



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA

Home Beer: Microcervejaria automatizada

Autores: Caio Gabriel A. Medeiros, Felipe S. Nascimento, Isabela R. Macedo, João Gabriel S. Ribeiro, Larissa M. Freitas, Lucas M. Martins, Mateus O. Barbosa, Matheus Roberto A. Silva, Rafael da S. Rodrigues, Renato C. Motta Júnior, Vanessa A. Alves, Victor Hugo B. Tavares, Victor Wagner P. Araujo, Vinícius C. Cantuária, Yago R. Ferreira

Brasília, DF

2020



Resumo

O processo de fabricação artesanal de cerveja envolve etapas bem definidas: malteação, brassagem, fervura, *whirlpool*, resfriamento e fermentação. Estas apresentam várias dificuldades para o cervejeiro, sendo que as principais são: espaço físico, organização, a fabricação do mosto (brassagem), controle de temperatura e tempo.

O objetivo deste trabalho é automatizar o processo de fabricação caseira de cerveja, facilitando o trabalho do cliente. As etapas de brassagem, fervura e resfriamento serão de tal forma que não será necessária a supervisão do cliente durante o processo.

Este trabalho apresenta o dimensionamento dos subsistemas de uma microcervejaria automatizada. Em cada uma das seções, foi detalhado o dimensionamento dos subsistemas de estruturas, térmica, automação e software.

Palavras-chaves: Microcervejaria, Automação, Artesanal

Listas de ilustrações

Figura 1 – Diagrama de funcionamento geral do sistema. As setas indicam a direção que os líquidos podem seguir. <i>Legenda: VA = válvulas, PU = bombas.</i>	22
Figura 2 – Diagrama da transferência de água da panela 1 para a panela 2. As setas em vermelho indicam o caminho da transferência.	23
Figura 3 – Diagrama do processo de recirculação que acontece na panela 2. As setas em vermelho indicam o caminho do líquido.	23
Figura 4 – Diagrama da transferência do mosto da panela 2 para a panela 3. As setas em vermelho indicam o caminho da transferência.	24
Figura 5 – Diagrama da etapa de resfriamento do mosto na panela 3. As setas em vermelho indicam o caminho da recirculação.	25
Figura 6 – Diagrama da etapa de <i>whirlpool</i> do mosto na panela 3. As setas em vermelho indicam o caminho da recirculação.	25
Figura 7 – Diagrama da trasfega final do processo. As setas em vermelho indicam o caminho do líquido.	26
Figura 8 – Solução da estrutura do projeto	27
Figura 9 – Fluxograma de desenvolvimento da análise estrutural	28
Figura 10 – Estrutura principal	29
Figura 11 – Perfil dos tubos	29
Figura 12 – Elemento tetraédrico linear	30
Figura 13 – Malha aplicada em toda a estrutura	31
Figura 14 – Vínculo de mola virtual	32
Figura 15 – Condições de contorno	32
Figura 16 – Condições de contorno com molas virtuais	33
Figura 17 – Resultado de deslocamento	34
Figura 18 – Resultado da tensão equivalente de von Mises	34
Figura 19 – Conjunto panela-filtro-resistência. A = filtro, B = resistência de aquecimento e C = panela.	35
Figura 20 – Panela para fabricação (50L)	36
Figura 21 – Filtro para malte.	36
Figura 22 – Resistência de aquecimento (5000 W)	38
Figura 23 – Montagem do conjunto panela-filtro-resistência	38
Figura 24 – Vista isométrica da tubulação	39
Figura 25 – Vista isométrica da tubulação	40
Figura 26 – Componentes da tubulação. Descrição dos componentes na Tabela 4 . .	41
Figura 27 – Especificação Cuvas 90°	42
Figura 28 – Especificação TEE	42

Figura 29 – Especificação Redutor	43
Figura 30 – Esquemático do trocador de calor de tubo duplo. $T_{M,e}$ e $T_{M,s}$ são as temperaturas de entrada do mosto respectivamente; $T_{A,e}$ e $T_{A,s}$ são as temperaturas de entrada e saída da água, respectivamente.	44
Figura 31 – Vista isométrica do trocador de calor dimensionado.	51
Figura 32 – Vista isométrica 2 do trocador de calor dimensionado.	52
Figura 33 – Modelo de reservatório de polipropileno	53
Figura 34 – Diagrama de Moody	55
Figura 35 – Coeficiente de perda para contrações e expansões bruscas.	58
Figura 36 – Perdas de pressão em entradas de tubulações.	59
Figura 37 – Vista superior, com vetores de velocidade e linhas de trajetória, para o melhor caso.	61
Figura 38 – Vista isométrica, com linhas de trajetória, para o melhor caso.	62
Figura 39 – Vista superior, com vetores de velocidade e linhas de trajetória para o pior caso.	62
Figura 40 – Vista isométrica, com linhas de trajetória, para o pior caso.	63
Figura 41 – Vista superior, com vetores de velocidade e linhas de trajetória, para a geometria escolhida para nossa solução.	64
Figura 42 – Vista isométrica, com linhas de trajetória, para a geometria escolhida para nossa solução.	64
Figura 43 – Alimentador de insumos	65
Figura 44 – Funcionamento do alimentador de insumos	66
Figura 45 – Case de proteção para servo	67
Figura 46 – Tampa do alimentador	67
Figura 47 – Disposição dos alimentadores	68
Figura 48 – Diagrama da Solução do Sistema Embarcado	69
Figura 49 – Conexão Sensor de Temperatura	70
Figura 50 – Conexão Sensor de fluxo	71
Figura 51 – Bomba de circulação	72
Figura 52 – Micro Servo 9g SG90	73
Figura 53 – Válvula Solenoide SERIE 4213ITHUS	74
Figura 54 – Relé de estado sólido com transição em <i>zero crossing</i>	75
Figura 55 – Circuito de Acionamento do Relé	76
Figura 56 – NPN transistor	77
Figura 57 – Sistema em malha aberta	78
Figura 58 – Sistema em malha fechada	79
Figura 59 – Estrutura do PID	79
Figura 60 – Fronteira do sistema de aquecimento	80
Figura 61 – Transferência de calor através de parede plana	81

Figura 62 – Diagrama em blocos do sistema de aquecimento da brassagem	82
Figura 63 – Gráfico da temperatura de referência(°C) pelo tempo	83
Figura 64 – Curva de aquecimento da planta	83
Figura 65 – Potência de aquecimento aplicada	84
Figura 66 – Raspberry Pi 3 Model B+	86
Figura 67 – Diagrama de Funcionamento do Nobreak	88
Figura 68 – Diagrama de Funcionamento da Fonte da para Placa Peltier	89
Figura 69 – Identidade Visual da Aplicação	92
Figura 70 – Telas de Autenticação do Aplicativo	93
Figura 71 – Telas Iniciais do Aplicativo	94
Figura 72 – Telas de Receita e Limpeza do Aplicativo	95
Figura 73 – Telas de acompanhamento do Processo do Aplicativo	97
Figura 74 – Exemplo de notificações do Aplicativo	98
Figura 75 – Representação arquitetural do padrão MVC	100
Figura 76 – Diagrama de Classes da Aplicação	101
Figura 77 – Diagrama de Casos de Uso da Aplicação	102
Figura 78 – Diagrama de Estrutura da Aplicação	103
Figura 79 – Diagrama de Sequência da Aplicação	104
Figura 80 – Diagrama Entidade Relacionamento	105
Figura 81 – Diagrama Lógico dos Dados	105
Figura 82 – Diagrama de trabalho - Alexa	108
Figura 83 – Quadro de Conhecimento da Equipe de Software	136
Figura 84 – Quadro de Conhecimento da Equipe de Estrutura	136
Figura 85 – Quadro de Conhecimento da Equipe de Controle	136
Figura 86 – Representação arquitetural do padrão MVC	169
Figura 87 – Representação arquitetural do padrão Cliente-Servidor	170
Figura 88 – Representação dos módulos do sistema	171
Figura 89 – Diagrama Entidade Relacionamento	171
Figura 90 – Diagrama Lógico dos Dados	172

Lista de tabelas

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do material utilizado na estrutura	30
Tabela 2 – Critério padrão de qualidade de malha do CATIA (Surface Mesh Quality Criteria)	31
Tabela 3 – Critério de qualidade de malha do Abaqus (Abaqus Tetra Checks)	31
Tabela 4 – Itens utilizados na tubulação	42
Tabela 5 – Propriedades do mosto e da água no trocador de calor.	46
Tabela 6 – Tubos de aço inox disponíveis comercialmente avaliados para o projeto	49
Tabela 7 – Combinações possíveis com os tubos.	49
Tabela 8 – Resultados obtidos com as combinações possíveis. Nota: os valores de Re_D , Nu_D , eficiência e NUT são adimensionais.	50
Tabela 9 – Perda de carga, velocidade de escoamento e pressão disponível no sistema	51
Tabela 10 – Numeração das fases para o cálculo inicial.	56
Tabela 11 – Vazão volumétrica e velocidade média dos fluidos para o cálculo inicial.	56
Tabela 12 – Massa específica e viscosidade dinâmica para o cálculo inicial.	57
Tabela 13 – Características das dimensões da tubulação.	57
Tabela 14 – Número de componentes ao longo do fluxo.	57
Tabela 15 – Coeficientes de perda para cada tipo de componente.	58
Tabela 16 – Coeficientes de perda para variação de área na tubulação.	58
Tabela 17 – Perdas de pressão totais no cálculo inicial.	59
Tabela 18 – Características da bomba escolhida.	59
Tabela 19 – Vazão volumétrica e velocidade média dos fluidos para o cálculo final.	60
Tabela 20 – Perdas de pressão totais no cálculo final.	60
Tabela 21 – Legenda alimentador de inssumos	65
Tabela 22 – Equipamentos que serão supridos pelo Nobreak	87
Tabela 23 – Tabela de Interações da tela de Login	94
Tabela 24 – Tabela de Interações das telas iniciais	95
Tabela 25 – Tabela de Interações das telas de Receita e Limpeza	96
Tabela 26 – Tabela de Interações da tela de Processo	98
Tabela 27 – Tabela de Interações dos Exemplos de Notificações	99
Tabela 28 – Tabela de Intenções padrões da Amazon	109
Tabela 29 – Tabela de Intenções Manuais da Skill Home Beer	110
Tabela 30 – Tabela de Intenções Automaticas Skill Home Beer	111
Tabela 31 – Tabela Custos Estruturais	112
Tabela 32 – Tabela Custos Eletrônica	112
Tabela 33 – Tabela Custos de Software	113
Tabela 34 – Tabela Aquisição Custos de Internet e Energia	125

Tabela 35 – Tabela de Custo de Ferramentas	125
Tabela 36 – Tabela de Instrução de Posição do Problema	127
Tabela 37 – Tabela de Instrução de Posição do Produto	128
Tabela 38 – Tabela de Resumo da Parte Interessada	128
Tabela 39 – Tabela de Resumo dos Usuários	129
Tabela 40 – Tabela da Necessidade dos Usuários ou Envolvidos	129
Tabela 41 – Tabela de Perfil Usuários do Aplicativos	130
Tabela 42 – Tabela de Perfil Usuários: Produtor Artesanal	130
Tabela 43 – Tabela Principais Necessidades da Parte Interessada ou dos Usuários .	131
Tabela 44 – Tabela Resumo das Capacidades	132
Tabela 45 – Tabela das ferramentas utilizadas no desenvolvimento	137
Tabela 46 – Swagger para pegar todas as receitas cadastradas no sistema.	180
Tabela 47 – Swagger para cadastrar uma nova receita no sistema.	181
Tabela 48 – Swagger para visualizar uma receita cadastrada no sistema.	182
Tabela 49 – Swagger para editar uma receita cadastrada no sistema.	183
Tabela 50 – Swagger para visualizar o processo que está em progresso.	184
Tabela 51 – Swagger para visualizar um processo específico.	185
Tabela 52 – Swagger para iniciar uma receita.	186
Tabela 53 – Swagger para iniciar a limpeza das panelas.	186

Lista de abreviaturas e siglas

Fig.	Figura
O ₂	Molécula de oxigênio
CO ₂	Molécula de gás carbônico
°C	Graus Celsius
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
K	Graus Kelvin
RUP	Rational Unified Process
QFD	Quality Function Deployment
MVC	Model View Controller
API	Application Programming Interface
IPA	India Pale Ale
JSON	JavaCript Object Notation
<i>L</i>	Litros
PVC	Policloreto de vinila
<i>q</i>	Taxa de transferência de calor
<i>L</i>	Litro
<i>A</i>	Área de troca térmica do tubo
<i>h_i</i>	Coeficiente de película médio da parede interna dos tubo
<i>N</i>	Newton
<i>W</i>	Watts
<i>cm</i>	Centímetros
<i>mm</i>	Milímetros
<i>m</i>	Metros

k	Condutividade térmica do material dos tubos
s	Segundos
min	Minutos
h_e	Coeficiente de película médio da parede externa do tubo
V	Volts
U	Coeficiente global de transferência de calor
ΔT	Variação de temperatura entre fluidos
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CA/CC	Conversão corrente alternada para corrente contínua
CC/CA	Conversão corrente contínua para corrente alternada
\dot{V}	Vazão volumétrica
\dot{m}	Vazão mássica do fluido
UPS	Uninterruptible Power Supply
Re_D	Número de Reynolds
Nu_D	Número de Nusselt
"	Polegadas
MVC	Model-View-Controller
NLP	Natural Language Processing
VA	Válvulas
PU	Bombas

Sumário

Sumário	9
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	16
1.2 Objetivo	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 Requisitos	17
1.3.1 Requisitos Funcionais do Projeto	17
1.3.2 Requisitos Não Funcionais	17
1.3.3 Requisitos de Estrutura e Térmica	17
1.3.3.1 Requisitos Funcionais	17
1.3.3.2 Requisitos Não Funcionais	18
1.3.4 Requisitos do Sistema Embarcado	18
1.3.4.1 Requisitos funcionais	18
1.3.4.2 Requisitos Não Funcionais	19
1.3.5 Requisitos de Software	19
1.3.5.1 Requisitos Funcionais	19
1.3.5.2 Requisitos Não Funcionais	20
1.3.6 Premissas e Restrições	21
2 SOLUÇÃO	22
2.1 Solução geral proposta	22
2.2 Solução Estrutural	26
2.2.1 Estrutura principal	28
2.2.1.1 Definição da geometria	29
2.2.1.2 Definição do material	30
2.2.1.3 Qualidade da malha	30
2.2.1.4 Condições de contorno	31
2.2.1.5 Análise estática e resultados	33
2.2.2 Conjunto panela-filtro-resistência	35
2.2.3 Tubulação	38
2.2.4 Trocador de Calor	43
2.2.4.1 Dimensionamento do trocador de calor	45
2.2.5 Reservatório de água	53
2.2.6 Dimensionamento da Bomba Principal	54

2.2.6.1	Cálculos Iniciais	56
2.2.6.2	Cálculos Pós-escolha da Bomba	59
2.2.7	Simulação do Whirlpool	60
2.2.8	Alimentador de insumos	65
2.3	Solução do Sistema Embarcado	68
2.3.1	Módulo do Sistema de Aquisição	69
2.3.2	Sensor de Temperatura	69
2.3.3	Sensor de Fluxo de Líquido	70
2.3.4	Módulo do Sistema de Atuação	71
2.3.5	Circuito de Acionamento	75
2.3.5.1	Controlador de temperatura	78
2.3.5.1.1	PID	79
2.3.5.1.2	Planta	80
2.3.5.1.3	Modelo simulink	82
2.3.5.1.4	Solução proposta para o controlador de temperatura	84
2.3.6	Módulo do Sistema de Comunicação	85
2.3.7	Módulo do Sistema de Alimentação	86
2.3.7.1	Dimensionamento do Nobreak	87
2.3.8	Fonte Reguladora de Tensão Para a Placa Peltier	88
2.4	Solução de Software	91
2.4.1	Arquitetura da Informação	91
2.4.1.1	Identidade Visual	92
2.4.1.2	Fontes	92
2.4.1.3	Paleta de Cores	93
2.4.1.4	Telas de Login	93
2.4.1.5	Telas Iniciais	94
2.4.1.6	Telas de Receita e Limpeza	95
2.4.1.7	Telas do Processo	96
2.4.1.8	Exemplos de Notificação	98
2.4.2	Arquitetura de Software	99
2.4.3	Diagramas	100
2.4.3.1	Diagrama de Classe	100
2.4.3.2	Diagrama de Casos de Uso	102
2.4.3.3	Diagrama de Estrutura dos Pacotes	103
2.4.3.4	Diagrama de Sequência	103
2.4.3.5	Visão de Dados	105
2.4.4	Inovação	106
2.4.4.1	Descrição do Problema e Proposta de Inovação	106
2.4.4.2	Como irá funcionar?	106

2.4.4.3	Como está sendo implementado?	108
3	CUSTOS	112
3.1	Estrutura	112
3.2	Sistema Embarcado	112
3.3	Software	113
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
 REFERÊNCIAS		115
 APÊNDICES		118
 APÊNDICE A – DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS		119
 APÊNDICE B – PLANO DE GERENCIAMENTO DE CUSTOS		122
B.1	Objetivo do plano de Gerenciamento de custo	122
B.2	Método de gerenciamento dos custos	122
B.2.1	Planejar o gerenciamento dos custos	122
B.2.2	Estimativa de Custos	122
B.2.3	Determinação de Orçamento	123
B.2.3.1	Pessoal	123
B.2.3.2	Aquisição	124
B.3	Ferramentas	125
 APÊNDICE C – DOCUMENTO DE VISÃO DE SOFTWARE		126
C.1	Introdução	126
C.1.1	Propósito	126
C.1.2	Escopo	126
C.1.3	Visão Geral	126
C.2	Posicionamento	127
C.2.1	Oportunidade de Negócio	127
C.2.2	Instrução de Posição do Problema	127
C.2.3	Instrução de Posição do Produto	128
C.3	Descrição dos Envolvidos e Usuários	128
C.3.1	Resumo da Parte Interessada	128
C.3.2	Resumo dos Usuários	129
C.3.3	Ambiente do Usuário	129
C.3.4	Principais Necessidades dos Usuários ou dos Envolvidos	129
C.3.5	Perfil das Partes Interessadas	130

C.3.5.1	Usuário do Aplicativo	130
C.3.6	Perfil dos Usuários	130
C.3.6.1	Produtor Artesanal(usuário)	130
C.3.7	Principais Necessidades da Parte Interessada ou dos Usuários	131
C.3.8	Visão Geral do Produto	131
C.3.8.1	Perspectiva do Produto	131
C.3.9	Resumo das Capacidades	132
C.4	Licenciamento e Instalação	132
C.5	Recursos do Produto	132
C.5.1	Acesso	132
C.5.2	Gerenciamento de novas Receitas	132
C.5.3	Visualizar processo de produção/Estimativa de tempo	132
C.5.4	Gerenciar processo de limpeza	133
C.5.5	Gerenciar processo de produção da cerveja	133
C.5.6	Receber notificações	133
C.6	Restrições	133
C.6.1	Restrições de sistema	133
C.6.2	Restrições Extras	133
C.7	Faixas de Qualidade	134
C.8	Precedência e Prioridade	134
C.9	Outros Requisitos do Produto	134
C.9.1	Requisitos do Sistema	134
C.9.2	Requisitos de Desempenho	134
 APÊNDICE D – RECURSOS HUMANOS		135
D.1	Objetivo	135
D.2	Origem dos Recursos Humanos	135
D.3	Conhecimento Técnico dos Integrantes	135
D.3.1	Quadro de Conhecimento de Software	136
D.3.2	Quadro de Conhecimento de Estruturas	136
D.3.3	Quadro de Conhecimento de Controle	136
 APÊNDICE E – PLANO DE GERENCIAMENTO E CONFIGURAÇÃO DE SOFTWARE		137
E.1	Introdução	137
E.2	Ferramentas	137
E.3	Políticas de Contribuição	137
E.3.1	Folha de Estilo	137
E.3.2	Política de Commits	137
E.3.3	Política de Branches	138

E.3.4	Política de Versionamento	138
E.4	Pipeline	139
APÊNDICE F – QUESTIONÁRIO		140
APÊNDICE G – TROCADOR DE CALOR		141
G.1	Pesquisa realizada para obter dados sobre o uso de água na etapa de resfriamento do mosto.	141
G.2	Código utilizado para calcular as características do trocador de calor.141	
APÊNDICE H – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA PLACA DE PELTIER		148
APÊNDICE I – DRAFTS DO PROJETO		151
APÊNDICE J – TOMADAS DE DECISÃO - SOFTWARE		164
J.1	Ponto de Controle 1	164
J.1.1	Decisões de Tecnologia	164
J.1.1.1	Interface Gráfica	164
J.1.1.1.1	Ferramentas Utilizadas	164
J.1.1.2	Interface de Voz	164
J.1.2	Decisões de Gerenciamento	165
J.1.2.1	Licença do Projeto	165
J.2	Ponto de Controle 2	165
APÊNDICE K – REPOSITÓRIOS DO PROJETO - GITHUB		167
K.1	Repositório Documentação de Software	167
K.2	Repositório da API	167
K.2.1	Funcionalidades Implementadas	167
K.3	Repositório do Aplicativo	167
K.3.1	Funcionalidades Implementadas	167
K.4	Repositório da Skill da Alexa	167
K.4.1	Funcionalidades Implementadas	167
APÊNDICE L – DOCUMENTO DE ARQUITETURA DE SOFTWARE		168
L.1	Arquitetura da Solução	168
L.2	Visão Lógica	169
L.3	Visão de Implantação	170
L.4	Visão de Dados	171
APÊNDICE M – ESPECIFICAÇÕES DOS CASOS DE TESTES		173

M.1	UC01 - Autenticação	173
M.1.1	TC01 - Autenticação realizada com sucesso	173
M.1.2	TC02 - Autenticação com QRcode inválido	173
M.2	UC02 - Gerenciar Produção de Cerveja	173
M.2.1	TC03 - Inicialização do processo iniciada com sucesso	173
M.2.2	TC04 - Inicialização do processo de produção inválida	174
M.2.3	TC05 - Consulta do processo de produção	174
M.2.4	TC06 - Cancelar processo de produção com sucesso	174
M.2.5	TC07 - Falha para cancelar processo de Produção	174
M.3	UC03 - Gerenciar Processo de Limpeza	175
M.3.1	TC08 - Iniciar Processo de Limpeza com sucesso	175
M.3.2	TC09 - Falha ao iniciar processo de limpeza	175
M.4	UC04 - Gerenciar Receitas	175
M.4.1	TC10 - Criar Receita com Sucesso	175
M.4.2	TC11 - Falha para criar receita	176
M.4.3	TC12 - Editar Receita com sucesso	176
M.4.4	TC13 - Falha para editar receita	176
M.4.5	TC14 - Excluir Receita com sucesso	177
M.4.6	TC15 - Falha para excluir receita	177
M.4.7	TC16 - Visualizar Receita com sucesso	177
M.4.8	TC17 - Falha para visualizar receita	178
M.4.9	TC18 - Visualizar lista de Receitas com sucesso	178
M.4.10	TC19 - Falha para visualizar lista de receitas	178
M.5	UC05 - Gerenciar Notificações	178
M.5.0.1	TC20 - Enviar Notificação com Sucesso	178
M.5.1	TC21 - Falha para enviar notificação	179
	APÊNDICE N – DOCUMENTAÇÃO DA API	180
N.1	Visualizar todas as receitas	180
N.2	Adicionar receita	181
N.3	Visualizar receita específica	182
N.4	Editar receita	183
N.5	Visualizar processo atual	184
N.6	Visualizar processo específico	185
N.7	Iniciar processo	186
N.8	Iniciar limpeza	186

1 Introdução

A cerveja possui registros na cultura da maioria das civilizações antigas. Há registros de mais de cinco mil anos, em ruínas do oriente médio, que citam o uso da bebida (MARTINS, 2014). Genericamente, define-se cerveja como uma bebida carbonatada de teor alcoólico entre 3% e 8% (v/v), preparada a partir de malte de cevada, lúpulo, fermento e água de boa qualidade, além de outras matérias primas como arroz, milho e trigo (SIQUEIRA, 2008).

As cervejas são divididas em dois grandes estilos: *Ale* e *Lager*. O primeiro tipo inclui as cervejas de alta fermentação, que normalmente têm graduação alcoólica superior a 5% e são mais adocicadas. As do tipo *Lager* são de baixa fermentação e passam por um processo mais demorado que foi inicialmente desenvolvido por monges da região da Bavária. Cervejas *Lager* têm sabor suave e graduação alcoólica média de 3,58% (MARTINS, 2014) e devem ser consumidas geladas e de forma rápida. Esse tipo é o mais vendido pelas grandes cervejarias do mundo, e tem estilo de produção que mais se adequa ao clima brasileiro.

A tendência de crescimento das grandes cervejarias no Brasil ocorre há mais de 20 anos. Em 1999, por exemplo, a AmBev, que na época era a quarta maior cervejaria do mundo, vendia 70 bilhões de litros por ano. Paralelo a esse crescimento, surge o movimento *slow food*, que deu origem às cervejarias artesanais, que tem como um dos principais produtos cervejas do tipo IPA (*India Pale Ale*), que são do tipo *Ale*. A filosofia desse movimento tem relação com o resgate da história, da cultura e do prazer de se fazer e consumir boas cervejas (FERREIRA et al., 2011).

O processo de produção envolve etapas bem definidas: malteação, brassagem, fervura, *whirlpool*, resfriamento e fermentação. A malteação é o processo de hidratação e germinação do grão, o que resulta no malte. A brassagem tem por objetivo promover a hidrólise do amido e açúcares do malte.

Após a brassagem, o mosto (parte líquida) é separado do malte (grão) e fervido a aproximadamente 100°C. Durante o processo de fervura, acontece esterilização do mosto. Também é o momento em que o lúpulo é adicionado e ocorre a transferência de seu aroma e amargor ao mosto.

No processo de fermentação, a levedura é adicionada ao mosto e se reproduz rapidamente. Após consumir todo o oxigênio (O_2), as células de levedura passam a utilizar o açúcar de forma anaeróbica, fermentando esses açúcares em etanol e gás carbônico (CO_2) (SIQUEIRA, 2008).

As características do produto final dependem diretamente da matéria prima utilizada. O malte é responsável pelo teor alcoólico, pelo aroma e pela quase total cor do produto final. A quantidade e qualidade da água afetam a qualidade, o aroma e a cor do produto final. O lúpulo tem função aromática e propicia o sabor amargo. ([MARTINS, 2014](#))

1.1 Justificativa

O processo de fabricação artesanal apresenta várias dificuldades para o cervejeiro, por esse motivo demanda atenção constante. De acordo com uma pesquisa de campo realizada, as principais dificuldades encontradas por cervejeiros são:

- Utensílios grandes na produção artesanal demandam espaço físico dedicado, além de demandar bastante organização durante a fabricação;
- Todo o processo, e especialmente a etapa de brassagem, demanda atenção constante do cervejeiro por conta das variações de temperatura específicas para cada receita;
- O tempo investido em uma produção é de aproximadamente 4 horas; tempo que o cervejeiro poderia investir em outras coisas.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é automatizar o processo de fabricação caseira de cerveja, facilitando o trabalho do cliente. As etapas de brassagem, fervura, *whirlpool* e resfriamento serão de tal forma que não será necessária a supervisão do cliente durante o processo.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os seguintes objetivos específicos se tornam necessários:

- Controlar o aquecimento dos fluidos nas três panelas;
- Construir a estrutura para conter os subsistemas;
- Bombar os fluidos entre as panelas;
- Monitorar os dados do processo;
- Desenvolver um reservatório para o líquido de resfriamento;

- Desenvolver sistema para alimentação dos insumos no momento da fervura;
- Desenvolver sistema de alerta;
- Realizar rotina de limpeza em todo o sistema.

1.3 Requisitos

1.3.1 Requisitos Funcionais do Projeto

- Realizar quatro etapas da produção de cerveja de forma automática, sendo elas brassagem, fervura, *whirlpool* e resfriamento.
- Capacidade de selecionar o tipo de cerveja;
- Monitorar o estado do processo de fabricação;
- Realizar limpeza básica, com água fervente, de todos os componentes que entram em contato com o mosto, de maneira automática;
- Estimar do tempo necessário para o fim do processo.

1.3.2 Requisitos Não Funcionais

- Usabilidade: o funcionamento e uso da microcervejaria devem ser intuitivos e simples para o cliente produzir sua cerveja;
- Confiabilidade: o sistema da microcervejaria deve funcionar corretamente (sem alterações inadequadas) e de forma segura;
- Manutenibilidade: o sistema como um todo deve ser de fácil limpeza para o cliente, e de fácil manutenção para equipes técnicas que venham a manter o sistema.

1.3.3 Requisitos de Estrutura e Térmica

1.3.3.1 Requisitos Funcionais

- Estrutura deve sustentar a massa de todos os componentes estruturais e do produto sem deformação plástica;
- As resistências devem realizar as mudanças de temperatura dentro dos parâmetros indicados nas receitas de IPAs e serem capazes de manter a temperatura ao longo do processo;
- Panelas devem sustentar os volumes necessários de mistura;

- Filtro deve reter as partículas de malte;
- Reservatório de calor deve ser suficiente para todos os tipos de cerveja propostos no projeto;
- Alimentação elétrica reserva para caso de falhas na rede de alimentação principal;
- Bombas e tubulação devem garantir vazão e pressão suficientes em todas as fases do processo;
- Trocador de calor com dimensões capazes de realizar o resfriamento proposto nas IPAs;
- Alocação dos componentes estruturais e eletrônicos do projeto;
- Alimentador de insumos deve sustentar a quantidade de insumos para todas receitas de IPAs;
- Todos componentes que entram em contato com o fluido devem sustentar a temperatura do fluido sem liberar substâncias tóxicas ou mudar de estado físico;

1.3.3.2 Requisitos Não Funcionais

- Usabilidade:
 - A estrutura deve comportar as três panelas para deixá-las acessíveis para o usuário realizar a produção de cerveja;
- Confiabilidade:
 - A estrutura deve ser capaz de suportar a produção de cerveja mantendo a integridade estrutural do sistema;
 - Os materiais dos componentes não devem alterar inadequadamente a qualidade da cerveja.
- Manutenibilidade:
 - Desmontagem fácil para manutenção/substituição de componentes;
 - Possibilitar a limpeza completa dos componentes de forma manual.

1.3.4 Requisitos do Sistema Embarcado

1.3.4.1 Requisitos funcionais

- Adquirir os seguintes sinais:

- Temperatura;
 - Fluxo dos líquidos;
 - Nível dos líquidos.
- Adquiridos os dados de temperatura, realizar ajustes de temperatura de acordo com as escalas propostas em cada etapa do processo de produção da cerveja;
 - Adquiridos os dados de fluxo dos líquidos, realizar o controle do fluxo dos líquidos nas bombas e o controle das válvulas do sistema;
 - Adquiridos os dados de nível de líquido, verificar se o nível de líquido é o esperado para realizar cada etapa do processo de produção da cerveja;
 - Com a utilização do microprocessador o sistema deverá realizar a comunicação entre o usuário e a microcervejaria.

1.3.4.2 Requisitos Não Funcionais

- Confiabilidade
 - Enviar periodicamente os dados de temperatura ao aplicativo a fim de manter o usuário a par das etapas envolvidas no processo de produção.
- Economia
 - Garantir a melhor performance energética na operação dos componentes a fim de minimizar o consumo energético total.
- Segurança
 - Assegurar que o usuário não seja exposto a descargas elétricas ao operar a microcervejaria.
 - O funcionamento da microcervejaria não deve por em risco a integridade da instalação elétrica na qual está ligada.
- Durabilidade
 - Garantir que os componentes utilizados sejam utilizados adequadamente, de modo a atingir a maior vida útil possível.

1.3.5 Requisitos de Software

1.3.5.1 Requisitos Funcionais

- Gerenciar os dados de temperatura adquiridos pelos sensores;

- Gerar *token* para usuário;
- Entrar com *token* para acessar *API* do microcontrolador;
- Gerenciar receitas;
- Visualizar processo de produção;
- Visualizar dados do processo atual;
- Gerenciar processo de limpeza;
- Gerenciar processo de produção da cerveja;
- Receber notificações.

1.3.5.2 Requisitos Não Funcionais

- Confiabilidade:
 - O acesso à temperatura e ao tempo durante o processo deve ser feito em tempo real para que o usuário tenha melhor noção a respeito do processo;
 - O aplicativo deve indicar o momento em que o usuário deverá adicionar(ingredientes) ou retirar(resíduos) da máquina;
 - Desde que o microcontrolador esteja ligado e conectado à uma rede de internet, o mesmo poderá ser acessado, podendo iniciar ou parar algum processo em andamento.
- Usabilidade:
 - O aplicativo deve ter uma interface que deixe claro todas as funcionalidades, e que possibilite fácil utilização.
- Portabilidade:
 - Para maior compatibilidade nos sistemas, utilizaremos *React Native*, pois assim poderá ser acessado tanto em dispositivos Android quanto IOS, sem necessidade de implementação em linguagens diferentes.
- Segurança:
 - Permitir que usuário se conecte ao microcontrolador por QR CODE.
- Entrega

- A comunicação com microcontrolador deverá ocorrer através de JSON (*JavaScript Object Notation*), que é uma forma bem leve de comunicação para transporte de informações.
- Implementação:
 - JavaScript será a linguagem utilizada para o desenvolvimento da parte Front-end do app mobile, utilizando a biblioteca *React Native*.
- Interoperabilidade
 - Dados das receitas como temperatura, tempo de aplicação, ingredientes e outros dados que necessitam ser guardados serão armazenados no microprocessador.
- Manutenibilidade
 - O código não pode ter alta complexidade para que possa ser facilmente mantido e evoluído.

1.3.6 Premissas e Restrições

Visando limitar o escopo do projeto, uma pesquisa de campo foi realizada (Apêndice F) e as seguintes restrições foram levantadas:

- Fabricação de 20L de produto final;
- Cervejas da família das IPAs;

Os itens listados na lista abaixo estão fora do escopo do nosso projeto:

- Monitorar a qualidade da água utilizada;
- Inserir o malte no sistema;
- Verificar a quantidade e qualidade das matérias-primas;
- Retirar o malte ao fim do processo e realizar a limpeza do filtro;
- Medir das propriedades químicas do mosto;
- Alocar a matéria-prima para mais de um processo.

2 Solução

2.1 Solução geral proposta

A Figura 1 mostra o diagrama de funcionamento geral da solução proposta. A metodologia de produção utilizada será o de 3 panelas.

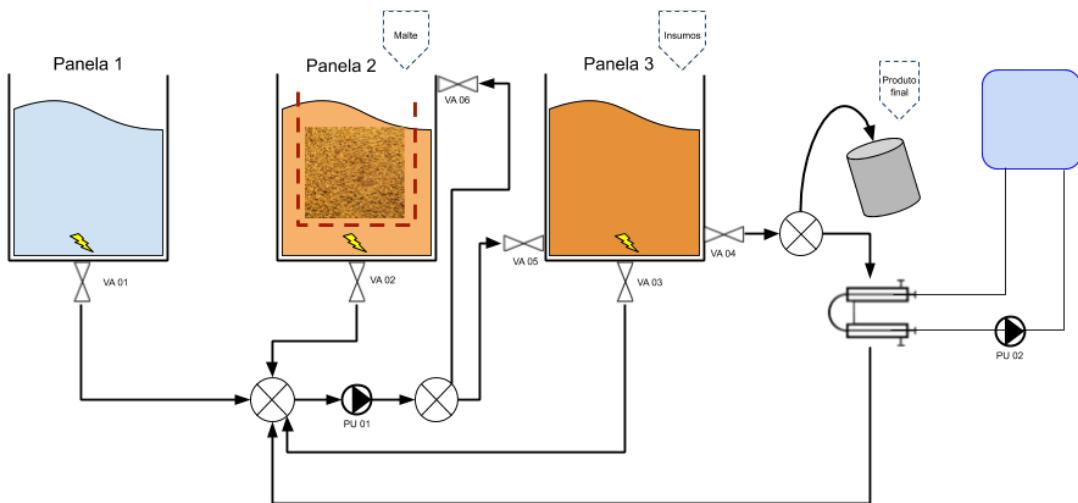


Figura 1 – Diagrama de funcionamento geral do sistema. As setas indicam a direção que os líquidos podem seguir. Legenda: VA = válvulas, PU = bombas.

A panela 1 conterá apenas água. Nessa panela ocorrerá o processo de aquecimento da água. Logo após o aquecimento, a água será transferida para a panela 2, como mostra a Figura 2.

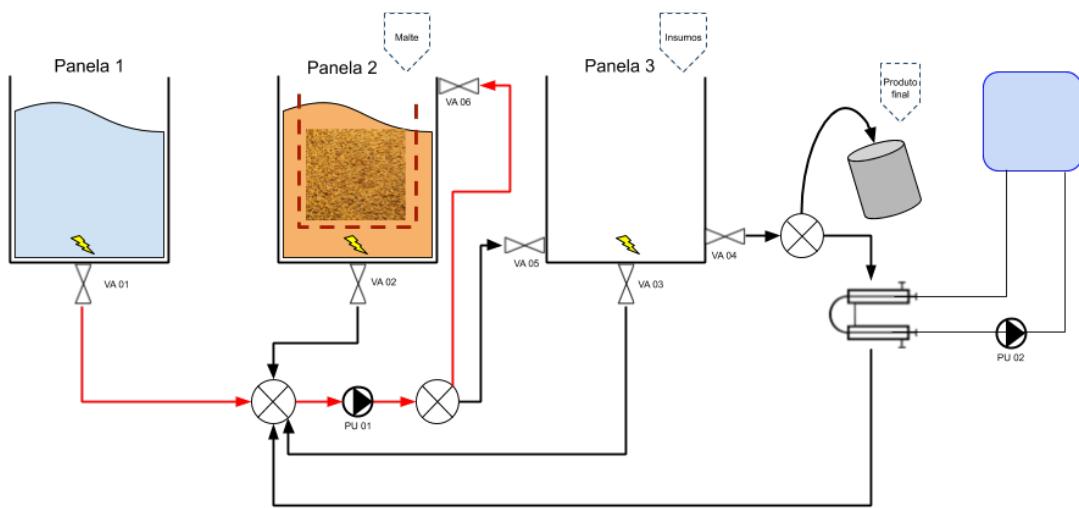


Figura 2 – Diagrama da transferência de água da panela 1 para a panela 2. As setas em vermelho indicam o caminho da transferência.

Na panela 2 será realizada a etapa de brassagem. Essa panela conterá água/mosto e o filtro com malte. Durante o processo de brassagem na panela 2, ocorrerá a recirculação, como explicado anteriormente. A Figura 3 mostra o diagrama da recirculação.

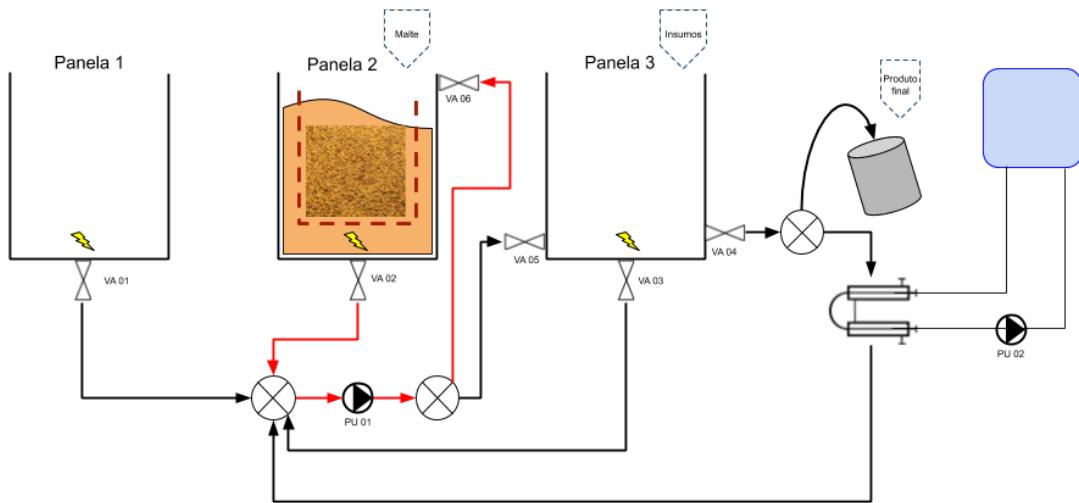


Figura 3 – Diagrama do processo de recirculação que acontece na panela 2. As setas em vermelho indicam o caminho do líquido.

Finalizado o processo de brassagem, o mosto é transferido para a panela 3, como mostra a Figura 4. Essa panela conterá apenas mosto. Após essa transferência, será iniciada a etapa de fervura do mosto. Durante o processo de fervura, o sistema fará a adição de insumos, de acordo com o programado pelo usuário no início do processo.

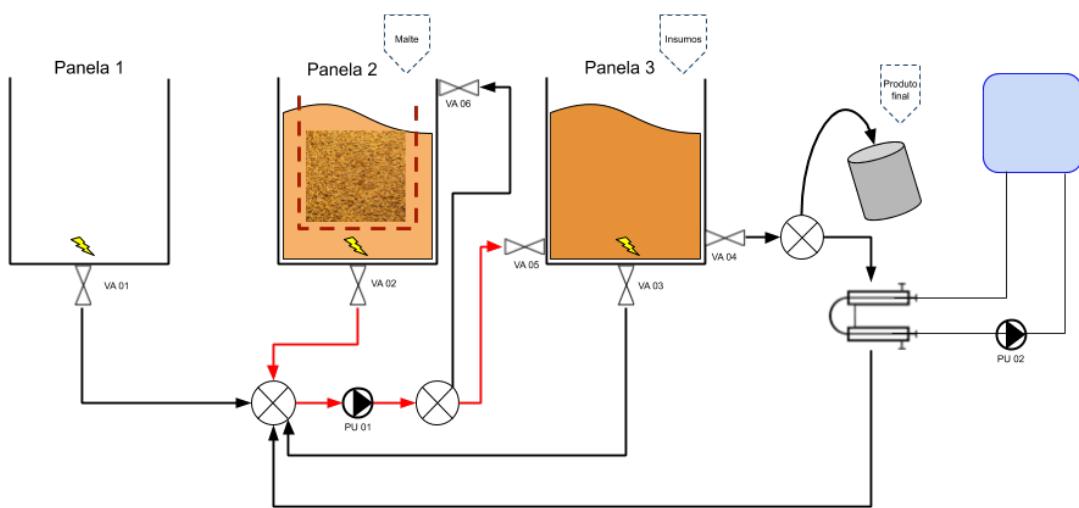


Figura 4 – Diagrama da transferência do mosto da panela 2 para a panela 3. As setas em vermelho indicam o caminho da transferência.

Finalizada a fervura, será iniciado a etapa de resfriamento (Figura 5): o mosto será recirculado, passando pelo trocador de calor e voltando resfriado à panela 3.

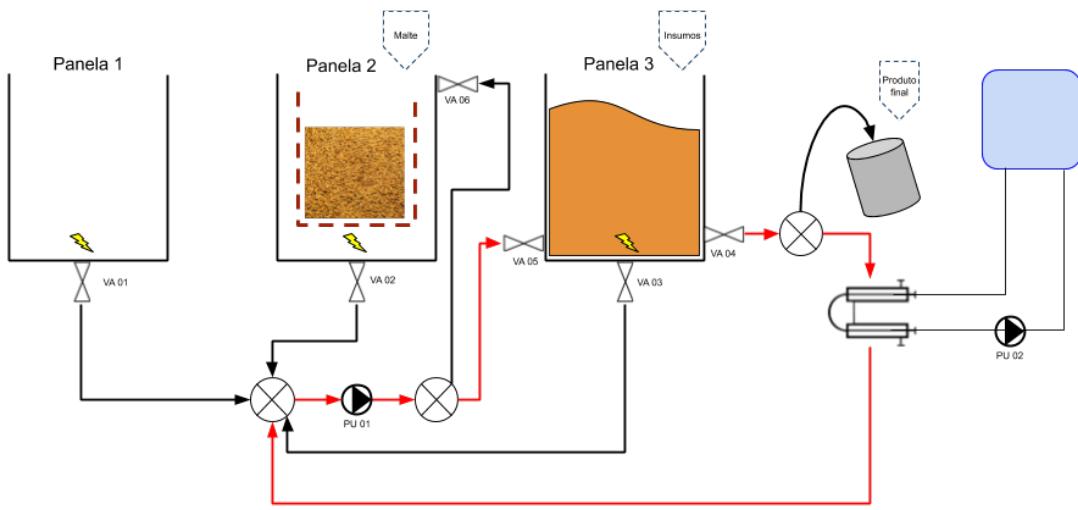


Figura 5 – Diagrama da etapa de resfriamento do mosto na panela 3. As setas em vermelho indicam o caminho da recirculação.

Com o mosto na panela 3 resfriado, se dá início à etapa de *whirlpool*. O esquemático dessa etapa é mostrado na Figura 6. Após essa etapa, o mosto continuará armazenado na panela 3 até que o usuário queira retirá-lo e armazená-lo no balde fermentador.

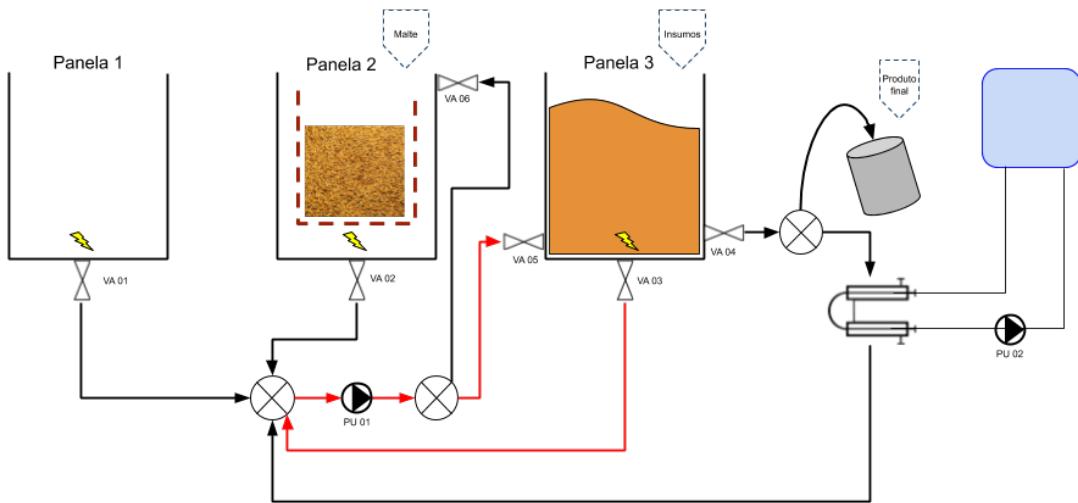


Figura 6 – Diagrama da etapa de *whirlpool* do mosto na panela 3. As setas em vermelho indicam o caminho da recirculação.

A Figura 7 mostra a transferência do mosto da panela 3 para o balde de fermentação posicionado pelo usuário.

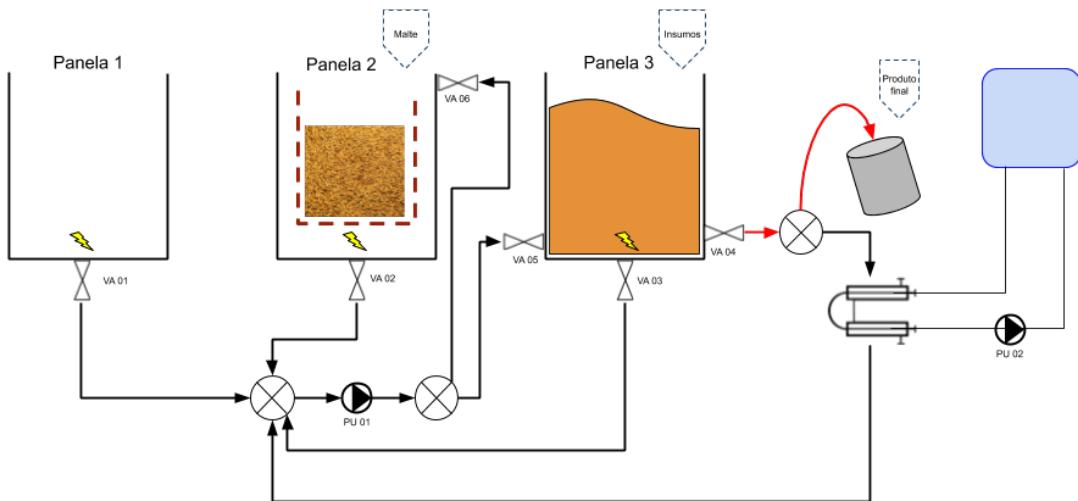


Figura 7 – Diagrama da trasfega final do processo. As setas em vermelho indicam o caminho do líquido.

Para controle do fluxo dos líquidos entre as panelas, serão utilizadas bombas e válvulas hidráulicas (representadas por PU e VA, respectivamente, como mostrado nas Figuras de 1 a 7). O resfriamento após a etapa de fervura será realizado por um trocador de calor por corrente cruzada.

2.2 Solução Estrutural

A solução estrutural é apresentada na Figura 8. Os subsistemas da solução estão divididos em:

- Estrutura principal
- Conjunto panela-filtro-resistência
- Tubulação
- Trocador de calor
- Reservatório de água
- Dimensionamento da bomba

- Whirlpool
- Alimentador de insumos

A Resolução RDC nº 20, de 22 de março de 2007, aprova o "Regulamento Técnico sobre Disposições para Embalagens, Revestimentos, Utensílios, Tampas e Equipamentos Metálicos em Contato com Alimentos", portanto ela foi utilizada para definir os materiais metálicos que estariam em contatos com alimentos ou líquidos do sistema. Os materiais metálicos não podem liberar substâncias indesejáveis, tóxicas ou contaminantes em quantidades que representem risco para a saúde humana. Considerando os materiais apresentados na resolução como matérias primas positivas, o material escolhido para utilizar nos tubos foi o aço inox AISI 304, um material utilizado em ampla escala na indústria de bebidas devido suas características físico-químicas.

