

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

AIRTON OSSAMU SAMMI JUNIOR
EVALDO CAVALCANTE CORDEIRO BARBOSA
NICOLE NATSUE TAKANO

**PROJETO: MICROCERVEJARIA *OFFENHEIT*
Um brinde à pureza!**

APUCARANA, PR
2019

AIRTON OSSAMI SAMMI JUNIOR
EVALDO CAVALCANTE CORDEIRO BARBOSA
NICOLE NATSUE TAKANO

PROJETO: MICROCERVEJAVARIA OFFENHEIT
Um brinde à pureza!

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Tecnológica
Federal do Paraná, como parte das
exigências para obtenção do título de
Engenheiro Químico.

Orientadora: Prof. Dra Fernanda Lini Seixas
Coorientadora: Prof. Dra Caroline
Casagrande Sipoli



Ministério da Educação
**Universidade Tecnológica Federal do
Paraná**
Câmpus Apucarana
COENQ – Coordenação do Curso Superior
de Engenharia Química



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso

Projeto: Microcervejaria *Offenheit*

por

Airton Ossamu Sammi Junior

Evaldo Cavalcante Cordeiro Barbosa

Nicole Natsue Takano

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado aos 17 dias do mês de Junho do ano de 2019, às 16 horas e 00 minutos, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, linha de pesquisa de concepção de uma indústria do ramo cervejeiro, do Curso Superior em Engenharia Química da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os candidatos foram arguidos pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

Fernanda Lini Seixas – ORIENTADORA

Fernando Alves da Silva – EXAMINADOR

Juliana Guerra Sgorlon – EXAMINADORA

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos as nossas professoras orientadoras Dra. Fernanda Lini Seixas e Dr. Caroline Casagrande Sipoli, que nos acompanharam e apoiaram durante a realização deste projeto.

Aos nossos amigos, em especial a Gabriela Gomes Da Silva que fez parte do desenvolvimento do TCC 1, companheiros e conselheiros Adriano, Fernando, Matheus e Rodrigo pelo auxílio no desenvolver do projeto no que diz respeito aos processos envolvidos na produção da cerveja.

A nossa família por todo incentivo e amor.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a todos que participaram da nossa formação.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Logotipo da empresa.....	26
Figura 2 – Organograma da cervejaria <i>Offenheit</i>	28
Figura 3 – Tipos de Cevada: a) duas fileiras, b) seis fileiras	35
Figura 4 – Diferentes tipos de malte.....	36
Figura 5 – Trepadeira de lúpulo	38
Figura 6 – Lúpulo em pellets	39
Figura 7 – Total de cervejaria por ano no Brasil.....	46
Figura 8 – Mapa de produção agrícola da cevada	49
Figura 9 – Região de instalação da Microcervejaria <i>Offenheit</i>	50
Figura 10 – Raio de atividade da cervejaria	51
Figura 11 – Fluxograma do processo produtivo	54
Figura 12 – Tina de mosturação.....	58
Figura 13 – Programação de tempo e temperatura na mosturação por decocção de três fervuras	60
Figura 14 – Programa de tempo e temperatura na mosturação por infusão	61
Figura 15 – Tina de filtração de fundo falso	64
Figura 16 – Tanque <i>Whirlpool</i>	66
Figura 17 – Trocador de calor de placas.....	67
Figura 18 – Tanque fermentador cilíndrico.....	70
Figura 19 – Diagrama do catabolismo da glicólise em célula de levedura cervejeira.....	71
Figura 20 – Fases de crescimento da levedura durante a fermentação.....	72
Figura 21 – Filtro de membrana	75
Figura 22 – Envasadora para garrafas de cerveja da marca ISOJET	77
Figura 23 – Pasteurizador de garrafas em túnel	79
Figura 24 – Rotuladora autoadesiva	80
Figura 25 – Rótulo para o estilo <i>Session IPA</i>	81
Figura 26 – Rótulo para a <i>Pilsen</i>	81
Figura 27 – Rótulo para a <i>Weizen</i>	82
Figura 28 – Rotina de produção do dia n do estilo <i>Session IPA</i>	84
Figura 29 – Moinho	89
Figura 30 – Tina de mosturação.....	93

Figura 31 – Esquema das correntes na tina de filtração	98
Figura 32 – Tina de fervura e <i>Whirlpool</i>	101
Figura 33 – Diagrama de processo de Resfriamento e aeração	108
Figura 34 – Diagrama do Processo de Inoculação da <i>Session IPA</i> (Área 300)	113
Figura 35 – Diagrama do Processo de Fermentação (Área 300)	121
Figura 36 – Diagrama do Processo de Filtração secundária (Área 300)	134
Figura 37 – Diagrama do Processo de Envase para a <i>Session IPA</i> (Área 400)	137
Figura 38 – Diagrama do processo de pasteurização em túnel	141
Figura 39 – Caldeira flamotubular horizontal 2 passes de gases	145
Figura 40 – Ciclo de refrigeração	151
Figura 41 – Diagrama de Cascata das correntes quentes e frias.....	156
Figura 42 – Curvas Compostas Quente e Fria	158
Figura 43 – Curva Composta Global	159
Figura 44 – Diagrama geral da CIP	187
Figura 45 – Fluxo de caixa da Microcervejaria <i>Offenheit</i>	208
Figura 46 – Ponto de equilíbrio da capacidade produtiva da Microcervejaria <i>Offenheit</i>	209

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção global de cerveja por continente em 2015 e 2016.....	45
Tabela 2 – Produção de cerveja por país nos anos de 2015 e 2016	45
Tabela 3 – Cervejaria por estado brasileiro (nº total)	47
Tabela 4 – Área e produção da cevada na região Sul em 2017	48
Tabela 5 – Estimativa populacional das cidades com mais de 100.000 de habitantes	52
Tabela 6 – Ranking de consumo per-capita de cerveja em 2015.....	52
Tabela 7 – Parâmetros segundo a BJCP (2015).....	86
Tabela 8 – Balanço material na etapa de moagem para a <i>Session IPA</i>	91
Tabela 9 – Balanço material na etapa de moagem para a <i>Pilsen</i>	91
Tabela 10 – Balanço material na etapa de moagem para a <i>Weizen</i>	92
Tabela 11 – Calor de aquecimento do mosto na tina de mosturação da <i>Session IPA</i> (T-202)	94
Tabela 12 – Quantidade de calor para o aquecimento do mosto na tina de mosturação para a <i>Pilsen</i> (T-203).....	95
Tabela 13 – Quantidade de calor para o aquecimento do mosto na tina de mosturação para a <i>Weizen</i> (T-203)	95
Tabela 14 – Balanço material na etapa de mosturação para a <i>Session IPA</i> (T-202)	97
Tabela 15 – Balanço material na etapa de mosturação para a <i>Pilsen</i> (T-203).....	97
Tabela 16 – Balanço material na etapa de mosturação para a <i>Weizen</i> (T-203)	97
Tabela 17 – Balanço material na etapa de filtração para a <i>Session IPA</i> (T-204)	100
Tabela 18 – Balanço material na etapa de filtração para a <i>Pilsen</i> (T-205).....	100
Tabela 19 – Balanço material na etapa de filtração para a <i>Weizen</i> (T-205).....	101
Tabela 20 – Quantidade de calor por batelada utilizado na fervura para a <i>Session IPA</i>	105
Tabela 21 – Quantidade de calor por batelada utilizado na fervura para a <i>Pilsen</i> ..	105
Tabela 22 – Quantidade de calor por batelada utilizado na fervura para a <i>Weizen</i>	105
Tabela 23 – Quantidade de calor perdida na etapa de <i>Whirlpool</i>	106
Tabela 24 – Balanço material na etapa de fervura e <i>Whirlpool</i> para a <i>Session IPA</i> (T- 206).....	107

Tabela 25 – Balanço material na etapa de fervura e <i>Whirlpool</i> para a <i>Pilsen</i> (T-207)	107
Tabela 26 – Balanço material na etapa de fervura e <i>Whirlpool</i> para a <i>Weizen</i> (T-207)	107
Tabela 27 – Balanço de massa e energia no resfriamento e aeração da <i>Session IPA</i> (Área 200)	111
Tabela 28 – Balanço de massa e energia no resfriamento e aeração da <i>Pilsen</i> (Área 200)	111
Tabela 29 – Balanço de massa e energia no resfriamento e aeração da <i>Weizen</i> (Área 200)	112
Tabela 30 – Balanço material e energético na etapa de inoculação da <i>Session IPA</i> (Área 300)	119
Tabela 31 – Balanço material e energético na etapa de inoculação da <i>Pilsen</i> (Área 300)	119
Tabela 32 – Balanço material e energético na etapa de inoculação da <i>Weizen</i> (Área 300)	120
Tabela 33 – Balanço material e energético na fermentação da <i>Session IPA</i> (Área 300)	127
Tabela 34 – Balanço material e energético na fermentação da <i>Pilsen</i> (Área 300)	127
Tabela 35 – Balanço material e energético na fermentação da <i>Weizen</i> (Área 300)	128
Tabela 36 – Balanço material e energético na etapa de maturação da <i>Session IPA</i> (Área 300)	130
Tabela 37 – Balanço material e energético na etapa de maturação da <i>Pilsen</i> (Área 300)	130
Tabela 38 – Balanço material e energético na etapa de maturação da <i>Weizen</i> (Área 300)	131
Tabela 39 – Balanço material e energético no tanque pulmão da <i>Session IPA</i> (Área 300)	132
Tabela 40 – Balanço material e energético no tanque pulmão da <i>Pilsen</i> (Área 300)	132
Tabela 41 – Balanço material e energético no tanque pulmão da <i>Weizen</i> (Área 300)	133

Tabela 42 – Balanço material e energético na etapa de filtração da <i>Pilsen</i> (Área 400)	134
Tabela 43 – Balanço material e energético na etapa de carbonatação da <i>Session IPA</i> (Área 400)	136
Tabela 44 – Balanço material e energético na etapa de carbonatação da <i>Pilsen</i> (Área 400)	136
Tabela 45 – Balanço material e energético na etapa de carbonatação da <i>Weizen</i> (Área 400)	137
Tabela 46 – Balanço material e energético no envase da <i>Session IPA</i> (Área 400)	138
Tabela 47 – Balanço material e energético na etapa de envase da <i>Pilsen</i> (Área 400)	139
Tabela 48 – Balanço material e energético na etapa de envase da <i>Weizen</i> (Área 400)	139
Tabela 49 – Temperatura da corrente de cerveja em cada seção do pasteurizador	140
Tabela 50 – Temperatura e vazão de água em cada seção do pasteurizador	142
Tabela 51 – Balanço material e energético na pasteurização da <i>Session IPA</i> (Área 400)	142
Tabela 52 – Balanço material e energético na pasteurização da <i>Pilsen</i> (Área 400)	143
Tabela 53 – Balanço material e energético na pasteurização da <i>Weizen</i> (Área 400)	143
Tabela 54 – Calores úteis e disponíveis	146
Tabela 55 – Calor útil e disponível com base na rotina de produção	147
Tabela 56 – Vazão de água de alimentação na caldeira	148
Tabela 57 – Vazão de briquete na caldeira	148
Tabela 58 – Composição molar do ar	149
Tabela 59 – Composição química elementar média da biomassa de pinus	149
Tabela 60 – Alimentação de ar e seus componentes na caldeira na rotina da <i>Session IPA + Pilsen + Integração energética</i>	150
Tabela 61 – Alimentação de ar e seus componentes na caldeira na rotina da <i>Session IPA + Weizen + Integração energética</i>	150
Tabela 62 – Vazão de gases de combustão da caldeira	150

Tabela 63 – Condições termodinâmicas das correntes de amônia no ciclo de refrigeração	154
Tabela 64 – Propriedades das correntes quentes e frias	155
Tabela 65 – Fases da CIP	187
Tabela 66 – Características dos resíduos líquidos da indústria cervejeira	193
Tabela 67 – Dimensões da grade estática	194
Tabela 68 – Dimensões do Tanque Equalizador.....	195
Tabela 69 – Dimensões do reator UASB; DQO e DBO finais	198
Tabela 70 – Balanço material do Airlock – A-301 (Área 300).....	201
Tabela 71 – Balanço material do Airlock – A-313 (Área 300).....	201
Tabela 72 – Balanço material do Airlock – A-307 (Área 300).....	201
Tabela 73 – Financiamento BNDES.....	206
Tabela 74 – Payback do empreendimento	210

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Abreviação das utilidades utilizadas.....	88
Quadro 2 – Cascatas de calor.....	157
Quadro 3 – Especificações do moinho.....	163
Quadro 4 – Especificações da rosca transportadora.....	164
Quadro 5 – Especificações para o tanque de armazenamento de água.....	165
Quadro 6 – Especificações da tina de mosturação	166
Quadro 7 – Especificações da tina de filtração (Lauter).....	167
Quadro 8 – Especificações do tanque de fervura e Whirlpool.....	168
Quadro 9 – Custo para aquisição das salas de brassagem	168
Quadro 10 – Especificações do trocador de calor.....	171
Quadro 11 – Especificações da pedra sinterizada	171
Quadro 12 – Especificações dos inoculadores e tanques de armazenamento de leveduras.....	172
Quadro 13 – Especificações dos fermentadores.....	173
Quadro 14 – Especificações dos Tanques Pulmões	174
Quadro 15 – Especificações da Centrífuga de Leveduras	175
Quadro 16 – Especificações dos <i>Airlocks</i>	175
Quadro 17 – Especificações do Sistema de Controle da Área 300.....	176
Quadro 18 – Especificações do Filtro de Terra Diatomácea	177
Quadro 19 – Especificações da pedra sinterizada	178
Quadro 20 – Especificações da Envasadora.....	178
Quadro 21 – Especificações da Pasteurizador em Túnel.....	179
Quadro 22 – Especificações da Rotuladora	180
Quadro 23 – Especificações da caldeira	181
Quadro 24 – Soprador de ar.....	182
Quadro 25 – Especificações do Sistema CIP.....	183
Quadro 26 – Especificações dos Trocadores de calor da Integração Energética ...	183
Quadro 27 – Especificações do Sistema de refrigeração.....	184
Quadro 28 – Especificações das bombas utilizadas para escoamento de fluidos entre equipamentos.....	185
Quadro 29 – Especificações dos compressores	185

LISTA DE SIGLAS

ABV	Alcohol By Volume
ADIRPJ	Adicional de Imposto de Renda de Pessoa Jurídica
APA	American Pale Ale
ATP	Trifosfato de Adenosina
BJCP	Beer Judge Certification Program
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BR	Brasil
BSG	Beer Spent Grain
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CSLL	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DRE	Demonstração do Resultado de Exercício
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes ou Esgoto
FC	Fluxo de Caixa
FG	Final Gravity
FIEP	Federação das Indústrias do Estado do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBU	International Bitterness Unit
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IRPJ	Imposto de Renda de Pessoa Jurídica
IPA	India Pale Ale
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora

NTA	Nitrilo Acetato
NTU	Número de Unidades de Transferência
OG	Original Gravity
PEV	Ponto de Coleta Seletiva
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PIS	Programa de Integração Social
PR	Paraná
rpm	Rotações por Minuto
RS	Rio Grande do Sul
SAC	Sistema de Amortização Constante
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SC	Santa Catarina
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SG	Specific Gravity
SMMA	Secretaria Municipal do Meio Ambiente
TIR	Taxa interna de retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UP	Unidade de Pasteurização
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
%(v/v)	Porcentagem em volume
°C	Grau Celsius
°F	Grau Fahrenheit
°P	Graus Platos
a.a	Ao ano
atm	atmosfera
C ₂ H ₅ OH	Álcool Etílico
C ₆ H ₁₂ O ₆	Glicose
cm	Centímetro
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Gás Carbônico
h	Hora
H ₂ O	Água
hl	Hectolitro
kg	Quilograma
kl	Quilolitro
km	Quilômetro
kmol	Quilomol
kw	Quilowatt
kwh	Quilowatt-hora
L	Litro
mm	Milímetro
mg	Miligrama
min	Minuto
mL	Mililitro
MM	Massa Molar
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
O ₂	Oxigênio
R\$	Reais
SO _x	Óxidos de Enxofre

U\$	Dólares
V	Volts
ρ	Massa específica
π	Pi

RESUMO

A cerveja faz parte da cultura da maioria das civilizações antigas, sendo uma das mais antigas e apreciadas bebidas do mundo com história de 6000 a 8000 anos. No Brasil, entretanto, a história da cerveja é mais recente, sendo introduzida no país em 1637 com a chegada do holandês Maurício de Nassau com o cervejeiro Dirck Dicx. Desde então, o setor cervejeiro se expandiu e, em 2016, o Brasil já ocupava o terceiro lugar na produção mundial de cerveja, sendo contabilizadas em 2017 um total de 679 cervejarias instaladas legalmente no país, responsável por 1,6% do produto interno bruto (PIB) brasileiro de 2018, e apesar da maioria esmagadora do setor cervejeiro ser dominado pelas cervejarias de grande porte, as microcervejarias vêm ganhando espaço cada vez maior no mercado nacional, em especial no Sul do país. Desse ponto de vista, a *Offenheit*, empresa proposta neste trabalho, foi desenvolvida com o intuito de atender um nicho de mercado específico e crescente no Brasil, o mercado das cervejas artesanais. A sua implantação será na cidade de Ponta Grossa, região central do Paraná. A cidade está localizada próxima de regiões que se destacam no saneamento básico, na produção de cevada e que fazem parte de um cenário industrial relevante no interior do estado. Deste modo, a cidade é caracterizada como um ponto estratégico para a instalação da Microcervejaria *Offenheit*, a qual terá uma capacidade de produção média de 100800 L/mês. Quanto a análise financeira, a partir de ferramentas contábeis, o projeto se apresentou economicamente viável, além de oferecer ao consumidor produtos com menores preços de custo em relação ao mercado de cervejas especiais atual.

Palavras-chave: Microcervejaria. Produção. Mercado. Cerveja artesanal.

ABSTRACT

Beer is part of the culture of most ancient civilizations, being one of the oldest and most appreciated drinks in the world with a history of 6000 to 8000 years. In Brazil, however, beer's history is more recent, introduced in the country in 1637 with the arrival of the Dutchman Maurício de Nassau and the brewer Dirck Dicx, who opened the first brewery in Brazil, "La Fontaine" located in Pernambuco. Since then, the brewing sector has expanded and, in 2016, Brazil reached the third position beer production in the world, accounting for a total of 679 legally installed breweries in Brazil in 2017, accounting for 1.6% of gross domestic product of 2018, and despite the overwhelming majority of the brewing sector being dominated by large breweries, microbreweries have been increasing space in the national market, especially in the South of the country. From this point of view, *Offenheit*, the company proposed in this work, was developed with the purpose of serving a specific and growing market niche in Brazil, the microbrewery market. The implantation will be in the city of Ponta Grossa, central region of Paraná. The city is located near regions with good basic sanitation, in the production of barley and that are part of a relevant industrial scenario in the interior of the state. In this way, the city is characterized as a strategic point for the installation of the Offenheit brewery, which will have an average production capacity of 100,800 L / month. In terms of financial analysis, using accounting tools, the project presented itself economically viable, besides offering the consumer products with lower cost prices in relation to the market of current special beers.

Keywords: Microbrewery. Production. Marketplace. Homemade beer.

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	25
1.1 MISSÃO	25
1.2 VISÃO	25
1.3 VALORES	26
1.4 LOGOTIPO	26
1.5 ORGANOGRAMA	27
2 INTRODUÇÃO	29
3 REVISÃO DA LITERATURA	30
3.1 DEFINIÇÃO.....	30
3.2 HISTÓRIA	31
3.2.1 História Mundial	31
3.2.2 História Nacional.....	32
3.2.3 História Regional.....	33
3.3 MATÉRIAS-PRIMAS.....	34
3.3.1 Malte	34
3.3.3 Levedura.....	36
3.3.4 Lúpulo	38
3.3.2 Água	39
3.3.5 Adjuntos.....	40
3.4 TIPOS E ESTILOS DE CERVEJAS	41
3.4.1 Cervejas de Baixa Fermentação – <i>Lager</i>	41
3.4.2 Cervejas de Alta Fermentação – <i>Ale</i>	43
3.5 LEGISLAÇÃO	44
3.6 ANÁLISE DE MERCADO.....	45
3.6.1 Cenário Cervejeiro Mundial, Nacional e Regional do Paraná	45

3.6.2 Região de Implantação da Indústria e Localização.....	48
3.6.3 Mercado Consumidor.....	51
3.6.4 Perspectiva do cenário cervejeiro.....	53
3.7 JUSTIFICATIVA.....	53
4 FLUXOGRAMA E PROCESS FLOW DIAGRAM.....	54
5. DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	55
5.1 ÁREA 100: MOAGEM.....	55
5.2 ÁREA 200: BRASSAGEM.....	57
5.2.1 Mosturação.....	57
5.2.2 Filtração (Trub grosso).....	62
5.2.3 Fervura.....	63
5.2.4 Whirlpool.....	65
5.3 ÁREA 300: ADEGA.....	67
5.3.1 Resfriamento e Aeração.....	67
5.3.2 Inoculação e Fermentação.....	68
5.3.3 Maturação.....	73
5.4 ÁREA 400: ENVASE E ROTULAGEM.....	74
5.4.1 Filtração final.....	74
5.4.2 Carbonatação.....	75
5.4.3 Envase.....	76
5.4.4 Pasteurização.....	78
5.4.5 Rotulagem.....	80
5.5 ROTINA DE PRODUÇÃO.....	82
5.5.1 Área 200: Brassagem.....	82
5.5.2 Área 300: Adega.....	83
5.5.3 Área 400: Envase e Rotulagem.....	84
6 BALANÇO MATERIAL E ENERGÉTICO.....	85

6.1	ÁREA 100: MOAGEM	89
6.2	ÁREA 200: BRASSAGEM.....	92
6.2.1	Mosturação	92
6.2.2	Filtração	98
6.2.3	Fervura e <i>Whirlpool</i>	101
6.3	ÁREA 300: ADEGA.....	108
6.3.1	Resfriamento e Aeração	108
6.3.2	Inoculação	112
6.3.3	Fermentação.....	120
6.3.4	Maturação.....	128
6.3.5	Tanques Pulmão.....	131
6.4	ÁREA 400: ENVASE.....	133
6.4.1	Filtração Secundária	133
6.4.2	Carbonatação	134
6.4.3	Envase.....	137
6.4.4	Pasteurização	139
6.5	ÁREA 500: CALDEIRARIA	143
6.6	ÁREA 600: SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	150
7	INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA.....	154
8	LABORATÓRIO DE CONTROLE DE QUALIDADE	160
8.1	ANÁLISE DAS MATÉRIAS-PRIMAS	160
8.2	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICAS DA CERVEJA	160
8.3	ANÁLISES DA ÁGUA DA CALDEIRA.....	161
9	DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS	162
9.1	ÁREA 100: MOAGEM	162
9.1.1	Moinho	162
9.1.2	Rosca transportadora tubular	163

9.2.1 Tanque de armazenamento de água	164
9.2.2 Tina de mosturação	165
9.2.3 Tina de filtração	166
9.2.4 Tanque de fervura e <i>Whirlpool</i>	167
9.3 ÁREA 300: ADEGA.....	169
9.3.1 Trocador de calor e sistema de aeração.....	169
9.3.2 Inoculadores	172
9.3.3 Fermentadores.....	173
9.3.4 Tanque Pulmão.....	174
9.3.5 Centrífuga	174
9.3.6 Airlock	175
9.3.7 Sistema de Controle	176
9.4 ÁREA 400: ENVASE E ROTULAGEM.....	176
9.4.1 Filtro de Terra Diatomácea	177
9.4.2 Carbonatador	177
9.4.3 Envasadora.....	178
9.4.4 Pasteurizador.....	179
9.4.5 Rotuladora	179
9.5 ÁREA 500: CALDEIRARIA	180
9.5.1 Caldeira	180
9.5.2 Soprador de ar	182
9.6 SISTEMA CIP DE LIMPEZA	182
9.7 TROCADORES DE CALOR DA INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA.....	183
9.8 ÁREA 600: SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	184
9.9 BOMBAS E COMPRESSORES.....	184
10 TRATAMENTO DE RESÍDUOS E TRATAMENTO DA ÁGUA DA CALDEIRA	185
10.1 SISTEMA DE LIMPEZA DOS EQUIPAMENTOS.....	186

10.2 RESÍDUOS GERADOS E POSSÍVEIS APLICAÇÕES	188
10.2.1 Resíduos Sólidos	188
10.2.2 Resíduos Líquidos	192
10.2.3 Resíduos Gasosos.....	199
10.3 TRATAMENTO DE ÁGUA DA CALDEIRA	202
11 ANÁLISE FINANCEIRA.....	203
11.1 CUSTOS E DESPESAS	203
11.1.1 Investimento Inicial	204
11.1.2 Custos Fixos	204
11.1.3 Custos Variáveis	205
11.2 CAPITAL DE GIRO	205
11.3 FINANCIAMENTO	205
11.4 RECEITA E DEDUÇÕES	206
11.5 DEMONSTRAÇÃO DE RESULTADOS DO EXERCÍCIO	207
11.6 FLUXO DE CAIXA	207
11.7 PONTO DE EQUILÍBRIO	208
11.8 TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE	209
11.9 PAYBACK	210
12 LAYOUT DA EMPRESA.....	211
13 CONCLUSÃO	212
REFERÊNCIAS.....	213
APÊNDICE A	224
APÊNDICE B	225
Apêndice B.1 – Moinho	226
Apêndice B.2 – Rosca transportadora tubular	227
APÊNDICE C	228
Apêndice C.1 – Tanque de armazenamento de água 2000 L.....	229

Apêndice C.2 – Tinas de mosturação 1990 L	230
Apêndice C.3 – Tinas de filtração 1368 L	231
Apêndice C.4 – Tinas de fervura e <i>Whirlpool</i> 1356 L.....	232
Apêndice C.5 – Trocador de calor.....	233
Apêndice C.6 – Aerador.....	234
APÊNDICE D	235
Apêndice D.1 – Inoculador.....	236
Apêndice D.2 – Fermentador 4500 L	237
Apêndice D.3 – Fermentador 2500 L	238
Apêndice D.4 – Tanque Pulmão 4500 L	239
Apêndice D.5 – Tanque Pulmão 2500 L	240
Apêndice D.6 – Centrífuga.....	241
Apêndice D.7 – Airlock 5 L.....	242
Apêndice D.8 – Airlock 2,5 L.....	243
APÊNDICE E	244
Apêndice E.1 –Filtro de Terra Diatomácea	245
Apêndice E.2 – Carbonatador.....	246
Apêndice E.3 – Envasadora.....	247
Apêndice E.4 – Pasteurizador em túnel.....	248
APÊNDICE F.....	249
Apêndice F.1 – Caldeira.....	250
Apêndice F.2 – Soprador de ar	251
APÊNDICE G	252
APÊNDICE H	253
APÊNDICE I.....	254
Apêndice I.1 – Rede de trocadores de calor	255

Apêndice I.2 – Especificações dos trocadores de calor da integração energética	256
APÊNDICE J.....	257
Apêndice J.1 – Custo com equipamentos e infraestrutura administrativa.....	258
Apêndice J.2 – Despesas da infraestrutura, Depreciação e Custos fixos	259
Apêndice J.3 – Despesas com salários de empregados.....	260
Apêndice J.4 – Despesas com insumos e utilidades	261
Apêndice J.5 – Especificações do consumo energético, Receita bruta anual e tributações sobre a receita da Microcervejaria <i>Offenheit</i>	262
Apêndice J.6 – Demonstração de Resultados do Exercício da Microcervejaria <i>Offenheit</i>	263
APÊNDICE K	264
APÊNDICE I.....	265
ANEXOS	266
ANEXO A – Relação entre NTU e efetividade para fluxos de contracorrente. .	266

1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A Microcervejaria *Offenheit* será implantada em Ponta Grossa, no estado do Paraná, região Sul do Brasil, localizada na região do estado conhecida como os Campos Gerais. Seu nome, traduzido do alemão, significa “pureza”, adjetivo esse inspirado na Lei da Pureza, promulgada pelo duque Guilherme IV da Baviera em 1516 na Alemanha, a qual instituía que a cerveja deveria ser fabricada apenas com água, malte de cevada e lúpulo. Além da inspiração da Lei da Pureza, o nome da cervejaria remete também à qualidade excepcional da cerveja em que a empresa se comprometerá em destinar aos clientes.

1.1 MISSÃO

Disseminar e ampliar a cultura cervejeira, proporcionando cervejas de alta qualidade para o mais amplo paladar dos clientes, unindo sabor, aroma e excelência, além de proporcionar um ótimo serviço por meio de um crescimento sustentável e no respeito às leis, gerando bons momentos para os consumidores, ao mesmo tempo conscientizando-os ao consumo moderado.

1.2 VISÃO

Ganhar reconhecimento e tornar-se referência na produção de cerveja entre as microcervejarias da região Sul do país e ampliar o portfólio de estilos de cerveja fabricadas pela empresa.

Apesar da saturação do mercado microcervejeiro na região de implantação dos Campos Gerais e região metropolitana de Curitiba, a Microcervejaria *Offenheit* com os estilos de cervejas mais consumidas desse nicho de mercado, além de se comprometer com o destaque dos sabores e inovação de seu portfólio, atribuirá um preço mais acessível em seus produtos, para inicialmente conquistar o mercado consumidor e tornar-se referência na região.

1.3 VALORES

- a) Ética.
- b) Qualidade.
- c) Crescimento sustentável.
- d) Transparência.
- e) Repudiar o consumo da cerveja feito de maneira irresponsável.

1.4 LOGOTIPO

O logotipo da Microcervejaria *Offenheit* está representado na Figura 1. O símbolo da região dos Campos Gerais, representado pela paisagem típica do planalto paranaense e pela “Taça”, símbolo do parque geológico de Vila Velha localizado em Ponta Grossa. Há ainda a presença da flor do lúpulo e a cevada, representando os principais ingredientes na fabricação da cerveja.

Figura 1 – Logotipo da empresa



Um brinde à pureza

Fonte: Autoria própria (2018).

1.5 ORGANOGRAMA

A Microcervejaria *Offenheit* apresentará em sua estrutura 16 colaboradores para alcançar os seus objetivos, com as seguintes atribuições:

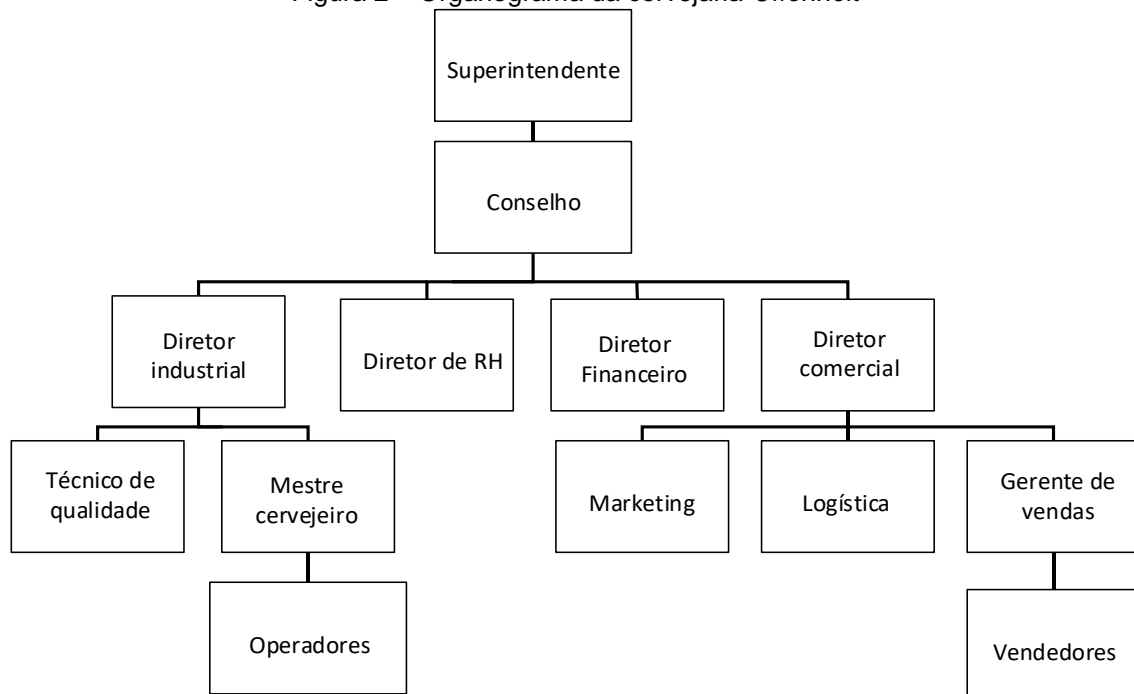
- a) Superintendente: assegura o alcance dos objetivos operacionais e administrativos, de acordo com a missão e os valores da empresa, através do gerenciamento de todas as áreas da organização;
- b) conselho: são os diretores que identificam possíveis melhorias para o crescimento e desenvolvimento da empresa, e assim aperfeiçoar o desempenho da empresa a curto, médio e longo prazo;
- c) diretor industrial: tem como objetivo inspecionar toda a linha de produção, desde o recebimento da matéria-prima até o armazenamento do produto, assim, supervisiona as atividades de produção para assegurar a qualidade do produto;
- d) técnico de qualidade: controla a qualidade do produto, através do controle da matéria-prima e de todos os processos produtivos para a padronização e qualidade das cervejas *Offenheit*;
- e) mestre cervejeiro: formula os produtos e coordena todo o processo industrial, visando um produto de qualidade e nas especificações desejadas;
- f) operadores: são os três colaboradores responsáveis pela operação manual da produção e da limpeza dos equipamentos;
- g) diretor de recursos humanos: é o profissional incumbido de planejar, organizar, dirigir e controlar as atividades de recursos humanos, garantindo a qualidade de seus colaboradores de acordo com a legislação em vigor;
- h) diretor financeiro: faz a contabilidade, assim como o planejamento financeiro da empresa. É também quem planeja, dirige, compra matéria-prima e possíveis equipamentos;
- i) diretor comercial: dirige as atividades do departamento comercial, através da avaliação de resultados, acompanhamento do

desenvolvimento da empresa e esquematiza planos de negócios para o cumprimento das metas;

- j) marketing: é o profissional que desenvolve estratégias para aumentar a visibilidade e as vendas da cervejaria;
- k) logística: controla o estoque, distribuição dos lotes para os clientes, sempre buscando um transporte mais eficiente;
- l) gerente de vendas: administra os pedidos obtidos pelos vendedores, responsável pelo contato entre o departamento de produção e comercial, define as metas de vendas e auxilia os vendedores;
- m) vendedores: dois colaboradores responsáveis pelo contato entre a empresa e as distribuidoras.

O organograma representado na Figura 2 apresenta a estrutura hierárquica da Microcervejaria *Offenheit*.

Figura 2 – Organograma da cervejaria *Offenheit*



Fonte: Autoria própria (2018).

2 INTRODUÇÃO

Cerveja é a bebida alcoólica mais consumida mundialmente (SWINNEN, 2011). No cotidiano brasileiro, a cerveja pode ser considerada um objeto onipresente: sua imagem e materialidade circulam pelos veículos publicitários expostos nas ruas, propagandas, fachadas etc. A cerveja se tornou parte do conjunto básico de bens de consumo que participam das situações de lazer e diversão mais comuns, das de menor escala e menos formais, até aquelas cuja produção exige alto volume de capital (LAVINSCKY, 2017).

Segundo Atháide (2016), o consumo de cerveja pelos brasileiros ecoa nos números da indústria e dados comprovam que, na última década, houve um aumento de 64% na produção anual de cerveja no Brasil. Dessa forma, o país se tornou uma potência cervejeira: cada brasileiro consome cerca de sessenta litros de cerveja por ano, o que nos faz alcançar a terceira posição em produção anual no mundo, com 13,4 bilhões de litro anuais (BARTH e SOHN, 2017).

O consumo de cerveja no Brasil iniciou-se com a vinda da família real portuguesa e com o avanço da tecnologia, grandes empresas foram fundadas, tornando a cerveja a bebida mais consumida entre os brasileiros (NOGUEIRA, 2010). Segunda Maia e Carvalho (2017), a criação das microcervejarias no Brasil surgiu na década de 1980, com empreendimentos que se solidificaram principalmente nas regiões Sul e Sudeste. Nos últimos anos, o Paraná vem se destacando neste cenário; suas instalações têm apresentado plantas modernas e eficientes, e sua produção está estimada em 6 milhões de litros por ano (OHDE, 2017; BEM PARANÁ, 2018).

