---|--------|-----|--------|--------|-----------------|-----------------|
| Componentes   | Quant. | Un. | ks (m) | Vs (l) | Pc (m)          | Vc (l)          |
| Tubo inox 1"  | 1,51   | m   | 0,0035 | 0,4150 | 0,0053          | 0,6254          |
| Curva inox 90° 1"   | 5,00   | pç  | 0,0014 | 0,0230 | 0,0070          | 0,1150          |
| <b>TOTAL</b>  |        |     |        |        | <b>0,012275</b> | <b>0,740405</b> |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

A 6ª e última seção do pré-tratamento do leite é antes de o produto entrar no fermentador, passando pela esquerda e saindo no fermentador. A entrada de fluido que fica no lado direito da Figura 47 é para quando o produto passa pela placa de distribuição e é transferido diretamente para o fermentador, sem passar pelos processos intermediários.

Figura 47: Tubulação da seção 6.



Fonte: Feito pelo próprio autor.



Na seção 6 a temperatura do leite está a 85°C, e as perdas estão detalhadas na Tabela 9.

Tabela 9: Cálculo das perdas de carga e volume da seção 6.

| <b>Pré-Tratamento do leite 85°C - Seção tubulação 6 - Q=300l/h</b> |               |            |               |               |                 |                |
|--|---------------|------------|---------------|---------------|-----------------|----------------|
| <b>Componentes</b>   | <b>Quant.</b> | <b>Un.</b> | <b>ks (m)</b> | <b>Vs (l)</b> | <b>Pc (m)</b>   | <b>Vc (l)</b>  |
| Tubo inox 1"   | 0,19          | m          | 0,0035        | 0,4150        | 0,0007          | 0,0780         |
| Tee inox 1" saída lateral  | 1,00          | pç         | 0,0031        | 0,0440        | 0,0031          | 0,0440         |
| Válvula borboleta inox 1"  | 1,00          | pç         | 0,0021        | 0,0060        | 0,0021          | 0,0060         |
|  |               |            |               | <b>TOTAL</b>  | <b>0,005858</b> | <b>0,12802</b> |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

Com as informações de toda a tubulação existente, temos assim o valor total das perdas e do volume conforme Tabela 10.

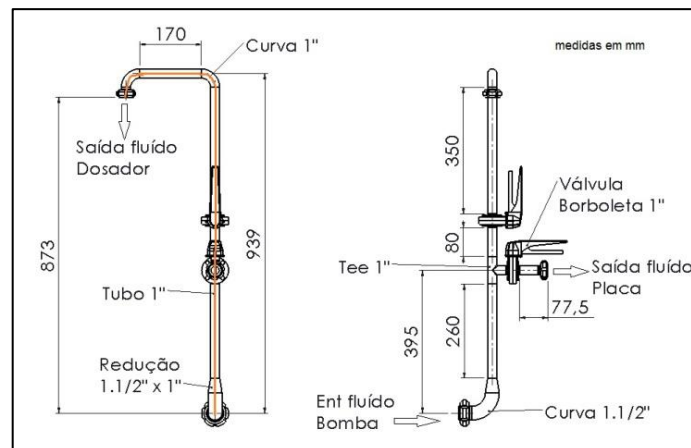
Tabela 10: Perdas de carga e volume totais da etapa de pré-tratamento.

| <b>Perdas totais Pré-Tratamento do leite</b>   |        |        |
|--|--------|--------|
| Perdas de carga total distribuída e singulares | 0,2722 | mca    |
| Volume interno total da tubulação              | 3,4827 | litros |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

Além do pré-tratamento do leite, podemos calcular a perda de carga e volumétrica no envase do iogurte, sistema que pode ser observado na Figura 48.

Figura 48: Tubulação da seção de envase do iogurte.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

A Tabela 11 apresenta as características do iogurte no envase, a 10°C.

Tabela 11: Características do iogurte no envase.

| Características do iogurte no envase a 10°C |           |             |          |                             |              |     |
|---|-----------|-------------|----------|-----------------------------|--------------|-----|
| $Q$ (m <sup>3</sup> /h)                     | $v$ (m/s) | $\phi$ (mm) | $T$ (°C) | $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> ) | $\mu$ (Pa.s) | Re  |
| 0,3   | 0,200573  | 23          | 10       | 1066                        | 0,025        | 197 |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

A vazão é a mesma da bomba, a temperatura é a de envase, e com o  $\phi$  é possível calcular a velocidade, como visto anteriormente. Chandan (2006) afirma que a viscosidade dinâmica para o iogurte é na ordem de 15,0 à 25,0 cP, portanto pensando no pior caso, considerou-se a maior viscosidade. Já a densidade, pode ser calculada com os componentes principais sabendo seu peso específico, conforme a equação da Figura 49.

Figura 49: Fórmula para o cálculo da densidade do iogurte.

$$\rho = \frac{100}{\frac{\% \text{ gordura}}{0,93} + \frac{\% \text{ NMS}}{1,58} + \frac{\% \text{ H2O}}{1} + \frac{\% \text{ suco}}{1,1}}$$

Fonte: CHANDAN, 2006, p. 123.

Assim temos:

$$\rho = \frac{100}{\frac{3}{0,93} + \frac{13}{1,58} + \frac{66}{1} + \frac{18}{1,1}} = 1,066 \frac{g}{ml} = 1066 \frac{kg}{m^3}$$

Com esses valores é possível calcular a perda de carga no envase do iogurte.

Tabela 12: Cálculo da perda de carga e de volume do iogurte no envase.

| Envase iogurte 10°C - Seção tubulação 1 - Q=300l/h |        |     |        |        |               |               |
|--|--------|-----|--------|--------|---------------|---------------|
| Componentes  | Quant. | Un. | ks (m) | Vs (l) | Pc (m)        | Vc (l)        |
| Curva inox 90° 1.1/2"                              | 1,00   | pç  | 0,0007 | 0,0860 | 0,0007        | 0,0860        |
| Redução concêntrica inox 1.1/2" x 1"               | 1,00   | pç  | 0,0050 | 0,0270 | 0,0050        | 0,0270        |
| Tubo inox 1"                                       | 0,86   | m   | 0,0303 | 0,4150 | 0,0261        | 0,3569        |
| Curva inox 90° 1"                                  | 2,00   | pç  | 0,0028 | 0,0230 | 0,0056        | 0,0460        |
| Tee inox 1" passagem direta                        | 1,00   | pç  | 0,0040 | 0,0440 | 0,0040        | 0,0440        |
| Válvula borboleta inox 1"                          | 1,00   | pç  | 0,0022 | 0,0060 | 0,0022        | 0,0060        |
| <b>TOTAL</b>                                       |        |     |        |        | <b>0,0436</b> | <b>0,5659</b> |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

### 4.1.3 Tanques de Processo

O sistema possui dois tanques utilizados para a fabricação do iogurte, o tanque pulmão e o tanque fermentador ou iogurteira. Os dois são construídos em aço inoxidável AISI 304 e fabricados pela empresa Tecnicofial, e seu dimensionamento foi definido com base no objetivo da bancada, que é fazer 50 litros de iogurte.

O volume do tanque pulmão foi definido adicionando as perdas volumétricas dos equipamentos e tubulações ao volume desejado de iogurte, ficando assim um volume total de 55,43 litros. Uma parte desse volume irá escoar devido a gravidade, já que está acima do nível do fermentador, ficando ao final um volume de aproximadamente 54,45 litros. O volume útil do tanque então foi considerado em 55 litros, mais 10% para que o leite não fique muito próximo da borda superior, podendo transbordar.

Quando o leite entrar no fermentador, a 85°C, a água na camisa já deve estar aquecida a essa temperatura para não desperdiçar o aquecimento feito no trocador de calor. Quando todo o leite estiver no fermentador, ele será aquecido até 90°C. Essa temperatura será mantida por até 5 minutos, para que seja feita a pasteurização.

Como a densidade do leite a 85°C é de 957,5 kg/m<sup>3</sup> e o volume é de 50 litros, a massa é igual a 47,875 kg. Sabendo que o calor específico do leite na mesma temperatura é igual a 4,074 kJ/(kg\*K), é possível calcular a quantidade de calor para aquecer o leite até 90°C, com isso determinando o tempo que esse processo levará, sabendo da potência da resistência elétrica.

Figura 50: Fórmula da quantidade de calor.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Fonte: ÇENGEL, 2002, p. 12.

Assim temos:

$$Q_{85^{\circ}\text{C}} = 47,875 \times 4,074 \times (5) = 975,21 \text{ kJ}$$

Young e Freedman (2008) afirmam que em máquinas térmicas a quantidade de calor é igual ao trabalho, colocando a potência como um trabalho realizado pelo intervalo de tempo.

Figura 51: Fórmula da potência.

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{Q}{t} \therefore t = \frac{Q}{P}$$

Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2008, p. 198.

Assim temos:

$$t = \frac{975,21kJ}{\frac{4kJ}{s}} = 243,8s = 4,06min$$

Durante o aquecimento o agitador do fermentador estará em movimento para distribuir a temperatura. Após 4 minutos de aquecimento, chegando a 90°C, o sensor manterá essa temperatura por 5 minutos. Quando a temperatura baixar 1°C, o controlador acionará a resistência até chegar a temperatura desejada novamente.

O tempo aproximado que a resistência ficará ligada para retomar a temperatura é calculado da mesma forma que anteriormente, apenas alterando as variáveis.

$$Q_{90^{\circ}C} = 47,77 \times 4,074 \times (1) = 194,61kJ$$

$$t = \frac{194,61kJ}{\frac{4kJ}{s}} = 48,65s \cong 50s$$

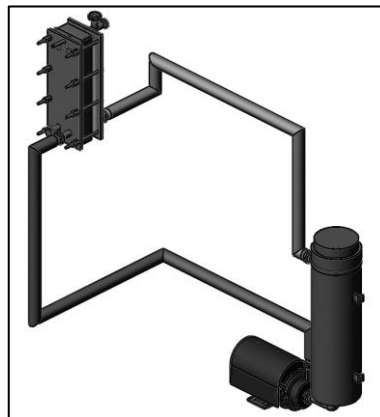
Após os 5 minutos de retardo para a pasteurização do leite, o mesmo será resfriado com água gelada através da camisa, pelo sistema de resfriamento. O agitador continuará funcionando para aumentar a convecção, em contra fluxo com a água gelada. Esse resfriamento será até a temperatura de fermentação que é de 42°C.