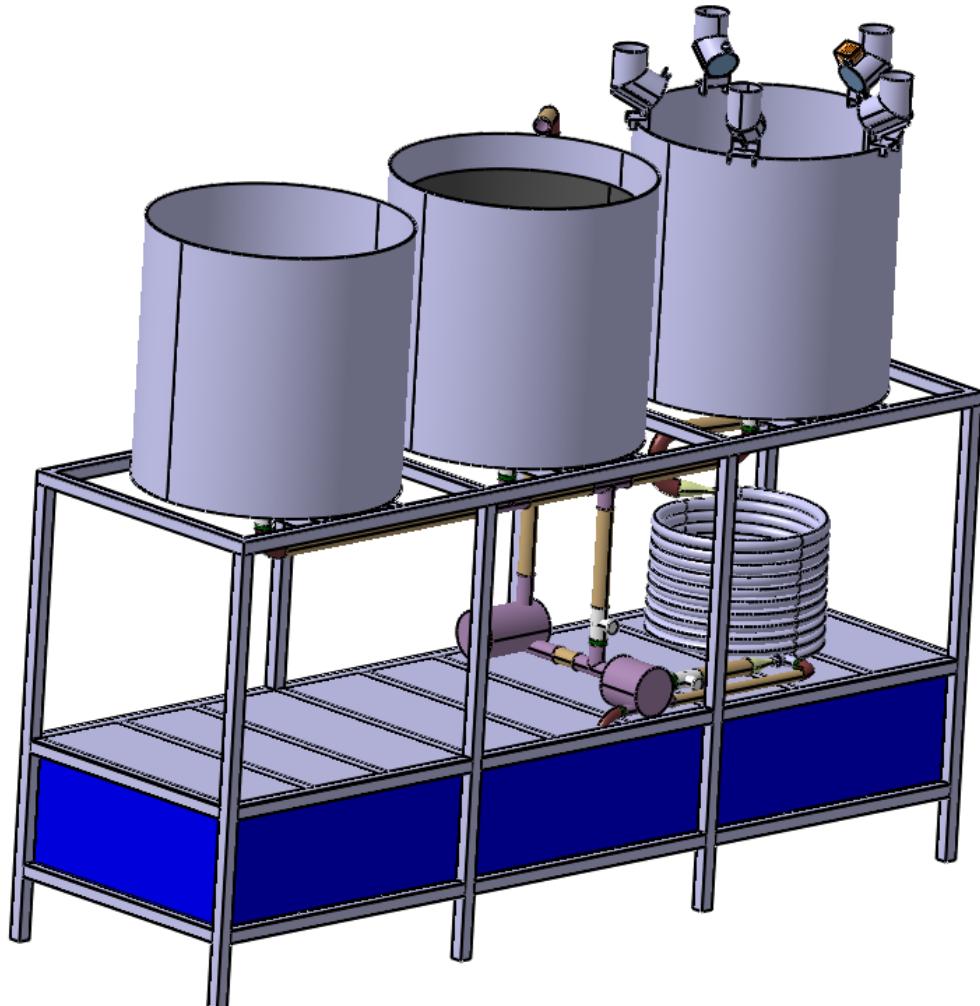


Figura 8 – Solução da estrutura do projeto

2.2.1 Estrutura principal

A estrutura principal irá suportar todos os componentes. Esta possui uma plataforma inferior para conter o trocador de calor, bombas e componentes eletrônicos. Também deverá ser capaz de suportar as três panelas em suas capacidades máximas e o reservatório do líquido de resfriamento.

O desenvolvimento da estrutura foi realizado seguindo a sequência apresentada na Fig. 9. A modelagem do problema foi realizada utilizando do software CAD/CAE CATIA V5. Para a análise das solicitações a quais a estrutura principal será submetida, foi escolhido o método dos elementos finitos.

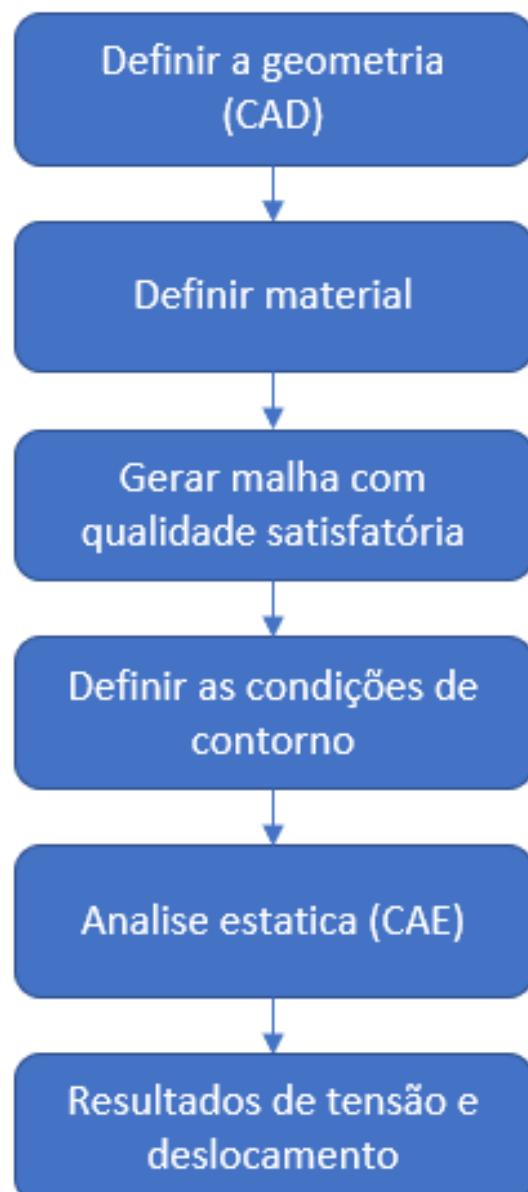


Figura 9 – Fluxograma de desenvolvimento da análise estrutural

2.2.1.1 Definição da geometria

Para a definição da geometria a ser analisada levou-se em consideração a estrutura principal que comportará todos os componentes do projeto. Esta estrutura é composta por tubos de seção quadrada 20x20 cm com espessura de 1,5 mm. Os tubos são soldados e a estrutura é completamente estática conforme mostrado na Fig. 10.

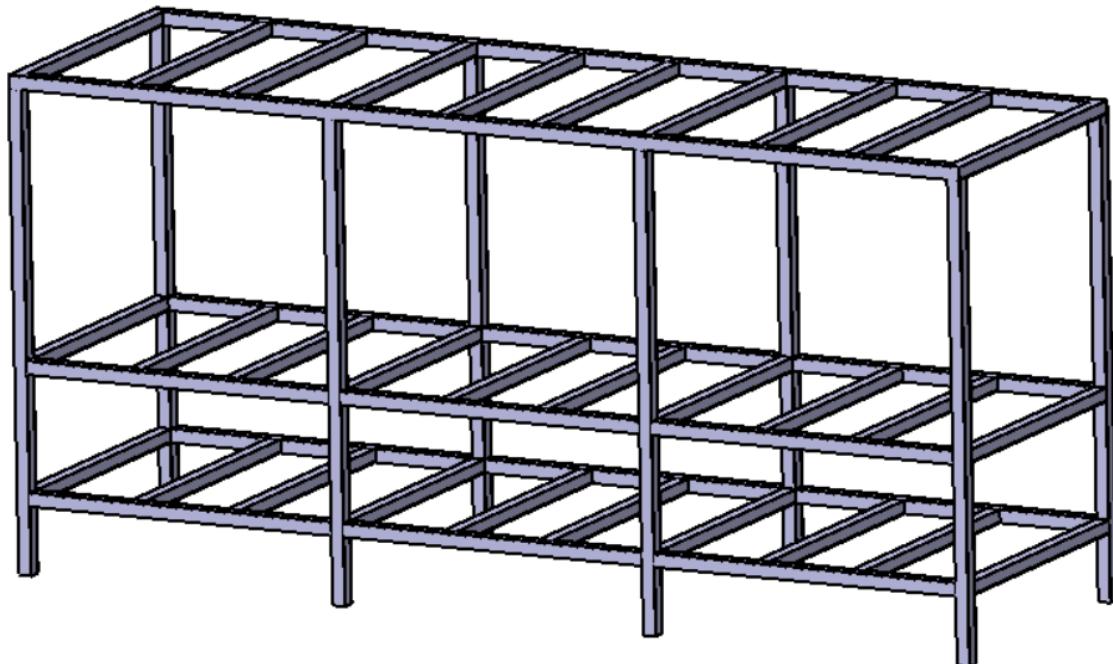


Figura 10 – Estrutura principal

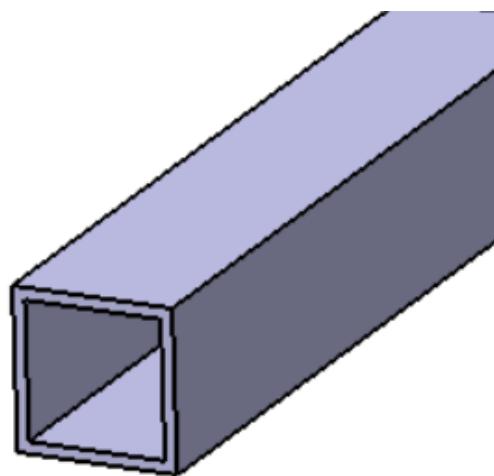


Figura 11 – Perfil dos tubos

2.2.1.2 Definição do material

O Material utilizado para a análise da estrutura proposta, foi o aço SAE 1020 que é muito utilizada na fabricação de tubos. Os quais são conformados por laminação a quente, pois é o mais comum no mercado. As propriedades mecânicas do material estão descritas na Tab. 1

Material	Aço SAE 1020 laminado a quente
Densidade [Kg/m ³]	7870
Coeficiente de Poisson	0,3
Tensão de escoamento [MPa]	210
Resistencia à tração [MPa]	380
Módulo de elasticidade [GPa]	205

Tabela 1: Propriedades mecânicas do material utilizado na estrutura

2.2.1.3 Qualidade da malha

A malha é um fator de grande influência para a realização das análises feitas através do método dos elementos finitos. Essa por sua vez influencia diretamente no resultado na análise, pois se trata de um método aproximado que depende da qualidade dos elementos para um cálculo mais preciso.

Os elementos que compõem a malha utilizada para realizar a simulação são tetraedros lineares compostos por 4 nós conforme a Fig. 12. Os elementos foram gerados com o tamanho 5mm pois esse tamanho se adequou de forma satisfatória a estrutura. A qualidade da malha gerada no software CATIA está descrita na Tab. 2, que pode ser comparada com a qualidade de referência do software Abaqus (Software CAE da Dassault Systemes) Tab. 3.

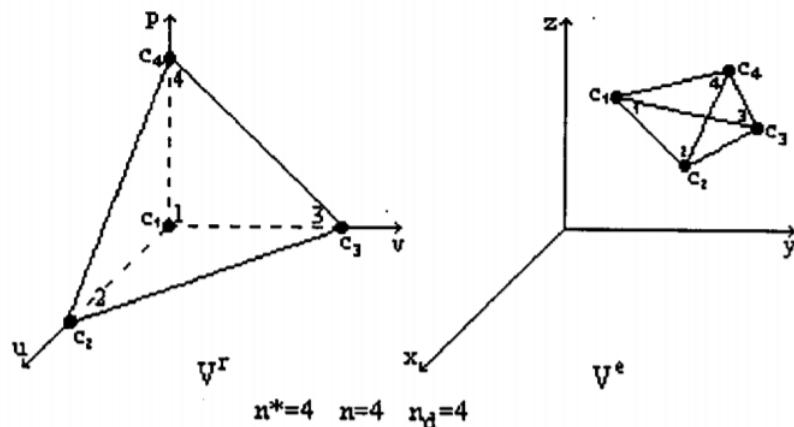


Figura 12 – Elemento tetraédrico linear

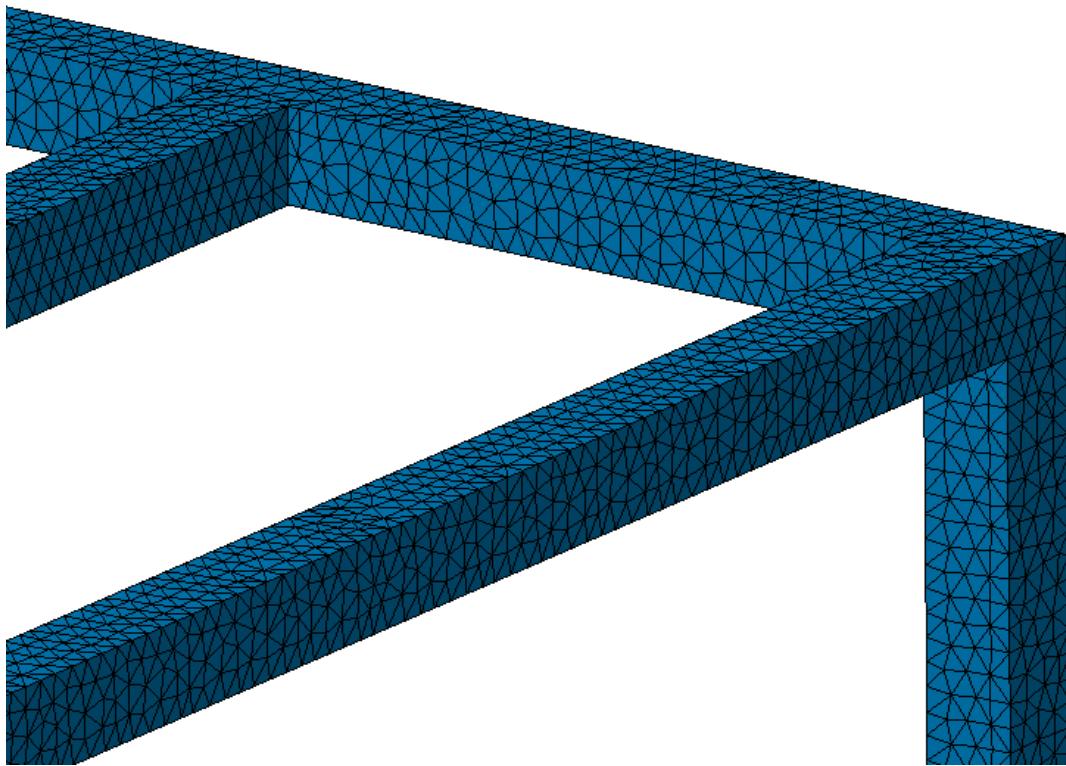


Figura 13 – Malha aplicada em toda a estrutura

Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Stretch	511780 (99.98%)	109 (0.02%)	0 (0.00%)	0.266	0.456
Aspect Ratio	79112 (15.45%)	432530 (84.50%)	247 (0.05%)	6.081	3.144
-- Global --	79031 (15.44%)	432611 (84.51%)	247 (0.05%)		

Tabela 2: Critério padrão de qualidade de malha do CATIA (Surface Mesh Quality Criteria)

Criterion	Good	Poor	Bad	Worst	Average
Skewness	511883 (100.00%)	6 (0.00%)	0 (0.00%)	0.985	0.688
Min. Angle Tetr...	511889 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	13.128	24.214
Max. Angle Tetr...	511889 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	153.657	109.613
-- Global --	511883 (100.00%)	6 (0.00%)	0 (0.00%)		

Tabela 3: Critério de qualidade de malha do Abaqus (Abaqus Tetra Checks)

2.2.1.4 Condições de contorno

Para a análise estática da estrutura considerou-se os principais esforços os quais a estrutura deveria suportar. As forças foram distribuídas conforme a Fig 15. Na parte superior foi considerado uma carga distribuída de 900 N, que representam as três panelas

cheias de líquido. Já na parte inferior foi considerada uma carga distribuída de 1000 N que representa o reservatório de água de 100 L .

Os vínculos considerados para a análise da estrutura foram: O deslizamento de superfícies no plano XY que restringe o deslocamento em Z , aplicados na base da estrutura; molas virtuais (Rigid Spring Virtual Part), que é um corpo elástico conectado em um ponto específico da geometria o qual se comporta como uma mola de seis graus de liberdade e com 10^3 Nm de coeficiente elástico, em série com um corpo rígido. Esse vínculo de mola virtual, que é uma alternativa para o engaste, visa restringir o movimento sem gerar restrições de deslocamentos iguais a zero. O que evita a alta concentração de tensões próximas ao vínculo.

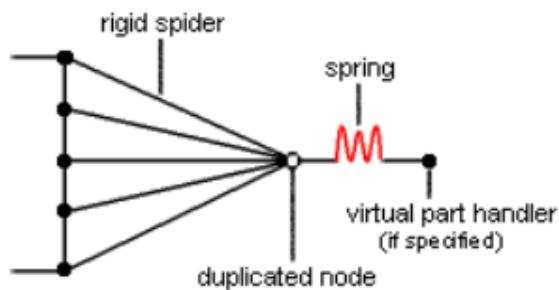


Figura 14 – Vínculo de mola virtual

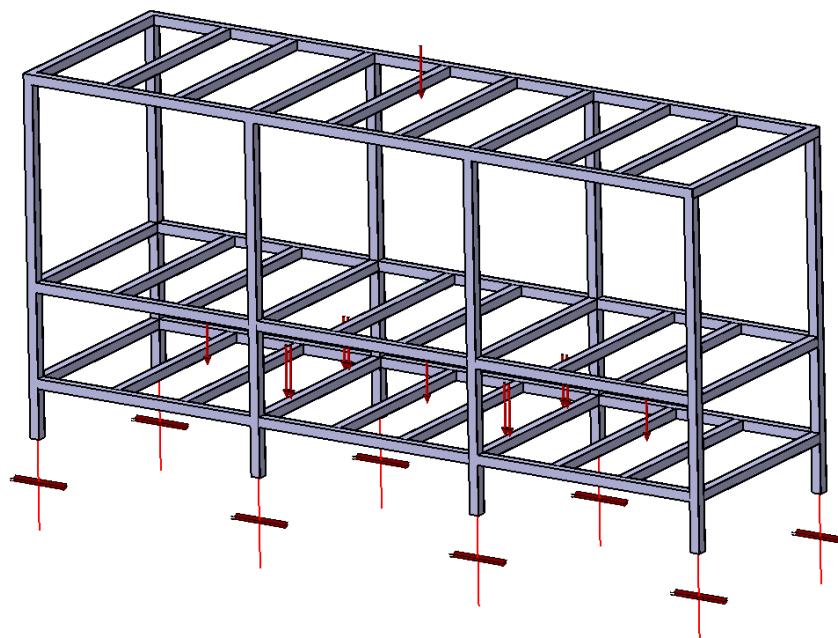


Figura 15 – Condições de contorno

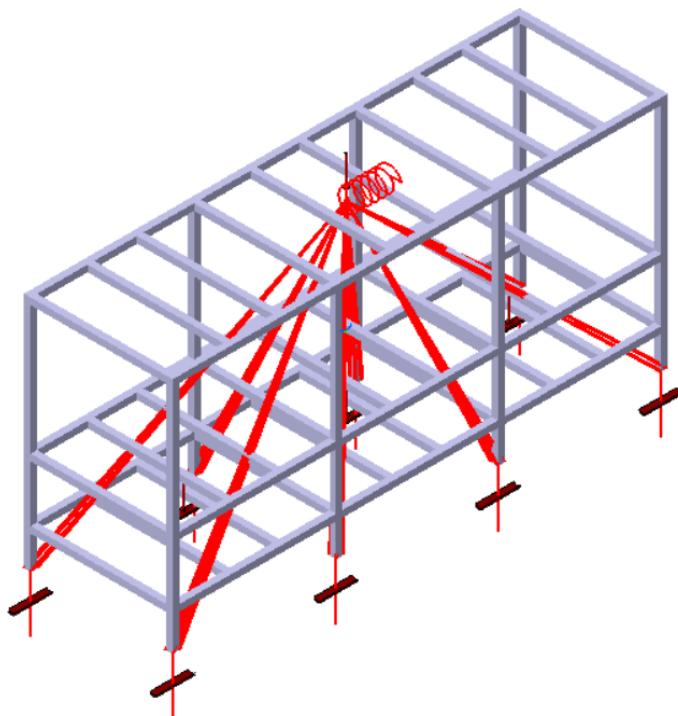


Figura 16 – Condições de contorno com molas virtuais

2.2.1.5 Análise estática e resultados

A partir das condições de contorno aplicadas à geometria, a análise estática da estrutura principal foi feita considerando o modelo sob flexão. O critério de falha adotado para esta simulação foi a tensão de escoamento do material (Tab. 1). Esta análise visa obter os resultados de tensão de von Mises e o valor de deformação total do material que seguem descritos nas Fig. 17 e 18.

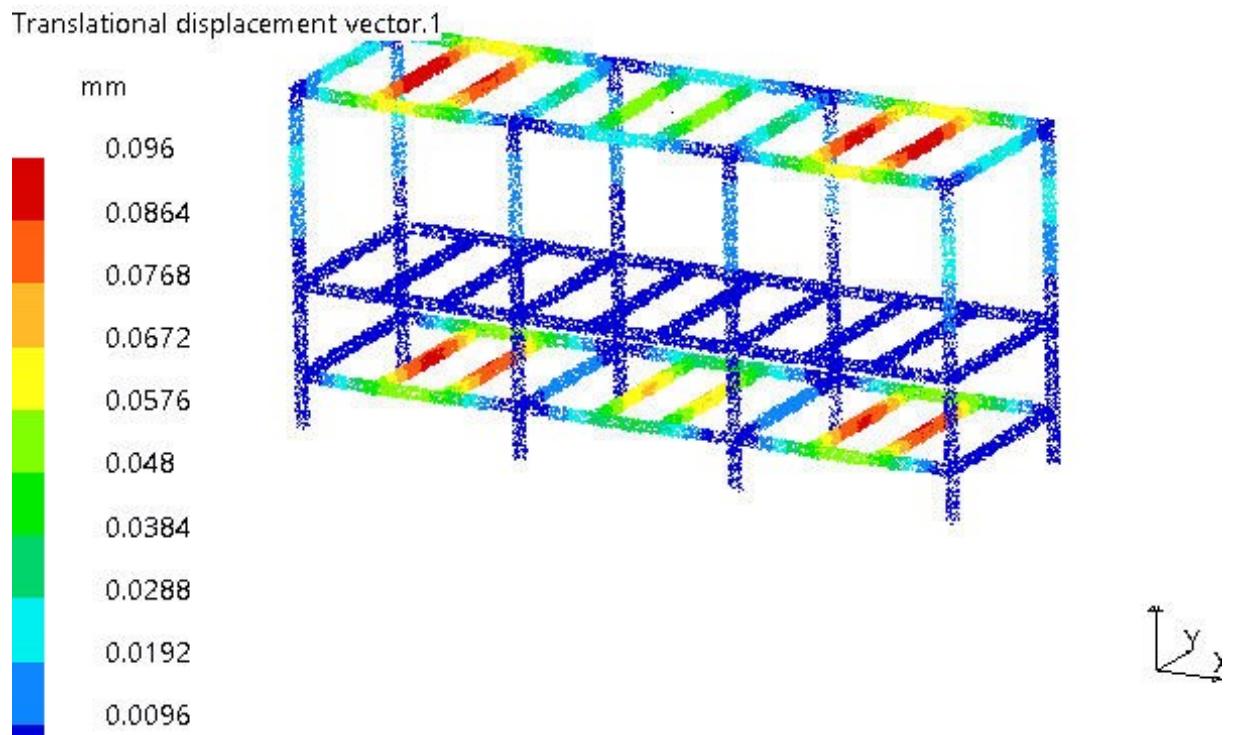


Figura 17 – Resultado de deslocamento

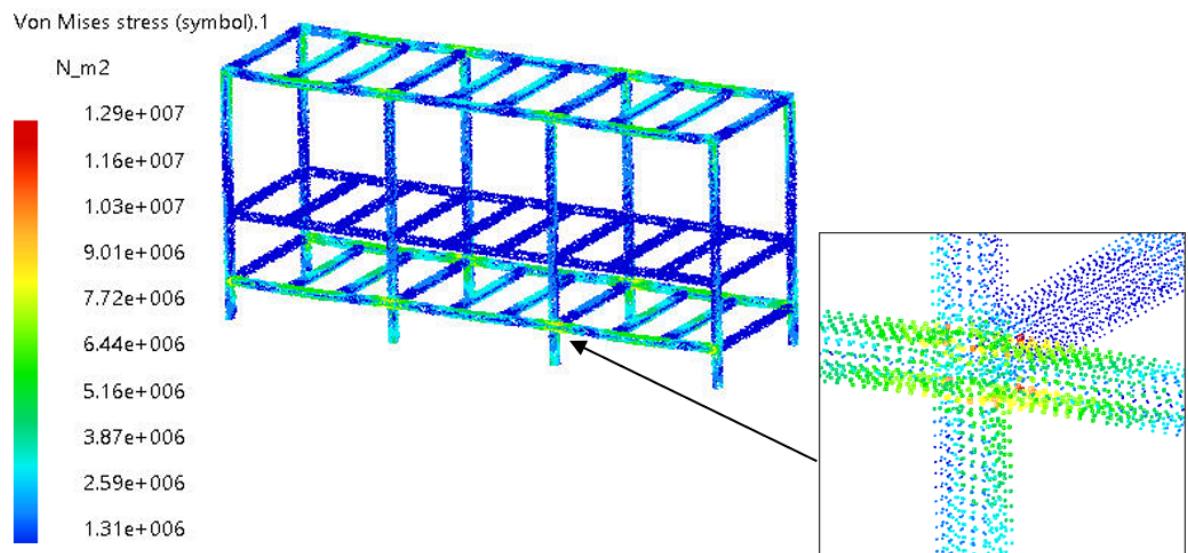


Figura 18 – Resultado da tensão equivalente de von Mises

Os resultados obtidos através das simulações mostraram que a estrutura resiste

muito bem as solicitações para a qual foi projetada. Pode-se observar que o deslocamento máximo foi de $0,096\text{ mm}$ e a tensão de von Mises obtida foi de $12,9\text{ MPa}$ sendo menor que a tensão de escoamento do material que é de 210 MPa . Dessa forma obteve-se um coeficiente de segurança de 16,27.

2.2.2 Conjunto panela-filtro-resistência

O conjunto é mostrado na Fig. 19. Todos os itens apresentados serão comprados de fornecedores e o custo está apresentado na Sec. 3

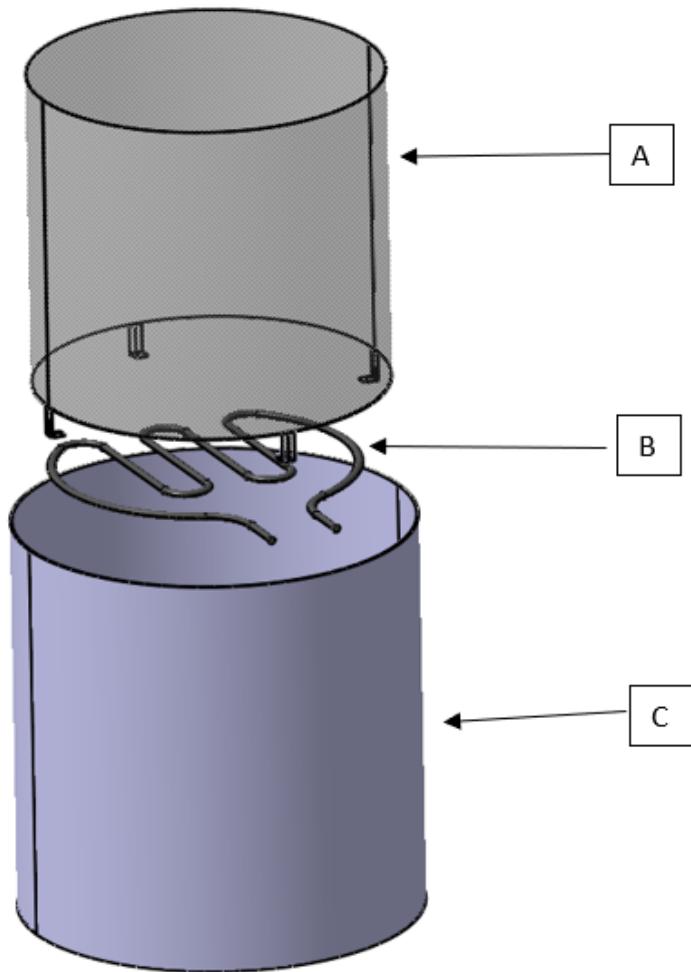


Figura 19 – Conjunto panela-filtro-resistência. A = filtro, B = resistência de aquecimento e C = panela.

Há 3 panelas de fabricação, que serão idênticas. Estas se diferem somente nas conexões com a tubulação. Seus desenhos são apresentados no Apêndice I.

As panelas selecionadas são de aço inox e possuem volume de 50 L . Este volume é superior ao de 20 L de produto final pois é estimado que 10 L são perdidos por evaporação durante o processo. Além disso há o volume adicional de Malte no momento da brassagem.



Figura 20 – Panela para fabricação (50L)

O filtro é um cesto formado por uma malha de aço inox de 300 micra (Fig 21). Possui "pés" para distanciar o filtro do fundo da panela.



Figura 21 – Filtro para malte.

Para o aquecimento dos processos na fabricação de cerveja foi decidido o uso de

uma resistência elétrica de alta potência, tornando o processo mais rápido do que a opção de aquecimento a gás e gerando um maior controle da temperatura nos processos, garantindo um melhor produto final. Além da potência e da tensão, a densidade da resistência elétrica é uma das características mais importantes para determinar qual será utilizada no processo.

A densidade da resistência é representada pela relação entre a potência (W) em a área de contato (m^2). Uma resistência de alta densidade é quando a resistência se encontra em uma baixa área de contato, já uma resistência de baixa densidade é quando a mesma se encontra em uma região com maior contato a área, dissipando o aquecimento em toda a superfície. Na fabricação de cerveja, o ideal é que seja utilizado uma resistência de baixa densidade, para que não exista a hipótese de queimar o mosto rapidamente, comprometendo assim o resultado final da cerveja.

Quanto a geometria, a mais comum para uso em tanques e panelas é a geometria tubular. Para o tipo tubular existem diferentes modelos, como: tubo aletado e tubular para imersão. A de tubo aletado é formada por pequenas placas inseridas ao longo da resistência, enquanto a tubular para imersão, a mais utilizada para esquentar líquidos, é formada por tubos metálicos que aquecem a água. As resistências para tanques são fabricadas em tubo de inox e devem contar com um sistema de blindagem, garantindo que sua eficiência seja elevada e que não ocorra nenhuma contaminação do produto.

Para definir a potência da resistência elétrica, foi utilizado a relação de que para cada 10 litros de água que se deseja aquecer, são necessários 1500 Watts (NOG, 2017) . Visto que para a produção de 20 litros de cerveja é necessário aquecer em torno de 30 litros de água na primeira etapa do processo, a resistência elétrica necessária seria de 4500 Watts.

Após essa definição, foi decidido utilizar uma resistência elétrica com potência de 5000 Watts, visando ter uma margem em relação a potência utilizada pelo equipamento. Dentre as resistências disponíveis no mercado e visando utilizar uma resistência com baixa densidade, optamos por utilizar uma com duas voltas, tensão de 220 V, amperagem de 22,72 A e tamanho de 300x370 mm.

A resistência de aquecimento (Fig. 22) será posicionada no fundo na panela abaixo do filtro (Fig. 23).



Figura 22 – Resistência de aquecimento (5000 W)

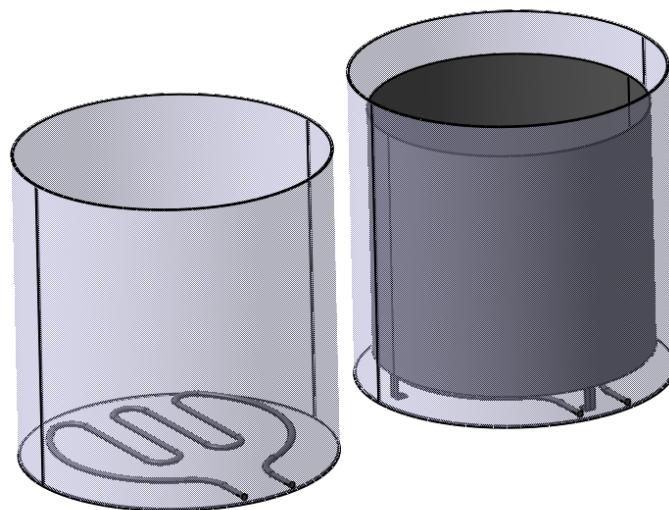


Figura 23 – Montagem do conjunto panela-filtro-resistência

2.2.3 Tubulação

A tubulação permitirá a transferência dos fluidos entre as panelas e outros subsistemas. (Esquemático apresentado na Fig. 1). O posicionamento da tubulação na estrutura é mostrado nas Fig. 24 e 25.

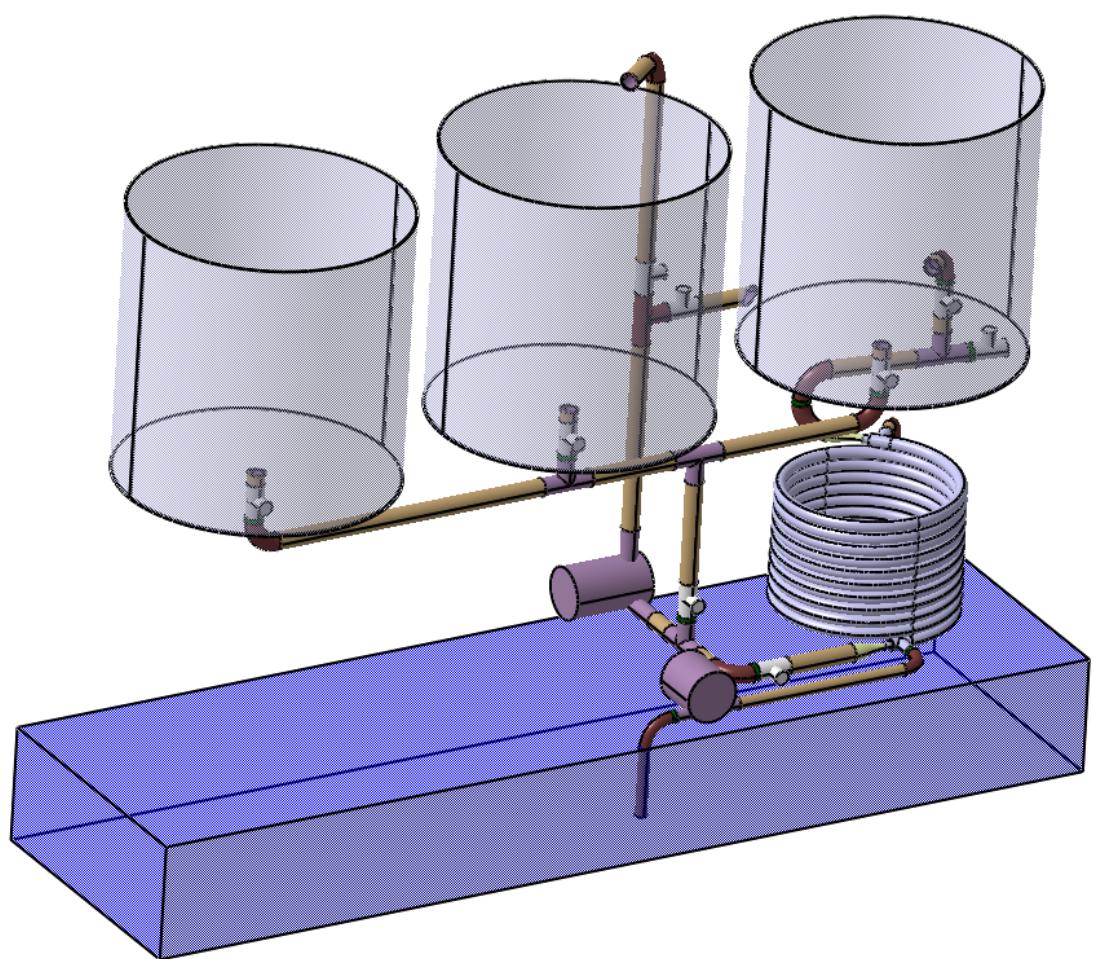


Figura 24 – Vista isométrica da tubulação

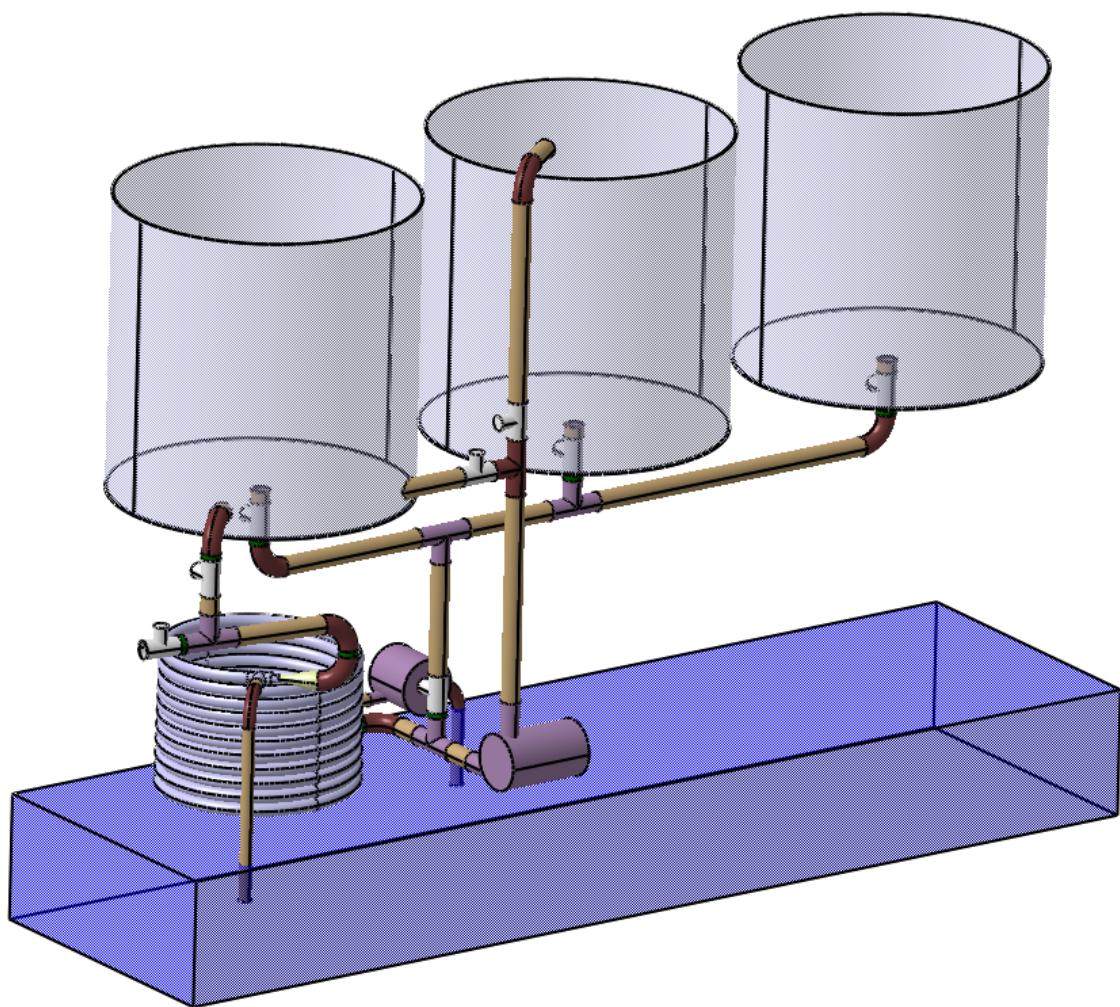


Figura 25 – Vista isométrica da tubulação

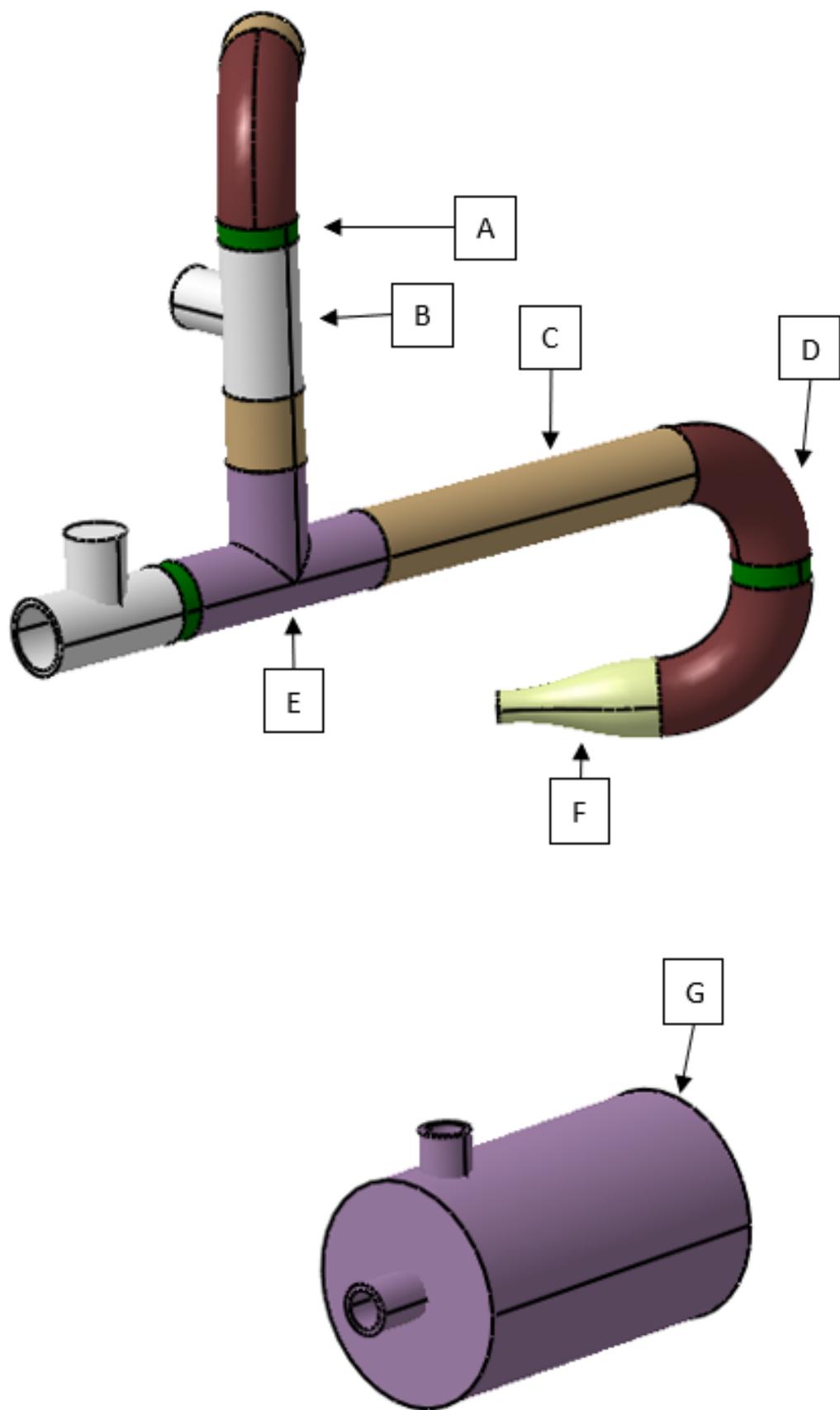


Figura 26 – Componentes da tubulação. Descrição dos componentes na Tabela 4

Foram selecionados os componentes da Açotubo.

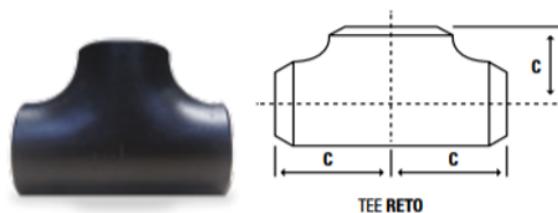
Item	Nome	Quantidade	Diâmetro
A	Niple	8	1"
A	Niple	2	3/8"
B	Válvula	9	1"
C	Tubo inox 304/L 10s	2m	1"
C	Tubo inox 304/L 10s	600mm	3/8"
D	Curva 90 raio longo	7	1"
D	Curva 90 raio longo	3	3/8"
E	TEE	5	1"
F	Redutor	2	1"
G	Bomba	2	-

Tabela 4: Itens utilizados na tubulação



Diâmetro	90º Raio Longo A
1"	38,10 mm
½"	38,10 mm

Figura 27 – Especificação Cuvas 90º



Diâmetro	TEE Reto
1"	38,10 mm

Figura 28 – Especificação TEE



DxD1
1 x 1/8"

Figura 29 – Especificação Redutor

A localização da tubulação foi realizada considerando somente ângulos de 90º e visando reduzir ao máximo a trajetória dos fluidos. As dimensões são melhores demonstradas no Apêndice I. Os itens descritos foram utilizados no dimensionamento da bomba (Sec. 2.2.6) considerando as perdas de carga.

2.2.4 Trocador de Calor

Para esse projeto, o trocador de calor visa realizar a etapa de resfriamento do mosto da cerveja. Tal etapa se inicia logo após a fervura do mosto (que se dá na panela 3), onde a temperatura do mosto é de aproximadamente 100°C. O ideal é que a etapa de resfriamento ocorra de forma rápida, em torno de 15 minutos, para que a cerveja não fique turva e tenha uma boa precipitação das proteínas. Além disso, é ideal que, ao final do resfriamento, o mosto tenha uma temperatura entre 25°C e 35°C (FELLOWS, 2018).

Assumindo que o mosto deva sair do trocador de calor a 25°C, calcula-se uma taxa mínima de resfriamento para o mosto: com tempo médio de 15 minutos e uma variação de temperatura de 75°C, a taxa de resfriamento é de 5°C/min. Para garantir melhor eficiência e qualidade, foi utilizada uma taxa de resfriamento de 7,5°C/min, fazendo com que o resfriamento pretendido ocorra em 10 minutos. Sabendo que serão resfriados aproximadamente 20 litros de mosto, para o tempo de resfriamento desejado sua vazão volumétrica deve ser de $\dot{V}_q = 2 \text{ l}/\text{min}$.

Os modelos de trocadores de calor mais utilizados para o resfriamento de mosto

de cerveja são: trocador de imersão e trocador de tubo duplo em contrafluxo. Para este projeto, visando facilidade de manutenção e eficiência, decidiu-se usar o trocador de calor de tubo duplo em contrafluxo.

A fim de dimensionar o trocador de forma compacta, foi adotado o formato espiral. O esquemático do trocador é mostrado na Figura 30. Na tubulação interna escoa o mosto, e na região anular entre os dois tubos, escoa o líquido de resfriamento na direção contrária a do mosto.

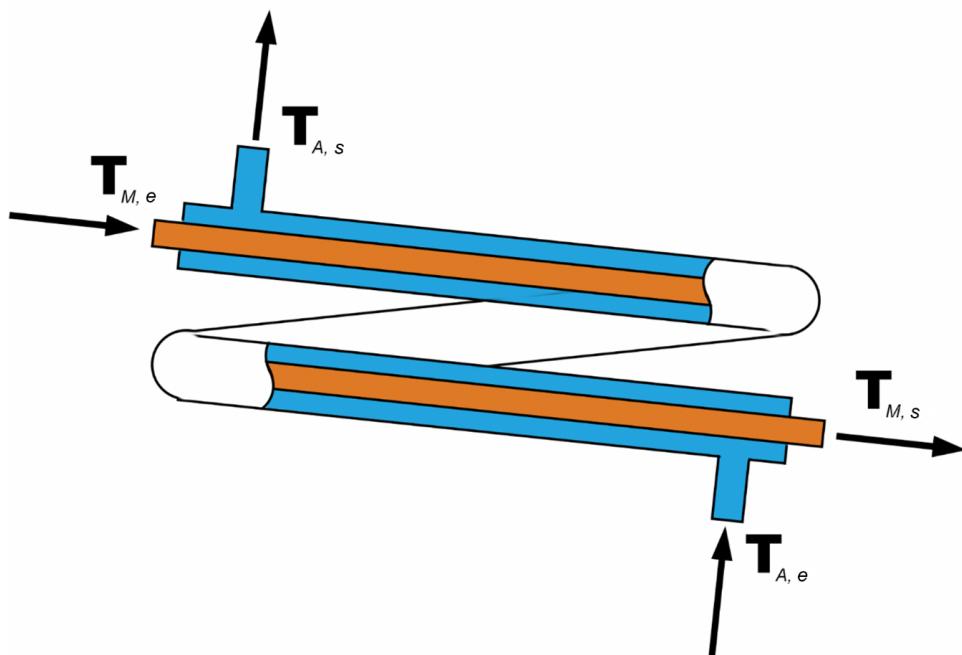


Figura 30 – Esquemático do trocador de calor de tubo duplo. $T_{M,e}$ e $T_{M,s}$ são as temperaturas de entrada do mosto respectivamente; $T_{A,e}$ e $T_{A,s}$ são as temperaturas de entrada da água, respectivamente.

Conforme citado anteriormente, de acordo com a Resolução RDC nº 20, de 22 de março de 2007, materiais metálicos em contatos com alimentos ou bebidas não podem ceder substâncias indesejáveis, tóxicas ou contaminantes em quantidades que representem risco para a saúde humana, também não podem ocasionar modificações na composição destes. Portanto, o material escolhido para o trocador de calor foi o aço inox AISI 304, presente na resolução de matérias primas positivas, sendo este um material utilizado em ampla escala nas indústrias de bebidas devido a suas características físico-químicas. Foram escolhidos tubos comerciais sem costura, visto que em tubos com costura poderia ocorrer a liberação de particulados tanto no fluxo de mosto quanto no de água.

O fluido de resfriamento escolhido para esse sistema é a água. A água será armazenada em um reservatório resfriado, que irá manter a temperatura de 20 °C. Visando um projeto mais sustentável, após o uso da água no trocador de calor, ela retornará ao

reservatório para ser reaproveitada nos próximos processos.

Com o intuito de saber a aceitação do cliente para o modelo proposto e de buscar melhorias no projeto, foi realizada uma pesquisa (Anexo G) com fabricantes de cerveja artesanal a fim de saber como eles resfriam o seu mosto. Os resultados da pesquisa mostram que 71,4% dos fabricantes de cerveja artesanal utilizam a própria torneira de água na etapa de resfriamento, porém não imaginam a quantidade de água utilizada e ao final do processo os mesmos descartam essa água.

Sabendo que um trocador de calor em que a água é utilizada como um fluido de resfriamento é eficiente quando se utiliza a vazão de água disponível no fornecimento de abastecimento, foi escolhido para esse projeto uma bomba com vazão semelhante à disponível na rede de abastecimento. De acordo com a NBR 5626:199813 a vazão de uma torneira de fonte fria deve estar entre 8 L/min e 15 L/min , portanto para o cálculo do trocador foi utilizado uma vazão volumétrica de $\dot{V}_f = 10 \text{ L/min}$. Para uma melhor eficiência foi escolhida a Bomba de Circulação com potência de 120 W e vazão 26 L/min .

2.2.4.1 Dimensionamento do trocador de calor

Para dimensionar o trocador de calor, é necessário efetuar o balanço da energia global para um dos fluidos, quente ou frio. Como os fluidos não mudam de fase durante o resfriamento, o balanço, para ambos os fluidos, pode ser feito utilizando as equações:

$$q = \dot{m}_q C_{p,q} (T_{q,e} - T_{q,s}) \quad (2.1)$$

$$q = \dot{m}_f C_{p,f} (T_{f,e} - T_{f,s}) \quad (2.2)$$

onde q é a taxa de transferência de calor (W); \dot{m} é a vazão mássica do fluido (kg/s); C_p é o calor específico do fluido (J/(kg.K)) e T é a temperatura do fluido (K). Os subíndices q e f indicam as propriedades dos fluidos quente e frio, respectivamente. Os subíndices e e s indicam se a propriedade é avaliada na entrada ou saída do trocador.