Visando este tipo de mercado consumidor, foi proposto neste trabalho o projeto da Microcervejaria *Offenheit*, a qual se caracterizará como uma microcervejaria, com a capacidade de produção de 100800 litros por mês, fabricando inicialmente os estilos *IPA*, *Weizen* e *Pilsen*, e futuramente, abrangendo sua produção para outros estilos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 DEFINIÇÃO

Cerveja é a bebida não destilada obtida da fermentação alcoólica do mosto de cereal maltado, geralmente malte de cevada. Nas indústrias cervejeiras os produtos apresentam diferentes matérias-primas em suas composições, e são as quantidades em que são empregadas, a forma como são processadas e a duração das etapas de fabricação que determinam os tipos de cerveja obtidos (AQUARONE et al., 1986).

Derivada da palavra latina *bibere* (beber), é uma bebida fermentada com uma história de 6000 a 8000 anos, e por isso, faz parte da cultura da maioria das civilizações antigas (NOGUEIRA, 2010), sendo uma das mais antigas e apreciadas bebidas do mundo. Segundo o Decreto n. 2314 de 1997, que regulamenta a Lei n. 8918, apresentado por Oetterer, Regitando-D'Arce e Spoto (2006), a cerveja é a bebida obtida da fermentação alcoólica do mosto cervejeiro, oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo.

Cervejas artesanais são cervejas produzidas com maior quantidade de malte, com foco na variedade de cores, aromas e gostos, utilizando-se técnicas e receitas tradicionais, produzidas normalmente em menor escala e em microcervejarias. São produtos gastronômicos, que harmonizam com os mais diversos pratos, assim como o vinho e outras bebidas (WOLFF, 2017). Comparada com as cervejas tradicionais, as cervejas artesanais levam mais tempo em sua produção, uma vez que seu tempo de maturação é mais longo e seus processos são mais elaborados, visando um produto de maior qualidade (LARA, 2018).

Microcervejaria, segundo a definição da Escola Superior de Cerveja e Malte, é uma fábrica capaz de produzir até 200 mil litros de cerveja por mês. Contudo, para os microcervejeiros, a microcervejaria é uma indústria que se preocupa com as características do produto final, tais como aromas e sabores

diferenciados, sendo estes o que as caracteriza e diferencia as microcervejarias das grandes produtoras (SEBRAE, 2017).

3.2 HISTÓRIA

3.2.1 História Mundial

Não há um acordo entre os historiadores sobre a origem da cerveja, uma vez que a maioria dos povos antigos preparavam alguma bebida alcoólica semelhante a cerveja (HORNSEY, 2003). A prática de fabricação da cerveja parece ter se originado na região da Mesopotâmia, lugar onde a cevada cresce em estado selvagem (AQUARONE et al. 1986). Há também evidências de que a cerveja feita de cevada maltada já era fabricada na Babilônia no ano 6000 a.C. No Egito, essa bebida chegou um pouco mais tarde, provavelmente de origem independente, tornando-se uma bebida nacional de grande consumo, ocupando lugares importantes nos ritos religiosos e sendo distribuída ao povo (NOGUEIRA, 2010).

Durante a Idade Média, a produção caseira da cerveja passou a ser função das mulheres, pois como cozinheiras, tinham igualmente a responsabilidade da produção de cerveja, que era vista como uma “comida-líquida”. A bebida era servida para toda família, incluindo o desjejum, sendo esta uma opção barata e acessível comparada ao vinho, que era uma bebida mais cara e de difícil acesso (SILVA, 2016).

Foi na Idade Média também que o lúpulo passou a ser usado como matéria-prima, e a produção de cerveja teve um avanço. Por esse motivo, em 1516, o Duque Guilherme IV assinou, em Baviera, o primeiro regulamento sobre o processo de fabricação de cerveja, que decretou a “Lei da Pureza”. Essa Lei estabeleceu os ingredientes que poderiam ser utilizados na fabricação da cerveja: malte de cevada, lúpulo e água. O uso da levedura como agente fermentador ainda era desconhecido (OETTERER, REGITANDO-D’ARCE e SPOTO, 2006).

As etapas de produção melhoram a partir do século VII, com a adição de diferentes tipos de ervas pelos frades, culminando na introdução do lúpulo no século XIX. Além disso, a descoberta da técnica de fermentação levou a maior estabilidade da bebida (BORGES, 2015).

Na América, a tecnologia da fabricação de cerveja foi trazida por imigrantes ingleses e holandeses, que a preparavam a partir de milho e lúpulo. Nesse continente, a primeira cervejaria foi construída na Cidade do México, em 1544 (OETTERER, REGITANDO-D'ARCE e SPOTO, 2006). Com o passar dos anos, padrões de qualidade foram sendo incorporados à fabricação de cerveja, e em 1664, as leis do Duque de York exigiram o uso de malte e a presença de um mestre cervejeiro nas fábricas. Dessa forma, o processo de fabricação de cerveja expandiu-se para o processo de produção em escala industrial (AQUARONE et al., 1986).

Durante a Revolução Industrial, o modo de produção e distribuição sofreram mudanças importantes, principalmente na produção em larga escala, formando fábricas cada vez maiores na Inglaterra, Alemanha e no Império Austro-Hungáreo (AQUARONE et al., 2001).

3.2.2 História Nacional

Em 1637, o holandês Maurício de Nassau chegou ao Brasil junto com o cervejeiro Dirck Dix. Poucos anos depois, eles abriram a “La Fontaine”: a primeira fábrica de cerveja nacional, situada em Pernambuco, onde fabricavam uma cerveja encorpada, com cevada e açúcar (MORADO, 2015). Relatos apontam que, em 1869, o Diário de Pernambuco notificou o decreto do Imperador em que teria sido Henri Joseph Leiden o fundador da primeira fábrica de cerveja no Brasil no ano de 1842 (COUTINHO, 2003).

Entretanto, o hábito de tomar cerveja no Brasil foi trazido por D. João VI, no início do século XIX, durante a permanência da família real portuguesa em território nacional, em que consumia-se cerveja importada de países europeus (NOGUEIRA, 2010). Mais tarde, em 1888, foi fundada no Rio de Janeiro a primeira cervejaria. No início do século seguinte, já estava estabelecida

a indústria cervejeira no Brasil, com 27 cervejarias registradas (OETTERER, REGITANDO-D'ARCE e SPOTO, 2006).

Novas cervejarias surgiram e a produção da bebida aumentou até meados da Primeira Guerra Mundial, em que tornou-se difícil a obtenção de matérias-primas, como malte e lúpulo, oriundos da Alemanha e Áustria. Com a dificuldade de se encontrar matéria-prima no Brasil, como alternativa os cervejeiros usavam milho, arroz, trigo, o que diminuía a qualidade do produto (SANTOS, 2003). Além de serem a base de milho, as cervejas brasileiras em geral, eram de alta fermentação porque faltava a tecnologia de resfriamento necessária para a produção de cervejas de baixa fermentação, uma vez que esse tipo de produção exige temperaturas mais baixas (LIMBERGER, 2013).

Com o surgimento das primeiras máquinas compressoras frigoríficas no Rio de Janeiro e São Paulo, foi possível criar gelo, possibilitando um maior controle da temperatura no processo de fermentação e este fato levou a migração das fábricas para essa região (SANTOS, 2003; BARTH, 2017).

3.2.3 História Regional

No Paraná, a história da cerveja começa com a vinda dos imigrantes alemães, que trouxeram consigo o hábito de fabricar e beber sua própria cerveja, que passou a ser muito consumida pelos paranaenses. A partir da segunda metade do século XIX, começaram a aparecer pequenas produções de cerveja elaboradas de forma artesanal e basicamente para consumo próprio (OHDE, 2017).

As cervejarias foram desaparecendo gradativamente ao longo dos anos 1940 e o estado ficou a todo tempo sendo abastecido pelas cervejarias Antarctica e Brahma com suas instalações locais. A partir de 1980, foram criadas a Bavarium Park e a Alles Bier, que se solidificaram neste estado (OHDE, 2017).

A produção das cervejas artesanais vem apresentando um crescimento consistente nos últimos anos. O Paraná se destaca nesse cenário, pois concentra mais de 60 cervejarias artesanais e uma produção estimada de 6 milhões de litros por ano (BEM PARANÁ, 2018). As microcervejarias

paranaenses, mais especificamente as curitibanas, foram pioneiras na instalação de plantas modernas e eficientes na consolidação, não apenas no mercado local, mas, também terem obtido uma excelente reputação no âmbito nacional, além de terem conquistado inúmeras premiações em concursos internacionais (OHDE, 2017).

Por ser um dos líderes na produção de cevada e malte, o Paraná tem movimentado, nos últimos anos, uma indústria cervejeira que cresce em ritmo acelerado. O estado tem, hoje, 93 fabricantes de cervejas e chopes, segundo dados da Federação das Indústrias do Estado do Paraná (Fiep) (ROSSINI, 2018).

3.3 MATÉRIAS-PRIMAS

Quatro ingredientes básicos são necessários para a produção de quaisquer tipos de cervejas sendo eles a água, malte, lúpulo e a levedura (SENAI, 2014). Parte do malte pode ser substituído por adjuntos ou por carboidratos de origem vegetal (MEGA, NEVES e ANDRADE, 2011).

3.3.1 Malte

Malte é cereais que foram submetidos a malteação, que consiste em um processo artificial e controlado da germinação do mesmo. O processo transforma internamente os grãos, deixando-os ricos em enzimas que reduzem o amido em açúcar, que será o alimento das leveduras. O principal cereal utilizado é a cevada (GAUTO e ROSA, 2013; ROSA e AFONSO, 2015).

O grão de cevada é ideal para o desenvolvimento da cerveja pois possui um sistema enzimático apropriado; sua casca fornece um meio filtrante natural, protegendo o grão durante a malteação; dão sabor e aroma característico e possui uma proporção adequada de proteínas e amido, necessários para o crescimento da levedura (SENAI, 2014; ROSA e AFONSO, 2015).

A cevada é uma gramínea do gênero *Hordeum*. O clima ideal para sua cultura é o temperado, sendo produzida nos estados do Sul no Brasil. Os grãos da cevada podem estar alinhados em duas ou seis fileiras na espiga, como

ilustrado na Figura 3. Além da diferença morfológica, a cevada de seis fileiras apresenta menor teor de amido e maior riqueza enzimática, seus grãos são menos uniformes e possuem mais cascas, se comparado com a cevada de duas fileiras. Essas características podem acarretar uma dificuldade na produção do malte ou na moagem de grãos, além de menor rendimento na mosturação. Entretanto, facilitam a etapa de filtração do mosto e permitem maior proporção de adjuntos na composição da cerveja. No Brasil é cultivada a cevada de duas fileiras (RIBEIRO et al., 2018).

Figura 3 – Tipos de Cevada: a) duas fileiras, b) seis fileiras



Fonte: Nutriagro (2014).

O processo de malteação é dividido em três etapas: maceração, germinação e secagem. A maceração é o fornecimento de água ao grão para que inicie a germinação, que é conduzida em caixas preparadas, onde a temperatura, umidade, oxigênio e gás carbônico são controlados rigorosamente. Nessa etapa, o grão de cevada apresenta uma redução nas cadeias de amido, tornando-o solúvel. No interior do grão, enzimas fundamentais para o processo cervejeiro são formadas, a endo (1-3),(1-4)-beta-glucanase. Quando o grão inicia o processo de criação de uma nova planta (presença de gêmulas), a germinação é interrompida por meio da secagem a temperaturas controladas. O processo de secagem reduz o teor de umidade sem destruir as enzimas formadas. Esse processo torna o malte estável e armazenável (SENAI, 2014; GAUTO e ROSA, 2013).

O malte pode ser caracterizado de diversas maneiras como é mostrado na Figura 4, mudando suas propriedades de acordo com a característica da cevada e das etapas do processo de malteação, tais como umidade e temperatura ou ainda com a utilização de aditivos (ZSCHOERPER, 2009).

Figura 4 – Diferentes tipos de malte



Fonte: Rocknbreja (2017).

No Brasil, segundo o Ministério da Agricultura, são comercializados quatro tipos de maltes, o tipo *Pilsen*, Munique, Caramelo, Preto ou Torrado (ZSCHOERPER, 2009).

3.3.3 Levedura

A levedura é utilizada na indústria cervejeira devido à sua capacidade de transformar os açúcares em álcool. A levedura mais utilizada na indústria cervejeira é a do gênero *Saccharomyces* (GAUTO e ROSA, 2013). Porém, existem várias cepas, subespécies de levedura, e cada uma confere um sabor diferente ao produto. Por exemplo, algumas cepas Belgas produzem aromas frutados, como bananas e cerejas, enquanto algumas cepas alemãs produzem

aroma de cravo. Uma das principais diferenças entre os estilos de cervejas é o tipo de levedura utilizada (BORTOLLI et al., 2013).

A maioria dos grandes fabricantes possuem sua própria cepa de leveduras. As leveduras se adaptam e evoluem a condições específicas de fabricação, por isso, dois fabricantes produzindo o mesmo estilo de cerveja e variedade de levedura poderão ter cultivos diferentes de levedura e consequentemente produtos finais distintos e únicos (BORTOLLI et al., 2013).

O desempenho das leveduras no processo de fermentação é influenciado e controlado por fatores como a cepa de levedura empregada, a concentração celular do inóculo (suspensão de microrganismos suficientemente concentrada para a fermentação, a qualidade e concentração de macronutrientes passíveis à fermentação, presença de íons metálicos, temperatura, pH, oxigênio dissolvido e a densidade do mosto (MEGA, NEVES e ANDRADE, 2011).

É comum classificar as leveduras com base no seu comportamento durante a fermentação (GAUTO, 2013). As leveduras de alta fermentação, chamadas de cepas *Ale*, possuem elevada atividade em temperaturas entre 20 °C e 25 °C. Após a fermentação do mosto, as leveduras flutam e o produto gerado possui cor cobre avermelhado, sabor forte e teor alcoólico entre 4% e 8%, ligeiramente ácido. Quando as leveduras são mais ativas entre temperaturas de 9 °C e 14 °C, são chamadas de baixa de fermentação, o levedo (cepas *Lager*) fica depositado no fundo do tanque de fermentação (BORTOLLI et al., 2013).

Na Microcervejaria *Offenheit*, as leveduras drenadas dos fermentadores após a fermentação serão reutilizadas em sua etapa de propagação nos inoculadores até que haja alguma contaminação indesejada ou diminuição em sua atividade da fermentação alcóolica. Assim, será necessário realizar análises das leveduras, coletadas diariamente, que implicarão ou não na inoculação de leveduras novas, as quais deverão ser adquiridas por fornecedores da região.

3.3.4 Lúpulo

Diferentes ervas foram utilizadas desde o início da elaboração da cerveja para adicionar sabores e aromas e cobrir possíveis erros causados pelos cervejeiros ou por contaminação bacteriana. Uma delas foi o lúpulo (SENAI, 2014).

O lúpulo (*Humulus lupulus L.*) é uma trepadeira perene (Figura 5), de difícil cultivo, típica de regiões frias. A lupulina, substância que realmente é utilizada na fabricação de cerveja, é encontrada na parte feminina da flor. Esta substância apresenta uma grande quantidade de resinas amargas e óleos essenciais, os quais dão o sabor amargo e o aroma (BORTOLLI et al., 2013; GAUTO e ROSA, 2013).

Figura 5 – Trepadeira de lúpulo



Fonte: Opabier (2017).

A lupulina contribui para a estabilidade da espuma da cerveja, na coagulação e formação da borra (matéria morta que deve ser retirada, pois causa aromas e sabores desagradáveis). Além disso, possui propriedades bactericidas, principalmente níveis altos de amargor. A quantidade e variedade do lúpulo é um dos principais elementos que diferenciam as cervejas (GAUTO e ROSA, 2013; SENAI, 2014).

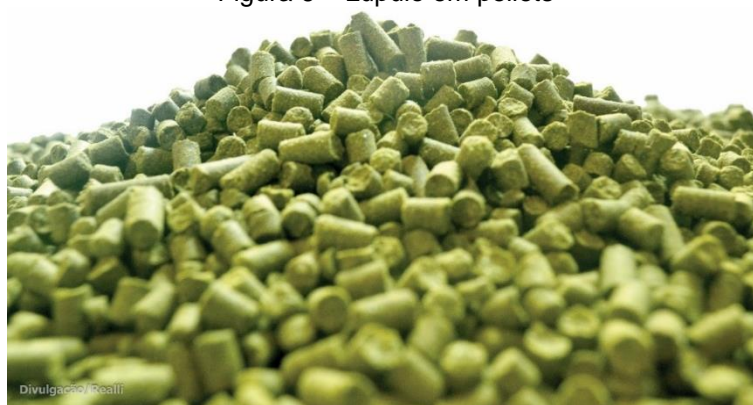
Os humulones, compostos químicos conhecidos como ácidos alfa, possuem propriedades antibióticas e bacteriostáticas e dão o amargor à cerveja. Os lupolones ou ácidos-beta contribuem para o aroma da bebida enquanto os

óleos essenciais são responsáveis pelos atributos aromáticos e contribuem também no sabor da mesma (SENAI, 2014).

Comercialmente, o lúpulo é encontrado em sua forma natural, em cones, em *pellets*, e na forma de extrato, entretanto, é geralmente utilizado em *pellets*, conforme ilustra a

Figura 6. Com isto, é possível reduzir o volume para o transporte sem modificar suas características originais (MEGA, NEVES e ANDRADE, 2011, SENAI, 2014).

Figura 6 – Lúpulo em pellets



Fonte: Revista da cerveja (2016).

Existem lúpulos com características predominantemente aromáticas, bem como, com características de amargor. Assim, a mistura dos dois formam o buquê da bebida. O lúpulo é o último ingrediente a ser dosado, é adicionado o lúpulo de amargor quando o mosto está quase pronto, e após finalizado, adiciona-se o lúpulo aromatizante (REBELLO, 2009).

3.3.2 Água

A água é o principal componente da cerveja, correspondendo entre 92 a 95% em massa do produto final (RIBEIRO et al., 2018).

Além de participar na composição da cerveja, a água também é utilizada em outras partes do processo, como na limpeza, lavagem, refrigeração, para a geração de vapor, entre outras aplicações. O consumo médio de água em

plantas de processamento é seis vezes maior que o volume de cerveja produzido, sendo muito maior em plantas menores (SENAI, 2014).

Como em qualquer bebida, a água deve cumprir alguns requisitos para que possa ser utilizada na fabricação da cerveja. A água deve estar livre de turbidez, causada por pequenas partículas em suspensão provenientes de natureza orgânica ou inorgânica como terra, argila e areia. Essas partículas devem ser removidas, pois podem servir de alimento para micro-organismos indesejados, interferindo no processo de desinfecção. O pH deve estar entre 5 e 9,5 pois é fundamental nos processos de regulação da atividade enzimática, solubilização de componentes adstringentes, variação de cor e coagulação de componentes proteicos do mosto. Além disso, é necessário um controle rigoroso que garanta que a água esteja límpida, inodora, sem sabor e livre de micro-organismos (ROSA e AFONSO, 2015).

A água encontrada na natureza possui diversos íons e sais como o cálcio, magnésio, sulfatos e nitratos em sua composição. Esses compostos presentes na água influenciam no gosto da cerveja, no processo de elaboração e operação, assim como na vida útil dos equipamentos e sistemas utilizados (SENAI, 2014).

Atualmente, devido à evolução da tecnologia em tratamento da água, é possível, teoricamente, adequar a água a qualquer composição desejada. Porém, o custo para modificar as composições salinas da mesma é muito alto, tornando a qualidade da água disponível na região, um fator determinante na escolha do local de instalação das cervejarias (GAUTO e ROSA, 2013).

3.3.5 Adjuntos

Os adjuntos são utilizados na maioria dos países para substituir parte do malte de cevada por outros cereais (GAUTO e ROSA, 2013). São carboidratos não malteados que complementam o malte da cevada (ROSA e AFONSO, 2015). Geralmente, são baseados em milho desgerminado ou arroz, porém, podem ser utilizadas outras fontes de amido, como o trigo. Podem estar em estado sólido ou líquido (SENAI, 2014).

A utilização de adjuntos traz alguns benefícios, como o seu menor custo comparado ao malte, aumento da capacidade da brassagem, e a produção de cervejas mais claras (ROSA e AFONSO, 2015). Produz-se uma bebida mais leve e suave (GAUTO e ROSA, 2013).

Existem dois tipos de adjuntos, os que possuem alta concentração de monossacarídeos e por isso não precisam de um tratamento e são adicionados diretamente na fervura, e os que possuem alta concentração de amido e por isso passam por um tratamento na sala de brassagem. As enzimas hidrolisam as cadeias de amido, transformando-as em carboidratos simples (ROSA e AFONSO, 2015).

Os adjuntos alteram o sabor da cerveja, e o uso de mais de 20%, dá a cerveja um caráter diferente daquela produzida somente com malte. Seu uso em excesso pode afetar a nutrição da levedura e o processo de fermentação, pois altas concentrações de açúcares simples podem causar a finalização precoce da fermentação, porque podem fazer com que a levedura deixe de absorver outros tipos de açúcares (SENAI, 2014).

3.4 TIPOS E ESTILOS DE CERVEJAS

A mais básica categorização de estilos de cerveja é definida pelo tipo de levedura utilizada, sendo que leveduras de alta fermentação classificam os estilos **Ales** e as leveduras de baixa fermentação classificam os estilos **Lagers**. Existe ainda uma terceira classificação, muitas vezes chamada de **fermentação espontânea**, a qual utiliza-se levedura selvagem, termo utilizado para denominação de outras leveduras que não a *Saccharomyces*.

3.4.1 Cervejas de Baixa Fermentação – Lager

Segundo Oetterer, Regitando-d'Arce e Spoto (2006) o processo fermentativo utilizado na produção das cervejas tipo Lager, mais demorado que o processo para produção das cervejas do tipo Ale, foi inicialmente desenvolvido por monges da região da Bavária, na Alemanha, em meados do século XIX.

Ainda segundo os autores, as cervejas do tipo *Lager* são as mais consumidas em todo o mundo e as mais produzidas no Brasil, uma vez que as características desse estilo de cerveja são mais adequadas ao clima brasileiro.

A cerveja do tipo *Lager* é um estilo básico de cerveja fermentada pela levedura *Saccharomyces pastorianus*, a qual possui atividade metabólica ótima entre 7° a 15°C (FILHO, 2010). Semelhante à Família *Ale*, esse estilo possui um teor alcóolico variado, podendo atingir de 2,4 a 13,3% (v/v) dependendo do seu estilo. Essa família possui um sabor bastante simplificado quando comparado com a *Ale* que possui um sabor mais frutado. Isso é decorrente das baixas temperaturas durante a fermentação, pois nestas condições, a levedura produz menos compostos aromáticos como ésteres e fenóis, que são compostos orgânicos associados aos sabores mais frutados (BLAKE, 2015). Além disso, o tempo de fermentação desse estilo de cerveja é maior que para as Ales, podendo levar de 7 a 15 dias para ser fermentada (OETTERER, REGITANDO-D'ARCE e SPOTO, 2006).

Alguns exemplos dos sub estilos encontrados dentro da Família *Lager* são:

- a) *Pilsener/Pilsen*: A cerveja *Pilsen* original, conhecida como *Pilsen Urquell* no mercado internacional e como *Plzensky Pkazdroj* na República Tcheca, é produzida com malte próprio e processo de decocção na produção do mosto. Utiliza lúpulo da região da Bohemia na forma de inflorescência, sendo que a fermentação e a maturação transcorrem em cubas de carvalho. No Brasil e no continente americano, é o tipo de cerveja mais consumido.
- b) *Bock*: Na sua fabricação emprega-se levedura de baixa fermentação e um longo período de maturação. A *Bock* é uma cerveja forte, apresenta teor de extrato original superior a 16% (m/m) e não menos que 6,7% de álcool em volume. Tradicionalmente é uma cerveja escura (*dunkel*), apesar de atualmente existirem muitas cervejas *Bock* claras (*hell*). Esse tipo de cerveja é comumente usado como bebida “quente”, e no Brasil é consumida como cerveja de inverno.

- c) *Dark Lager*: As cervejas do tipo *Dark Lager* apresentam duas variações, a *European Dark Lager* e a *American Dark Lager*. De modo geral, as *Dark Lagers* apresentam coloração castanho claro a castanho escuro e a aparência deve ser brilhante. Nas *European Dark Lagers*, o caráter de malte é de baixo a médio, com aromas e sabores de chocolate, assado e malte evidentes com percentual de álcool em volume variando entre 3,8% e 4,2%. Já as *American Dark Lagers* apresentam baixo aroma de malte e o *flavor* pode incluir pequenos níveis de caramelo com porcentagem de álcool em volume variando de 3,2% a 4,4%.

3.4.2 Cervejas de Alta Fermentação – *Ale*

Estilo básico de cerveja fermentada pela levedura *Saccharomyces Cerevisae*, a qual possui atividade metabólica ótima entre 18 °C a 22 °C (FILHO, 2010). Apresenta teor alcóolico variado, podendo atingir de 2,4 a 12% dependendo do seu estilo. Entretanto, Oetterer, Regitando-d'Arce e Spoto (2006) afirmam que as cervejas do tipo *Ale* normalmente possuem graduação alcoólica superior a 5%. Em geral, possuem características aromáticas frutadas, apresentando os sabores de malte e lúpulo mais nítidos (BLAKE, 2015). O tempo de fermentação desse estilo de cerveja pode levar de 3 a 7 dias (OETTERER, REGITANDO-D'ARCE e SPOTO, 2006).

Alguns exemplos dos sub estilos encontrados dentro da família *Ale* são:

- a) *India Pale Ale*: Estilo que descreve ainda uma ampla variedade de cerveja como a *English IPA*, *American IPA* e *Imperial IPA*. São extremamente aromáticas, refrescantes, amargas, cor dourada a acobreado e apresentando uma faixa de teor alcóolico de 5,5 a 7,5%. Esse estilo de cerveja faz um ótimo contraponto à indústria de cerveja em massa, a qual geralmente produzem bebidas neutras, leves e cores claras sem quase nenhum aroma.
- b) *American Ale*: Estilo que apresenta variedades como a *American Pale Ale*, *American Amber Ale*, *American Brown Ale*. Possui um

forte aroma floral a notas de caramelo, característica cítrica, condimentado, cor dourada ao marrom e apresenta uma faixa de teor alcoólico de 4 a 7%.

- c) *English Pale Ale*: Estilo que apresenta variedades como a *Ordinary Bitter*, *Premium Bitter* e *Strong Bitter*. Possui um amargor médio e aroma acentuado do malte tanto no sabor quanto no aroma, sua cor varia entre o dourado e o acobreado e o caramelo pode ser ligeiramente perceptível no aroma e apresenta uma faixa de teor alcoólico de 3 a 5,8%.

3.5 LEGISLAÇÃO

No Brasil as normas relativas às bebidas são em geral regidas pela Lei nº 8918, de 14 de julho de 1994 regulamentada pelo Decreto nº 6871, de 4 de junho de 2009, exceto para vinho e derivado de uva que são regidos pela Lei nº 7678, de novembro de 1988. Marcusso e Muller (2017) afirmam que compete ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, a regulação, inspeção e fiscalização de estabelecimentos produtores das bebidas em território nacional.

O Ministério da Agricultura define a cerveja no Art. 36 como: “Cerveja é a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo”.

Um ponto importante colocado no regulamento da Lei de nº 8918, de 14 de julho de 1994 diz respeito a possibilidade de substituição do malte de cevada e do lúpulo pelos seus respectivos extratos. Segundo Júnior et al. (2014), a legislação brasileira permite que parte do malte seja substituída por outras fontes de carboidratos fermentáveis, denominados adjuntos cervejeiros, em uma proporção de até 45% em peso. Os autores afirmam ainda que a lei considera adjuntos cervejeiros os cereais aptos ao consumo humano e os amidos e açúcares de origem vegetal, sendo o milho e o arroz os mais empregados pelas cervejarias brasileiras.

3.6 ANÁLISE DE MERCADO

3.6.1 Cenário Cervejeiro Mundial, Nacional e Regional do Paraná

O mercado cervejeiro, em termos continentais nos anos de 2015 e 2016, ficou concentrado principalmente na Ásia, representando 33,1% da produção mundial, seguida da Europa, América do Sul e Central, América do Norte, África, Oceania e Oriente Médio como ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Produção global de cerveja por continente em 2015 e 2016

Região	Produção em 2015 (kL)	Produção em 2016 (kL)	Mercado global (%)
Ásia	64.141.500	63.154.100	33,1%
Europa	51.830.800	52.097.100	27,3%
América do Norte (EUA e Canadá)	24.184.200	24.035.300	12,6%
América do Sul e Central	34.426.200	34.039.300	17,8%
África	14.284.900	14.504.100	7,6%
Oriente Médio	1.087.000	1.059.200	0,6%
Oceania	2.036.700	2.029.600	1,1%
Total	191.991.300	190.918.700	100,0%

Fonte: Kirin Beer University (2017).

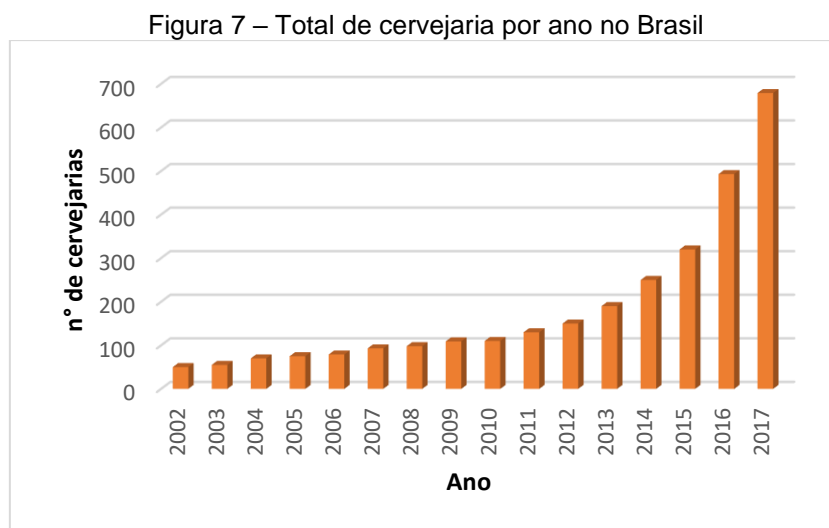
Na última década, a produção de cerveja no Brasil cresceu de 8,2 bilhões para 13,4 bilhões de litros anuais, pulando de quinto para o terceiro maior produtor mundial de cerveja em 10 anos, estando atrás apenas dos Estados Unidos e China, superando grandes mercados como a Rússia e a Alemanha. A Tabela 2 apresenta a distribuição da produção mundial de cerveja (BARTH e SOHN, 2017).

Tabela 2 – Produção de cerveja por país nos anos de 2015 e 2016

País	Produção em 2015 (hL)	Produção em 2016 (hL)
China	471572	460000
Estados Unidos	224122	221353
Brasil	138575	133346
México	97100	105000
Alemanha	95623	94957
Rússia	78200	78200

Fonte: (BARTH HAAS GROUP, 2017).

O ano de 2017 chegou ao seu final com a consolidação do crescimento do mercado cervejeiro nacional. Foram no total 679 cervejarias instaladas legalmente no Brasil. Os números de cervejarias por ano são ilustrados na Figura 7 (MAPA, 2017).



Fonte: Adaptado do MAPA (2017).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (CERVBRASIL) em 2017 no Brasil, o mercado cervejeiro foi responsável por 1,6% do PIB nacional, movimentando R\$ 21 bilhões de impostos no ano, gerando 2,7 milhões de empregos, faturando R\$ 107 bilhões no ano, sendo que cada R\$ 1,00 investido no setor, gera R\$ 2,50 na economia.

Segundo o MAPA (2017), a distribuição geográfica dos estabelecimentos se concentra principalmente na região Sul e Sudeste, sendo que o maior número de cervejarias está presente no estado do Rio Grande do Sul, uma vez que a cultura do consumo e produção da cerveja está atrelada aos primeiros colonos alemães que chegaram no estado (SANTOS, 2004), seguido por São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Paraná e Rio de Janeiro. A Tabela 3 sintetiza os estados brasileiros com o maior número de cervejarias.

Tabela 3 – Cervejaria por estado brasileiro (nº total)

Região	Número de cervejarias
Rio Grande do Sul	142
São Paulo	124
Minas Gerais	87
Santa Catarina	78
Paraná	67
Rio de Janeiro	57
Goiás	21
Pernambuco	17
Espírito Santo	11
Mato Grosso	11

Fonte: MAPA (2017).

Segundo o MAPA (2017), cervejarias consideradas como “ciganas”, apesar de se apresentarem como empresas legalmente constituídas, não possuem uma estrutura produtiva própria, portanto, não são contabilizadas no registro de estabelecimentos, assim se faz presente a dificuldade de levantar dados a respeito dessas microcervejarias.

Segundo SEBRAE (2017) as microcervejarias se caracterizam, na maior parte das vezes, pela produção de pequenas quantidades de cerveja em relação as cervejarias tradicionais (produzindo até 200 mil litros por mês), desenvolvidas com ingredientes especiais e possuindo maior quantidade de malte por hectolitro de cerveja. Por conta disso, a cerveja desse tipo de negócio é chamada na maioria das vezes de “cervejas *premium*” ou “cervejas especiais” e atendem aos consumidores que buscam bebidas diferenciadas e de maior qualidade.

No Paraná, segundo um levantamento realizado dentro do projeto de potencialização das cervejarias artesanais do SEBRAE (PR) entre setembro e dezembro de 2017, dentre 65 empresas no Paraná, a maior densidade de fabricantes esteve em Curitiba e região metropolitana, com 26 empresas, e também, nos Campos Gerais, com 11 fábricas. Há polos cervejeiros também no Norte, Sul e Oeste do estado, apresentando assim relevância e tradição no ramo.

Segundo o mesmo estudo, dentre os estilos mais produzidos estão a IPA (*Indian Pale Ale*) (73,8%), *Pilsen* (64,6%), *Weizen* (58,5%), APA (*American Pale Ale*) (44,6%) e a *Witbier* (32,3%). A capacidade de produção de 40% das

empresas era de até 10.000 litros por mês. Outros 38% afirmaram ter potencial entre 10.000 a 50.000 litros, mensalmente.

3.6.2 Região de Implantação da Indústria e Localização

A produção brasileira de cevada, para fins cervejeiros, está concentrada em regiões espalhadas pelos três estados da Região Sul do Brasil (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná) como ilustrado na Figura 8 e quantificado na Tabela 4. Clima, genética e manejo são fatores determinantes na produção de cevada para se obter qualidade no processo de malteação, particularmente em relação ao poder germinativo, tamanho do grão e teor de proteínas e à sanidade de grãos.

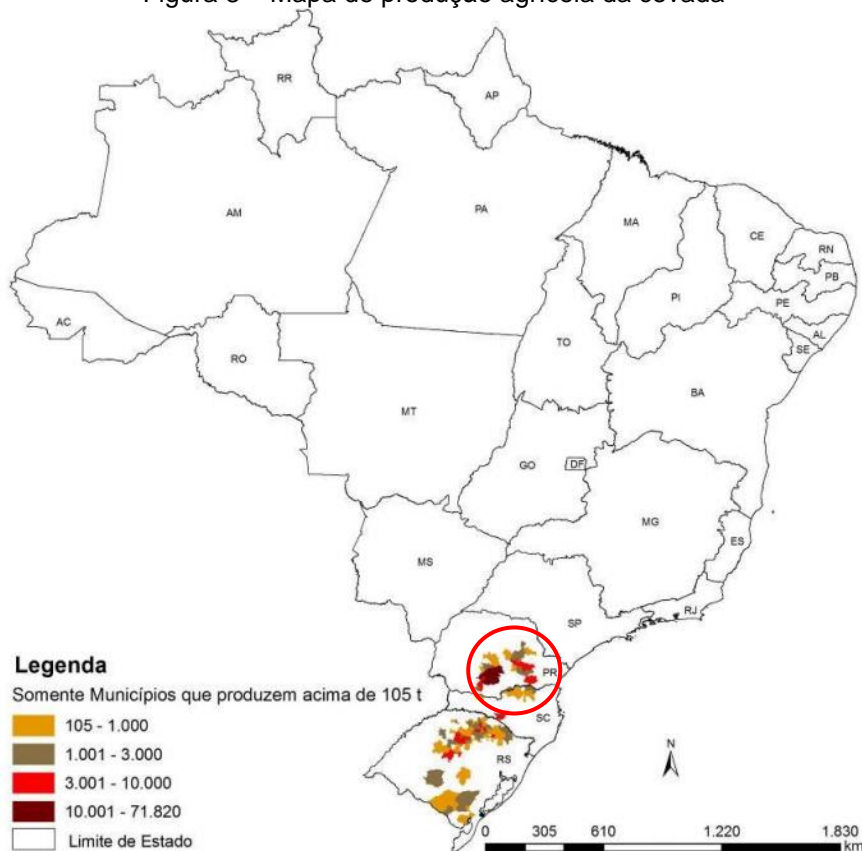
Tabela 4 – Área e produção da cevada na região Sul em 2017

Região	Área (mil ha)	Produção (mil t)
Paraná	165,7	50,2
Santa Catarina	2	1,2
Rio Grande do Sul	114,3	57

Fonte: CONAB (2018).