Durante a fermentação o agitador fica desligado. Passado o tempo de fermentação o agitador é novamente ligado, para resfriar e misturar os sabores. Depois é feito o envase do iogurte no dosador.

#### 4.1.4 Sistema de Aquecimento

Esse sistema é composto por um tanque aquecido por resistências elétricas, tubulação e bomba de transferência. A água quente gerada por esse sistema é utilizada como fluido quente no trocador de calor. O fluido entra em contracorrente com o leite, e para isso ele entra pelo segundo estágio do trocador e sai pelo primeiro, retornando ao tanque de aquecimento, em um ciclo fechado.

Figura 52: Sistema de aquecimento.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

A tubulação e o tanque são construídos em aço inoxidável AISI304 e isolados tanto para diminuir a perda, como para se adequar a norma NR12.

O tanque tem capacidade volumétrica de 6,2 litros e resistências com capacidade total de 4kW. Durante o trabalho ele terá dois tipos de aquecimento, o inicial, quando sistema está desligado, e o de reaquecimento da água que volta do trocador. Primeiro a água será aquecida de 20°C até 90°C, temperatura para entrar no trocador. Essa água, conforme informações do fornecedor, sairá do equipamento a 64,8°C, tendo uma diferença de 25,2°C para aquecer. Para obter o melhor rendimento do trocador, a vazão da água quente deve ser de 1 m<sup>3</sup>/h.

Com isso é possível calcular o tempo de aquecimento antes e durante o processo.

$$Q_{H_2O\ inicial} = 6,2 \times 4,191 \times (70) = 1818,89\text{kJ}$$

$$t = \frac{1818,89\text{kJ}}{4\text{kJ/s}} = 454,72\text{s} = 7,58\text{min}$$

Esse será o tempo mínimo necessário de aquecimento da água para então começar o processo de troca de calor. Para o próximo cálculo, é preciso entender que o volume que sai é o mesmo que entra no tanque, sabendo que temperatura de 90°C muda a densidade e o calor específico da água. A bomba transfere 1000 litros de água em 1 hora, para definir o volume transferido em 1 segundo temos:

$$3600\text{ seg} \rightarrow 1000\text{ l}$$

$$1\text{ seg} \rightarrow V\text{ l}$$

$$V = 0,28\text{ litros}$$

Em 1 segundo 0,28 litros são transferidos, e esse volume precisa t segundos para ser aquecido. Considerando a vazão, onde os 1000 litros demoram 1 hora para serem transferidos, o tempo t em segundos para transferir os 6,2 litros do tanque gerador de água quente é de:

$$1000\text{ litros} \rightarrow 3600\text{ s}$$

$$6,2\text{ litros} \rightarrow t\text{ s}$$

$$t = 22,32\text{ segundos}$$

Com o volume e o tempo, agora é possível achar a quantidade de calor e a potência necessária para aquecer essa quantidade de água.

$$Q_{H_2O\ trabalho} = 0,28 \times 4,195 \times (25,2) = 29,365\text{kJ}$$

$$P = \frac{29,365\text{kJ}}{22,32\text{s}} = 1,32\text{kW}$$

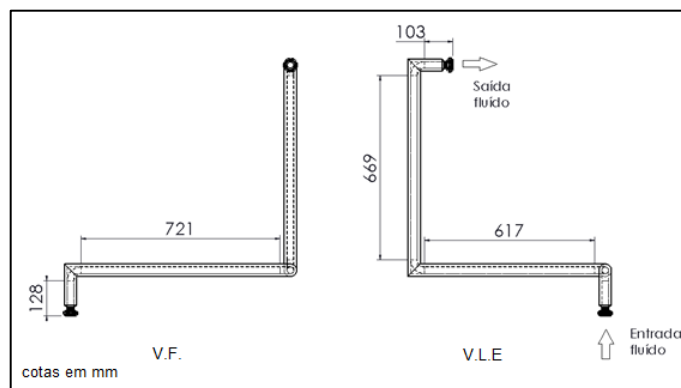
Percebe-se que é necessária uma resistência com no mínimo 1,32kW de potência. Dessa forma a resistência ficaria ligada durante todo o processo. Como essa resistência é controlada por um sensor no leite, ao baixar a temperatura o controlador aciona a resistência, desligando automaticamente conforme a temperatura do leite aumenta. O ideal é que a resistência tenha uma potência maior,

diminuindo assim seu tempo de trabalho, aumentando sua vida útil, além de diminuir o tempo de aquecimento no início do processo. Por recomendações do fabricante, foi utilizada uma resistência de 4kW. Neste novo cenário, foi calculado o tempo mínimo que a resistência irá demorar para reaquecer a água.

$$t = \frac{29,365kJ}{4kJ/s} = 7,34s$$

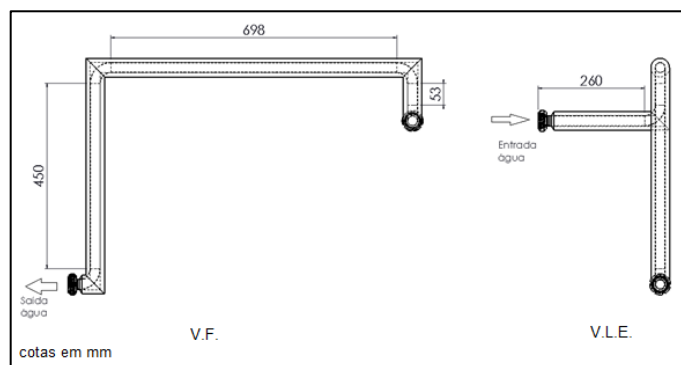
Como a bomba é ligada na saída do tanque, ela precisa ter força suficiente para transferir a água do trocador e retornar ao tanque de aquecimento garantindo os 1000 litros/hora no trocador. Nas Figuras 53 e 54, estão os desenhos para os cálculos de perda de carga, utilizando as características da água.

Figura 53: Tubulação 1 do sistema de aquecimento.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

Figura 54: Tubulação 2 do sistema de aquecimento.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

A Tabela 13 apresenta as perdas de carga calculadas.

Tabela 13: Perda de carga e de volume no sistema de aquecimento.

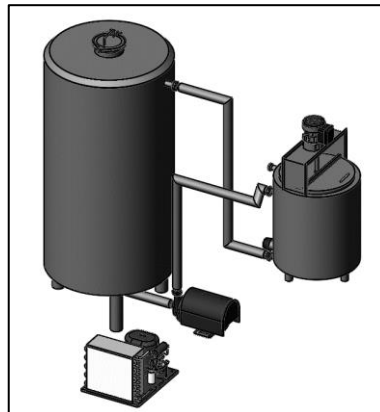
| Aquecimento água - Seção tubulação - Q=1000l/h |        |     |        |        |               |               |
|--|--------|-----|--------|--------|---------------|---------------|
| Componentes                                    | Quant. | Un. | ks (m) | Vs (l) | Pc (m)        | Vc (l)        |
| Tubo inox 1"                                   | 3,70   | m   | 0,0270 | 0,4150 | 0,0999        | 1,5355        |
| Curva inox 90° 1"                              | 8,00   | pç  | 0,0102 | 0,0230 | 0,0816        | 0,1840        |
| <b>TOTAL</b>                                   |        |     |        |        | <b>0,1815</b> | <b>1,7195</b> |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

#### 4.1.5 Sistema de Resfriamento

Esse sistema é composto por um tanque isotérmico construído em aço inoxidável AISI304 e tubulações isoladas termicamente. Também faz parte do conjunto a unidade condensadora para resfriamento da água utilizada no tanque fermentador que resfria o leite no primeiro processo e posteriormente, resfria o iogurte.

Figura 55: Sistema de resfriamento.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

No primeiro processo de resfriamento, a temperatura do leite deverá baixar de 90°C para 42°C, uma diferença de 48°C. Na segunda etapa, o iogurte irá baixar de 42°C para no máximo 8°C, com diferença de 34°C.

O tanque isotérmico foi definido a partir de três conceitos: economia, simplicidade e tempo disponível. Após o resfriamento do leite para a temperatura de fermentação, o tempo disponível para resfriar novamente todo o sistema é de no mínimo 4 horas, com isso, não há necessidade uma unidade condensadora potente.



Como é preciso resfriar somente 50 litros de leite, uma forma prática e simplificada é ter a quantidade de água gelada necessária para resfriar através da camisa do fermentador, tendo como único inconveniente o resfriamento inicial para o primeiro processo, pois com uma unidade condensadora de menor potência vai ter de esperar o tempo necessário para começar os processos de resfriamento.

Considerando o primeiro resfriamento onde a diferença de temperatura é de 48°C, o leite estará a 90°C e precisa ser resfriado com água na temperatura de 10°C ao entrar no fermentador. A água sairá do fermentador a 20°C, e a quantidade de massa d'água é calculado de forma direta com a lei do equilíbrio termodinâmico, onde Sonntag e Borgnakke, (2009) comentam que quando dois corpos tem igualdade de temperatura com um terceiro corpo, eles terão igualdade de temperatura entre si.

Figura 56: Fórmula da Lei do Equilíbrio.

$$Q_1 + Q_2 = 0 \therefore m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta T_1 = -m_2 \cdot c_2 \cdot \Delta T_2$$

Fonte: YOUNG; FREEDMAN, 2008, p. 197.