De acordo com Clerk (1957), as propriedades termofísicas da cerveja são praticamente as mesmas da água, permitindo utilizar as tabelas com propriedades da água sem prejuízo ao dimensionamento. Para esse trabalho foi utilizada a Tabela A-9 do Livro Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática (CENGEL; GHAJAR, 2012).

A vazão mássica dos fluidos pode ser calculada como:

$$\dot{m}_q = \dot{V}_q * \rho_q \quad (2.3)$$

$$\dot{m}_f = \dot{V}_f * \rho_f \quad (2.4)$$

onde \dot{V} é a vazão volumétrica (m^3/s); ρ é a densidade (kg/m^3). Os subíndices q e f indicam as propriedades dos fluidos quente e frio, respectivamente. O valor utilizado para densidade foi o de $\rho_q = 997 kg/m^3$.

De modo que as temperaturas do fluido quente já foram definidas, foi utilizada a equação 2.1 para o cálculo da taxa de transferência de calor. Após realizado este cálculo, foi utilizada a equação 2.2 para obter a temperatura de saída do fluido de resfriamento, $T_{f,s} = 35^\circ C$. Os dados de temperatura e vazão no trocador de calor são mostrados na Tabela 5.

Propriedades dos fluidos			
	Temperatura de entrada	Temperatura de saída	Vazão volumétrica
Mosto (Quente)	100°C	25°C	2 l/min
Água (Frio)	20°C	35°C	10 l/min

Tabela 5: Propriedades do mosto e da água no trocador de calor.

A taxa de transferência de calor do trocador também pode ser calculada da seguinte maneira:

$$q = UA\Delta T_m \quad (2.5)$$

onde U é o coeficiente global de transferência de calor do trocador ($W/m^2\text{o}C$); A é a área de troca térmica (m^2); ΔT_m é a média logarítmica das diferenças de temperatura entre os fluidos quente e frio, dada por:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1/\Delta T_2)} \quad (2.6)$$

Como o escoamento utilizado é em contrafluxo, temos que:

$$\Delta T_1 = T_{q,e} - T_{f,s} \quad (2.7)$$

$$\Delta T_2 = T_{q,s} - T_{f,e} \quad (2.8)$$

Para este caso, o coeficiente global de calor pode ser escrito como:

$$U = \frac{d_e}{d_i h_i} + \frac{D_e \ln(D_e/D_i)}{2k} + R''_{d_e} + \frac{1}{h_e} \quad (2.9)$$

onde d_e é o diâmetro externo do tubo interno (m); d_i é o diâmetro interno do tubo interno (m); h_i é o coeficiente interno de transferência de calor ($W/m^2\text{o}C$); D_e é o diâmetro

externo do tubo exterior (m); D_i é o diâmetro interno do tubo exterior (m); k é a condutividade térmica do material que separa os fluidos ($W/m^{\circ}C$); R''_{d_e} é a resistência de incrustação externa ao tubo ($m^{2\circ}C/W$); h_e é o coeficiente externo de transferência de calor, correspondente a região anular ($W/m^{2\circ}C$).

Segundo o Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association (1988), a resistência de incrustação para a água líquida tratada é $R''_{d_e} = 0,000176m^{2\circ}C/W$.

Para calcular o coeficiente interno e externo de transferência de calor, é necessário que se faça uma série de cálculos, feitos primeiro para o tubo interno e em seguida para o tubo externo. O número de Reynolds, Re_D (adimensional), para o tubo interno pode ser calculado pela equação:

$$Re_D = \frac{4m_q}{\pi d_i \mu_i} \quad (2.10)$$

onde μ_i é a viscosidade dinâmica do fluido que escoa na região interna ($N.s/m$). Para a região anular, o número de Reynolds é calculado como:

$$Re_D = \frac{4m_q}{\pi(D_i + d_e)\mu_e} \quad (2.11)$$

Quando o número de Reynolds se encontra entre $3 * 10^3$ e $5 * 10^6$ e o número de Prandtl está entre 0,5 e 2000, o número de Nusselt, Nu_D (adimensional), pode ser calculado por meio da correlação de Gnielinski:

$$Nu_D = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12,7\left(\frac{f}{8}\right)^{1/2}(Pr^{1/2} - 1)} \quad (2.12)$$

onde Pr é o número de Prandtl; f é o fator de atrito, que pode ser calculado pela correlação de Petrukov para tubos lisos:

$$f = (0,79 \ln Re_d - 1,64)^{-2} \quad (2.13)$$

Como o trocador de calor está sendo dimensionado no formato de espiral, é necessário calcular o fator de atrito corrigido, o qual pode ser calculado com a correlação obtida experimentalmente por Mishra e Gupta (1979):

$$f_c - f = \frac{0,0075}{\sqrt{\lambda}} \quad (2.14)$$

onde f_c é o fator de atrito corrigido; λ é a razão entre o diâmetro da espira pelo diâmetro interno do tubo, e quando calculado para o tubo externo, lambda é a razão entre o diâmetro da espira pelo diâmetro hidráulico do tubo externo. Exemplificando os cálculos de lambda, temos:

$$\lambda = \frac{D_{esp}}{d_i} \quad (2.15)$$

$$\lambda = \frac{D_{esp}}{D_h} \quad (2.16)$$

onde D_{esp} é o diâmetro da espira; D_h é o diâmetro hidráulico, que pode ser calculado utilizando a equação 2.17:

$$D_h = \frac{D_i^2 - d_e^2}{d_e} \quad (2.17)$$

Visando deixar o trocador de calor compacto, foi decidido utilizar um diâmetro máximo $D_{esp} = 25\text{cm}$ nas espiras, portanto esse foi o valor utilizado para prosseguir com os cálculos de dimensionamento do trocador.

Também deve ser feita uma correção no número de Nusselt para o fluido que escoa no tubo interno. A correlação utilizada para fazer essa correção foi a proposta por Pratt's:

$$\frac{Nu_C}{Nu_D} = 1 + 3,4 \left(\frac{1}{\lambda} \right) \quad (2.18)$$

onde Nu_C é o número de Nusselt corrigido para o formato em espiral.

Após realizar esses cálculos e fazer as correções para o tubo interno, é possível calcular os coeficientes externo e interno de transferência de calor. Esses, são obtidos respectivamente pela expressão do número de Nusselt:

$$h = Nu_d \frac{k}{d} \quad (2.19)$$

onde k é a condutividade térmica do fluido (W/mK); d é o diâmetro interno do tubo interior (m), e para a região anular é utilizado o diâmetro hidráulico.

Após obter os coeficientes externo e interno de transferência de calor, é possível obter o coeficiente global de transferência de calor U utilizando a equação 2.9. Conhecendo os valores de U , q e ΔT_m , foi possível obter o comprimento dos tubos necessários para o trocador utilizando a equação 2.5. Após calculado o valor da área, foi possível obter o comprimento dos tubos por meio da equação:

$$A = \pi r L \quad (2.20)$$

onde r é o raio do tubo (m); L é o comprimento do tubo (m).

A efetividade é um parâmetro utilizado para calcular o desempenho de um trocador de calor, definida como:

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \quad (2.21)$$

onde q_{max} é a máxima transferência de calor possível para o trocador (W).

O número de unidades de troca NUT para um escoamento em contra fluxo pode ser obtido pela equação:

$$NUT = \frac{1}{C_r - 1} \ln \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon C_r - 1} \right) \quad (2.22)$$

onde C_r é a razão entre a taxa de capacidade calorífica mínima sobre a taxa de capacidade calorífica máxima.

Após dimensionados todos os valores, foi desenvolvido um código no MATLAB, contendo toda a rotina de cálculos das equações utilizadas para obter o comprimento do trocador de calor. O código foi submetido a tubos com diferentes diâmetros disponíveis no mercado, para garantir que os diâmetros escolhidos gerassem o trocador de calor em tubo duplo mais eficiente dentro das possibilidades. O código pode ser encontrado no anexo G.

Para escolher a melhor combinação de tubos para o trocador, a Tabela 6 mostra quais tubos disponíveis comercialmente foram avaliados. A Tabela 7 mostra as possíveis combinações desses tubos, enquanto a Tabela 8 mostra os resultados obtidos para as combinações avaliadas.

Tubo	Externo (")	Externo (mm)	Interno (mm)	Espessura (mm)
A	1/8"	10,29	9,05	1,24
B	1/4"	13,72	12,07	1,65
C	3/8"	17,15	15,5	1,65
D	1/2"	21,34	19,23	2,11
E	3/4"	26,67	24,56	2,11

Tabela 6: Tubos de aço inox disponíveis comercialmente avaliados para o projeto

Combinação	Tubo interno	Tubo externo
1	A	C
2	A	D
3	A	E
4	B	C
5	B	D
6	B	E

Tabela 7: Combinações possíveis com os tubos.

	$L(m)$	Re_D	Nu_D	$h(W/m^2\circ C)$	$U(m^2\circ C/W)$	Eficiência	NUT
Combinação 1							
Interno	8,155	12005	73,151	6172,5	1690,7	0,937	3,206
Anular		10325	73,638	5810,6			
Combinação 2							
Interno	10,559	12005	73,151	6172,5	1305,8	0,937	3,206
Anular		9093,4	82,489	2987,9			
Combinação 3							
Interno	13,597	12005	73,151	6172,5	1014,1	0,937	3,206
Anular		7631	100,923	1719			
Combinação 4							
Interno	8,945	8998,2	58,399	3693,4	1539,3	0,937	3,206
Anular		9040,6	51,332	1294,9			
Combinação 5							
Interno	8,819	8998,2	58,399	3693,4	1322,5	0,937	3,206
Anular		8082	56,467	4869			
Combinação 6							
Interno	10,503	8998,2	58,399	3693,4	984,612	0,937	3,206
Anular		6891	67,160	1923,1			

Tabela 8: Resultados obtidos com as combinações possíveis. Nota: os valores de Re_D , Nu_D , eficiência e NUT são adimensionais.

Analizando os resultados obtidos, a Combinação 1, com os tubos A e C, foi escolhida para ser utilizada no projeto, visto que esta combinação apresentou o menor comprimento $L = 8,155m$ e o maior coeficiente global de transferência de calor $U = 1690,7m^2\circ C/W$. Visto que o modelo de trocador de calor apresentou uma eficiência acima dos 90% e um resfriamento do mosto em 10 minutos, trata-se de uma solução eficiente para o problema proposto, garantindo uma excelente qualidade para a fabricação de cervejas artesanais, atendendo às condições de resfriamento (tempo e temperatura ao final do processo).

Após escolhidos os tubos, foi calculada a perda de carga, velocidade de escoamento e pressão disponível no sistema. A perda de carga no interior da tubulação é muito importante, pois é desejado manter uma vazão constante de ambos os fluidos para que o trocador obtenha o desempenho planejado. Ela pode ser calculada por meio da equação de Fanning pelo fator de atrito:

$$f = \frac{\Delta_p D_t}{2\rho u_m^2 L} \quad (2.23)$$

onde f é o fator de atrito (adimensional); D_t é o diâmetro do tubo (m); Δ_p é a variação de pressão (Pa); U_m é a velocidade média do escoamento (m/s); ρ é a massa específica do fluido (kg/m^3); L é o comprimento da tubulação (m).

Sabendo que a vazão volumétrica é dada por:

$$\dot{V} = U_m A \quad (2.24)$$

Podemos isolar U_m e encontrar a velocidade média do escoamento na tubulação.

Para calcular a pressão disponível no sistema, foi utilizada a equação da energia com perdas para cada corrente de fluido que circula no trocador de calor:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho u_1^2 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho u_2^2 + \rho g z_2 + \Delta_p \quad (2.25)$$

onde P é a pressão estática (Pa); u é a velocidade do escoamento (m/s); z é a altura em relação ao ponto de referência (m); Δ_p é a perda de carga no trecho analisado; g é a aceleração da gravidade m/s^2 , a qual foi assumido o valor de $9,8 m/s^2$. Os resultados, para a combinação de tubos escolhida, são apresentados na tabela 9.

Para o tubo interno (Mosto)			
Tubo	$\Delta_p(Pa/m)$	$U_m(m/s)$	$\Delta_p disp(kPa)$
A	1006,28	0,70	2,83
Para a região anular (água)			
Combinação	$\Delta_p(Pa/m)$	$U_m(m/s)$	$\Delta_p disp(kPa)$
1	7150,175	2,46	8978,36

Tabela 9: Perda de carga, velocidade de escoamento e pressão disponível no sistema



Figura 31 – Vista isométrica do trocador de calor dimensionado.



Figura 32 – Vista isométrica 2 do trocador de calor dimensionado.

O desenvolvimento do modelo proposto em CAD foi realizado no software CATIA V5R21 (Fig. 31 e Fig. 32) e consistiu em aplicar o que foi dimensionado analiticamente, o pitch utilizado entre os eixos concêntricos dos dois tubos foi de 18 mm e uma altura de 186,86 mm, correspondendo exatamente ao comprimento proposto de 8,155 m para o trocador de calor. As entradas de água se darão perpendicularmente ao tubo externo do trocador, devido a isso simplificar as conexões com os tubos do reservatório de água, já que, caso contrário, as conexões deveriam ser de forma anular e tal conexão não está disponível no catálogo escolhido para tubos e conexões.

Para esta solução deverá haver conformação mecânica nos tubos do trocador de calor, através da calandragem, que consiste em conformar os tubos concêntricos no diâmetro espiral de 25 cm. Para se obter a saída/entrada de água a 90°, será utilizado um "T" e para a entrada de mosto será utilizada uma redução para o encaixe das tubulações. Para a região anular lateral, existente devido ao uso do "T", a mesma será vedada com aço inox AISI 304.

Os tubos para a produção do trocador de calor foram escolhidos pelo catálogo da empresa Aço Tubo e são vendidos com 6 metros de comprimento, sendo necessária a compra de dois tubos de $\frac{1}{8}''$ e $\frac{3}{8}''$, ambos com o valor de R\$ 107,40 e prazo de entrega em 3 dias úteis. Para a calandragem dos tubos foi solicitado orçamento em duas empresas no Distrito Federal, na Permaque - Torneadora e Mecânica Industrial e na Dimaço - Produtos Metalúrgicos, ambas indicam em seus sites que conseguem fazer a calandragem de tubos de até $\frac{1}{2}''$, portanto é possível realizar a calandragem de nossos tubos nessas empresas. Até o envio do relatório ainda não obtivemos respostas quanto ao valor dos orçamentos solicitados e ao prazo de produção do trocador de calor.

2.2.5 Reservatório de água

O reservatório de água para o trocador de calor terá capacidade para aproximadamente 101 litros e as seguintes dimensões: 1460x410x170 mm. Foi escolhido um reservatório de polipropileno de alta densidade com 3mm de espessura. Este é feito sobre encomenda com medidas de acordo com a necessidade do cliente (Fig. 33)



Figura 33 – Modelo de reservatório de polipropileno

Durante a etapa de resfriamento do mosto, a temperatura da água no reservatório deve ser de 20°C. Para isso, o reservatório será resfriado com placas de Peltier localizadas em uma de suas laterais externas. O reservatório é feito de polipropileno, portanto, para que ocorra a troca térmica de forma eficiente, será feita uma abertura em uma das laterais do reservatório. Essa abertura será fechada com uma placa metálica, que estará em contato com a água do interior do reservatório.

A placa de Peltier é formada por semicondutores. Esses elementos semicondutores são soldados entre duas placas cerâmicas, eletricamente em série e termicamente em paralelo ([PIMENTEL, 2010](#)). Portanto, quando submetida a uma tensão elétrica em circuito fechado, a placa de Peltier tem um de seus lados resfriado e o lado oposto a este é aquecido. Quando o intuito é resfriar um sistema, o lado aquecido da placa precisa de um resfriamento, pois a placa não possui uma espessura considerável podendo superaquecer, ocasionando em uma menor taxa de resfriamento.

Visando aumentar a eficiência de transferência térmica das placas, foi desenvolvido um sistema utilizando uma placa de Peltier modelo TEC1-07112 (especificações no Anexo H), adesivo térmico, pasta térmica, bloco dissipador de calor em alumínio e uma ventoinha. A placa de Peltier é colocada na parte lisa do dissipador de calor, com a parte que aquece em contato com o dissipador, e o adesivo térmico é colocado em volta da placa. Do outro

lado do dissipador é colocada a ventoinha, para fornecer um fluxo de ar, acelerando a dissipação de calor. O lado da placa de Peltier que resfria será fixado na parede lateral do reservatório, possibilitando a redução da temperatura da água para os parâmetros necessários.

Serão utilizados três sistemas ligados em série, resultando em uma tensão máxima de 36 V e amperagem máxima de 18 A. Estes sistemas serão instalados na placa metálica na lateral do reservatório. Um controlador de tensão será colocado na ligação dos três sistemas, para que possa ser controlado o quanto o reservatório irá resfriar. Os sistemas serão alimentados por uma fonte de 220 V, conectados à rede elétrica de distribuição, a alimentação disponível para a microcervejaria.

2.2.6 Dimensionamento da Bomba Principal

A bomba principal foi dimensionada de acordo com a teoria encontrada em [Fox, McDonald e Mitchell \(2020\)](#), com o objetivo de suprir as perdas de pressão, geradas pela perda de carga, entre a origem e o destino do fluido, em cada etapa do processo de fabricação da cerveja e da limpeza. O maior valor de perda de pressão encontrado foi multiplicado por 1,1 para evitar erros de precisão, e foi utilizado como requisito mínimo para aquisição da bomba, que foi realizada pela equipe de Eletrônica, considerando também seus próprios requisitos e necessidades.

Além da perda de pressão, outro requisito da bomba principal foi de disponibilizar uma vazão suficiente para gerar a fase de whirlpool, que será discutida na seção [2.2.7](#).

A equação de diferença de pressão está representada abaixo:

$$\Delta p = \left(p_1 + \rho \alpha_1 \frac{V_1^2}{2} + \rho g z_1 \right) - \left(p_2 + \rho \alpha_2 \frac{V_2^2}{2} + \rho g z_2 \right) \quad (2.26)$$

onde Δp é a diferença de pressão, g é a aceleração da gravidade, p_1 e p_2 são as pressões, α_1 e α_2 são os coeficientes de energia cinética, V_1 e V_2 são as velocidades médias do fluxo e z_1 e z_2 são as alturas do fluido na origem e no destino do fluxo, respectivamente.

Como o fluxo tem vazão volumétrica constante, dada pela bomba, e a tubulação não varia de diâmetro, então a velocidade média do fluxo V foi considerada constante, que resulta em:

$$\Delta p = p_1 + \rho g z_1 - p_2 - \rho g z_2 \quad (2.27)$$

Observa-se que a perda de pressão é dada pelas diferenças de altura e de pressão, entre a origem e o destino do fluido.

A perda de pressão pela diferença de altura Δp_z é dada por:

$$\Delta p_z = \rho g (z_1 - z_2) \quad (2.28)$$

A perda entre p_1 e p_2 é dividida em duas partes: perdas maiores (fator de atrito) e perdas menores (entradas, encaixes, curvas, válvulas e variações de área na tubulação).

As perdas maiores são determinadas a partir da equação abaixo:

$$\Delta p_M = \rho f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \quad (2.29)$$

L é o comprimento da tubulação, D é o diâmetro hidráulico do tubo e f é o fator de atrito, definido a partir da correlação dos valores de D , rugosidade da tubulação e , e número de Reynolds do fluxo Re , e dado pelo Diagrama de Moody (Fig. 34).

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.30)$$

Em que μ é a viscosidade dinâmica do fluido.

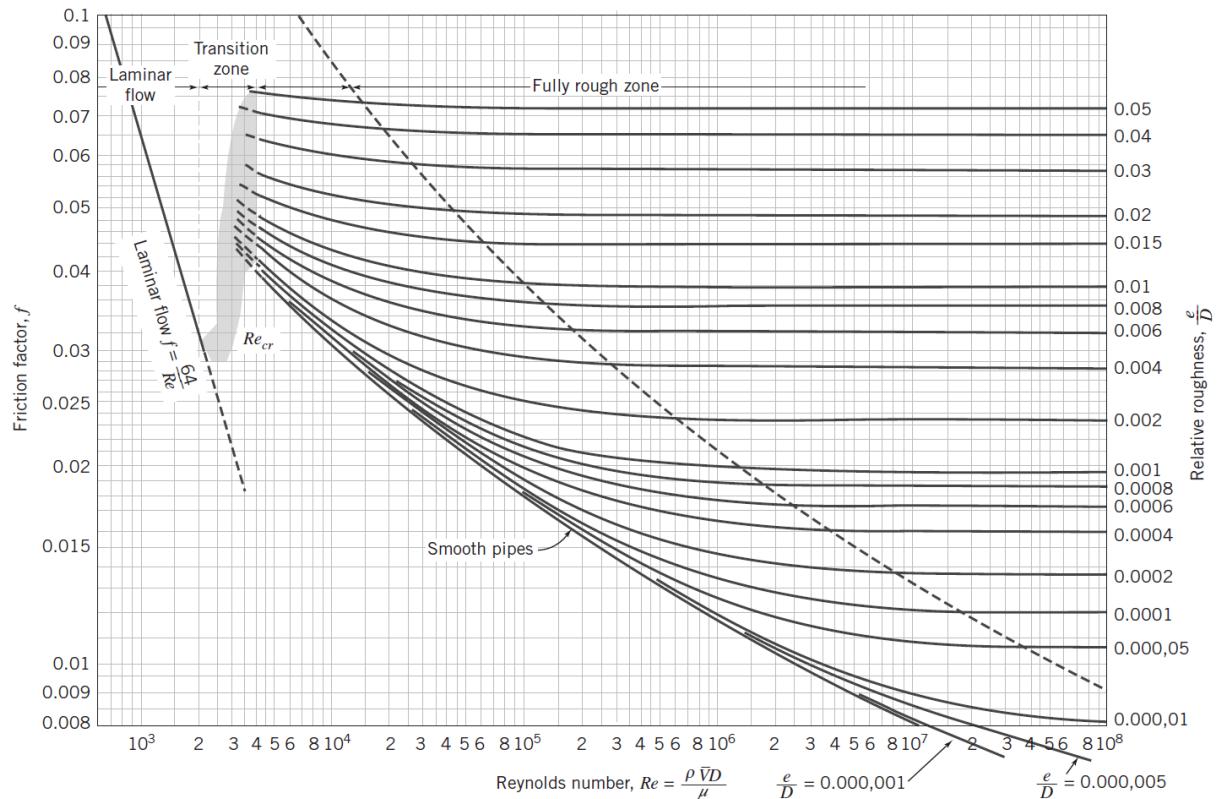


Figura 34 – Diagrama de Moody.

As perdas menores são determinadas a partir da equação abaixo:

$$\Delta p_m = \rho K \frac{V^2}{2} \quad (2.31)$$

Em que K é o coeficiente de perda. Cada componente, como encaixes, válvulas e curvas, ao longo da tubulação é representado por um coeficiente de perda.

2.2.6.1 Cálculos Iniciais

Os cálculos iniciais foram realizados para definir os requisitos mínimos para a bomba. Os dados de entrada utilizados, para cada fase, foram retirados da literatura mencionada e das seções [2.2.3](#), [2.2.4.1](#) e Apêndice I:

Primeiramente, as fases são:

Número da fase	Descrição da fase (fluído)
1	Transferência da panela 1 para a 2 (água)
2	Recirculação na panela 2 (mosto)
3	Transferência da panela 2 para a 3 (mosto)
4	Resfriamento (mosto)
5	Whirlpool (mosto)

Tabela 10: Numeração das fases para o cálculo inicial.

A vazão volumétrica mínima da bomba foi definida como 13,2 L/min, a partir do experimento de whirlpool caseiro realizado, a ser comentado em [2.2.7](#) e, para a etapa do resfriamento, foi definida no dimensionamento do trocador de calor (Tab.5). Como o diâmetro hidráulico (diâmetro interno) da tubulação escolhida é $D = 0,027860$ m, e a vazão volumétrica é dada por $V\pi(D/2)^2$, obtém-se a velocidade média do fluxo.

Fase	Vazão (L/min)	Vazão (m^3/s)	Velocidade média V (m/s)
1	13,2	0,220	0,36089
2	13,2	0,220	0,36089
3	13,2	0,220	0,36089
4	2	0,0333	0,05468
5	13,2	0,220	0,36089

Tabela 11: Vazão volumétrica e velocidade média dos fluidos para o cálculo inicial.

Os valores de viscosidade dinâmica, que é utilizada para calcular o número de Reynolds, foram obtidos a partir de ([FOX; MCDONALD; MITCHELL, 2020](#)), para água e ([TRÁVNÍČEK; LOS; JUNGA, 2015](#)), para o mosto. Por causa da escassez de dados sobre características do mosto, e, como a viscosidade varia com a temperatura, foram considerados os menores valores de temperatura para cada fase, visto que, com menores temperaturas, a viscosidade é maior. Isso resulta numa maior perda de pressão, mas foi considerado benéfico, pois gera certo fator de segurança para o dimensionamento.

Os valores de massa específica da água foram obtidos de (FOX; MCDONALD; MITCHELL, 2020) e, para o mosto, (ASSOCIATION, 2020), que é medida em termos de gravidade original (gravidade específica) em cervejas. Para IPAs experimentais, que são o foco de nosso produto, a gravidade original pode variar de 1,06 a 1,1, então o maior valor foi escolhido, pois gerará a maior perda de pressão. A mesma relação feita para a viscosidade dinâmica foi feita para a massa específica, multiplicando a gravidade original do mosto pelos valores de massa específica da água para cada temperatura.

Fase	Massa específica (kg/m^3)	Viscosidade dinâmica (Ns/m^2)	Temperatura ($^\circ\text{C}$)
1	0,980	0,000431	65
2	1,0780	0,001	65
3	1,0780	0,001	65
4	1,0967	0,002	25
5	1,0967	0,002	25

Tabela 12: Massa específica e viscosidade dinâmica para o cálculo inicial.

O comprimento da tubulação pelo qual o fluido passa e a diferença de altura máxima entre a origem e o destino do fluido, para cada fase, são:

Fase	Comprimento da tubulação (m)	Diferença máxima de altura (m)
1	2,26	0,85
2	1,79	0,45
3	1,45	0,72
4	1,38	0,32
5	1,50	0,32

Tabela 13: Características das dimensões da tubulação.

Os componentes ao longo da tubulação percorrida pelo fluido, determinados na seção 2.2.3, contabilizados para cada fase, são:

Fase	nº de TEEs	nº de curvas 90º raio longo	nº de válvulas
1	4	2	3
2	4	1	3
3	4	0	3
4	3	4	3
5	3	1	3

Tabela 14: Número de componentes ao longo do fluxo.

Como dito, cada componente ao longo do fluxo é representado por um coeficiente de perda K . Os valores de K foram retirados de (FOX; MCDONALD; MITCHELL, 2020) e de (TOOLBOX, 2004).

Tipo de componente	Coeficiente de perda K
TEE com rosca	2
Curva 90° raio longo com rosca	0,7
Válvula	2,3

Tabela 15: Coeficientes de perda para cada tipo de componente.

Devido à variedade de fórmulas diferentes disponíveis nas literaturas para o cálculo dos coeficientes de perda por contração e expansão de fluxo, e, devido ao fato da área transversal do fluxo de mosto no trocador de calor ser 13 vezes menor do que na tubulação, foi considerada uma mudança brusca de área, e seu coeficiente de perda foi calculado de acordo com (FOX; MCDONALD; MITCHELL, 2020), conforme a Fig. 35.

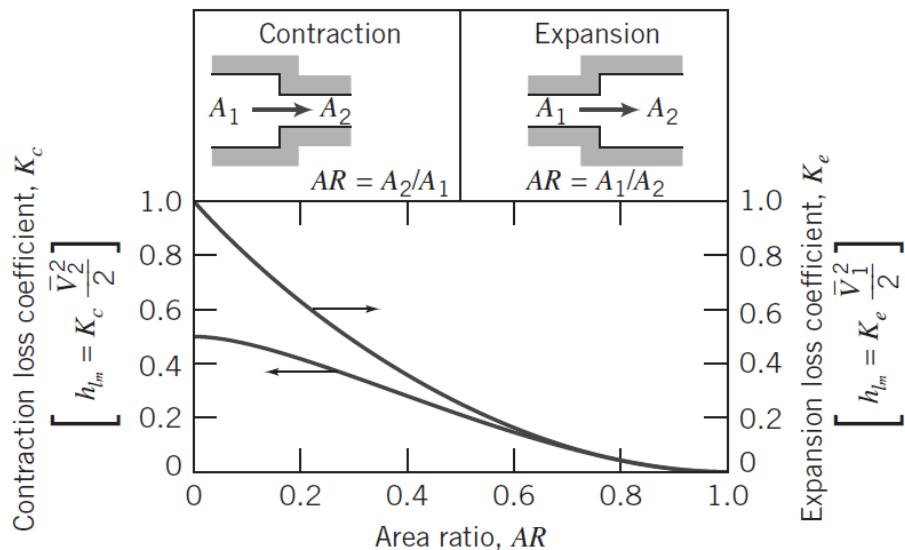


Figura 35 – Coeficiente de perda para contrações e expansões bruscas.

Tipo de variação de área	Coeficiente de perda K
Contração	0,5
Expansão	0,85

Tabela 16: Coeficientes de perda para variação de área na tubulação.

Para as entradas nas tubulações, é dito por (FOX; MCDONALD; MITCHELL, 2020) que as perdas de pressão em uma entrada com ângulo bem arredondado, com a razão entre o raio da esquina de entrada e o diâmetro do tubo $r/D \geq 0,15$, são praticamente desprezíveis. Então, para isso, é necessário que as entradas das tubulações abaixo das panelas tenham entradas com pelo menos 0,004179 m de raio, conforme mostra a Fig. 36.

Entrance Type	Minor Loss Coefficient, K^a
Reentrant	0.5 – 1.0 (depending on length of pipe entrance)
Square-edged	0.5
Rounded	$\frac{r}{D}$ 0.02 0.06 ≥ 0.15 K 0.3 0.2 0.04

Figura 36 – Perdas de pressão em entradas de tubulações.

A rugosidade da tubulação, que é feita do aço inox AISI 304, foi adquirida a partir de ([CAVALER et al., 2010](#)), e seu valor é $e = 2,304 * 10^{-5}m$.

A partir desses dados, foi calculada a perda de pressão para cada fase, somando todas as perdas individuais. Vale lembrar que o cálculo da perda de pressão do mosto através do trocador de calor foi realizado na seção [2.2.4.1](#), então não há necessidade de recalculá-lo, seu valor foi adicionado na perda de pressão da fase 4 (refriamento).

Fase	Perda de pressão Δp (Pa)
1	9349,3
2	5995,3
3	8774,1
4	4856,4
5	4557,4

Tabela 17: Perdas de pressão totais no cálculo inicial.

Por fim, a maior perda de pressão foi multiplicada por 1,1, para evitar imprecisões de cálculo. Sendo assim, a pressão mínima de funcionamento da bomba a ser escolhida foi definida como 10284,23 Pa.

2.2.6.2 Cálculos Pós-escolha da Bomba

Após a bomba principal ter sido escolhida, os cálculos foram refeitos, pois a vazão disponibilizada pela bomba é maior do que a vazão mínima requerida, considerada nos cálculos iniciais.

As características da bomba escolhida são:

Pressão máxima (Pa)	Vazão máxima (L/min)	Vazão máxima (m^3/s)
$6 * 10^5$	26	0,433

Tabela 18: Características da bomba escolhida.

A única mudança de dados para o cálculo foi de vazão volumétrica:

Fase	Vazão (m^3/s)	Velocidade média V (m/s)
1	0,433	0,71084
2	0,433	0,71084
3	0,433	0,71084
4	0,433	0,05468
5	0,433	0,71084

Tabela 19: Vazão volumétrica e velocidade média dos fluidos para o cálculo final.

Fase	Perda de pressão Δp (Pa)
1	12680,7
2	9479,2
3	12052,6
4	4856,4
5	7676,5

Tabela 20: Perdas de pressão totais no cálculo final.

Prova-se então, a partir dos resultados obtidos, que a bomba escolhida supre as necessidades do projeto.

2.2.7 Simulação do Whirlpool

A etapa de whirlpool é uma etapa importante no processo de fabricação da cerveja. Ela visa agitar e mover as partículas sólidas de lúpulo, proteínas coaguladas e leveduras inativas, em formato de redemoinho, para que essas partículas se assentem no fundo do recipiente, facilitando a transferência do mosto lupulado para o recipiente de fermentação. Vale notar que não necessariamente este whirlpool precisa ser forte ao ponto de ter ar em seu núcleo, o objetivo aqui é simplesmente levar as partículas sólidas para o fundo da panela.

Inicialmente, pensou-se em realizar o whirlpool com um conjunto de motor e pá rotativa, mas, ao observar projetos industriais já existentes para produção de cerveja, foi notado que muitas cervejarias realizam o whirlpool utilizando uma bomba para recircular o fluido em um mesmo recipiente cilíndrico, com a entrada do fluido na direção tangencial do recipiente. Como já utilizamos uma bomba para movimentar os fluidos entre as panelas, foi decidido usar esta mesma bomba para realizar a etapa de whirlpool, recirculando o mosto na panela de fervura. Esta escolha nos permitiu reduzir um componente a ser controlado eletronicamente, diminuindo custos e simplificando o projeto.

Devido à escassez de dados científicos sobre geração de redemoinho, foi realizado um experimento caseiro e simulações em CFD (Computational Fluid Dynamics), na plataforma ANSYS, dentre os quais procurou-se encontrar a melhor configuração de entrada de fluido para realizar o whirlpool. Devido à proximidade entre as propriedades da água

e do mosto, como mencionado na seção 2.2.4.1, o fluido utilizado para as simulações foi a água, à temperatura de 25°C.

No experimento caseiro, o whirlpool foi facilmente realizado utilizando uma bomba com vazão de 13,2 L/min. Por isso, este foi um dos requisitos iniciais para o dimensionamento da bomba principal.

Várias simulações foram realizadas em CFD, com exatamente as mesmas condições, fora a entrada do fluido, considerando fluido viscoso e incompressível, visando encontrar as melhores configurações de entrada na panela. Observou-se que os melhores resultados foram obtidos com as entradas mais afastadas do centro, com direção tangencial à borda panela, que geravam claramente o formato de um redemoinho, e, os piores resultados foram obtidos com entradas direcionadas ao centro da panela, que não geravam estrutura similar ao de um redemoinho.

Foram disponibilizadas visualizações das linhas de trajetória e dos vetores de velocidade do fluido, indicando o caminho e direção das partículas do fluido, para o melhor e o pior caso, respectivamente.

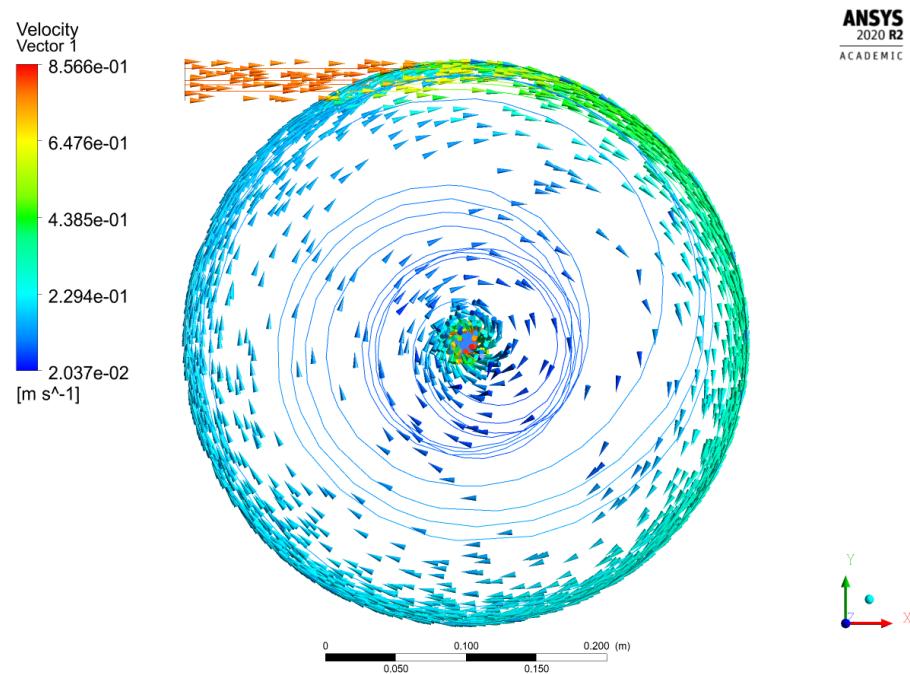


Figura 37 – Vista superior, com vetores de velocidade e linhas de trajetória, para o melhor caso.

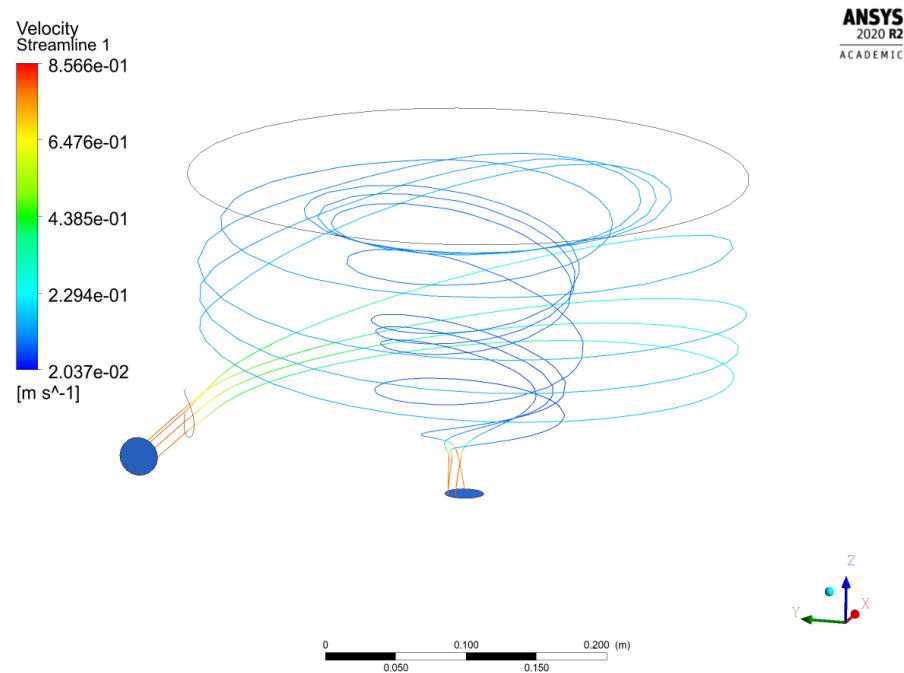


Figura 38 – Vista isométrica, com linhas de trajetória, para o melhor caso.

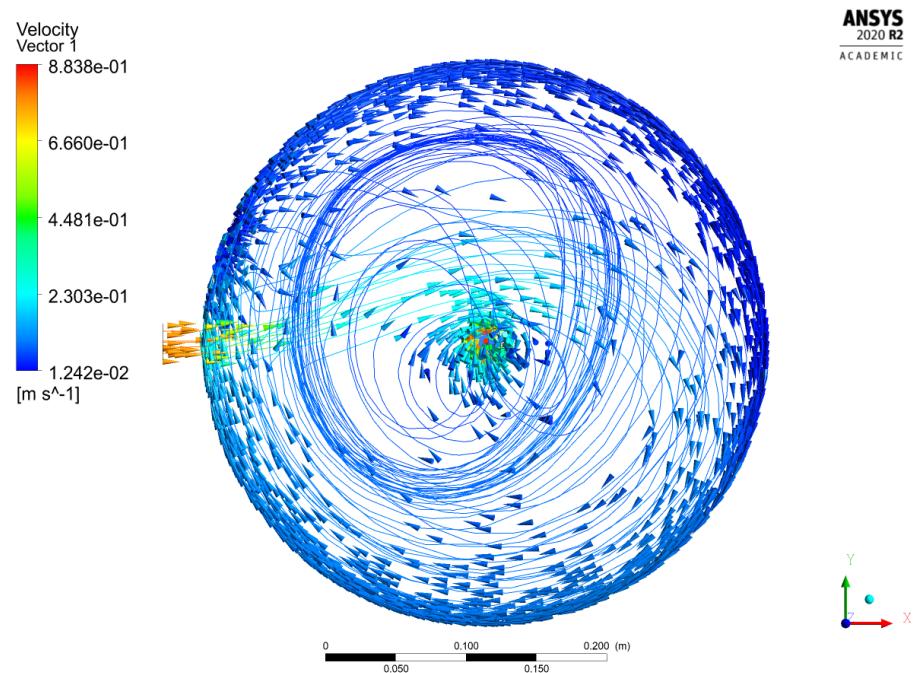


Figura 39 – Vista superior, com vetores de velocidade e linhas de trajetória para o pior caso.

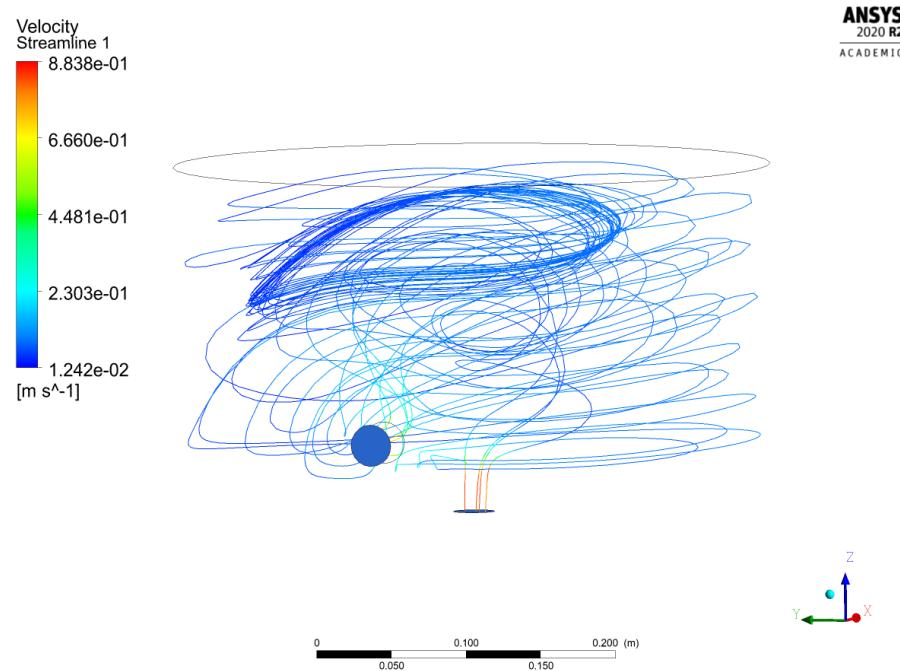


Figura 40 – Vista isométrica, com linhas de trajetória, para o pior caso.

A partir dos resultados obtidos, foi decidido conectar a tubulação de entrada de fluido na panela de realização do whirlpool (3^a panela), de forma tangencial à borda da panela, e o mais distante possível de seu centro. A configuração obtida, por causa das limitações da estrutura, está representada abaixo, e as linhas de trajetória representam uma estrutura similar à de um redemoinho.

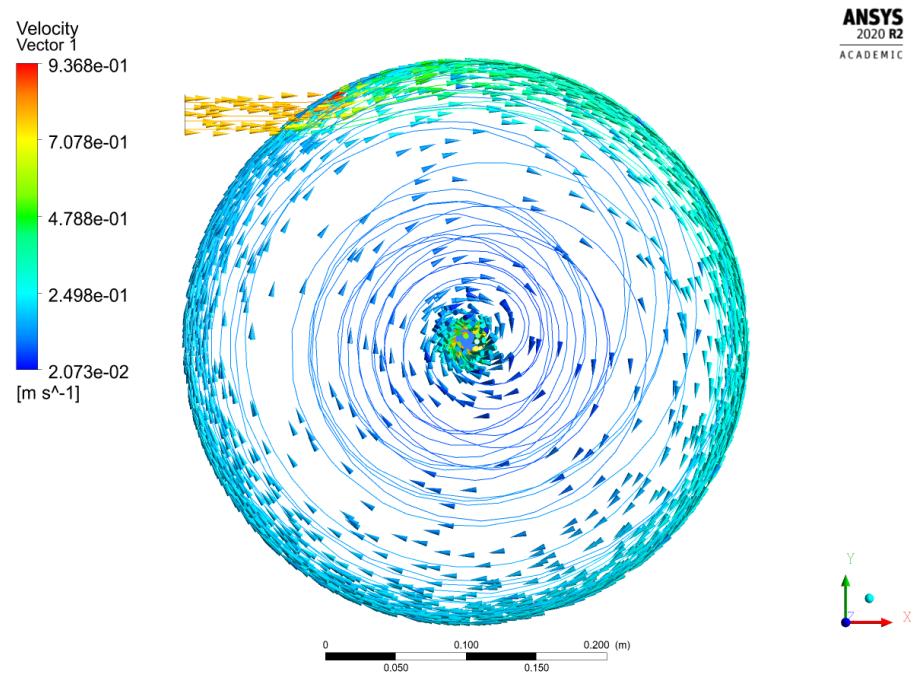


Figura 41 – Vista superior, com vetores de velocidade e linhas de trajetória, para a geometria escolhida para nossa solução.

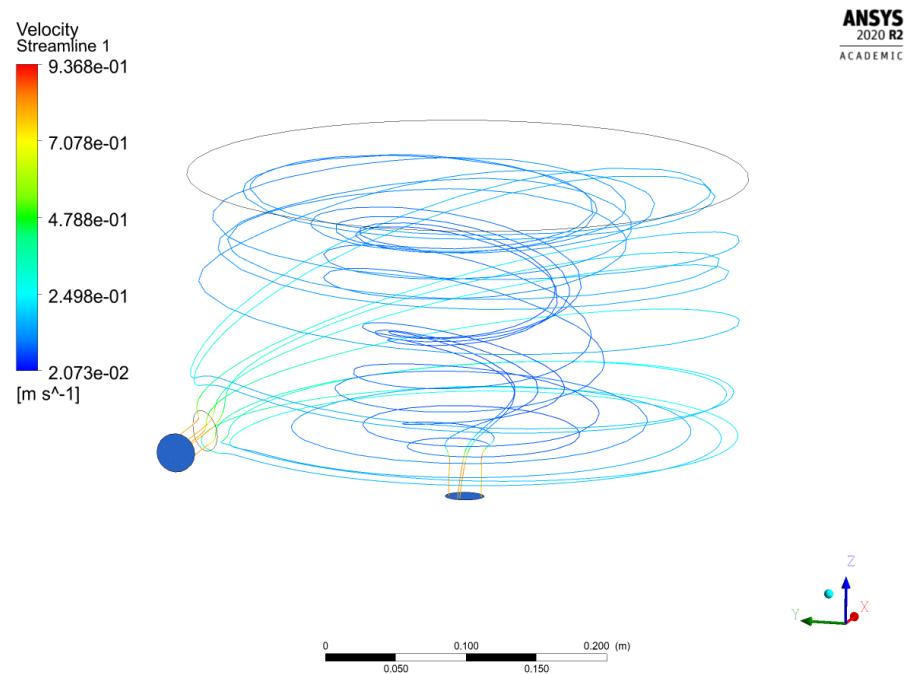


Figura 42 – Vista isométrica, com linhas de trajetória, para a geometria escolhida para nossa solução.

2.2.8 Alimentador de insumos

O alimentador de insumos será o responsável por liberar os ingredientes no momento da fervura. Este é apresentado na Fig. 43. Possui um volume de 190ml, suficiente para a quantidade de ingredientes inseridos.

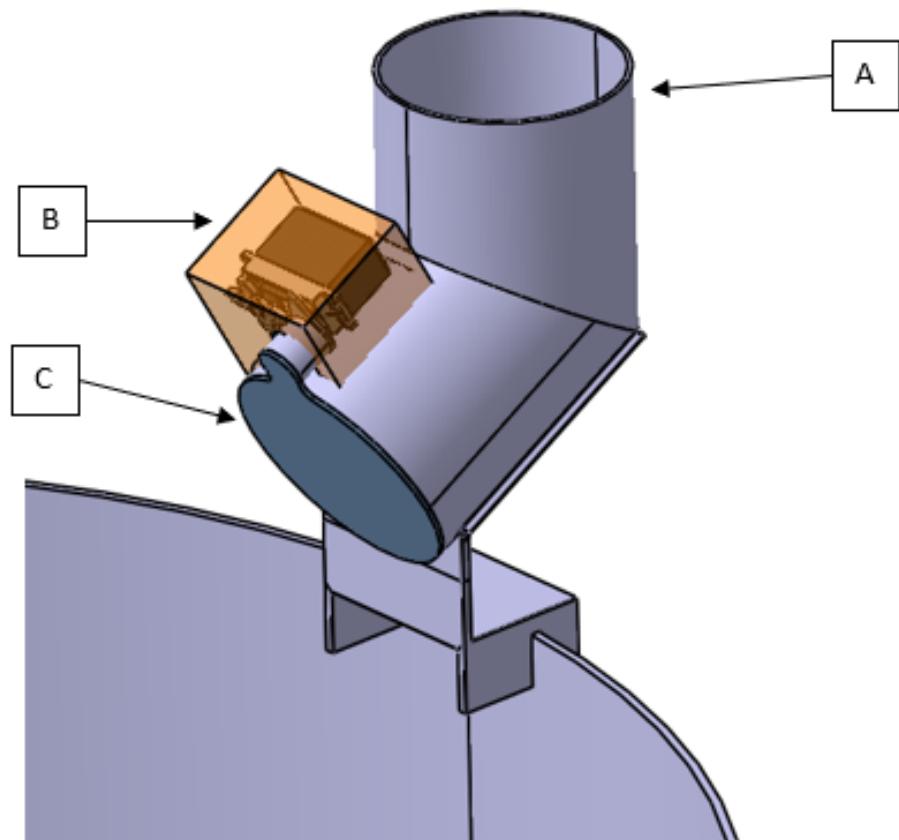


Figura 43 – Alimentador de insumos

Legenda	Item
A	Suporte para insumos
B	Case para servo motor
C	Tampa

Tabela 21: Legenda alimentador de insumos

Seu funcionamento será de acordo com o mostrado na Fig. 44. Ao abrir a tampa, os insumos caem na panela de fervura.