Em relação à área de plantio e produção da cevada, o Paraná e especificamente a microrregião de Guarapuava se destacam em relação a outros municípios, conforme exibido na Figura 8.

Figura 8 – Mapa de produção agrícola da cevada



Fonte: CONAB (2018).

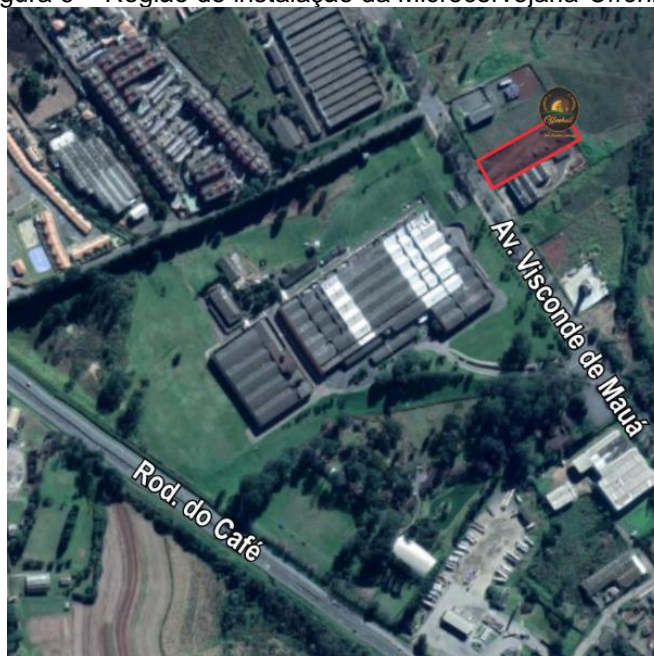
Atualmente, no Brasil, existem quatro indústrias que produzem o malte a partir da cevada (Maltarias). A fim de se implantar a Microcervejaria *Offenheit* em um local estratégico que seja o mais viável possível, a cidade de Ponta Grossa (PR) apresenta forte potencial para sediar a cervejaria. Ponta Grossa se localiza próximo de cidades destaques em relação à produção de cevada e maltarias, além de seu saneamento básico ser referência ocupando a 14ª posição em um *ranking* de saneamento básico do país (TRATA BRASIL, 2018).

Ponta Grossa, conhecida como a “princesa dos Campos”, devido à sua localização nos Campos Gerais do Paraná, tem se configurado como uma opção adequada para o desenvolvimento industrial e para receber investimentos de grande porte. Segundo Sartori (2017), desde 2013, foram viabilizadas instalações de diversas indústrias, dentre elas as grandes cervejeiras, além de outras de menor porte como as microcervejarias, com isso se tornando o maior parque industrial do interior do estado.

A posição geográfica estratégica garante a proximidade para o transporte para os portos de Paranaguá ou até mesmo Santos, além de países vizinhos, tais como Argentina e Paraguai. A região também conta com rodovias duplicadas como BR-376, que corta a cidade ligando Curitiba ao Norte Pioneiro do estado bem como a BR-277, PR- 151 e a Transbrasiliana que dão acesso ao porto de Paranaguá, Regiões do Oeste e Sudoeste do Paraná, caminhos para o Paraguai, Argentina e ligações para o estado de São Paulo e Santa Catarina (FUNDAÇÃO MUNICIPAL DE TURISMO DE PONTA GROSSA, 2017). Como a distribuição será regional devido ao produto ser de gênero alimentício, a qualidade da malha rodoviária é essencial para o custo da logística, uma vez que o tempo de transporte é reduzido.

A fim de atender a demanda de espaço do layout industrial projetado e da localização estratégica em relação à logística, optou-se pela instalação da fábrica na região sul de Ponta Grossa, a 600 m da Rodovia do Café, 3 km do Rio Tibagi e 4 km do Núcleo Industrial de Ponta Grossa.

Figura 9 – Região de instalação da Microcervejaria *Offenheit*



Fonte: Google Maps (2019).

Conforme a Figura 9, o terreno apresenta, aproximadamente, 4500 m², com possibilidade de expansão.

3.6.3 Mercado Consumidor

Procurando atender as principais cidades metropolitanas da região, definiu-se um raio de 300 km a partir da cidade sede da indústria, Ponta Grossa (Figura 10), para atingir o mercado consumidor.

Figura 10 – Raio de atividade da cervejaria



Fonte: IBGE (2004).

A fim de se analisar o mercado consumidor da região, definiu-se as principais cidades, listadas na Tabela 5, que atendem a esse raio já estabelecido, e levantou-se os dados do número de habitantes.

Tabela 5 – Estimativa populacional das cidades com mais de 100.000 de habitantes

Cidade	População
Ponta Grossa	344.332
Curitiba	1.908.359
Maringá	406.693
Londrina	558.439
Apucarana	132.691
Paranaguá	152.975
Blumenau	348.513
Colombo	237.402
São José dos Pinhás	307.530
Guarapuava	180.364
Itajaí	212.615
Joinville	577.077
Total	5.366.990

Fonte: IBGE (2017).

Segundo a Kirin Beer University (2015) o consumo anual per capita de cerveja no Brasil em 2015 era de 67,7 L, deixando o Brasil na 17ª posição no *ranking* mundial. O consumo é considerado baixo, tendo em vista o consumo anual per capita de países como República Tcheca, República de Seicheles e Alemanha, que em 2015 ocupavam, respectivamente, o 1º, 2º e 3º lugares, com um consumo de 142,4, 114 e 104 L, respectivamente, como exposto na Tabela 6.

Tabela 6 – Ranking de consumo per-capita de cerveja em 2015

Ranking	País	Consumo per-capita (L)
1	República Tcheca	142,4
2	Seicheles	114,6
3	Alemanha	104,7
4	Áustria	104,7
5	Namíbia	102,7
17	Brasil	67,7

Fonte: Adaptado de Kirin Beer University (2016).

A fim de se estabelecer a produção anual da cervejaria, considerou-se o número de habitantes do raio de implantação da cidade sede e o consumo de cerveja per capita do brasileiro. Realizando as devidas considerações de que a cultura de consumo de cervejas especiais ainda não está em seu auge e a presença de concorrentes, fará com que a produção anual de cerveja realizada

pela Microcervejaria *Offenheit* seja de 100800 L/mês e divididas entre os estilos *Pilsen*, *Weizen* e *IPA*, uma vez que seus consumos estão entre os mais difundidos.

3.6.4 Perspectiva do cenário cervejeiro

Segundo Barth-Haas Group (2010), o consumo per-capita de cerveja no Brasil, no ano de 2008, era de 57 L e a produção de 107.000 hL. Assim, analisando a Tabela 6, verifica-se que em 10 anos, o consumo de cerveja aumentou cerca de 15% e pela Tabela 2, que a produção de cerveja nacional aumentou cerca de 19%.

Assim, considera-se que a perspectiva do consumo de cerveja juntamente com a disseminação da cultura do consumo de cervejas especiais seja de um mercado promissor para os próximos anos.

3.7 JUSTIFICATIVA

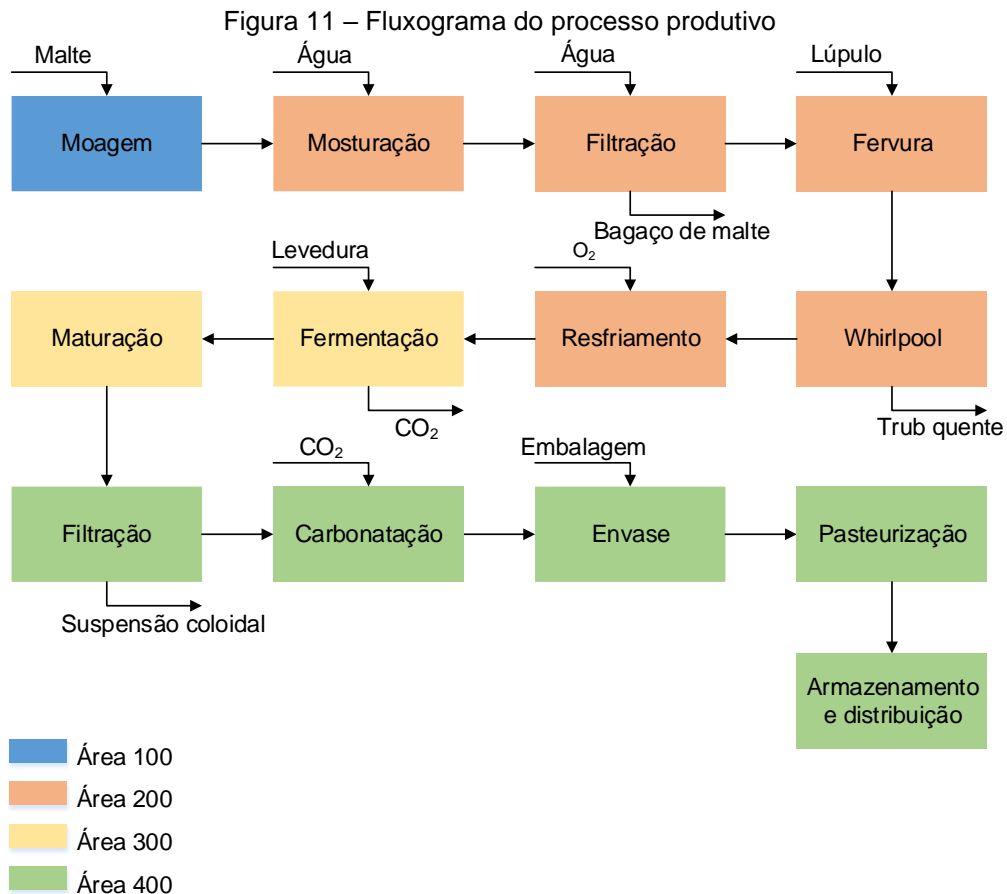
Atualmente o setor cervejeiro é responsável por 1,6% do produto interno bruto (PIB) brasileiro, além de garantir empregos e oportunidades por todo país, uma vez que sua cadeia produtiva se estende desde o agronegócio até o pequeno varejo, passando pelos mercados, embalagens, logística, maquinário, construção civil, entre outros (CERVBRASIL, 2018).

Em dez anos, o Brasil presenciou um crescimento de 37,7% no número de cervejarias segundo o MAPA (2017). O crescimento destacado é impulsionado por diversos fatores entre eles o crescimento populacional, popularização do consumo de cerveja, a disseminação e “gourmetização” desse produto, uma vez que há uma infinidade de estilos e sabores especiais os quais trazem qualidade e novas experiências ao paladar do público.

Assim sendo, visando combinar a demanda crescente do produto e atender o crescente público que se atenta à qualidade atrelada ao aroma, cor, encorpamento e outros atributos de uma cerveja, surgiu a proposta de criação da *Offenheit*.

4 FLUXOGRAMA E PROCESS FLOW DIAGRAM

Na Figura 11 é apresentada a descrição geral do processo de fabricação da cerveja por meio de um diagrama de blocos.



Fonte: Autoria própria (2018).

Ressalta-se, entretanto, que a segunda filtração (após a maturação) varia de acordo com o estilo de cerveja produzido, podendo ser desconsiderada em alguns casos, como para *Session IPA* e a *Weizen*.

O diagrama de fluxo de processo (*Process Flow Diagram*, PFD), segundo Turton et al. (2012), representa um avanço em termos do número de informações em relação ao diagrama de blocos e contém a maior parte dos dados de engenharia química necessários para o projeto de um processo químico.

O diagrama de fluxo de processo da Microcervejaria *Offenheit* excedeu a dimensão padrão da folha, assim sendo, optou-se por alojar o diagrama de

processo na nuvem para que não haja perda de qualidade em relação ao arquivo originalmente desenvolvido. O diagrama está disponível no link abaixo: <https://drive.google.com/open?id=1WtCZq2D9j0hMWj4VOhIFWRUHe115HC2B>.

5. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

5.1 ÁREA 100: MOAGEM

O termo moagem neste caso não deve ser entendido como “redução a pó”, mas sim como esmagamento. Na moagem do malte, o grão deve ter a sua casca rasgada longitudinalmente, para deixar exposto o endosperma amiláceo – fonte principal de extrato, do amido, e de outros carboidratos e proteínas (SENAI, 2014) – o qual será triturado para facilitar o ataque das enzimas durante a mosturação (AQUARONE et al., 2001). Segundo Filho (2010), a etapa de moagem tem influência direta sobre a rapidez das transformações físico-químicas, o rendimento, a clarificação e a qualidade do produto final.

A fase de moagem é um processo no qual é iniciada a transformação do malte para ser convertido em cerveja (SENAI, 2014). A moagem do malte tem como objetivos:

- a) Romper a capa externa da casca (principalmente pelo eixo longitudinal) e separar a casca do endosperma;
- b) aplastar, desintegrar o endosperma para que fique exposto à degradação enzimática;
- c) criar as frações adequadas de grão moído para aperfeiçoar os processos de maceração e filtração.

A moagem ideal seria aquela em que:

- a) Todos os grãos fossem moídos;
- b) a maioria das cascas fosse partida de extremo a extremo, sem deixar partículas de endosperma aderidas;
- c) o endosperma fosse reduzido a um tamanho uniforme de partícula;
- d) uma quantidade mínima de pó branco (farinha) fosse formada.

A moagem é uma situação de compromisso entre agentes antagônicos, já que a casca e o endosperma requerem objetivos de moagem distintos. Por um lado, a casca deve permanecer intacta, de forma a servir como meio de filtração e evitar a extração de polifenóis que deixam sabores desagradáveis na cerveja e, por outro, o endosperma deve ser finamente moído para facilitar a hidrólise e melhorar o rendimento (SENAI, 2014).

Segundo esses compromissos, pode-se optar por uma moagem fina, que permite obter maior quantidade de açúcares fermentescíveis, maior atenuação, maior quantidade de álcool e, em consequência, maior rendimento. Pode-se também optar por uma moagem grossa, que proporciona melhor filtração (menor tempo de filtração), ainda que com um rendimento mais baixo (SENAI, 2014).

Segundo Aquarone et al. (2001), no processo de moagem são empregados moinhos de rolo ou de martelo, sendo o tipo de moinho utilizado função do grau de modificação do malte, das características dos recipientes de mosturação e do método de filtração do mosto. Os mesmos autores afirmam ainda que os moinhos de rolos são utilizados quando se trabalha com grãos de textura mole, os quais ocorrem em maltes muito modificados ou que tenham passado por maceração prévia.

A moagem pode ser efetuada por diferentes métodos, os quais podem ser classificados em:

- a) Moagem seca ou moagem seca acondicionada;
- b) moagem úmida, moagem úmida com imersão ou moagem úmida acondicionada.

Mallet (2014) afirma que a moagem a seco aumenta o rendimento da produção do mosto cervejeiro, no entanto, pode dificultar a clarificação do mosto. A moagem seca é, geralmente, utilizada pelos cervejeiros artesanais e pela maioria das fábricas industriais (SENAI, 2014).

Na moagem úmida o malte é umidificado com água ou vapor. Aquarone et al. (2001) afirmam que a umidificação do malte torna sua casca mais maleável, mais íntegra e com pouquíssimo endosperma aderido a ela ao final do processo de moagem. Os mesmos autores afirmam ainda que a moagem a úmido resulta

em ganho de velocidade durante a filtração do mosto, visto que as cascas inteiras formam um meio de filtração mais poroso. Geralmente, a moagem úmida é usada para obter vantagens como redução de gastos de energia, eliminação de poeira e redução de danos aos moinhos (MALLET, 2014; CASSOLA, MORAES e ALBERTIN, 2006).

A Microcervejaria *Offenheit* fará a moagem a seco e contará com um moinho de 2 (dois) rolos, tendo em vista o fato de que os moinhos de dois rolos são mais simples, mais econômicos, mais fáceis de operar e ajustar e, segundo SENAI (2014), são os mais empregados nas cervejarias de pequeno porte.

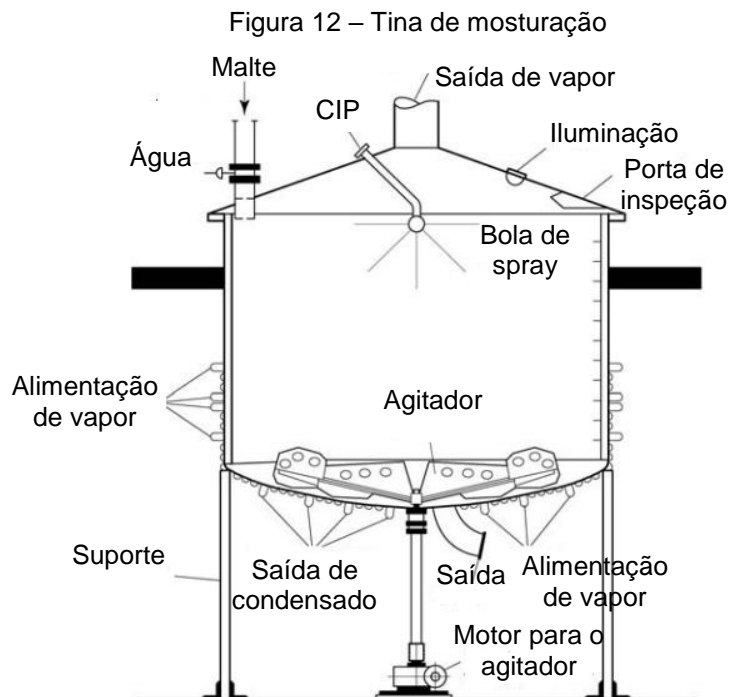
5.2 ÁREA 200: BRASSAGEM

5.2.1 Mosturação

Na indústria cervejeira uma das etapas do processo produtivo diz respeito à produção do mosto cervejeiro a partir da conversão do amido em açúcares por intermédio da ação de enzimas do próprio malte.

Segundo Aquarone et al. (2001), o processo de transformação das matérias-primas cervejeiras (água, malte, lúpulo e adjunto) em mosto, é conhecido como mosturação ou brassagem e tem por finalidade recuperar, no mosto, a maior quantidade possível de extrato a partir de seu malte ou da mistura de malte e adjuntos. Segundo o SENAI (2014), o objetivo é conseguir um mosto composto por água (aproximadamente 85%) e extrato.

Segundo Oetterer, Regitando-d'Arce e Spoto (2006), o malte moído é misturado com água em uma tina de mosturação e gradativamente aquecido até 75°C para que as diversas enzimas do malte entrem em ação nas respectivas temperaturas ótimas de ativação. A Figura 12 apresenta uma tina de mosturação.



Fonte: BRIGGS et al., 2004.

A mistura do malte moído juntamente com água em temperatura controlada, de acordo com um programa previamente estabelecido, tem por objetivo solubilizar as substâncias do malte diretamente solúveis em água e, com o auxílio das enzimas, solubilizar as substâncias insolúveis – as enzimas ativadas durante a germinação do malte solubilizam componentes ainda insolubilizados do malte e modificam a estrutura química de alguns componentes solúveis, formando o “extrato”, solução chamada de “mosto” (OETTERER, REGITANDO-D’ARCE e SPOTO, 2006) – promovendo a gomificação e posterior hidrólise do amido a açúcares fermentescíveis (FILHO, 2010).

Assim como a temperatura, o pH afeta diretamente o funcionamento das enzimas. Como estruturas proteicas complexas, as enzimas possuem áreas polarizadas (carregadas). Essa polarização determina muito de sua forma e pode ser uma parte importante de como elas funcionam. As características iônicas da solução em que residem terão um efeito importante sobre sua polarização, afetando, portanto, sua capacidade de manter uma forma e função. Na mosturação, normalmente trabalha-se em intervalos de pH de 5 a 5,7 (SAMMARTINO, 2015), faixa ideal para o funcionamento das α -amilases – Saini, Singh e Dahiya (2017) obtiveram um pH ótimo de 5,5 para a atividade enzimática

das α -amilases – e das β -amilases que segundo Eyster (1957) possui pH ótimo para a atividade enzimática de aproximadamente 5.

Para a Microcervejaria *Offenheit*, adotou-se um sistema de controle de pH automatizado no tanque de armazenamento de água (T-201). Para regular o pH dessa água será utilizado ácido (Ácido fosfórico) e sal básico (Carbonato de cálcio) de grau alimentício.

Aquarone et al. (2001) afirmam que uma pequena parte do extrato do mosto (10-15%) é constituída por substâncias solúveis em água e, o restante (85-90%) é formado por produtos de degradação de macromoléculas pelas enzimas do malte. Ainda segundo os mesmos autores, as amilases convertem o amido em açúcares fermentescíveis (principalmente maltose) e dextrina não fermentável, enquanto as proteases produzem peptídeos e aminoácidos pela digestão das proteínas ao passo que as fosfatases liberam íons fosfato orgânicos para o mosto.

Os amidos são degradados em três etapas: gelatinização, liquefação e sacarificação. A gelatinização é a etapa em que as moléculas de amido são repentinamente quebradas, permitindo que sejam, desta forma, mais facilmente convertidas pelas enzimas do tipo amilase (BUSCH, 2015). Na fase denominada liquefação, há absorção de água pelo amido, e o processo é conduzido enzimaticamente pela α -amilase. Este processo se torna mais lento caso o amido não esteja gelatinizado, desta forma, uma liquefação eficiente não pode ocorrer até que haja a gelatinização (DE CLERK, 1957). No processo de sacarificação há a formação de açúcares que serão utilizados durante a fermentação (ABOUMRAD E BARCELLOS, 2015).

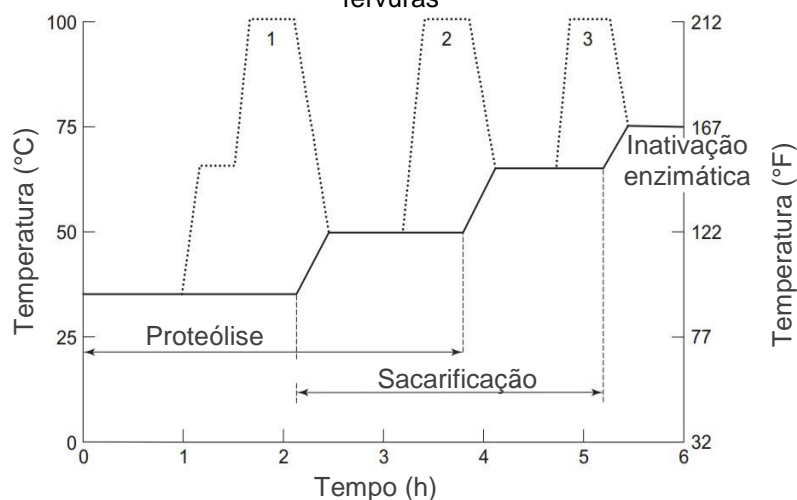
Segundo Oetterer, Regitano-d'Arce e Spoto (2006), o amido, ao ser atacado pela α -amilase e pela β -amilase, terá suas ligações α -1,4 rompidas, originando maltoses, que serão degradadas à glicose pela ação da maltase. Dextrinas com ligações α -1,6 permanecerão sem se degradar e propiciarão “corpo” à cerveja, além de colaborarem no sabor e no aroma da bebida.

Para a produção do mosto existem tradicionalmente dois processos, o processo de mosturação via decocção e o processo de mosturação via infusão.

a) MOSTURAÇÃO VIA PROCESSO DE DECOCCÃO

O processo de decoção é geralmente utilizado quando há adjunto na formulação da cerveja. Nesse caso, o malte moído é misturado com água quente no interior de um mosturador ou tina de mosturação, resultando numa mistura que permanece em repouso a 40°C por duas horas. Ao final da primeira hora, um terço (ou um quarto) da mistura é enviada para uma caldeira, onde será fervida por aproximadamente 30 minutos. O material fervido retorna ao mosturador, elevando a temperatura da mistura para 52-54°C, temperatura ótima para a atividade das enzimas proteolíticas. A operação é repetida mais duas vezes, fazendo a temperatura da mistura atingir 65 °C, temperatura ótima para a atividade das amilases, posteriormente filtrado na faixa de temperatura de 73 °C a 76 °C, temperatura ótima para a filtração. O processo descrito é denominado de três fervuras, mas há a possibilidade de se trabalhar com duas ou até mesmo uma fervura (AQUARONE et al., 2001). A Figura 13 apresenta os degraus de temperatura descritos.

Figura 13 – Programação de tempo e temperatura na mosturação por decoção de três fervuras



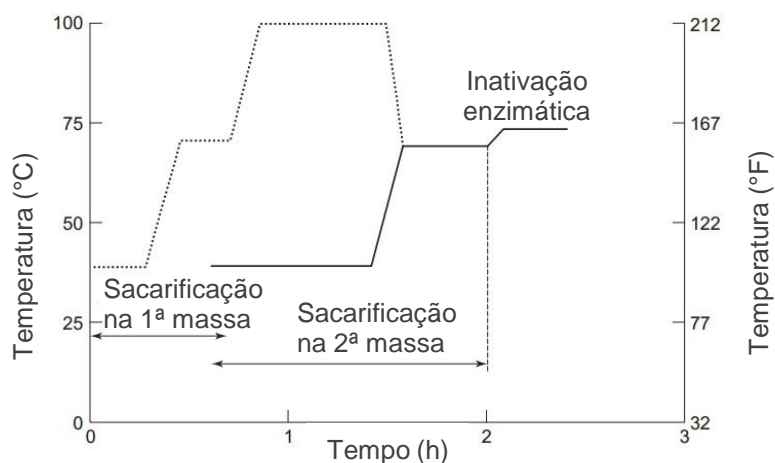
Fonte: Adaptado de Briggs et al., 2004.

b) MOSTURAÇÃO POR INFUSÃO

O processo de mosturação por infusão consiste em trabalhar com todo o grão e a água em uma única mistura e realizar as variações de tempo e temperatura de forma conjunta, com toda a massa (SENAI, 2014).

Na tina de mosturação, o malte moído é misturado com água (38-50°C) e deixado em maceração por até 30 minutos. Posteriormente eleva-se a temperatura na taxa de 1 °C/min até 70-73 °C. O mosto permanece na temperatura de sacarificação por determinado tempo e é posteriormente aquecido até 75-77 °C e nesta temperatura enviado para filtração. Ressalta-se que o tempo gasto na mistura, bem como a temperatura final (temperatura de sacarificação ou conversão) são fatores determinantes no aumento ou diminuição da proporção de maltose e dextrina no mosto, isto é, a sua fermentabilidade (AQUARONE et al., 2001). Convém destacar também que a rampa de temperatura utilizada depende do tipo de cerveja que se deseja produzir, conforme ratificado em pesquisas de campo. A Figura 14 exhibe as rampas de temperatura para um processo de mosturação por infusão.

Figura 14 – Programa de tempo e temperatura na mosturação por infusão



Fonte: Adaptado de Briggs et al., 2004.

Segundo Reinold (1997), os processos de mosturação via infusão são mais rápidos, mais econômicos e produzem cervejas com coloração mais clara. Briggs et al. (2004) afirmam que o processo de mosturação por infusão está sendo mais amplamente utilizado tanto na produção das cervejas do tipo *Ale* quanto do tipo *Lager*.

Filho (2010) destaca que a escolha do tipo de mosturação ou programa de tempo/temperatura a ser aplicado durante a atuação enzimática vai depender da composição e do tipo de cerveja desejado, agregando, por exemplo,

conhecimentos do quanto de açúcares fermentescíveis deseja-se ou do quanto de substâncias proteicas de alto peso molecular almeja-se para o “corpo” da cerveja e consistência da espuma.

A Microcervejaria *Offenheit* fará uso do método de mosturação via infusão, tendo em vista as vantagens anteriormente destacadas do emprego da infusão em comparação com ao método de decocção.

5.2.2 Filtração (Trub grosso)

Após a mosturação, o mosto segue para a filtração, a fim de se separar o extrato de malte das cascas do malte e de outros sólidos solúveis (SENAI, 2014). A filtração ocorre em um recipiente denominado tina de filtração, sendo feita em duas etapas: inicialmente, o líquido é filtrado pela própria torta de sólidos que foi decantada no fundo do tanque, ou seja, a própria casca do malte é utilizada como meio filtrante. Após essa operação, a camada filtrante é lavada com uma certa quantidade de água quente, a cerca de 75 - 78 °C, com objetivo de aumentar a extração de açúcar e elevar o rendimento do processo (FILHO, 2010).

Além da casca do malte, materiais filtrantes podem ser adicionados como auxiliares de filtração. Os mais utilizados são: terra diatomácea, que consiste de esqueletos fossilizados de algas pré-históricas; perlitas, que consistem em uma mistura de silicato de alumínio e sais; celulose, componente das membranas celulares dos vegetais; e carvão ativado, que provém da queima de madeira, apresentando boa superfície de contato e porosidade (REINOLD, 1997).

Existem vários tipos de equipamentos de filtração, e estes podem ser:

- a) Filtro de fundo falso: semelhante a uma peneira, esse filtro é instalado próximo ao fundo da tina de filtração, acima da abertura da válvula usada para extrair o filtrado. Esse equipamento apresenta uma boa área de filtragem, que favorece a melhor filtração do mosto, proporcionando um mosto mais límpido, e interfere positivamente na qualidade da recirculação e lavagem (DISLAKEM, 2017).

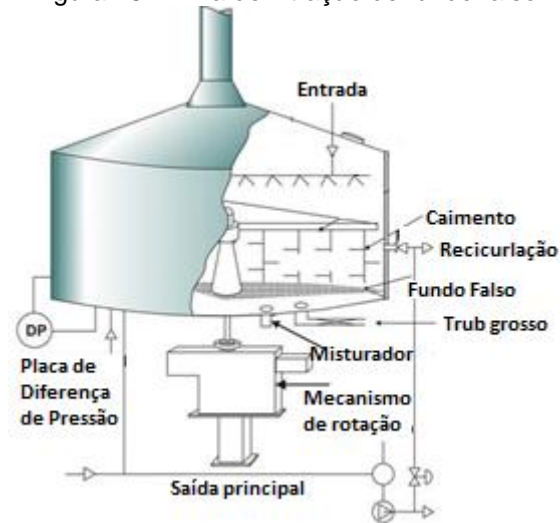
- b) Filtro de malha ou de aço inox: também chamado de bazooka, apresenta forma cilíndrica e é instalado na abertura da válvula da tina. Funciona de forma semelhante ao filtro de fundo falso, barrando a saída das cascas do malte. A desvantagem desse tipo de filtro é a sua pequena superfície de filtração, além de uma menor eficiência de lavagem, pois a presença da bisnaga no fundo do tanque dificulta o fluxo uniforme da água (DISLAKEM, 2017).
- c) Bag: trata-se de um saco, feito geralmente de voal ou musseline, colocado no tanque em que será feita a mosturação, de modo a realizar a filtração do mosto logo em seguida. Para esse tipo de filtro, a qualidade do tecido interfere fortemente na qualidade do filtrado, pois se a malha for muito fina, o mosto pode carregar consigo parte dos sedimentos e cascas do malte. Esse tipo de filtro, assim como o bazooka, é mais utilizado em produções menores, visto que seu funcionamento dificulta a automação do processo (DISLAKEM, 2017).

A Microcervejaria *Offenheit* adotará o filtro de fundo falso, como representado na Figura 15 pois esse equipamento é o mais utilizado em escala industrial e apresenta vantagens como elevado rendimento, melhor extração dos açúcares, melhor qualidade do mosto, e grande área de filtração. Além disso, utilizará como meio filtrante apenas as próprias cascas do malte, de modo a obter um resíduo facilmente descartável.

5.2.3 Fervura

Após a separação do mosto dos restos de malte, inicia-se a fervura, que consiste em ferver o mosto e agregar a este o lúpulo, que dará a cerveja seu amargor característico (SENAI, 2014). Essa etapa visa a inativação de enzimas, esterilização do mosto, coagulação proteica, extração de componentes amargos e aromáticos do lúpulo, formação de substâncias constituintes de aroma e sabor, evaporação de água excedente e de componentes aromáticos indesejados no produto final (FILHO, 2010).

Figura 15 – Tina de filtração de fundo falso



Fonte: Adaptado de Beergooro, 2017.

A temperatura e o tempo de fervura variam para cada tipo de cerveja, mas em geral, chega-se à temperatura de 100 °C em um tempo de 1 a 2 horas para que se obtenha total estabilidade do mosto (AQUARONE et al., 2001). Misturas de diferentes tipos de lúpulo podem ser adicionadas ao mosto em três etapas, conferindo assim, sabores e aromas característicos (SENAI, 2014).

No início da fervura, o lúpulo adicionado tem por objetivo ajudar na coagulação de proteínas. Nessa etapa, as proteínas se desnaturam e sua estrutura helicoidal é afetada pelo calor, mudança de pH e pela presença de polifenóis, com os quais as proteínas se agregam e precipitam (SENAI, 2014). A carga intermediária de lúpulo tem a finalidade de conferir o amargor característico de cada cerveja, através da isomerização, que muda o ordenamento dos átomos na molécula dos alfa-ácidos do lúpulo. Para que a isomerização ocorra, é necessário realizar a correção do pH do mosto, de modo que ele atinja aproximadamente 5,2. Isso é feito a partir da adição de sulfato de cálcio, provocando a diminuição do pH (WILD, 2016; SENAI, 2014). No final da fervura, adiciona-se mais lúpulo, dessa vez de aromas mais finos, a fim de elevar o padrão sensorial da bebida, sendo responsável por parte do aroma e sabor da cerveja (FILHO, 2010).

O desenvolvimento de cor na cerveja, além de ser derivado das características do malte utilizado, também é resultado da intensidade da fervura,

pois esta etapa está ligada a caramelização de açúcares. Além disso, essa etapa é responsável pela característica sensorial do corpo da cerveja, uma vez que ocorre a evaporação de parte da água e concentração de sólidos solúveis (OETTERER, REGITANDO-D'ARCE e SPOTO, 2006).

Dentre os sistemas de aquecimento do tanque fervedor do mosto temos (SENAI, 2014):

- a) Aquecimento com fogo direto: a base de madeira, carvão, gás ou combustível líquido. Esse método é comum a pequenos produtores. Nesse sistema, o mosto é superaquecido, o que pode levar a formação excessiva de cor e troca de sabor.
- b) Aquecimento a vapor: o dispositivo de aquecimento pode ser facilmente controlado através do uso de dispositivos.
- c) Aquecimento elétrico: é um sistema simples, de utilização limitada pelo custo da energia elétrica.

Dentre os sistemas de aquecimento, o utilizado pela *Offenheit* será o aquecimento a vapor, utilidade proveniente da caldeira, pois esse sistema além de apresentar custo menor comparado ao sistema elétrico, garante melhor controle quando comparado ao aquecimento com fogo direto.

5.2.4 *Whirlpool*

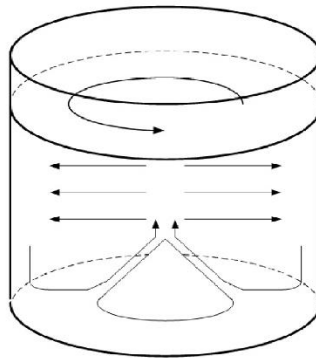
Após atingir as concentrações desejadas de açúcar, o mosto segue para o *Whirlpool*, etapa em que é feita a centrifugação do mosto. Esse estágio pode ocorrer em um outro tanque, o tanque *Whirlpool*, ou no mesmo tanque em que foi feita fervura (OETTERER, REGITANDO-D'ARCE e SPOTO, 2006). A *Offenheit* fará o *Whirlpool* no mesmo tanque de fervura, permitindo assim a redução do espaço necessário para esse equipamento, diminui os custos de projeto desse tanque; além disso, sua capacidade de produção permite que isso ocorra.