Assim temos:

$$47,77 \times 4,074 \times (42 - 90) = -m_{H_2O} \times 4,204 \times (20 - 10)$$

$$m_{H_2O} = 222,2 \text{ kg}$$

Como na temperatura de 20°C a densidade da água é de 997,4kg/m<sup>3</sup>, o volume da água será de 222,2 litros. Esse é o volume necessário de água sem considerar nenhuma perda. Para o iogurte a quantidade de água é menor.

$$50,7 \times 3,934 \times (8 - 42) = -m_{H_2O} \times 4,214 \times (13 - 3)$$

$$m_{H_2O} = 160,9 \text{ kg}$$

No segundo processo é necessário baixar mais a temperatura para ter um rendimento melhor, pois com os mesmos 10°C do primeiro processo, não seria possível diminuir a temperatura do iogurte para 8°C. Por esse motivo, na segunda etapa a temperatura inicial da água deve ser entre 3 e 5°C.

O tamanho padrão de tanques isotérmicos que se aproxima do volume necessário de água é o de 300 litros. Com esse volume definido, foi escolhida a unidade condensadora, sabendo que 300 litros de água devem resfriar de 20°C para 3°C, e o tempo de resfriamento é de pelo menos 4 horas. É então calculada a quantidade de energia necessária para baixar de a temperatura da água de 20°C para 3°C.

$$Q_{H2O} = 300 \times 4,191 \times (3 - 20) = -21374,1 \text{ kJ} = -5105,12 \text{ kcal}$$

Essa é quantidade de calor necessária para retirar do sistema com tempo entre 4 a 5 horas. Dessa forma é possível definir a unidade condensadora conforme o Quadro 1 do fornecedor.

Quadro 1: Lista de seleção das unidades condensadoras.

| Fluido Refrigerante<br>Fluido Refrig.           | Referência Comercial<br>Ref. Comercial<br>(HP) | Modelo<br>Modelo | Lista de Materiais<br>Lista de Materiales | Capacidade Frigorífica - Temperatura de Evaporação<br>Capacidad Frigorífica - Temperatura de Evaporación |        |        |        |       |        |       |        | Tensão<br>Tension<br>(V) | Consumo Energético<br>Consumo Energético<br>(Watts/h) |
|---|--|------------------|---|--|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------------------------|---|
|   |  |                  |   | -15°C  |        | -6,7°C |        | 0°C   |        | 7,2°C |        |                          |   |
|   |  |                  |   | Btu/h  | Kcal/h | Btu/h  | Kcal/h | Btu/h | Kcal/h | Btu/h | Kcal/h |                          |   |
| <b>R-134a</b><br><b>R-401A</b><br><b>R-401B</b> | 1/8  | <b>UAZ0360Y</b>  | UAZ410AS<br>UAZ410ES                      | 426  | 107    | 600    | 151    | 720   | 181    | 888   | 224    | 127<br>220               | 180   |
|   | 1/6  | <b>UAZ0387Y</b>  | UAZ430AS<br>UAZ430ES                      | 603  | 152    | 850    | 214    | 1020  | 257    | 1258  | 317    | 127<br>220               | 220   |
|   | 1/5  | <b>UAZ0411Y</b>  | UAZ440AS<br>UAZ440ES                      | 816  | 206    | 1150   | 290    | 1380  | 348    | 1702  | 429    | 127<br>220               | 295   |
|   | 1/4  | <b>UAZ0413Y</b>  | UAZ445AS<br>UAZ445ES                      | 1038   | 261    | 1460   | 368    | 1759  | 443    | 2160  | 544    | 127<br>220               | 350   |
|   | 1/4  | <b>UAE4430Y</b>  | UAE-1015-BR<br>UAE-1022-BR                | 1358   | 342    | 1961   | 494    | 2525  | 636    | 3198  | 806    | 127<br>220               | 540   |
|   | 1/3  | <b>UAE4440Y</b>  | UAE-1011-BR<br>UAE-1018-BR                | 1815   | 457    | 2543   | 641    | 3174  | 800    | 3868  | 975    | 127<br>220               | 670   |
|   | 1/2  | <b>UAE4450Y</b>  | UAE-1042-BR<br>UAE-1037-BR                | 2309   | 582    | 3190   | 804    | 3995  | 1007   | 4941  | 1245   | 127<br>220               | 800   |
|   | 1/2+   | <b>UTY4466Y</b>  | UTY301DS<br>UTY301ES                      | 3009   | 758    | 4681   | 1179   | 6179  | 1556   | 7557  | 1904   | 127<br>220               | 950   |
|   | 3/4  | <b>UTY4475Y</b>  | UTY302ES                                  | 3370   | 849    | 5243   | 1321   | 6920  | 1744   | 8464  | 2133   | 220                      | 1180  |
|   | 1  | <b>UTY4489Y</b>  | UTY303ES<br>*UTY303EST                    | 4204   | 1059   | 5883   | 1482   | 7499  | 1889   | 9400  | 2368   | 220<br>220               | 1325  |

Fonte: TECUMSEH, 2016.

Na tabela dois modelos estão em destaque, um com referência de 1/2+ e outro de 3/4, com capacidades de 1904 e 2133 kcal/h respectivamente. O tempo necessário de resfriamento dos 300 litros de água, obtém-se pelo cálculo abaixo.

$$t_{1/2} = \frac{Q}{P} = \frac{5105,12 \text{ kcal}}{1245 \text{ kcal/h}} = 4,1 \text{ horas}$$

$$t_{1/2+} = \frac{Q}{P} = \frac{5105,12 \text{ kcal}}{1904 \text{ kcal/h}} = 2,68 \text{ horas}$$

$$t_{3/4} = \frac{Q}{P} = \frac{5105,12kcal}{2133kcal/h} = 2,39 \text{ horas}$$

$$t_1 = \frac{Q}{P} = \frac{5105,12kcal}{2368kcal/h} = 2,15 \text{ horas}$$

Analisando os cálculos é possível perceber que o ideal seria a utilização da unidade de 1/2+, pois a diferença de tempo de processo é pouca se comparada com a de 3/4 e 1, e seu custo é menor. É necessário também que seja considerado o tempo de resfriamento inicial, antes de todo o processo. Sua situação mais crítica é durante o verão, quando a água está em uma temperatura elevada se comparada ao inverno. Considerando que a água está a 20°C e a temperatura precisa ser reduzida para 10°C, a quantidade de calor e o tempo com as unidades condensadora de 1/2+ e de 3/4 ficam respectivamente conforme cálculos abaixo.

$$Q_{H_2O} = 300 \times 4,191 \times (10 - 20) = -12573kJ = -3003kcal$$

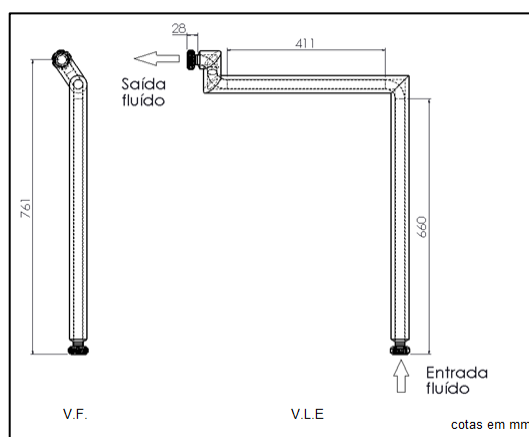
$$t_{1/2+} = \frac{Q}{P} = \frac{3003kcal}{1904kcal/h} = \mathbf{1,58 \text{ horas}}$$

$$t_{3/4} = \frac{Q}{P} = \frac{3003kcal}{2133kcal/h} = 1,41 \text{ horas}$$

A diferença é de aproximadamente 10 minutos, portanto foi definido a unidade condensadora de 1/2+ do fabricante Tecumseh.

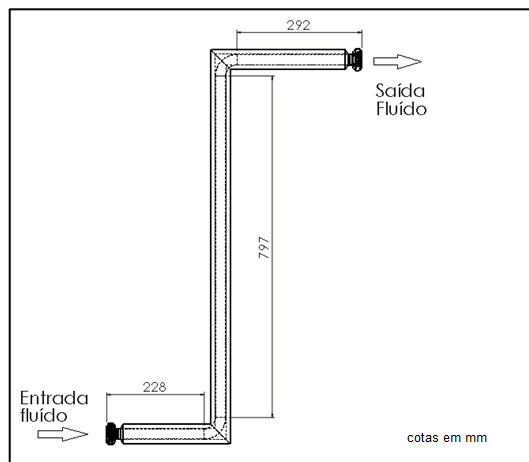
Para o sistema de resfriamento ainda é necessário definir as perdas de carga na tubulação de água gelada.

Figura 57: Tubulação 1 do sistema de resfriamento.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

Figura 58: Tubulação 2 do sistema de resfriamento.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

A Tabela 14 apresenta os cálculos de perda de carga no sistema.

Tabela 14: Perda de carga e de volume no sistema de resfriamento.

| Resfriamento leite e iogurte - Seção tubulação - Q=1000l/h |        |     |        |        |               |               |
|--|--------|-----|--------|--------|---------------|---------------|
| Componentes  | Quant. | Un. | ks (m) | Vs (l) | Pc (m)        | Vc (l)        |
| Tubo inox 1"   | 2,42   | m   | 0,0270 | 0,4150 | 0,0652        | 1,0026        |
| Curva inox 90° 1"  | 5,00   | pç  | 0,0102 | 0,0230 | 0,0510        | 0,1150        |
| <b>TOTAL</b>   |        |     |        |        | <b>0,1162</b> | <b>1,1176</b> |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

#### 4.1.6 Sistema de Transferência

Com as perdas de cargas calculadas tanto na transferência do produto, como no sistema de aquecimento e resfriamento, agora é possível escolher a bomba ideal para cada sistema.

Para a transferência de produto foi escolhida uma bomba positiva já pensando no iogurte. Dessa forma é possível a utilização de apenas uma bomba para a transferência tanto do leite como do iogurte, reduzindo assim os custos da bancada. Devido ao estator da bomba ser de deslocamento positivo, gera menos impacto mecânico e Chandan (2006) cita que as bombas de escoamento positivo são geralmente utilizadas para fluidos de alta viscosidade.

Esses equipamentos são geralmente produzidos com vazões maiores, mas podem ser regulados para usar em uma vazão menor, aumentando sua perda de

carga. Inicialmente, é preciso calcular a perda total da bomba utilizando a equação de Bernoulli, considerando as perdas das tubulações e equipamentos conforme a Tabela 15.