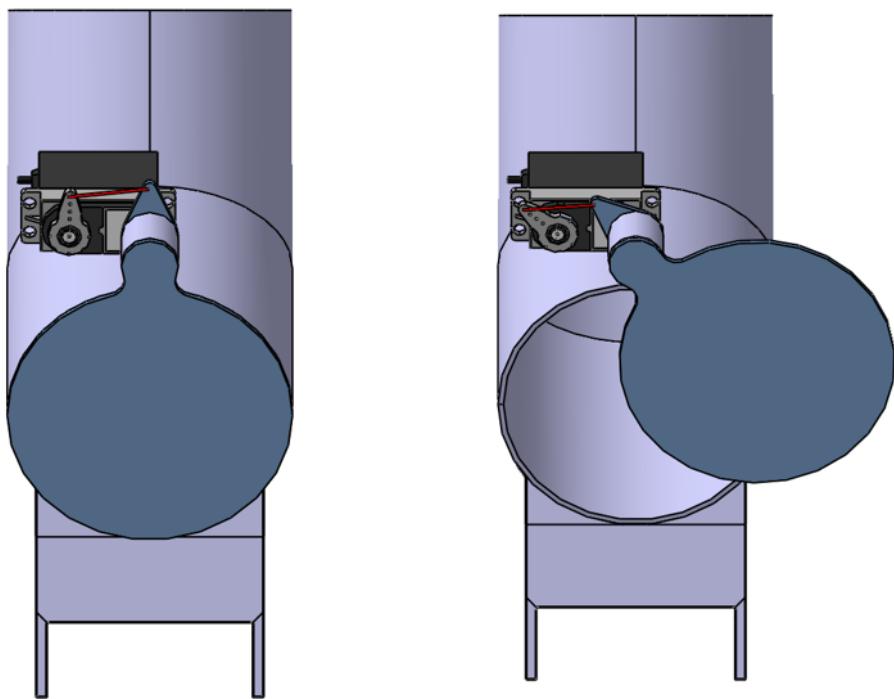


Figura 44 – Funcionamento do alimentador de insumos

O recipiente onde será armazenado os insumos ("A") será construído de tubos de alumínio com diâmetro de 50mm. Serão cortados e soldados. O suporte inferior apoiado na panela será feito de chapas, também de alumínio. Será utilizado o método de dobramento e solda para unir nas junções de placas e o recipiente tubular.

As cases dos motores responsáveis por girar a tampa do alimentador serão feitas de acrílico (Fig. 45). Este visa isolar o servo motor do vapor provindo da fervura. A tampa do alimentador será também construída de acrílico por ser leve e passível de fabricação por CNC. Este material foi escolhido por sua temperatura de transição vítreia se dar acima de $100^{\circ}C$

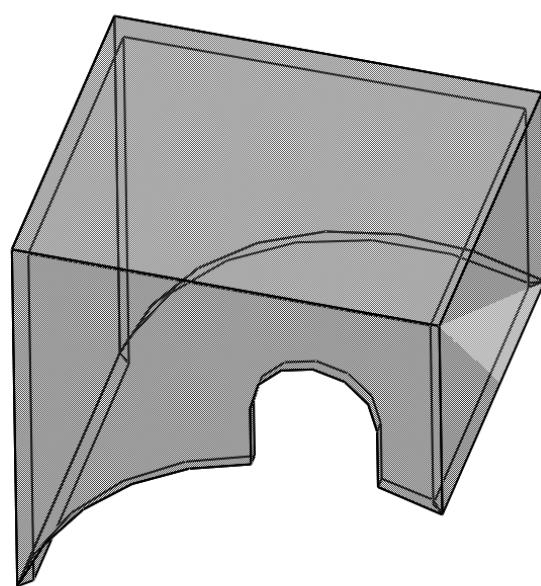


Figura 45 – Case de proteção para servo

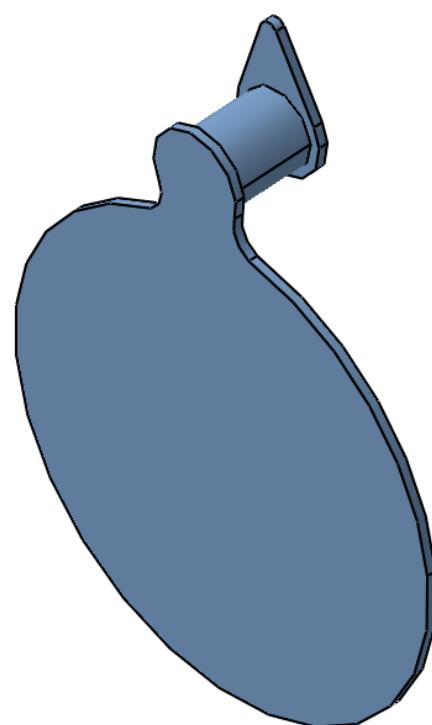


Figura 46 – Tampa do alimentador

Os desenhos técnicos das estruturas apresentadas se encontram no Apêndice I.

Estarão presentes na estrutura mais de um alimentador visto que as receitas apresentam ingredientes diversos. O cliente poderá escolher a quantidade desejada.

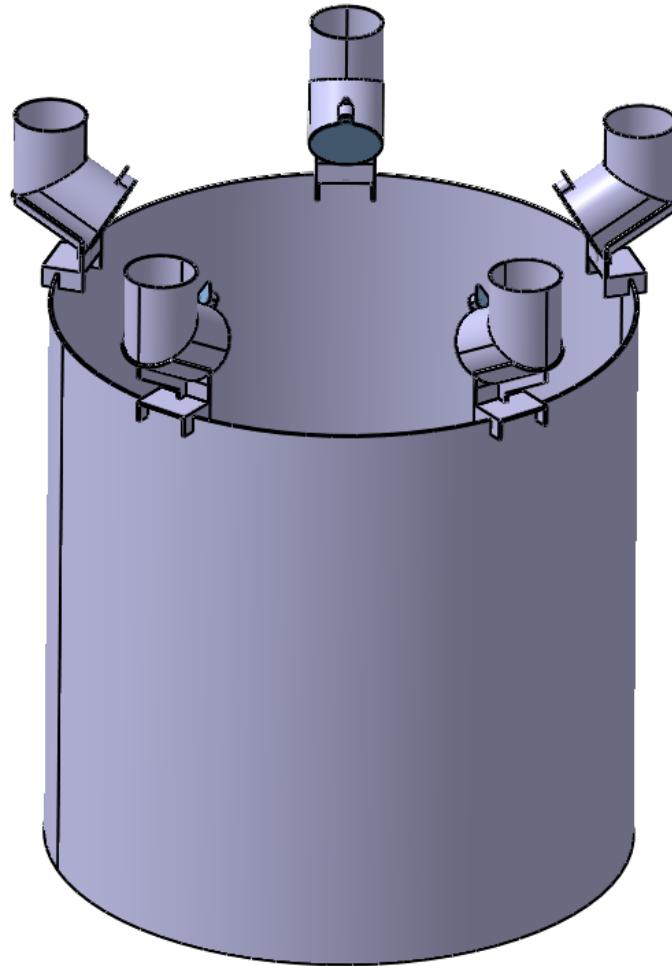


Figura 47 – Disposição dos alimentadores

2.3 Solução do Sistema Embarcado

Este subsistema tem como objetivo a obtenção dos sinais provenientes dos sensores, o processamento apropriado desses sinais e seu diálogo com o aplicativo. Dessa forma sua estrutura pode ser dividida em três módulos: aquisição, atuação e comunicação.

Observando a Figura 50 é possível ter uma visão geral da solução proposta para o sistema embarcado, os principais componentes internos a cada um dos módulos e ter uma ideia do fluxo de trabalho proposto. Nos parágrafos seguintes é descrito de forma mais detalhada o funcionamento de cada um dos módulos.

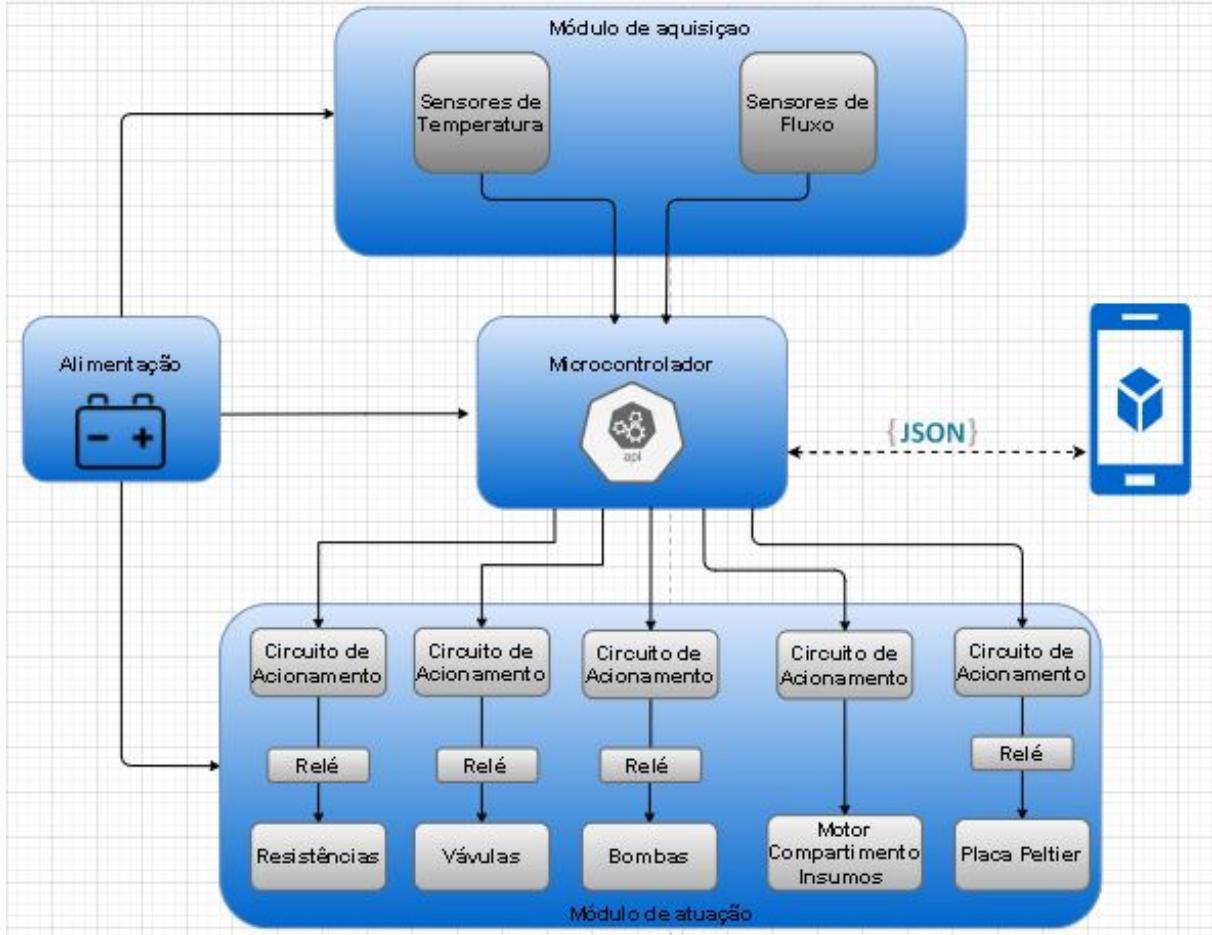


Figura 48 – Diagrama da Solução do Sistema Embarcado

2.3.1 Módulo do Sistema de Aquisição

2.3.2 Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura é uma parte importante do projeto, pois é através dele que se controla a resistência que irá aquecer as panelas, coordenando assim as etapas do processo de fabricação da cerveja. Para isso, foi utilizado o sensor de temperatura infravermelho MLX90614ESF.

Esse sensor consegue medir em um intervalo de temperatura de -40°C a 125°C para temperaturas ambientes e -70°C a 380°C para temperaturas em objetos específicos. Sua tensão de operação é entre 3 V e 5 V (datasheet). Ele tem como principal característica de não ser necessário que o sensor fique em contato com o objeto, visto que se mede a temperatura através da radiação infravermelha. Esse sensor capta o espectro infravermelho de energia e detectores fotosensíveis convertem essa energia para sinal elétrico, que em seguida é convertido em valores de temperatura. Sua saída digital (10-bits), elimina a parte de conversão A/D para a leitura do microcontrolador e seu envio e recebimento

de comandos e dados é feito através da interface I2C (pinos SCL e SDA). Esse tipo de protocolo de comunicação I2C é do tipo mestre/escravo com dois fios: o SDA (dados seriais, que transportam endereços, controles e dados) e SCL (clock serial, que sincroniza o transmissor e o receptor durante a transferência). Sabendo que os pinos 1, 3, 5 e 6 da raspberry pi são respectivamente 3,3volts, SDA, SCL e ground, foi realizado a montagem conforme o circuito a seguir:

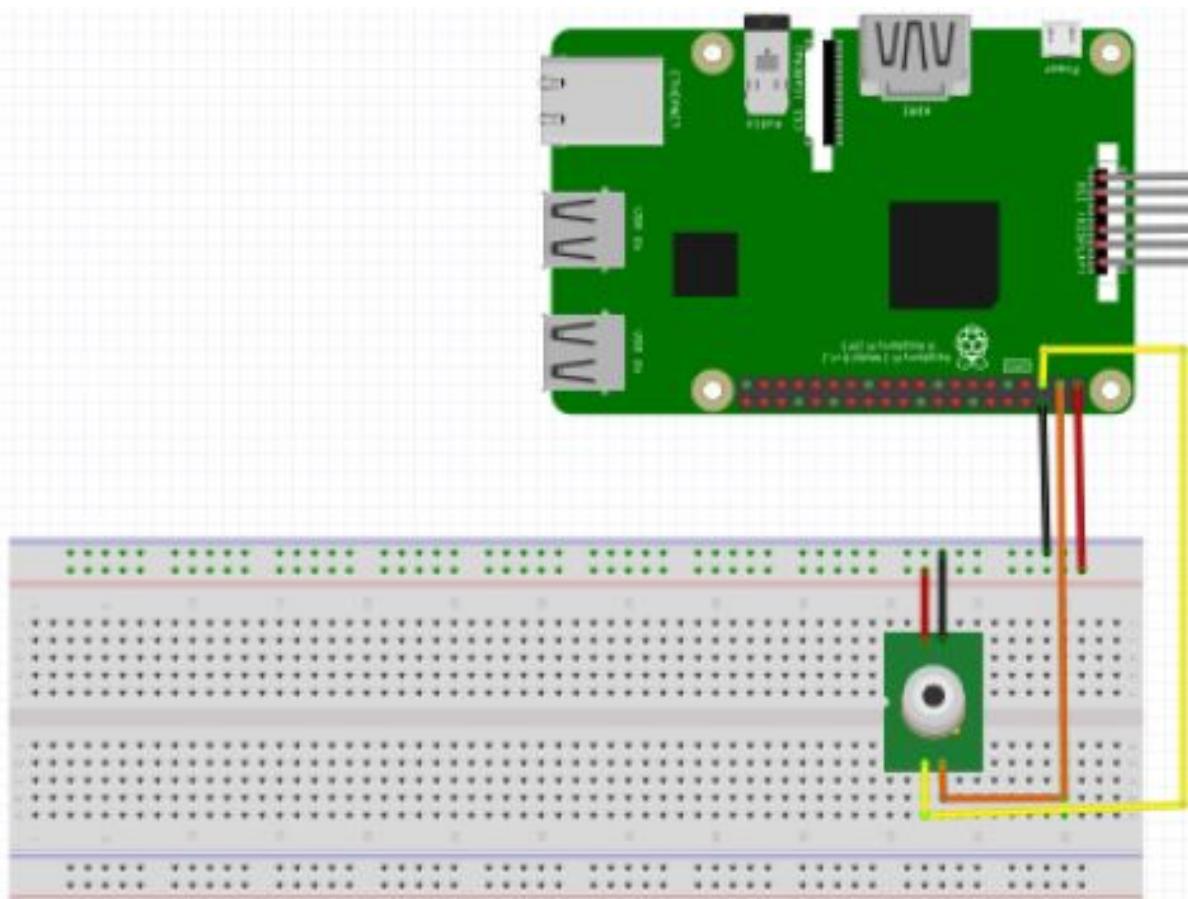


Figura 49 – Conexão Sensor de Temperatura

2.3.3 Sensor de Fluxo de Líquido

É através do monitoramento de fluxo de líquido que pode-se ter um maior controle do processo de término e transferência de líquido entre as panelas. Por exemplo, um dos passos da produção de cerveja é transferir água da panela de aquecimento para a panela de brassagem. Uma vez iniciada a transferência do líquido é necessário saber o seu término para então iniciar o próximo processo sem perda de produto. Isso só é possível pelo monitoramento de fluxo de líquido.

Foi escolhido para o monitoramento do fluxo do líquido o Sensor de fluxo de modelo

1/2 YF-S201b. Seu funcionamento é bem simples, em sua estrutura há uma válvula em formato de catavento com um imã acoplado que trabalha em conjunto com um sensor hall para enviar um sinal PWM. Através destes pulsos é possível mensurar a vazão de água, sendo que cada pulso mede aproximadamente 2,25mm. Ele será instalado em linha com a tubulação para medir a quantidade de água que circula por ele, enviando pulsos PWM para a Raspberry Pi. Por ser um sensor digital, assim como o sensor de temperatura, elimina a parte de conversão A/D para a leitura do microcontrolador. Sabendo que os pinos 2, 40 e 38 da raspberry pi são respectivamente pino de dados, 5Volts e ground foi realizado a montagem conforme o circuito a seguir:

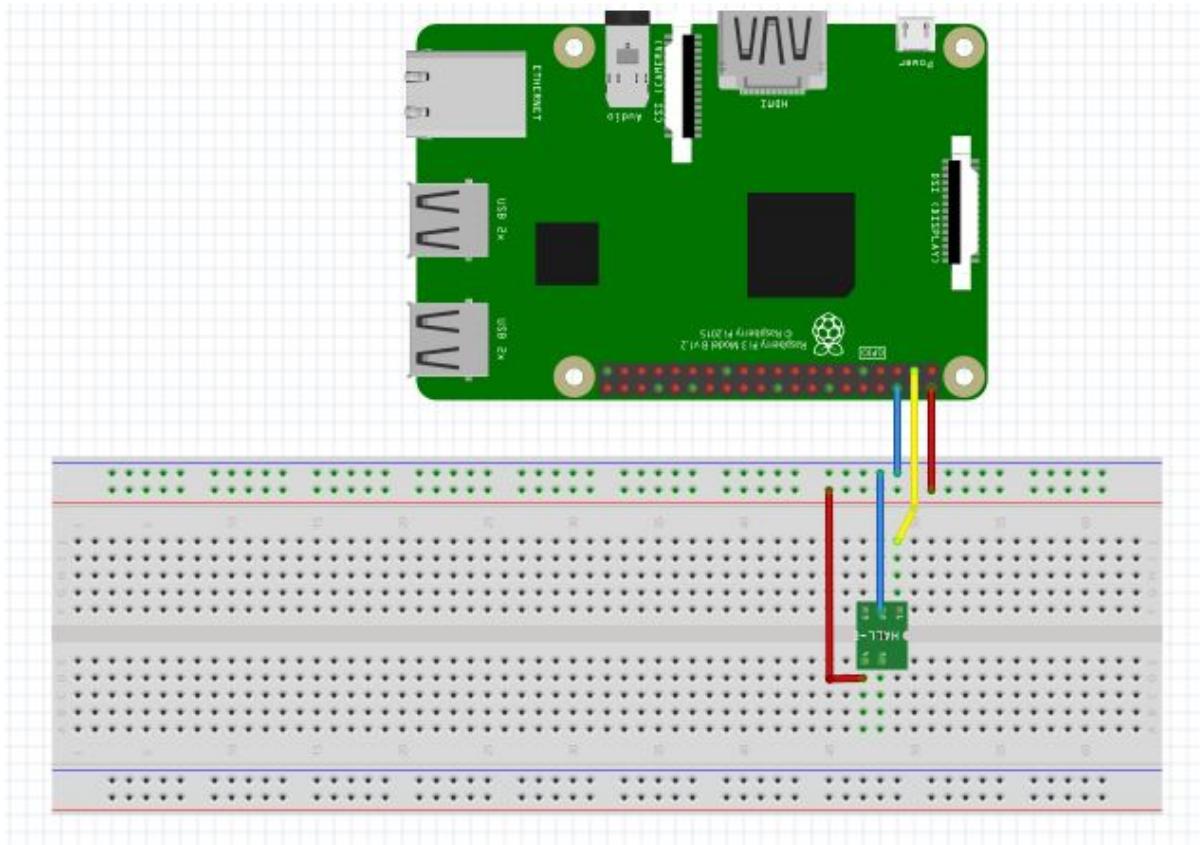


Figura 50 – Conexão Sensor de fluxo

2.3.4 Módulo do Sistema de Atuação

Quando falamos em facilitar os processos produtivos, estamos querendo um sistema otimizado no sentido de produzir itens com menor custo, menor tempo, maior quantidade e maior qualidade. É nesse sentido que a utilização de atuadores se faz necessária, pois sua aplicação está diretamente ligada ao controle e otimização de processos produtivos. Eles são equipamentos utilizados para conversão de sinais elétricos derivados dos controladores, em operações requeridas pelos sistemas que estão sendo controlados. Assim, as soluções propostas para esse módulo devem observar os seguintes atuadores(BRAGA, 2020):

- Bombas

Esse elemento tem como propósito realizar a transferência e recirculação dos fluidos entre as panelas e através do trocador de calor, este por sua vez tem como objetivo resfriar o mosto para obtenção do produto final. Serão duas as bombas utilizadas, sendo uma a responsável por fazer a transferência de líquido entre as panelas e a outra responsável por fazer o mosto fluir pelo trocador de calor. Ambas as bombas possuem as mesmas especificações, sendo elas de 120W de potência máxima e com capacidade de vazão de $26l/min.$



Figura 51 – Bomba de circulação

- Motor

Servos motores a serem utilizados na abertura e fechamento dos compartimentos, contendo ingredientes de adição posterior ao início do processo. Cada compartimento é aberto por

um servo motor com torque máximo de $1,5 \text{ kg.cm}$ operando a $5V$.



Figura 52 – Micro Servo 9g SG90

- Válvulas

As válvulas solenoides, que são dispositivos eletromecânicos usados para controlar o fluxo de líquidos ou gases, serão utilizadas para o controle de líquido pela tubulação do sistema([TAMESON, 2020](#)). Todas as válvulas solenoides a serem utilizadas no projeto resistem a até $240^{\circ}C$ quando submetidas a até 12 bar de pressão.



Figura 53 – Válvula Solenoide SERIE 4213ITHUS

- Relés

Os relés de estado sólido são dispositivos eletrônicos usados para o chaveamento de cargas resistivas ou indutivas. Dessa maneira os relés vão servir para acionar as bombas, motores e resistências de aquecimento([ELÉTRICA, 2020](#)). No caso do controle da resistência de aquecimento, será necessário um relé que consiga suportar a corrente necessária para suprir os 5000W de potência que a resistência de aquecimento selecionada (Sec. [2.2.2](#))

demandas, ou seja, suportar passagem de corrente maior que 23A. Para tal selecionamos o rele SSD 48D25A da marca Loti, que suporta correntes de até 25A.



Figura 54 – Relé de estado sólido com transição em *zero crossing*

2.3.5 Circuito de Acionamento

Solução proposta para o circuito de acionamento:

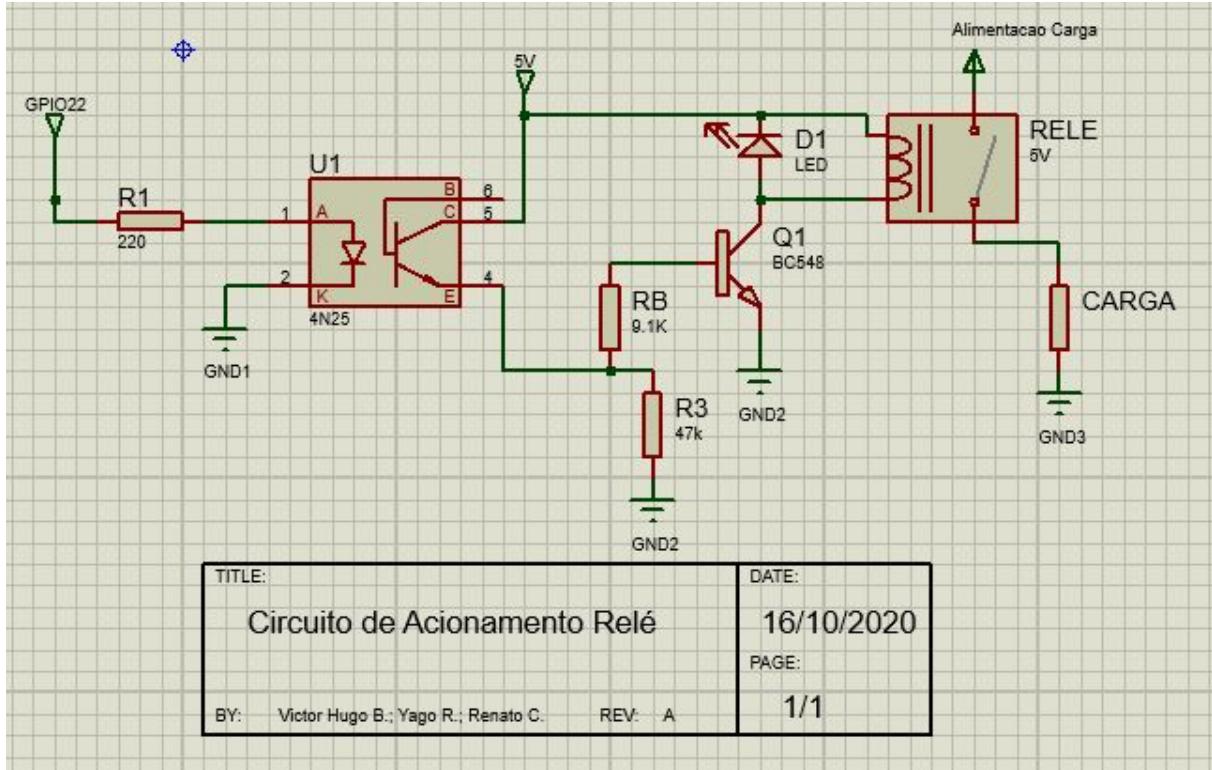


Figura 55 – Circuito de Acionamento do Relé

Os módulos relés usualmente comercializados, são feitos para receberem 5V nos seus acopladores ópticos, que são responsáveis em realizar o acionamento do relé. A GPIO da raspberry possui uma tolerância de 3,3V e 16mA, e quando essa tensão é aplicada na entrada do módulo relé, o LED interno do acoplador não é acionado ou muitas vezes não funciona como o desejado, consequentemente não se consegue um resultado eficiente no controle dos relés. Além disso os módulos possuem alimentação externa de 5V, se o RPi não possuir uma proteção adequada para este tipo de situação, o GPIO queimarará, pois este jumper faz a conexão entre o Vcc de 5V com o acoplador, LED externo e a entrada, sendo uma situação não desejada em dispositivos 3,3V, mesmo se as GPIOs estão configuradas como Output.

Para contornar estes problemas foi desenvolvido um circuito de acionamento composto por um acoplador óptico(4N25), tres resistores($R_1=210$, $R_2=9,1K$ e $R_3=47k$), um transistor(BC548), um Diodo roda livre(1N4001) e um rele(SRD-5VDC-SL-C). Desse modo o LED interno do acoplador projetado será acionado com 3,3V, e seu transistor interno receberá 5V para o acionamento do relé. Com essa topologia conseguiremos casar e isolar a GPIO da raspberry do módulo relé.

O pino descrito como GPIO22 do circuito fica ligado à saída do microcontrolador. O resistor R1 limita a corrente, e consequentemente, a tensão sobre o LED interno. O valor do resistor para o LED interno do acoplador óptico foi obtido a partir do seguinte

cálculo utilizando a Lei de Ohm, com os valores típicos de V₁, tensão e corrente do LED conforme o datasheet do modelo 4N25.

- $V_1 = 3,3V$
- $V_{led} = 1,2V$
- $i_{Led} = 10mA$

Lei de ohm para o calculo de R1:

$$R1 = \frac{V_1 - V_{led}}{I_{led}} = \frac{3,3V - 1,2V}{20mA} = 105\Omega \quad (2.32)$$

Quando o pino de saída do microcontrolador estiver em nível alto (3,3V) o LED produzirá uma luz infravermelha e polarizará a base do fototransistor, fazendo com que ele entre em condução. Assim, colocará o potencial positivo da fonte na junção dos dois resistores R_b e R₃.

Para caracterizar o circuito de chave que irá acionar a bobina do relé tomamos como base o funcionamento do transistor g  nero NPN a seguir:

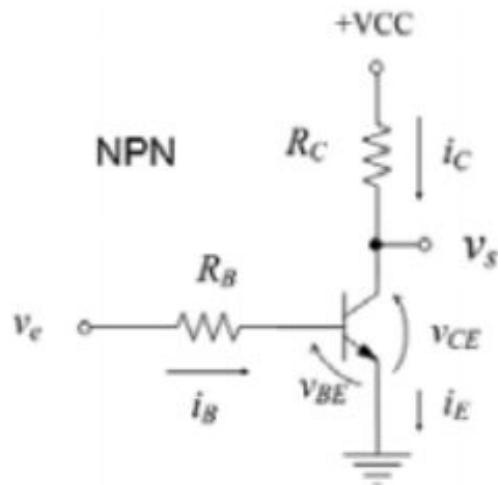


Figura 56 – NPN transistor

Com I_c sendo minha corrente de carga, ela será a corrente necessária para acionar a bobina do relé. Ao consultar o datasheet do mesmo, temos que:

$$i_C = 20mA \quad (2.33)$$

Minha corrente de base i_b    calculada a partir do valor de i_c e do β_{min} , esse que    o valor de ganho mínimo que garante a saturaci  o retirado do datasheet. Sendo assim:

$$i_b = \frac{2 \times i_C}{\beta_{min}} = \frac{2 \times 20_{mA}}{75} = 0,53_{mA} \quad (2.34)$$

Minha resistência de base R_b é calculada a partir do valores de V_e , Vbe e i_b . V_e é a tensão vinda do optoacoplador(5V), Vbe é a tensão entre a base e emissor do meu transistor, com valor de 0,7, que é a queda de tensão do meu diodo $D1$ e i_b é minha corrente de base:

$$R_b = \frac{V_e - V_{be}}{i_b} = \frac{5V - 0,7V}{0,53_{mA}} = 8,8\Omega \quad (2.35)$$

Já na resistência $R3$, foi escolhido um valor alto de 47k para evitar um curto circuito, pois o fototransistor opera como chave, estando ligado ao GND e +Vcc em seus terminais. Assim a necessidade de uma carga prévia. As resistências escolhidas para o circuito tomaram como base valores comerciais próximos dos calculados.

O diodo D1, conectado em antiparalelo com a bobina do relé, evita tensões reversas ocasionadas por cargas indutivas quando o transistor BC548 entra em corte.

Dessa forma, o circuito projetado funcionará perfeitamente para acionamento de cargas elevadas tendo grande proteção tanto para o microcontrolador quanto para o transistor de potência, pois possui proteções como: diodo roda livre e optoacoplador com alta tensão de isolamento.

2.3.5.1 Controlador de temperatura

Em geral, resolver um problema de controle significa encontrar uma representação matemática da ação que deve ser tomada para atingir o comportamento desejado (OGATA, 2002). Normalmente, ao se desenvolver um controlador, utiliza-se de um diagrama de blocos para se ter uma visão geral do projeto (Fig. 57). $R(s)$ é a entrada do sistema e $C(s)$, a saída. Os parâmetros de entrada e saída podem ser definidos pelo desenvolvedor, sendo neste projeto, temperatura e potência respectivamente. Neste caso a função de transferência $G(s)$ sistema é dada por:

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} \quad (2.36)$$

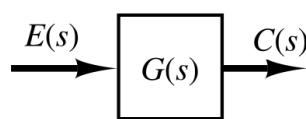


Figura 57 – Sistema em malha aberta

Assim, conhecendo o modelo matemático do sistema, é possível saber a saída para qualquer entrada. Entretanto, com esse sistema não é possível se ter controle visto que não se mede a saída. Para isso, é necessária uma realimentação para se comparar a saída com a referência desejada

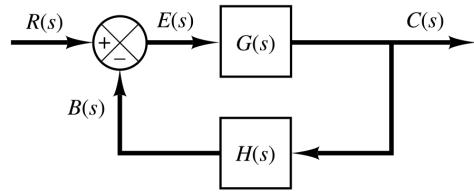


Figura 58 – Sistema em malha fechada

Baseado na Fig. 58, tem-se uma função de transferência em malha fechada. Um sensor mede a saída $C(s)$ e compara com a entrada $R(s)$ gerando um sinal de erro $E(s)$.

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad (2.37)$$

2.3.5.1.1 PID

PID é a sigla de Proporcional, Integral e Derivativo. Um controlador PID é aquele que inclui elementos das 3 funções. Sua estrutura básica segue um sistema com realimentação mostrado na Fig 59. O objetivo deste controlador é fazer a variável y seguir a referência r . Para isso a variável u comandada pelo controlador é alterada (ARAKI, 2009).

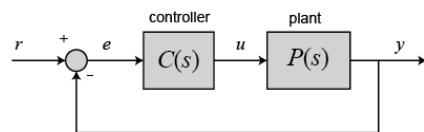


Figura 59 – Estrutura do PID

Os elementos do controlador PID tem as seguintes naturezas:

- P: proporcional ao erro no instante t - presente.
- I: proporcional à integral do erro até o instante t - acúmulo do erro passado.
- D: proporcional à derivada do erro no instante t - previsão do erro futuro.

O controlador PID pode ser entendido como um controlador que leva em consideração o erro presente, passado e futuro. A variável de comando u segue a equação:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (2.38)$$

onde K_p , K_i e K_d são os ganhos multiplicados pelos, respectivamente, erro, sua integral e derivada. No domínio de Laplace, o sinal de comando pode ser escrito como:

$$u(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (2.39)$$

2.3.5.1.2 Planta

Visando definir o sistema dinâmico da planta, deve-se antes, definir as fronteiras deste (Fig. 60). Dessa forma, como entrada de potência térmica tem-se a potência elétrica do resistor. Como saída, tem-se a evaporação do fluido, convecção e radiação através da panela.

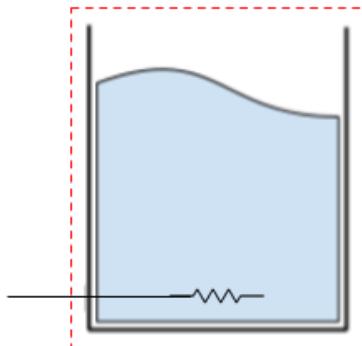


Figura 60 – Fronteira do sistema de aquecimento

Considerando o fluido com capacidade térmica C , a condutividade térmica total entre o interior e exterior do sistema U_t , a temperatura exterior T_0 , a temperatura interna T_R e a potência de aquecimento q , tem-se que o balanço de energia do sistema é:

$$\text{Energia armazenada} + \text{energia perdida} = \text{Potência de aquecimento}$$

$$C \frac{dT_R}{dt} + U_t(T_R - T_o) = q_{aux} \quad (2.40)$$

No domínio de Laplace:

$$sCT_R(S) + U_t T_R(s) = U_t T_0(s) + q_{aux}(s) \quad (2.41)$$

Rearranjando:

$$T_R(s) = \frac{U_t}{sC + U_t} T_0(s) + \frac{1}{sC + U_t} q_{aux}(s) \quad (2.42)$$

Dessa forma, deve-se calcular a capacidade térmica C e a condutividade térmica U .

Considerações:

- O controlador atua somente na fase da brassagem, assim os parâmetros foram calculados baseado na água.
- Devido a recirculação constante, assume-se que todo o fluido está em equilíbrio térmico.

Sendo o calor específico da água $c = 4184 J/KgK$, a densidade $\rho = 997 Kg/m^3$, e um volume inicial máximo de $V = 30L = 0,03m^3$, tem-se que a capacidade térmica é:

$$C = c * \rho * V = 4184 * 997 * 0,03 = 125143,44 J/\Delta K \quad (2.43)$$

A condutividade térmica foi calculada baseada no trabalho de [Berick \(2006\)](#). Seus resultados apresentam a perda de energia por evaporação nas faixas de 50 a 100C. Através de uma regressão linear entre 60 e 80C (limites de operação normais da brassagem), foi obtido a condutividade por evaporação $U_e = 0,13 W/\Delta K$

A condutividade térmica por convecção é calculada pela Eq. 2.44 de acordo com a Fig. 61

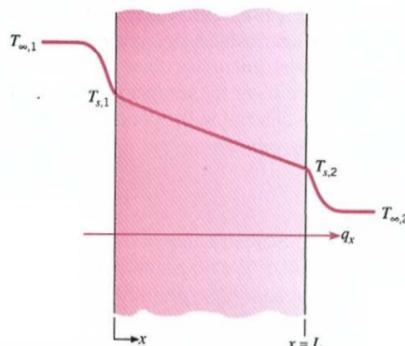


Figura 61 – Transferência de calor através de parede plana

$$R = \left(\frac{1}{h_1 A} \right) + \left(\frac{L}{kA} \right) + \left(\frac{1}{h_2 A} \right) \quad (2.44)$$

A fronteira do sistema engloba somente a perda de calor pela convecção externa. Dessa forma tem-se que:

$$R = \left(\frac{1}{h_2 A} \right) \quad (2.45)$$

considerando o coeficiente de condutividade térmica do ar $k = 0,02588W/mK$ e a área lateral da panela $A = 0.5m^2$, tem-se que:

$$h_2 = \frac{k}{T_s - T_{\text{inf}}} = \frac{0,02588}{80 - 25} = 47 * 10^{-5} W/m^2 K \quad (2.46)$$

$$U_c = 1/R = h_2 * A = 47 * 10^{-5} * 0,5 = 23,5 * 10^{-5} W/\Delta K \quad (2.47)$$

$$\text{A condutividade térmica total } U_t = 0,13 + 23,5 * 10^{-5} = 0,13 W/\Delta K$$

A função de transferência logo,

$$T_R(s) = \frac{0,13}{125143s + 0,13} T_o(s) + \frac{1}{125143s + 0,13} q_{aux}(s) \quad (2.48)$$

2.3.5.1.3 Modelo simulink

O software utilizado para simulação do controlador e da planta foi o matlab-simulink. O diagrama em blocos do funcionamento segue de acordo com a Fig. 62.

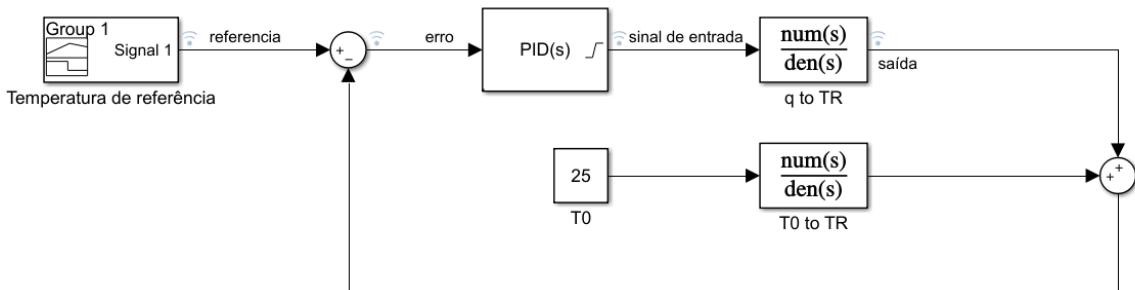


Figura 62 – Diagrama em blocos do sistema de aquecimento da brassagem

A temperatura de referência é o sinal das temperaturas alvo durante o processo de brassagem. Os blocos "q to TR" e "T0 to TR" representam as funções de transferência da

Eq. 2.48. O sinal de entrada segue degraus de $10^{\circ}C$ (Fig. 63). Este valor se deve a média das rampas e temperatura encontrada nas receitas de cerveja.

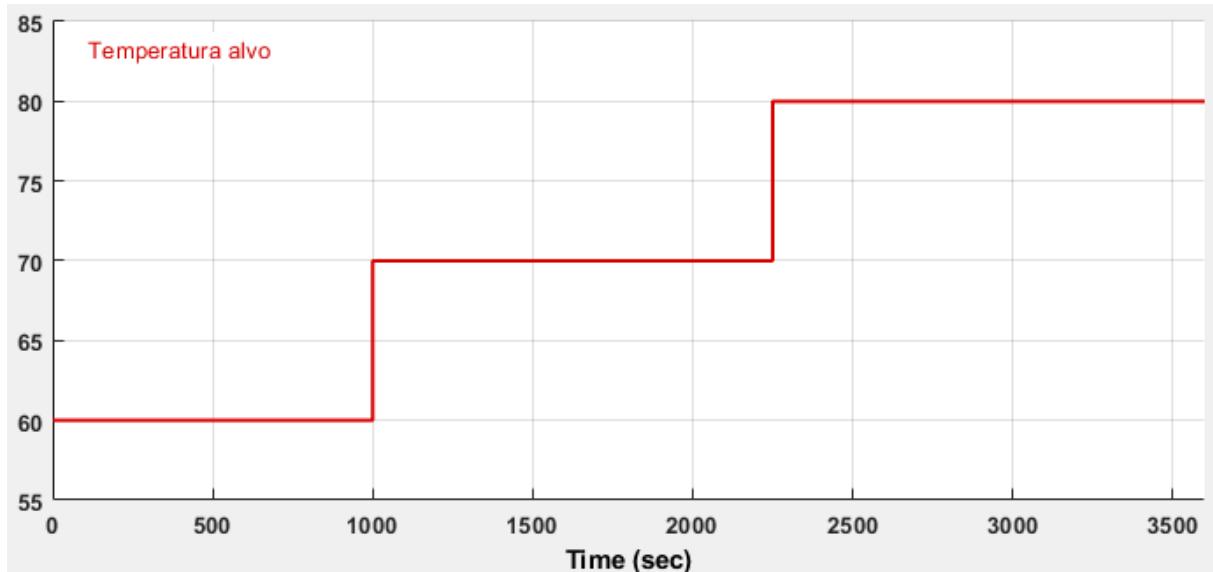


Figura 63 – Gráfico da temperatura de referência($^{\circ}C$) pelo tempo

Limitando a potência de aquecimento a 5000W tem-se o resultado mostrado na Fig. 64 e 65.

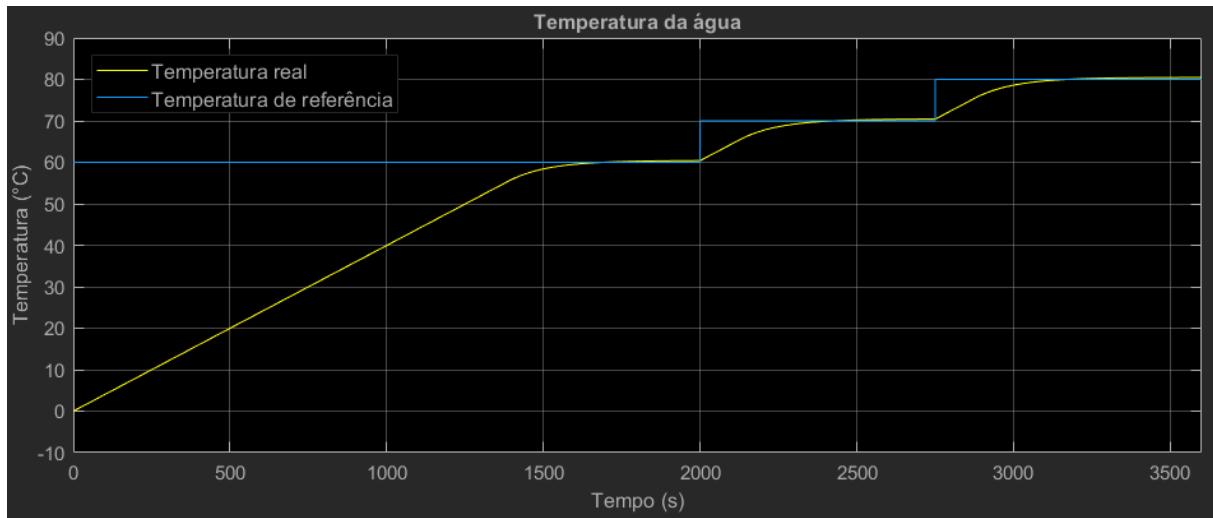


Figura 64 – Curva de aquecimento da planta



Figura 65 – Potência de aquecimento aplicada

Para a panela de aquecimento, considera-se o tempo entre 25 e 60C. Este é 1000s ou 16,6min. Entre os degraus de 10C temperatura, tem-se 6,6min como tempo de acomodação.

Para tais resultados, os ganhos do PID foram definidos como: $K_p = 1000$, $K_i = 0,01$ e $K_d = 0$. O ganho derivativo se mostrou desnecessário pois não apresentou alterações nos resultados - assim o controlador é denominado PI. Os ganhos K_p e K_i foram sintonizados inicialmente com auxílio de ferramentas do MATLAB e feitos ajustes finos manuais posteriormente.

Na etapa de fervura a resistência se encontrará em potência máxima visto que, para ebulação, não há a necessidade de controle de temperatura.

2.3.5.1.4 Solução proposta para o controlador de temperatura

Como proposta de engenharia para o controle de temperatura decidimos por implementar a função do controlador na Raspberry Pi, pela familiaridade da equipe com a linguagem Python. De modo geral o controle das resistências é implementado através de PWM (Pulse Width Modulation).

PWM ou modulação de largura de pulso nada mais é do que determinar a duração de um pulso dentro de um período de tempo fixo. Por exemplo, imaginando que dentro de um intervalo de 10 segundos um sinal de tensão apresenta 5V nos primeiros 5 segundos e 0V nos 5 segundos restantes. Neste exemplo a duração do pulso correspondeu a 50% do período total considerado, mas se a saída fosse 5V apenas nos 3 primeiros segundos, a duração do pulso corresponderia a 30% do período de tempo considerado. Ajustar a duração do pulso dentro de sucessivos períodos é realizar um PWM. Apesar de muito

simples é um conceito com vasta aplicabilidade elétrica e eletrônica principalmente no controle de atuadores, sejam eles motores, resistências de aquecimento ou sinais luminosos. Para entender sua utilidade pode-se tomar o controle das resistência de aquecimento proposto neste trabalho.

As resistências dimensionadas para o aquecimento das panelas possuem potência de 5kW para uma tensão de 220V. Isso significa que quando ligada à rede, cada resistência dissipava 5kJ por segundo. O fato é que a resistência entrega uma potência fixa e é razoável supor que toda essa potência é necessária, por exemplo, ao aquecer o mosto de uma panela de 50°C para 70°C. Agora supondo que na etapa seguinte deve-se apenas manter o mosto aquecido a 70°C por 30 minutos, percebe-se que fornecer 5kW certamente faria a temperatura do mosto continuar a subir e simplesmente desligar a resistência faria a temperatura cair abaixo da faixa desejada. Neste cenário seria desejável fornecer valores intermediários de potência a fim de manter a temperatura desejada. Tais valores podem ser alcançados ao utilizar um PWM para acionar a resistência de aquecimento. Por exemplo, para atingir um potência de 2,5kW bastaria manter a resistência ligada durante a metade de cada período, pois, na média, a potência fornecida em cada ciclo seria de exatamente 2,5kW.

A fim de efetivamente implementar o controle das resistências de aquecimento é necessário traduzir a saída do controlador PI na forma de um PWM. Isso pode ser feito mapeando os valores de potência (de 0 a 5kW) da saída do controlador a valores de largura de pulso (de 0 a 100% da duração de cada período). Quanto ao circuito de acionamento da resistência, pode-se utilizar o circuito de acionamento de relés descrito anteriormente, apenas observando as características do relé a ser utilizado.

Por se tratar de um circuito com saída acoplada à rede, optamos por utilizar um rele com transição em zero crossing. Transição em zero crossing se caracteriza por esperar amplitude de tensão próxima a zero volts. O que, além de aumentar a vida útil do rele, evita oscilações de energia na residencia ou local onde o aparelho está ligado.

2.3.6 Módulo do Sistema de Comunicação

O microcontrolador não é responsável apenas por processar os dados dos sensores e acionar atuadores, ele também é responsável pela comunicação com o usuário. Utilizando o aplicativo, o usuário deve ser capaz de escolher uma receita de cerveja, dar início à produção e monitorar cada processo do preparo remotamente. O aplicativo, por sua vez, envia e recebe todas essas informações através do consumo de uma API (Application Programming Interface, ou Interface de Programação de Aplicações). Tal API nada mais é que uma interface que recebe e envia informações através de requisições HTTP feitas pelo aplicativo do usuário. A fim de tornar essa comunicação possível o microcontrolador escolhido foi a Raspberry Pi 3 Model B+ que é um mini-PC que roda distribuições Linux

como o Raspbian e Ubuntu, mas também suporta outros sistemas operacionais como o Windows 10 IoT e versões customizadas do Linux. Essa versão B+ da Raspberry Pi 3 tem processador de 1.4GHz, 1GB de memória e suporta redes wireless no padrão AC, proporcionando uma boa velocidade para a conexão.

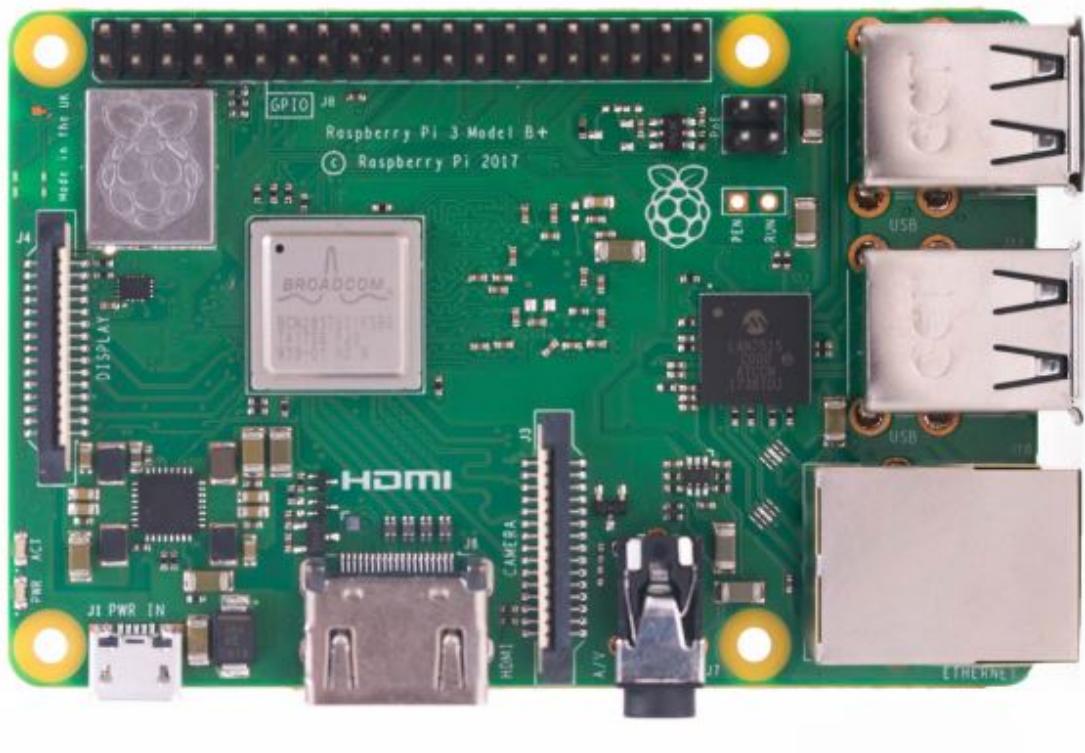


Figura 66 – Raspberry Pi 3 Model B+

2.3.7 Módulo do Sistema de Alimentação

Comumente conhecido como UPS (*Uninterruptible Power Supply*), a norma brasileira NBR 15014 define esse equipamento como Sistema de Alimentação de Potência Ininterrupta, popularmente chamado de nobreak. Esse equipamento é empregado para dar continuidade ao fornecimento de energia à um equipamento, quando este não pode sujeitar-se a interrupções da rede elétrica por diversos motivos, entre eles prejuízos financeiros por perda de produtos que estão em produção.