Nessa etapa, as partículas sólidas do lúpulo e as proteínas coaguladas sedimentam, formando o resíduo chamado de *trub*. Por ser formado a altas temperaturas, o *trub* é chamado de *trub* quente e apresenta um tamanho de

partícula grande, que facilita sua separação nesse processo (SENAI, 2014). O *trub* deve ser retirado pois o mesmo interfere na fermentação, podendo aderir-se à membrana da célula da levedura, contribuindo para a má saúde da mesma, além de causar instabilidade de sabor e ser uma fonte de turbidez da cerveja (FILHO, 2010).

Nesse processo, a separação ocorre pela rotação do mosto através da ação mecânica de pás dentro do tanque, fazendo com que o *trub* se acumule no fundo e no centro do *Whirlpool* , como mostrado na Figura 16. Uma remoção razoável do *trub* é feita em menos de uma hora, e se operada corretamente, realiza um impacto mínimo na qualidade do mosto (FILHO, 2010).

Figura 16 – Tanque *Whirlpool*



Fonte: Adaptado de LOTHBROK (2017).

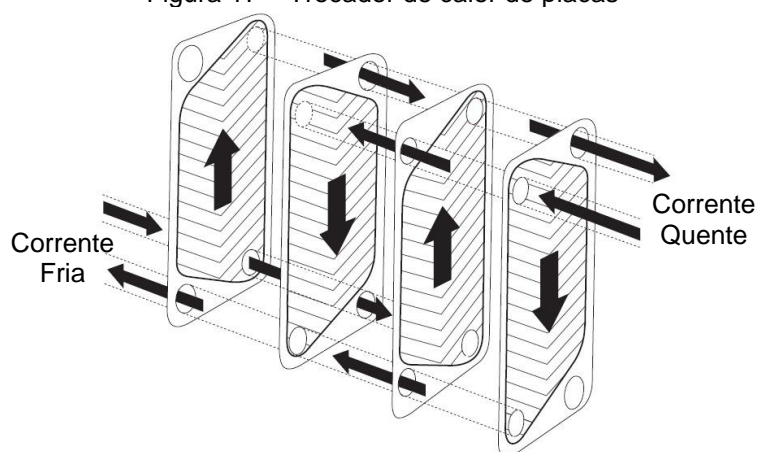
5.3 ÁREA 300: ADEGA

5.3.1 Resfriamento e Aeração

Essa etapa consiste no resfriamento do mosto proveniente do *Whirlpool*, passando de 95 °C para uma temperatura mais baixa, de acordo com o tipo de levedura utilizada (SENAI, 2014). Usualmente, em torno de 15 a 22 °C para cervejas do tipo *Ale* e entre 6 e 12 °C para as cervejas do tipo *Lager*, porém outras temperaturas também podem ser utilizadas. O resfriamento deve ser realizado rapidamente e sob condições assépticas para interromper as reações bioquímicas e minimizar o crescimento de contaminantes microbianos (BRIGGS et al, 2004).

O equipamento mais utilizado em cervejarias é o trocador de calor de placas, ilustrado na Figura 17 (AQUARONE et al., 2001). As vantagens desse tipo de trocador em relação aos outros é que por serem mais compactos e terem facilidade às mudanças na operação, como volumes de mosto ou temperatura variáveis (SENAI, 2014).

Figura 17 – Trocador de calor de placas



Fonte: BRIGGS et al., 2004.

Após a etapa de resfriamento, é injetado oxigênio na linha de mosto frio para se obter no tanque de fermentação, uma concentração de oxigênio necessária ao início da fermentação, esta concentração depende das características do mosto (FILHO, 2010, BRIGGS et al., 2004). Esse processo

ocorre para que a levedura se multiplique, pois o oxigênio é necessário para a síntese de compostos que formam a parede celular da mesma (SENAI,2014).

A aeração deve ser realizada com ar limpo que é esterilizado por filtração; seco, de modo a prevenir o crescimento de microrganismos e fungos (SENAI, 2014).

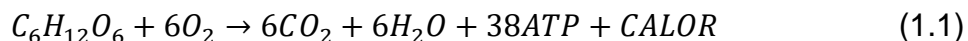
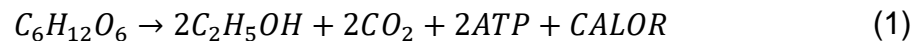
Comumente são utilizados dispositivos baseados no princípio do tubo Venturi para a oxigenação do mosto resfriado a caminho da fermentação. Quando o fluxo do mosto chega a uma restrição da tubulação, sua velocidade aumenta e sua pressão cai. Neste ponto bolhas finas de ar ou oxigênio são introduzidas por um bocal fino, ou descarregadas na corrente do mosto, ou por pequenas perfurações ou ainda por material sinterizado nas paredes do tubo. As bolhas são transportadas para a próxima seção, na qual o tubo se expande abruptamente, desacelerando o fluxo, subindo a pressão e tornando-o turbulento, favorecendo a solubilidade rápida do gás (BRIGGS et al., 2004).

5.3.2 Inoculação e Fermentação

Uma vez colocado o mosto cervejeiro em contato com a levedura nos chamados fermentadores ou dornas, o processo de fermentação é iniciado. Essa operação constitui a etapa mais longa na fabricação da cerveja, em relação aos outros processos como a mosturação e fervura que duram poucas horas, podendo levar de 3 a 15 dias (OETTERER, REGITANDO-D'ARCE e SPOTO, 2006).

O princípio básico da fermentação é converter, por meio da ação das leveduras, os açúcares fermentescíveis presentes no mosto em etanol e gás carbônico por via anaeróbica como simplificado na Equação 1, e também através da reação de respiração celular aeróbica para o crescimento e revigoramento da levedura como simplificado na Equação 1.1 (OETTERER, REGITANDO-D'ARCE e SPOTO, 2006), além dos subprodutos que influenciarão no aroma e paladar do produto e outros subprodutos que irão proporcionar propriedades organolépticas à cerveja como ésteres (acetado de etila, acetato de isoamila e

acetato de n-propila), ácidos (acético e propiônico) e álcoois superiores (1-propanol, 2-metil-1-propanol, 2-metil-1-butanol e 3-metil-1-butanol) (ESSLINGER e LUDWIG, 2009).



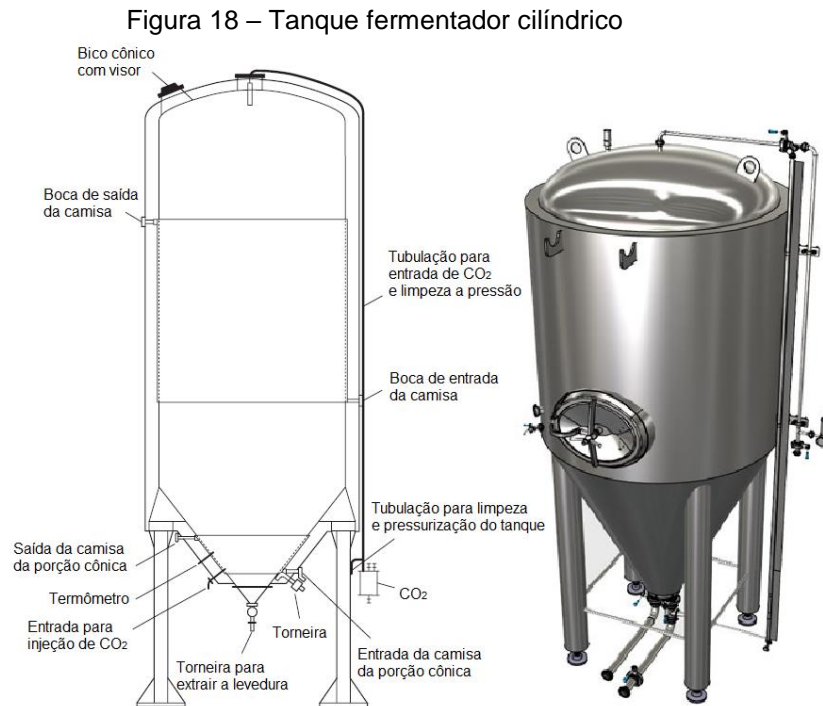
O processo da fermentação é iniciado pela adição de leveduras no fermentador, como o ilustrado na Figura 18, em número de 10^6 a 10^8 células por 1 mL de mosto cervejeiro dependendo do estilo de cerveja produzida. Para atingir esse número são utilizadas técnicas de multiplicação de fermento, as quais o mosto em fermentação é diluído com mosto estéril toda vez que a fermentação se mostra vigorosa (FILHO, 2010).

Inicialmente, para a etapa de propagação do fermento, utilizam-se técnicas microbiológicas tradicionais para crescimento da cultura pura em volume, a partir de aparatos laboratoriais, as quais podem levar cerca de duas semanas até possuírem um volume de leveduras necessário para ser direcionado a tanques maiores de inoculação. Geralmente, segundo Briggs et al. (2004), a fase inicial desse crescimento necessita de uma fonte de nutrientes e um meio para sua cultura, como os extratos de fermento (5 g/L), peptona (10 g/L), glicose (20 g/L), entre outros.

Para a fase final da propagação, utiliza-se mosto estéril, variando de 7,5 a 17,5 °P (porcentagem mássica de açúcares por solução de mosto), como fonte de nutriente. A faixa de temperatura da incubação inicial da propagação do fermento variará de 20 a 25°C. Após a fase laboratorial, o fermento produzido continua sendo multiplicado em tanques maiores de inoculação até o número de leveduras ser suficiente para o processo de fermentação. Durante todo processo de multiplicação da levedura, é essencial realizar todo esse processo em locais e equipamentos esterilizados, para minimizar o risco de contaminação.

Além do controle de semeadura de levedura, existem outras variáveis que necessitam de controle no processo de fermentação como a concentração

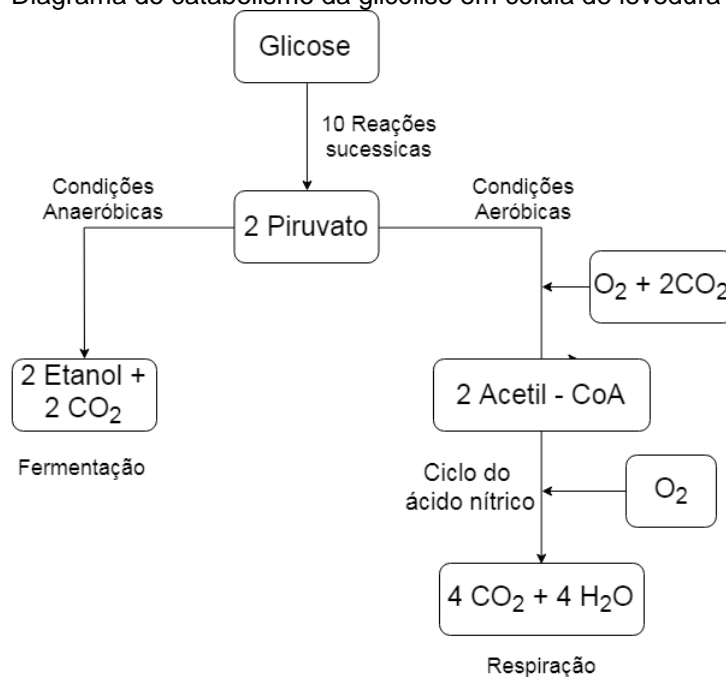
dos açúcares fermentescíveis (10 a 16 °P), pH (faixa típica entre 5 a 6), temperatura (18 a 22 °C para as cervejas *Ales* e 7 a 15 °C para as *Lagers*), tempo (3 a 7 dias para as cervejas *Ales* e 7 a 15 dias para as *Lagers*), forma do fermentador (geralmente cilíndricos, podendo ser esféricos), agitação, resfriamento e pressão (1 atm) (SENAI, 2014; FILHO, 2010).



Fonte: Adaptado de BRIGGS et al. (2004); CZECH BREWERY SYSTEM (2016).

As leveduras cervejeiras catabolizam os açúcares seguindo duas rotas metabólicas, ilustradas na Figura 19. A primeira, por via respiratória aeróbica, que é responsável por promover o crescimento e revigoração do fermento e a segunda, por via respiratória anaeróbica, que é responsável pela conversão dos açúcares fermentescíveis em etanol, gás carbônico e outros subprodutos (AQUARONE et al., 1986).

Figura 19 – Diagrama do catabolismo da glicólise em célula de levedura cervejeira



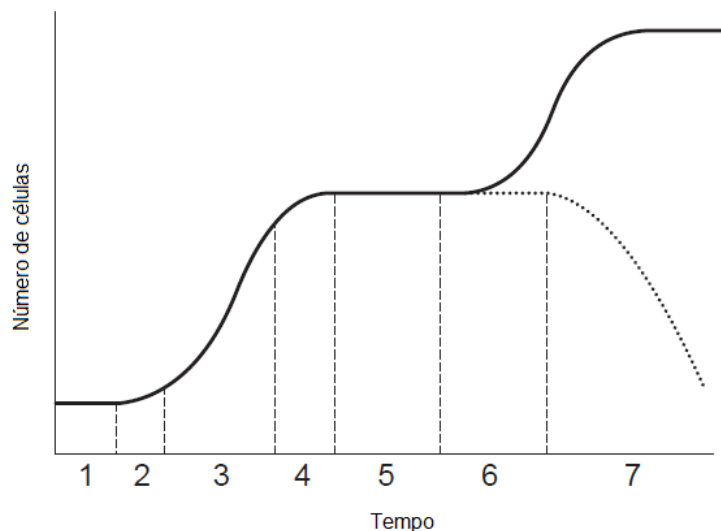
Fonte: Adaptado de Aquarone et al. (1986).

Uma vez inoculada, a levedura passa por diferentes estágios de crescimento, ilustrados em 7 etapas na Figura 20, que são as fases de latência, aceleração, exponencial, desaceleração, estacionária, *diauxic shift* (mudança rápida do crescimento fermentativo quando há mais de uma fonte de carbono como nutriente e a principal já foi totalmente utilizada) e mortalidade (ou segundo crescimento caso houver oxigênio e nutriente disponíveis).

A fase de latência ou *lag* é a fase de adaptação da levedura no meio fermentativo e reflete o tempo requerido para realizar a síntese de enzimas necessárias para o processamento dos vários nutrientes presentes no meio. Durante essa fase não é visível nenhuma atividade como fermentação, consumo de açúcares e geração de etanol ou gás carbônico. Na fase de aceleração ocorre a transição da fase de adaptação e crescimento celular. Na fase exponencial, as células da levedura se reproduzem ativamente, duplicando sucessivamente sua população. Geralmente, essa fase dura entre 48 e 60 horas e, durante esse período, os açúcares são fermentados na velocidade máxima. Na fase de desaceleração, ocorre a transição entre a aceleração e mortalidade das células devido ao começo da diminuição da concentração de oxigênio e nutrientes. Na fase estacionária a taxa de fermentação diminui devido ao esgotamento dos

açúcares fermentescíveis e oxigênio, assim, o número de células de levedura permanece constante, já que a taxa de crescimento é compensada pela taxa de mortalidade. Na fase de *diauxic shift* ocorre uma mudança rápida no crescimento fermentativo na presença de fonte de açúcares secundários quando a fonte principal acaba, ou a falta deles. Na última etapa, a fase de declínio ou morte, a quantidade de microrganismos que morre torna-se progressivamente superior àquela dos que surgem devido à escassez total de açúcares e oxigênio. Quando há presença ainda de outro tipo de açúcar e oxigênio ocorre uma segunda fase de crescimento fermentativo (SENAI, 2014; BRIGGS et al., 2004).

Figura 20 – Fases de crescimento da levedura durante a fermentação



Fonte: Adaptado de Briggs et al. (2004).

O perfil de crescimento ilustrado na Figura 20 será influenciado por diversos fatores como a sementeira da levedura, que corresponde à concentração inicial da levedura e influencia a taxa de fermentação; a concentração de oxigênio dissolvido no mosto; a temperatura; Idade da levedura; a floculação, que é relacionada ao agrupamento das células de leveduras que vão ao fundo do tanque que não serão mais capazes de realizar a fermentação; e alguns fatores de estresse, como baixa concentração de nutrientes, tratamentos com ácido e alta concentração de álcool.

5.3.3 Maturação

A maturação, consiste no armazenamento ou a permanência da cerveja em tanques sob baixas temperaturas, possibilitando o desenvolvimento de reações químicas que proporcionam as características organolépticas finais do produto; a clarificação da bebida por meio da precipitação de leveduras, proteínas e sólidos insolúveis; produção de gás carbônico, que provoca a carbonatação da cerveja (FILHO, 2010).

Os fatores que afetam essa etapa do processo são a concentração de polifenóis e de proteínas hidrofílicas, oxigênio, temperatura, partículas e íons metálicos (SENAI, 2014).

Essa etapa também é chamada como fermentação secundária, na qual permite-se a atividade da levedura a uma taxa reduzida, limitada pela baixa temperatura e menores concentrações de levedura na cerveja (BRIGGS et al., 2004).

Durante a maturação, o odor e o sabor da bebida são apurados por meio do aumento do teor de ésteres e da redução das concentrações de diacetil, acetaldeído e ácido sulfúrico, é nessa etapa também que o amargor do lúpulo se atenua e o sabor da cerveja se estabelece (OETTERER, REGITANDO-D'ARCE e SPOTO, 2006).

O repouso e a baixa temperatura provocam a precipitação de resíduos de levedura remanescentes e de compostos indesejáveis, clarificando a bebida (FILHO, 2010, SENAI, 2014). Entretanto, a remoção de proteínas e de taninos deve ser moderada para que não prejudique a estabilidade da espuma, um dos fatores na avaliação da qualidade da bebida (OETTERER, REGITANDO-D'ARCE e SPOTO, 2006).

Na produção de cervejas artesanais, o tempo de maturação varia de dez dias a vários meses, dependendo dos estilos de cervejas desejados (FILHO, 2010). Normalmente, a etapa de maturação é realizada no mesmo tanque que ocorreu a fermentação (BRIGGS et al., 2004).

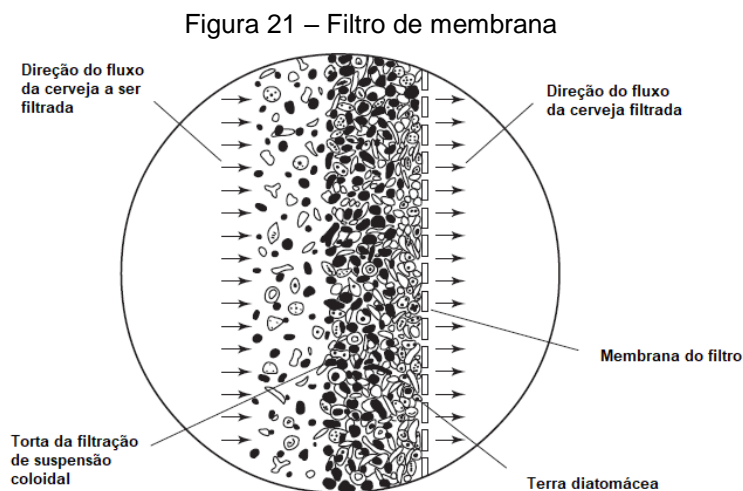
5.4 ÁREA 400: ENVASE E ROTULAGEM

5.4.1 Filtração final

De acordo com o estilo de cerveja a ser produzido, antes de ser carbonatada e envasada, a cerveja passa por um novo processo de filtração, de modo a retirar o excesso de suspensão coloidal (REINOLD, 1997). Se o líquido tiver carga muito alta de sólidos uma centrifugação é necessária. As centrífugas separam o líquido do sólido por meio de giros em alta velocidade. Devido a diferença de densidade entre essas substâncias, os sólidos sedimentam (SENAI, 2014). Após centrifugada, a cerveja pode então ser filtrada.

A filtração estéril é uma forma de retirar a suspensão coloidal e provocar a estabilização microbiológica da cerveja. Essa etapa se dá pelo uso de filtros de membrana ou com filtros de profundidade de poros (SENAI, 2014):

- a) Filtros de membrana: utiliza-se de membranas de polietersulfona com diâmetro de 1,5mm e poro de 0,5mm, onde a diferença de pressão é utilizada como força motriz. A cerveja é transferida através do módulo, em que um fluxo contínuo de cerveja tangencial é aplicado a membrana, para evitar que as partículas se depositem na parede da membrana.
- b) Filtro de profundidade: podem ser de quadros, pratos e cartuchos filtrantes, sendo os mais comuns, os de cartucho. Além disso, esses filtros necessitam da adição de alguma substância, normalmente a terra diatomácea, para aumentar a eficiência de filtração (SENAI, 2014).



Visando o custo de produção a Microcervejaria *Offenheit* adotará um filtro estéril de profundidade utilizando terra diatomácea como meio filtrante, conforme mostrado na Figura 21, uma vez que a operação desse filtro é menos custoso e dispensa o tratamento prévio da cerveja.

5.4.2 Carbonatação

Devido às suas propriedades de gás ácido, o dióxido de carbono é responsável pela efervescência e sensação de acidez da cerveja. Assim, sua concentração deve ser controlada para se obter um produto de qualidade. Além disso, colabora para evitar a ação microbiana e oxidações indesejadas, sendo absorvido no lugar do oxigênio (FILHO, 2010).

O CO₂ recuperado na etapa de fermentação, é submetido a um processo de lavagem, compressão, secagem em sílica e alumínio, desodorização com carvão ativado, liquefação e vaporização, para depois ser injetado na bebida (OETTERER, REGITANDO-D'ARCE e SPOTO, 2006). Entretanto, em várias cervejarias a recuperação do dióxido de carbono não é suficiente para atender toda a demanda do processo, sendo necessária a compra do gás em empresas especializadas (FILHO, 2010).

Existem diferentes técnicas para carbonatar uma cerveja, as mais utilizadas em microcervejarias são as de injeção em tanques ou em linha, sendo

que a primeira consiste em injetar pequenas bolhas de CO₂ no fundo dos tanques pressurizados de cerveja por meio de rochas porosas, e a segunda compõe-se na injeção do gás na tubulação por meio de um difusor poroso (SENAI, 2014).

A eficiência do processo depende dos seguintes fatores: área da bolha, tempo de contato suficiente para que o gás seja dissolvido e a pressão do gás carbônico (SENAI, 2014).

O processo utilizado pela Microcervejaria *Offenheit* será a injeção de CO₂ na tubulação por meio de um difusor poroso.

5.4.3 Envase

Depois da etapa de fermentação, maturação e a da opcional carbonatação, a cerveja é acondicionada a uma temperatura que varia em relação a cada estilo, -1 °C a 0 °C, sendo que a etapa de pasteurização poderá ser realizada antes ou durante a etapa de envase. A embalagem do produto, seja ela garrafas retornáveis de vidro, latas ou barris de aço inoxidável, ou alumínio, tem a função de proteger e conservar o produto, além de fornecer todas as informações necessárias ao consumidor conforme a Lei nº 8.918 que dispõe a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas, além das especificações pelo INMETRO.

O envase é o procedimento de engarrafamento, enlatamento ou embarrilhamento do produto e é a etapa mais dispendiosa em uma cervejaria, em termos de matérias-primas e de mão de obra. Esta operação é realizada pela enchedora no caso de garrafas e latas ou em máquinas de embarrilhamento quando se trata de barris (FILHO, 2010).

Na Microcervejaria *Offenheit*, a cerveja produzida será envasada pelo processamento de engarrafamento realizada por uma envasadora rotatória como ilustrada na Figura 22.

Figura 22 – Envasadora para garrafas de cerveja da marca ISOJET



Fonte: Direct Industry (2018).

Nesse processo as garrafas de vidro retornáveis entrarão na sala de engarrafamento e serão lavadas à quente por dentro e por fora com detergentes cáusticos seguido do enxague completo com água. Enquanto isso, a cerveja filtrada proveniente dos tanques de fermentação/maturação ou dos tanques de pressão da operação da carbonatação é transferida para outro tanque de recepção localizado dentro da enchedora. Após a aplicação de um selo hermético e retirada do ar mediante a um sistema de vácuo, dá se início a etapa de enchimento. A enchedora é ajustada para se preencher uma quantidade específica na embalagem, após cheia, a embalagem é liberada da cabeça de enchimento com o alívio de pressão interna. No momento do envase, é importante que a cerveja tenha o mínimo contato com ar, evitando sua contaminação e oxidação, portanto, é necessário eliminar o ar do espaço vazio (*headspace*), o qual é realizado pelo jateamento de água esterilizada em alta pressão sob a garrafa aberta. Apenas poucos microlitros de água entram na garrafa causando formação de espuma que ascende pelo gargalo e expelle o oxigênio. Após o arrolhamento da garrafa finalmente estará pronta para a etiquetagem, empacotamento e armazenagem.

5.4.4 Pasteurização

A cerveja é uma bebida que apresenta características desfavoráveis para o desenvolvimento de vários microrganismos, entretanto, algumas espécies de microrganismos indesejados podem comprometer a qualidade dessa bebida.

O princípio básico da pasteurização, portanto, é eliminar qualquer tipo de microrganismo que poderá conferir sabores indesejados à cerveja como turbidez e mudanças sensoriais. A completa, ou parcial, eliminação desses agentes biológicos pode ser realizada mediante tratamentos de pasteurização ou filtração estéril. Segundo Reinold (1997), a principal vantagem da filtração esterilizante com relação à pasteurização é a conservação e estabilidade de fatores da cerveja como paladar e odor; porém, segundo Filho (2010), não garante a mesma eliminação dos agentes biológicos que a pasteurização proporciona.

Diferentes produtos alimentícios possuem diferentes métodos de pasteurização, portanto, aqueles que possuem maior atividade microbiológica, requerem maior temperatura no processo de pasteurização. A cerveja, por já possuir características antissépticas originadas principalmente pelo teor alcoólico e pela lupulagem, necessita em seu tratamento térmico de menores temperaturas (BRIGGS et al., 2004).

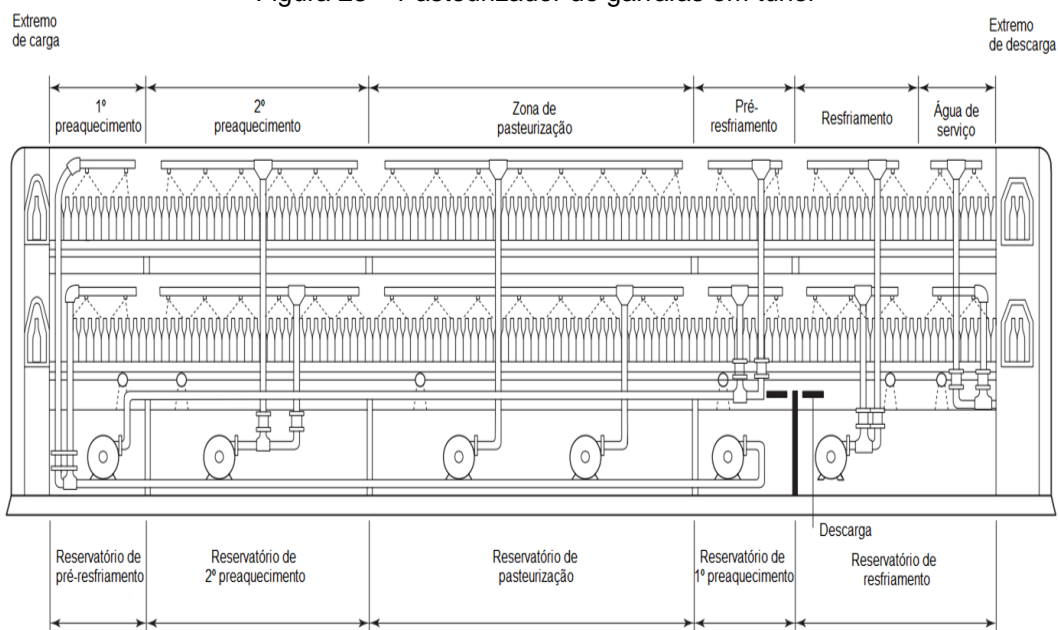
O tratamento térmico da cerveja é representado pelo termo “unidade de pasteurização” (UP), que é definida como a destruição biológica obtida pela exposição da cerveja durante 1 minuto à 60°C. Tratamentos térmicos, por exemplo, com 5-6 UP podem ser utilizados quando as concentrações dos microrganismos contaminantes no produto são inferiores a 100 células/mL. Porém, a pasteurização da cerveja é geralmente realizada com 15-30 UP, podendo ser mais elevada nos casos de cervejas com baixo teor alcoólico (FILHO, 2010).

Segundo Filho (2010), na prática, a pasteurização da cerveja pode ser dividida em duas categorias: pasteurização flash e pasteurização em túnel. A pasteurização flash é realizada antes do engarrafamento da cerveja e é utilizada geralmente ao produto disposto em barris. A pasteurização em túnel, por outro

lado, é aplicada à cerveja após o enchimento das garrafas e é considerada a forma mais segura de garantir maior resistência no momento da logística de distribuição, garantindo até seis meses de vida de prateleira do produto nesse tipo de embalagem. Apesar do maior capital que será investido, o método de pasteurização escolhido será a pasteurização em túnel, uma vez que a cervejaria *Offenheit* trabalhará com a cerveja engarrafada e a distribuição será realizada por quase todo estado do Paraná.

Os pasteurizadores em túnel são extensas câmaras aquecidas e fechadas através das quais as garrafas de vidro, ou latas, são transportadas durante quase uma hora, ao contrário da pasteurização flash. O equipamento, apresentado na Figura 23, opera com uma série de zona por onde as garrafas são transportadas sob um conjunto de suspensores de água, os quais são dispostos no equipamento de tal forma que as embalagens fiquem expostas a temperaturas crescentes de água, até a temperatura de pasteurização. Em média, utiliza-se na operação 20 UP à cerveja. Posteriormente, as garrafas são transportadas para uma zona de resfriamento, as quais serão dirigidas para a rotulagem, empacotamento e distribuição.

Figura 23 – Pasteurizador de garrafas em túnel



Fonte: Adaptado de Briggs et al. (2004).

No pasteurizador em túnel de dois andares ilustrado na Figura 23, as garrafas entram primeiramente no extremo de carga e seguem posteriormente pelo 1º preaquecimento por 5 minutos a 35-50 °C; 2º preaquecimento por 13 minutos a 50-62 °C; zona de pasteurização por 20 minutos a 60 °C; pré-resfriamento por 5 minutos a 60-49 °C; resfriamento por 13 minutos a 49-30 °C; e finalmente à descarga por 2 minutos a 30-20 °C.

Devido a menor produção em relação às cervejarias de grande porte, a Microcervejaria *Offenheit* adotará em seu processo de pasteurização o pasteurizador em túnel de um andar. No intuito de minimizar o consumo de utilidade necessária para o resfriamento e aquecimento nesse processo, projetou-se nesse equipamento cinco seções, as quais apresentarão, em ordem, temperaturas de entrada e saída da cerveja de 10-30 °C, 30-55 °C, 55-62 °C, 62-55°C e 55-30°C.

5.4.5 Rotulagem

Após a etapa de pasteurização as garrafas de cerveja seguem para a etapa de rotulagem, em que são adicionados os rótulos às garrafas de acordo com cada estilo de cerveja produzido.

A Microcervejaria *Offenheit* contará com uma rotuladora automática, modelo similar à da Figura 24, e rótulos autoadesivos.

Figura 24 – Rotuladora autoadesiva



Fonte: ZEGLA (2019).

Os rótulos desenvolvidos pela Microcervejaria *Offenheit* são os das Figura 25, Figura 26 e Figura 27.

Figura 25 – Rótulo para o estilo *Session IPA*



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 26 – Rótulo para a *Pilsen*



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 27 – Rótulo para a *Weizen*

Fonte: Autoria própria (2019).

Os rótulos desenvolvidos pela *Offenheim* seguem os padrões definidos pelo decreto nº6781 de 4 de junho de 2009 e os regulamentos técnicos específicos para bebidas disponíveis no site do MAPA.

5.5 ROTINA DE PRODUÇÃO

Para melhor elucidar a ordem do processo produtivo, a seguir será descrito detalhadamente a rotina mensal de produção dos três estilos de cerveja que serão fabricados inicialmente na Microcervejaria *Offenheim*.

A Microcervejaria *Offenheim* trabalhará com ciclos de produção em batelada de dois dias, explicados nesse capítulo, durante 26 dias de uma média mensal de 30 dias. Assim, aos domingos a produção será cessada para inspeções semanais e a realização da CIP (Limpeza em Circuito Fechado) nos equipamentos.

5.5.1 Área 200: Brassagem

Segundo dados coletados em campo, a disponibilização de duas salas de brassagem, as quais ocorrerão o processo consecutivo da mosturação, filtração, fervura, *whirlpool* e resfriamento, contribui com a expansão de estilos diferentes produzidos que serão demandados pelo mercado consumidor. Assim,

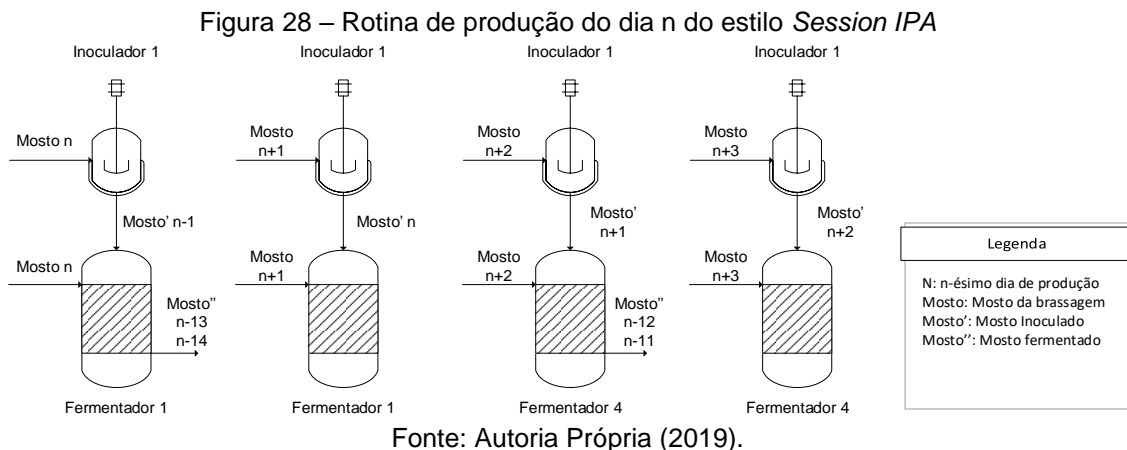
a Microcervejaria *Offenheit* contará com duas salas de brassagem, cada uma composta por um tanque de mosturação, um tanque de filtração e um tanque de fervura, com capacidade nominal de 1000 litros por batelada e trabalhando com dois ciclos todos os dias. Diariamente, a primeira sala (SALA-01) irá realizar duas bateladas totalizando 1943 kg do estilo *Session IPA* e a segunda (SALA-02) irá realizar uma batelada de 976 kg do estilo *Pilsen* e 976 kg de *Weizen*.

5.5.2 Área 300: Adega

A fim de minimizar a quantidade dos fermentadores, optou-se por preencher cada fermentador em dois dias consecutivos, diminuindo assim o custo e área de instalação desses equipamentos. Segundo Briggs et al. (2004), para garantir a padronização da fermentação do mosto, o preenchimento de mostos de brassagens diferentes deve ter no máximo um intervalo de 24 horas de diferença.

A princípio, a Microcervejaria *Offenheit* contará com dezoito fermentadores, 6 deles com volume útil de 5000 L destinados para a fermentação e maturação do estilo *Session IPA* e 12 com volume útil de 3000 L destinados para a fermentação e maturação dos estilos *Pilsen* e *Weizen*. Em relação ao número de inoculadores, haverá três unidades desse equipamento, cada um preenchendo seis fermentadores de mosto inoculado para cada estilo.