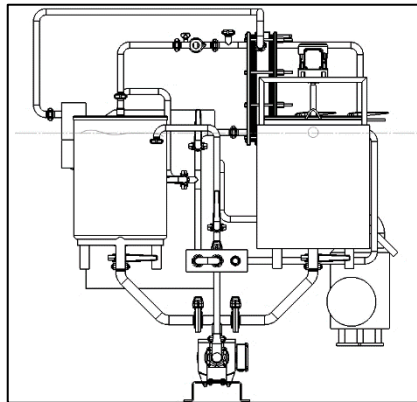
Tabela 15: Perdas de carga totais do pré-tratamento.

| <b>Perdas totais Pré-Tratamento do leite (mca)</b> |               |
|--|---------------|
| Perda total do conjunto de tubulação do produto    | 0,2722        |
| Padronizadora                                      | 0,7000        |
| Homogeneizador                                     | 1,2000        |
| Trocador de calor nos dois estágios                | 0,9500        |
| <b>TOTAL</b>                                       | <b>3,1222</b> |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

Como os dois tanques estão com a mesma pressão, que é a atmosférica, elas se anulam, a velocidade no tanque 1 no início do escoamento é praticamente igual a zero, e as duas alturas  $z_1$  e  $z_2$  estão no mesmo nível.

Figura 59: Esquema da diferença de altura entre os níveis dos tanques.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

Ao fim, a equação de Bernoulli é simplificada, conforme Figura 60.

Figura 60: Fórmula de Bernoulli

$$H_1 + H_M = H_2 + H_{1-2} \therefore \frac{p_1}{\gamma} + \frac{2 \cdot v_1^2}{g} + z_1 + H_M = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{2 \cdot v_2^2}{g} + z_2 + H_{1-2}$$

$$H_M = \frac{2 \cdot v_2^2}{g} + H_{1-2}$$

Fonte: BRUNETTI, 2008, p. 96.

Temos então os seguintes valores.

$$H_M = \frac{2x(0,201^2)}{9,81} + 3,122 = 3,13m$$

Com isso a energia que a bomba deve transferir ao fluido é de 3,13 mca com uma vazão de 300 l/h.

Para o sistema de aquecimento e resfriamento, serão empregadas bombas centrífugas, normalmente utilizadas para tais aplicações e com fluidos não viscosos (CHANDAN, 2006). Nos dois casos o cálculo é o mesmo feito para a bomba de deslocamento positivo, pois mesmo em circuitos fechados, os tanques são abertos a atmosfera por um ladrão, e como a bomba transfere de um tanque e retorna no mesmo tanque não possui a diferença de altura.

A Tabela 16 apresenta as perdas de carga totais dos sistemas.

Tabela 16: Perdas totais nos sistemas de aquecimento e resfriamento.

| <b>Perdas totais no sistema de aquecimento (mca)</b>  |               |
|---|---------------|
| Perda total do conjunto de tubulação de água quente   | 0,1815        |
| Trocador de calor nos dois estágios                   | 4,5700        |
| <b>TOTAL</b>  | <b>4,7515</b> |
| <b>Perdas totais no sistema de resfriamento (mca)</b> |               |
| Perda total do conjunto de tubulação do água gelada   | 0,1162        |
| Fermentador / iogurteira                              | 1,5000        |
| <b>TOTAL</b>  | <b>1,6162</b> |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

A energia mínima que as bombas transferem para o sistema é então calculada da seguinte forma:

$$H_{MH2Oquente} = \frac{2 \cdot v_2^2}{g} + H_{1-2} = \frac{2x(0,669^2)}{9,81} + 4,7515 = 4,84m$$

$$H_{MH2Ogelada} = \frac{2 \cdot v_2^2}{g} + H_{1-2} = \frac{2x(0,669^2)}{9,81} + 1,6162 = 1,71m$$

À partir dos dados obtidos, as bombas recomendadas pelos fornecedores foram com vazão de 1m<sup>3</sup>/h, tanto para a de água quente como para a de água gelada.

#### **4.1.7 Sistema de Envase**

O sistema de envase é composto pelo dosador e o selador de pote. O dosador fabricado pela empresa Tecniconfial é composto por uma estrutura, um painel elétrico, uma bomba de escoamento positivo, e uma célula de carga.

Ela funciona transferindo o iogurte pela bomba positiva para o bico dosador antigota. O iogurte cai em um pote que está posicionado sobre a célula de carga, quando atinge o peso desejado a bomba interrompe o funcionamento automaticamente. Depois de trocado o pote, aciona-se novamente a bomba até atingir o peso programado novamente e a bomba parar, esse ciclo vai até terminar o envase do iogurte.

Ainda há uma perda volumétrica no tubo quando terminar o iogurte no tanque fermentador. Esse volume de 0,57 litros calculado anteriormente é esgotado através de uma válvula na saída da bomba, realizado por gravidade.

Já o selador de pote funciona com acionamento manual, o qual vai selar por contato do aquecimento da resistência com o pote.

#### **4.1.8 Sistema Elétrico**

O painel elétrico foi projetado para se enquadrar ao processo, respeitando as normas NR10 e NR12. Resumidamente essas normas ajudam na segurança do equipamento e algumas de suas características são:

- Componentes internos em tensão de 24V.
- Ao abrir o painel, automaticamente a corrente é cortada no sistema, e nada pode funcionar.
- Possuir chave de segurança.
- Mesmo com a corrente cortada dentro do painel ao abrir a portinhola, é necessário ter itens que dificultam o acesso a partes não isoladas.
- O painel, quando de metal, deve estar totalmente isolado da chapa de fixação dos componentes. Caso a chapa interna entre em curto, o painel deve estar isolado.

Esse painel vai controlar componentes como sensores, resistências elétricas, bombas hidráulicas, moto redutores, inversores de frequência, equipamentos de processo e de refrigeração. Será possível também temporizar os comandos com avisos sonoros no final de cada processo, aumentando ou diminuindo os tempos e até mesmo as vazões das bombas.

Também é possível indicar qual o processo que está sendo realizado entre pré-tratamento do leite, fermentação, resfriamento, mistura e envase. O funcionamento do painel será conforme descrito no Quadro 2.

Quadro 2: Processo de funcionamento do comando elétrico.

| <b>PRÉ-TRATAMENTO DO LEITE</b> |  |
|--------------------------------|--|
| 1                              | * Ligar o Sistema de Refrigeração (1/2 CV) manualmente para o tanque de água gelada, e gelar até a temperatura indicada para o pré-tratamento 8°C, e manter.   |
| 2                              | * Acionar manualmente a resistência da água quente (6 KW), para aquecer a água até 90°C, e manter. Esse acionamento deverá ser feito somente quando a água gelada estiver na temperatura certa.  |
| 3                              | * Acionar manualmente a bomba positiva (1/2 CV) de produto e a bomba de água quente (1/2 CV), também ligar a resistência do fermentador (Fermentador) (2 KW) até a temperatura de 90°C e manter. Processo manual.  |
| 4                              | * Do tanque pulmão, a bomba de produto deverá ter um vazão de 300 litros/hora para passar pelo pré-aquecimento e entrar na padronizadora.  |
|                                | * Caso a temperatura não estiver correta, vai ter uma válvula de fluxo controlada eletricamente (24V) para desviar o leite de volta ao tanque pulmão.<br>* Para ajustar a temperatura, a bomba pode variar a vazão, ou somente controlar pela resistência elétrica, mas a temperatura não pode se elevar acima dos 90°C por causa da evaporação. |
| 5                              | * Depois de passar na padronizadora, o leite vai direto para o homogeneizador, que por sua vez irá mandar novamente para o segundo estágio do trocador de calor.   |
|                                | * Para o leite entrar na padronizadora (motor de 0,75 CV) e no homogeneizador (motor de 3CV), esses dois equipamentos devem ser ligados manualmente por botoeiras, e devem estar indicando no painel que com lâmpada que estão ligados.  |
| 6                              | * Quando todo o leite estiver no fermentador, deverá ter um tempo programado para deixar a resistência ligada, depois desse tempo será desligada automaticamente.  |
|                                | * Pode ter um aviso sonoro para indicar que pode desligar a bomba positiva, pois ela vai demorar uns 10 minutos, e um outro aviso quando a resistência se desligar.  |
|                                | * Nessa hora também poderá ser desligado a resistência do tanque de água quente. Esse desligamento da resistência será manual.<br>* Aqui também poderá ser ligado o motor do agitador (potência de 110 Watts) em uma velocidade controlada para agitar e distribuir a temperatura do leite. Acionamento e ajuste da velocidade manual.           |
| 7                              | * Agora poderá ser ligado a bomba de água gelada (1/2 CV) manualmente para fazer a troca de calor, até o leite no fermentador baixar de 90°C para 42°C.  |

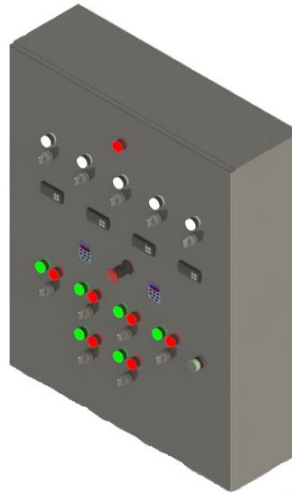


|                     |   |
|---------------------|---|
|                     | <p>* Quando terminar pode se desligar a bomba mas não o sistema de refrigeração que será utilizado depois novamente.</p> <p>* Aqui também pode ter um aviso sonoro indicando o fim do pré-tratamento do leite. * Também pode ter uma lâmpada no painel indicando que está nessa etapa, e ela se desligar.</p> |
| <b>FERMENTAÇÃO</b>  |   |
| 1                   | <p>Aqui é só a resistência (2KW) se ligar para manter o leite aquecido em 42°C entre 4 a 5 horas, depende de como será programado.</p> <p>Pode também ter uma luz no painel indicando a fase do processo. E no final um aviso sonoro.</p> <p>Aqui o agitador permanecerá desligado.</p>                       |
| <b>RESFRIAMENTO</b> |   |
| 1                   | * Como a unidade de resfriamento manteve-se ligada, durante a fermentação essa água irá ser resfriada até chegar a temperatura de 3°C.  |
| 2                   | * Aqui deverá ser ligada a bomba de água gelada e resfriar o iogurte a uma temperatura de 8°C (temperatura pode variar).  |
|                     | <p>* Esse acionamento é manual, mas o desligamento da bomba será pelo controlador.</p> <p>* Também pode ter uma lâmpada indicando o processo no painel.</p>   |
| <b>MISTURA</b>      |   |
| 1                   | * Aqui será ligado somente o motor do agitador a uma velocidade controlada.   |
|                     | * Todo o processo será manual.  |
| <b>ENVASE</b>       |   |
| 1                   | * O iogurte irá sair do fermentador pela bomba positiva com uma velocidade controlada, e irá para o dosador de pote, o qual terá uma célula de carga.   |
|                     | * Assim que a quantidade de iogurte entrar no pote, a bomba deve parar, até ser acionada novamente, com a troca do pote. Processo manual.   |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

A Figura 61 apresenta a concepção visual do painel.