O caso citado aplica-se a nossa microcervejaria, uma vez que não desejamos que o nosso cliente venha a perder material quando iniciar o processo de fabricação e ocorrer uma falha na rede de distribuição elétrica, visto que após o início do processo não tem como fazer uma pausa no mesmo. Portanto, é necessário a utilização deste equipamento com capacidade de armazenamento de energia, que garanta a continuidade no fornecimento de energia elétrica à microcervejaria.

Dentre as possíveis classificações para o nobreak, a mais comum é quanto ao seu modo de funcionamento, onde este pode ser classificado como online, off-line e interativos. O off-line também é conhecido como stand-by, e sua característica é não fornecer energia ininterrupta, ou seja, quando ocorre a queda de energia há um atraso de tempo até as baterias começarem a fornecer energia ao sistema. Este atraso não é considerado prejudicial pois é somente de 10 milisegundos, resultando assim em não obter problema para nossa solução visto que não ocorrerá alteração considerável no preparo da cerveja.

O nobreak da Microcervejaria foi projetado para uma autonomia de três horas, visto que o processo para a conclusão da cerveja leva cerca de duas horas e meia. Assim a garantir para o consumidor uma garantia com margem de erro que seu processo não será afetado em casos de falta de energia.

2.3.7.1 Dimensionamento do Nobreak

Para realizar o dimensionamento, é necessário obter os valores das potências dos aparelhos que serão supridos pelo Nobreak.

Equipamentos	Quantidade	Potência Máxima	Potência Total
Bomba	2	120 W	240 W
Placa Peltier	3	73,2 W	219,6 W
Cooler	3	3 W	9 W
Total	-	-	468,6 W

Tabela 22: Equipamentos que serão supridos pelo Nobreak

Devido até o momento de dimensionamento do Nobreak, não obter todos os equipamentos que serão utilizados, foi acrescentado um fator de correção de 1,3 no somatório total da potência para prosseguir. Dessa forma, foi realizado $468,6 \text{ W} * 1,3 = 609,18 \text{ W}$, como valor da potência total do sistema. Para uma autonomia de três horas, a capacidade necessária do Nobreak é de $609,18 \text{ W} * 3\text{h} = 1827,54 \text{ Wh}$ ou $1,83 \text{ Kwh}$. Para a escolha da bateria deve-se achar a corrente em Ah, realizando os cálculos, a partir de $P = VI$, onde P é a potência total encontrada e V a tensão, a corrente necessária é 8,30 Ah. Considerando que a bateria não pode descarregar mais de 30%, obteve-se o valor de 13,83 Ah. A bateria escolhida é de 12 V e 14 Ah.

A construção se deu de forma que há uma saída de 220V para duas entradas de 220V sendo uma da rede e outra do inversor. O controle é feito por meio de um sistema de relés que faz o chaveamento da rede para o inversor quando há a queda de energia. E também chaveia o negativo da bateria com o negativo do inversor, isso foi feito para evitar que o inversor fosse mantido constantemente ligado consumindo a energia da bateria. Na figura 67 pode ser observado o diagrama do sistema de controle.

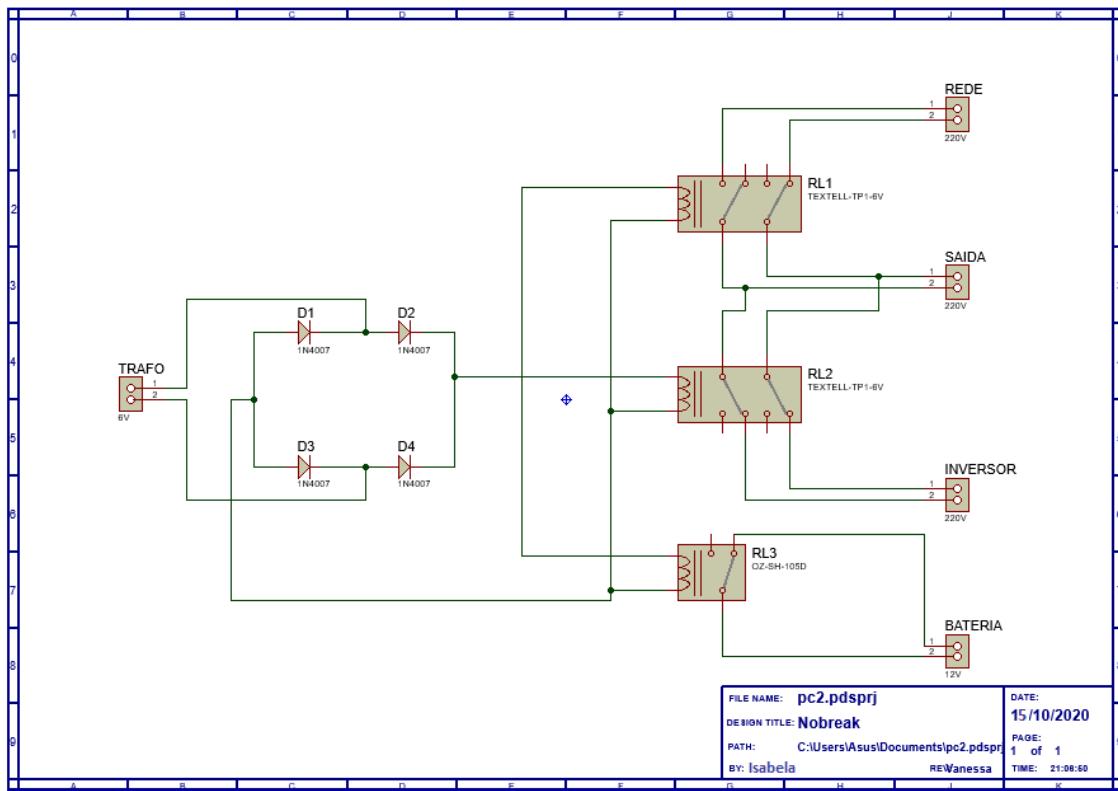


Figura 67 – Diagrama de Funcionamento do Nobreak

2.3.8 Fonte Reguladora de Tensão Para a Placa Peltier

Foi projetada uma fonte reguladora de tensão de 12V que será usada pela placa peltier(TEC1-12706). Esse circuito é basicamente formado por um circuito retificador de onda completa e circuito regulador:

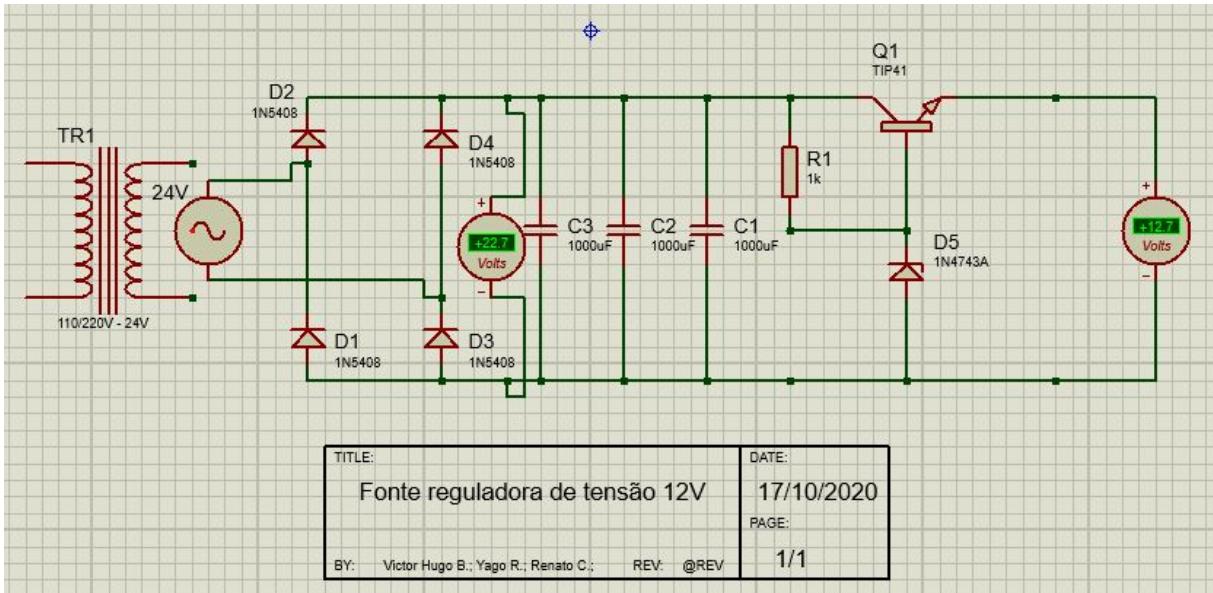


Figura 68 – Diagrama de Funcionamento da Fonte da para Placa Peltier

O circuito regulador é basicamente formado por $Q1$, $R1$ e $D5$. A tensão de saída é dada pela tensão de base de V_{be} que é a tensão base-emissor do transistor $V_{be} = 0,6V$ (modelo MJH6282) de $Q1$. O resistor $R1$ fornece a corrente de polarização do diodo zener $D1$. Dessa forma a tensão na base de $Q1$ é a tensão do diodo zener $V_z = 13V$ (modelo 1N4743). Desse modo a tensão de saída da fonte V_{out} pode ser calculada da seguinte maneira:

$$V_{out} = V_z - V_{be} = 13V - 0,6V = 12,4V \quad (2.49)$$

Já no circuito retificador, o trafo fornece 24Vac para os diodos como cada diodo trabalha em apenas meio ciclo, para circular uma corrente máxima de 6A que seria o caso da placa peltier trabalhar a maxima potencia, cada diodo deverá conduzir a metade dessa corrente máxima, no caso 3A. A associação de capacitores serve para garantir um ripple V_r de no máximo 12V, que é quando a placa peltier está trabalhando em máxima potência. O valor da capacitância dessa associação de capacitores pode ser calculada pela seguinte equação:

$$C_{cap} = \frac{i_{cap} \times T_c}{V_r} \quad (2.50)$$

onde C_{cap} é o valor da capacitância, I_{cap} é a corrente máxima de operação, T_c é o valor de meio ciclo de onda, com uma frequencia de 60Hz por vim da rede e V_r é a tensão ripple. Com isso, temos que:

$$T_c = \frac{1}{60} \div 2 = 8,3_{ms} \quad (2.51)$$

$$C_{cap} = \frac{6_A \times 8,3_{ms}}{12V} = \frac{4150_{uF}}{3} = 1384_{uF} \quad (2.52)$$

A tensão mínima de entrada no secundário do transformador V_{min} deve ser dada pela soma da tensão na saída V_{out} do circuito regulador mais a tensão mínima de entrada do circuito regulador V_{reg} . Para esse, foi considerado valor mínimo de funcionamento de 8V, que é um valor de tensão em que a placa opera com potência próxima da máxima.

$$V_{min} = V_{reg} + V_{out} = 8V + 12,4V = 20,4V \quad (2.53)$$

A tensão no secundário do transformador V_s é dada pela soma da tensão mínima na entrada do circuito regulador V_{min} , pela tensão de ripple pico a pico V_r , e da queda de tensão V_d nos diodos do retificador:

$$V_s = V_{min} + V_r + (2 \times V_d) = 20,4V + 12V + 1,2V = 33,6V \quad (2.54)$$

Com isso, para passar para rms, que é a unidade que os fabricantes especificam os transformadores, basta dividir V_s por $\sqrt{2}$:

$$V_{rms} = \frac{V_s}{\sqrt{2}} = \frac{33,6V}{\sqrt{2}} = 23,76V \approx 24V \quad (2.55)$$

que é o valor de tensão no secundário do transformador escolhido(R24+24-6AB).

Para os diodos de retificadores uma característica importante de escolha é a tensão reversa. Os diodos são projetados para resistir a uma tensão reversa máxima quando estão reversamente polarizados. No nosso circuito esta tensão é aproximadamente a tensão de pico de carga dos capacitores V_{max} . Esta tensão vai aparecer quando a rede elétrica estiver 10% acima do nominal. Com isso a tensão de carga de pico dos capacitores pode ser escrita como:

$$V_{max} = V_s \times \sqrt{2} = 33,94V \quad (2.56)$$

Os diodos retificadores escolhidos(6A2) possuem tensão reversa de 200V e corrente máxima de 6A, que se adéquam a necessidade do circuito.

O transistor $Q1$ é o que vai efetivamente realizar a regulação de tensão da saída da fonte. T1(MJH6282) foi escolhido com base na corrente que ele vai conduzir e na sua dissipação máxima, ele suporta uma corrente de 6A que é a corrente máxima de operação da placa peltier e tem uma dissipação de 160W.

A dissipação em $T1$ será dada pela minha tensão máxima entre o coletor-emissor V_{ce} , que é a diferença entre V_{max} e V_{ce} :

$$V_{ce} = V_{max} - V_{out} = 33,94V - 12,4V = 21,54V \quad (2.57)$$

então a potência dissipada em Q1, nessa condição, será:

$$P_{max} = V_{ce} \times i_c = 21,54V \times 6A = 129,23W \quad (2.58)$$

Com isso os componentes selecionados satisfazem as características do meu circuito.

2.4 Solução de Software

Para a solução de Software foram desenvolvidos dois sistemas: um aplicativo *mobile* híbrido para rodar nos sistemas operacionais Android e no iOS, e uma *skill* para a interface de voz Alexa da Amazon. Tanto a interface de voz quanto o aplicativo se comunicam com a API do micro controlador através de requisições. A documentação completa desta API pode ser encontrada no apêndice [N](#).

2.4.1 Arquitetura da Informação

Como forma de elaborar a Arquitetura da Informação do aplicativo, foi utilizada a ferramenta [Figma](#) para elaboração de um protótipo de Alta Fidelidade e a partir dele, definir os fluxos das interações, tipologia e paleta de cores do projeto assim como apresentados na figura [69](#).

2.4.1.1 Identidade Visual



Figura 69 – Identidade Visual da Aplicação

Na imagem acima é apresentado a paleta de cores utilizada na aplicação com sua codificação em hexadecimal e as fontes de escritas primárias, secundárias e alternativas contanto também com o tamanho que as mesmas serão utilizadas. Para que assim o desenvolvimento da parte *frontend* seja padronizado independentemente do padrão de cores dos dispositivos dos desenvolvedores.

2.4.1.2 Fontes

Como fonte ficou definida a utilização das fontes da família Ubuntu, por se tratarem de fontes *sans-serif*, pois assim facilitam a leitura para pessoas com dislexia devido a não possuírem traços e hastes rebuscadas.

2.4.1.3 Paleta de Cores

As cores foram selecionadas de acordo com características do produto e uma maior acessibilidade aos usuários com algum tipo de dificuldade. Para desenvolvê-las foi utilizado a ferramenta [Colors](#) na qual os contrastes foram testados para garantir uma boa visualização para o usuário.

2.4.1.4 Telas de Login

A figura 70 apresenta o protótipo das telas de autenticação da aplicação desenvolvidos com a ferramenta Figma.

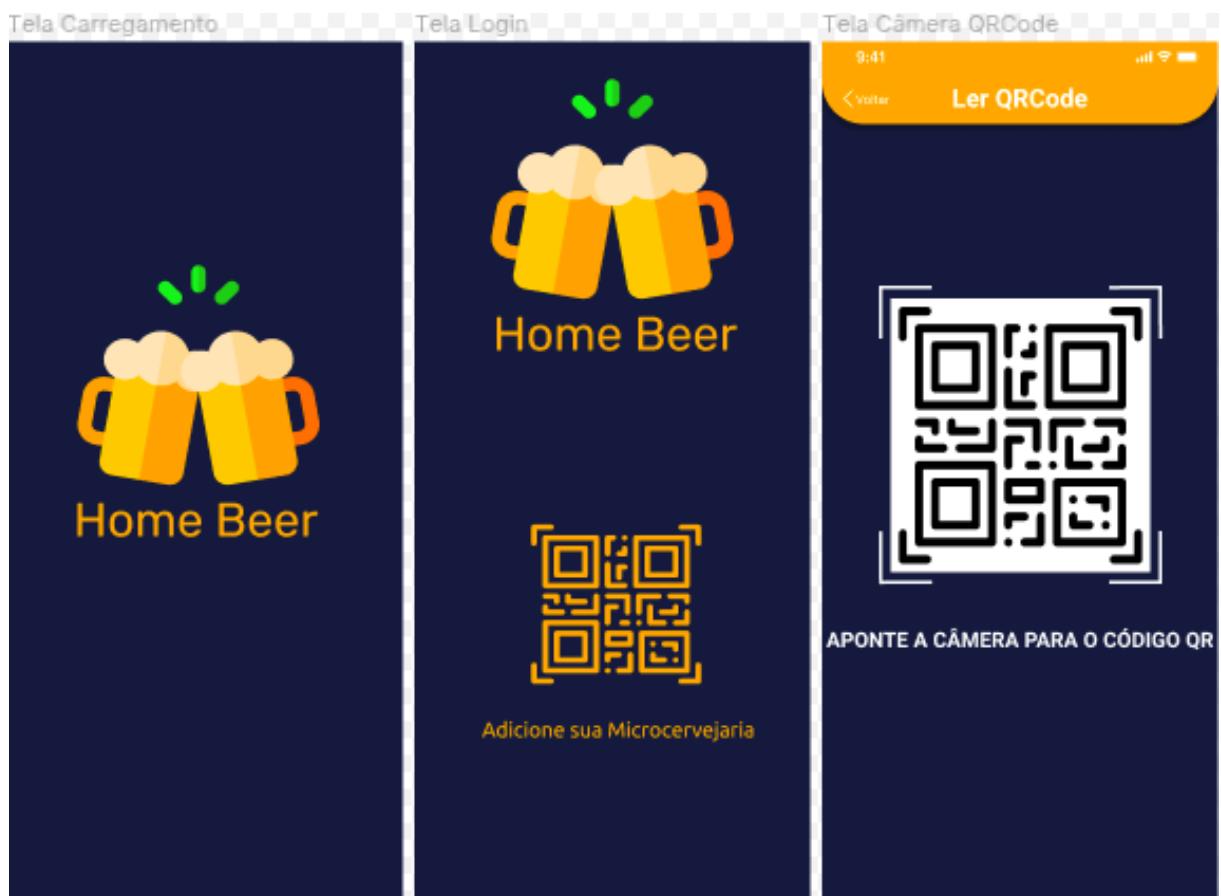


Figura 70 – Telas de Autenticação do Aplicativo

Os principais objetivos deste conjunto de telas é realizar o carregamento inicial da aplicação, assim como a autenticação do usuário por meio do QRCode. Ao abrir o aplicativo, o usuário irá ver a tela de carregamento enquanto as fontes e outros recursos são carregados na primeira vez; Logo depois, aparecerá a opção dele adicionar sua Microcervejaria; Ao clicar no botão do QRCode, sua câmera será aberta, com a autorização do usuário, para que ele aponte para o QRCode de sua Microcervejaria; Após o reconhecimento da Microcervejaria, ele será redirecionado para a tela inicial da aplicação.

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela Carregamento	Abrindo Aplicativo	—	Tela Login	—
Tela Login	Após carregamento	Clicar no ícone do QRCode	Tela Câmera	—
Câmera	Usuário liberar uso da câmera	Apontar para o QRCode	Tela inicial	Mensagem de erro na leitura do QRCode

Tabela 23: Tabela de Interações da tela de Login

2.4.1.5 Telas Iniciais

A figura 71 apresenta o protótipo das telas iniciais da aplicação (menu inicial) desenvolvidos com a ferramenta Figma. Nesta tela, será informada a lista de receitas já criadas pelo usuário. Nela, o usuário têm acesso as opções: criar uma nova receita, iniciar a produção, iniciar a limpeza ou editar receita.

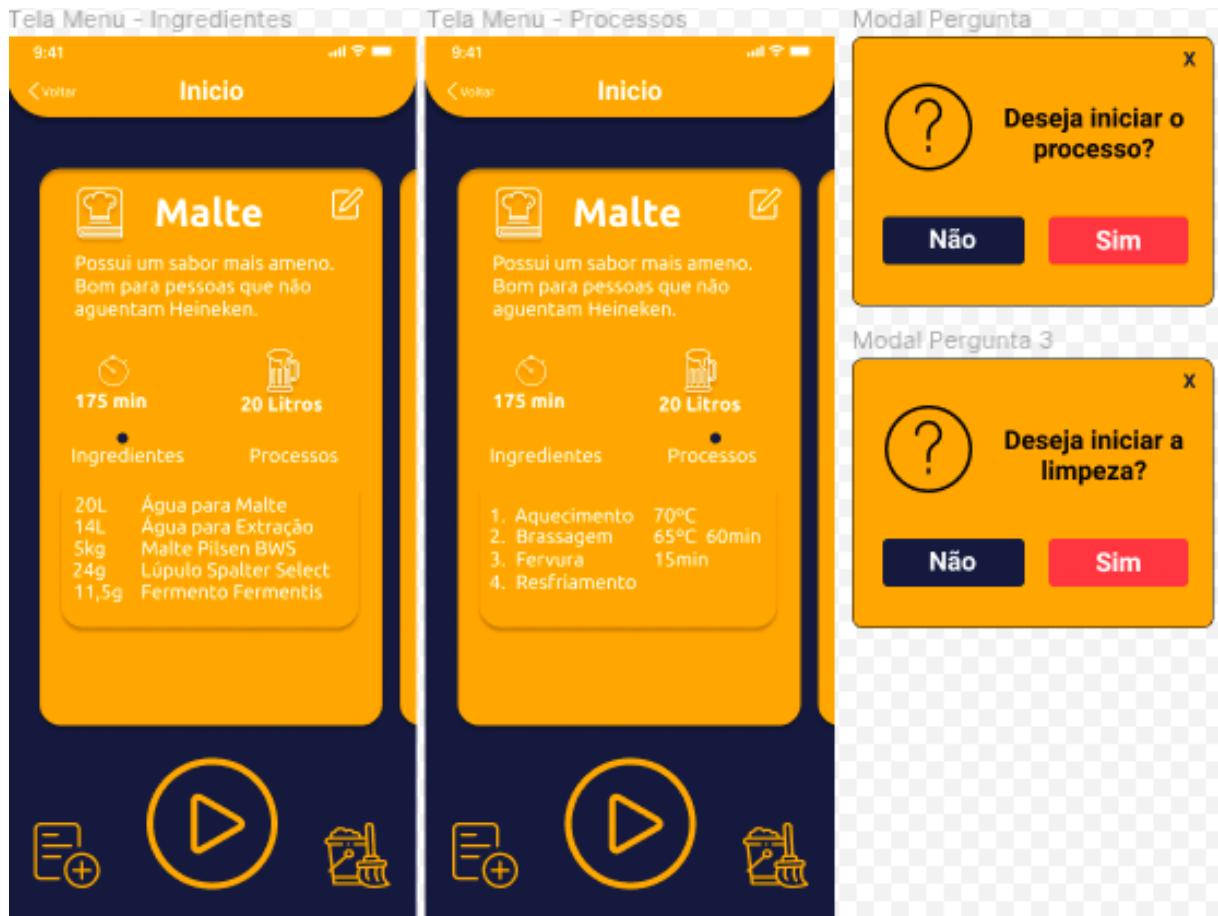


Figura 71 – Telas Iniciais do Aplicativo

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela Menu	Leitura do QRCode	Clicar nos ícones de editar, "Play", limpeza, criar receita ou botão de voltar	Tela de editar receita, Tela de Criar Receita, Modal de Iniciar a produção, Modal de Iniciar Limpeza	Caso aperte no botão de voltar, volta a página de leitura do QRCode
Modal Pergunta - Produção	Usuário clicar no ícone de "Play"	Botões de "Sim"ou "Não"	Tela Produção	Caso o usuário aperte em "Não", continua na mesma tela
Modal Pergunta - Limpeza	Usuário clicar no ícone de Limpeza	Botões de "Sim"ou "Não"	Tela Limpeza	Caso o usuário aperte em "Não", continua na mesma tela

Tabela 24: Tabela de Interações das telas iniciais

2.4.1.6 Telas de Receita e Limpeza

A figura 72 apresenta o protótipo das telas de criação e limpeza da aplicação desenvolvidos com a ferramenta Figma.

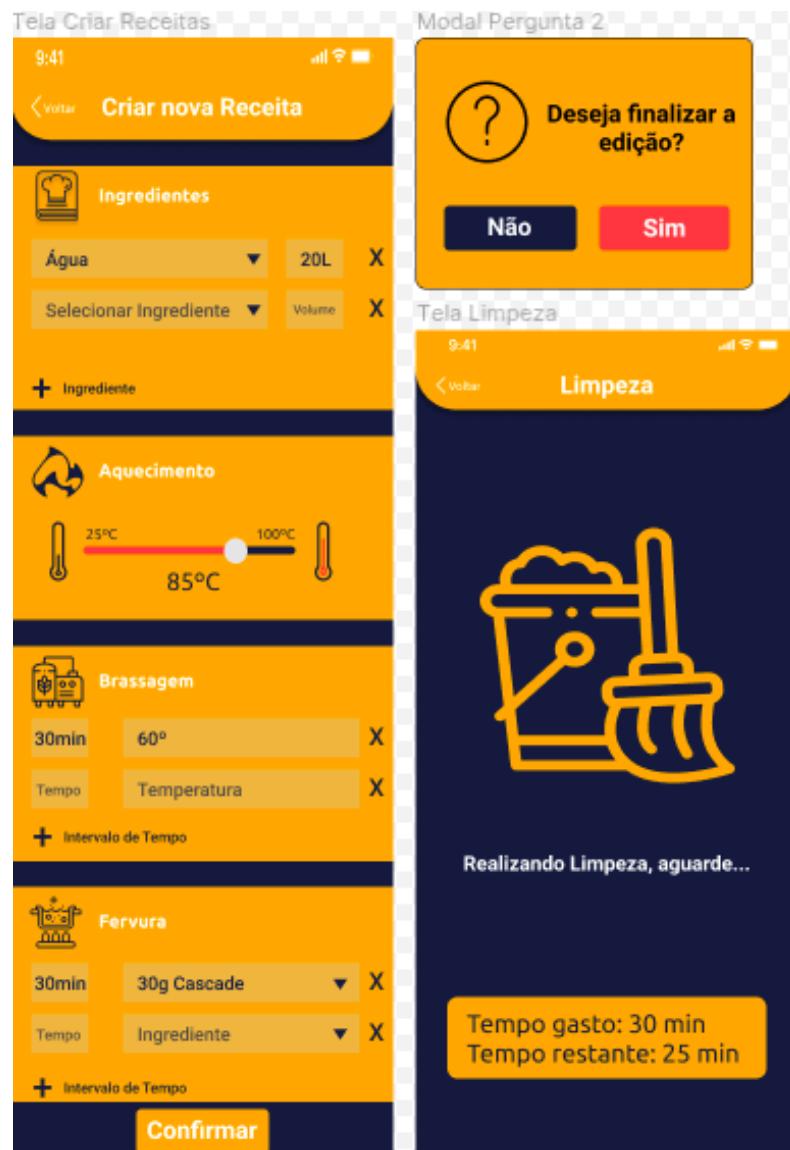


Figura 72 – Telas de Receita e Limpeza do Aplicativo

Estas telas são dois dos fluxos possíveis a partir das opções da tela inicial: a) Iniciar/Editar receita e b) Iniciar limpeza. Na primeira opção (a), caso o usuário clique em criar uma nova receita, os campos a serem preenchidos ficam vazios e o usuário deverá informá-los; Caso o usuário clique para editar, estes campos ficarão preenchidos com as informações atuais da receita a ser editada. Na sessão de ingredientes e na fervura, o usuário poderá adicionar os ingredientes quando apertar na seta de "Selecionar Ingredientes"; Ao apertar, uma lista com os ingredientes cadastrados aparecerá, caso não tenha o ingrediente que o usuário deseje, ele poderá cadastrar um novo na opção "+ Ingrediente"; O mesmo acontecerá em brassagem, mas ao invés de ingrediente, será temperatura e tempo. No aquecimento, a seleção da temperatura será feita por meio de um seletor na qual terá uma faixa de temperaturas permitidas. Na segunda opção (b), ao clicar em iniciar limpeza, a tela de limpeza informará o tempo gasto e um tempo estimado para a finalização da limpeza.

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela Criar/Editar Receitas	Usuário clicar no ícone de criar ou editar receita na tela inicial	Selecionar quais ingredientes e a quantidade, selecionar a temperatura de aquecimento, adicionar a rampa de temperatura da brassagem e adicionar os insumos em cada intervalo de tempo da fervura	Modal de confirmação caso aperte confirmar	Volta para o menu caso usuário aperte em voltar
Tela Limpeza	Usuário clicar no ícone de iniciar limpeza na tela inicial	-	Volta para o menu após conclusão	-
Modal Confirmação	Usuário apertar o botão de confirmar na tela de criar/editar receita	Botões de "Sim"ou "Não"	Volta para o Menu caso o usuário clique no botão de "Sim"	Continua na tela de criar/editar receita caso o usuário clique no botão de "Não"

Tabela 25: Tabela de Interações das telas de Receita e Limpeza

2.4.1.7 Telas do Processo

A figura 73 apresenta o protótipo das telas de acompanhamento da Produção da aplicação desenvolvidos com a ferramenta Figma.



Figura 73 – Telas de acompanhamento do Processo do Aplicativo

Nestas telas, o objetivo principal é que o usuário acompanhe o andamento atual da produção e confira se todos os parâmetros estão corretos, se não estiverem, ele terá a opção de parar a produção. Caso ocorra algum problema, o usuário será notificado. O avanço dessas telas é feito automaticamente, quando um processo é finalizado, o outro é iniciado e suas informações serão atualizadas de acordo com os dados que receberá dos sensores em tempo real. Caso o usuário queira ver alguma informação do processo que já passou, ele poderá clicar no processo desejado para que abra uma modal com estas informações a respeito dele.

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela Aquecimento	Após o usuário confirmar o inicio da produção	Parar produção, clicar na receita para verificar a receita	Após finalizado, vai para a tela de brassagem	Para a produção e o usuário volta para a tela inicial
Tela Brassagem	Após o término da fase de aquecimento	Parar produção, clicar nos processos anteriores para verificar o que ocorreu durante eles	Após finalizado, vai para a tela de fervura	Para a produção e o usuário volta para a tela inicial
Tela Fervura	Após o término da fase de brassagem	Parar produção, clicar nos processos anteriores para verificar o que ocorreu durante eles	Após finalizado, o usuário pode retirar sua cerveja e volta para o menu inicial	Para a produção e o usuário volta para a tela inicial

Tabela 26: Tabela de Interações da tela de Processo

2.4.1.8 Exemplos de Notificação

A figura 74 apresenta exemplos de notificações da aplicação desenvolvidos com a ferramenta Figma.



Figura 74 – Exemplo de notificações do Aplicativo

Durante a produção, o usuário irá receber notificações a respeito do andamento da produção, casos de erros, casos que necessitem sua atenção direta e também para avisar a respeito do andamento do processo. As notificações que serão implementadas são as seguintes:

- Início da Produção;
- Início da Brassagem;
- Início da Fervura;
- 30 minutos para o término da produção;
- 15 minutos para o término da produção;
- Sua cerveja está pronta;
- Erro na produção;
- Limpeza finalizada;

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Notificação	Início da produção, mudança de etapas da produção, contagem para final da produção, término da produção e término da limpeza	Ao clicar na notificação o usuário será direcionado para a tela que aquela notificação se refere	Tela que se refere aquela notificação	-

Tabela 27: Tabela de Interações dos Exemplos de Notificações

2.4.2 Arquitetura de Software

Para o aplicativo *mobile*, o padrão arquitetural utilizado será o *MVC (Model - View - Controller)* que é um padrão separado em três camadas interconectadas e tem como objetivo separar a apresentação dos dados e interação com o usuário dos métodos que interagem com o banco de dados. Estas camadas são:

- **Model:** Esta camada é responsável pela modelagem e definição dos dados, nela são mapeados as entidades da aplicação, seus atributos e suas regras de negócio;
- **View:** Esta camada é responsável pela exibição dos dados e pela interface, é nesta camada que os usuários interagem com o sistema e sua implementação será por meio da biblioteca *React Native*;

- **Controller:** Esta camada é a responsável pela manipulação dos dados definidos na *Model*, o usuário envia uma requisição através da *View*, esta camada realiza as operações e mudanças necessárias e retorna para a *View* para que o usuário possa receber o resultado desta operação;

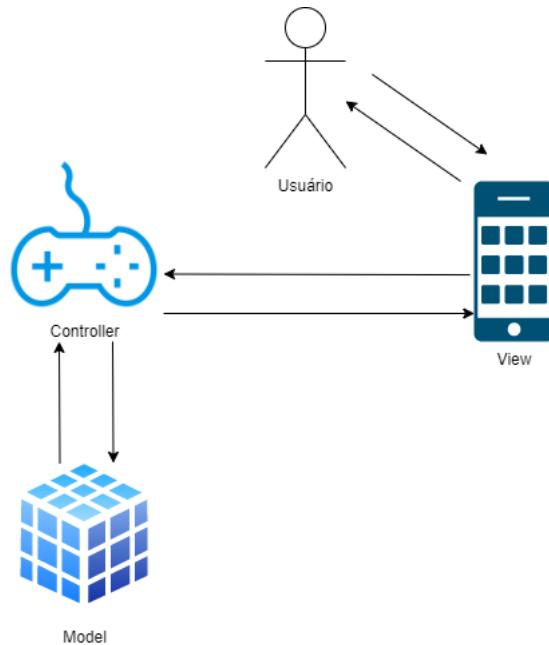


Figura 75 – Representação arquitetural do padrão MVC

Este modelo arquitetural foi escolhido devido a características do próprio *React Native* que foi a linguagem definida para a implementação da parte *frontend* do aplicativo.

Foi utilizada também uma arquitetura Monolítica durante desenvolvimento do aplicativos *mobile*. Este modelo arquitetural foi escolhido devido ao escopo da aplicação na qual não possuía muitos serviços que pudessem funcionar de maneira independente, e também por questões de gerência já que projetos com este tipo de arquitetura são testados mais facilmente devido a aplicação ser entregue em um único pacote, o que também facilita o *deploy*.

2.4.3 Diagramas

2.4.3.1 Diagrama de Classe

O diagrama de classe trás informações relevantes sobre o projeto como: classes, atributos e funções além das associações entre as classes presentes. Por este motivo se torna um dos diagramas UML mais utilizados, pois com ele é possível ter uma visão mais geral do projeto. A figura 76 apresenta o diagrama de classes desenvolvido para nossa aplicação

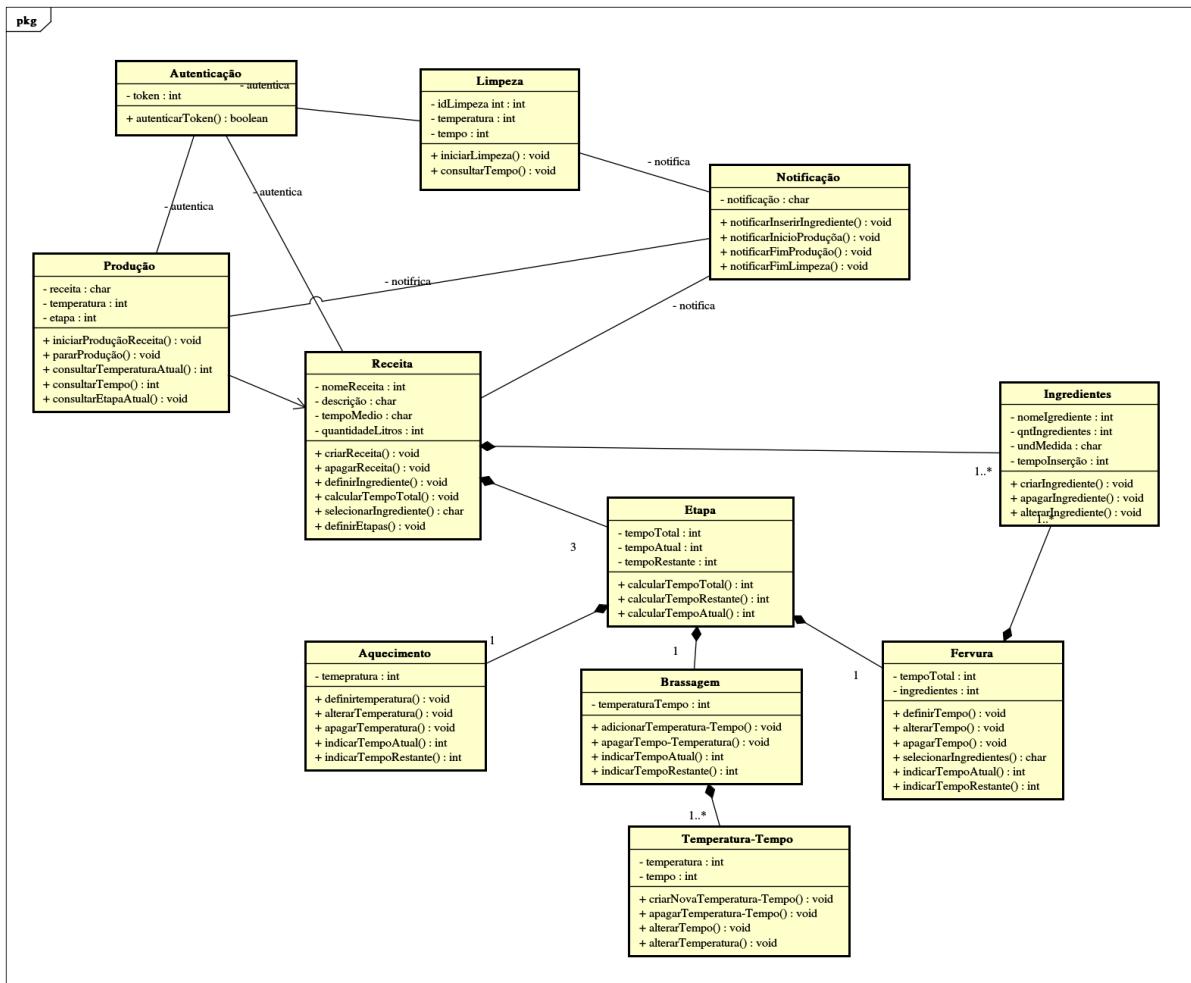


Figura 76 – Diagrama de Classes da Aplicação

Na imagem acima, podemos ver um diagrama de classes com onze classes. Dentre elas, temos a primeira de classe de Autenticação, que tem como parâmetro o *token* de acesso e como função, *autenticacaoToken()*. Esta classe se comunica de forma direta com outras, como a de Limpeza, Produção e Receitas. Ela indica que para que o usuário acesse suas funções é necessário que ele esteja autenticado. Outro ponto a ser notado são as Relações entre Produção e Receita, Receita e Etapa, Receita e Ingredientes, as relações de Etapa com Aquecimento, Brassagem e Fervura e por ultimo a relação Brassagem e Temperatura-Tempo.

Primeiramente, é importante salientar o porque de Receita não ser uma função da classe Produção e sim uma classe própria, isto acontece pois será possível criar várias receitas que ficaram guardadas na memória do Micro-Controlador que não serão utilizadas em todas as produção, o que significa que o usuário escolherá uma das receitas a ser produzida. A relação das classes Receitas - Ingredientes e Fervura - Ingredientes, são realmente diferentes, pois a receita possui ingredientes gerais como, quantidade de aguá

utilizada no início e o mosto. Já na Fervura, outros ingredientes são necessários como lúpulo que é adicionado apenas nesta etapa em um determinado momento. O relacionamento das classes Brassagem e Temperatura-Tempo existe, pois na etapa de brassagem que é necessário aplicar calor com diferentes temperaturas e por diferentes tempos (rampa de temperatura).

2.4.3.2 Diagrama de Casos de Uso

O diagrama de caso de uso é uma ferramenta visual que define ou caracteriza o comportamento do sistema como um todo. Com esse diagrama, é possível visualizar as interações entre o usuário e o sistema, no qual, são descritos por um caminho de ações juntamente com um conjunto de alternativas. Com isso, a atenção principal do desenvolvimento desse diagrama foi direcionado para visualizar, especificar e documentar o comportamento de um elemento. A figura 77 apresenta o diagrama de casos de uso desenvolvido para nossa aplicação

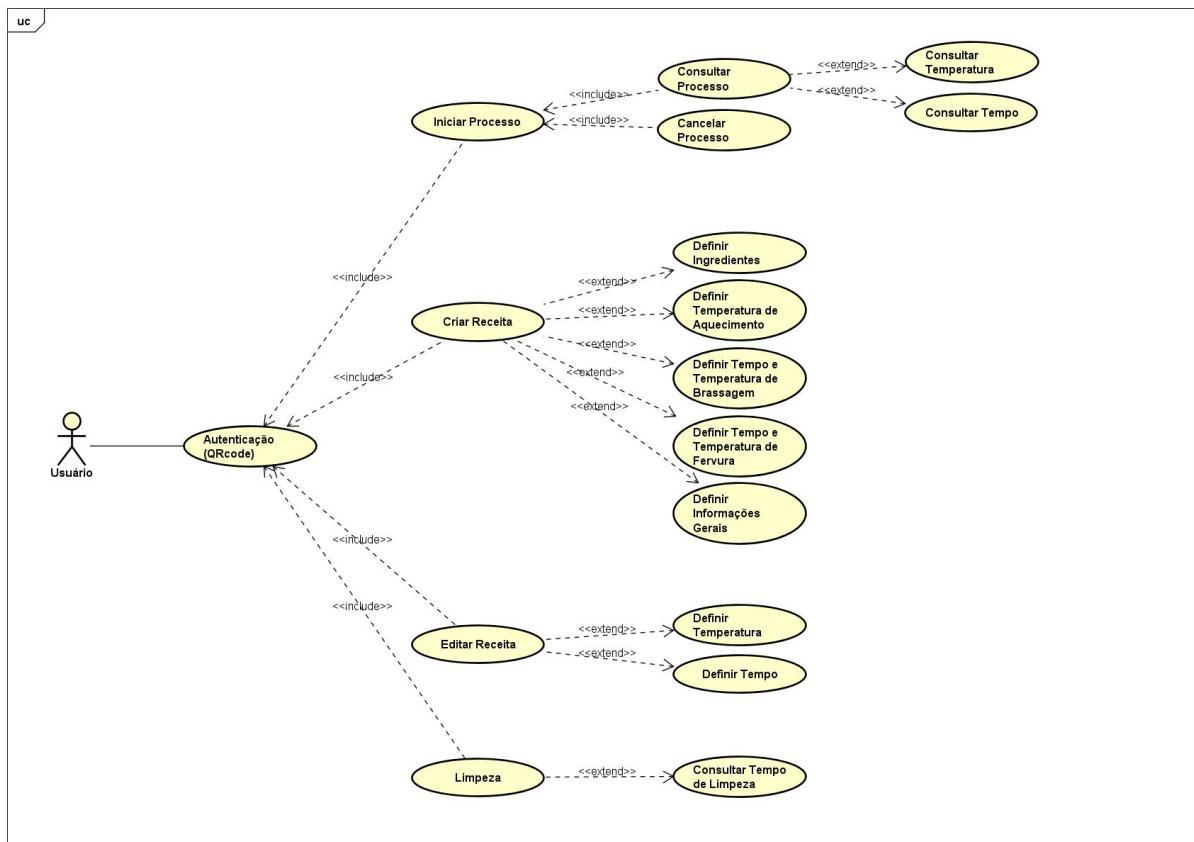


Figura 77 – Diagrama de Casos de Uso da Aplicação

Na figura acima, podemos ver algumas características importantes quanto aos casos de uso da aplicação, primeiramente que temos o caso de uso da autenticação da aplicação, e sem ele o usuário não consegue realizar os outros 16 casos de uso. Estes

casos de uso foram desenvolvidos para que assim os testes unitários do projeto pudessem ser estruturados e definidos como uma forma de garantir que a solução vai funcionar corretamente, a definição destes casos de teste se encontram no Apêndice M

2.4.3.3 Diagrama de Estrutura dos Pacotes

A figura 78 apresenta o diagrama de classes desenvolvido para nossa aplicação

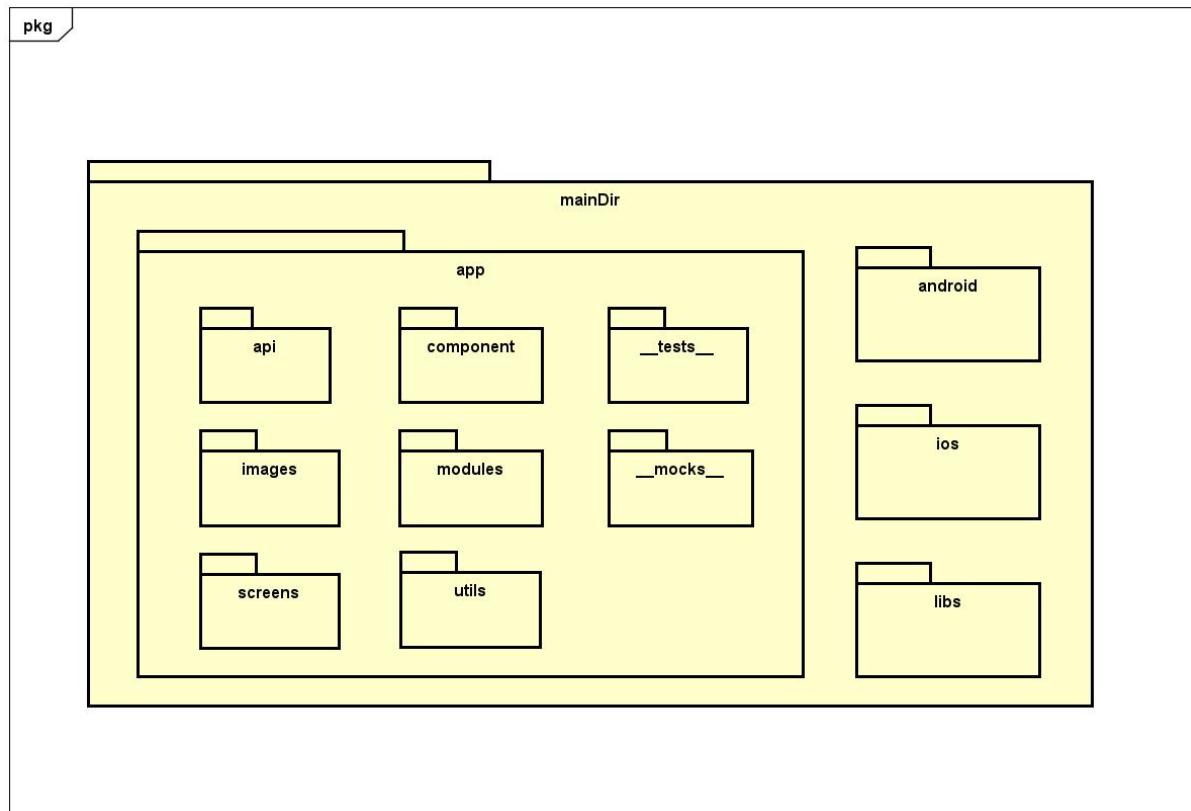


Figura 78 – Diagrama de Estrutura da Aplicação

Este diagrama contém a estrutura de pastas utilizada para desenvolvimento do aplicativo em React Native. Nesta estrutura, pode-se observar a presença de uma pasta para configurações *android* e outra com configurações *iOS*, mesmo o *React Native* permitindo desenvolver de maneira híbrida, ainda assim são necessários alguns ajustes de configuração nestes dois sistemas operacionais para que assim possa utilizar e otimizar o desempenho de ambas as plataformas, assim como acessar seus recursos nativos.

2.4.3.4 Diagrama de Sequência

O diagrama de sequência tem como objetivo apresentar o fluxo sequencial da interação dos objetos da solução de software. Este diagrama registra o comportamento de um único caso de uso e apresenta todas as mensagens passadas entre este e outros

objetos que interajam com ele, assim como ordena em uma linha do tempo como seria sua execução. A figura 79 apresenta o diagrama de Sequência desenvolvido para nossa aplicação

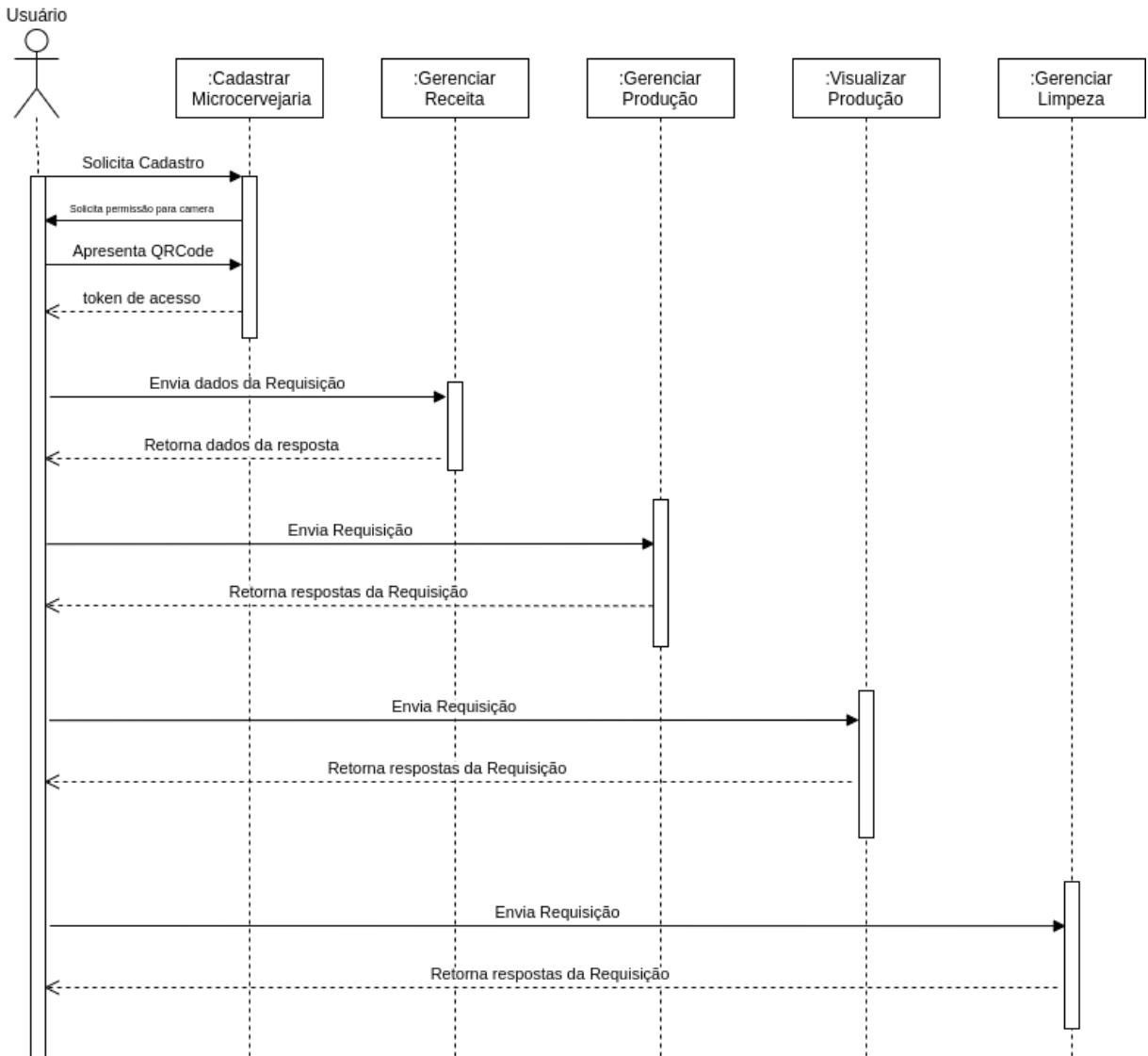


Figura 79 – Diagrama de Sequência da Aplicação

É possível observar, a partir deste diagrama, o fluxo de funcionalidades dentro do sistema. Porém, mesmo dentro deste fluxo, temos alguns caminhos alternativos como a funcionalidade de Gerenciar Receita. Esta funcionalidade consiste em um conjunto de recursos como: Criar Receitas, Editar Receitas, Visualizar Receitas e Excluir Receitas. E entre estes o usuário também teria uma sequência obrigatória para seguir, pois só conseguiria realizar o restante das funcionalidades de receitas caso já possuísse alguma criada anteriormente. Esta característica ocorre também na funcionalidade de Gerenciar Produção, pois nela consta com o recurso de Iniciar e de Parar seu processo, e para que o processo seja parado, é necessário que antes tenha iniciado.