Considerando um n -ésimo dia de produção, o preenchimento dos inoculadores e fermentadores será realizado da seguinte forma, como ilustrado na Figura 28.



Inicialmente, no dia n para o estilo *Session IPA*, será descarregado, do fermentador, o Mosto'' $n-13$ e $n-14$, o qual foi brassado nos dias $n-13$ e $n-14$. Após a limpeza do fermentador, esse equipamento será preenchido pelo mosto inoculado do dia anterior, Mosto' $n-1$, e também do mosto brassado nesse mesmo dia, Mosto n . Ao mesmo tempo que o fermentador é preenchido pelo Mosto n , após realizada a limpeza e esterilização do inoculador, esse equipamento é preenchido também por parte desse mesmo mosto que será inoculado durante um dia.

No dia $n+1$, o Mosto' n preencherá o fermentador 1. Assim, o inoculador 1, depois de sua esterilização, será preenchido pelo Mosto $n+1$ para ser inoculado durante um dia. Parte do Mosto $n+1$ preencherá finalmente o volume útil do fermentador, no qual serão realizadas as etapas de fermentação e maturação durante 13 dias. Para os seguintes dias de produção, o processo se iniciará analogamente ao dia n .

Com o objetivo de ilustrar a rotina do preenchimento dos inoculadores e fermentadores da *Offenheit*, o Apêndice I demonstra os diagramas de volume preenchido desses equipamentos em relação ao tempo.

5.5.3 Área 400: Envase e Rotulagem

5.5.3.1 Envase

Após o processo de fermentação e maturação, a cerveja produzida será direcionada para os tanques pulmões, totalizando 3 tanques, 1 para cada estilo

de cerveja produzida que será destinada para os processos de filtração – quando for necessária –, carbonatação, envase, pasteurização, rotulagem e armazenamento.

A fim de minimizar o custo dos equipamentos e extinguir o máximo de tempo ocioso dessa área, optou-se por filtrar, carbonatar, envasar e pasteurizar apenas metade da cerveja contida nos tanques pulmões. Assim, no dia n que o tanque pulmão for preenchido, metade desse conteúdo será direcionado para a Área 400 e o restante da carga no dia $n+1$.

5.5.3.2 Rotulagem

A rotina de rotulagem está interligada a rotina de envase, assim sendo, considerou-se na *Offenheit* que todo conteúdo envasado será rotulado, portanto, a rotina de produção na rotulagem, em se tratando do número de garrafas envasadas, é igual a rotina de envase.

6 BALANÇO MATERIAL E ENERGÉTICO

A princípio, a Microcervejaria *Offenheit*, com base nas categorias de cervejas mais consumidas irá produzir 50400 L/mês de cerveja do estilo *IPA*, 25200 L/mês de *Pilsen* e 25200 L/mês de *Weizen*. Após conquistado o mercado consumidor da região, há intenção de aumentar os estilos produzidos.

Com intuito de exemplificar os cálculos para o balanço de massa tomou-se como base somente um estilo, a *Session IPA*. Segundo o BJCP (2015), o termo *IPA* faz alusão a cervejas mais amargas e lupuladas, enquanto o termo *Session* a uma cerveja mais leve e de menor teor alcoólico.

Para estabelecer um padrão de sabor, amargor, aroma, teor alcoólico, cor, densidade, turbidez, gravidade específica (SG), entre outros, é necessário seguir uma diretriz que forneça os parâmetros específicos da cerveja produzida. De acordo com o BJCP (2015), a gravidade específica inicial (OG), gravidade específica final (FG) e teor alcoólico em volume (ABV) para uma IPA podem variar conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros segundo a BJCP (2015)

Categoria	OG	FG	ABV (%)
American IPA	1,056 – 1,070	1,008 – 1,014	5,5 – 7,5
Belgian IPA	1,056 – 1,080	1,008 – 1,016	6,2 – 9,5
Black IPA	1,050 – 1,085	1,010 – 1,018	5,5 – 9,0

Fonte: BJCP (2015).

Em relação a graduação alcoólica, pode-se classificar a cerveja como intensidade *Session* (< 4% ABV), *Standard* (4 – 6% ABV), *Alta* (6 – 9% ABV) e *Muito Alta* (> 9% ABV). Entretanto, esses parâmetros podem variar conforme as especificações desejadas. Uma vez que a *Session IPA* não é descrita pela BJCP, os valores adotados pela Microcervejaria *Offenheit* foram para a gravidade específica inicial de 1,040, gravidade específica final de 1,010 e 3,9% para o teor alcoólico em volume de acordo com a Homebrewer (2017), valor obtido pela Equação 2.

$$ABV (\%) = 131,25 \cdot (FG - OG) \quad (2)$$

Para os cálculos fez-se necessário a conversão da gravidade específica (SG) para graus Plato, que por definição representa a razão mássica de açúcares solúveis por 100 gramas de solução a 20°C. Desse modo, a conversão foi realizada conforme a Equação 3.

$$^{\circ}P = -463,37 + 668,72 \cdot SG - 205,35 \cdot SG^2 \quad (3)$$

Uma vez estabelecida a produção mensal e tendo em vista que a fermentação é a etapa principal do processo produtivo, em que haverá a conversão dos açúcares presentes na solução em compostos como álcool, gás carbônico e outros, responsáveis pela estrutura da cerveja, os valores de OG, FG e ABV são calculados a partir dessa etapa, possibilitando obter a composição das correntes de saída e entrada no fermentador.

De maneira generalista, o balanço de massa global para um sistema aberto pode ser descrito conforme a Equação 4.

$$\sum Acúmulo = \sum Entrada - \sum Saída + \sum Geração - \sum Consumo \quad (4)$$

A Equação 4 é amplamente aplicada nas etapas de inoculação e fermentação, únicas etapas do processo produtivo da cerveja que envolvem a geração e o consumo de matéria.

A Equação 4 pode ser simplificada para sistemas que operem em regime permanente e que não apresentem reação química, todas as etapas da produção de cerveja exceto inoculação e fermentação, chegando-se na Equação 5.

$$\sum Entrada - \sum Saída = 0 \quad (5)$$

Segundo Moran et. al (2011), de acordo com o princípio da conservação de energia, para um sistema com volume de controle determinado, o balanço de energia pode ser dado conforme a Equação 6.

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum_e \dot{m}_e \cdot \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum_s \dot{m}_s \cdot \left(h_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right) \quad (6)$$

Em que:

E – representa a energia do volume de controle no instante t;

\dot{Q} – taxa líquida de transferência de energia por calor através da fronteira do volume de controle;

\dot{W} – taxa líquida de transferência de trabalho através da fronteira do volume de controle;

h_e e h_s – entalpias específicas dos fluidos nas condições de entrada e saída;

V_e e V_s – velocidades de entrada e saída dos fluidos;

z_e e z_s – alturas de entrada e saída em relação a um ponto de referência;

\dot{m}_e e \dot{m}_s – vazões mássicas de entrada e saída do volume de controle;

g – aceleração da gravidade.

Para os processos empregados na Microcervejaria *Offenheit*, a Equação 6 pode ser facilmente simplificada, visto que os processos operam de maneira permanente, o trabalho é desprezível e as energias cinética e potencial também podem ser desconsideradas, obtendo-se assim a Equação 7.

$$\dot{Q} = \sum_s \dot{m}_s \cdot h_s - \sum_e \dot{m}_e \cdot h_e \quad (7)$$

A Equação 7 pode ser simplificada, uma vez que as vazões de entrada e saída em todas as etapas do processo produtivo cervejeiro são iguais (regime permanente), excetuando-se as etapas de inoculação e fermentação, chegando-se na Equação 8.

$$\dot{Q} = \dot{m}_n \cdot C_{p_n} \cdot \Delta T \quad (8)$$

Em que:

\dot{m}_n – vazão mássica da corrente n;

C_{p_n} – capacidade calorífica da corrente n;

ΔT – variação de temperatura.

Ressalta-se que o balanço de massa e energia apresentado a seguir é representado por vazões mássicas mensais, ou seja, a quantidade de cada componente processado durante um mês de produção. Para melhor elucidar a quantidade de cada componente processado em batelada, serão ilustradas em tabelas no fim de cada etapa, essas quantidades em bateladas diárias.

As utilidades necessárias para cada área são abreviadas conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Abreviação das utilidades utilizadas

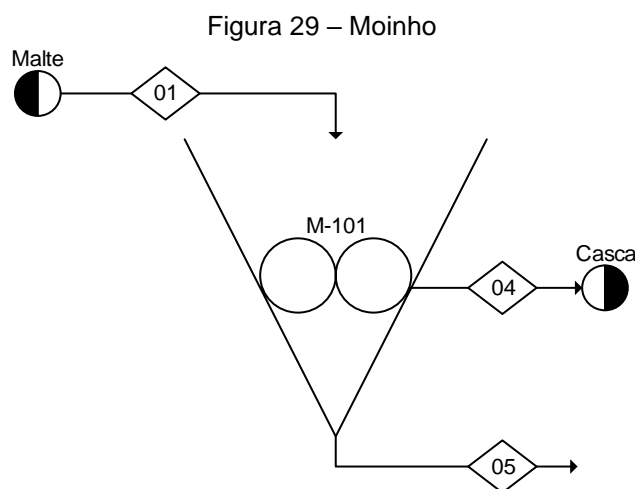
Sigla	Utilidade
V _s	Vapor saturado
L _s	Líquido saturado
L _{sr}	Líquido sub-resfriado

Fonte: Autoria própria (2019).

6.1 ÁREA 100: MOAGEM

A moagem, primeira etapa do processo produtivo da cerveja, consiste no esmagamento do malte com o objetivo de deixar exposto o endosperma amiláceo – fonte principal do extrato, do amido, e de outros carboidratos e proteínas (SENAI, 2014) – facilitando assim o ataque das enzimas durante a mosturação. A Microcervejaria *Offenheit* conta com 1 (um) moinho de 2 (dois) rolos e faz uso de malte *Caraaroma* e *Pilsen* para o estilo de cerveja *Session IPA*, malte *Pilsen* para o estilo *Pilsen* e malte *Pale Wheat* para o estilo *Weizen*.

A perda de massa no processo de moagem é de cerca de 1% da massa total do malte alimentada devido às perdas de corrente aderida nos equipamentos. Assim sendo, a corrente de alimentação de malte bruto 01 é igual a corrente de malte moído 05 somada as perdas do processo 04. As correntes descritas estão dispostas na Figura 29.



Fonte: Autoria própria (2019).

O cálculo da massa total de malte necessária por hora de operação foi efetuado com base no consumo de açúcar na etapa de fermentação, principal etapa do processo produtivo, bem como no volume de cerveja produzido por tempo de operação. Para um volume de produção de 70 L da cerveja *Session IPA* por hora, tendo em vista a produção mensal de 50400 L dessa cerveja, o consumo total de açúcar, considerando inclusive as perdas em etapas como a

filtração, é de 7,8167 kg por hora de operação. Partindo-se da consideração de que a porcentagem mássica de amido no malte é 61%, conforme indica Filho e Nojimoto (1999), e que todo o amido é convertido em açúcar na etapa de mosturação, a vazão mássica total de malte alimentada no processo de moagem foi calculada com base na Equação 9.

$$m_{Malte,01} = \frac{m_{Açúcar}}{x_{Açúcar}} \quad (9)$$

$$m_{Malte,01} = \frac{7,8167}{0,61} = 12,814 \text{ kg/h}$$

O cálculo da vazão de perda, corrente 04, foi efetuado a partir da Equação 10.

$$m_{04} = x_{perda} \cdot M_{malte,01} \quad (10)$$

$$m_{04} = 0,01 \cdot 12,8143 = 0,128 \text{ kg/h}$$

A vazão de cada tipo de malte alimentado para o estilo *Session IPA*, único estilo produzido pela *Offenheit* que utiliza um misto de 2 (dois) maltes, foi calculada com base na consideração de que a porcentagem mássica do malte Caraaroma na alimentação é de 2,8%, conforme indica a receita para a *Session IPA* (HOMEBREWER, 2017).

Com base em Filho e Nojimoto (1999), a casca compõe cerca de 25% da massa do malte. Desse modo, em função da vazão mássica de malte alimentado no processo e levando-se em consideração as perdas no processo de moagem, calculou-se a vazão de casca na corrente de saída do moinho, conforme a Equação 11.

$$m_{Casca,05} = m_{Malte} \cdot x_{Casca,01} - m_{Malte} \cdot x_{Perda}$$

$$m_{Casca,05} = m_{Malte} \cdot (x_{Casca,01} - x_{Perda}) \quad (11)$$

$$m_{Casca,05} = 12,8143 \cdot (0,25 - 0,01) = 3,075 \text{ kg/h}$$

O procedimento é repetido para o cálculo da vazão mássica de água e proteína na corrente 01, considerando ainda segundo Filho e Nojimoto (1999), que o teor de umidade no malte (independentemente do tipo de malte) é de aproximadamente 5% e que a fração de proteína no malte é de cerca de 9%.

O procedimento descrito foi repetido para os outros 2 (dois) estilos de cerveja, *Pilsen* e *Weizen*, estando todos valores devidamente sumarizados nas Tabelas 8, 9, 10.

Tabela 8 – Balanço material na etapa de moagem para a *Session IPA*

Corrente	01	05/5.1	04
De	Entrada	M-101	M-101
Para	M-101	T-202	-
Temperatura (°C)	25	25	25
Pressão (atm)	1	1	1
Vazão (kg/h)	12,814	12,686	0,127
Vazão (kg/batelada)	354,860	351,312	3,513
Componente (kg/batelada)			
Açúcar	216,465	216,465	0,000
Casca	88,681	85,168	3,513
Proteína	31,937	31,937	0,000
Água	17,743	17,743	0,000

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 9 – Balanço material na etapa de moagem para a *Pilsen*

Corrente	01	05/5.2c	04
De	Entrada	M-101	M-101
Para	M-101	T-203	-
Temperatura (°C)	25	25	25
Pressão (atm)	1	1	1
Vazão (kg/h)	7,194	7,066	0,127
Vazão (kg/batelada)	199,212	195,665	3,522
Componente (kg/batelada)			
Açúcar	121,519	121,519	0,000
Casca	49,778	46,256	3,522
Proteína	17,929	17,929	0,000
Água	9,961	9,961	0,000

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 10 – Balanço material na etapa de moagem para a *Weizen*

Corrente	01	05/5.2b	04
De	Entrada	M-101	M-101
Para	M-101	T-203	-
Temperatura (°C)	25	25	25
Pressão (atm)	1	1	1
Vazão (kg/h)	7,178	7,050	0,127
Vazão (kg/batelada)	198,766	195,219	3,514
Componente (kg/batelada)			
Açúcar	121,247	121,247	0,000
Casca	49,658	46,144	3,514
Proteína	17,889	17,889	0,000
Água	9,938	9,938	0,000

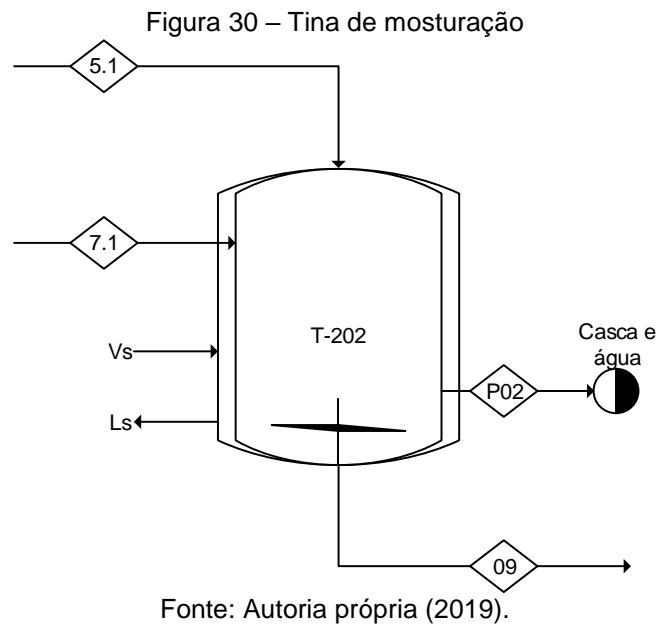
Fonte: Autoria própria (2019).

6.2 ÁREA 200: BRASSAGEM

6.2.1 Mosturação

Na mosturação ocorre a conversão do amido em açúcares por ação das enzimas do próprio malte.

A Microcervejaria *Offenheit*, para o estilo *Session IPA*, operará efetuando três rampas de temperatura, 50 °C por 10 minutos, 67 °C por 60 minutos e 78 °C por 5 minutos. A Figura 30 representa o esquema de correntes na tina de mosturação.



Na mosturação há alimentação de uma corrente de água, a corrente 7.1. A massa de água adicionada por hora de operação do mosturador é baseada na vazão de malte alimentada no tanque de mosturação. Adotou-se uma proporção de água/malte de 2,5 conforme constatado em pesquisas de campo realizadas. Calculou-se a vazão mássica de água a ser alimentada com base na Equação 12.

$$m_{\text{Água},7.1} = 2,5 \cdot m_{\text{Malte},5.1} \quad (12)$$

$$m_{\text{Água},7.1} = 2,5 \cdot 12,6863 = 31,716 \text{ kg/h}$$

Na etapa de mosturação ocorre perda de água e casca de malte, saindo na corrente P02. A massa de acúmulo é de cerca 3% da massa total que entra na tina de mosturação, sendo 1,5% constituído de massa de casca e 1,5% de massa de água. A vazão da corrente P02 é calculada pela Equação 13.

$$m_{P02} = x_{\text{Acúmulo}} \cdot (m_{7.1} + m_{5.1}) \quad (13)$$

$$m_{P02} = 0,03 \cdot (12,6863 + 31,7157) = 1,332 \text{ kg/h}$$

Na mosturação, considerou-se que todo o amido é convertido em açúcar e desse modo a corrente de açúcar na saída do mosturador é igual a corrente de amido que entra no mosturador. Uma vez que a perda de água por evaporação no mosturador é muito pequena diante da vazão mássica de água de entrada, considerou-se conforme ratificado em pesquisas de campo, que as perdas por evaporação na mosturação são desprezíveis. As cargas de casca e proteína também se conservam e desse modo as frações da corrente de saída são calculadas com base nas massas de cada componente. A corrente 09 é calculada a partir da Equação 14.

$$m_{09} = m_{5.1} + m_{7.1} - m_{P02} \quad (14)$$

$$m_{09} = 12,6862 + 31,7157 - 1,3321 = 43,070 \text{ kg/h}$$

Na mosturação há a formação do mosto, o qual é direcionada juntamente com a casca para a filtração.

Na etapa de mosturação o mosto deve ser aquecido de 25 °C a 78 °C na taxa de 1 °C/min. Para tanto, utiliza-se vapor saturado como utilidade de aquecimento na pressão 3 bar, que conforme Moran et al. (2011), corresponde a temperatura de 133,6 °C. O cálculo da quantidade de calor necessário para o aquecimento é realizado a partir da Equação 8, levando-se em consideração o C_p individual da água e do malte, dispostos no Apêndice A. As Tabelas 11, 12 e 13 sintetizam todos os valores de quantidade de calor para o aquecimento do mosto para todos os estilos de cerveja produzidos.

Tabela 11 – Calor de aquecimento do mosto na tina de mosturação da *Session IPA* (T-202)

Material	Entra		Sai		Quantidade de calor (kJ)
	Massa (kg)	Temperatura (°C)	Massa (kg)	Temperatura (°C)	
Água	878,281	25	878,281	78	194853,708
Malte	351,312	25	351,312	78	34297,232
				Total	229150,940

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 12 – Quantidade de calor para o aquecimento do mosto na tina de mosturação para a *Pilsen* (T-203)

Material	Entra		Sai		Quantidade de calor (kJ)
	Massa (kg)	Temperatura (°C)	Massa (kg)	Temperatura (°C)	
Água	489,162	25	489,162	78	108524,405
Malte	195,665	25	195,665	78	19101,955
Total					127626,360

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 13 – Quantidade de calor para o aquecimento do mosto na tina de mosturação para a *Weizen* (T-203)

Material	Entra		Sai		Quantidade de calor (kJ)
	Massa (kg)	Temperatura (°C)	Massa (kg)	Temperatura (°C)	
Água	488,047	25	488,047	78	108277,202
Malte	195,219	25	195,219	78	19058,443
Total					127335,645

Fonte: Autoria própria (2019).

A quantidade de calor fornecida pelo vapor pode ser calculada a partir da Equação 15.

$$Q_{Vapor}(kJ) = m_{Vapor} \cdot H_{Vaporização (133,6^{\circ}C)} \quad (15)$$

Na Equação 15 $H_{Vaporização}$ é a entalpia de vaporização/condensação da água, disposta no Apêndice A.

Na etapa de mosturação considera-se que todo o calor fornecido pelo vapor é transferido para o mosto, ou seja, não há perdas significativas de calor para o meio ambiente. Combinando as Equações 15 e 8, é possível encontrar a massa total de vapor necessária por batelada para o aquecimento do mosto, obtendo-se a Equação 16.

$$Q_{Vapor} = Q_{Mosto}$$

$$m_{Vapor} \cdot H_{Vaporização (133,6^{\circ}C)} = (m_{Malte} \cdot C_{pMalte} + m_{Água} \cdot C_{pÁgua}) \cdot \Delta T$$

$$m_{Vapor} = \frac{(m_{Malte} \cdot Cp_{Malte} + m_{Água} \cdot Cp_{Água}) \cdot \Delta T}{H_{Vaporização (133,6^{\circ}C)}} \quad (kg) \quad (16)$$

$$m_{Vapor} = \frac{(1,842.351,3125 + 878,2812.4,186) \cdot (78 - 25)}{2163,8} = 105,902 \text{ kg}$$

A Equação 16 pode ser reajustada para a determinação da vazão mássica de vapor levando-se em consideração a taxa de aquecimento de 1°C/min, obtendo-se a Equação 17. É importante destacar que a operação de aquecimento é realizada após a transferência de todo o volume de mosto da tina de filtração para a tina de mosturação, ou seja, o processo de aquecimento só é realizado após a transferência total do volume de mosto da batelada.

$$\dot{Q}_{Mosto} = \dot{Q}_{Vapor}$$

$$(m_{Malte} \cdot Cp_{Malte} + m_{Água} \cdot Cp_{Água}) \cdot Taxa_{Aquecimento} = \dot{m}_{Vapor} \cdot H_{Vaporização (133,6^{\circ}C)}$$

$$\dot{m}_{Vapor} = \frac{(m_{Malte} \cdot Cp_{Malte} + m_{Água} \cdot Cp_{Água}) \cdot Taxa_{Aquecimento}}{H_{Vaporização (133,6^{\circ}C)}} \quad \left(\frac{kg}{min}\right) \quad (17)$$

$$\dot{m}_{Vapor} = \frac{(1,842.351,3125 + 878,2812.4,186) \cdot 1}{2163,8} = 1,9981 \frac{kg}{min} = 119,889 \frac{kg}{h}$$

O cálculo da vazão mássica de vapor por hora é relevante visto que o aquecimento na etapa de mosturação, diferentemente do que ocorre nas outras etapas do processo produtivo cervejeiro, deve ser realizado de maneira gradual levando-se em consideração a taxa de aquecimento de 1°C/min. O procedimento de cálculo desenvolvido anteriormente também foi aplicado nos estilos *Pilsen* e *Weizen*.

A Tabelas 14, 15 e 16 sintetizam todos os valores de correntes na tina de mosturação para os três estilos produzidos.

Tabela 14 – Balanço material na etapa de mosturação para a *Session IPA* (T-202)

Corrente	5.1	7.1	09	P2	V_s	L_s
De	M-101	T-201	T-202	T-202 A	Caldeira	T-202
Para	T-202	T-202	T-204	-	T-202	-
Temperatura (°C)	25	25	78	78	133,6	133,6
Pressão (atm)	1	1	1	1	3	3
Vazão (kg/h)	12,686	31,716	43,070	1,332	119,889	119,889
Vazão (kg/batelada)	351,312	878,281	1192,706	36,888	105,902	105,902
Componente (kg/batelada)						
Açúcar	216,465	0,000	216,465	0,000	0,000	0,000
Casca	85,168	0,000	66,724	18,444	0,000	0,000
Proteína	31,937	0,000	31,937	0,000	0,000	0,000
Água	17,743	878,281	877,580	18,444	105,902	105,902

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 15 – Balanço material na etapa de mosturação para a *Pilsen* (T-203)

Corrente	5.2c	7.2c	10c	P2c	V_s	L_s
De	M-101	T-201	T-203 C	T-203 C	Caldeira	T-203
Para	T-203 C	T-203 C	T-205 C	-	T-203 C	-
Temperatura (°C)	25	25	78	78	133,6	133,6
Pressão (atm)	1	1	1	-	3	3
Vazão (kg/h)	7,066	17,664	23,988	0,742	66,772	66,772
Vazão (kg/batelada)	195,665	489,162	664,281	20,545	58,982	58,982
Componente (kg/batelada)						
Açúcar	121,519	0,000	121,519	0,000	0,000	0,000
Casca	46,256	0,000	35,983	10,272	0,000	0,000
Proteína	17,929	0,000	17,929	0,000	0,000	0,000
Água	9,961	489,162	488,850	10,272	58,982	58,982

Fonte: Autoria própria (2019).

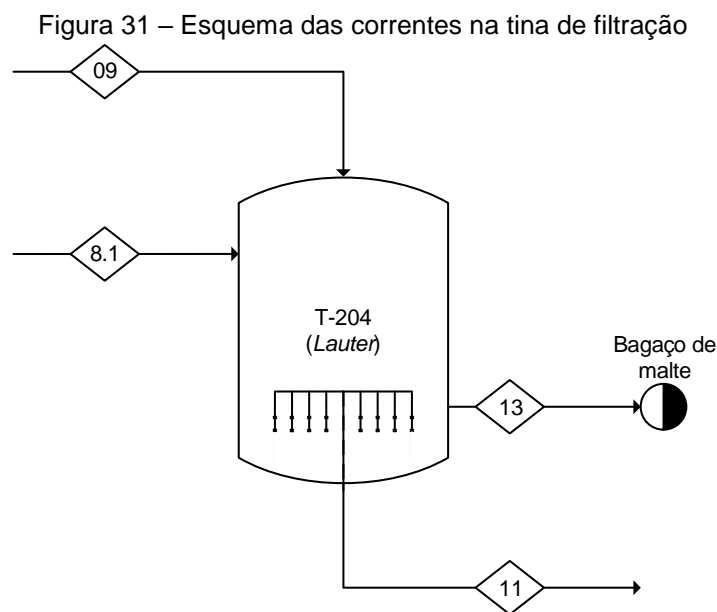
Tabela 16 – Balanço material na etapa de mosturação para a *Weizen* (T-203)

Corrente	5.2b	7.2b	10b	P2b	V_s	L_s
De	M-101	T-201	T-203 B	T-203 B	Caldeira	T-203 B
Para	T-203 B	T-203 B	T-205 B	-	T-203 B	-
Temperatura (°C)	25	25	78	78	133,6	133,6
Pressão (atm)	1	1	1	-	3	3
Vazão (kg/h)	7,050	17,624	23,933	0,740	66,620	66,620
Vazão (kg/batelada)	195,219	488,047	662,768	20,498	58,848	58,848
Componente (kg/batelada)						
Açúcar	121,247	0,000	121,247	0,000	0,000	0,000
Casca	46,144	0,000	35,895	10,249	0,000	0,000
Proteína	17,889	0,000	17,889	0,000	0,000	0,000
Água	9,938	488,047	487,737	10,249	58,848	58,848

Fonte: Autoria própria (2019).

6.2.2 Filtração

Após a mosturação, o mosto é filtrado de modo a retirar as cascas do malte e outros sólidos solúveis do extrato de malte. Em seguida, a camada filtrante é lavada com uma certa quantidade de água quente, com objetivo de clarificar o mosto. O esquema do tanque de filtração está disposto na Figura 31, mostrada a seguir.



Fonte: Autoria própria (2019).

A corrente 09 é proveniente da mosturação. Considerou-se que essa corrente já carrega consigo todos os açúcares presentes nos grãos, ou seja, todo açúcar foi extraído na mosturação. Essa corrente será levada com uma corrente de água de lavagem 8.1, com aproximadamente 1,9 vezes a quantidade de água proveniente da corrente 09, conforme calculado pela Equação 18, de modo a garantir um extrato clarificado (HOMEBREWER, 2017).

$$m_{\text{Água},8.1} = 1,8595 \cdot m_{\text{Água},(09)} \quad (18)$$

$$m_{\text{Água},8.1} = 1,8595 \cdot 31,6903 = 58,930 \text{ kg/h}$$

Considerando uma eficiência de filtração de 100%, ou seja, toda a casca será retirada, e que segundo Mello (2014), o bagaço é composto por 77,61% de água, 0,37% de açúcares, 5% de proteínas e 17,02% de cascas, obteve-se as composições da corrente de saída 13 através da massa da casca da corrente 09 e da fração da casca na corrente 13. Os cálculos para a vazão global da corrente 13 e vazão de água na corrente 13 estão exemplificados abaixo pelas Equações 19 e 20, respectivamente.

$$m_{13} = \frac{m_{Casca,09}}{x_{Casca,13}} \quad (19)$$

$$m_{13} = \frac{2,4094}{0,1702} = 14,157 \text{ kg/h}$$

$$m_{\text{Água},13} = x_{\text{Água},13} \cdot m_{13} \quad (20)$$

$$m_{\text{Água},13} = 0,7761 \cdot 14,1568 = 10,987 \text{ kg/h}$$

Os cálculos para as outras espécies são análogos. Tendo as composições dessas correntes, calculou-se as composições da corrente 11, através do balanço de massa global (Equação 19) e balanço de massa da água (Equação 20). Os cálculos estão exemplificados a seguir para a corrente 11 e para a água.

$$m_{09} + m_{8.1} = m_{13} + m_{11} \quad (19)$$

$$m_{11} = 43,0699 + 58,9298 - 14,1567 = 87,825 \text{ kg/h}$$

$$m_{\text{Água},09} + m_{\text{Água},8.1} = m_{\text{Água},13} + m_{\text{Água},11} \quad (20)$$

$$m_{\text{Água},11} = 31,6904 + 58,9298 - 10,9870 = 79,633 \text{ kg/h}$$

Para a clarificação do mosto é utilizada água quente aproximadamente na temperatura em que o mosto deixa a tina de mosturação (78°C). O aquecimento da corrente de entrada de água da tina de filtração será efetuado a partir da integração energética do processo produtivo.

As Tabelas 17, 18 e 19 sintetizam todas as vazões mássicas relacionadas à tina de filtração para os 3 estilos de cerveja produzidos.

Tabela 17 – Balanço material na etapa de filtração para a *Session IPA* (T-204)

Corrente	09	8.1	13	11
De	T-202	T-201	T-204	T-204
Para	T-204	T-204	-	T-206
Temperatura (°C)	78	78	78	78
Pressão (atm)	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	43,070	58,930	14,157	87,825
Vazão (kg/batelada)	1192,706	1631,904	392,024	2432,091
Componente (kg/batelada)				
Açúcar	216,465	0,000	1,938	214,526
Casca	66,724	0,000	66,724	0,000
Proteína	31,937	0,000	19,602	12,336
Água	877,580	1631,904	304,255	2205,229

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 18 – Balanço material na etapa de filtração para a *Pilsen* (T-205)

Corrente	10c	8.2c	14c	12c
De	T-203 C	T-201	T-205 C	T-205 C
Para	T-205 C	T-205 C	-	T-207 C
Temperatura (°C)	78	78	78	78
Pressão (atm)	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	23,988	27,995	7,635	44,306
Vazão (kg/batelada)	664,281	775,239	211,417	1226,947
Componente (kg/batelada)				
Açúcar	121,519	0,000	1,938	119,581
Casca	35,983	0,000	35,983	0,000
Proteína	17,929	0,000	10,571	7,358
Água	488,850	775,239	164,081	1100,008

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 19 – Balanço material na etapa de filtração para a *Weizen* (T-205)

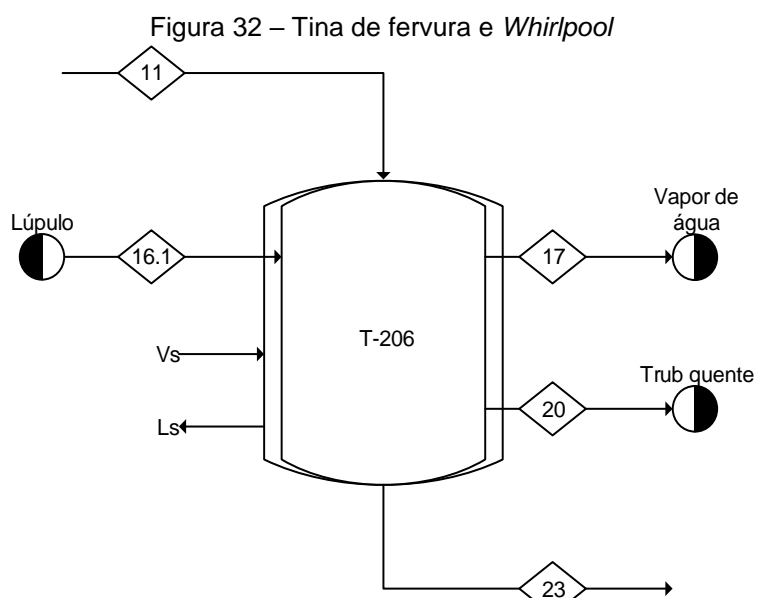
Corrente	10b	8.2b	14b	12b
De	T-203 B	T-201	T-205 B	T-205 B
Para	T-205 B	T-205 B	-	T-207 B
Temperatura (°C)	78	78	78	78
Pressão (atm)	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	23,933	26,962	7,616	43,238
Vazão (kg/batelada)	662,768	746,637	210,900	1197,347
Componente (kg/batelada)				
Açúcar	121,247	0,000	1,938	119,309
Casca	35,895	0,000	35,895	0,000
Proteína	17,889	0,000	10,545	7,344
Água	487,737	746,637	163,680	1070,694

Fonte: Autoria própria (2019).

6.2.3 Fervura e *Whirlpool*

Após a filtração, o mosto segue para o tanque de fervura e *Whirlpool*, etapa que ocorre necessariamente na ordem citada, onde será adicionado o lúpulo, que dará a cerveja seu amargor característico.

O esquema de correntes na tina de fervura e *Whirlpool* está disposto na Figura 32.



Fonte: Autoria própria (2019).

No tanque de fervura e *Whirlpool* temos a entrada da corrente 11, proveniente da filtração, e uma corrente de lúpulo 16.1. A quantidade de lúpulo adicionada está relacionada com o tipo de cerveja a ser produzido; para a *Session IPA*, será adicionado 0,406 kg/h (HOMEBREWER, 2017).

A temperatura e o tempo de fervura variam para cada tipo de cerveja, mas em geral, chega-se à temperatura de 100 °C. Devido à alta temperatura, parte da água presente no mosto é evaporada. Segundo a Hominilúpulo (2017) perde-se cerca de 15% da água do mosto nesta etapa. A partir deste valor, foi possível calcular a quantidade de água evaporada, corrente 17, a partir da Equação 21.

$$m_{\text{Água},17} = 0,15 \cdot m_{\text{água},11} \quad (21)$$

$$m_{\text{Água},17} = 0,15 \cdot 79,6332 = 11,945 \text{ kg/h}$$

Após ser concentrado, o mosto passa pela etapa de *Whirlpool*, onde ocorrerá a centrifugação. Nessa etapa, as partículas sólidas do lúpulo e as proteínas coaguladas sedimentam, formando o resíduo chamado de *trub*. Nesse processo, a separação ocorre pela rotação do mosto dentro do tanque, fazendo com que o *trub* se acumule no fundo e no centro do tanque.