Figura 61: Painel elétrico.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

#### 4.1.9 Conjunto Estrutural

A estrutura é constituída de tubos, chapas metálicas e rodízios em aço inoxidável AISI304, sendo somente as rodas e as buchas no ponto de articulação em nylon.

Para a fixação do painel de comando foi criado um suporte articulado, para aproveitar o pouco espaço na frente do fermentador e também para que a estrutura não ficasse muito larga.

Os rodízios foram um requisito do cliente, e para seu dimensionamento foi preciso estimar o peso de todos os componentes, além da quantidade de pontos de apoio necessários na estrutura. A Tabela 17 apresenta o peso estimado dos equipamentos, informados pelos fornecedores. Os pesos da tubulação foram calculados através do programa CAD Solidworks™.

Tabela 17: Peso dos componentes da bancada.

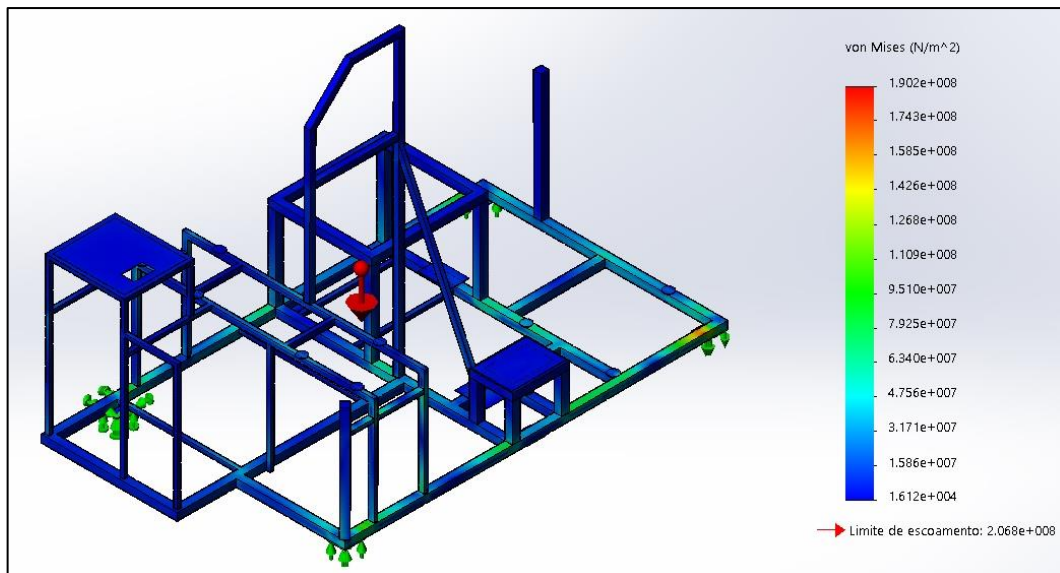
| Componentes            | Quant. | Peso (kg) |
|------------------------|--------|-----------|
| Skid                   | 1      | 77        |
| Tubulações             | 1      | 40,25     |
| Tanque Equilíbrio      | 1      | 17,5      |
| Fermentador/logurteira | 1      | 63        |
| Padronizadora          | 1      | 82        |
| Homogeneizador         | 1      | 140       |
| Trocador de calor      | 1      | 24,7      |
| Bombas positiva        | 1      | 50        |
| Bomba centrífuga       | 2      | 40        |

|                       |   |                |
|-----------------------|---|----------------|
| Tanque de Aquecimento | 1 | 13             |
| Tanque isotérmico     | 1 | 130            |
| Unidade condensadora  | 1 | 27             |
| Painél elétrico       | 1 | 30             |
| 310 Litros de água    | 1 | 310            |
| 50 litros de leite    | 1 | 55             |
| <b>TOTAL</b>          |   | <b>1099,45</b> |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

Para determinar a quantidade de apoios, foi gerada uma simulação de análise estática no programa CAD Solidworks™ afim de analisar o comportamento da estrutura.

Figura 62: Análise 1 estrutural estática de Von Mises com 04 apoios.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

Analisando o gráfico de Von Mises do primeiro estudo realizado com quatro pontos de apoio, é possível observar uma faixa vermelha próxima a um deles. O gráfico mostra a tensão máxima que a peça em estudo concentra, no caso  $190\text{MPa}$ . Também mostra qual é o limite de escoamento para o material em estudo, que no caso do aço inoxidável AISI304 é de  $207\text{MPa}$ . Como a tensão na peça é menor que o escoamento, não haverá ruptura na estrutura, mas essa tensão está bem próxima do limite de escoamento. Dividindo o limite de escoamento pela tensão máxima na peça, teremos o coeficiente de segurança para essa análise.

Figura 63: Fórmula do coeficiente de segurança.

$$Cs = \frac{S}{\sigma}$$

Fonte: BUDYNAS; NISBETT, 2006, p. 24.

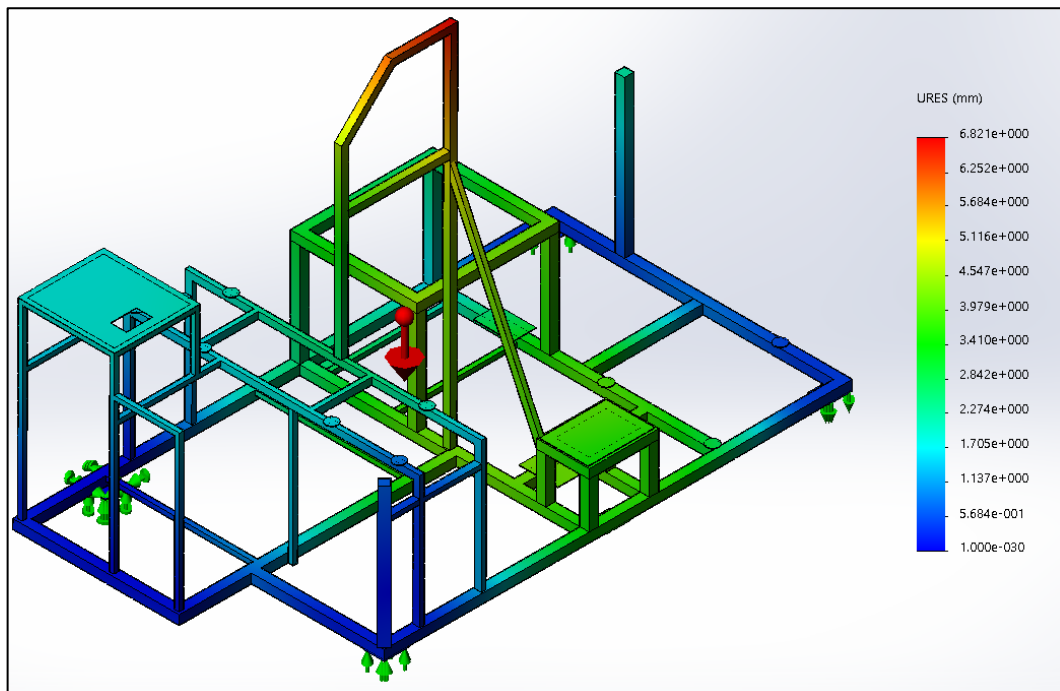
Assim temos:

$$Cs = \frac{2,068 \times 10^8}{1,902 \times 10^8} = 1,087 = 8,7\%$$

O coeficiente encontrado é considerado baixo para estruturas metálicas, onde o recomendado é de aproximadamente 40% (ABNT NBR8800, 2008).

Na mesma análise, observando o gráfico de URES, foi possível prever o deslocamento máximo da estrutura, que está em 6,8mm na parte superior onde fixa o trocador de calor. Na base da estrutura, o tubo quadrado de 40 x 40 com parede de 2mm vai fletir abaixo da padronizadora entre 3 a 4mm, conforme observado na Figura 64.