2.4.3.5 Visão de Dados

Como forma de melhorar a compreensão a respeito da modelagem do banco de dados foi elaborado um Diagrama Entidade Relacionamentos e um Diagrama Lógico que podem ser observados nas figuras 80 e 81

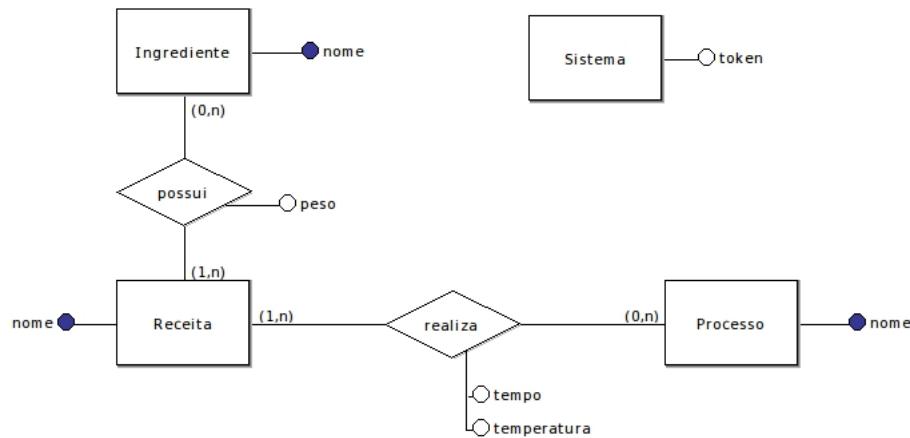


Figura 80 – Diagrama Entidade Relacionamento

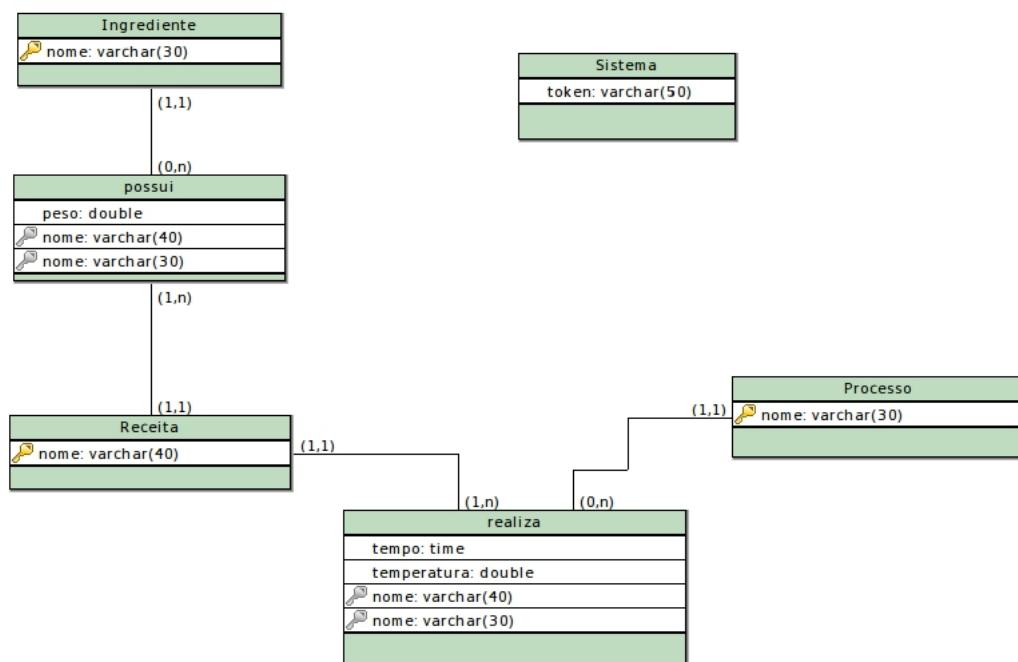


Figura 81 – Diagrama Lógico dos Dados

Esta modelagem do banco de dados será utilizada na API, ou seja, tanto o apli-

cativo quanto a *Skill* da Alexa vão ter acesso a esta mesma modelagem do banco já que ambos vão estar consumindo estes recursos. A Alexa possui também um armazenamento interno na qual guardam algumas informações como o histórico de requisições do usuário e outras informações, porém estes recursos são fornecidos pelo próprio servidor da Amazon e abstraídos de seus usuários sendo padrões para todas suas *Skills*, logo não influencia diretamente no funcionamento de nossos requisitos.

2.4.4 Inovação

Como proposta de Inovação, foi definido pela equipe o uso do Amazon Alexa como serviço de voz. Como quase todos os integrantes possuem baixa experiência com a tecnologia foi iniciado um estudo e a criação deste documento por parte dos integrantes de Engenharia de Software, para que, no decorrer do projeto, cada integrante seja capaz de implementar e integrar a solução proposta.

2.4.4.1 Descrição do Problema e Proposta de Inovação

Como primeira definição, o aplicativo será criado para facilitar o controle de processos da micro cervejaria com uma interface gráfica intuitiva e simples para o uso diário. Também foi decidido que o sistema será desenvolvido em uma tecnologia híbrida utilizando a linguagem *React Native*, consumindo uma API para comunicação. Como a solução de software em si se baseia em controle do processo, a conversação/comandos de voz se integram de maneira eficiente e simples com as funcionalidades do sistema. Com base nisso, não é difícil inferir que com o uso da Alexa pode proporcionar experiências de voz naturais que oferecem aos clientes uma maneira mais intuitiva de interagir com a tecnologia. Ainda sobre a Alexa, é possível personalizar e enriquecer a tecnologia com varias *skills*, melhorando a experiência e tornando-o muito útil para as necessidades cotidianas.

2.4.4.2 Como irá funcionar?

Alexa funciona com base no processamento de linguagem natural (NLP - *Natural Language Processing*), que representa um procedimento de conversão de fala em palavras, sons e ideias. Além disso ela trabalha com uma infraestrutura de sem servidor ([AMAZON, 2020](#)), ou seja esta arquitetura é nativa da nuvem o que transfere parte das responsabilidades operacionais para o *Amazon Web Services*, fazendo assim com que os desenvolvedores possam focar somente na implementação da *Skill*.

- 1 Passo: O usuário manda sua pergunta ou solicitação para quaisquer dispositivo que trabalhe com a tecnologia da Alexa. Para analisar uma solicitação, um comando precisa possuir 4 partes principais

- *Wake word*: Quando os usuários dizem 'Alexa', o que desperta o dispositivo. A palavra de ativação colocou a Alexa no modo de escuta e pronta para receber instruções do usuário;
 - *Invocation name*: é a palavra-chave usada para acionar uma *skill* específica. Os usuários podem combinar o nome da invocação com uma ação, comando ou pergunta. Todas as *skills* personalizadas devem ter um nome de invocação para iniciá-las;
 - *Utterance*: são frases que os usuários usarão ao fazer uma solicitação para Alexa. Alexa identifica a intenção do usuário a partir da expressão dada e responde de acordo. Então, basicamente, o enunciado decide o que o usuário deseja que Alexa execute;
 - *Intent*: são frases que os usuários usarão ao fazer uma solicitação para Alexa. Alexa identifica a intenção do usuário a partir da expressão dada e responde de acordo. Então, basicamente, o enunciado decide o que o usuário deseja que Alexa execute;
- 2 Passo: A Amazon divide a requisição em sons individuais. Em seguida, ele consulta o banco de dados contendo pronúncias de várias palavras, para que seja possível descobrir quais palavras correspondem com a combinação de sons individuais;
 - 3 Passo: Identifica palavras importantes ou palavras chave para dar sentido às tarefas e realizar as funções;
 - 4 Passo: Nessa etapa, cada *intent* pode ser identificada por uma ou mais palavras ou frases, cada uma das quais é chamada de enunciado. Depois da identificação da *intent*, a função lambda irá retornar a resposta de acordo com a *intent* requisitada;
 - 5 Passo: Os servidores da Amazon enviam as informações de volta ao seu dispositivo, que em seguida, trará o resultado da requisição. Se o dispositivo precisar responder alguma requisição específica, ela passará pelo mesmos passos anteriores, porém, na ordem inversa;

2.4.4.3 Como está sendo implementado?

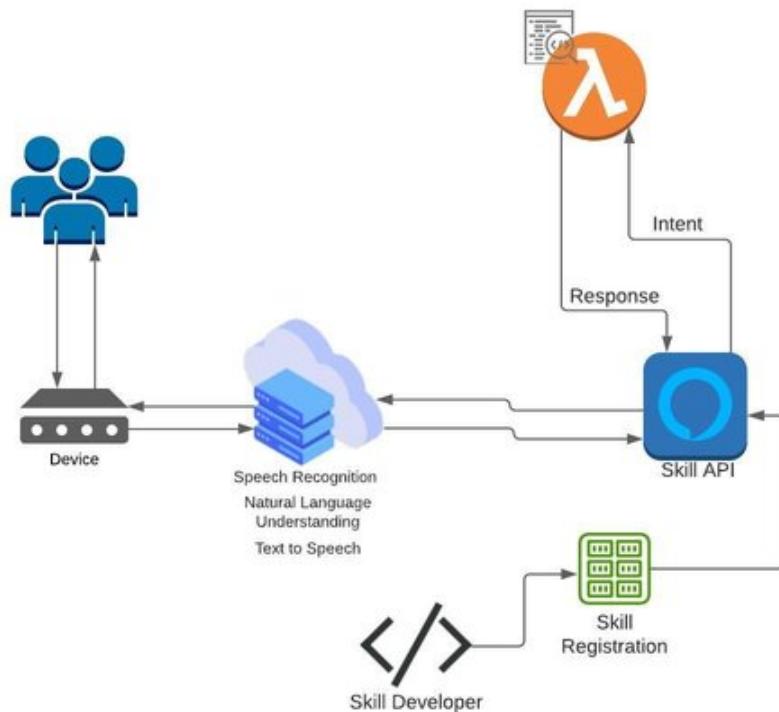


Figura 82 – Diagrama de trabalho - Alexa

Depois de compreender que as *skills* da Alexa são aplicativos ativados por voz que adicionam recursos ao dispositivo compatível com a Alexa, para iniciar a construção de uma *skill* personalizada, é necessário a implementação da função *AWS Lambda* ou de um serviço da web. Desse modo, comprehende-se que é possível também usar as funções de Lambda para criar serviços que oferecem novas habilidades para o Alexa. O *Alexa Skills Kit* fornece as APIs, as ferramentas e a documentação para criar essas novas habilidades, com base em seus próprios serviços em execução como funções de Lambda. Os usuários podem acessar essas novas habilidades fazendo perguntas ao Alexa ou fazendo solicitações.

Para o desenvolvimento de uma *Skill*, a Amazon possui alguns *Intents* obrigatórios na qual o usuário pode customizar suas falas de chamada e respostas, porém seu funcionamento deve permanecer o mesmo, a tabela 28 apresenta quais são estas intenções e como foram implementadas.

Intents	Slots	Utterances	Response	Objetivo
LaunchRequest	-	Ao Abrir	“Seja bem vindo a Micro Cervejaria Home Beer. O que você gostaria ?”	Apresentar uma mensagem inicial quando o usuário iniciar a Skill
NavigateHome	-	"Inicio"; "home";	Chama a função LaunchRequest	Retornar para o caminho inicial da Skill
Help	-	"ajude"; "ajuda"; "o que posso fazer"; "quais os comandos"	“Você pode pedir para iniciar alguma receita, iniciar limpeza, listar as receitas, ou até mesmo detalhar alguma receitas. Podendo também indicar o tempo para fim de algum processo, ou tempo para fim da limpeza”	Listar os comandos e recursos da Skill
Stop	-	"Pare"; "Parar"	Não possui	Parar a execução daquele Intent
Cancel	-	"Cancelar"; "fechar"; "sair"	"Obrigado por utilizar a Micro Cervejaria, até mais!"	Fechar a Skill

Tabela 28: Tabela de Intenções padrões da Amazon

Definidos os *Intents* padrões da Amazon, optamos por utilizar a frase **Micro Cervejaria** como o *Invocation Name* de nossa *Skill*. Uma vez que este nome é chamado, a *Skill* é aberta e o usuário pode utilizar os *Intents* apresentados na tabela 29.

Intents	Slots	Utterances	Response	Objetivo
AdicionarToken	token	"Autenticar"; "Logar"; "Login"	"Informe o Token que se encontra na sua microcervejaria"	Autenticar o usuário para ter acesso a API
ListarReceitas	-	"Listar receitas"; "Lista receitas"; "Receitas"	"As receitas disponíveis são: "	Apresentar para o usuário todas as receitas disponíveis
DetalharReceita	nomeReceita	"(nomeReceita)"; "detalhar receita"; "detalhes da receita"	"A receita(nome da receita) possui as seguintes informações: "	Explicar os ingredientes e o processo da Receita solicitada pelo usuário
IniciarReceita	nomeReceita	"Iniciar receita (nomeReceita)"	"Receita (nomeReceita) foi iniciada"	Iniciar a produção da receita indicada pelo usuário
PararProducao	-	"Parada de emergência"	"A produção da cerveja (nomeCerveja) foi finalizada"	Parar a produção atual da cerveja, sem que o usuário feche a skill
IniciarLimpeza	-	"limpar"; "limpeza";	"Seu processo de limpeza foi iniciado"	Dar inicio ao processo de limpeza da cervejaria

Tabela 29: Tabela de Intenções Manuais da Skill Home Beer

Existem também alguns *Intents* que podem ser executados automaticamente, sem que haja a necessidade do usuário dar algum comando específico, estas intenções vão ser utilizadas principalmente para passar para o usuário notificações e atualizações pontuais a respeito do processo que estiver em execução, pois em caso de algum erro, ou necessidade que o usuário cheque a Cervejaria pessoalmente, estas notificações seriam enviadas de tempos em tempos com estas informações. E estas funcionalidades podem ser observadas na tabela 30.

Intents	Slots	Utterances	Response	Objetivo
StatusProducao	-	"Status produção"; "Andamento produção"; "Informações produção"	"A produção esta na fase de (faseProducao) e suas informações são: (informacoesFaseAtual)"	Apresentar as informações a respeito do processo atual de produção da receita
Tempo	-	"tempo restante"; "tempo para acabar"; "tempo para finalizar"; "já esta acabando ?"	"Faltam (tempo) minutos para o final da (etapaAtual)"	Apresentar o tempo restante para um determinado processo, e notificar o usuário ocasionalmente caso seja necessário sua participação
Temperatura	-	"Temperatura"	"A temperatura da (faseAtual) esta em (temperatuarAtual) graus Celsius"	Indicar para o usuário a temperatura atual do processo, e notificar em caso de erros.
StatusLimpeza	-	"Status da limpeza"; "Andamento da limpeza"	"Faltam (tempo-Limpeza) minutos para finalizar a limpeza"	Apresentar informações a respeito do processo de limpeza

Tabela 30: Tabela de Intenções Automaticas Skill Home Beer

3 Custos

3.1 Estrutura

Peça	Valor	quantidade	Total
Panelas	R\$ 345,94	3 unidades	R\$ 1037,82
Bomba	R\$ 378,45	2 unidades	R\$ 756,9
Torneira	R\$	1 unidade	R\$
Tubo 1/8"10-S	R\$ 17,90/metro	9 metros	R\$ 161,10
Tubo 3/8"10-S	R\$ 17,90/metro	9 metros	R\$ 161,10
Tubo 1"10-S	R\$ 25,00/metro	2 metros	R\$ 50,00
Filtro para Malte	R\$ 339,00	1 unidade	R\$ 339,00
Resistência	R\$ 106,95	1 unidade	R\$ 106,95
Válvula 1"	R\$	9 unidades	R\$
Conexão T 1"	R\$ 23,25	5 unidades	R\$ 342,25
Conexão T 3/8"	R\$ 32,00	2 unidades	R\$ 64,00
Conexão L 1"	R\$ 45,00	7 unidades	R\$ 315,00
Conexão L 3/8"	R\$ 15,90	3 unidades	R\$ 47,70
Niple 1"	R\$ 24,20	8 unidades	R\$ 193,60
Niple 3/8"	R\$ 24,20	unidades	R\$ 48,40
Flange 1"	R\$ 21,32	3 unidades	R\$ 63,96
Redução 1-> 3/8"	R\$ 36,70	2 unidades	R\$ 73,4
Tubo quadrado Galvanizado 20x20mm	R\$ 53,35/6 metros	27 metros	R\$ 240
Reservatório do líquido de arrefecimento	R\$ 400,00	1 unidade	R\$ 400,00
Kit Placa de Peltier c/ Cooler	R\$ 55,90	3 unidades	R\$ 167,7
Dissipador de calor em alumínio	R\$ 28,90	3 unidades	R\$ 86,7
Total	-	-	R\$ 4655,58

Tabela 31: Tabela Custos Estruturais

3.2 Sistema Embarcado

Peça	Valor	quantidade	Total
Sensor de Temperatura	R\$84,45	3	R\$ 253,35
Sensor de Fluxo	R\$109,19	3	R\$ 327,57
Relés	R\$40,00	2	R\$ 80,00
Microcontrolador/Microprocessador	R\$209,23	1	R\$ 209,23
Válvulas	R\$249,71	7	R\$ 1747,97
Motores	R\$14,90	5	R\$ 74,50
nobreak	R\$ 743,41	1	R\$ 743,41
Componentes eletrônicos em geral	-	-	R\$ 393,95
Total	-	-	R\$ 3829,98

Tabela 32: Tabela Custos Eletrônica

3.3 Software

Para o detalhamento das justificativas e cálculos realizados para atingir estes custos da produção do Software, foi elaborado um Plano de Gerenciamento de Custos (Apêndice B), estes custos foram feitos considerando a cobrança os gastos que se teriam com recursos humanos e outros custos como internet e energia, que no caso deste projeto por se tratar de uma disciplina da faculdade os alunos estariam arcando com a internet e energia, e as horas trabalhadas para o custo dos recursos humanos seriam as horas dedicadas para a disciplina.

Recurso	Custo
Recursos Humanos	R\$ 15505,00
Internet	R\$ 399,50
Energia	R\$ 673,20
Ferramentas	R\$ 0,00
Dispositivo Echo Dot	R\$ 299,00
Total	R\$ 16876,70

Tabela 33: Tabela Custos de Software

A estimativa total do projeto é R\$ 16876,70 + 10% (Taxa de risco) = R\$ 18564,30

4 Considerações finais

Este trabalho apresentou o dimensionamento dos subsistemas de uma microcervejaria automatizada, proposta para facilitar a fabricação de cerveja artesanal. Em cada uma das seções, foi detalhado o dimensionamento dos subsistemas de estruturas, térmica, automação e software.

Com cada subsistema dimensionado, na terceira etapa do projeto será feita a integração dos subsistemas. Nessa etapa, serão realizadas melhorias e ajustes em geral, o plano de fabricação e montagem de subsistemas.

Referências

- AMAZON. *Computação sem servidor*. 2020. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/serverless/>>. Citado na página 106.
- ANEEL. *Rank de tarifas*. ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica. 2015. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas/>>. Citado na página 124.
- ARAKI, M. PID control. *Control Systems, Robotics and Automation: System Analysis and Control: Classical Approaches II*, p. 58–79, 2009. Citado na página 79.
- ASSOCIATION, T. B. *Brewers Association Beer Style Guidelines*. 2020. Disponível em: <<https://www.brewersassociation.org/edu/brewers-association-beer-style-guidelines/>> Acessado em: 14 de outubro de 2020. Citado na página 57.
- BERICK, A. Heat Losses In A Cook Pot at Constant Temperature. 2006. Citado na página 81.
- BHARGAVA, M. *Alexa skills project build exciting projects with Amazon Alexa and integrate it with Internet of Things*. [s.n.], 2018. ISBN 9781788997584. Disponível em: <<https://learning.oreilly.com/library/view/-/9781788997256/?ar>>. Citado na página 168.
- BRAGA, N. C. *Sensores e Atuadores para Eletrônica Embarcada (ART3207)*. 2020. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/elettronica/52-artigos-diversos/13304-sensores-e-atuadores-para-eletronica-embarcada-art3207>>. Citado na página 71.
- CAVALER, L. C. C. et al. Surface roughness in the incremental forming of aisi 304l stainless steel sheet. *Far East Journal of Mechanical Engineering and Physics*, Pushpa Publishing House, v. 1, n. 2, p. 87–98, 2010. Citado na página 59.
- CENTER, I. K. *The vision document outline*. Disponível em: <https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/pt-br/SSYMRC_7.0.2/com.ibm.rational.rrm.help.doc/topics/r_vision_doc.html>. Citado na página 126.
- CLERK, J. D. *A Textbook of Brewing*. 1st edition. ed. [S.l.]: Chapman Hall, 1957. Citado na página 45.
- DPO. *Relatório de Gestão 2019, Universidade de Brasília*. 2019. Disponível em: <http://www.dpo.unb.br/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=816/>. Citado na página 124.
- ELÉTRICA, M. da. *O que é relé de estado sólido?* 2020. Disponível em: <<https://www.mundodaelectrica.com.br/o-que-e-rele-de-estado-solido/>>. Citado na página 74.
- FELLOWS, P. J. *Tecnologia do Processamento de Alimentos-: Princípios e Prática*. [S.l.]: Artmed Editora, 2018. Citado na página 43.

- FERREIRA, R. H. et al. Inovação na fabricação de cervejas especiais na região de belo horizonte. *Perspectivas em Ciência da Informação*, SciELO Brasil, v. 16, n. 4, p. 171–191, 2011. Citado na página 15.
- FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; MITCHELL, J. W. *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics*. 10th. ed. [S.l.]: Wiley, 2020. Citado 4 vezes nas páginas 54, 56, 57 e 58.
- LAWRENCE, R. Open source licensing. *Prentice Hall PTR*, p. 85, 2004. Citado na página 165.
- MARTINS, I. Z. Processo de produção da cerveja. São Camilo, Brasil, p. 5, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- MIT. *MIT LICENSE*. 2020. Disponível em: <<https://mit-license.org/>>. Citado na página 132.
- NOG, D. *Qual deve ser a potência da resistência para mostura*. 2017. Disponível em: <<https://www.homebrewtalk.com.br/threads/qual-deve-ser-a-pot%C3%A9ncia-da-resist%C3%Aancia-para-mostura.411045/>>. Citado na página 37.
- OGATA, K. *Modern control engineering*. [S.l.]: London, 2002. Citado na página 78.
- PEREZ, S. *Smart speakers hit critical mass in 2018*. 2018. Disponível em: <<https://techcrunch.com/2018/12/28/smart-speakers-hit-critical-mass-in-2018/>>. Citado na página 165.
- PIMENTEL, A. C. e Aécio Farias e Jainne Fernandes e Alailson Braz e Ludmila Machado e E. Refrigeração utilizando pastilhas de efeito peltier. *HOLOS*, v. 2, n. 0, p. 25–31, 2010. ISSN 1807-1600. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/383>>. Citado na página 53.
- SIQUEIRA, P. B. O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis. Araraquara, Brasil, p. 8, 2008. Citado na página 15.
- STERLING, G. *Google Actions vs. Alexa Skills is the next big App Store battle*. 2019. Disponível em: <<https://searchengineland.com/google-actions-vs-alexa-skills-is-the-next-big-app-store-battle-312497>>. Citado na página 165.
- TAMESON. *Solenoid Valve - How They Work*. 2020. Disponível em: <<https://tameson.com/solenoid-valve-types.html>>. Citado na página 73.
- TOKARNIA, M. *Celular é o principal meio de acesso à internet no país*. 2020. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-04/celular-e-o-principal-meio-de-acesso-internet-no-pais>>. Citado na página 164.
- TOOLBOX, E. *Minor or Dynamic Loss Coefficients for Pipe or Tube System Components*. 2004. Disponível em: <https://www.engineeringtoolbox.com/minor-loss-coefficients-pipes-d_626.html> Acessado em: 14 de outubro de 2020. Citado na página 57.

TRÁVNÍČEK, P.; LOS, J.; JUNGA, P. Comparison of rheological properties of hopped wort and malt wort. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, v. 63, n. 1, p. 131–136, 2015. Citado na página 56.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. *Transferência de calor e massa: uma abordagem prática*. [S.l.]: AMGH Editora Ltda, 2012. Citado na página 45.

Apêndices

APÊNDICE A – Descrição das atividades realizadas

Nome	Matrícula	Grupo	Curso	Cargo	Atividades
Felipe Silva Nascimento	16/0027951	Estruturas	Automotiva	Coordenador geral	Modelagem térmica do aquecimento e brassagem Sintonia do controlador de temperatura PID Modelagem CAD: Conjunto panela-filtro, Tubulação, Alimentador de insumos Drafting: Conjunto panela-filtro, Tubulação Análise CAE da estrutura principal Gerenciamento da equipe Auxílio na escrita do relatório Orçamento do conjunto panela-filtro
Isabela Rocha Macedo	14/0090827	Estrutura e Térmica	Energia	Desenvolvedora	Dimensionamento do trocador de calor (cálculos, especificações, busca de normas) Sistema de resfriamento do reservatório do trocador Dimensionamento do nobreak (cálculos, especificações, desenho do diagrama e normas) Auxílio na escrita do relatório Dimensionamento da resistência para as panelas Orçamento da fabricação do trocador de calor Orçamento dos tubos de todo o projeto e das conexões Orçamento dos componentes do sistema de resfriamento do reservatório
Vanessa Alvim Alves	13/0136158	Estrutura e Térmica	Energia	Desenvolvedora	Dimensionamento do trocador de calor (cálculos, especificações, busca de normas) Sistema de resfriamento do reservatório do trocador Dimensionamento do nobreak (cálculos, especificações e normas) Circuito do nobreak Dimensionamento da bomba Orçamento e escolha da bomba Auxílio na escrita do relatório Gerencia da equipe de Software Levantamento e alocação das atividades Documentação da Arquitetura da Informação Criação do Diagrama de Sequência Configuração inicial da Skill da Alexa Integração da Skill da Alexa com a API Revisão e correções na Solução de Software do relatório Elaboração dos apêndices de tomadas de decisão de Software e dos repositórios do projeto
Mateus de Oliveira Barbosa	14/0154817	Software	Software	Diretor Técnico	CAD e drafting do trocador de calor CAD e drafting do sistema de arrefecimento do reservatório Código em matlab da solução analítica do trocador de calor Cálculo das pressões e perdas de carga no trocador de calor Auxílio na escrita do relatório Dimensionamento do trocador de calor (cálculos, especificações, busca de normas)
Victor Wagner P Araujo	14/0164995	Estrutura e Térmica	Aeroespacial	Desenvolvedor	CAD e drafting do trocador de calor CAD e drafting do sistema de arrefecimento do reservatório Código em matlab da solução analítica do trocador de calor Cálculo das pressões e perdas de carga no trocador de calor Auxílio na escrita do relatório Dimensionamento do trocador de calor (cálculos, especificações, busca de normas)

Nome	Matrícula	Grupo	Curso	Cargo	Atividades
Rafael da Silva Rodrigues	13/0130494	Estrutura e Térmica	Aeroespacial	Diretor de Qualidade	Gerenciamento da equipe de estruturas
					Gerenciamento da equipe
					Auxílio na escrita e revisão do relatório
					Dimensionamento do trocador de calor (cálculos, especificações, busca de normas)
João Gabriel Saliba Ribeiro	15/0012934	Software	Software	Desenvolvedor	Auxílio escrita relatório
					Criação Diagrama de classe
					Escrita descrição da imagem Diagrama de Classes
					Desenvolvimento Skill alexa
					Auxílio definição intents skill Alexa
Larissa Martins de Freitas	16/0130719	Estrutura e Térmica	Automotiva	Diretor Técnico	Dimensionamento e seleção de material da estrutura principal
					Drafting da estrutura principal e alimentador de insumos
					Modelagem CAD da estrutura principal
					Dimensionamento e orçamento do reservatório de arrefecimento
Victor Hugo B. Tavares	13/0136492	Automação	Eletrônica	Diretor Técnico	Análise CAE da estrutura principal
					Projeto do circuito de acionamento dos relés
					Projeto da fonte reguladora de tensão da placa peltier
					Dimensionamento e orçamento dos componentes eletrônicos do projeto
Renato C. Motta Júnior	09/0130723	Automação	Eletrônica	Desenvolvedor	Auxílio na escrita do relatório
					Projeto circuito controlador de resistência de aquecimento
					Dimensionamento e orçamento dos componentes eletrônicos do projeto
					Auxílio na escrita do relatório
Yago R. Ferreira	12/0138646	Automação	Eletrônica	Desenvolvedor	Projeto circuito controlador de resistência de aquecimento
					Dimensionamento e orçamento dos componentes eletrônicos do projeto
					Auxílio na escrita do relatório
Lucas Moreira Martins	16/0034671	Estrutura e Térmica	Aeroespacial	Desenvolvedor	Cálculo da perda de carga/pressão na tubulação
					Dimensionamento da bomba principal
					Definição das entradas de tubulação
					Escolha das conexões da tubulação
Caio Gabriel Araújo Medeiros	15/0007329	Software	Software	Desenvolvedor	Simulação do Whirlpool
					Auxílio na escrita do relatório
					Especificação dos Casos de Teste
					Diagrama de Casos de Uso
Matheus Roberto Alves da Silva	13/0126721	Software	Software	Desenvolvedor	Estrutura dos Pacotes
					Proposta de Inovação
					Auxílio na escrita do relatório
					Desenvolvimento skill Alexa
Vinícius de Castro Cantuária	14/0165169	Software	Software	Desenvolvedor	Documentação da API
					Desenvolvimento do mock para simular a API
					Deploy contínuo da API
					Desenvolvimento do aplicativo mobile
					Auxílio na escrita do relatório
					Documentação da API
					Escritada da documentação da API no relatório
					Desenvolvimento do mock para simular a API
					Deploy contínuo da API
					Desenvolvimento do aplicativo mobile
					Auxílio na escrita do relatório

APÊNDICE B – Plano de Gerenciamento de Custos

B.1 Objetivo do plano de Gerenciamento de custo

Neste plano em questão, será detalhado o plano de gerenciamento de custos do projeto Microcervejaria. Constará de forma detalhada os custos do projeto, bem como gastos com recursos humanos, equipamentos, entre outros.

B.2 Método de gerenciamento dos custos

Com o objetivo de ter o controle sobre os custos do projeto, nesta seção será utilizado uma sequência de estimativas e em seguida será feita uma comparação. De início, será definido como os custos serão planejados. Após esta seção de metodologia, serão definidos os passos para definir os valores: planejados, reais e agregados.

B.2.1 Planejar o gerenciamento dos custos

O planejamento de custos terá como entradas os seguintes artefatos:

1. Termo de abertura do projeto
2. Fatores ambientais da organização

Utilizando o termo de abertura do projeto, será possível analisar quais especificações do projeto, a equipe que integrará o grupo de desenvolvimento e de gerenciamento, escopo, prazos estabelecidos para a entrega, custos disponíveis. Todas essas entradas serão úteis para estimarmos com mais precisão os custos planejados.

Os fatores ambientais da organização serão utilizados para explicar algumas variações e anormalidades do projeto. Alguns exemplos deste ponto são os valores para a utilização dos alunos da disciplina de Projeto Integrador 2, tempo estipulado de cada integrante da equipe para uma semana de trabalho.

B.2.2 Estimativa de Custos

Para estimar o custo planejado do projeto, foram levantados alguns pontos como máquinas adquiridas e custo das horas de trabalho dos alunos da FGA, atuando como

desenvolvedores e gerentes do projeto.

Primeiramente será levantado alguns custos simples para que se possa ser feita a estimação. Os custos que serão levantados serão da equipe de desenvolvimento, equipe de gerenciamento, recursos de trabalho(hardware), entre outros custos.

1. **Desenvolvedores** : Integrantes da disciplina de Projeto Integrador 2, que serão responsáveis pelo desenvolvimento do projeto Microcervejaria.

De acordo com o Relatório de Gestão Acadêmica da UNB do ano 2016 o custo ANUAL de um aluno de graduação da FGA é de R\$ 15950,00

2. **Gerência**: Integrantes da disciplina de Projeto Integrador 2, que serão responsáveis pelo gerenciamento da equipe de desenvolvimento do projeto Microcervejaria.

Do mesmo modo, com o Relatório de Gestão Acadêmica da UNB do ano 2016 o custo ANUAL de um aluno de graduação da FGA é de R\$ 15950,00.

3. **Equipamento**: Máquinas que serão utilizadas pela equipe de desenvolvedores e também pela gerência. Valor médio em unidade é igual a R\$ R\$ 2200,00. OBS: Como cada integrante já possui seu equipamento, não será contabilizado como custo ao final do orçamento.

4. **Internet**: Média de preço de uma internet com velocidade de 50mbps é de R\$ 79,90

5. **Energia**: Para o cálculo da energia, levou-se em consideração que cada indivíduo envolvido no projeto trabalhará cerca de 6 á 10 horas semanais (no mínimo), que nos leva a 1,43 horas diárias X 22 dias por semana por um período de 4 meses, onde cada notebook/desktop consome cerca de 100 Wh.

B.2.3 Determinação de Orçamento

Dado o custo estimado do projeto, conseguimos a partir daí definir o valor o orçamento total do projeto. No entanto, antes de definir o orçamento geral, é preciso que seja estimado o custo por hora dos recursos humanos do projeto, que configura os desenvolvedores e gerência.

B.2.3.1 Pessoal

Como o projeto será desenvolvido dentro do contexto da disciplina de Projeto integrador 2, o cálculo comum de recursos humanos é feito com base no custo anual do aluno descrito pelo Decanato de Planejamento e Orçamento da UnB.

De acordo com ([DPO, 2019](#)): “Dada a relevância do tema, os indicadores de custo-aluno foram objeto de estudo pelos servidores do DPO, em 2019. Uma importante conclusão do estudo realizado refere-se ao fato de que apenas a informação de custo não consegue expressar o resultado institucional, a excelência acadêmica, as melhorias alcançadas e o valor público entregue à sociedade.”

Essa informação foi adicionada para deixar claro que, mesmo não representando resultados específicos, o custo aluno ainda sim servirá como uma boa base de preço para a equipe de desenvolvedores e gerência. A equipe decidiu que é melhor se basear neste valor pois faz mais sentido do que arbitrariamente definir um custo para cada papel.

• Cálculo do RH

Para estimar o custo médio do gasto de um aluno para a faculdade, utilizaremos o curso de Engenharia de Software como base, no qual, é exigido 240 créditos no mínimo para que um aluno possa se formar. Pode ser considerado também que cada crédito corresponde geralmente a 15 horas/aula. Desse modo, para se calcular o custo para um aluno se formar é preciso multiplicar o valor de custo anual por 5, que é o tempo necessário para graduação. De acordo com os dados já presentes no tópico anterior, o custo para um aluno se formar é de $5 * R\$ 15950,00$ totalizando $R\$ 79750,00$. Cada crédito na Universidade de Brasília equivale a 15 horas/aula. Desse modo, se multiplicarmos a quantidade de créditos para se formar, que é 240, por 15, teremos a quantidade de horas totais para graduação de um aluno. A partir daí, $240 \text{ créditos} * 15 \text{ horas/aula}$ é igual a 3600 horas totais para que um aluno se forme.

Em síntese, se dividirmos o custo total de formação pela quantidade de horas necessárias obtemos o custo da hora do aluno da FGA-UnB, $R\$ 79750,00 / 3600$ que é igual a $R\$ 22,15$.

O projeto ocorrerá em um período total de 14 semanas. E de acordo com a disciplina, cada integrante deverá comprometer de 6 a 10 horas semanais para trabalhar no projeto. Desse modo, será necessário 140 horas de trabalho. Sendo assim, cada integrante do projeto irá custar $140 \text{ horas} * R\$ 22,15/\text{hora}$, que é igual a $R\$ 3101,00$. Conclui-se então, que o custo de todos os membros participantes é o valor de $R\$ 3101,00 * 15 = R\$ 46515,00$.

B.2.3.2 Aquisição

De acordo com ([ANEEL, 2015](#)) o KW/h equivale a $R\$ 0,518$ no DF pela CEB na data de 14/09/2020. Adotemos um meio termo e assumamos que um computador opera a 100 watts e que os 15 membros do projeto utilizarão seus computadores ligados pelas 140 horas necessárias para o projeto. Sendo assim, temos a seguinte equação:

Consumo = (100 watts x 140 horas x 15 computadores)/1.000 x R\$ 0,518 = R\$ 108,78.

Aquisição	Finalidade	Valor(R\$)	Quantidade	Total(R\$)	Fornecedor
Energia	Desenvolvimento e Gerência	R\$ 0,518	15	R\$ 108,78	CEB
Internet	Desenvolvimento e Gerência	R\$ 79,90	15	R\$ 79,90 * 15	NET

Tabela 34: Tabela Aquisição Custos de Internet e Energia

B.3 Ferramentas

Ferramenta	Finalidade	Custo(R\$)
Telegram, Microsoft Teams, Google Meet	Comunicação	R\$ 0,0
Google Drive	Compartilhamento de Arquivos	R\$ 0,0
GitHub	Versionamento	R\$ 0,0
Overleaf	Editor para Relatório	R\$ 0,0
Qucs	Ferramenta para Simulação de Circuitos	R\$ 0,0
Catia	Ferramenta para Modelagem 3D	R\$ 0,0
Visual Studio Code, Atom, Sublime, XCode	Editor de Texto	R\$ 0,0
Python, Node.JS, React Native	Ferramentas de Desenvolvimento	R\$ 0,0
Docker, Docker Compose	Ferramenta de automatização de Ambiente	R\$ 0,0
GitHub Actions	Ferramenta de Integração Contínua	R\$ 0,0
ESLint	Analise estática de erros de código	R\$ 0,0
Code Climate	Analise estática de qualidade de código	R\$ 0,0

Tabela 35: Tabela de Custo de Ferramentas

APÊNDICE C – Documento de Visão de Software

C.1 Introdução

C.1.1 Propósito

Este documento tem como objetivo trazer as definições e características, do sistema que será utilizado na Microcervejaria. Definindo o escopo para que toda equipe possa ter conhecimento pertinente ao mesmo, e assim facilitar o desenvolvimento do software em questão, além de definições a respeito das funcionalidades, e público alvo.

C.1.2 Escopo

Sendo um projeto de Microcervejaria desenvolvido durante matéria de Projeto Integrador II, na Faculdade do Gama da Universidade de Brasília, o projeto e necessitará de um interface pela qual o usuário possa obter informações e fazer o controle da mesma.

O sistema tem como finalidade acompanhamento e controle da Microcervejaria. Trazendo informação sobre o processo, seu estado, e quando necessário trazer alerta ao usuário sobre alguma necessidade de intervenção humana, problema durante a produção e finalização dos processos. Podendo o usuário inserir novas receitas e assim ajustar a rampa de temperatura de acordo com sua necessidade.

C.1.3 Visão Geral

Este documento terá como finalidade trazer uma melhor noção das necessidade e características do projeto e os requisitos que serão precisos para seu desenvolvimentos facilitando assim a tomada de decisões na construção e implementação da aplicação. Segundo ([CENTER](#),)estará dividido nos seguintes tópicos: posicionamento, restrições, faixa de qualidade, procedência e prioridade, requisitos e documentação do produto e apêndice.

C.2 Posicionamento

C.2.1 Oportunidade de Negócio

A produção de cerveja artesanal é um processo demorado e com muitos cuidados em relação a temperatura e tempo em cada etapa. Necessitando de uma aplicação que pudesse ser integrada às panelas que possuíssem um sistema de controle destas características, trazendo ao usuário o status da produção e o dando um controle de forma remota.

C.2.2 Instrução de Posição do Problema

Problema	Alta necessidade do controle de temperatura e tempo de cada etapa do processo de produção de cerveja artesanal, e necessidade de intervenção humana em outros processos.
Funções Afetadas	Intervenção humana no controle da temperatura, e na preocupação do produtor quanto ao que fazer em cada etapa.
Impacto do Problemas	Desvios em temperaturas, inserir ou retirar ingredientes em momentos errados.
Solução	Desenvolvimento de um aplicação pela qual possa se ter status do processo, a temperatura necessária e tempo a qual a mesma será aplicada, e notificar ao usuário quando houver necessidade de se inserir ou retirar algo, além das notificações de erro caso ocorram.

Tabela 36: Tabela de Instrução de Posição do Problema

C.2.3 Instrução de Posição do Produto

Para	Produtor artesanal de cerveja o qual faça a decisão de utilizar a Microcervejaria.
Carências	Necessidade de uma aplicação onde traz status da produção, além de notificar usuário quando necessitar de intervenção.
Solução	Aplicação Microcervejaria.
Descrição da Solução	Ferramenta que traga informações sobre o processo no qual está sendo feito no momento, notificar usuários quando houver necessidade de intervenção(adicionar ou retirar algo do processo). Além do usuário poder adicionar a própria receita com temperaturas e tempos diferentes de cada processo.
Diferenciais	A aplicação da Microcervejaria se destaca por trazer informações a respeito do processo, notificar usuário e deixar com que o mesmo adicione uma nova receita.

Tabela 37: Tabela de Instrução de Posição do Produto

C.3 Descrição dos Envolvidos e Usuários

Os envolvidos começar por ser grupo de alunos de Projeto integrador 2 responsável pelo projeto de Microcervejaria, os professores avaliadores desta matéria. Clientes finais, os quais poderão construir sua Microcervejaria e assim fazer uso da aplicação fornecida.

C.3.1 Resumo da Parte Interessada

Nome	Descrição	Responsabilidades
Professores	Avaliadores	Orientar e avaliar ao decorrer dos Pontos de Controle da matéria.
Equipe	Graduandos em Engenharias: Aeroespacial, Automotiva, Eletrônica, Energia e Software da Universidade de Brasília, que compõe o grupo da Microcervejaria	Pessoal responsável pela criação de documentos, organização do grupo e quando necessário elaboração e implementação da aplicação.
Cliente	Usuários finais da Microcervejaria e aplicação	Utilização e quando necessário manipulação de informações que serão necessárias (criação de receitas).

Tabela 38: Tabela de Resumo da Parte Interessada

C.3.2 Resumo dos Usuários

Nome	Descrição	Responsabilidade	Envolvidos
Cervejeiro Caseiro	Acessar aplicação, ler informações, adicionar novas receitas, receber alertas.	- Inclusão e exclusão no sistema de novas receitas - Visualizar informações sobre processo - Visualizar informações sobre temperatura e tempo de corrente	Clientes finais da aplicação

Tabela 39: Tabela de Resumo dos Usuários

C.3.3 Ambiente do Usuário

O acesso da aplicação será feita via app mobile, e pela plataforma Alexa (Amazon).

C.3.4 Principais Necessidades dos Usuários ou dos Envolvidos

Necessidade	Preocupações
Acesso a informações sobre Microcervejaria	Temperatura e tempo de cada processo
Adicionar ou deletar receitas	Nas receitas são necessários campos relacionados ao tempo e temperatura de cada etapa(rampa de temperatura)
Iniciar ou pausar/parar processos	Além de seguir o processo comum da produção de cerveja, haverá um processo que engloba a limpeza do equipamento, caso haja necessidade o usuário além de ter a opção de iniciar tais processos pela aplicação, conseguirá parar os mesmos.

Tabela 40: Tabela da Necessidade dos Usuários ou Envolvidos

C.3.5 Perfil das Partes Interessadas

C.3.5.1 Usuário do Aplicativo

Representantes	Cervejeiros Caseiros utilizadores da Microcervejaria
Descrição	Usuário que farão uso dos equipamentos e da Aplicação da Microcervejaria
Tipo	Usuário Informal
Responsabilidade	Utilizar a aplicação de forma que possa ter controle e ter informações sobre Microcervejaria de forma remota, e adicionar receitas
Critérios de Sucesso	Estar atento às notificações que a aplicação gera.
Envolvimento	Alto
Entregas	—
Comentários ou Problemas	—

Tabela 41: Tabela de Perfil Usuários do Aplicativos

C.3.6 Perfil dos Usuários

C.3.6.1 Produtor Artesanal(usuário)

Representantes	Usuário
Descrição	Cervejeiros Caseiros usuários da Microcervejaria
Tipo	Usuário Final
Responsabilidade	Inserir novas receitas, receber notificações, interferir no processo quando necessário (notificado)
Critérios de Sucesso	Ser capaz e agir quando aplicação exigir
Envolvimento	Alto
Entregas	Inserir(Água, Mosto, Lúpulo) ou retirar(mosto) algo do equipamento quando solicitado
Comentários ou Problemas	—

Tabela 42: Tabela de Perfil Usuários: Produtor Artesanal

C.3.7 Principais Necessidades da Parte Interessada ou dos Usuários

Necessidade	Prioridade	Interesses	Solução Atual	Solução Propostas
Acompanhar remotamente processo	Alta	Permitir que usuário saiba qual processo está sendo executado no momento	Acompanhamento presencial	Através de sensores ter indicação de qual processo está sendo executado
Parar Processo remotamente	Alta	Permitir que usuário pare o processo quando desejar	Exigia parar manualmente	Existir um botão que pare o processo
Iniciar processo Remotamente	Alta	Permitir que usuário inicie o processo quando desejar	Exigia iniciar manualmente	Um botão onde inicie-se o processo
Iniciar ou parar processo de limpeza remotamente	Alta	Permitir que o usuário tenha controle sobre começar ou parar o processo remotamente	Exigir que usuário limpasse máquina manualmente	Uma aba que indicasse limpeza, e dentro dela ter botão de Iniciar ou parar
Adicionar receitas no App	Média	Permitir que usuário possa adicionar receitas e suas rampas de temperaturas(temperatura e tempo)	O usuário ficava encarregado de controlar a temperatura e tempo em cada receita	Uma aba para adicionar tais características

Tabela 43: Tabela Principais Necessidades da Parte Interessada ou dos Usuários

C.3.8 Visão Geral do Produto

C.3.8.1 Perspectiva do Produto

O sistema utilizado na Microcervejaria será um app mobile. As funções se dão em acessar ao microcontrolador, acessar o estado em que se encontra os sensores e assim ter acesso em qual etapa está, criar uma nova receita (podendo adicionar ingredientes necessários e tempo e temperatura aplicada em cada etapa assim como os tempos de repouso), gerenciar o processo de limpeza (podendo iniciar ou parar o mesmo). Para tudo será necessário ter acesso ao microcontrolador.

C.3.9 Resumo das Capacidades

Benefício para Cliente	Recurso
Acessar a etapa em que a produção está	Funcionalidade de status atual, acessível a qualquer instante.
Estimar para fim da etapa	Funcionalidade mostrando o tempo (temporizador) que falta até a conclusão da etapa.
Verificar temperatura atual da panela	Acesso ao estado momentâneo do sensor de temperatura
Iniciar/Parar processo de limpeza remotamente	
Gerenciar Receitas	

Tabela 44: Tabela Resumo das Capacidades

C.4 Licenciamento e Instalação

Licença escolhida para desenvolvimento será a MIT ([MIT, 2020](#)), onde possibilita a edição, visualização e utilização do software.

C.5 Recursos do Produto

C.5.1 Acesso

Autenticação será feita por chave de acesso indicada no microprocessador.

C.5.2 Gerenciamento de novas Receitas

Poderá adicionar novas receitas, indicando ingredientes que serão utilizados, tempos de aquecimento, tempo de fervura, de brassagem e suas temperaturas, trazendo assim as rampas de temperaturas para cada etapa e cada panela no processo.

C.5.3 Visualizar processo de produção/Estimativa de tempo

Cada etapa precisa ter ser executada em um determinado tempo, tendo que se aplicar temperatura ou deixar de repouso a mostura. Com isso a aplicação trará uma estimativa de tempo para finalização de cada etapa.

C.5.4 Gerenciar processo de limpeza

Um dos critérios para que se atinja uma cerveja com uma boa qualidade é que os equipamentos estejam limpos antes do uso para que não ocorram interferências nos processos, principalmente no processo de repouso quando ocorre a fermentação. Com isso existirá um processo que poderá ser ativado remotamente pela aplicação onde efetuar a limpeza das panelas, mangueiras e bombas. Isto poderá ser iniciado ou ter um tempo estimado para o fim deste processo.

C.5.5 Gerenciar processo de produção da cerveja

Será possível iniciar ou parar a produção. A parte de iniciação se torna óbvia por se tratar de um sistema automatizado de produção. Contudo a função de parar é necessária, pois erros podem ocorrer com o maquinário ou o usuário esquecer de adicionar algum dos ingredientes, com isso é necessário parar a produção.

C.5.6 Receber notificações

Por não ser um processo 100 porcento automatizado, o usuário irá precisar interagir com sistema algumas horas, tendo que adicionar ingredientes em tempos específicos e para não ficar na responsabilidade da memória de lembrar notificações serão geradas para usuário para esta finalidade. Ou até mesmo notificações de mudanças de etapas. Ou quando necessário notificações para que usuário retire algo(durante processo de limpeza).