O *trub* carrega consigo uma massa de água equivalente a massa de lúpulo adicionada na fervura, corrente 16.1, ou seja, a massa de *trub* corresponde a massa de proteína da corrente 11 somada a duas vezes a massa de lúpulo (Equação 22). Tendo em base essas informações, calculou-se a composição da corrente de *trub*, corrente 20.

$$m_{\text{Trub},20} = m_{\text{Proteína},11} + 2 \cdot m_{\text{Lúpulo},16.1} \quad (22)$$

$$m_{\text{Trub},20} = 0,4455 + 2 \cdot 0,4060 = 1,242 \text{ kg/h}$$

Uma vez que o *trub* retirado é composto por proteínas coaguladas, lúpulo e água e que o açúcar, as proteínas e lúpulo não reagem ou são convertidos em

outras espécies na etapa de fervura, a massa de açúcar se conserva devendo, portanto, sair juntamente com a água não evaporada na corrente 23. Assim sendo, a massa de açúcar da corrente 23 é igual a massa de açúcar proveniente da corrente 11.

$$m_{Açúcar,23} = m_{Açúcar,11} = 7,747 \text{ kg/h}$$

O *trub*, conforme pesquisa de campo, carrega consigo massa de água equivalente à massa de lúpulo que é alimentada no tanque de fervura, corrente 16.1. Assim sendo, o cálculo da vazão mássica de água na corrente 23 pode ser efetuado conforme a Equação 23.

$$m_{Água,23} = (1 - 0,15) \cdot m_{água,11} - m_{Lúpulo,16.1} \quad (23)$$

$$m_{Água,23} = 0,85 \cdot 79,6332 - 0,406 = 67,282 \text{ kg/h}$$

Segundo Bleier et al. (2013), a porcentagem de lúpulo solúvel no mosto é cerca de 3,8%, sendo possível, portanto, calcular a massa de lúpulo na corrente 23 a partir da Equação 24.

$$m_{Lúpulo,23} = m_{Lúpulo,16.1} \cdot \text{Fração}_{Lúpulo \text{ solúvel}} \quad (24)$$

$$m_{Lúpulo,23} = 0,406 \cdot 0,0380 = 0,0154 \text{ kg/h}$$

Assim, em posse das composições, calculou-se a vazão mássica da corrente 23, sendo esta, a soma dos seus componentes, conforme representado pela Equação 25.

$$m_{23} = m_{Água,23} + m_{Lúpulo,23} + m_{Açúcar,23} \quad (25)$$

$$m_{23} = 75,044 \text{ kg/h}$$

Na etapa de fervura, o mosto clarificado, do inglês *Wort*, e o lúpulo são aquecidos até a temperatura de 100°C, sendo que o mosto entra na tina de fervura na temperatura de 78°C, temperatura em que deixa a tina de filtração, que conforme dados de pesquisa de campo, as perdas de calor na transferência do mosto da tina de filtração para a tina de fervura são desprezíveis, visto que o processo é rápido e a linha de transferência de um tanque a outro é pequena. Assim sendo, a temperatura do mosto é preservada. Já o lúpulo entra em condições ambiente, estando portanto, na temperatura de 25°C. Para determinação da quantidade de calor necessária na fervura, utiliza-se a Equação 8 e efetua-se o cálculo considerando o C_p do lúpulo e do mosto (*Wort*) separadamente (todos os valores de C_p estão no Apêndice A), conforme desenvolvido abaixo para o estilo *Session IPA*.

$$Q_{Lúpulo} = 11,243.1,842. (100 - 25) = 1553,231 \text{ kJ}$$

$$Q_{Wort} = 2432,090.4,186. (100 - 78) = 223976,080 \text{ kJ}$$

Segundo Tipler e Mosca (2012) a energia necessária para vaporizar uma amostra de uma substância de massa m , sem que haja variação da temperatura, é proporcional à massa da amostra e ao calor latente de vaporização, também denominado entalpia de vaporização, $H_{Vaporização}$. Com base no descrito, a energia necessária para vaporizar os 15% da massa de água evaporada pode ser calculado a partir da Equação 26.

$$Q_{Vaporização} = m_{Água} \cdot H_{Vaporização (100^\circ C)} \quad (26)$$

$$Q_{Vaporização} = 330,784.2257 = 746580,151 \text{ kJ}$$

O procedimento de cálculo aplica-se a todos os estilos de cerveja que a *Offenheit* produz. Todos os valores calculados estão resumidos nas Tabelas 20, 21 e 22.

Tabela 20 – Quantidade de calor por batelada utilizado na fervura para a *Session IPA*

Material	Entra		Sai		Quantidade de calor (kJ)
	Massa (kg)	Temperatura (°C)	Massa (kg)	Temperatura (°C)	
Lúpulo	11,243	25	11,243	100	1553,231
Wort	2432,090	78	2101,306	100	223976,111
Água	-	-	330,784	100	746580,151
				Total	972109,493

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 21 – Quantidade de calor por batelada utilizado na fervura para a *Pilsen*

Material	Entra		Sai		Quantidade de calor (kJ)
	Massa (kg)	Temperatura (°C)	Massa (kg)	Temperatura (°C)	
Lúpulo	1,396	25	1,396	100	192,815
Wort	1226,947	78	1061,946	100	97796,725
Água	-	-	165,001	100	372407,732
				Total	470397,273

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 22 – Quantidade de calor por batelada utilizado na fervura para a *Weizen*

Material	Entra		Sai		Quantidade de calor (kJ)
	Massa (kg)	Temperatura (°C)	Massa (kg)	Temperatura (°C)	
Lúpulo	1,696	25	1,696	100	234,324
Wort	1197,347	78	1036,743	100	95475,716
Água	-	-	160,604	100	362483,426
				Total	458193,466

Fonte: Autoria própria (2019).

No processo de *Whirlpool* o mosto perde calor para o meio externo, segundo Senai (2014) a temperatura média de saída do *Whirlpool* é de 95°C, havendo, portanto, redução de 5°C na temperatura do mosto em relação à fervura. Para a determinação da quantidade de calor perdida no processo, utilizou-se a Equação 8, considerando-se os valores de C_p do mosto e do lúpulo individualmente.

$$Q_{Lúpulo}^{Whirlpool} = 11,243 \cdot 1,842 \cdot (95 - 100) = -103,548 \text{ kJ}$$

$$Q_{Wort}^{Whirlpool} = 2101,307.4,186. (95 - 100) = -43980,334 \text{ kJ}$$

A Tabela 23 sintetiza todos as perdas de calor no processo de *Whirlpool* para os 3 (três) estilos de cerveja produzidos.

Tabela 23 – Quantidade de calor perdida na etapa de *Whirlpool*

Estilo de Cerveja	<i>Session IPA</i>		<i>Pilsen</i>		<i>Weizen</i>	
	Entra	Sai	Entra	Sai	Entra	Sai
T (°C)	100	95	100	95	100	95
Lúpulo (kg)	11,243	11,243	1,396	1,396	1,696	1,696
Wort (kg)	2101,306	2101,306	1061,946	1061,946	1036,743	1036,743
Q (kJ)	-44083,888		-22239,383		-21714,648	

Fonte: Autoria própria (2019).

O vapor de utilidade será alimentado no processo nas condições de vapor saturado na pressão de 4 bar e temperatura de 143,6°C. A determinação da massa de vapor de utilidade que deve ser alimentada no processo pode ser calculada com base na Equação 27, considerando que as perdas de calor para o meio ambiente são desprezíveis. O cálculo desenvolvido abaixo é para o estilo *Session IPA*.

$$Q_{Vapor} = Q_{Wort} + Q_{Lúpulo} + Q_{Vaporização}$$

$$m_{Vapor} \cdot H_{Vaporização/Condensação (143,6°C)} = Q_{Wort} + Q_{Lúpulo} + Q_{Vaporização}$$

$$m_{Vapor} = \frac{Q_{Wort} + Q_{Lúpulo} + Q_{Vaporização}}{H_{Vaporização/Condensação (143,6°C)}} \text{ (kg)} \quad (27)$$

$$m_{Vapor} = \frac{972109,493}{2133,800} = 455,577 \text{ kg}$$

As Tabelas 24, 25 e 26 sintetizam todas as vazões mássicas relacionadas a tina de fervura e *Whirlpool* para os 3 estilos de cerveja produzidos.

Lúpulo	0,000	1,696	0,000	0,065	0,000	0,000	0,000
Água	1070,694	0,000	160,604	908,394	0,000	214,344	214,344

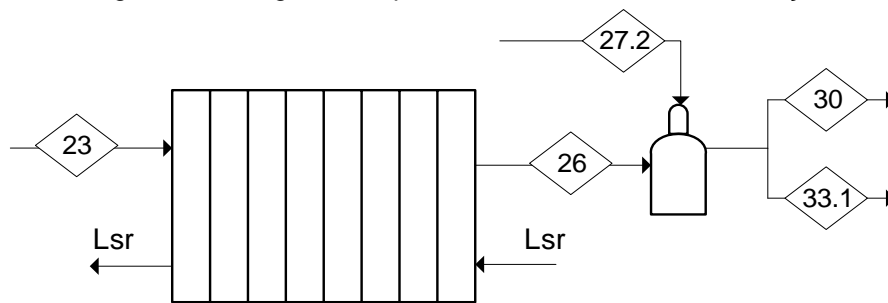
Fonte: Autoria própria (2019).

6.3 ÁREA 300: ADEGA

6.3.1 Resfriamento e Aeração

A aeração do mosto é uma etapa importante para o início da fermentação, onde uma quantidade de oxigênio é adicionada ao mosto após a passagem do mesmo pelo tanque de *Whirlpool*. O diagrama de processo é representado pela Figura 33.

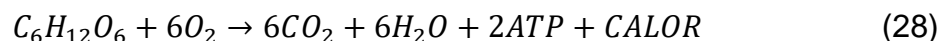
Figura 33 – Diagrama de processo de Resfriamento e aeração



Fonte: Autoria Própria (2018).

A quantidade de O₂ adicionado na etapa de oxigenação depende da quantidade de açúcar na corrente 30 e 33.1 que entram, respectivamente, no inoculador e no tanque fermentador. A corrente de oxigênio na corrente 27.2 é encontrada através da quantidade necessária do mesmo para ocorrer a fermentação desse açúcar.

Durante a fermentação ocorre duas reações, a fermentação propriamente dita e a respiração celular, nas quais ambas ocorrem o consumo da glicose, entretanto somente na respiração utiliza-se o O₂. A relação estequiométrica entre a glicose e o oxigênio é representado pela reação química abaixo, Equação 28.



A corrente 33.1, em sua composição, possui massa de água igual a 64,5119 kg/h e massa de açúcares igual a 7,405 kg/h, dos quais 1,218 kg/h será consumido na respiração celular (as massas de água e açúcares desta corrente e a quantidade açúcares consumidos nesta etapa serão melhor explicados no balanço de massa do fermentador). Assim, a partir da massa de açúcares consumida e a massa molar da mesma ser 180 kg/kmol, calculou-se o número de mols de glicose pela Equação 29.

$$n_{C_6H_{12}O_6} = \frac{m_{C_6H_{12}O_6}}{MM_{C_6H_{12}O_6}} \quad (29)$$

$$n_{C_6H_{12}O_6} = \frac{1,218}{180} = 0,00676 \text{ kmol/h}$$

Pela relação estequiométrica o número de mols de oxigênio pode ser calculado pela Equação 30 e a vazão mássica de oxigênio pela Equação 31.

$$n_{O_2,27.2} = 6 \cdot n_{C_6H_{12}O_6} \quad (30)$$

$$n_{O_2,27.2} = 6 \cdot 0,00676 = 0,04059 \text{ kmol/h}$$

$$m_{O_2,27.2} = n_{O_2} \cdot MM_{O_2} \quad (31)$$

$$m_{O_2,27.2} = 0,04059 \cdot 32 = 0,6494 \text{ kg/h}$$

Sabendo-se que a quantidade de açúcares necessária no inoculador é 0,342 kg/h e que a corrente 30 e 33.1 são provenientes de uma mesma corrente, as frações mássicas dos componentes de ambas devem ser a mesma, como mostra a Equação 32. Assim,

$$\frac{m_{O_2,30}}{m_{C_6H_{12}O_6,30}} = \frac{m_{O_2,33.1}}{m_{C_6H_{12}O_6,33.1}} \quad (32)$$

$$m_{O_2,30} = \frac{m_{O_2,33.1}}{m_{C_6H_{12}O_6,33.1}} \cdot m_{C_6H_{12}O_6,30}$$

$$m_{O_2,30} = \frac{0,6494 \cdot 0,342}{1,218} = 0,03 \text{ kg/h}$$

Por fim, como não há reação química nessa etapa, a massa de oxigênio na entrada é igual às massas na saída, representada pela Equação 33. As massas de água destas correntes são calculadas analogamente ao oxigênio.

$$m_{O_2,23} = m_{O_2,30} + m_{O_2,33.1} \quad (33)$$

$$m_{O_2,23} = 0,03 + 0,6494 = 0,6794 \text{ kg/h}$$

Sabe-se que a temperatura da corrente proveniente do Whirlpool é 95 °C e que a temperatura necessária na fermentação é de 20 °C. Assim, a quantidade de calor removida nessa etapa do processo foi calculada pela Equação 8, em que o calor liberado do lúpulo e do wort são calculados separadamente e os C_p de ambos estão apresentados no Apêndice A.

$$Q_{Wort} = 2077,727 \cdot 4,186 \cdot (20 - 95) = -652302,488 \text{ kJ/batelada}$$

$$Q_{lúpulo} = 0,428 \cdot 1,842 \cdot (20 - 95) = -59,09 \text{ kJ/batelada}$$

$$Q = Q_{lúpulo} + Q_{Wort} = -65233161,58 \text{ kJ/batelada}$$

Assim, a energia dissipada para resfriar o mosto por batelada é 652316,58 kJ. Foi utilizado como fluido refrigerante uma solução de propilenoglicol a 30%, adotou-se essa substância devido a sua ação anticongelante na água, que diminui o ponto de sua solidificação além de representar baixa toxicidade (MULTICHEMIE, 2009).

Adotando uma diferença de temperatura entre as saídas e entradas de 10°C (ANAPOLSKI E INDRUSIAK, 2015) calculou-se a massa necessária da solução de propilenoglicol necessária por batelada, utilizando a Equação 8, o C_p do fluido refrigerante encontra-se no Apêndice A.

$$m = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T} = \frac{652361,5788}{3,771 \cdot (85 - 10)} = 2220,2479 \text{ kg/batelada}$$

Considerando o tempo médio de 60 minutos por batelada, a vazão mássica de fluido refrigerante é 2220,2479 kg/h.

Na etapa de oxigenação considera-se que as perdas de calor são desprezíveis. As informações de temperatura, pressão, assim como a vazão e composição de cada corrente são representadas pela Tabelas 27, 28 e 29 para cada estilo de cerveja produzido.

Tabela 27 – Balanço de massa e energia no resfriamento e aeração da *Session IPA* (Área 200)

Corrente	23	27.1c	30	33.1	Lsr1	Lsr2
De	T-206	-	TC-201 A	TC-201 A	-	TC-201 A
Para	TC-201 A	Linha	T-301	T-304	TC-201 A	-
Temperatura (°C)	95	20	20	20	10	85
Pressão (atm)	1	1	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	75,044	0,679	3,343	72,381	2220,248	2220,248
Vazão (kg/batelada)	2078,155	18,815	92,576	2004,394	2220,248	2220,248
Componente (kg/ batelada)						
Açúcar	214,526	0,000	9,471	205,055	0	0
Lúpulo	0,428	0,000	0,019	0,409	0	0
Oxigênio	0,000	18,815	0,831	17,984	0	0
Água	1863,201	0,000	82,256	1780,946	1554,173	1554,173
Propilenoglicol	0	0	0	0	666,074	666,074

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 28 – Balanço de massa e energia no resfriamento e aeração da *Pilsen* (Área 200)

Corrente	24c	27.1c	35	47.1	Lsr1	Lsr2
De	T-207	-	TC-201 B	TC-201 B	-	TC-201 B
Para	TC-201 B	Linha	T-302	T-310b	TC-201 B	-
Temperatura (°C)	95	10	10	10	5	85
Pressão (atm)	1	1	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	38,034	0,180	3,557	34,657	1275,406	1275,406
Vazão (kg/batelada)	1053,245	4,992	98,516	959,721	1275,406	1275,406
Componente (kg/batelada)						

Açúcar	119,581	0,000	11,132	108,449	0,000	0,000
Lúpulo	0,053	0,000	0,005	0,048	0,000	0,000
Oxigênio	0,000	4,992	0,465	4,527	0,000	0,000
Água	933,611	0,000	86,914	846,697	892,784	892,784
Propilenoglicol	0,000	0,000	0,000	0,000	382,622	382,622

Fonte: Autoria Própria (2019).

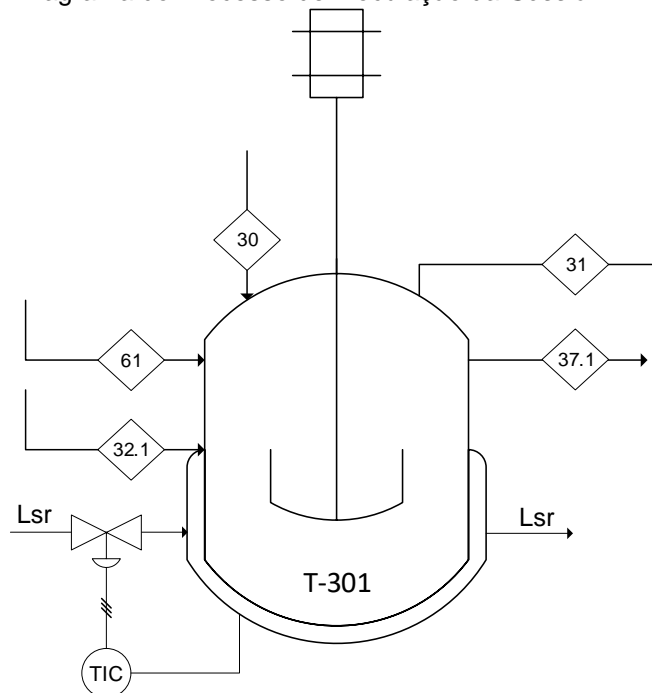
Tabela 29 – Balanço de massa e energia no resfriamento e aeração da *Weizen* (Área 200)

Corrente	24b	27.1b	38	40.1	Lsr1c	Lsr2c
De	T-207	-	TC-201 B	TC-201 B	-	TC-201 B
Para	T-301	Linha	T-302c	T-310c	TC-201 B	-
Temperatura (°C)	95	20	20	20	10	85
Pressão (atm)	1	1	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	37,114	0,167	2,656	34,624	1098,128	1098,128
Vazão (kg/batelada)	1027,767	4,625	73,565	958,828	1098,128	1098,128
Componente (kg/batelada)						
Açúcar	119,309	0,000	8,501	110,807	0,000	0,000
Lúpulo	0,064	0,000	0,005	0,060	0,000	0,000
Oxigênio	0,000	4,625	0,330	4,296	0,000	0,000
Água	908,394	0,000	64,729	843,665	768,690	768,690
Propilenoglicol	0,000	0,000	0,000	0,000	329,438	329,438

Fonte: Autoria Própria (2019).

6.3.2 Inoculação

Uma vez resfriado e aerado o mosto cervejeiro é destinado para etapa de fermentação, no entanto parte desse mosto é direcionado como fonte de açúcar para a inoculação da levedura até que a fase de adaptação e crescimento microbiano no mosto seja alcançado favorecendo assim a velocidade da fermentação. Na Figura 34 é ilustrado o diagrama de processo da etapa de inoculação da *Session IPA* como exemplificação.

Figura 34 – Diagrama do Processo de Inoculação da *Session IPA* (Área 300)

Fonte: Autoria Própria (2019).

Para calcular a quantidade aproximada de levedura necessária para a etapa de fermentação considerou-se, segundo Briggs et al. (2004), o *pitching rate* (razão de células viáveis (em milhões), aptas à fermentação, por mL de mosto e por grau Plato) é igual a 0,75 para as cervejas do tipo *Ale*. Portanto, a partir do volume aproximado do mosto de 70 L/h e concentração de açúcar inicial do mosto de 10 °P é possível calcular o número de células final adquirido no propagador necessário para o processo de fermentação a partir da Equação 34.

$$N^{\circ} \text{ células} = \text{Taxa}_{\text{inoculação}} \cdot V_{\text{mosto}} \cdot {}^{\circ}P \quad (34)$$

$$N^{\circ} \text{ células} = \frac{0,75 \cdot 10^6 \text{ células}}{\text{mL de mosto} \cdot {}^{\circ}P} \cdot 70 \cdot 10^3 \frac{\text{mL}}{\text{h}} \cdot 10 {}^{\circ}P = 5,25 \cdot 10^{11} \text{ células/h}$$

Por meio da coleta de dados na pesquisa de campo, considerou-se que nessa fase de propagação a multiplicação dessas células é influenciada pela aeração e agitação nessa fase, assim, considerou-se que ao final da propagação e ambientação, as células serão multiplicadas cerca de 5,25 vezes do número

inicial inoculado e que elas consumirão 342 g/h de açúcar para sua reprodução e respiração celular conforme os dados obtidos em campo.

Assim, para fornecer essa quantidade de açúcar foi necessário destinar 4,42% do mosto da aeração para a etapa de propagação.

Considerando a razão de crescimento microbiano, será necessário inocular 100 bilhões de células/h no propagador. Segundo dados coletados em campo, a concentração de células por grama de fermento, em base seca, utilizado industrialmente será igual a 10 bilhões de células por grama de fermento seco. Assim a vazão mássica de fermento seco inoculado de 10 g/h é calculada com base na Equação 35.

$$m_{fermento} = \frac{N_{células\ inoculadas}}{C_{células\ no\ fermento}} \quad (35)$$

$$\dot{m}_{fermento} = \frac{100 \cdot 10^9}{10 \cdot 10^9} = 10 \text{ g/h}$$

Tendo em vista que o crescimento da biomassa será a diferença das correntes em base seca do fermento da saída (52,4 g/h) e entrada (10 g/h), e que essa biomassa produzida advém de parte do açúcar consumido, o açúcar destinado ao crescimento dessa biomassa será de 42,4 g/h.

Portanto o açúcar destinado para a respiração celular, o qual produzirá gás carbônico e água e considerando o consumo total de açúcar no propagador, será a diferença do açúcar total inicial na corrente 30 de entrada (342 g/h) com a de açúcar destinado para o crescimento microbiano (42,4 g/h), calculado na Equação 36.

$$m_{Açúcar} = m_{açúcar,30} - m_{açúcar,crescimento} \quad (36)$$

$$\dot{m}_{Açúcar} = 342 - 42,4 = 299,6 \text{ g/h}$$

Em base molar, considerando que todo açúcar consumido será glicose (MM glicose = 180 g/mol), a vazão molar de açúcar consumida na reação de respiração, foi calculada com base na Equação 29.

$$\dot{n}_{\text{Açúcar}} = \frac{299,6}{180} = 1,664 \text{ mol/h}$$

Pela relação estequiométrica da reação de respiração, Equação 28, as vazões de gás carbônico produzido, Equação 37, água produzida, Equação 38, e de oxigênio consumido nessa etapa, Equação 39, serão de:

$$m_{CO_2\text{Produzido}} = 6 \cdot n_{\text{Açúcar}} \cdot MM_{CO_2} \quad (37)$$

$$\dot{m}_{CO_2\text{Produzido}} = 6 \cdot 1,664 \cdot 44 = 439,29 \text{ g/h}$$

$$m_{H_2O\text{Produzida}} = 6 \cdot n_{\text{Açúcar}} \cdot MM_{H_2O} \quad (38)$$

$$\dot{m}_{H_2O\text{Produzida}} = 6 \cdot 1,664 \cdot 18 = 179,71 \text{ g/h}$$

$$m_{O_2\text{Consumido}} = 6 \cdot n_{\text{Açúcar}} \cdot MM_{O_2} \quad (39)$$

$$\dot{m}_{O_2\text{Consumido}} = 6 \cdot 1,664 \cdot 32 = 320,0 \text{ g/h}$$

Verificou-se que a quantidade de oxigênio inicial presente no mosto (30,0 g/h) da corrente 30 não será suficiente para suprir a demanda na respiração (320,0 g/h), portanto considerou-se necessária uma vazão adicional de oxigênio durante a etapa de propagação de 290,0 g/h na corrente 32.2, calculada a partir da Equação 40.

$$m_{O_2,32.2} = m_{O_2\text{Consumido}} - m_{O_2,30} \quad (40)$$

$$\dot{m}_{O_2,32.2} = 320 - 30 = 290,0 \text{ g/h}$$

Considerando que a solubilidade do gás carbônico no mosto será aproximadamente igual à solubilidade desse gás em água (1,08 grama de gás por litro de água) a 20 °C e 1 atm (BRIGGS, 2004), e que a vazão de água total na corrente de saída (37.1), calculada a partir da Equação 41, é a soma da água que entra em 30 e água produzida na reação de respiração celular subtraída da fração que é considerada retida no inoculador quando esse é drenado para o tanque de fermentação.

$$m_{H_2O,37.1} = m_{H_2O,30} + m_{H_2O \text{ produzida}} - m_{H_2O \text{ perda}} \quad (41)$$

$$\dot{m}_{H_2O,37.1} = 2,98 + 0,179 - 0,201 = 2,948 \text{ kg/h}$$

Parte do gás carbônico produzido será solubilizado na corrente do mosto, calculada a partir da Equação 42, e a outra parte gasosa eliminada do propagador, calculada a partir da Equação 43.

$$m_{CO_2 \text{ Solubilizado}} = S_{CO_2 \text{ em } H_2O} \cdot m_{H_2O,37.1} \quad (42)$$

$$\dot{m}_{CO_2 \text{ Solubilizado}} = 1,08 \frac{g}{L} \cdot 2,948 \frac{kg}{h} \cdot \left(\frac{1 \text{ L de água}}{1 \text{ kg de água}} \right) = 3,184 \text{ g/h}$$

$$m_{CO_2 \text{ Volatilizado}} = m_{CO_2 \text{ Produzido}} - m_{CO_2 \text{ Solubilizado}} \quad (43)$$

$$\dot{m}_{CO_2 \text{ Volatilizado}} = 439,3 - 3,184 = 436,1 \text{ g/h}$$

Na etapa de inoculação o açúcar consumido a partir da reação de respiração aeróbica das leveduras, Equação 1.1, deverá ser mantida em um sistema isotérmico a uma temperatura ótima de propagação das leveduras (20°C). Considerando que as perdas de calor do tanque inoculador para o ambiente são desprezíveis e que a operação será em batelada, a partir da Equação 44 tem-se que o calor liberado pela reação é dado por:

$$Q = n_{I,1.1} \cdot (\Delta H^{\circ}_{rx})_{1.1} \quad (44)$$

Em que $n_{I,1.1}$ representa a quantidade de glicose consumida na reação de respiração celular no processo de inoculação e $(\Delta H^{\circ}_{rx})_{1.1}$ a entalpia padrão de formação da reação de respiração por glicose consumida.

De acordo com os dados de Perry (1988) da entalpia padrão de formação - aproximada para 25°C e considerando a variação do calor específico do mosto desprezível - da glicose ($H^{\circ}_f = -1271$ kJ/mol), gás carbônico ($H^{\circ}_f = -393$ kJ/mol), água ($H^{\circ}_f = -286$ kJ/mol), ATP (Trifosfato de Adenosina) ($H^{\circ}_f = -31$ kJ/mol) e seus respectivos coeficientes estequiométricos, calculou-se a partir da Equação 45 (Fogler, p.385, 2009), que para cada molécula de glicose consumida na reação de respiração celular são liberados 3922 kJ.

$$\Delta H^{\circ}_{rx}(25^{\circ}C) = \sum_{produtos} \gamma_i \cdot H^{\circ}_i - \sum_{reagentes} \gamma_i \cdot H^{\circ}_i \quad (45)$$

$$(\Delta H^{\circ}_{rx})_{1.1} = 2 \cdot (-393) + 2 \cdot (-286) + 38 \cdot (-31) - 1 \cdot (-1271)$$

$$(\Delta H^{\circ}_{rx})_{1.1} = -3922 \frac{kJ}{mol \text{ glicose}}$$

Considerando que o consumo mensal de glicose e o número de bateladas realizadas por mês apenas do estilo *Session IPA*, rearranje-se o consumo mensal de glicose, da respiração celular, para uma operação em batelada no inoculador.

$$n_{glicose/batelada} = 1,67 \frac{mol}{hora} \cdot 30 \text{ dias} \cdot \left(\frac{24h}{1dia}\right) \cdot \left(\frac{1}{26 \text{ bateladas}}\right) = 46,1 \frac{mol}{batelada}$$

Assim, a partir da Equação 44 o calor liberado na reação de respiração celular por batelada na etapa de inoculação é dado por:

$$Q = 46,1 \cdot (-3922) = -180738 \text{ kJ}$$

Para absorver esse calor liberado pela reação de respiração celular, será utilizado propilenoglicol como refrigerante. A partir de dados coletados em campo, o fluido refrigerante entrará a 8°C no inoculador afim de manter o processo isotérmico a 20°C. Embora a vazão e temperatura de saída do refrigerante não seja constante, devido a cinética de reação não linear da respiração celular, considerou-se que o fluido refrigerante – solução de 30 % m/m de propilenoglicol – sai 2 °C a baixo da temperatura do inoculador mantido isotérmico, uma vez que a troca de calor do sistema encamisado de refrigeração não seja tão efetivo. Portanto, a quantidade de refrigerante necessária para suprir o calor liberado pela reação de respiração celular é calculada a partir da Equação 8.

$$m_{p.g.} = \frac{Q}{c_p \cdot \Delta T} = \frac{180738}{3,771 \cdot (18 - 8)} = 4792,8 \text{ kg}$$

Como a operação de inoculação irá ocorrer em um período de um dia, a vazão mássica média diária do refrigerante será igual a 199,70 kg/h. No entanto, o processo de refrigeração, tanto na etapa de inoculação como na fermentação, deverá possuir um sistema de controle, uma vez que a taxa de reação não será constante (BRIGGS).

Devido aos vários parâmetros variáveis e da cinética não-linear da velocidade de reação de respiração, se torna muito difícil de se obter a modelagem matemática do controle de vazão do fluido refrigerante em relação a variação da temperatura do meio reacional. Assim, as constantes (proporcional, integrativa e derivativa) de um controle PID da vazão do fluido refrigerante foram obtidas a partir de dados experimentais de COSTA e NORMEY (2011).

O esquema dessa operação na área 300 é apresentado na Figura 34, ao passo que as vazões mássicas das correntes pertencentes a essa etapa, bem como informações de temperatura e pressão, e de suas respectivas vazões por

componentes, estão indicadas na Tabelas 30, 31 e 32, representando essas informações para os três estilos diferentes produzidos.

Tabela 30 – Balanço material e energético na etapa de inoculação da *Session IPA* (Área 300)

Corrente	30	60	32.1	31	37.1	Perda	Lsr	Lsr
De	TC-301	T-323	C-301	T-301	T-301	T-301	-	T-301
Para	T-301	T-301	T-301	A-301	T-304	-	T-301	-
Temperatura (°C)	20	20	20	20	20	20	8	18
Pressão (atm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	3,343	0,010	0,290	0,436	3,005	0,201	173,075	173,075
Vazão (kg/batelada)	92,576	0,277	8,017	12,078	83,220	5,557	4792,847	4792,847
Componente (kg/batelada)								
Açúcar	9,471	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Lúpulo	0,019	0,000	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000
Oxigênio	0,831	0,000	8,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CO ₂	0,000	0,000	0,000	12,078	0,088	0,000	0,000	0,000
Levedura	0,000	0,277	0,000	0,000	1,453	0,000	0,000	0,000
Propilenoglicol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1437,854	1437,854
Água	82,256	0,000	0,000	0,000	81,660	5,557	3354,993	3354,993

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 31 – Balanço material e energético na etapa de inoculação da *Pilsen* (Área 300)

Corrente	45	59	32.3	46	47.1	Perda	Lsr	Lsr
De	TC-301	T-322	C-301	T-303	T-303	T-303	-	T-303
Para	T-303	T-303	T-303	-	T-316	-	T-303	-
Temperatura (°C)	10	10	10	10	10	10	-2	8
Pressão (atm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	3,558	0,010	0,390	0,556	3,200	0,215	220,349	220,349
Vazão (kg/batelada)	98,516	0,277	10,800	15,394	88,626	5,940	6101,969	6101,969
Componente (kg/batelada)								
Açúcar	11,132	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Lúpulo	0,005	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000
Oxigênio	0,465	0,000	10,800	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000
CO ₂	0,000	0,000	0,000	15,394	0,095	0,000	0,000	0,000
Levedura	0,000	0,277	0,000	0,000	0,849	0,000	0,000	0,000
Propilenoglicol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1830,591	1830,591
Água	86,914	0,000	0,000	0,000	87,678	5,940	4271,379	4271,379

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 32 – Balanço material e energético na etapa de inoculação da *Weizen* (Área 300)

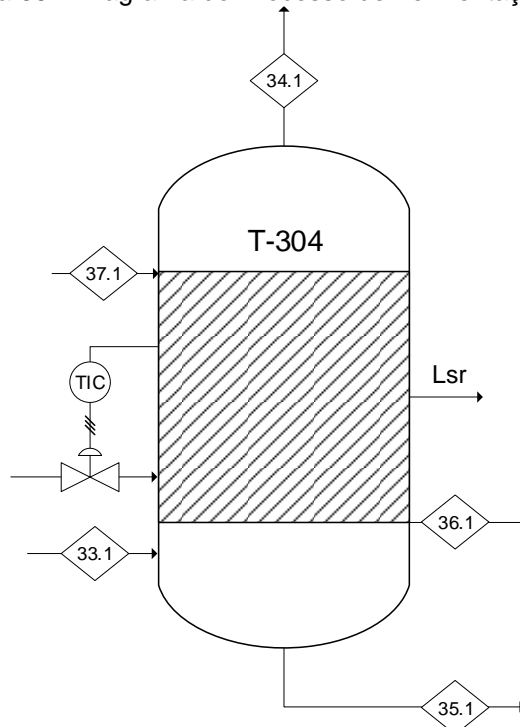
Corrente	38	60	32.2	39	44.1	Perda	Lsr	Lsr
De	TC-301	T-322	C-301	T-303	T-303	T-303	-	T-303
Para	T-303	T-303	T-303	-	T-316	-	T-303	-
Temperatura (°C)	20	20	20	20	20	20	8	18
Pressão (atm)	1	1	1	1	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	2,657	0,010	0,293	0,417	2,342	0,160	165,096	165,096
Vazão (kg/batelada)	73,565	0,277	8,110	11,536	64,844	4,426	4571,890	4571,890
Componente (kg/batelada)								
Açúcar	8,502	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Lúpulo	0,005	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000
Oxigênio	0,330	0,000	8,110	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CO ₂	0,000	0,000	0,000	11,536	0,069	0,000	0,000	0,000
Levedura	0,000	0,277	0,000	0,000	0,866	0,000	0,000	0,000
Propilenoglicol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1371,567	1371,567
Água	64,729	0,000	0,000	0,000	63,904	4,426	3200,323	3200,323

Fonte: Autoria Própria (2019).

6.3.3 Fermentação

Após a propagação e adaptação das leveduras no inoculador, a levedura em contato com o mosto inoculado da corrente 37.1 irá consumir seus açúcares fermentescíveis nas reações de fermentação e respiração celular, as quais terão como produtos o álcool, gás carbônico, água e outros compostos em menor proporção – ácidos (mg/L), ésteres (mg/L), fenóis (mg/L) e aldeídos (mg/L) - SENAI (2014). Na Figura 35 a seguir, é ilustrado diagrama de processo na etapa de fermentação.

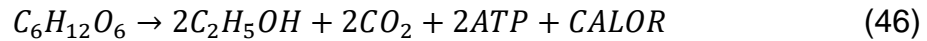
Figura 35 – Diagrama do Processo de Fermentação (Área 300)



Fonte: Autoria Própria (2019).

Considerando que a densidade final (FG) desejada da cerveja na fermentação seja de 2,55 °P e que a densidade de açúcares no mosto na entrada do fermentador (OG) seja de 9,99 °P, calculou-se por meio da Equação 2 que a porcentagem de álcool em volume (ABV) desejada na corrente de saída da cerveja 36.1 é de 3,9%. Determinada a quantidade de produção de 70 L/h ou 71,12 kg/h – considerando a densidade média da cerveja tipo Ale de 1,03 kg/L segundo Briggs et al. (2004) –, a vazão volumétrica de álcool será igual a 2,756 L/h ou 2,145 kg/h – considerando a densidade do álcool etílico de 0,789 kg/L a 20°C e 1 atm segundo Perry (2008). Considerando ainda que parte do álcool produzido será volatilizado (2%, segundo dados de campo) junto com o gás carbônico e eliminado nessa etapa, tem-se que o total de álcool produzido na reação de fermentação seja de 2,219 kg/h.