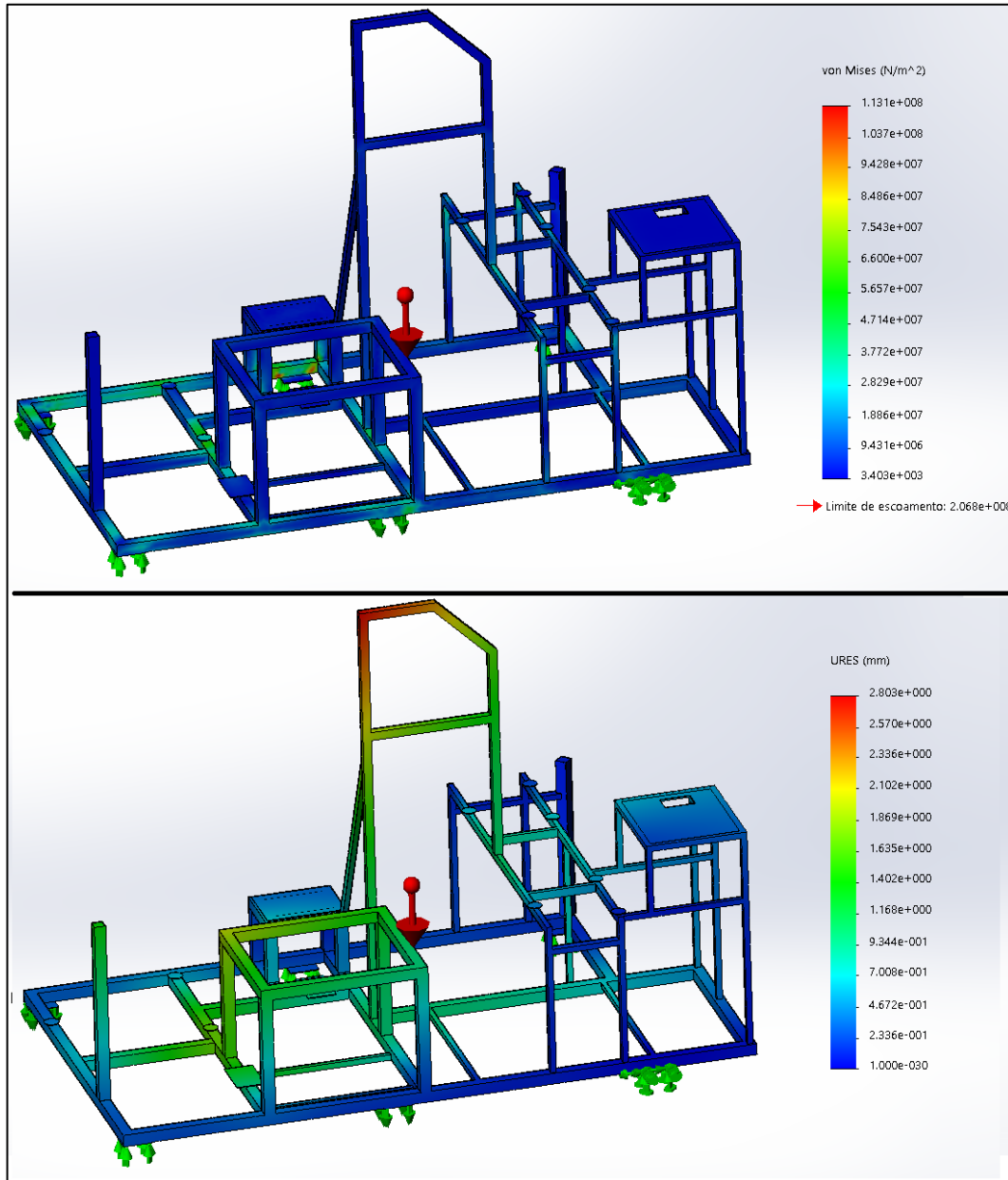
Figura 64: Análise 1 de deslocamento de URES para 04 apoios.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

Para aumentar esse coeficiente de segurança, foi feita nova análise com seis pontos de fixação, no qual sem mudar a estrutura, temos os seguintes resultados.

Figura 65: Análise 2 estrutural de Von Mises e URES para 06 apoios.



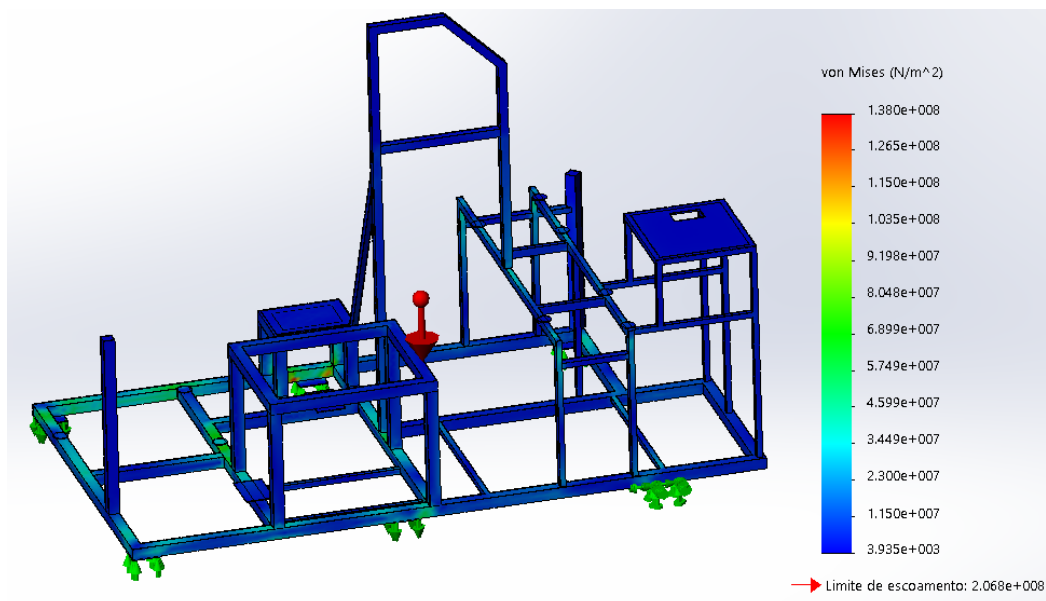
Fonte: Feito pelo próprio autor.

Nessa nova simulação, já é possível perceber que a base inferior pouco se altera. Analisando o gráfico URES, nota-se que a parte central se desloca aproximadamente 2mm e a parte superior aproximadamente de 2,8mm. Já o gráfico de Von Mises apresenta uma posição diferente como ponto de tensão máxima,

ficando acima do ponto de apoio intermediário e baixando de 190MPa para 113MPa, aumentando assim o coeficiente de segurança para 82,8%.

Diante desses novos dados, a estrutura está superdimensionada, portanto alterou-se a espessura da tubulação de 2mm para 1,5mm.

Figura 66: Análise 3 estrutural estática de Von Mises para 06 apoios.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

A nova estrutura apresentou um coeficiente de segurança de aproximadamente 50%, sendo esse o mais próximo do coeficiente recomendado.

Para determinar os rodízios, foi feito um cálculo dividindo o peso total do equipamento, que é de aproximadamente 1100 kg considerado água e produto, pelo número de pontos de apoio, portanto temos.

$$Capacidade_{mínima} = \frac{Mequip}{n^{\circ} \text{ rodízios}} = \frac{1100}{6} = 183,33 \text{ kg}$$

Com essa informação, foi feita uma busca no catálogo de peças do fornecedor, onde foi possível constatar que o rodízio de diâmetro 125mm suporta a capacidade de 220kg. Dividindo a capacidade do rodízio pela capacidade mínima o fator de segurança será 20%.

Quadro 3: Lista de rodízios

|     |    |     |         |        |    |    |     |     |     | daN    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----|----|-----|---------|--------|----|----|-----|-----|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|     |    |     |         |        |    |    |     |     |     | 0.61   | 0.35   | 0.78   | 0.61   | 0.40   | 0.83   | 0.95   | 1.10   | 1.77   | 2.06   |        |        |
|     |    |     |         |        |    |    |     |     |     | COD.   | COD.   | COD.   | COD.   | COD.   | COD.   | COD.   | COD.   | COD.   | COD.   |        |        |
| 80  | 30 | 107 | 100x85  | 80x60  | 9  | 38 | 120 | 120 | 120 | 604401 | 605101 | 606701 | 604402 | 605102 | 606702 | 604403 | 605103 | 606703 | 604404 | 605104 | 606704 |
| 100 | 30 | 128 | 100x85  | 80x60  | 9  | 42 | 120 | 170 | 170 | 604411 | 605111 | 606711 | 604406 | 605106 | 606706 |        |        |        |        |        |        |
| 125 | 35 | 156 | 100x85  | 80x60  | 9  | 43 | 120 | 220 | 220 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 150 | 35 | 182 | 100x85  | 80x60  | 9  | 42 | 120 | 220 | 220 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 150 | 45 | 194 | 140x110 | 105x80 | 11 | 56 | 156 | 300 | 300 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 200 | 50 | 240 | 140x110 | 105x80 | 11 | 56 | 156 | 300 | 300 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |

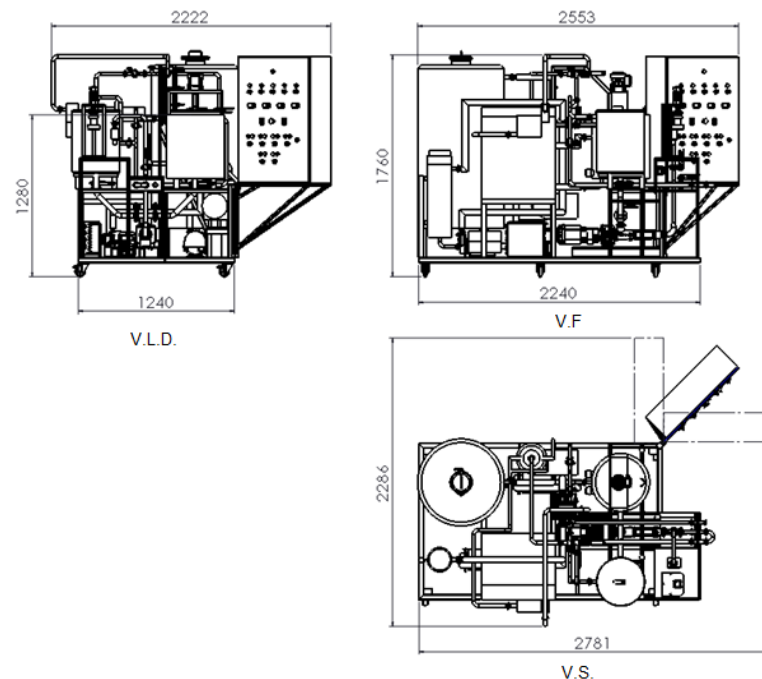
Fonte: RODEX, 2016.

É importante salientar que como o equipamento terá rodízios para deslocamento dentro do laboratório, para melhor movimentação todos devem ser rotatórios, e pelo menos quatro deles devem possuir freios. A movimentação da bancada ainda será limitada pelo comprimento do cabo elétrico.