C.6 Restrições

C.6.1 Restrições de sistema

A Aplicação se comunicará com a microcontroladores através de rede onde tanto o microcontrolador quanto ao aplicativo precisam estar conectados. Apenas usuários que tiverem chaves de acesso daquele microprocessador que conseguirá ter acesso de controle e de notificações.

C.6.2 Restrições Extras

As restrições extras que mais irão impactar será a integração entre os grupos de Software e Eletrônica para comunicação a API do microcontrolador com o Aplicação. A falta de conhecimento técnico da equipe na construção de um skill para Alexa.

C.7 Faixas de Qualidade

Para melhor manuseio e eficiência a aplicação terá que ser responsiva de modo que possa ser utilizada em aparelhos mobile, pois um dos princípios do projeto é a portabilidade.

C.8 Precedência e Prioridade

Em termos de importância ter acesso à API do microprocessador se torna um dos pontos chaves do projeto, após isso todas outras funcionalidade como: gerenciamento da produção, gerenciamento da limpeza, gerenciamento de receitas, visualizar processo da produção e receber notificações, são de grande importância, contudo todas dependem do acesso ao microprocessador.

C.9 Outros Requisitos do Produto

C.9.1 Requisitos do Sistema

O usuário precisará de algum dispositivos para que possa se acessar ao microprocessador.

C.9.2 Requisitos de Desempenho

O dimensionamento do aplicativos se dará para suprir uma ampla gama de aparelhos para que se assim, os usuários possam acessar por um grande número de aparelhos.

APÊNDICE D – Recursos Humanos

D.1 Objetivo

Este documento tem como objetivo listar os recursos humanos presentes no projeto, apresentando o nível de conhecimento atual de cada membro do projeto nas áreas que serão necessárias para o desenvolvimento do projeto e para alocação dos membros para atividades futuras.

D.2 Origem dos Recursos Humanos

A equipe do projeto é composta por 15 alunos da Universidade de Brasília campus Gama(UnB-FGA). Todos os alunos estão cursando a disciplina de Projeto Integrador II das seguintes engenharias:

- **Engenharia Aeroespacial:** 3 membros.
- **Engenharia Automotiva** 2 membros.
- **Engenharia Energia:** 2 membros.
- **Engenharia Eletrônica:** 3 membros.
- **Engenharia Software:** 5 membros.

Estes membros foram alocados em três áreas levando em consideração as necessidades de cada subsistema do projeto, sendo estas:

- **Estrutura e Térmica:** 7 membros.
- **Controle:** 3 membros.
- **Software:** 5 membros.

D.3 Conhecimento Técnico dos Integrantes

Para fazer um levantamento dos conhecimentos técnicos, pontos fortes e fracos de cada membro. Cada área realizou um quadro de conhecimento apresentando o nível de cada integrante em relação aquele conhecimento específico necessário para o desenvolvimento do projeto.

D.3.1 Quadro de Conhecimento de Software

	Latex	HTML	CSS	Python	Node.JS	React Native	Alexa
Caio Araujo	😊	😊	😊	😊	😊	😊	☠️
João Gabriel	😊	😊	😊	😊	😊	😊	☠️
Mateus Oliveira	😊	😊	😊	😊	😊	😊	☠️
Matheus Roberto	😊	😊	😊	😊	😊	😊	☠️
Cantuária	😊	😊	😊	😊	😊	😊	☠️

😎	Domino Completamente
😊	Bom!
😐	Consigo me virar (Google)
🙁	Já ouvi falar
☠️	Não tenho idéia

Figura 83 – Quadro de Conhecimento da Equipe de Software

D.3.2 Quadro de Conhecimento de Estruturas

	Termodinamica	Fluidos	Cálculo Estrutural	Simulações	CAD	Materiais	Latex
Larissa	😊	😊	😊	😊	😊	😊	☠️
Felipe	😊	😊	😊	😊	😎	😊	😎
Victor	😊	😊	😊	😊	😎	😊	😎
Vanessa	😊	☠️	😊	😊	☠️	😎	😊
Isabela	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😐
Rafael	😊	😊	😊	😊	😎	😊	😊
Lucas	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊

Figura 84 – Quadro de Conhecimento da Equipe de Estrutura

D.3.3 Quadro de Conhecimento de Controle

	Circuitos Analógicos	Circuitos Digitais	Modelagem de Sistemas de Controle	Simulações
Victor Hugo	😊	😊	🙁	😊
Renato	😊	😊	😊	😊
Yago	😊	😊	🙁	😊

Figura 85 – Quadro de Conhecimento da Equipe de Controle

APÊNDICE E – Plano de Gerenciamento e Configuração de Software

E.1 Introdução

Este documento tem como propósito descrever os padrões de desenvolvimento e ferramentas que serão adotadas no decorrer do desenvolvimento e manutenção do software, assim como as políticas para tanto.

E.2 Ferramentas

Ferramenta	Descrição
Git	Ferramenta utilizada para o controle e versionamento do código.
GitHub	Plataforma onde será hospedado o repositório do código da aplicação.
GitHub Actions	Serviço de integração contínua usado para criar e testar projetos de software hospedados no GitHub.
ESLint	Ferramenta para analisar estaticamente o código para encontrar problemas rapidamente.
Code Climate	Ferramenta para analisar estaticamente a qualidade do código.

Tabela 45: Tabela das ferramentas utilizadas no desenvolvimento

E.3 Políticas de Contribuição

E.3.1 Folha de Estilo

O padrão adotado no código deverá seguir a folha de estilo do [Airbnb](#).

E.3.2 Política de Commits

Os *commits* deverão ser atômicos. Para isso, ele deverá conter uma única alteração, seguindo o padrão de folha de estilo, e com uma descrição significativa em português. Utilizando os verbos no Indicativo para expressar a ação que foi feita. Ex: **Adiciona tela de inicio.**

E.3.3 Política de Branches

As *branches* serão criadas com base no modelo estabelecido pelo [Gitflow](#).

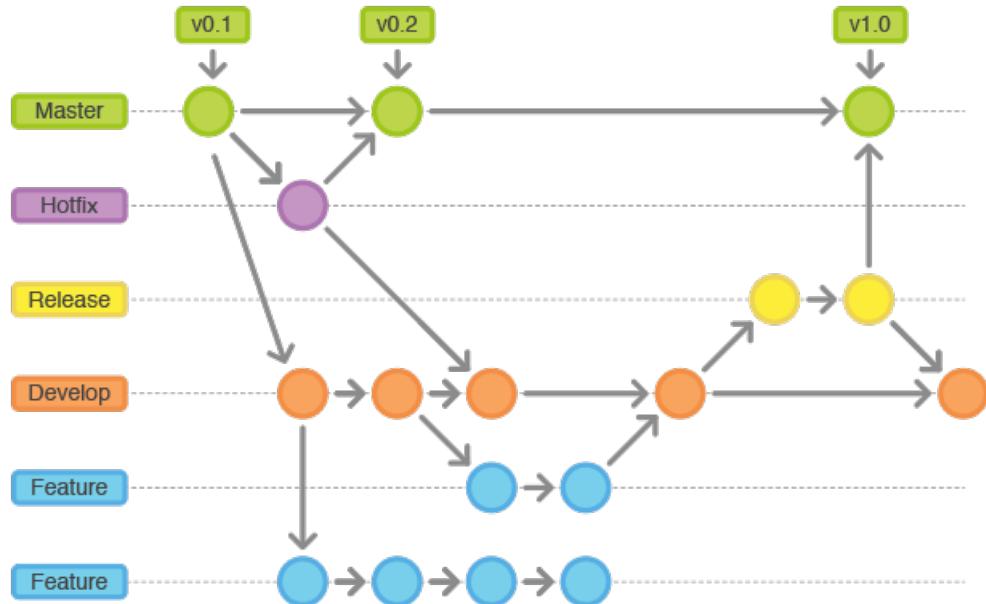
A **master** é a *branch* principal do projeto. Ela conterá todas as funcionalidades estáveis e homologadas.

A **develop** é a *branch* de desenvolvimento. Todas as *branches* (**bug**, **hotfix**, **user story** ou **task**) deverão ser criadas a partir dela e quando finalizadas, mescladas (*merged*) nela a partir do *Pull Request*.

A **release** é a *branch* que será usada para homologar novas funcionalidades. Após aprovação, será mesclada na *master*. Ex.: release/0.1.0

A **hotfix** é a *branch* que será usada quando tiver um erro crítico na **master**, *branch* de produção. Ex.: hotfix/bug-alteracao-senha

As *branches* para as **features** deverão ser criadas a partir da **develop** e deverão ser nomeadas com a numeração e nome da História de Usuário a ser desenvolvida. Ex.: feature/us10-perfil-usuario



E.3.4 Política de Versionamento

Os *Pull Requests* (PR) poderão ser abertos durante o desenvolvimento da *feature*, como *draft* (rascunho) para ser acompanhado, ou após a finalização da implementação. Para o PR ser considerado completo para ser revisado, ele deverá seguir alguns requisitos:

- Seguir o *template* para PRs;
- padrão de *branches*;
- padrão de *commits*;

- ter todas as tarefas da História de Usuário realizadas;
- Ter a *build* no *Continuous Integration* (CI) construída com sucesso.

E.4 Pipeline

O pipeline de integração contínua deve possuir os passos de verificação de estilo de código, *build* e testes. Essas etapas devem ser gerenciadas por uma ferramenta de *Continuous Integration* (CI). O CI deve ser executado toda vez que um PR for aberto e deve ser um critério bloqueio de *merge*. Enquanto o PR estiver aberto, todo *push* na *branch* executará uma verificação no CI.

APÊNDICE F – Questionário

- Quantos litros você considera suficiente para fabricação caseira ?
- Quais os tipos de cerveja seu paladar mais aprecia ?
- Quais as maiores dificuldades na hora da fabricação ?
- Quanto você gastou aproximadamente com seus equipamentos para fabricação de cerveja ?
- Até quanto você pagaria por uma microcervejaria automatizada ?
- Para um sistema de 3 panelas, o quanto importante é a portabilidade ?

APÊNDICE G – Trocador de Calor

G.1 Pesquisa realizada para obter dados sobre o uso de água na etapa de resfriamento do mosto.

- Como é o processo de resfriamento em sua fabricação de cerveja artesanal?
- Você utiliza água para resfriar o mosto?
- Se sim para a questão anterior, a água está localizada onde?
- Se não, como você realiza o resfriamento do mosto?
- Você possuí uma ideia de quanto utiliza de água neste processo de resfriamento do mosto? Se sim, quanto?

G.2 Código utilizado para calcular as características do trocador de calor.

```

1 %% Cálculo para determinar o diâmetro dos tubos do
   trocador de calor tubo duplo %%
2 clc
3 clear all;
4 close all;
5 format bank;
6 %format long;
7 %Q_ponto_q = mq_ponto * Cp_quente(Tq_entrada - Tq_saida) - eq 1
      para o fluido
8 %quente
9 %Q_ponto_f mf_ponto * Cp_f(Tf_entrada - Tf_saida) - eq 2 para o
      fluido
10 %frio
11 % Q = U*A*DTML;
12
13 %% Dados gerais
14    %DADOS:
15    vaz_vol_mosto = 3.333e-5 ; %21 1/min = 3.33e-5 m^3/s
16    rho_mosto = 997; % 1086.73 %997; % kg/m^3

```

```

17     vaz_mas_mosto = vaz_vol_mosto * rho_mosto;
18     Cp_quente = 4.184; %KJ/Kg K
19     Cp_frio = 4.184; %KJ/Kg K
20     Tq_entrada = 100; % em C
21     Tq_saida = 25; % em C
22
23     Q_ponto_q = vaz_mas_mosto * Cp_quente * (Tq_entrada-
24         Tq_saida); % em KW
24     Q_ponto_q_joulepersec = vaz_mas_mosto * Cp_quente * (
25         Tq_entrada-Tq_saida)*1000; % em j/s
25
26     vaz_vol_agua = 1.667e-4 ; %10 L/min = 1.667e-4 m^3/s
27     rho_agua = 997; %kg/m^3
28     vaz_mas_agua = vaz_vol_agua* rho_agua;
29     Tf_entrada = 20; % C
30     Tf_saida_K = (Tf_entrada + 273 ) + (Q_ponto_q/
31         vaz_mas_agua/Cp_frio);
32
32     Tf_saida = Tf_saida_K - 273;
33
34     DT1 = Tq_entrada - Tf_saida; %delta T
35     DT2 = Tq_saida - Tf_entrada;
36     DTML = (DT1-DT2)/(log(DT1/DT2));
37     %% Dados dos tubos escolhidos:
38     %Tubo interno
39         espessura_tubo_mosto = 1.24e-3; %espessura
40         Dia_int_tubo_mosto = 10.29e-3 - (2*espessura_tubo_mosto)
41             ; %em metros , di metro interno do tubo interno
41         Dia_ext_tubo_mosto = 10.29e-3 ; %em metros , di metro
42             externo do tubo interno
42     %Tubo externo:
43         espessura_tubo_agua = 1.65e-3;
44
45         Dia_int_tubo_agua = 17.15e-3 - (2*espessura_tubo_agua);
46             %em metros , di metro interno do tubo externo
46         Dia_ext_tubo_agua = 17.15e-3 ; %em metros , di metro
47             externo do tubo externo
47
48         k_tubo = 14.9;% coeficiente de condutividade termica do

```

```

material proposto - A O INOX AISI 304. a 300K
49
50
51 %% An lise para o tubo interno
52 mi_mosto = 4.5125e-4 ;% em N*s/m^2
53 Re_i = (4*vaz_mas_mosto) / (pi*Dia_int_tubo_mosto*mi_mosto); %
      admensional
54 Pr_mosto = 2.89; %a 62.5 C
55 f_i = (0.790*log(Re_i)-1.64)^-2; % admisional
56 Nud_i = (f_i/8*(Re_i-1000)*Pr_mosto) / (1+12.7*((Pr_mosto
      ^{(2/3)}-1)*(f_i/8)^0.5)); % Em w/m^2 C
57 d_espira = 0.25; %m
58 lambda = d_espira / Dia_int_tubo_mosto;
59
60 f_c_i = (0.0075/sqrt(lambda)) + f_i;
61
62 Nud_i_c = Nud_i * (1 + (3.4*(1/lambda)));
63 k_mosto = 0.659;
64 h_i = Nud_i_c * k_mosto / Dia_int_tubo_mosto;
65
66 %% para o tubo externo:
67 % D_ext = 15.875e-3;
68 % d_int_e = 13.875e-3;
69 % d_ext_e = 9.525e-3;
70 %
71 mi_agua = 0.849e-3; % N*s/m^2
72 Re_e = (4*vaz_mas_agua) / (pi*(Dia_int_tubo_agua+
      Dia_ext_tubo_mosto)*mi_agua); %adimensional
73
74 Pr_agua = 5.75; %a 27.5 C
75 f_e = (0.790*log(Re_e)-1.64)^-2; % admisional
76 Nud_e = (f_e/8*(Re_e-1000)*Pr_agua) / (1+12.7*((Pr_agua^{(2/3)}-
      1)*(f_e/8)^0.5)); % Em w/m^2 C
77 % no caso da regiao anular, utiliza-se o diametro hidraulico
78 diam_hidr=(Dia_int_tubo_agua^2-Dia_ext_tubo_mosto^2)/
      Dia_ext_tubo_mosto; % calculo do diametro hidraulico
79 lambda_e = d_espira / diam_hidr;
80
81 f_c_e = (0.0075/sqrt(lambda_e)) + f_e;

```

```

82
83     Nud_i_e = Nud_i * (1 + (3.4*(1/lambda_e)));
84     k_agua = 0.659;
85     h_e = Nud_i_e * k_agua / diam_hidr;
86
87 %% calculo do coeficiente global de calor
88 Rdi = 1.76e-4; % em w/m^2 K
89 U = ((Dia_ext_tubo_mosto/(h_i*Dia_int_tubo_agua)) + (
90         Dia_ext_tubo_agua)*(log(Dia_ext_tubo_agua/
91         Dia_int_tubo_agua))/(2*k_tubo)) + (Rdi) + (1/h_e)^-1; % em w
92         /m^2 K
93 %% calculando a rea final de troca de calor por Q=U*A*DTML
94
95 A= (Q_ponto_q_joulepersec)/(DTML*U); % em m^2
96
97 %% A=pi*r*L
98 L = A/(pi*Dia_ext_tubo_mosto) % em metos
99
100
101 %% Calculos de eficiencia
102 Cmosto = vaz_mas_mosto*Cp_quente; %kW/K
103 Cagua = vaz_mas_agua*Cp_frio; %kW/K
104
105 if Cmosto < Cagua
106     Cmin = Cmosto;%kW/K
107     Cmax = Cagua;
108 else
109     Cmin = Cagua; %kW/K
110     Cmax = Cmosto;
111 end
112
113 DTmax = Tq_entrada - Tf_entrada;
114
115 Qmax = Cmin* DTmax; %em kW
116
117 eff = Q_ponto_q/Qmax; % eficiencia do trocador de calor
118 Cmin_em_wattporkelvin = Cmin *1000;
119
120 NTU = U*A/Cmin_em_wattporkelvin % numero de unidades de
121         transferencia eq 11-32 engel

```

```
117
118     c = Cmin/Cmax;
119     %calculos de eficiencia para um trocador de calor tubo
120     %contrafluxo, tabela 11-4 do engel
121     if c < 1
122
123         Eff2 = (1-exp(-NTU*(1-c)))/(1-c*exp(-NTU*(1-c)))
124
125     else c == 1
126
127         Eff2 = NTU/(NTU+1)
128
129     end
130
131     %% calculo de n de espiras:
132     % L = N*SQRT(C^2+P^2)
133     p = 18e-3;
134     circ = 2*pi*12.5e-2
135
136     n = L/(sqrt(circ^2 + p^2))
137     h = n*p
138
139     %% calculos gerais
140     A_entrada_agua = (pi/4)*(Dia_int_tubo_agua^2 -
141                               Dia_ext_tubo_mosto^2); % em m^2
142
143     A_entrada_mosto = (pi/4)* (Dia_int_tubo_mosto^2); % em m^2
144
145     %% calculo das velocidades dos escoamentos
146     %V = u * A >> u = V/A velocidade media = vazao sobre area
147     u_mosto = vaz_vol_mosto/A_entrada_mosto
148     u_agua = vaz_vol_agua/A_entrada_agua
149
150     % perda de carga: f = deltaP*Dt/2*rho*velm dia^2*
151     % comprimento
152     % deltap = fator de atrito* 2 * rho * velmedia^2 * L / Dt
```

```
153     deltaPagua_perda = (f_c_e*(1/Dia_int_tubo_agua)*rho_agua*((  
154         u_agua^2)/2))  
155     deltaPmosto_perda = (f_c_e*(1/Dia_int_tubo_mosto)*rho_mosto  
156         *((u_mosto^2)/2))  
157     %  
158     deltaP_mosto = rho_mosto*9.81*h + deltaPmosto_perda  
158     deltaP_agua = rho_agua*9.81*h + deltaPagua_perda
```


APÊNDICE H – Especificações técnicas da Placa de Peltier

Thermonamic Module

High Performance and Highly Reliable Solution
for Cooling and Heating Applications

Specification of Thermoelectric Module

TEC1-07112

Description

The 71 couples, 40mm x 40mm size module is a single stage module which is made of our high performance ingot to achieve superior cooling performance and 70°C or larger delta Tmax, is designed for superior cooling and heating applications. Beyond the standard below, we can design and manufacture the custom made module according to your special requirements.

Features

- No moving parts, no noise, and solid-state
- Compact structure, small in size, light in weight
- Environmental friendly
- RoHS compliant
- Precise temperature control
- Exceptionally reliable in quality, high performance

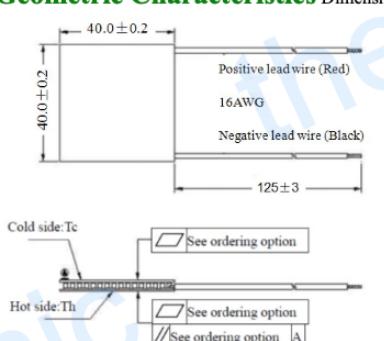
Application

- Food and beverage service refrigerator
- Portable cooler box for cars
- Liquid cooling
- Temperature stabilizer
- CPU cooler and scientific instrument
- Photonic and medical systems

Performance Specification Sheet

Th (°C)	27	50	Hot side temperature at environment: dry air, N ₂
DT _{max} (°C)	70	79	Temperature Difference between cold and hot side of the module when cooling capacity is zero at cold side
U _{max} (Voltage)	8.8	9.5	Voltage applied to the module at DT _{max}
I _{max} (Amps)	12.9	12.9	DC current through the modules at DT _{max}
Q _{Cmax} (Watts)	73.2	78.8	Cooling capacity at cold side of the module under DT=0 °C
AC resistance (Ohms)	0.52	0.54	The module resistance is tested under AC
Tolerance (%)	± 10		For thermal and electricity parameters

Geometric Characteristics



Manufacturing Options

A. Solder:

1. T100: BiSn (T_{melt}=138°C)
2. T200: CuSn (T_{melt}=227°C)

B. Sealant:

1. NS: No sealing (Standard)
2. SS: Silicone sealant
3. EPS: Epoxy sealant
4. Customer specify sealing

C. Ceramics:

1. Alumina (Al₂O₃, white 96%)
2. Aluminum Nitride (AlN)

D. Ceramics Surface Options:

1. Blank ceramics (not metallized)
2. Metallized

Ordering Option

Suffix	Thickness H (mm)	Flatness/ Parallelism (mm)	Lead wire length(mm) Standard/Optional length
TF	0:3.8± 0.1	0: 0.08/0.08	125±3/Specify
TF	1: 3.8 ± 0.05	1: 0.05/0.05	125±3/Specify
TF	2: 3.8 ± 0.03	2: 0.03/0.03	125±3/Specify

Eg. TF11: Thickness 3.8± 0.05 (mm) and Flatness 0.05/0.05 (mm)

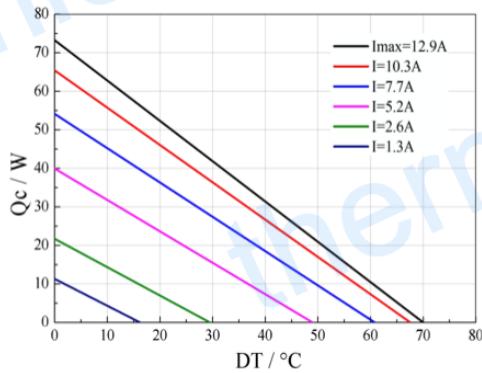
Thermonamic Module

High Performance and Highly Reliable Solution
for Cooling and Heating Applications

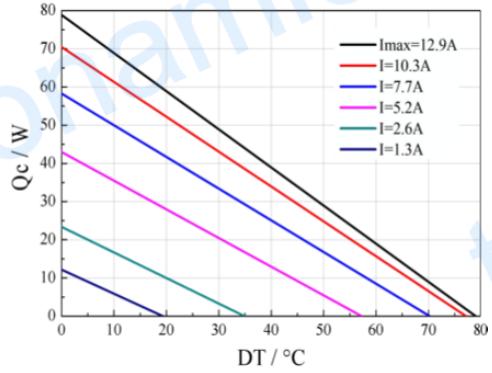
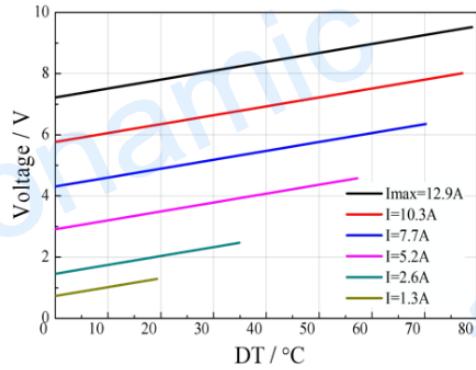
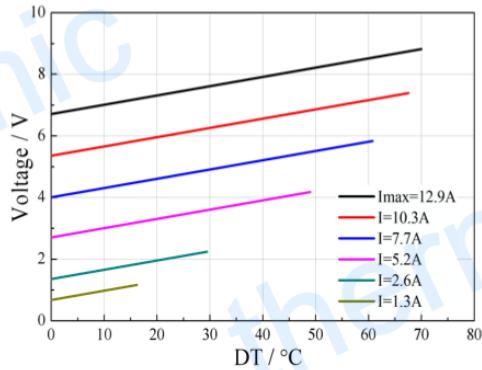
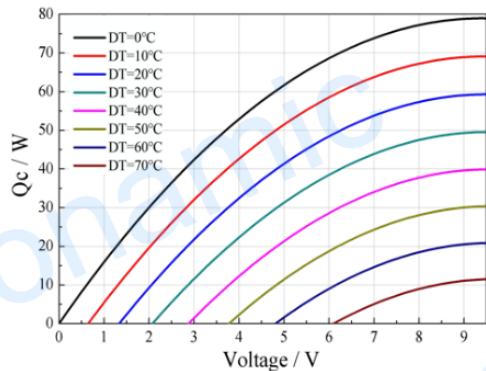
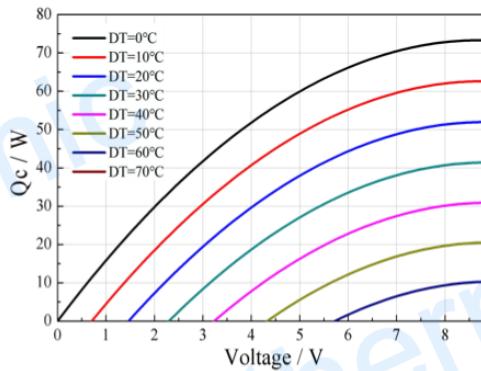
Specification of Thermoelectric Module

TEC1-07112

Performance Curves at Th=27 °C



Performance Curves at Th=50 °C

Standard Performance Graph $Q_c = f(DT)$ Standard Performance Graph $V = f(DT)$ Standard Performance Graph $Q_c = f(V)$

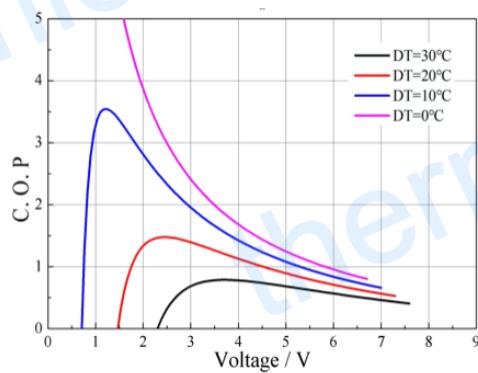
Thermonamic Module

High Performance and Highly Reliable Solution
for Cooling and Heating Applications

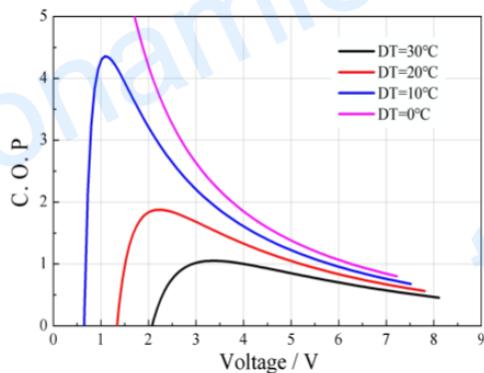
Specification of Thermoelectric Module

TEC1-07112

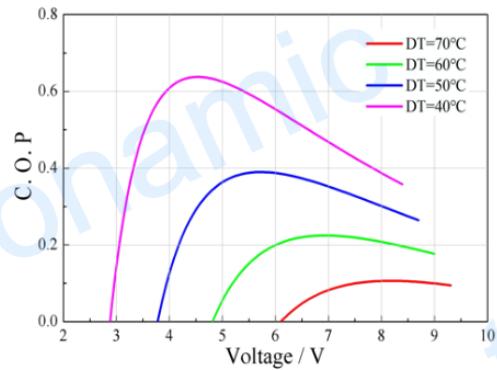
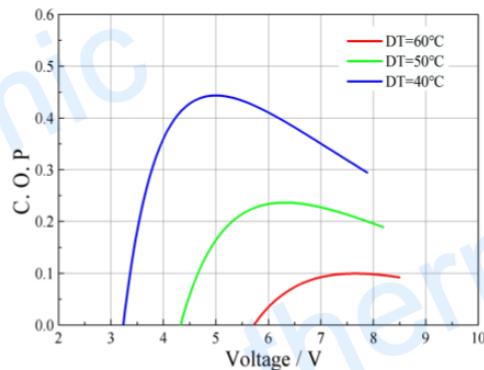
Performance Curves at Th=27 °C



Performance Curves at Th=50 °C



Standard Performance Graph COP = f(V) of DT ranged from 0 to 30 °C



Standard Performance Graph COP = f(V) of DT ranged from 40 to 60/70 °C

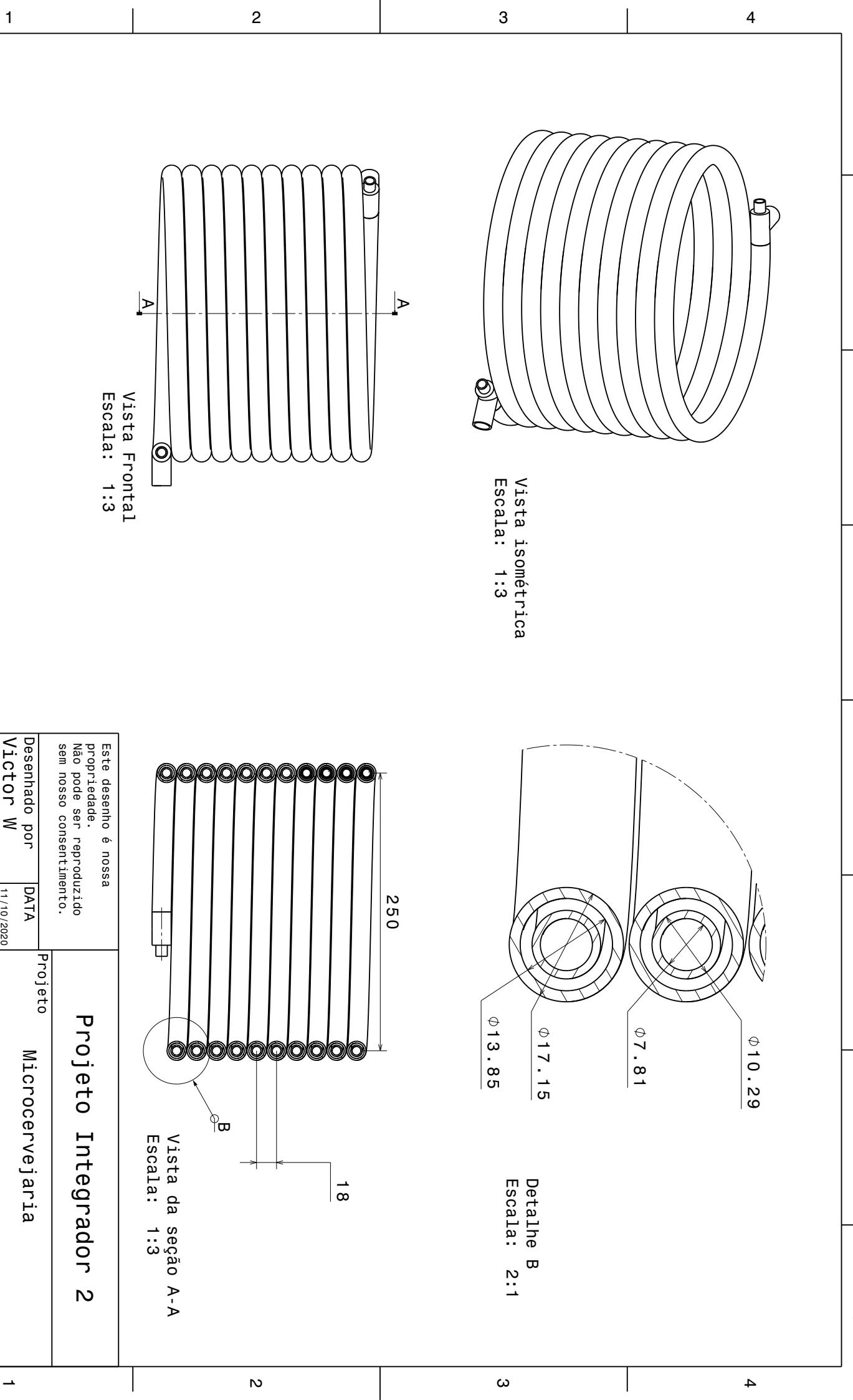
Remark: The coefficient of performance (COP) is the cooling power Q_c /Input power ($V \times I$).

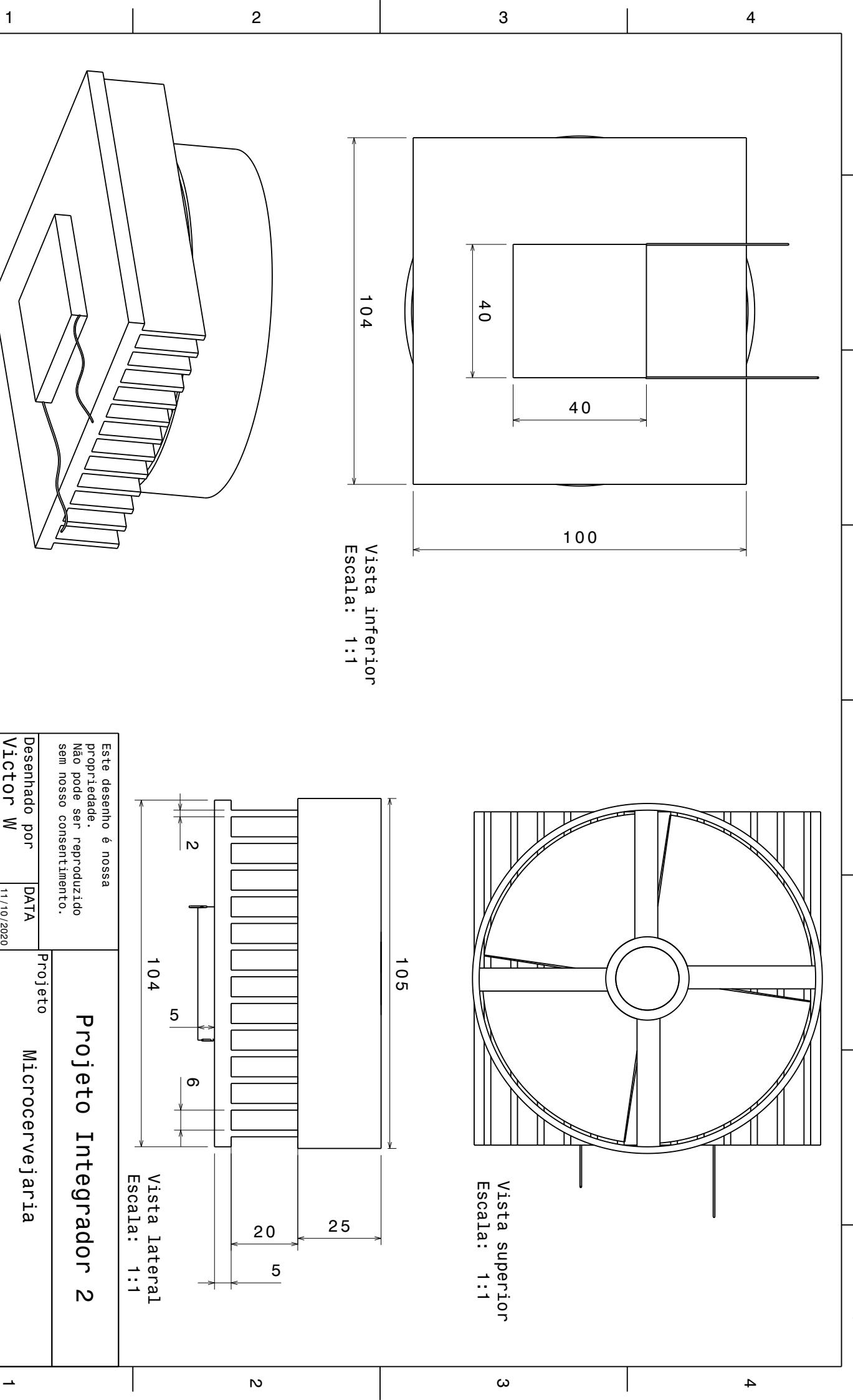
Operation Caution

- Attach the cold side of module to the object to be cooled
- Attach the hot side of module to a heat radiator for heat dissipating
- Operation below I_{max} or V_{max}
- Work under DC

Note: All specifications subject to change without notice.

APÊNDICE I – Drafts do Projeto



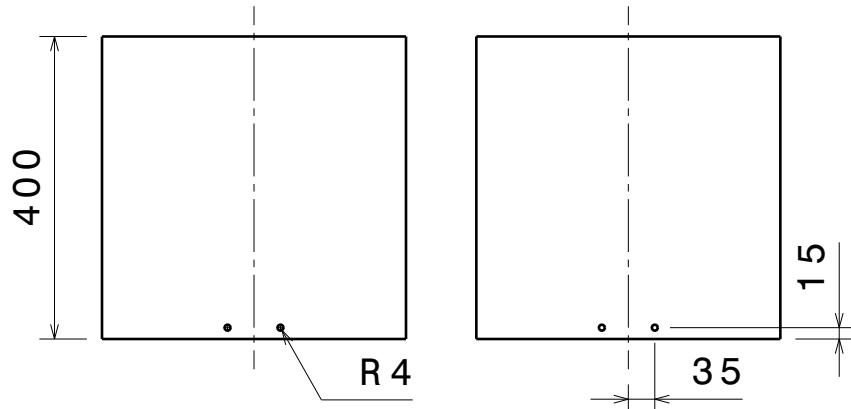


D

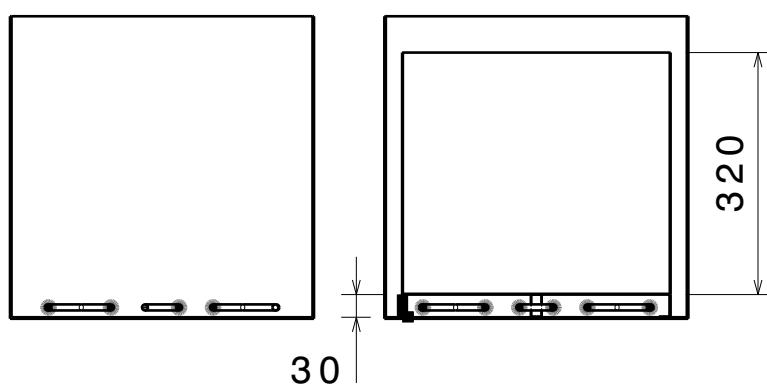
C

B

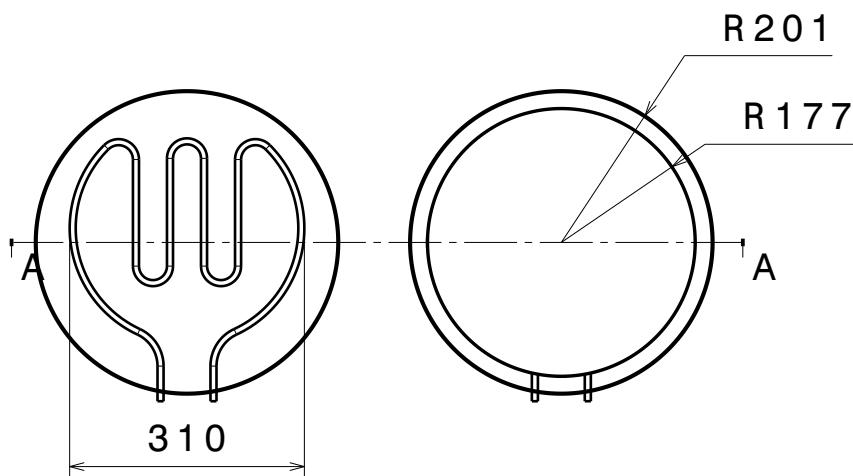
A



Vista frontal
Escala 1:10



Vista secção A-A
Escala 1:10



Vista superior
Escala 1:10

Este desenho é nossa propriedade. Não pode ser reproduzido sem nosso consentimento

Projeto Integrador 2

Projeto

Microcervejaria

Desenhado por Felipe N	Data 17/10/2020
Revisado por Felipe N	Data 17/10/2020
Projeto por Felipe N	Data 15/10/2020

Tamanho	Subsistema	REV
A4	Conjunto Panelas	X
Escala 1:10	Comprimento (mm)	SHEET 1/1

D

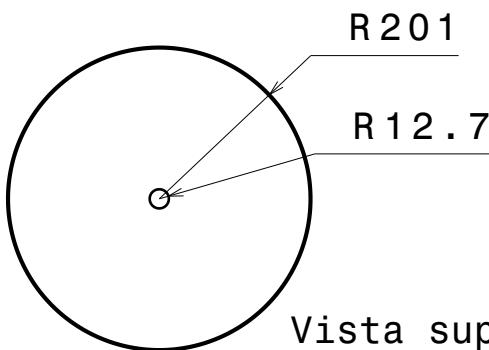
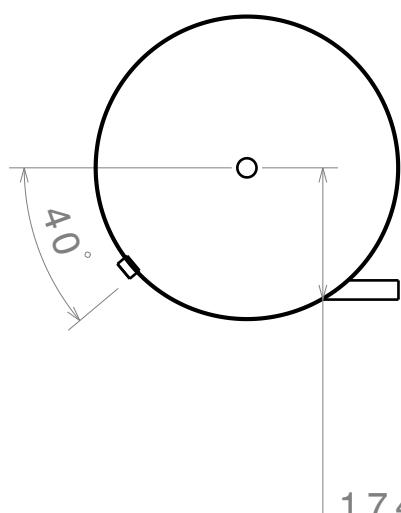
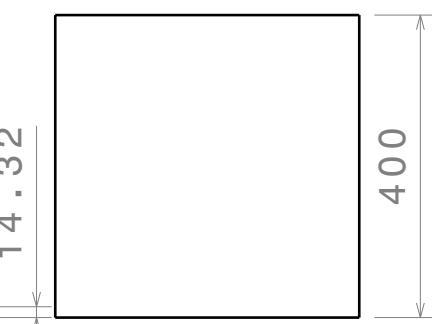
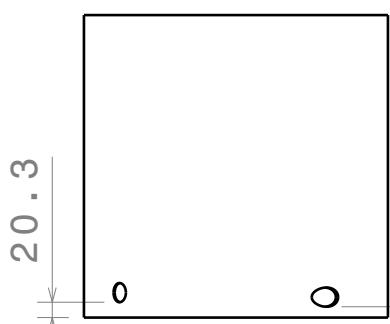
A

D

C

B

A



Vista superior
Escala 1:10

Este desenho é nossa propriedade. Não pode ser reproduzido sem nosso consentimento

Projeto Integrador 2

Projeto

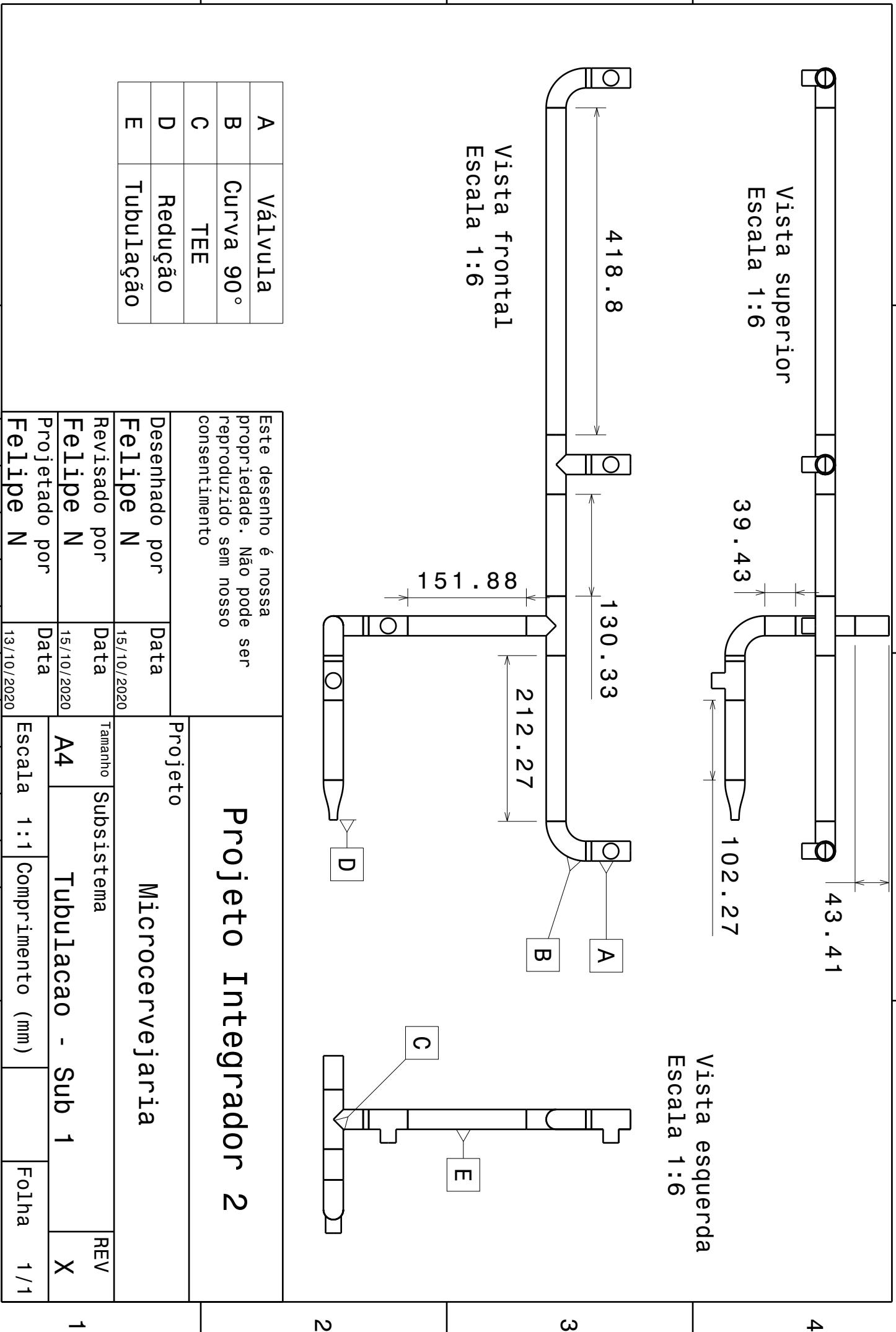
Microcervejaria

Desenhado por Felipe N	Data 17/10/2020
Revisado por Felipe N	Data 17/10/2020
Projeto por Felipe N	Data 15/10/2020

Tamanho	Subsistema	REV
A4	Panelas	X
Escala 1:10	Comprimento (mm)	SHEET 1/1

D

A



1

2

3

4

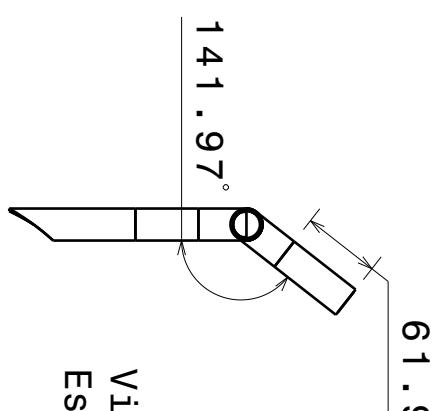
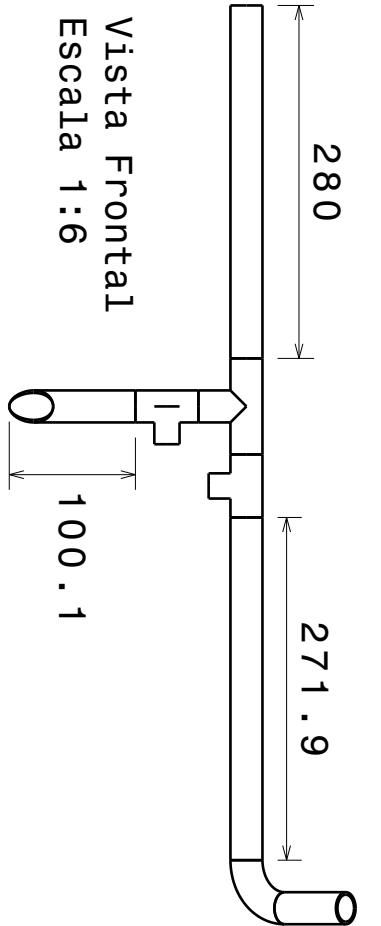
D

D

C

B

A



Este desenho é nossa propriedade. Não pode ser reproduzido sem nosso consentimento

Projeto Integrador 2

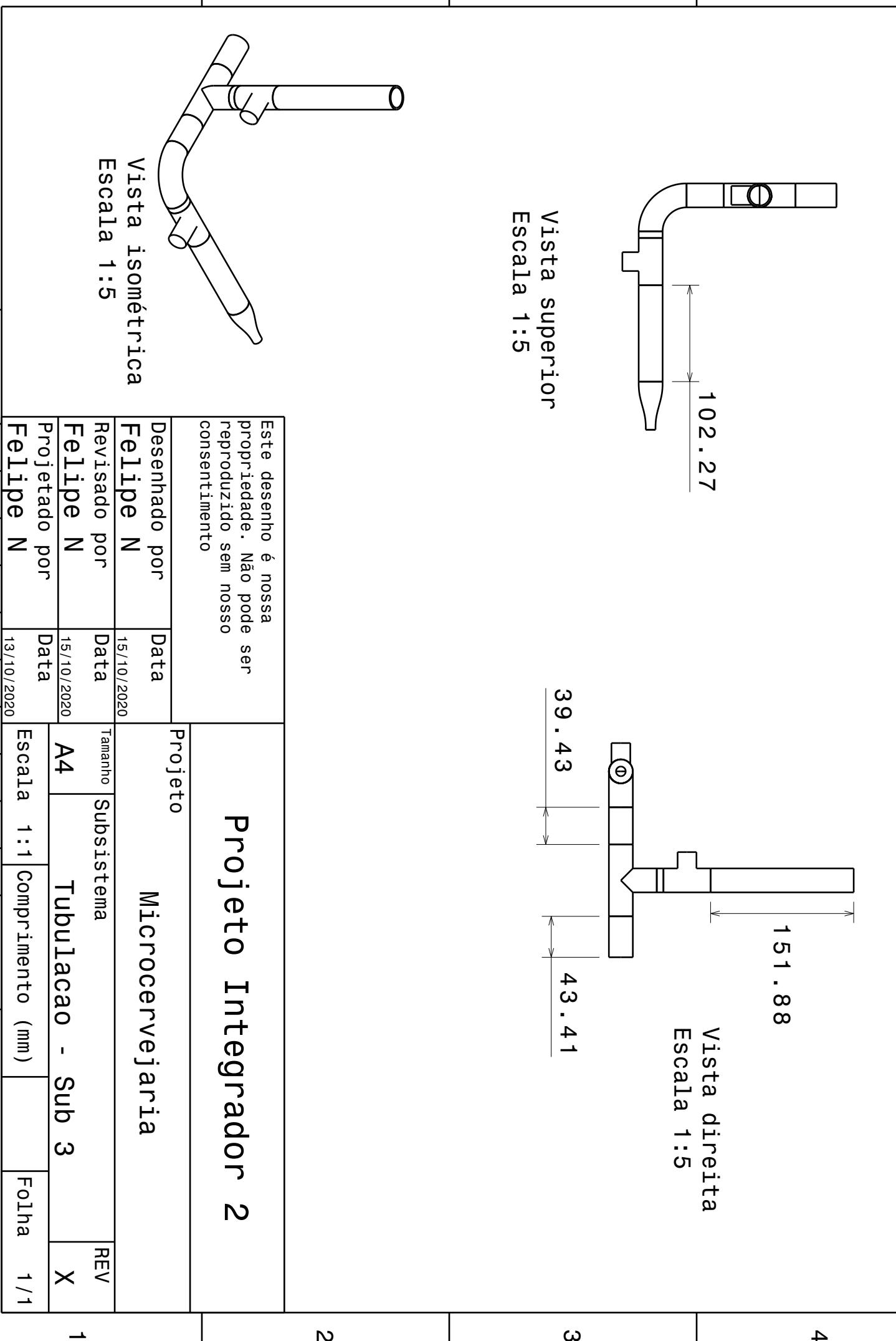
Microcervejaria

Desenhado por Felipe N	Data 15/10/2020	Projeto Microcervejaria
Revisado por Felipe N	Data 15/10/2020	Tamanho A4
Projetado por Felipe N	Data 13/10/2020	Subsistema Tubulacao - Sub 2

REV
X

1

A



D

A

2

3

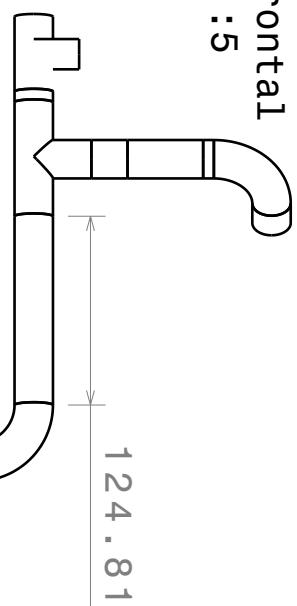
4

1

3

4

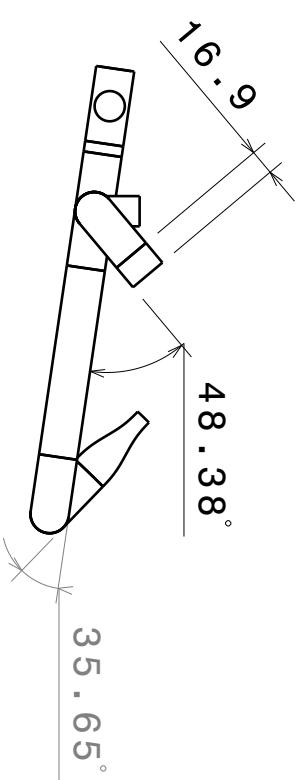
Vista frontal
Escala 1:5



4

D

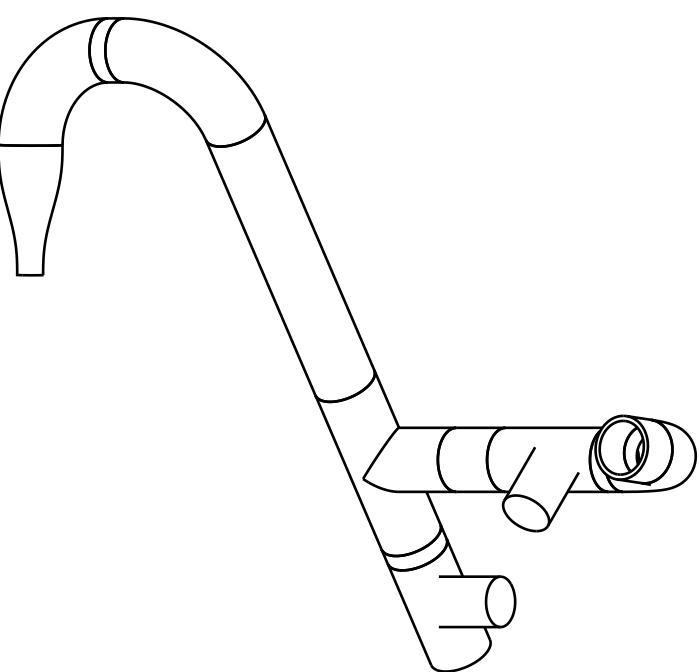
Vista superior
Escala 1:5



3

C

Vista isométrica
Escala 1:3



2

B

Vista superior
Escala 1:5

Este desenho é nossa propriedade. Não pode ser reproduzido sem nosso consentimento

Projeto Integrador 2

Microcervejaria

Desenhado por	Data	Projeto			REV
Revisado por	Data	Tamanho	Subsistema	Comprimento (mm)	Folha
Felipe N	15/10/2020	A4	Tubulacao - Sub 4		X
Felipe N	13/10/2020				1

D

A

1

2

3

4

D

D

C

C

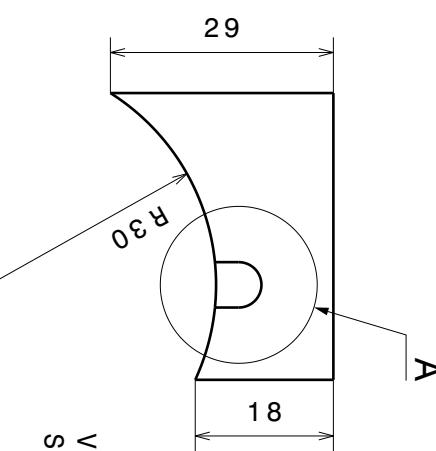
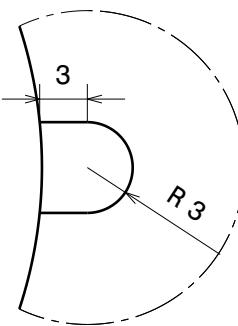
B

B

A

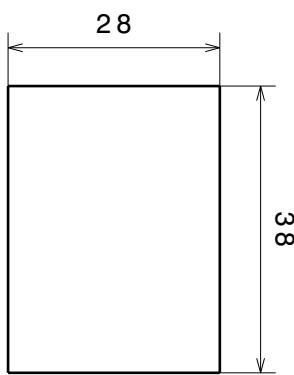
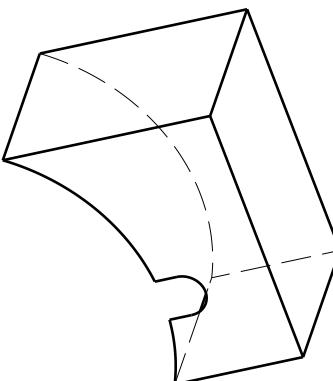
A

Detalhe A 2:1
Escala: 2:1



Vista frontal
Scale: 1:1
Escala: 1:1

Vista isométrica
Escala: 1:1



Vista superior
Scale: 1:1
Escala: 1:1

Este desenho é nossa
propriedade.
Não pode ser reproduzido sem
nossa consentimento.