A partir desse valor, a proporção de açúcar fermentescível destinada para a reação de fermentação será calculada por meio dos dados estequiométricos da Equação 46.



Pela estequiometria da reação, calculou-se a quantidade de açúcar consumido, Equação 47, e de gás carbônico produzido na reação de fermentação, Equação 48.

$$n_{C_6H_{12}O_6\text{fermentação}} = 0,5 \cdot n_{C_2H_5OH} = 0,5 \cdot \frac{m_{C_2H_5OH}}{MM_{C_2H_5OH}} \quad (47)$$

$$\dot{n}_{C_6H_{12}O_6\text{fermentação}} = 0,5 \cdot 2,219 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{\text{kmol}}{46 \text{ kg}} \cdot \left(\frac{1000 \text{ mol}}{1 \text{ kmol}} \right) = 24,12 \text{ mol/h}$$

$$n_{CO_2\text{fermentação}} = 1 \cdot n_{C_2H_5OH} = m_{C_2H_5OH} \cdot MM_{C_2H_5OH} \quad (48)$$

$$\dot{n}_{CO_2\text{fermentação}} = 2,219 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{\text{kmol}}{46 \text{ kg}} \cdot \left(\frac{1000 \text{ mol}}{1 \text{ kmol}} \right) = 48,24 \text{ mol/h}$$

Pela Equação 49 calculamos a quantidade de gás carbônico em termos de vazão mássica produzida pela reação da fermentação alcoólica.

$$m_{CO_2\text{fermentação}} = n_{CO_2\text{fermentação}} \cdot MM_{CO_2} \quad (49)$$

$$\dot{m}_{CO_2\text{fermentação}} = 48,24 \frac{\text{mol}}{\text{h}} \cdot 44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \cdot \left(\frac{1 \text{ kmol}}{1000 \text{ mol}} \right) = 2,122 \text{ kg/h}$$

Tendo em vista que 24,12 mol/h de açúcares fermentescíveis estão sendo destinados para a fermentação, considerou-se que a fração de açúcar destinada para a respiração e para a multiplicação de biomassa (crescimento de 5 vezes a massa inicial segundo dados de campo) seja a diferença de açúcar fermentescível total utilizado no fermentador e a quantidade de açúcar usada na etapa de fermentação. Assim, faz-se necessário calcular a quantidade total de açúcar fermentescível, dado pelo balanço de massa desse componente no fermentador, conforme Equação 50.

$$m_{C_6H_{12}O_6 total consumido} = m_{C_6H_{12}O_6,33.1} - m_{C_6H_{12}O_6,36.1} \quad (50)$$

$$\dot{m}_{C_6H_{12}O_6 total consumido} = 7,405 - 1,846 = 5,56 \text{ kg/h}$$

Assim, pela consideração do cálculo do açúcar fermentescível consumido na reação de respiração, é possível calcular essa vazão pela Equação 51.

$$n_{C_6H_{12}O_6 respiração} = n_{C_6H_{12}O_6 total consumido} - n_{C_6H_{12}O_6 fermentação} \quad (51)$$

$$\dot{n}_{C_6H_{12}O_6 respiração} = 5,56 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \left(\frac{1 \text{ mol}}{180 \text{ g}} \right) \cdot \left(\frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \right) - 24,12 \frac{\text{mol}}{\text{h}} = 6,76 \text{ mol/h}$$

Pela estequiometria da reação de respiração foi possível calcular a vazão molar de gás carbônico produzida pela reação de respiração celular, a partir da Equação 52, e assim calcular também em termos mássicos a partir da Equação 53.

$$n_{CO_2 respiração} = 6 \cdot n_{C_6H_{12}O_6 respiração} \quad (52)$$

$$\dot{n}_{CO_2 respiração} = 6 \cdot 6,76 = 40,56 \text{ mol/h}$$

$$m_{CO_2 respiração} = n_{CO_2 respiração} \cdot MM_{CO_2} \quad (53)$$

$$\dot{m}_{CO_2 respiração} = 40,56 \frac{\text{mol}}{\text{h}} \cdot 44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \cdot \left(\frac{1 \text{ kmol}}{1000 \text{ mol}} \right) = 1,785 \text{ kg/h}$$

A vazão molar e mássica de água produzida pela reação de respiração celular é dada pelas Equações 57 e 58, respectivamente:

$$n_{H_2O respiração} = 6 \cdot n_{C_6H_{12}O_6 respiração} \quad (57)$$

$$\dot{n}_{H_2O\text{respiração}} = 6.6,76 = 40,56 \text{ mol/h}$$

$$m_{H_2O\text{respiração}} = n_{H_2O\text{respiração}} \cdot MM_{H_2O} \quad (58)$$

$$\dot{m}_{H_2O\text{respiração}} = 40,56 \frac{\text{mol}}{\text{h}} \cdot 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \cdot \left(\frac{1 \text{ kmol}}{1000 \text{ mol}} \right) = 0,730 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para calcular a quantidade de gás carbônico solúvel na corrente de saída da cerveja (36.1), realizou-se a mesma consideração da inoculação de que a solubilidade do gás carbônico na cerveja é aproximadamente a da água a 20 °C e 1 atm, uma vez que a pressão controlada dentro do fermentador é próxima da atmosférica e que a temperatura de fermentação de uma cerveja tipo *A/le* se aproxima dessa. Assim, calculou-se, a partir da Equação 54, que o gás carbônico solubilizado na corrente F19 será de:

$$m_{CO_2,36.1} = S_{CO_2} \cdot V_{36.1} \quad (54)$$

$$\dot{m}_{CO_2,36.1} = 1,08 \frac{\text{g } CO_2}{\text{L}} \cdot 70 \frac{\text{L}}{\text{h}} = 75,6 \frac{\text{g } CO_2}{\text{h}}$$

Embora o cálculo de solubilização de gás carbônico seja dependente da vazão de água, utilizou-se a vazão de mosto total da corrente 36.1, uma vez que essa é composta majoritariamente por água.

Para calcular a fração de gás carbônico volatilizado no fermentador, primeiramente calculou-se a quantidade desse gás produzido nas reações de respiração e de fermentação pela Equação 55.

$$m_{CO_2\text{produzido}} = m_{CO_2\text{respiração}} + m_{CO_2\text{fermentação}} \quad (55)$$

$$\dot{m}_{CO_2\text{produzido}} = 2,122 + 1,786 = 3,908 \text{ kg/h}$$

Considerando o balanço de massa do componente gás carbônico no fermentador, tem-se que a soma do gás carbônico produzido no fermentador e a do solubilizado no mosto do inoculador (37.1) é igual a soma do gás carbônico solubilizado na corrente de saída do fermentador (36.1) e a do volatilizado (34.1), possibilitando assim, calcular a vazão mássica desse componente na corrente 34.1 a partir da equação 56.

$$m_{CO_2,34.1} = m_{CO_2,37.1} + m_{CO_2,produzido} - m_{CO_2,36.1} \quad (56)$$

$$\dot{m}_{CO_2,34.1} = 0,003 + 3,908 - 0,0756 = 3,836 \text{ kg/h}$$

Durante o processo de fermentação alcoólica, ocorre ainda a formação de outros compostos como ácidos, ésteres, fenóis e aldeídos. Admitiu-se a produção de 0,0002 kg desses compostos minoritários por litro de cerveja fermentada, considerando ainda que 50% dessa fração é volatilizada. Assim, obteve-se uma vazão de 0,007 kg/h desses compostos fluindo para as correntes 34.1 e 36.1.

Na etapa de fermentação, além da fermentação alcóolica (Equação 1.2), ocorre também a reação de respiração celular (Equação 1.1) no intuito de revigoramento e crescimento da levedura. Portanto, o calor liberado total durante os sete dias dessa etapa para cada batelada é calculado considerando a parcela de açúcar consumido para as duas reações.

Considerando o sistema da dorna encamisada adiabática, isotérmica e operação em batelada, a equação geral do balanço de energia é simplificada pela seguinte Equação 57.

$$Q = n_{1.1} \cdot (\Delta H^\circ_{rx})_{1.1} + n_{1.2} \cdot (\Delta H^\circ_{rx})_{1.2} \quad (57)$$

Em que $n_{1.1}$ e $n_{1.2}$ representam a quantidade de glicose consumida na reação de respiração celular e fermentação alcóolica, respectivamente, e $(\Delta H^\circ_{rx})_{1.1}$ e $(\Delta H^\circ_{rx})_{1.2}$ as entalpias padrões de reação de respiração celular e fermentação alcóolica, respectivamente.

De acordo com os dados de Perry (2008) da entalpia padrão de formação - aproximada para 25°C e considerando a variação do calor específico do mosto desprezível - da glicose ($H^{\circ}_f = -1271$ kJ/mol), gás carbônico ($H^{\circ}_f = -393$ kJ/mol), água ($H^{\circ}_f = -286$ kJ/mol), ATP (Trifosfato de Adenosina) ($H^{\circ}_f = -31$ kJ/mol), etanol ($H^{\circ}_f = -277$ kJ/mol) e seus respectivos coeficientes estequiométricos, calculou-se a partir da Equação 57 que para cada molécula de glicose consumida na reação de fermentação, Equação 1.2, são liberados 132 kJ e na reação de respiração celular 3922 kJ. Considerando a quantidade total em cada batelada de glicose consumida na etapa de fermentação, calculou-se o calor total liberado.

$$Q = (24,2. (-132) + 6,76. (-3922)). 30 d. \left(\frac{24 h}{1d} \right). \frac{1}{13 \text{ bateladas}} = -1,645 \text{ GJ}$$

No entanto, o processo de fermentação ocorrerá em sete dias, fazendo com que a taxa média de calor por hora seja igual -9796 kJ/hora.

Para manter, portanto o sistema isotérmico, utilizou-se como utilidade refrigerante uma solução aquosa de propilenoglicol a 30% m/m.

Analogamente a etapa de inoculação faz-se necessário de um sistema de controle da vazão mássica do refrigerante, uma vez que a taxa de reação de fermentação e respiração celular não é constante.

A vazão mássica do fluido refrigerante é calculada a partir da Equação 8, atribuindo-se as mesmas considerações de variação de temperatura do fluido na etapa de inoculação. Assim a vazão mássica média em sete dias do processo de fermentação é equivalente a 259,78 kg/hora.

As vazões mássicas das correntes pertencentes a essa etapa, bem como informações de temperatura e pressão, e de suas respectivas vazões por componentes, estão indicadas nas Tabelas 33, 34 e 35, representando essas informações para os três estilos diferentes produzidos.

Tabela 33 – Balanço material e energético na fermentação da *Session IPA* (Área 300)

Corrente	33.1	37.1	34.1	-	35.1	Lsr	Lsr
De	TC-301	T-301	T-304	T-304	T-304	-	T-304
Para	T-304	T-304	A-301	T-304	CT-301	T-304	-
Temperatura (°C)	20	20	20	20	20	8	18
Pressão (atm)	1	1	1	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	72,381	3,005	3,887	71,144	0,801	788,0	788,0
Vazão (kg/batelada)	4008,788	166,440	215,302	3940,309	44,361	43643,0	43643,0
Componente (kg/batelada)							
Açúcar	410,111	0,000	0,000	102,213	0,000	0,000	0,000
Lúpulo	0,818	0,038	0,000	0,855	0,000	0,000	0,000
Oxigênio	35,968	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CO ₂	0,000	0,176	212,458	4,187	0,000	0,000	0,000
Etanol	0,000	0,000	2,456	120,444	0,000	0,000	0,000
Água	3561,891	163,320	0,000	3710,769	31,286	30550,1	30550,1
Levedura	0,000	2,905	0,000	1,453	13,074	0,000	0,000
Propilenoglicol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	13092,9	13092,9
Outros	0,000	0,000	0,388	0,388	0,000	0,000	0,000

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 34 – Balanço material e energético na fermentação da *Pilsen* (Área 300)

Corrente	47.1	49.1	48.1	-	50.1	Lsr	Lsr
De	TC-301	T-303	T-316	T-316	T-316	-	T-316
Para	T-316	T-316	A-301	T-316	CT-301	T-316	-
Temperatura (°C)	10	10	10	10	10	-2	8
Pressão (atm)	1	1	1	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	34,657	3,200	1,737	35,741	0,468	228,471	228,471
Vazão (kg/batelada)	1919,442	177,253	96,199	1979,489	25,912	12653,778	12653,778
Componente (kg/batelada)							
Açúcar	216,897	0,000	0,000	53,640	0,000	0,000	0,000
Lúpulo	0,096	0,010	0,000	0,106	0,000	0,000	0,000
Oxigênio	9,054	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CO ₂	0,000	0,189	94,510	2,094	0,000	0,000	0,000
Etanol	0,000	0,000	1,495	73,270	0,000	0,000	0,000
Água	1693,394	175,356	0,000	1849,337	18,275	8857,645	8857,645
Levedura	0,000	177,253	0,000	0,849	7,637	0,000	0,000
Propilenoglicol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3796,133	3796,133
Outros	0,000	0,000	0,194	0,194	0,000	0,000	0,000

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 35 – Balanço material e energético na fermentação da *Weizen* (Área 300)

Corrente	40.1	44.1	42.1	-	43.1	Lsr	Lsr
De	TC-301	T-302	T-310	T-310	T-310	-	T-310
Para	T-310	T-310	A-301	T-310	CT-301	T-310	-
Temperatura (°C)	20	20	20	20	20	8	18
Pressão (atm)	1	1	1	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	34,624	2,342	1,695	35,735	0,477	218,717	218,717
Vazão (kg/batelada)	1917,656	129,687	93,875	1979,156	26,441	12113,568	12113,568
Componente (kg/batelada)							
Açúcar	221,615	0,000	0,000	61,230	0,000	0,000	0,000
Lúpulo	0,120	0,009	0,000	0,129	0,000	0,000	0,000
Oxigênio	8,592	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CO ₂	0,000	0,138	92,206	2,094	0,000	0,000	0,000
Etanol	0,000	0,000	1,475	72,266	0,000	0,000	0,000
Água	1687,329	127,808	0,000	1842,378	18,648	8479,497	8479,497
Levedura	0,000	1,732	0,000	0,866	7,793	0,000	0,000
Propilenoglicol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3634,070	3634,070
Outros	0,000	0,000	0,194	0,194	0,000	0,000	0,000

Fonte: Autoria Própria (2019).

6.3.4 Maturação

Depois da fermentação, a cerveja passa por um processo de maturação que possibilita a formação das características organolépticas finais do produto. A bebida permanece no mesmo tanque de fermentação sob baixas temperaturas, a qual depende do estilo desejado. No caso da *Session IPA*, a temperatura de maturação é de 5°C.

Considerou-se que houve uma perda de 1% da massa de água. Portanto, a perda de água pode ser representada pela Equação 58.

$$P = 0,01 \cdot m_{\text{água}} \quad (58)$$

$$P = 0,01 \cdot 67 = 0,67 \text{ kg/h}$$

Assim, a vazão mássica de água após a maturação pode ser calculada pela Equação 59.

$$m_{\text{água}} = m_{\text{água}} - P \quad (59)$$

$$m_{\text{água}} = 67 - 0,67 = 66,33 \text{ kg/h}$$

A quantidade de calor liberada durante a etapa de maturação pode ser calculada pela Equação 8, no qual a quantidade de calor liberada pelo lúpulo e pelo mosto são calculados separadamente e o C_p dos mesmos estão listados no Apêndice A.

$$Q_{\text{wort}} = 2077,727 \cdot 4,186 \cdot (20 - 95) = -652302,488 \text{ KJ/batelada}$$

$$Q_{\text{lúpulo}} = 0,428 \cdot 1,842 \cdot (20 - 95) = -59,09 \text{ KJ/batelada}$$

$$Q = Q_{\text{lúpulo}} + Q_{\text{wort}} = -65233161,58 \text{ kJ/batelada}$$

$$Q = (1,842 \cdot 0,855 + 4,186 \cdot 3939,4539) \cdot (5 - 20) = -247381,9486 \text{ kJ/bat.}$$

Considerando que o tempo total de resfriamento do mosto fermentado que passa para a etapa de maturação é de 60 minutos, a quantidade de energia média perdida por minuto nessa etapa de processo é 4123,0324 KJ. Sabendo que a maturação ocorre no mesmo tanque que a fermentação, e com o mesmo líquido refrigerante, a massa do mesmo pode ser calculada pela Equação 8. Considerou-se ainda, que a diferença de temperatura da saída e da entrada fosse de 10 °C, segundo dados coletados em campo. Uma vez que a refrigeração por meio do fermentador encamisado não é efetiva, atribuiu-se uma diferença de 2 °C entre a temperatura do mosto fermentado final e a temperatura de saída do refrigerante.

$$m = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T} = \frac{-4123,0324}{3,771 \cdot (3 - (-7))} = 109,33 \text{ kg/min}$$

As Tabelas 36, 37 e 38 apresentam os dados de temperatura, pressão, composição por componente e vazão mássica das correntes dos estilos produzidos pela *Offenheit*.

Tabela 36 – Balanço material e energético na etapa de maturação da *Session IPA* (Área 300)

Corrente	-	36.1	P4	Lsr1	Lsr2
De	T-304	T-304	T-304	-	T-304
Para	T-304	T-324	Ambiente	T304	-
Temperatura (°C)	20	5	5	-7	3
Pressão (atm)	1	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	71,145	70,475	0,670	6560,115	6560,115
Vazão (kg/batelada)	3940,309	3903,202	37,108	6560,115	6560,115
Componente (kg/batelada)					
Açúcar	102,213	102,213	0,000	0,000	0,000
Lúpulo	0,856	0,856	0,000	0,000	0,000
CO ₂	4,187	4,187	0,000	0,000	0,000
Etanol	120,444	120,444	0,000	0,000	0,000
Água	3710,769	3673,662	37,108	4592,081	4592,081
Levedura	1,453	1,453	0,000	0,000	0,000
Propilenoglicol	0,000	0,000	0,000	1968,035	1968,035
Outros	0,388	0,388	0,000	0,000	0,000

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 37 – Balanço material e energético na etapa de maturação da *Pilsen* (Área 300)

Corrente	-	51.1	P4	Lsr1c	Lsr2c
De	T-316	T-316	T-316	-	T-316
Para	T-316	T-326	Ambiente	T-316	-
Temperatura (°C)	10	5	5	-7	3
Pressão (atm)	1	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	35,741	35,407	0,334	3295,900	3295,900
Vazão (kg/batelada)	1979,489	1960,996	18,493	3295,900	3295,900
Componente (kg/batelada)	0,000	0,000	0,000		
Açúcar	53,641	53,641	0,000	0,000	0,000
Lúpulo	0,106	0,106	0,000	0,000	0,000
CO ₂	2,094	2,094	0,000	0,000	0,000
Etanol	73,270	73,270	0,000	0,000	0,000
Água	1849,337	1830,843	18,493	2307,130	2307,130
Levedura	0,849	0,849	0,000	0,000	0,000
Propilenoglicol	0,000	0,000	0,000	988,770	988,770
Outros	0,194	0,194	0,000	0,000	0,000

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 38 – Balanço material e energético na etapa de maturação da *Weizen* (Área 300)

Corrente	-	41.1	P4	Lsr1b	Lsr2b
De	T-310	T-310	T-310	-	T-310
Para	T-310	T-325	Ambiente	T-310	-
Temperatura (°C)	20	5	5	-7	3
Pressão (atm)	1	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	35,735	35,402	0,333	3295,324	3295,324
Vazão (kg/batelada)	1979,156	1960,732	18,424	3295,324	3295,324
Componente (kg/batelada)					
Açúcar	61,230	61,230	0,000	0,000	0,000
Lúpulo	0,129	0,129	0,000	0,000	0,000
CO ₂	2,094	2,094	0,000	0,000	0,000
Etanol	72,266	72,266	0,000	0,000	0,000
Água	1842,378	1823,954	18,424	2306,727	2306,727
Levedura	0,866	0,866	0,000	0,000	0,000
Solução hid. Alc.	0,000	0,000	0,000	988,597	988,597
Outros	0,194	0,194	0,000	0,000	0,000

Fonte: Autoria Própria (2019).

Após a etapa de maturação, a cerveja segue para o tanque pulmão, e então segue para a carbonatação ou filtração, este destino depende do estilo de cerveja produzido.

6.3.5 Tanques Pulmão

Após maturada, a cerveja segue para o tanque pulmão, onde ela é armazenada e estocada. De acordo com o que foi explicado na rotina de produção, a bebida segue para a carbonatação ou filtração, conforme a necessidade do estilo produzido.

Considerou-se que houve o acréscimo de 2°C da corrente, assim utilizando a Equação 8 e o $C_{p, wort}$ apresentado no Apêndice A, absorveu-se do ambiente 32677,6046 KJ. As Tabelas 39, 40 e 41 apresentam os dados de vazão, temperatura e pressão das correntes para cada estilo de cerveja produzida.

Tabela 39 – Balanço material e energético no tanque pulmão da *Session IPA* (Área 300)

Corrente	36.1	62
De	T-304	T-324
Para	T-324	-
Temperatura (°C)	5	7
Pressão (atm)	1	1
Vazão (kg/h)	70,475	70,475
Vazão (kg/batelada)	3903,202	1951,601
Componente (kg/batelada)		
Açúcar	102,213	51,107
Lúpulo	0,856	0,428
CO ₂	4,187	2,094
Etanol	120,444	60,222
Água	3673,662	1836,831
Levedura	1,453	0,726
Outros	0,388	0,194

Fonte: Aatoria própria (2019).

Tabela 40 – Balanço material e energético no tanque pulmão da *Pilsen* (Área 300)

Corrente	51.1	64
De	T-316	T-326
Para	T-326	F301
Temperatura (°C)	5	7
Pressão (atm)	1	1
Vazão (kg/h)	35,407	35,407
Vazão (kg/batelada)	1960,996	980,498
Componente (kg/batelada)		
Açúcar	53,640	26,820
Lúpulo	0,106	0,053
CO ₂	2,094	1,047
Etanol	73,270	36,635
Água	1830,843	915,422
Levedura	0,849	0,424
Outros	0,194	0,097

Fonte: Aatoria Própria (2019).

Tabela 41 – Balanço material e energético no tanque pulmão da *Weizen* (Área 300)

Corrente	41.1	63
De	T-310	T-325
Para	T-325	-
Temperatura (°C)	5	7
Pressão (atm)	1	1
Vazão (kg/h)	35,402	35,402
Vazão (kg/batelada)	1960,732	980,366
Componente (kg/batelada)		
Açúcar	61,230	30,615
Lúpulo	0,129	0,065
CO ₂	2,094	1,047
Etanol	72,266	36,133
Água	1823,954	911,977
Levedura	0,866	0,433
Outros	0,194	0,097

Fonte: Autoria própria (2019).

6.4 ÁREA 400: ENVASE

Apesar do Diagrama de Fluxo de Processo da Microcervejaria *Offenheit* representar diferentes equipamentos para o processo dos três estilos de cerveja nas etapas de carbonatação, envase e pasteurização, essa linha contará com apenas um equipamento para cada processo, sendo alternadas entre suas bateladas. Para isso os equipamentos foram indexados com os sufixos A/B/C, representando os processos dos estilos de cerveja *SessionIPA/Weizen/Pilsen*, respectivamente.

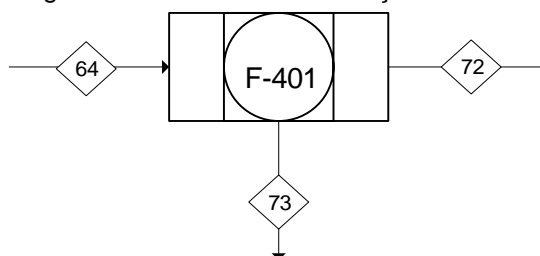
6.4.1 Filtração Secundária

Após fermentado e maturado o mosto agora definido como cerveja é direcionado para tanques pulmões na área 300. Para os estilos que não necessitam de clarificação a cerveja contida nos tanques pulmões direcionada para sua carbonatação, caso contrário para a operação de filtração. A eficiência do filtro F-401, responsável pela clarificação da cerveja, no caso apenas a *Pilsen*, filtrando apenas excesso de leveduras é de 70%, considerando as especificações do fornecedor. Em termos do balanço energético, considerou-se o aumento de 1°C da corrente, absorvendo assim 4104 kJ do meio ambiente.

No intuito de promover a clarificação de cervejas que demandam tal especificação, será utilizado um filtro de terra diatomácea tipo vela, com capacidade de 6,3 kg de leito, o qual será renovado 4 vezes por mês de produção.

O esquema dessa operação na área 400 é apresentado na Figura 36, ao passo que as vazões mássicas das correntes pertencentes a essa etapa, bem como informações de temperatura e pressão, e de suas respectivas vazões por componentes, estão indicadas na Tabela 42.

Figura 36 – Diagrama do Processo de Filtração secundária (Área 300)



Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 42 – Balanço material e energético na etapa de filtração da *Pilsen* (Área 400)

Corrente	64	73	72
De	T-326 C	F-301 C	F-301 C
Para	F-301 C	-	C-401 C
Temperatura (°C)	7	8	8
Pressão (atm)	1	1	1
Vazão (kg/h)	35,407	0,011	35,396
Vazão (kg/batelada)	980,498	0,297	980,201
Componente (kg/batelada)			
Açúcar	26,820	0,000	26,820
Lúpulo	0,053	0,000	0,053
CO ₂	1,047	0,000	1,047
Etanol	36,635	0,000	36,635
Água	915,422	0,000	915,422
Levedura	0,424	0,297	0,127
Outros	0,097	0,000	0,097

Fonte: Autoria Própria (2019).

6.4.2 Carbonatação

Após as etapas de fermentação e maturação, a cerveja é carbonatada. A carbonatação consiste na etapa de adição de dióxido de carbono, responsável

pela acidez e efervescência da cerveja. Além disso contribui no controle microbiano e reage no lugar do oxigênio, evitando oxidações indesejáveis.

Segundo Carvalho et. al (2007), o nível de gás carbônico antes do envase deve estar entre 2,5 a 2,8% v/v. Assim, utilizando a mínima porcentagem, a produção da *Offenheit* de 70 L/h e a densidade de gás carbônico 1,902 g/L (ENGINEERING TOOLBOX, 2018), calculou-se a vazão mássica necessária pela Equação 60.

$$m_{CO_2} = 0,025 \cdot V \cdot \rho_{CO_2} \quad (60)$$

$$m_{CO_2} = 0,025 \cdot 70 \cdot 1,902 \cdot 10^{-3} = 0,3328 \text{ kg/h}$$

Como há uma corrente de gás carbônico proveniente da corrente F19 e a soma de CO₂ desta corrente com a F22 deve ser igual a deste componente na F23, calculou-se a vazão mássica de gás carbônico em F22 a partir da Equação 61.

$$m_{CO_2,F22} = m_{CO_2,F23} - m_{CO_2,F19} \quad (61)$$

$$m_{CO_2,F22} = 0,3458 - 0,0756 = 0,2572 \text{ kg/h}$$

Nesta etapa considera-se que as perdas de calor são desprezíveis. Assim, as Tabelas 43, 44 e 45 apresentam a temperatura, pressão, vazão e composição de cada componente dos três tipos de cerveja produzidos.

Tabela 43 – Balanço material e energético na etapa de carbonatação da *Session IPA* (Área 400)

Corrente	62	67	70
De	T-325	C-401 A	-
Para	-	62	E-401 A
Temperatura (°C)	7	7	7
Pressão (atm)	1	1	1
Vazão (kg/h)	70,474	0,257	70,732
Vazão (kg/batelada)	1951,601	7,124	1958,725
Componente (kg/batelada)			
Açúcar	51,107	0,000	51,107
Lúpulo	0,428	0,000	0,428
CO ₂	2,093	7,124	9,217
Etanol	60,222	0,000	60,222
Água	1836,831	0,000	1836,831
Levedura	0,726	0,000	0,726
Outros	0,194	0,000	0,194

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 44 – Balanço material e energético na etapa de carbonatação da *Pilsen* (Área 400)

Corrente	72	69	74
De	F-301	C-401 C	-
Para	-	72	E-401 C
Temperatura (°C)	8	8	8
Pressão (atm)	1	1	1
Vazão (kg/h)	35,396	0,128	35,524
Vazão (kg/batelada)	980,201	3,542	983,743
Componente (kg/batelada)			
Açúcar	26,820	0,000	26,820
Lúpulo	0,053	0,000	0,053
CO ₂	1,047	3,542	4,589
Etanol	36,635	0,000	36,635
Água	915,422	0,000	915,422
Levedura	0,127	0,000	0,127
Outros	0,097	0,000	0,097

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 45 – Balanço material e energético na etapa de carbonatação da *Weizen* (Área 400)

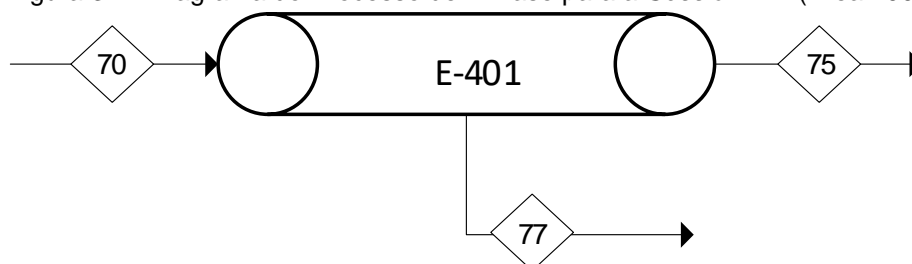
Corrente	63	68	71
De	T-325	C-401 C	-
Para	-	63	E-401 B
Temperatura (°C)	7	7	7
Pressão (atm)	1	1	1
Vazão (kg/h)	35,402	0,129	35,531
Vazão (kg/batelada)	980,366	3,562	983,928
Componente (kg/batelada)			
Açúcar	30,615	0,000	30,615
Lúpulo	0,064	0,000	0,064
CO ₂	1,047	3,562	4,609
Etanol	36,133	0,000	36,133
Água	911,977	0,000	911,977
Levedura	0,433	0,000	0,433
Outros	0,097	0,000	0,097

Fonte: Autoria Própria (2019).

6.4.3 Envase

Após o processo de carbonatação, a cerveja é engarrafada pela envasadora, em uma cadência de 788 garrafas de 600 mL envasadas por hora, totalizando um período de envase de aproximadamente 8 horas para todos os estilos diariamente. O esquema dessa operação na área 400 é apresentado na Figura 37.

Figura 37 – Diagrama do Processo de Envase para a *Session IPA* (Área 400)



Fonte: Autoria Própria (2019).

Segundo especificações do modelo da envasadora projetada, durante o percurso do processo de envasamento da cerveja, um dos procedimentos integrados nesse equipamento é a injeção de jato de água quente a fim de remover o oxigênio do *headspace* – espaço da garrafa que não contém cerveja –, diminuindo o risco da proliferação de microrganismos e oxidação dos

compostos da cerveja. Quando inserido esse jato, uma pequena fração, a qual segundo dados coletados em campo é de 0,8% do conteúdo inicial da garrafa, é perdida. Em relação ao jato de água injetado na garrafa, desconsiderou-se essa adição desse componente na cerveja, por ser uma quantidade ínfima em comparação ao conteúdo final de cada garrafa.

Em termos do balanço energético, devido a extensão e tempo de processo da linha de envase, considerou-se a variação de 1°C durante essa operação para os três estilos produzidos. Portanto, o calor total absorvido considerando a batelada de envase dos três estilos será de 38755 kJ.

Assim, o balanço material e energético do processo de envase é representado a seguir pelas Tabelas 46, 47 e 48.

Tabela 46 – Balanço material e energético no envase da *Session IPA* (Área 400)

Corrente	70	75	77
De	C-401 A	E-401 A	E-401 A
Para	E-401 A	P-401 A	-
Temperatura (°C)	7	8	8
Pressão (atm)	1	1	1
Vazão (kg/h)	70,732	70,166	0,566
Vazão (kg/batelada)	1958,725	1943,055	15,670
Componente (kg/batelada)			
Açúcar	51,107	50,698	0,409
Lúpulo	0,428	0,424	0,003
CO ₂	9,217	9,144	0,074
Etanol	60,222	59,740	0,482
Água	1836,831	1822,136	14,695
Levedura	0,726	0,721	0,006
Outros	0,194	0,192	0,002

Fonte: Aatoria Própria (2019).

Tabela 47 – Balanço material e energético na etapa de envase da *Pilsen* (Área 400)

Corrente	71	78	80
De	C-401 C	E-401 C	E-401 C
Para	E-401 C	P-401 C	-
Temperatura (°C)	8	9	9
Pressão (atm)	1	1	1
Vazão (kg/h)	35,524	35,240	0,284
Vazão (kg/batelada)	983,743	975,873	7,870
Componente (kg/batelada)			
Açúcar	26,820	26,606	0,215
Lúpulo	0,053	0,053	0,0004
CO ₂	4,589	4,553	0,037
Etanol	36,635	36,342	0,293
Água	915,422	908,098	7,323
Levedura	0,127	0,126	0,001
Outros	0,097	0,096	0,0008

Fonte: Aatoria Própria (2019).

Tabela 48 – Balanço material e energético na etapa de envase da *Weizen* (Área 400)

Corrente	74	81	83
De	C-401 B	E-401 B	E-401 B
Para	E-401 B	P-401 B	-
Temperatura (°C)	7	8	8
Pressão (atm)	1	1	1
Vazão (kg/h)	35,531	35,246	0,284
Vazão (kg/batelada)	983,928	976,057	7,871
Componente (kg/batelada)			
Açúcar	30,615	30,370	0,245
Lúpulo	0,065	0,064	0,001
CO ₂	4,609	4,572	0,037
Etanol	36,133	35,844	0,289
Água	911,977	904,681	7,296
Levedura	0,433	0,429	0,003
Outros	0,097	0,096	0,001

Fonte: Aatoria Própria (2019).

6.4.4 Pasteurização

Após o processo de envasamento, a cerveja engarrafada, englobando os três estilos produzidos, chega a uma temperatura entre 8 a 9°C para ser realizada a pasteurização em túnel, passando por cinco seções de temperaturas diferentes, representadas na Tabela 49, e saindo do processo total a uma temperatura de 30°C. Em termos do balanço material, admitiu-se que não há

perdas no processo nem reações químicas que poderiam alterar as propriedades da cerveja, portanto as correntes que entram e que saem terão as mesmas quantidades e frações dos componentes. Assim, faz-se necessário aplicar o balanço de energia do processo, para quantificar o calor requerido do processo de pasteurização bem como as utilidades necessárias.

Tabela 49 – Temperatura da corrente de cerveja em cada seção do pasteurizador

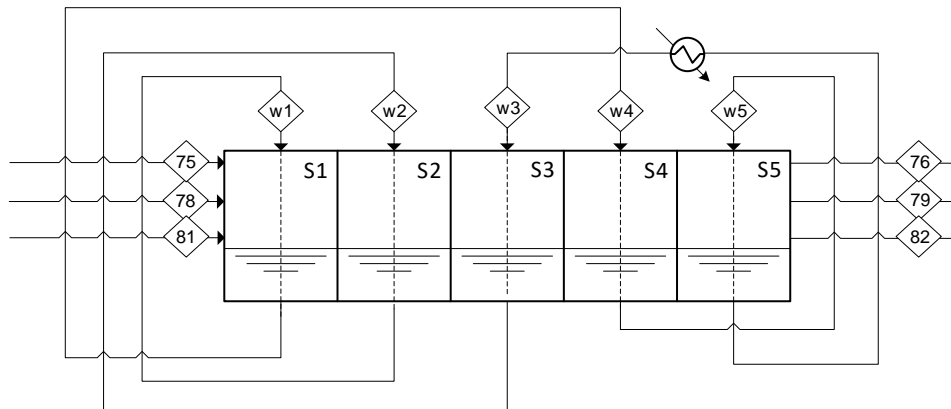
Propriedades	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 5
T cerv. entrada (°C)	10	30	55	62	55
T cerv. saída (°C)	30	55	62	55	30
Q (kJ)	325993,5	407491,9	114097,7	-114097,7	-407491,9

Fonte: Aurtoria Própria (2019).

Considerando que a batelada do processo de pasteurização irá abranger os três estilos de cervejas produzidas, em apenas uma batelada por dia, a quantidade de calor fornecido ou retirado de cada seção foi calculada a partir da Equação 8, considerando seu calor específico e a massa de cerveja total produzida diariamente de 3895,7 kg.