#### 4.1.10 Dimensões macro do layout

Com todos os sistemas definidos e detalhados, é importante mensurar as medidas macro do equipamento, para se ter noção do espaço total ocupado pelo mesmo.

Figura 67: Dimensional macro da bancada.



Fonte: Feito pelo próprio autor.

Como no painel o suporte é articulado, a vista superior está especificando as dimensões máximas de largura e comprimento, dependendo da posição do painel.

#### 4.4 LIMPEZA DO EQUIPAMENTO

A limpeza será conforme o sistema CIP, e como a bancada possui um tanque aquecido, o processo se iniciará por ele.

Primeiramente é adicionado o solvente na concentração correta, conforme indicado tabela no ANEXO B. A quantidade dessa solução deve ser maior que a perda volumétrica do equipamento, que conforme calculado anteriormente é de aproximadamente 6 litros. Conforme Bylund (1995) o tempo de duração necessário para dissolver a sujeira depende da espessura da mesma e da temperatura do detergente. Também é sugerido que os trocadores de calor sejam limpos com ácido nítrico por 20 minutos e as paredes dos tanques sejam limpas com soluções alcalinas por 10 minutos.

Após a ação do detergente, a tabela do ANEXO B indica ainda a quantidade de neutralizante que deve ser utilizada no sistema. Após o fluído recircular com o neutralizante, ele pode ser descartado.

O último passo é realizar uma limpeza com água, que durante a recirculação deve ter um ph menor que 5 (BYLUND, 1995).

#### 4.5 CUSTOS ESTIMADOS DO EQUIPAMENTO

Pensando em estimular a indústria local, a proposta inicial foi buscar empresas da cidade de Horizontina para a fabricação dos equipamentos da bancada. A maioria desses equipamentos foi orçado por empresas conhecidas principalmente pela qualidade dos serviços e grande experiência no ramo de agroindústria e laticínios.

É importante salientar que estes são equipamentos de alta precisão com altíssima vida útil, e se fazendo as manutenções corretamente se tornam altamente duráveis, com tempo de vida estimado acima de 20 anos, exceto pelos componentes elétricos, que sofrem uma redução na garantia por conta de picos de corrente na rede.



A escolha dessas empresas também se deu pelo fato de possuírem atendimento de assistência técnica local, diminuindo assim os custos de manutenção, caso sejam necessários. A Tabela 18 lista os equipamentos, fornecedores, e valores aproximados para construção da bancada, com referência de outubro de 2016.

Tabela 18: Custo estimado dos equipamentos com valores de referência out/2016

| <b>Equipamentos</b>          | <b>Fornecedor</b> | <b>Preço</b>          |
|------------------------------|-------------------|-----------------------|
| 01 Tanque Pulmão             | Tecniconfial      | R\$ 1.360,00          |
| 01 Trocador de calor         | Tecniconfial      | R\$ 9.910,00          |
| 01 Padronizadora             | JC Centrífugas    | R\$ 27.000,00         |
| 01 Homogeneizador            | Arte Peças        | R\$ 47.000,00         |
| 01 Fermentador/logurteira    | Tecniconfial      | R\$ 6.600,00          |
| 01 Gerador de Água Quente    | Tecniconfial      | R\$ 2.520,00          |
| 01 Tanque de Água Gelada     | Tecniconfial      | R\$ 4.960,00          |
| 01 Unidade de Refrigeração   | DuFrio            | R\$ 780,00            |
| 01 Bomba escoamento Positivo | Netsch            | R\$ 4.568,00          |
| 02 Bombas centrífugas        | Tomocar           | R\$ 2.332,00          |
| 01 Embaladora de Pote manual | Tecniconfial      | R\$ 2.800,00          |
| 01 Bico Dosador              | Tecniconfial      | R\$ 860,00            |
| 01 Painel elétrico           | Tecniconfial      | R\$ 14.996,00         |
| 01 Estrutura tipo Skid       | Tecniconfial      | R\$ 5.072,00          |
| 01 Montagem Tubulação        | Tecniconfial      | R\$ 6.760,00          |
| <b>TOTAL</b>                 |                   | <b>R\$ 137.518,00</b> |

Fonte: Feito pelo próprio autor.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa união de áreas como mecânica, produção, automação junto com a alimentícia possibilita a criação de várias soluções integradas, e o engenheiro mecânico deve saber usar seu conhecimento sendo objetivo e eficaz nas suas escolhas, lembrando sempre da segurança de seus equipamentos principalmente quando os mesmos serão operados por pessoas.

O dimensionamento da bancada, atendeu a todos os requisitos como:

- processos necessários para a produção do iogurte;
- produto em forma de bancada educacional com características de indústria;
- equipamento diferencial.
- produção de 50 litros de iogurte;
- separação dos processos para fácil visualização;
- fácil movimentação do equipamento;
- possibilidade de fazer outras receitas, tipos de iogurte e bebida láctea.

Sendo o equipamento multifuncional, projetado por um aluno da mesma instituição, acaba se tornando um grande diferencial, agregando valor tanto para o novo curso como para os demais, pois os alunos formados pela FAHOR criam soluções.

O projeto foi definido com base nas limitações de um equipamento, a centrífuga. A partir desse equipamento que os demais foram selecionados e dimensionados, pois foi o equipamento de menor vazão encontrado no mercado. A partir desse, outro ponto crítico foi a escolha do trocador de calor, onde seria possível ter um pasteurizador de placas corrugadas. Para a produção de leite, o retardador é dimensionado para manter o leite na temperatura de pasteurização em aproximadamente 17 segundos, e para o iogurte esse tempo é de até 5 minutos, transformando o retardador em um equipamento crítico para uma produção em baixa escala. Assim a perda de matéria prima seria de no mínimo 50% do total.

A ideia de transformar o fermentador em retardador já é utilizada amplamente na indústria, e na bancada será possível observar um equipamento onde o processo é rápido, o trocador, e também um equipamento onde o processo é lento, o fermentador.

Uma das grandes dificuldades no desenvolvimento desse projeto, foi o encontrar informações específicas para determinado fluido, e com a utilização da

bancada para a produção de derivados do leite, em um projeto futuro pode-se criar equipamentos para mensurar experimentalmente informações como densidade, viscosidade, entre outros.

Comparando com as indústrias da região, o processo de homogeneização, em pequenas e médias indústrias, não é utilizado devido ao seu alto custo inicial. Essas indústrias deixam de investir mas perdem em qualidade do produto. Durante a pesquisa foi possível perceber outras formas de homogeneizar, podendo ser estudado para em um trabalho futuro.

Mesmo sendo utilizados os menores equipamentos disponíveis no mercado, a bancada possui capacidade de produção maior para a qual foi projetada, e pode facilmente ser expandida até 300 litros de iogurte por hora apenas com uma alteração no tamanho dos tanques pulmão, fermentador e resfriamento. O custo da fabricação da bancada com capacidade para 50 litros e o custo da bancada com capacidade para 300 litros, é pouco alterado, uma vez que os equipamentos de maior valor (centrífuga, homogeneizador, trocador e painel de comando) se adequariam aos dois processos sem alterações.

Com esse trabalho percebe-se que com conceitos simples é possível dimensionar um processos específicos na indústria alimentícia, dessa forma dependendo do engenheiro mecânico para criar soluções rápidas e objetivas, pois atualmente é uma exigência do mercado. Isso não se aplica ao desenvolvimento de equipamentos específicos, como o homogeneizador ou a centrífuga, onde o estudo deve ser minucioso. Mas criando soluções rápidas com conceitos simples, o engenheiro ganha tempo para desenvolver a parte complexa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, D. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo.** São Paulo: Saraiva, 2010.

AMORIM, M. J. **Desenvolvimento de Bancada Didático-Experimental de Baixo Custo para Aplicações em Controle Ativo de Vibrações.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006.

ANGOTTI, J. A.; DELIZOICOV, D.; **Metodologia do Ensino de Ciências.** São Paulo, Cortez, 2000.

ARTE PEÇAS HOMOGENEIZADORES. **Homogeneizador de leite.** São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em <<http://www.artepecas.com.br/fabricar.html>>. Acesso em: 15 de agosto, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ASTM A 480: **Standard Specification for General Requirements for Flat-Rolled Stainless and Heat-Resisting Steel Plate, Sheet, and Strip.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO 22000: **Sistemas de gestão da segurança de alimentos - Requisitos para qualquer organização na cadeia produtiva de alimentos.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO/TR 17671-6: **Welding -- Recommendations for welding of metallic materials-- Part 6: Laser beam welding.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15635: **Serviços de alimentação - Requisitos de boas práticas higiênico-sanitárias e controles operacionais essenciais.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.** Rio de Janeiro, 2008.

BORGNACKE, C.; SONNTAG, R.; **Fundamentos da Termodinâmica.** 7ª Ed., São Paulo, Editora Blucher, 2009.

BRASIL, 2007. **Instrução Normativa Nº 46.** Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados de 24/10/2007. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Item 2.1.1.

BRASIL, 2010. **Norma Regulamentadora NR-10, Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.** Ministério do Trabalho.

BRASIL, 2015. **Norma Regulamentadora NR-17, Ergonomia.** Ministério do Trabalho.

BRASIL, 2016. **Norma Regulamentadora NR-12, Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.** Ministério do Trabalho.

BRASIL, 2016. **Tabela de Neutralização.** Portal Meio Ambiente Minas Gerais. Disponível em: <[http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2015\\_ARQUIVOS/SEMINARIO\\_EMERGENCIA\\_/Tab\\_Neutraliza.pdf](http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2015_ARQUIVOS/SEMINARIO_EMERGENCIA_/Tab_Neutraliza.pdf)>. Acesso em: 20 de setembro, 2016.

BRUNETTI, F.; **Mecânica dos Flúidos**. 2. ed. rev. - São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2008.

BUDYNAS, R.; NISBETT, J.; **Shigley's Mechanical Engineering Design**. Eighth Edition, Mcgraw-Hill Publishing, 2006.

BYLUND, G.; **Dairy Processing Handbook**. Tetra Pak Processing Systems AB, Lund, Sweden, 1995.