Projeto Integrador 2

Projeto

Microcervejaria

REV

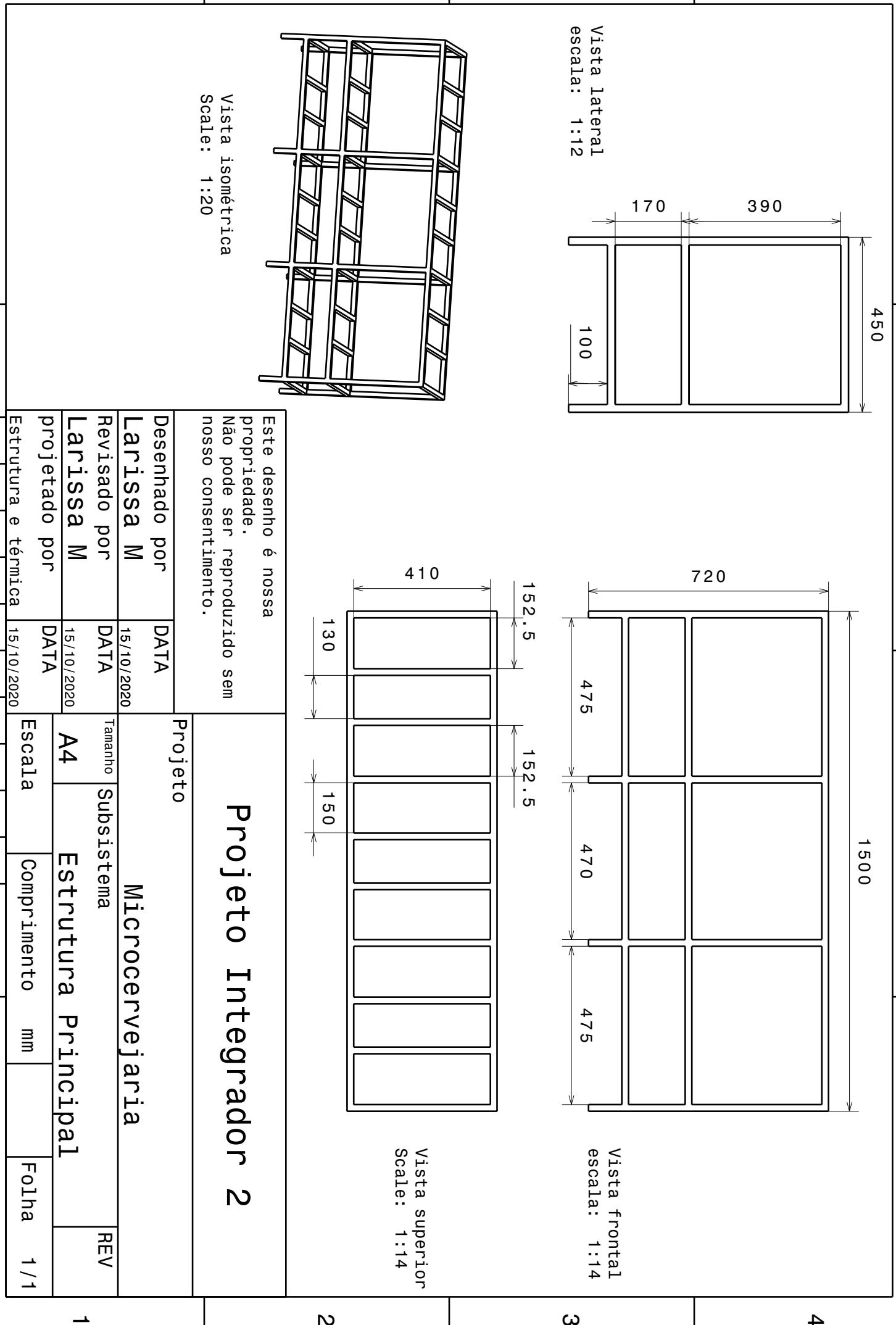
Desenhado por	DATA	Case do motor do alimentador			REV
Felipe N	16/10/2020	Tamanho	Subsistema		
Revisado por	DATA	A4			
Larissa M	16/10/2020	Escala	Comprimento	mm	Folha 1/1
Projetado por					
Estrutura e termica	16/10/2020				

1

2

3

4



1	2	3	4																
D			D																
C			B																
A			A																
D		A																	
1	2	3	4																
Vista em corte A-A Escala: 1:2	Vista frontal Escala: 1:2	Vista isométrica Escala: 1:2																	
<p>Este desenho é nossa propriedade. Não pode ser reproduzido sem nosso consentimento.</p> <p>Projeto Integrador</p> <table border="1"> <tr> <td>Desenhado por Felipe N</td> <td>DATA 16/10/2020</td> <td>Projeto Microcervejaria</td> <td>REV</td> </tr> <tr> <td>Revisado por Larissa M</td> <td>DATA 16/10/2020</td> <td>Tamanho A4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Projetado por Estrutura e termica</td> <td>DATA 16/10/2020</td> <td>Subsistema Suporte do alimentador</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Comprimento mm</td> <td>Folha 1/1</td> </tr> </table>	Desenhado por Felipe N	DATA 16/10/2020	Projeto Microcervejaria	REV	Revisado por Larissa M	DATA 16/10/2020	Tamanho A4		Projetado por Estrutura e termica	DATA 16/10/2020	Subsistema Suporte do alimentador				Comprimento mm	Folha 1/1		3 2 1	4
Desenhado por Felipe N	DATA 16/10/2020	Projeto Microcervejaria	REV																
Revisado por Larissa M	DATA 16/10/2020	Tamanho A4																	
Projetado por Estrutura e termica	DATA 16/10/2020	Subsistema Suporte do alimentador																	
		Comprimento mm	Folha 1/1																

D

C

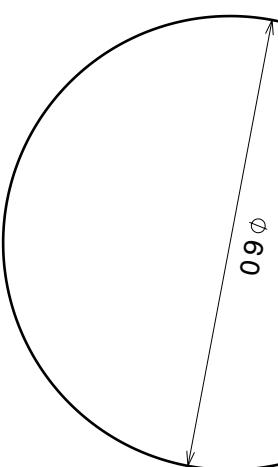
B

A

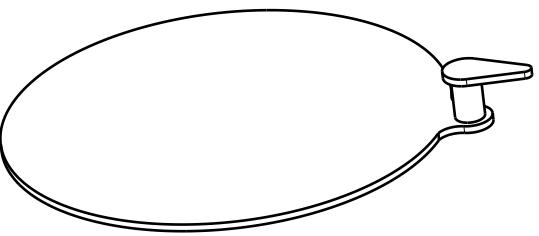
Projeto integrador 2

Este desenho é nossa propriedade.
Não pode ser reproduzido sem nosso consentimento.

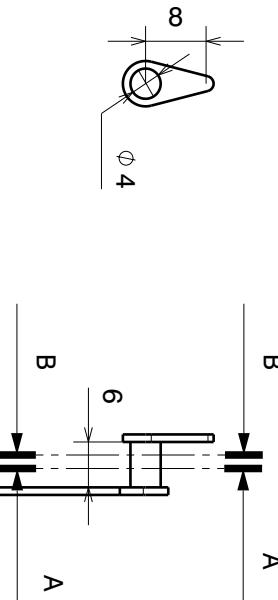
Vista Frontal
Escala: 1:1



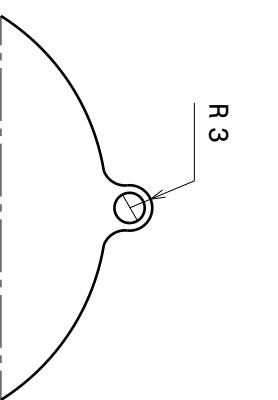
Vista isométrica
escala: 1:1



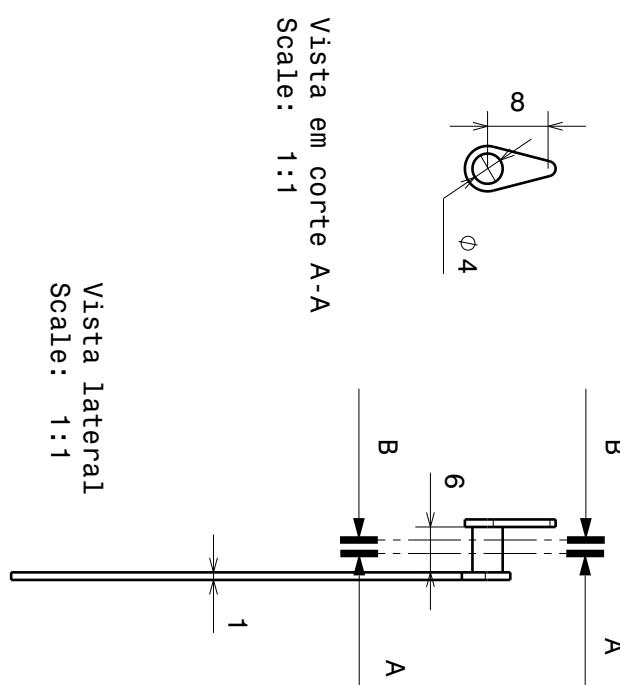
Vista em corte A-A
Scale: 1:1



Vista em corte B-B
Scale: 1:1



Vista lateral
Scale: 1:1



D

1

2

3

4

A

Desenhado por		Data	Projeto		Microcervejaria		REV
Felipe N		16/10/2020					
Revisado por		Data	Tamanho	Subsistema	Tampa do alimentador		
Larissa M		16/10/2020	A4				
Projetado por		Data	Escala	Comprimento	mm	Folha	1/1
Estruturas e térmica		16/10/2020					

2

3

4

1

APÊNDICE J – Tomadas de Decisão - Software

J.1 Ponto de Controle 1

J.1.1 Decisões de Tecnologia

O principal papel de Software no projeto era fornecer uma interface de interação do usuário com a aplicação, e por conta disto existiam algumas opções disponíveis como fazer uma página *Web*, um aplicativo *Mobile*, utilização de algum dispositivo de Casa inteligente como o Google Home ou a Alexa, assim com outros meios. Com estas opções a equipe optou por dois caminhos, possuir tanto uma interface gráfica(Aplicativo ou página *Web*) e uma interface de voz, para que dessa forma pudéssemos abranger uma maior quantidade de pessoas e tornar esta interação mais acessível.

J.1.1.1 Interface Gráfica

Segundo ([TOKARNIA, 2020](#)), cerca de 98,1% dos brasileiros com acesso a internet, utilizam-a por meio do celular, este número vem aumentando nos últimos anos e em contrapartida dispositivos como computadores tem perdido um pouco de espaço, como por exemplo os computadores caíram de 56,6% para 50,7%. Por conta disto e também da comodidade de poder manusear interagir com a Microcervejaria mais facilmente mesmo fora de casa, foi decidido que a interface gráfica da aplicação seria feita por meio de um Aplicativo *Mobile*.

J.1.1.1.1 Ferramentas Utilizadas

Com a escolha do tipo de interface gráfica utilizado deve-se escolher quais ferramentas e linguagens seriam utilizadas para o desenvolvimento do aplicativo. Outro importante requisito era que o aplicativo pudesse ser utilizado em plataformas e sistemas operacionais distintos, logo uma ferramenta de desenvolvimento híbrido que fosse voltada tanto para iOS quanto *Android* eram as mais indicadas e por isso

J.1.1.2 Interface de Voz

Para utilizar uma interface de voz foram analisadas os 3 principais dispositivos de assistente pessoal disponíveis no mercado, sendo estes a Alexa da Amazon, o Google Home, do Google e o HomePod da Apple.

Alguns dos requisitos para a escolha de qual dispositivo para ser utilizado eram o preço, o quanto o dispositivo é utilizado e também da facilidade para integração com outros dispositivos, assim como da capacidade para desenvolver ferramentas personalizadas para controle.

O dispositivo do HomePod possui um sistema de extenção para aplicativos utilizando a Siri, uma assistente inteligente da Apple, porém este dispositivo é o que apresenta a maior média de preço entre os 3, e seu uso é limitado e restrito para iOS, e por conta disso sua aplicação acaba sendo limitada. O dispositivo também segundo (PEREZ, 2018) é o menos utilizado nos Estados Unidos, país hoje que é um dos maiores consumidores deste produto.

Já o dispositivo Google Home da Google apresenta a menor média de preços entre os três, e é o segundo mais utilizado nos Estados Unidos. O Google Home trabalha utilizando o Google Assistant na qual os usuários podem criar *Actions* que seriam ações ativadas através do comando de voz do usuário para realizarem comandos específicos. Porém segundo (STERLING, 2019) em 2019 o Google possuía cerca de 4253 *Actions*, em comparação a Alexa possuía mais de 80000 *Skills*, e os usuários conseguem as encontrar mais facilmente e possui uma amostragem maior de exemplos e documentações disponíveis para seu desenvolvimento.

Por conta destes fatores o dispositivo escolhido foi a Alexa da Amazon, por conta de possuir cerca de 60% de todo mercado, o suporte para desenvolvimento de novas *Skills* possui também uma vasta comunidade com diversos exemplos, o desenvolvimento vem sendo encorajado nos últimos anos e com isso novas ferramentas são lançadas para tal, como por exemplo o *Skill Blueprints* na qual permite usuários criarem aplicações simples sem uma grande complexidade de código.

J.1.2 Decisões de Gerenciamento

J.1.2.1 Licença do Projeto

A licença escolhida para o Software foi a MIT (LAWRENCE, 2004) que é uma licença permissiva comumente utilizada em projetos de software livre. Esta licença foi escolhida por conta da sua flexibilidade e facilidade para integração com outras licenças de software livre de alguns *frameworks* e bibliotecas que serão utilizadas para o desenvolvimento da aplicação.

J.2 Ponto de Controle 2

Para o ponto de controle 2 foram feitos algumas mudanças em relação a parte de Software, sendo uma delas a própria estruturação deste apêndice. Antes dividido em

sessões para as justificativas de cada decisão, agora ele sera feito de maneira mais breve apresentando as principais decisões e mudanças em formato de tópicos.

- **Remoção do Apêndice de Protótipo:** O apêndice do protótipo que antes constava no relatório foi removido, e seu conteúdo foi explicado de maneira mais detalhada na Solução de Software apresentando a Arquitetura da Informação da Aplicação.
- **Criação do Apêndice do Documento de Arquitetura de Software:** Antes o conteúdo deste apêndice se encontrava na solução de Software, porém esta solução será apresentada de maneira mais breve e direta no relatório, enquanto foi movido para o apêndice L a versão mais detalhada da arquitetura.
- **Divisão da Equipe:** Para começarmos o desenvolvimento foi decidido que dividiríamos o time de Software em duas frentes, uma que seria responsável pelo desenvolvimento do Aplicativo(Matheus Roberto e Vinícius Cantuária) e outra que seria responsável pelo desenvolvimento da *Skill* da Alexa(Caio Gabriel e João Gabriel), e também um membro(Mateus de Oliveira) ficaria nos dois times para garantir um alinhamento entre eles e também auxiliar na gestão do conhecimento e divisão de atividades.

APÊNDICE K – Reppositórios do Projeto - GitHub

K.1 Reppositório Documentação de Software

- Site da Documentação
- Reppositório da Documentação

K.2 Reppositório da API

K.2.1 Funcionalidades Implementadas

- Mock da API
- Deploy da API

K.3 Reppositório do Aplicativo

K.3.1 Funcionalidades Implementadas

- Inicialização do App
- Configurar nome, ícone e *Splash Screen*
- Adição de rotas para navegação

K.4 Reppositório da Skill da Alexa

K.4.1 Funcionalidades Implementadas

- Adiciona estrutura inicial da Alexa
- Adiciona mensagem de boas vindas
- Adiciona *Intents* iniciais

APÊNDICE L – Documento de Arquitetura de Software

A área de software será responsável pela interação da Micro-cervejaria com o usuário, essa interação será feita por meio de duas aplicações distintas, sendo eles um aplicativo *Mobile* e também uma *Skill* para a Alexa. Ambas aplicações vão se comunicar com a Micro-cervejaria por meio de uma API REST.

O aplicativo será responsável pelo controle do funcionamento e monitoramento do produto, visando aumentar a acessibilidade e a comodidade do usuário para utilizar o sistema, desta forma, qualquer usuário que tiver acesso a um *smartphone* poderá instalar o aplicativo.

A Alexa ([BHARGAVA, 2018](#)) é um serviço de voz baseado em nuvem da Amazon que permite aos usuários interagirem com tecnologias do dia a dia por meio de uma experiência com vozes naturais.

Uma *skill* da Alexa pode funcionar tanto como um modelo de interação por meio de voz, como também com uma lógica por aplicativo, ao receber uma instrução a Alexa processa esta fala do usuário e determina qual foi a solução e se esta solicitação possui alguma lógica implementada para realizar uma função específica.

Assim como o aplicativo a Alexa será uma outra opção de controle e monitoramento do sistema para o usuário, como uma forma também de melhorar a acessibilidade facilitando o uso para usuários que não possam utilizar aplicativos *mobile*.

L.1 Arquitetura da Solução

O aplicativo será criado para facilitar o controle de processos da microcervejaria. Dentre as metas e restrições arquiteturais se encontram:

- Será criado um aplicativo mobile;
- O sistema será desenvolvido em uma tecnologia híbrida para que possa atender os sistemas android e ios com um menor custo e prazo;
- A aplicação deverá consumir uma API para se comunicar com o microcontrolador;
- O aplicativo será desenvolvido utilizando a linguagem React Native;

Dentre as metas e restrições arquiteturais da *Skill* da Alexa estão:

- A Skill será desenvolvida utilizando como linguagem Python;
- Se comunicará com a microcervejaria por meio de requisições feitas com a API do sistema;

L.2 Visão Lógica

Para o aplicativo mobile, o padrão arquitetural utilizado será o *MVC(Model - View - Controller)* que é um padrão separado em três camadas interconectadas e tem como objetivo separar a apresentação dos dados e interação com o usuário dos métodos que interagem com o banco de dados. Estas camadas são:

- **Model:** Esta camada responsável pela modelagem e definição dos dados , nela são mapeados as entidades da aplicação, seus atributos e suas regras de negócio;
- **View:** Esta camada é responsável pela exibição dos dados e pela interface, é nesta camada que o usuário vai interagir com o sistema e sua implementação será por meio do *React Native*;
- **Controller:** Esta camada é a responsável pela manipulação dos dados definidos na *Model*, o usuário envia uma requisição através da *View*, esta camada realiza as operações e mudanças necessárias e retorna para a *View* para que o usuário possa receber o resultado desta operação;

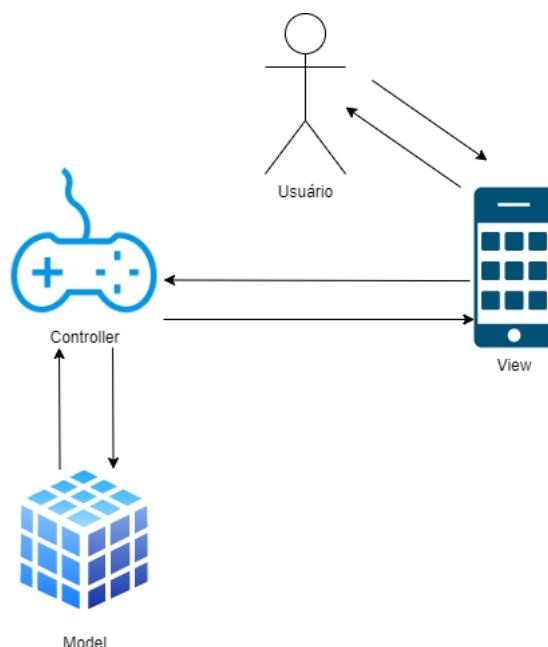


Figura 86 – Representação arquitetural do padrão MVC

Além disso será utilizada também uma arquitetura cliente - servidor para fazer a comunicação do aplicativo com o microcontrolador. Ambos devem estar conectados em uma mesma rede local para poderem interagir, os atores desta interação são:

- **Cliente:** O Cliente seria o aplicativo mobile desenvolvido, e ele é o responsável por ser a interface de comando do usuário com o servidor.
- **Rede:** Para realizar esta comunicação ambos estariam conectados em uma rede de internet para que assim consigam se comunicar e transmitir seus dados.
- **Servidor:** O microcontrolador funcionará como o servidor da aplicação, ele reunirá os dados transmitidos pelos diversos sensores da micro cervejaria e disponibilizaria estes dados por meio de uma API REST.

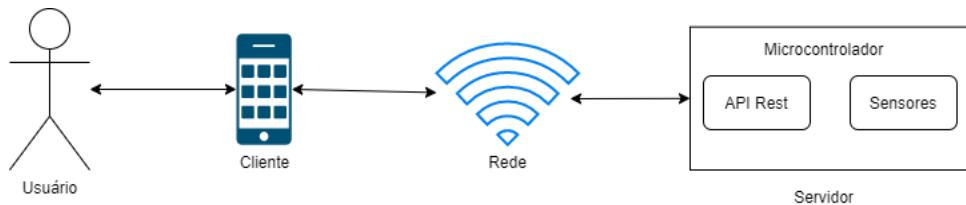


Figura 87 – Representação arquitetural do padrão Cliente-Servidor

L.3 Visão de Implantação

O sistema pode ser representado por uma arquitetura em camadas, na qual a camada de cima atua como cliente da camada logo abaixo e as interações entre elas são feitas por meio de chamadas de funções. O sistema foi estruturado em três camadas, são elas:

- **Camada de apresentação:** É onde ocorre a interação do usuário pelo aplicativo ou pela Alexa.
- **Camada de negócios:** É a API que realizará uma comunicação direta com o sistema de controle e com o banco de dados.
- **Camada de persistência:** Será o banco de dados responsável pelo armazenamento e recuperação dos dados quando solicitados.

A comunicação entre a aplicação e a micro cervejaria será feita através de uma API REST via rede LAN-Wireless. A API será disponibilizada pelo próprio microcontrolador. A figura 88 representa uma visão geral dos módulos do sistema.

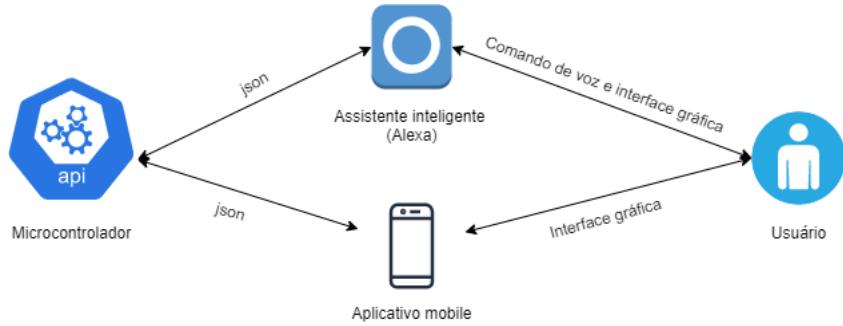


Figura 88 – Representação dos módulos do sistema

L.4 Visão de Dados

Como forma de melhorar a compreensão a respeito da modelagem do banco de dados foi elaborado um Diagrama Entidade Relacionamentos e um Diagrama Lógico que podem ser observados nas figuras 89 e 90

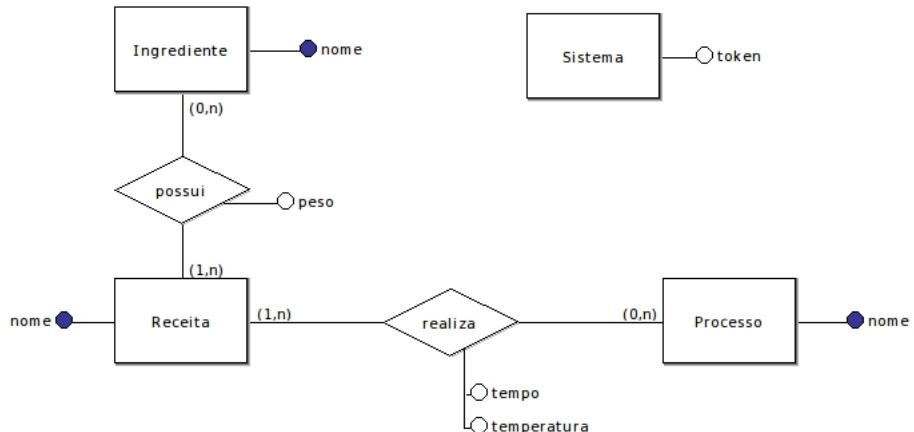


Figura 89 – Diagrama Entidade Relacionamento

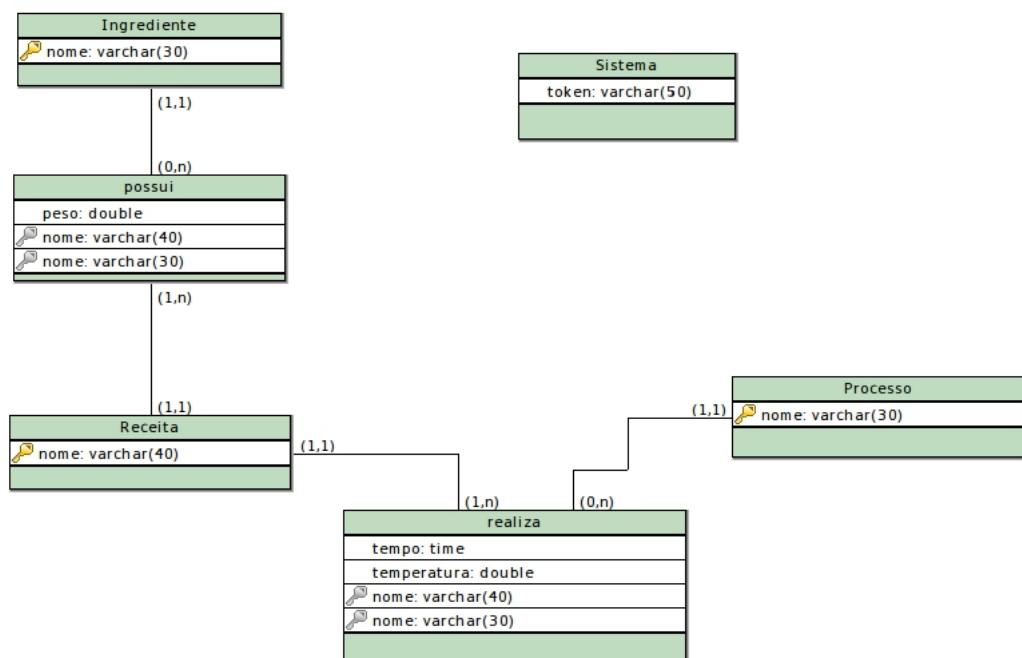


Figura 90 – Diagrama Lógico dos Dados

APÊNDICE M – Especificações dos Casos de Testes

M.1 UC01 - Autenticação

M.1.1 TC01 - Autenticação realizada com sucesso

- Descrição: Este caso de teste verificará se a autenticação via QRcode foi realizada de maneira correta.
- Pré-condições: O usuário deve estar deslogado.
- Pós-condições: O usuário deverá estar autenticado no sistema.
- Dados necessários: Possuir código(QRcode) para comunicação com hardware.

M.1.2 TC02 - Autenticação com QRcode inválido

- Descrição: Este caso de teste verificará se a autenticação está correta e a validade do código(QRcode).
- Pré-condições: O usuário deve estar deslogado.
- Pós-condições: O usuário deverá ser informado de que o código(QRcode) é inválido.
- Dados necessários: Possuir um código(QRcode) válido.

M.2 UC02 - Gerenciar Produção de Cerveja

M.2.1 TC03 - Inicialização do processo iniciada com sucesso

- Descrição: Este caso de teste verificará se o processo de produção da Microcervejaria irá inicializar corretamente.
- Pré-condições: O usuário deve estar Autenticado.
- Pós-condições: O usuário deverá ser informado/notificado de que o processo de produção foi iniciado.
- Dados necessários: Receitas.

M.2.2 TC04 - Inicialização do processo de produção inválida

- Descrição: Este caso de teste verificará se o processo de produção de Microcervejaria está correta e possui os dados necessários para inicialização.
- Pré-condições: O usuário deve estar Autenticado.
- Pós-condições: O usuário deverá ser informado/notificado de que o processo de produção falhou.
- Dados necessários: Não se aplica.

M.2.3 TC05 - Consulta do processo de produção

- Descrição: Este caso de teste verificará se a consulta mostrará corretamente o tempo e as temperaturas.
- Pré-condições: O usuário deve estar Autenticado.
- Pós-condições: O usuário irá visualizar o tempo e as temperaturas ao longo do processo.
- Dados necessários: Tempo e Temperatura.

M.2.4 TC06 - Cancelar processo de produção com sucesso

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve sucesso para cancelar o processo de produção de cerveja.
- Pré-condições: O usuário deve estar autenticado e ter um processo de produção iniciado e confirmar a opção de cancelar a produção.
- Pós-condições: O sistema deve cancelar a produção da produção de cerveja.
- Dados necessários: Identificador da receita atual que esta em produção.

M.2.5 TC07 - Falha para cancelar processo de Produção

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve insucesso para cancelar o processo de produção de cerveja.
- Pré-condições: O usuário deve estar autenticado e ter um processo de produção iniciado e confirmar a opção de cancelar a produção.

- Pós-condições: O sistema deve indicar a ocorrência do erro e enviar notificação para o usuário.
- Dados necessários: Identificador da receita atual que esta em produção.

M.3 UC03 - Gerenciar Processo de Limpeza

M.3.1 TC08 - Iniciar Processo de Limpeza com sucesso

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve sucesso para iniciar o processo de limpeza.
- Pré-condições: O usuário deve estar autenticado e confirmar o inicio do processo de limpeza e não deve ter um processo de produção de cerveja ocorrendo.
- Pós-condições: O sistema deve iniciar o processo de limpeza.
- Dados necessários: Não se aplica

M.3.2 TC09 - Falha ao iniciar processo de limpeza

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve insucesso para iniciar o processo de limpeza.
- Pré-condições: O usuário deve estar autenticado e confirmar o inicio do processo de limpeza enquanto algum processo de produção de cerveja está ocorrendo.
- Pós-condições: O sistema deve apresentar uma mensagem de erro e não iniciar a produção da limpeza.
- Dados necessários: Não se aplica.

M.4 UC04 - Gerenciar Receitas

M.4.1 TC10 - Criar Receita com Sucesso

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve sucesso para criar uma receita.
- Pré-condições: O usuário deve estar autenticado e solicitar a criação de uma receita.
- Pós-condições: Uma nova receita deve ser criada.

- Dados necessários: Gerais: Nome, descrição, tempo médio, quantidade de litros e ingredientes(nome, quantidade, unidade de medida) Aquecimento: temperatura Brasagem: Tempo e temperaturas Fervura: Tempo da fervura, ingredientes(tempo para inserir, nome, quantidade, unidade de medida)

M.4.2 TC11 - Falha para criar receita

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve insucesso para criação de uma nova receita.
- Pré-condições: Usuário deve fornecer os dados solicitados de maneira inválida ou não informa-los.
- Pós-condições: O sistema deve apresentar a mensagem de erro mostrando os campos cujo o preenchimento foi inválido e aguardará que o usuário preencha-os novamente e submeta a alteração.
- Dados necessários: Gerais: Nome, descrição, tempo médio, quantidade de litros e ingredientes(nome, quantidade, unidade de medida) Aquecimento: temperatura Brasagem: Tempo e temperaturas Fervura: Tempo da fervura, ingredientes(tempo para inserir, nome, quantidade, unidade de medida)

M.4.3 TC12 - Editar Receita com sucesso

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve sucesso para editar uma receita.
- Pré-condições: O usuário deve estar autenticado, preencher todos os campos de maneira válida e submeter a edição.
- Pós-condições: A alteração é feita com sucesso e o usuário é direcionado para a visualização da receita.
- Dados necessários: Gerais: Nome, descrição, tempo médio, quantidade de litros e ingredientes(nome, quantidade, unidade de medida) Aquecimento: temperatura Brasagem: Tempo e temperaturas Fervura: Tempo da fervura, ingredientes(tempo para inserir, nome, quantidade, unidade de medida)

M.4.4 TC13 - Falha para editar receita

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve insucesso para editar uma receita.
- Pré-condições: O usuário deve estar autenticado e preencher os campos de maneira inválida ou não informa-los.

- Pós-condições: O sistema deve apresentar a mensagem de erro mostrando os campos cujo o preenchimento foi inválido e aguardará que o usuário preencha-os novamente e submeta a alteração.
- Dados necessários: Gerais: Nome, descrição, tempo médio, quantidade de litros e ingredientes(nome, quantidade, unidade de medida) Aquecimento: temperatura Brassage: Tempo e temperaturas Fervura: Tempo da fervura, ingredientes(tempo para inserir, nome, quantidade, unidade de medida)

M.4.5 TC14 - Excluir Receita com sucesso

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve sucesso para excluir uma receita.
- Pré-condições: O usuário deve estar autenticado e solicitar a exclusão de uma receita.
- Pós-condições: O sistema informa uma mensagem de sucesso e redireciona para a página principal.
- Dados necessários: Identificador da receita que se deseja excluir(nome).

M.4.6 TC15 - Falha para excluir receita

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve insucesso para excluir a receita.
- Pré-condições: O usuário deve estar autenticado e solicitar a exclusão.
- Pós-condições: O sistema deve tratar o erro e apresentar uma mensagem para o usuário na tela.
- Dados necessários: Identificador da receita que se deseja excluir(nome).

M.4.7 TC16 - Visualizar Receita com sucesso

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve sucesso para visualizar uma receita específica.
- Pré-condições: O usuário deve estar autenticado e solicitar a receita que deseja visualizar.
- Pós-condições: A receita deve ser apresentada com sucesso para o usuário.
- Dados necessários: Identificador da receita que se deseja visualizar(nome).

M.4.8 TC17 - Falha para visualizar receita

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve insucesso para visualizar uma receita específica.
- Pré-condições: O usuário deve estar autenticado e solicitar a receita que deseja visualizar.
- Pós-condições: O sistema deve tratar o erro e apresentar para o usuário a mensagem na tela.
- Dados necessários: Identificador da receita que se deseja visualizar(nome).

M.4.9 TC18 - Visualizar lista de Receitas com sucesso

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve sucesso para visualizar a lista de receitas com sucesso.
- Pré-condições: Usuário deve estar autenticado e entrar na página inicial com a lista de todas as receitas.
- Pós-condições: Deve apresentar a lista de todas as receitas do usuário.
- Dados necessários: Não se aplica.

M.4.10 TC19 - Falha para visualizar lista de receitas

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve insucesso para visualizar a lista de receitas.
- Pré-condições: Usuário estar autenticado e entrar na página inicial.
- Pós-condições: Sistema deve tratar o erro e apresentar a mensagem para o usuário na tela.
- Dados necessários: Não se aplica.

M.5 UC05 - Gerenciar Notificações

M.5.0.1 TC20 - Enviar Notificação com Sucesso

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve sucesso para enviar uma notificação.
- Pré-condições: Usuário ter autorizado o recebimento de notificações *push*.

- Pós-condições: Usuário deve receber uma notificação no seu dispositivo.
- Dados necessários: Mensagem da notificação.

M.5.1 TC21 - Falha para enviar notificação

- Descrição: Este caso de testes verificará se houve insucesso para o envio de notificação.
- Pré-condições: Usuário não autorizou recebimento de notificações *push*.
- Pós-condições: A notificação não deve ser enviada.
- Dados necessários: Mensagem da notificação

APÊNDICE N – Documentação da API

N.1 Visualizar todas as receitas

URL	/receitas
Headers	authorization: [Token]
Método	GET
Payload	None
Resposta de Sucesso	<p>Status: 200 OK Corpo: JSON</p> <pre>{ "nome": "string", "descricao": "string", "tempoMedio": "string", "quantidadeLitros": "number", "ingredientes": [{ "nome": "string", "quantidade": "string", "unidadeMedida": "enum" }], "aquecimento": { "temperatura": "number" }, "brassagem": [{ "tempo": "number", "temperatura": "number" }], "fervura": { "tempoTotal": "number", "ingredientes": [{ "tempo": "number", "nome": "string", "quantidade": "string", "unidadeMedida": "enum" }] } }</pre>
Resposta de Erro	<p>Status: 401 Unauthorized Corpo: { erro: "Token não encontrado." }</p> <p>Status: 500 Internal Server Error Corpo: { erro: "Alguma coisa deu errada." }</p>

Tabela 46: Swagger para pegar todas as receitas cadastradas no sistema.

N.2 Adicionar receita

URL	/receita
Headers	authorization: [Token] Content-Type: 'application/json'
Método	POST
Payload	<pre> JSON { "nome": "string", "descricao": "string", "tempoMedio": "string", "quantidadeLitros": "number", "ingredientes": [{ "nome": "string", "quantidade": "string", "unidadeMedida": "enum" }], "aquecimento": { "temperatura": "number" }, "brassagem": [{ "tempo": "number", "temperatura": "number" }], "fervura": { "tempoTotal": "number", "ingredientes": [{ "tempo": "number", "nome": "string", "quantidade": "string", "unidadeMedida": "enum" }] } } </pre>
Resposta de Sucesso	Status: 200 OK Corpo: { mensagem: "Receita cadastrada com sucesso." }
Resposta de Erro	Status: 401 Unauthorized Corpo: { erro: "Token não encontrado." }
	Status: 400 Bad Request Corpo: { erro: "Não foi possível adicionar a receita" }
	Status: 500 Internal Server Error Corpo: { erro: "Alguma coisa deu errada." }

Tabela 47: Swagger para cadastrar uma nova receita no sistema.

N.3 Visualizar receita específica

URL	/receita/:receita.nome
Headers	authorization: [Token]
Método	GET
Payload	None
Resposta de Sucesso	<p>Status: 200 OK Corpo: JSON</p> <pre>{ "nome": "string", "descricao": "string", "tempoMedio": "string", "quantidadeLitros": "number", "ingredientes": [{ "nome": "string", "quantidade": "string", "unidadeMedida": "enum" }], "aquecimento": { "temperatura": "number" }, "brassagem": [{ "tempo": "number", "temperatura": "number" }], "fervura": { "tempoTotal": "number", "ingredientes": [{ "tempo": "number", "nome": "string", "quantidade": "string", "unidadeMedida": "enum" }] } }</pre>
Resposta de Erro	<p>Status: 401 Unauthorized Corpo: { erro: "Token não encontrado." }</p> <p>Status: 400 Bad Request Corpo: { erro: "Receita não encontrada." }</p> <p>Status: 500 Internal Server Error Corpo: { erro: "Alguma coisa deu errada." }</p>

Tabela 48: Swagger para visualizar uma receita cadastrada no sistema.

N.4 Editar receita

URL	/receita
Headers	authorization: [Token] Content-Type: 'application/json'
Método	PUT
Payload	<pre> JSON { "nome": "string", "descricao": "string", "tempoMedio": "string", "quantidadeLitros": "number", "ingredientes": [{ "nome": "string", "quantidade": "string", "unidadeMedida": "enum" }, "aquecimento": { "temperatura": "number" }, "brassagem": [{ "tempo": "number", "temperatura": "number" }], "fervura": { "tempoTotal": "number", "ingredientes": [{ "tempo": "number", "nome": "string", "quantidade": "string", "unidadeMedida": "enum" }] } } } </pre>
Resposta de Sucesso	Status: 200 OK Corpo: { mensagem: "Receita atualizada com sucesso." }
Resposta de Erro	Status: 401 Unauthorized Corpo: { erro: "Token não encontrado." }
	Status: 400 Bad Request Corpo: { erro: "Não foi possível editar a receita" }
	Status: 500 Internal Server Error Corpo: { erro: "Alguma coisa deu errada." }

Tabela 49: Swagger para editar uma receita cadastrada no sistema.

N.5 Visualizar processo atual

URL	/processo
Headers	authorization: [Token]
Método	GET
Payload	None
Resposta de Sucesso	<p>Status: 200 OK Corpo:</p> <pre>{ "processo": "string", "etapas": [{ "tempo": "number", "temperatura": "number", "ingredientes": [{ "tempo": "number", "nome": "string", "quantidade": "string", "unidadeMedida": "enum" }], "tempoTotal": "number", "tempoAtual": "number", "tempoRestante": "number" }] }</pre>
	<p>Exemplo aquecimento:</p> <pre>{ "processo": "aquecimento", "etapas": [{ "temperatura": "number" }, "tempoAtual": "number", "tempoRestante": "number"] }</pre>
	<p>Exemplo brassagem:</p> <pre>{ "processo": "brassagem", "etapas": [{ "tempo": "number", "temperatura": "number" }, "tempoAtual": "number", "tempoRestante": "number"] }</pre>
	<p>Exemplo Fervura:</p> <pre>{ "processo": "fervura", "etapas": [{ "ingredientes": [{ "tempo": "number", "nome": "string", "quantidade": "string", "unidadeMedida": "enum" }], "tempoTotal": "number", "tempoAtual": "number", "tempoRestante": "number" }] }</pre>
Resposta de Erro	<p>Status: 401 Unauthorized Corpo: { erro: "Token não encontrado." }</p>
	<p>Status: 400 Bad Request Corpo: { erro: "Não existe processo em andamento" }</p>
	<p>Status: 500 Internal Server Error Corpo: { erro: "Alguma coisa deu errada." }</p>

Tabela 50: Swagger para visualizar o processo que está em progresso.

N.6 Visualizar processo específico

URL	/processo/:processo.nome
Headers	authorization: [Token]
Método	GET
Payload	None
Resposta de Sucesso	<p>Status: 200 OK Corpo:</p> <pre>{ "etapas": [{ "tempo": "number", "temperatura": "number", "ingredientes": [{ "tempo": "number", "nome": "string", "quantidade": "string", "unidadeMedida": "enum" }], "tempoTotal": "number", "tempoAtual": "number", "tempoRestante": "number" }] }</pre>
	<p>Exemplo aquecimento:</p> <pre>{ "etapas": [{ "temperatura": "number" }, "tempoAtual": "number", "tempoRestante": "number"] }</pre>
	<p>Exemplo brassagem:</p> <pre>{ "etapas": [{ "tempo": "number", "temperatura": "number" }, "tempoAtual": "number", "tempoRestante": "number"] }</pre>
	<p>Exemplo Fervura:</p> <pre>{ "etapas": [{ "ingredientes": [{ "tempo": "number", "nome": "string", "quantidade": "string", "unidadeMedida": "enum" }], "tempoTotal": "number", "tempoAtual": "number", "tempoRestante": "number" }] }</pre>
Resposta de Erro	<p>Status: 401 Unauthorized Corpo: { erro: "Token não encontrado." }</p>
	<p>Status: 400 Bad Request Corpo: { erro: "Processo não encontrado." }</p>
	<p>Status: 500 Internal Server Error Corpo: { erro: "Alguma coisa deu errada." }</p>

Tabela 51: Swagger para visualizar um processo específico.

N.7 Iniciar processo

URL	/iniciar
Headers	authorization: [Token]
	Content-Type: 'application/json'
Método	POST
Payload	JSON { "nomeReceita": "string" }
Resposta de Sucesso	Status: 200 OK Corpo: { mensagem: "Receita iniciada com sucesso." }
Resposta de Erro	Status: 401 Unauthorized Corpo: { erro: "Token não encontrado." }
	Status: 400 Bad Request Corpo: { erro: "Receita não encontrada." }
	Status: 500 Internal Server Error Corpo: { erro: "Alguma coisa deu errada." }

Tabela 52: Swagger para iniciar uma receita.

N.8 Iniciar limpeza

URL	/limpeza
Headers	authorization: [Token]
Método	POST
Payload	None
Resposta de Sucesso	Status: 200 OK Corpo: { mensagem: "Limpeza iniciada." }
Resposta de Erro	Status: 401 Unauthorized Corpo: { erro: "Token não encontrado." }
	Status: 500 Internal Server Error Corpo: { erro: "Alguma coisa deu errada." }

Tabela 53: Swagger para iniciar a limpeza das panelas.