CAMPBELL-PLATT, G.; **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. São Paulo, Editora Manole, 2015.

ÇENGEL, Y. A.; **Heat Transfer - A Practical Approach**. Second Edition, Mcgraw-Hill Publishing, 2002.

CHANDAN, R. C.; **Manufacturing Yogurt and Fermented Milks**. Iowa, Blackwell Publishing, 2006.

ESKIN, M. A. M.; SHAHIDI, F.; **Bioquímica de Alimentos**. Tradução da 3ª Edição, Rio de Janeiro, Editora Elsevier, 2015.

JARDINOX. **Tanques isotérmicos rodoviários**. Três de Maio, Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <<http://jardinox.com.br/br/tanques-isotermicos-rodoviaros-novos>>. Acesso em: 15 de agosto, 2016.

JARDINOX. **Resfriador**. Três de Maio, Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <<http://jardinox.com.br/br/produtos-diversos-em-inox>>. Acesso em: 15 de agosto, 2016.

JC CENTRÍFUGAS. **Centrífuga de leite**. Santa Bárbara D'Oeste, São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.cjservice.com.br/>>. Acesso em: 15 de agosto, 2016.

KRASILCHIK, M. **Educação ambiental na escola brasileira: passado, presente e futuro**. Revista Ciência e cultura, [S.l.] ano 38, n.12, p. 1958- 1961, dezembro de 1996.

NETZSCH, 2016. **Catálogo de Bombas**. Disponibilizado pelo Fornecedor.

PANESAR, P. S.; MARWAHA, S. S.; **Biotechnology In Agriculture and Food Processing - Opportunities and Challenges**. New York, CRC Press LLC, 2014.

PORTER, M.; **Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. Rio de Janeiro, Editora Campus, 1986.

RODEX, 2016. **Catálogo de Rodízios**. Disponibilizado pelo Fornecedor.

SOFTWARE-FACTORY, **Pressure Drop Online Calculator**. Disponível em: <<http://www.pressure-drop.com/Online-Calculator/>>. Acesso em: 22 de setembro, 2016.

TAMIME, A. Y.; ROBINSON, R. K.; **Yoghurt - Science and Technology**. Second Edition, New York, CRC Press LLC, 1999.

TECNICONFIAL. **Equipamentos**. Horizontina, Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <<http://www.tecniconfial.com.br>>. Acesso em: 15 de agosto, 2016.

TECUMSEH. **Unidades condensadoras**. São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em <<http://www.tecumseh.com/~media/South-America/Files/Portuguese-Library/Unidades-Condensadoras--Tabela-de-Aplicao-Website.pdf?la=pt>>. Acesso em 15 de agosto, 2016.

TORNOCAR, 2016. **Catálogo de Bombas**. Disponibilizado pelo Fornecedor.

WHITE, F.; **Mecânica dos Flúidos**. Sexta Edição, Porto Alegre, Editora AMGH Ltda, 2011.

YOUNG, H.; FREEDMAN, R.; **Física I -Mecânica**. 12<sup>a</sup> Ed., São Paulo, Editora Pearson, 2008.

YOUNG, H.; FREEDMAN, R.; **Física II -Termodinâmica e Ondas**. 12<sup>a</sup> Ed., São Paulo, Editora Pearson, 2008.

ANEXO A - DIAGRAMA DE MOODY

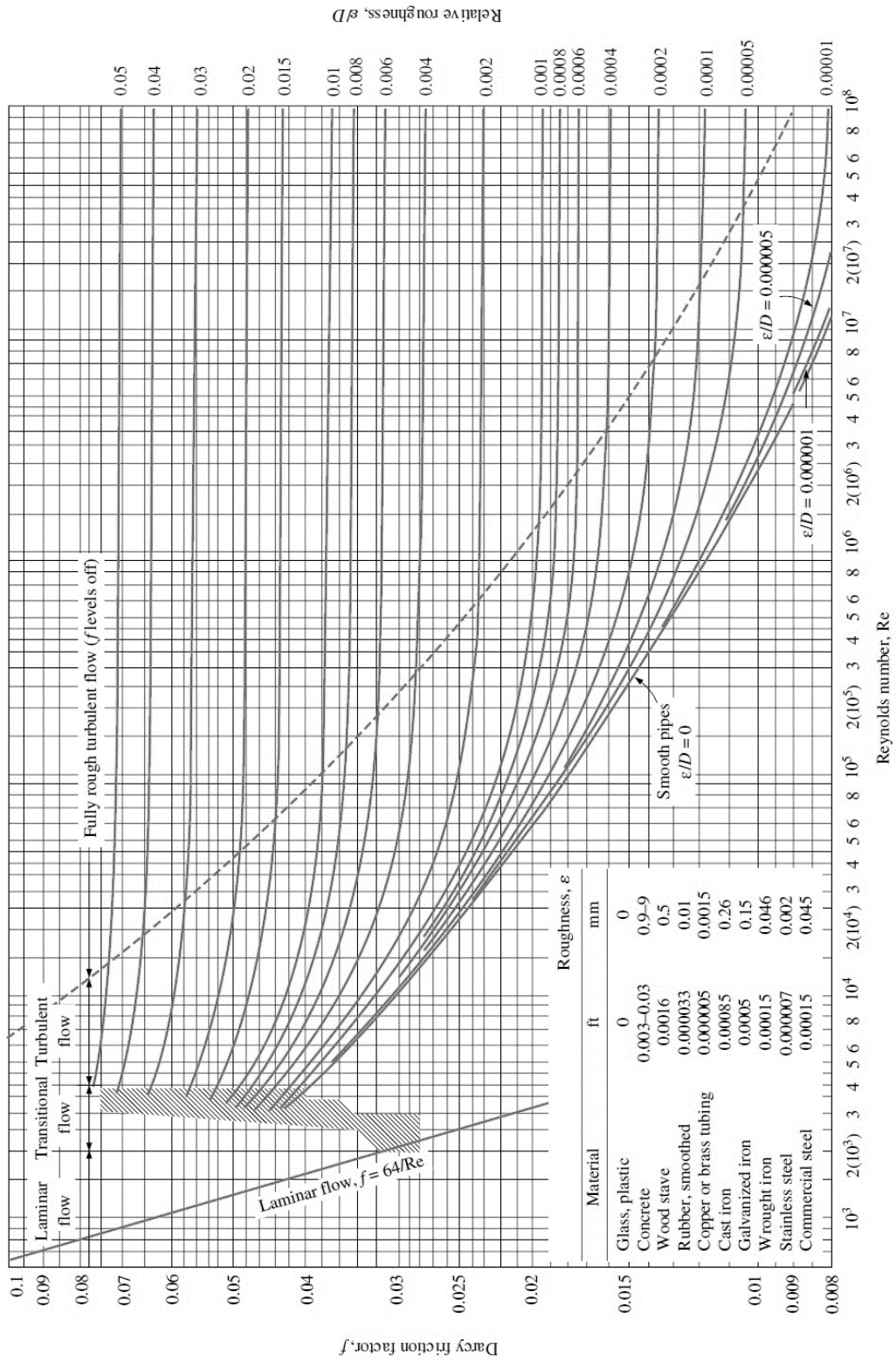


FIGURE A-20

The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular pipes for use in the head loss relation  $\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V^3}{2}$ . Friction factors in the turbulent flow are evaluated from the Colebrook equation  $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$ .

## ANEXO B – TABELA DE NEUTRALIZAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS

### TABELA DE NEUTRALIZAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS

| Neutralizante<br>Fator K<br>Produto | HCl<br>30 % | HCl<br>33% | HCl<br>36% | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>70% | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>98% | Cal Hidrat<br>100%<br>Ca(OH) <sub>2</sub> | Carbonato<br>de<br>Sódio<br>(Barrilha) | NaOH<br>50% | NaOH<br>98% | Sulfito de<br>Sódio<br>100%<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> |
|-------------------------------------|-------------|------------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|--|-------------|-------------|--|
| Ácido Clorídrico 30%                |             |            |            |                                       |                                       | 0,31                                      | 0,44                                   | 0,66        | 0,33        |  |
| Ácido Clorídrico 33%                |             |            |            |                                       |                                       | 0,36                                      | 0,50                                   | 0,73        | 0,36        |  |
| Ácido Clorídrico 36%                |             |            |            |                                       |                                       | 0,40                                      | 0,55                                   | 0,80        | 0,40        |  |
| Ácido Nítrico 98%                   |             |            |            |                                       |                                       | 0,60                                      | 0,80                                   | 1,25        | 0,65        |  |
| Ácido Sulfúrico 70%                 |             |            |            |                                       |                                       | 0,42                                      | 0,76                                   | 1,44        | 0,57        |  |
| Ácido Sulfúrico 98%                 |             |            |            |                                       |                                       | 0,80                                      | 1,10                                   | 1,60        | 0,80        |  |
| Cloro 100%                          |             |            |            |                                       |                                       | 1,10                                      | 1,50                                   | 1,80        | 0,90        |  |
| Hipoclorito de Sódio<br>12%         |             |            |            |                                       |                                       |   |  |             |             | 0,28   |
| Soda Caustica 50%                   | 1,51        | 1,39       | 1,27       | 0,89                                  | 0,63                                  |   |  |             |             |  |
| Soda Caustica 98%                   | 3,03        | 2,77       | 2,50       | 1,75                                  | 1,25                                  |   |  |             |             |  |

Para neutralizar uma quantidade **Q** de um **Produto**, usa-se uma quantidade **K x Q** do **Neutralizante** escolhido.

Exemplo:

Para neutralizar 1000 Kg de Ácido Sulfúrico 98% (Produto), podemos utilizar, por exemplo Soda Caustica 50% (Neutralizante), assim:

Quantidade de Soda Caustica necessária para neutralizar 1000Kg de Ácido Sulfúrico 98%. **Fator K = 1,6**, assim:

Quantidade de Soda 50% =  $K \times Q = 1,6 \times 1000 \text{ Kg} = 1.600 \text{ Kg}$  de Soda Caústica 50% deverão ser utilizadas