Como analisado na descrição do processo de pasteurização, o aquecimento ou resfriamento das cervejas engarrafadas são responsáveis por sprays de água dispostos em cada seção do pasteurizador. Segundo Filho (2010), para garantir a eficiência da pasteurização, esse processo deverá ser operado entre 15 a 30 UP, ou seja, a cerveja deverá ser mantida a 60 °C durante 15 a 30 minutos. Para essa operação, a Microcervejaria *Offenheit* adotou 20 UP. No intuito de minimizar o custo de operação, as utilidades das seções de preaquecimento e resfriamento serão recirculadas nesse equipamento conforme ilustrada na seguinte Figura 38. Assim, a vazão mássica e tempo de permanência serão iguais em todas as seções.

Figura 38 – Diagrama do processo de pasteurização em túnel



Fonte: Autoria Própria (2019).

No intuito de garantir que a temperatura de saída da cerveja seja aquela representada na Tabela 49, admitiu-se que a temperatura de entrada do spray de cada seção de preaquecimento (S1, S2 e S3) seja 4,6% superior à temperatura de saída da cerveja para essas seções.

Uma vez adotado um sistema de reaproveitamento da utilidade do spray entre as seções do pasteurizador, têm-se, em um sistema que não há perdas de calor para o ambiente, que a temperatura de saída do spray da seção 3 seja igual a temperatura de entrada do spray da seção 2, e a temperatura de saída do spray da seção 2 seja igual a temperatura de entrada do spray da seção 1. Definidas as temperaturas e considerando que o calor cedido pelo spray de água seja igual ao calor retirado da corrente da cerveja, calculou-se a partir da Equação 8 a quantidade de água necessária para aquecer a cerveja nessas seções, representadas na Tabela 50.

Para as seções de resfriamento da cerveja, na seção 4, resfriou-se a cerveja com a água proveniente da saída da seção 1, e na seção 5 com a saída da seção 4. As temperaturas de saída dessas seções de resfriamento, representadas na Tabela 50, foram calculadas a partir da Equação 8.

Tabela 50 – Temperatura e vazão de água em cada seção do pasteurizador

Propriedades	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4	Seção 5
T spray entrada (°C)	31,5	57,7	62,9	10,5	15,7
T spray saída (°C)	10,5	31,5	57,7	15,7	41,9
Q (kJ)	325993,5	407491,9	81498,4	-81498,4	-407491,9
m _{Spray} (kg)	3715,9	3715,9	3715,9	3715,9	3715,9
tempo (min)	20	20	20	20	20
m _{Spray} (kg/min)	185,8	185,8	185,8	185,8	185,8

Fonte: Aatoria Própria (2019).

Como analisado na Figura 38, a utilidade de água ao percorrer todas as seções deverá ser aquecida de 41,9 °C para 62,9 °C por um trocador de calor. A fim de se economizar com utilidades, esse aquecimento deverá ser realizado em um sistema de integração energética, o qual será discutido no capítulo 6.

Em relação ao balanço material e energético do processo de pasteurização para cada estilo, os cálculos foram realizados a partir da quantidade específica do estilo produzido diariamente, sendo representados pelas Tabelas 51, 52 e 53.

Tabela 51 – Balanço material e energético na pasteurização da *Session IPA* (Área 400)

Corrente	75	Lsr	Lsr	76
De	E-401 A	T-401 A	T-401 A	P-401 A
Para	P-401 A	P-401 A	P-401 A	-
Temperatura (°C)	8	30 - 60 °C	30 - 60 °C	30 °C
Pressão (atm)	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	70,166	64,768	64,768	70,166
Vazão (kg/batelada)	1943,055	1793,589	1793,589	1943,055
Componente (kg/batelada)				
Açúcar	50,698	0,000	0,000	50,698
Lúpulo	0,424	0,000	0,000	0,424
CO ₂	9,144	0,000	0,000	9,144
Etanol	59,740	0,000	0,000	59,740
Água	1822,136	1793,589	1793,589	1822,136
Levedura	0,721	0,000	0,000	0,721
Outros	0,192	0,000	0,000	0,192

Fonte: Aatoria Própria (2019).

Tabela 52 – Balanço material e energético na pasteurização da *Pilsen* (Área 400)

Corrente	78	Lsr	Lsr	79
De	E-401 C	T-401 C	T-401 C	P-401 C
Para	P-401 C	P-401 C	P-401 C	-
Temperatura (°C)	9	30 - 60 °C	30 - 60 °C	30 °C
Pressão (atm)	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	35,240	32,529	32,529	35,240
Vazão (kg/batelada)	975,873	900,806	900,806	975,873
Componente (kg/batelada)				
Açúcar	26,606	0,000	0,000	26,606
Lúpulo	0,053	0,000	0,000	0,053
CO ₂	4,553	0,000	0,000	4,553
Etanol	36,342	0,000	0,000	36,342
Água	908,098	900,806	900,806	908,098
Levedura	0,126	0,000	0,000	0,126
Outros	0,096	0,000	0,000	0,096

Fonte: Aatoria Própria (2019).

Tabela 53 – Balanço material e energético na pasteurização da *Weizen* (Área 400)

Corrente	81	Lsr	Lsr	82
De	E-401 B	T-401 B	T-401 B	P-401 B
Para	P-401 B	P-401 B	P-401 B	-
Temperatura (°C)	8	30 - 60 °C	30 - 60 °C	30 °C
Pressão (atm)	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	35,246	32,535	32,535	35,246
Vazão (kg/batelada)	976,057	900,975	900,975	976,057
Componente (kg/batelada)				
Açúcar	30,370	0,000	0,000	30,370
Lúpulo	0,064	0,000	0,000	0,064
CO ₂	4,572	0,000	0,000	4,572
Etanol	35,844	0,000	0,000	35,844
Água	904,681	900,975	900,975	904,681
Levedura	0,429	0,000	0,000	0,429
Outros	0,096	0,000	0,000	0,096

Fonte: Aatoria Própria (2019).

6.5 ÁREA 500: CALDEIRARIA

A questão ambiental tornou-se pauta frequente no âmbito nacional. Assim sendo, a Microcervejaria *Offenheit* preocupada com a causa ambiental no tratante a utilização de madeira para queima em geradores de vapor a base de lenha e tendo em vista a possibilidade de ganho energético na queima de materiais alternativos, optou por empregar o briquete de alta densidade para

queima na caldeira, sistema de geração de vapor que servirá como fonte de fornecimento de utilidade quente na empresa.

Segundo Dias et. al (2012), os briquetes resultam da compactação de resíduos lignocelulósicos e são utilizados na geração de energia na forma de calor e eletricidade. Ainda segundo os autores, os briquetes são substitutos diretos da lenha em muitas aplicações industriais e possuem vantagens de cunho operacional, logístico, energético e ambiental.

A Microcervejaria *Offenheit* opera a sala de brassagem em determinados momentos com a produção simultânea de 2 (dois) estilos de cerveja, *Session IPA* e *Pilsen* ou *Session IPA* e *Weizen*. Na condição em que a sala de brassagem opera com dois estilos, *Session IPA* e *Pilsen*, e levando-se em consideração o requerimento de calor devido a integração energética, há um requerimento máximo de utilidade quente de 774,8805 kg/h, valor utilizado para projetar a caldeira a ser adquirida pela Microcervejaria *Offenheit*.

A empresa fará uso de uma caldeira do tipo flamotubular horizontal, modelo da Figura 39, tendo como combustível de queima o briquete vegetal. A caldeira utilizada tem capacidade de fornecer até 1 ton/h de utilidade quente operando em condições nominais, água de alimentação a 25 °C e pressão de uso de 8,33 bar (8,5 kgf/cm²), gerando gases de combustão na temperatura de 200 °C e vapor saturado na temperatura de 180 °C, conforme especificações da fabricante.

Figura 39 – Caldeira flamotubular horizontal 2 passes de gases



Fonte: Fornecedora (2019).

Tendo em vista o fato de que as cervejas do estilo *Pilsen* e *Weizen* são produzidas na mesma sala de brassagem, ou seja, a produção alterna entre *Pilsen* e *Weizen* em uma mesma sala, fez-se necessário especificar todos os parâmetros de energia por estilo produzido.

Operando a caldeira nas condições nominais, a quantidade de calor útil – quantidade de energia absorvida pelo fluido de trabalho (PINHEIRO e CERQUEIRA, 1995) – será determinada com base na Equação 62. Todavia, é necessário destacar que devido ao reuso da utilidade quente considerou-se para determinação da quantidade de calor as temperaturas que a utilidade quente possui no momento em que é reinjetada na caldeira após deixar as tinas de mosturação e filtração. Assim sendo, a entalpia $h_{\text{Água}}(T(^{\circ}\text{C}))$ corresponde ao valor de entalpia da água realimentada na caldeira na temperatura T ($^{\circ}\text{C}$), $133,6$ $^{\circ}\text{C}$ para o líquido saturado que deixa a camisa da tina de mosturação e $143,6$ $^{\circ}\text{C}$ para o líquido saturado que deixa a camisa da tina de fervura. A temperatura de 180 $^{\circ}\text{C}$ faz alusão a temperatura de saída do vapor. Todos os valores de entalpia estão listados no Apêndice A.

$$Q_{\text{útil}} = m_{\text{vapor}} \cdot (h_{\text{vapor}}(180^{\circ}\text{C}) - h_{\text{Água}}(T(^{\circ}\text{C})))$$

Conforme indica a fabricante, o rendimento térmico da caldeira é de 75%. Assim sendo, deverá ser fornecida uma quantidade de energia superior a energia útil do processo devido as inevitáveis perdas de calor que ocorrem na caldeira. Segundo Pinheiro e Cerqueira (1995) a energia introduzida na instalação, com a massa (ou volume) do combustível, é chamada de energia disponível. A determinação da quantidade de calor a ser introduzida a partir da queima dos briquetes é efetuada com base na eficiência térmica da caldeira (Equação 63).

$$\eta = \frac{Q_{\text{Útil}}}{Q_{\text{Disponível}}} \quad 63$$

A Tabela 54 sintetiza todos os calores úteis e disponíveis calculados para as etapas de mosturação e fervura em que há o requerimento de utilidade quente proveniente da caldeira.

Tabela 54 – Calores úteis e disponíveis

	Mosturação		Fervura	
	$Q_{\text{Útil}}$ (kJ/h)	$Q_{\text{Disponível}}$ (kJ/h)	$Q_{\text{Útil}}$ (kJ/h)	$Q_{\text{Disponível}}$ (kJ/h)
Session IPA 1	70419,351	93892,468	495257,395	660343,194
Session IPA 2	70419,351	93892,468	495257,395	660343,194
Pilsen	78440,843	104587,791	479303,473	639071,297
Weizen	78262,166	104349,554	466868,607	622491,476
Total	297541,710	396722,280	1936686,871	2582249,161

Fonte: Autoria própria (2019).

A Tabela 55 resume os calores úteis e disponíveis totais com base na rotina de produção da *Offenheit* e levando-se em consideração o vapor utilizado como corrente de integração energética da planta da Microcervejaria *Offenheit*. Ressalta-se que devido a utilização de duas brasagens do estilo *Session IPA* para apenas uma da *Pilsen* e uma da *Weizen*, o calor útil conforme consta na Tabela 55 é dado pela soma da metade do calor útil total da *Session IPA* somado aos calores da *Pilsen* e *Weizen*.

Tabela 55 – Calor útil e disponível com base na rotina de produção

	$Q_{\text{Útil}}$ (kJ/h)	$Q_{\text{Disponível}}$ (kJ/h)
<i>Session IPA 1 + Pilsen + Integração</i>	1781603,926	2375471,901
<i>Session IPA 2 + Weizen + Integração</i>	1768990,383	2358653,844

Fonte: Aatoria própria (2019).

A determinação da massa de água a ser alimentada na caldeira é realizada com base na vazão máxima de vapor requerido no processo, correspondente a situação em que as duas salas de brassagem operam em processo de fervura (*Session IPA + Pilsen*) somados a integração energética. Destaca-se, entretanto, que em vista da inviabilidade de utilizar o vapor como fonte cogeneradora de energia devido à baixa vazão do processo, baixa pressão de operação da caldeira e aos altos custos na implementação de sistemas de cogeração (turbinas são equipamentos com alto custo de aquisição), a Microcervejaria *Offenheit* fará o reuso da utilidade quente que deixa os tanques de mosturação e fervura. Assim, será feito o abastecimento de água “nova” apenas uma vez por semana, totalizando 4 alimentações mensais. O reuso da utilidade quente reduziu de maneira expressiva os gastos da empresa com a água de alimentação na caldeira.

Corroborando com o ponto destacado a respeito do reuso da água na caldeira, Trovati (20-??) afirma que pelo fato de o vapor não carregar consigo o material dissolvido quando é produzido, o condensado é uma água de altíssima pureza, praticamente isento de sais e matérias dissolvidos. Além disso, encontra-se em uma temperatura elevada, o que aumenta a eficiência do sistema gerador de vapor e contribui para um menor consumo de combustível. A Tabela 56 sintetiza a vazão de água a ser alimentada na caldeira. O valor da vazão de *Session IPA + Weizen + Integração* está ilustrado na Tabela 56 apenas para explicitar o fato de que há um requerimento maior de vapor quando opera-se na situação de *Session IPA + Pilsen + Integração*.

Tabela 56 – Vazão de água de alimentação na caldeira

	$m_{\text{Água}}$ (kg/h)	$m_{\text{Água}}$ (kg/Batelada)	$m_{\text{Água}}$ (kg/Mês)
<i>Session IPA 1 + Pilsen + Integração</i>	774,880	774,880	3099,522
<i>Session IPA 2 + Weizen + Integração</i>	769,161	769,161	3076,645

Fonte: Aatoria própria (2019).

Segundo Pinheiro e Cerqueira (1995), a energia disponível do combustível queimado pode ser aproximada como sendo a soma do produto dos poderes caloríficos inferiores (PCI) dos combustíveis alimentados pela vazão de combustível alimentado (Equação 64), desconsiderando-se o calor sensível do combustível pré-aquecido por fonte externa de calor, a energia introduzida na caldeira com ar de combustão pré-aquecido fora da caldeira e a energia utilizada para decompor carbonatos presentes no combustível (só é aplicável na combustão de xistos).

$$Q_{\text{Disponível}} = m_{\text{Briquete}} \cdot PCI \quad 64$$

Segundo Quirino et. al (2004) o poder calorífico inferior (PCI) da biomassa utilizada (briquete de pinus) é de 18669,008 kJ/kg. Com base na Equação 64 determinou-se a vazão de briquete alimentado na caldeira por hora de operação, estando todos os valores sumarizados na Tabela 57.

Tabela 57 – Vazão de briquete na caldeira

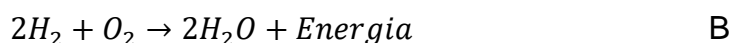
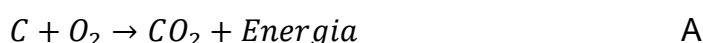
	m_{Briquete} (kg/h)	m_{Briquete} (kg/Batelada)	m_{Briquete} (kg/Mês)
<i>Session IPA + Pilsen + Integração</i>	127,241	212,674	5529,535
<i>Session IPA + Weizen + Integração</i>	126,341	211,765	5505,892

Fonte: Aatoria própria (2019).

Na queima da biomassa o oxigênio do ar é utilizado como agente oxidante. Com o objetivo de maximizar a produção de energia a partir da queima da biomassa e inibir a possibilidade de ocorrer combustão incompleta, será alimentado 30% de excesso de ar na caldeira conforme indica Pinheiro e Valle (1995) como valor usual de excesso de ar para queima de biomassa. Pinheiro e Valle (1995) afirmam ainda que o excesso de ar é fator determinante da

eficiência da combustão, pois controla o volume, temperatura e entalpia dos produtos da combustão.

Segundo Amorim (2012) a combustão completa da biomassa produz vapor d'água e CO₂ juntamente com calor e cinzas não combustíveis. De maneira simplificada a combustão da biomassa pode ser descrita conforme as reações A e B. O ar é injetado na caldeira na temperatura de 25 °C proveniente do meio ambiente com composição descrita na Tabela 58.



A composição da biomassa utilizada está descrita na Tabela 59.

Tabela 58 – Composição molar do ar

Gás	Fração molar	Fração mássica
N ₂	0,7808	0,7590
CO ₂	0,0003	0,0005
O ₂	0,2095	0,2328
Ar	0,0093	0,0077

Fonte: Helmenstine, 2018.

Tabela 59 – Composição química elementar média da biomassa de pinus

Componente	Fração mássica
Carbono	0,4900
Hidrogênio	0,0665
Oxigênio	0,4376
Outros	0,0039

Fonte: Protásio et al., 2011.

Com base nas reações de combustão, na estequiometria das reações e tendo em vista os dados apresentados a respeito da composição do ar e da biomassa (Tabela 58 e Tabela 59) pode-se determinar a vazão de ar bem como a de seus componentes individualmente. As Tabelas 60 e 61 sintetizam as vazões calculadas.

Tabela 60 – Alimentação de ar e seus componentes na caldeira na rotina da *Session IPA + Pilsen* + Integração energética

	m_{Ar} (kg/h)	m_{O_2} (kg/h)	m_{N_2} (kg/h)	m_{CO_2} (kg/h)	m_{Ar^*} (kg/h)
Reação 1	476,547	110,921	361,723	0,218	3,685
Reação 2	290,827	67,692	220,752	0,133	2,249
Excesso	230,212	53,584	174,742	0,106	1,780
Total	997,586	232,197	757,217	0,457	7,715

Fonte: Autoria própria (2019). Ar* = Argônio

Tabela 61 – Alimentação de ar e seus componentes na caldeira na rotina da *Session IPA + Weizen* + Integração energética

	m_{Ar} (kg/h)	m_{O_2} (kg/h)	m_{N_2} (kg/h)	m_{CO_2} (kg/h)	m_{Ar^*} (kg/h)
Reação 1	473,173	110,135	359,162	0,217	3,659
Reação 2	288,767	67,213	219,189	0,132	2,233
Excesso	228,582	53,205	173,505	0,105	1,768
Total	990,523	230,553	751,856	0,454	7,660

Fonte: Autoria própria (2019). Ar* = Argônio

A Tabela 62 sintetiza a vazão de gases provenientes da combustão da biomassa.

Tabela 62 – Vazão de gases de combustão da caldeira

	m_{Gases} (kg/h)
<i>Session IPA + Pilsen</i> + Integração energética	229,077
<i>Session IPA + Weizen</i> + Integração energética	227,455

Fonte: Autoria própria (2019).

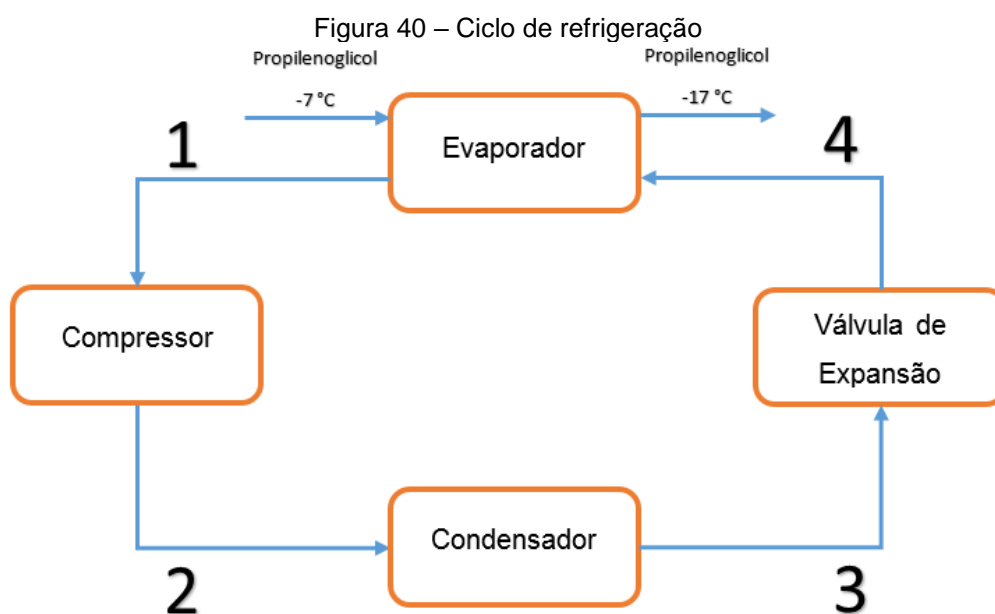
O tratamento efetuado para os gases de combustão da caldeira é devidamente definido no tópico de tratamento de resíduos gasosos.

6.6 ÁREA 600: SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Com o objetivo de refrigerar 20997 kg/h de solução de propilenoglicol a 30% m/m, de -7 °C a -17°C, definido a partir da integração energética no capítulo seguinte, será utilizado na Microcervejaria *Offenheit* um sistema de refrigeração utilizando amônia como fluido refrigerante. Para os seguintes cálculos, considerou-se o ciclo de refrigeração ideal.

Os principais equipamentos utilizados no ciclo de refrigeração são:

- **Compressor:** É responsável por criar o fluxo de fluido refrigerante que percorre todo o sistema e de aumentar a sua pressão.
- **Condensador:** Transfere o calor do fluido refrigerante para o ambiente externo.
- **Evaporador:** Transfere o calor ambiente interno para o fluido refrigerante.
- **Válvula de Expansão:** É o dispositivo responsável pela queda de pressão do fluido proveniente do condensador.



Fonte: Autoria própria (2019).

Uma vez que o sistema se encontra fechado, o fluido refrigerante apresentará a mesma vazão mássica em todas correntes enquanto percorre pelo sistema representado na Figura 40, no entanto, suas condições termodinâmicas serão alteradas conforme a precedência dos seguintes processos:

Processo 1 – 2: O compressor comprime, em condição isentrópica, o vapor saturado proveniente do evaporador, aumentando a sua pressão e, conseqüentemente a sua temperatura (MORAN e SHAPIRO, 2009).

Processo 2 – 3: O vapor é direcionado para o condensador, onde irá liberar calor para o ambiente. Neste processo, o fluido é condensado e descarregado no estado líquido saturado.

Processo 3 – 4: O líquido saturado flui através da válvula de expansão e é descarregado, isoentalpicamente, na forma de uma mistura de líquido e vapor saturado. Este componente funciona como uma restrição na tubulação, que causa uma queda na pressão do fluido (MORAN e SHAPIRO, 2009).

Processo 4 – 1: Esta mistura entra no evaporador, onde irá receber o calor proveniente do propilenoglicol. Ao receber este calor, o restante do fluido no estado líquido evapora até o estado de vapor saturado.

O evaporador utilizado, por se tratar de um trocador de calor casco e tubo, trabalhará com a amônia a $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ nessa etapa, assim, atribuiu-se a diferença de temperatura mínima de 10°C , a qual está diretamente relacionada ao custo de capital de processo (ANAPOLSKI E INDRUSIAK, 2015).

Na saída do condensador, assumindo-se que a troca de calor do condensador de cobre com o ambiente não será totalmente efetiva, considerou-se que a temperatura da amônia líquida saturada na corrente 3 é de $36,26\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A entalpia específica da amônia líquida saturada a $36,26\text{ }^{\circ}\text{C}$ é $352,97\text{ kJ.kg}^{-1}$, e as entalpias específicas da amônia em estado líquido e vapor saturado a -28°C são $52,97\text{ kJ.kg}^{-1}$ e $1406,66\text{ kJ.kg}^{-1}$, respectivamente. Partindo de que a entalpia das correntes 3 e 4 são as mesmas, calculou-se que fração de líquido na corrente, calculada a partir da Equação 65, será igual a 0,77 (MORAN e SHAPIRO, 2009).

$$x_{líq4} = \frac{\hat{h}_3 - \hat{h}_{g4}}{\hat{h}_{f4} - \hat{h}_{g4}} \quad (65)$$

Em que:

$x_{líq4}$ – fração de líquido saturado na corrente 4;

\hat{h}_3 – entalpia específica da corrente 3;

\hat{h}_{g4} – entalpia específica do vapor na corrente 4;

\hat{h}_{f4} – entalpia específica do líquido na corrente 4.

No evaporador, o calor cedido do propilenoglicol será o calor latente da fração da amônia em estado líquido que será absorvido até que a amônia se encontre totalmente no estado de vapor saturado. A partir dessa consideração, calculou-se que a vazão mássica de amônia em estado líquido saturado na corrente 4, por meio da Equação 66, será igual a 584,77 kg.h⁻¹.

$$\dot{m}_{Amônia_{liq}} = \frac{\dot{Q}_L}{\hat{h}_{vap}} \quad (66)$$

Em que $\dot{m}_{Amônia_{liq}}$ é a vazão de amônia em estado líquido na corrente 4; \dot{Q}_L é a quantidade de calor absorvida pela amônia da corrente de propilenoglicol (791.601 kJ.h⁻¹) e \hat{h}_{vap} é a entalpia específica de vaporização da amônia a -28 °C (1353,69 kJ.kg⁻¹).

A partir da fração e vazão de amônia em estado líquido saturado na corrente 4, calculou-se, por meio da Equação 67, que a vazão de amônia total no sistema será igual a 760,1 kg.h⁻¹.

$$\dot{m}_{Amônia} = \frac{\dot{m}_{Amônia_{liq}}}{x_{liq_4}} \quad (67)$$

Para se determinar as condições termodinâmicas da corrente 3, parte-se do princípio que ela possui a mesma entropia da corrente 2 (5,743 kJ.kg⁻¹.°C⁻¹), uma vez que o processo de compressão é isentrópico, e também da consideração que no condensador o processo de liberação de energia para o ambiente é isobárico (14 bar). Assim, a temperatura e entalpia específica da corrente 3 quando possui uma entropia específica de 5,743 kJ.kg⁻¹.°C⁻¹ e 14 bar é, respectivamente, igual a 174 °C e 1770,15 kJ.kg⁻¹.

A partir de um balanço de energia do compressor, desconsiderando a variação de energia cinética e potencial entre as correntes 2 e 3, e da perda de calor para o ambiente, o trabalho realizado por esse compressor, de 77 kW, foi calculado pela Equação 68.

$$\dot{W} = \dot{m}_{\text{Amônia}} \cdot (\hat{h}_3 - \hat{h}_2) \quad (68)$$

Para calcular o calor que a amônia irá ceder ao meio ambiente no condensador, utilizou-se a Equação 69, realizando as mesmas considerações realizadas no balanço de energia do compressor.

$$\dot{Q}_H = \dot{m}_{\text{Amônia}} \cdot (\hat{h}_3 - \hat{h}_4) \quad (69)$$

$$\dot{Q}_H = 299,2 \text{ kW}$$

A seguir na Tabela 63, são representadas as condições termodinâmicas de cada corrente inclusa no ciclo de refrigeração, considerado ideal.

Tabela 63 – Condições termodinâmicas das correntes de amônia no ciclo de refrigeração

Estado	Corrente	T (°C)	P (bar)	\hat{S} (kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	\hat{h} (kJ.kg ⁻¹)	m (kg.h ⁻¹)	x_{liq}
Líqu. e Vap. Sat.	1	-28,00	1,32	1,49	352,97	760,08	0,77
Vap. Sat.	2	-28,00	1,32	5,74	1406,66	760,08	0,00
Vap. Super Aq.	3	147,04	14,00	5,74	1770,15	760,08	0,00
Líqu. Sat.	4	36,26	14,00	1,30	352,97	760,08	1,00

Fonte: Autoria Própria (2019).

7 INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA

A partir da análise do balanço energético, observou-se diversas sequências de aquecimento e resfriamento das correntes de processo e utilidade na Microcervejaria *Offenheit*. Portanto, para a busca da sustentabilidade dos processos industriais e eficiência energética, faz-se necessário analisar uma possível integração energética entre essas correntes.

O método utilizado para essa integração foi a análise *Pinch*, a qual é fundamentada em conceitos de transferência de calor e termodinâmica, e baseada em regras heurísticas (JÚNIOR, 2009). Essa metodologia permite identificar o consumo mínimo de energia de um processo, avaliar o potencial de aumento de energia e avaliar o impacto de incluir, ou não, correntes no sistema de recuperação de energia.

Uma vez que o processo produtivo da Microcervejaria *Offenheit* consiste em longos processos em batelada, a análise de troca térmica permanente entre essas correntes torna-se complexa. Assim, para as vazões mássicas necessárias utilizadas na metodologia de integração energética, considerou-se vazões diárias do processo produtivo, ilustradas a seguir na Tabela 64, bem como as demais propriedades das correntes.

Tabela 64 – Propriedades das correntes quentes e frias

Número de corrente	Vazão mássica (kg/h)	Calor específico (kJ/kg.°C)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	ΔH (kJ)	Tipo de corrente
87	854,836	3,771	18	8	-32235,855	Quente
88	359,697	3,771	8	-2	-13564,169	Quente
85	3318,376	3,771	85	10	-938519,755	Quente
84	1275,406	3,771	85	5	-384764,479	Quente
19	656,390	4,186	100	70	-82429,405	Quente
89	3942,176	3,771	3	-7	-148659,446	Quente
90	1318,360	3,771	3	-7	-49715,356	Quente
86	10786,112	4,186	46,9	65	816778,675	Fria
8	3153,777	4,186	25	78	699690,760	Fria

Fonte: Aatoria Própria (2019).

A descrição detalhada de cada corrente integrada pela metodologia *Pinch* está apresentada no Apêndice H.

Após a identificação de cada corrente, considerou-se que o ΔT_{\min} , o qual é definido como a diferença mínima de temperatura entre as correntes quentes e frias, as quais ocorrerão a transferência de calor, seja de 10°C. O valor da variação de temperatura conforme Anapolski e Indrusiak (2015) geralmente é de 10°C, devido a influência direta nos custos de capital do processo.

Em seguida, calculou-se as temperaturas corrigidas ou deslocadas das correntes quentes e frias, a partir da Equação 70 e 71, a fim de garantir que qualquer intervalo de temperatura, as temperaturas das correntes quentes e frias respeitem o valor atribuído de ΔT_{\min} .

$$T'_{fria} = T_{fria} + \frac{\Delta T_{\min}}{2} \quad (70)$$

$$T'_{quente} = T_{quente} - \frac{\Delta T_{\min}}{2} \quad (71)$$

Após a correção das temperaturas, obteve-se o seguinte gráfico, apresentado na Figura 41, em modo cascata, o qual ilustra os seguintes intervalos e direção das correntes quentes e frias. Atenta-se que a capacidade térmica líquida é o somatório das capacidades térmicas das correntes frias subtraídas do somatório das correntes quentes.

Figura 41 – Diagrama de Cascata das correntes quentes e frias

Intervalo de T (°C)	Corrente									Mcp _{líq.} (kJ/h.°C)	
	87	88	85	84	19	89	90	86	8		
95											
83											-2747,65
80											10454,07
70											-6869,09
65											38281,58
51,9											41029,23
30											-4121,44
13											-17323,15
5											-20546,74
3											-8033,14
0											-6165,97
-2											-1356,42
-7											-21193,90
-12											-19837,48
MCP (kJ/h.°C)	3224	1356	12514	4810	2748	14866	4972	45151	13202		

Fonte: Autoria Própria (2019).

A partir dos intervalos estabelecidos foi possível quantificar o consumo mínimo de utilidades externas por meio da realização da cascata de calor, calculando a quantidade de energia disponível entre as correntes que estão presentes na análise de integração energética, e transferir o excesso de energia de cada nível térmico para o nível imediatamente inferior, como representado no seguinte Quadro 2.

Quadro 2 – Cascatas de calor

T (°C)	ΔT (°C)	$MC_{p_{liq}}$ (kJ/h.°C)	ΔQ (kJ/h)	1ª Cascata (kJ/h)	2ª Cascata (kJ/h)
95,0				0,00	658183
83,0	12,0	-2747,6	-32971,8	-32972	691155
80,0	3,0	10454,1	31362,2	-1610	659792
70,0	10,0	-6869,1	-68690,9	-70300	728483
65,0	5,0	38281,6	191407,9	121107	537075
51,9	13,1	41029,2	537075,4	658183	0
30,0	21,9	-4121,4	-90300,5	567882	90300
13,0	17,0	-17323,2	-294493,6	273389	384794
5,0	8,0	-20546,7	-164373,9	109015	549168
3,0	2,0	-8033,1	-16066,3	92949	565234
0,0	3,0	-6166,0	-18497,9	74451	583732
-2,0	2,0	-1356,4	-2712,8	71738	586445
-7,0	5,0	-21193,9	-105969,5	-34232	692414
-12	5,0	-19837,5	-99187,4	-133419	791602

Fonte: Autoria Própria (2019).

Para a síntese da primeira cascata, atribuiu-se que no início, não se adiciona calor às correntes e para o cálculo do próximo estado é transferido o excesso de energia de cada nível térmico para o nível imediatamente inferior. Percebe-se ainda que o maior valor deficitário, de 658.183 kJ/h equivale a quantidade de calor mínima que a utilidade quente deverá fornecer ao nosso processo.

Para a síntese da segunda cascata, atribui-se que fornecemos a quantidade de calor mínima da utilidade quente e continuamos os cálculos analogamente à primeira cascata. Constatou-se, assim, que ao final, um excesso de 791.602 kJ/h de calor deverá ser esgotado por utilidade fria.

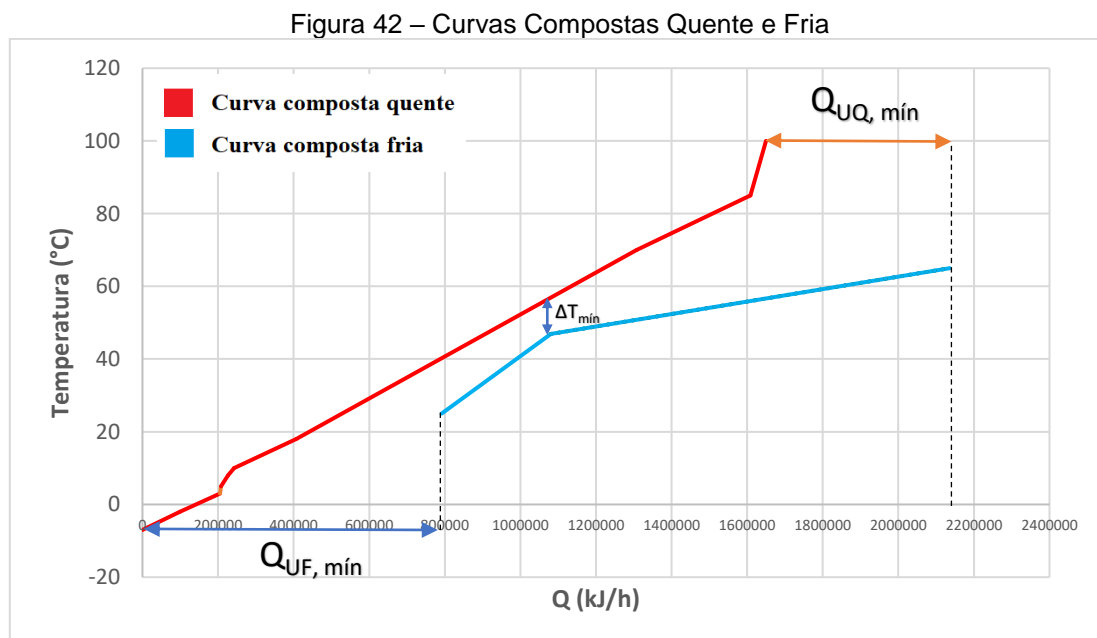
Uma vez que a quantidade de calor cedido por utilidade quente e retirado por utilidade fria sem integração seriam, respectivamente, equivalentes a e 1.516.469 kJ/h e 1.649.888 kJ/h, tem-se que a economia de utilidades quente e fria seria, respectivamente, igual a 57% e 52%.

Verificou-se ainda, a partir do Quadro 2, que na temperatura de 51,9 °C, apresenta-se o ponto de estrangulamento, o qual representa a temperatura para qual não existe transferência de calor entre os níveis térmicos (RELVAS et al., 2002). A partir dessa divisão imaginária, divide-se as correntes em duas áreas:

A zona acima e abaixo do *Pinch*. Assim, a síntese da rede de trocadores de calor, será realizada por zonas, respeitando esse limite.

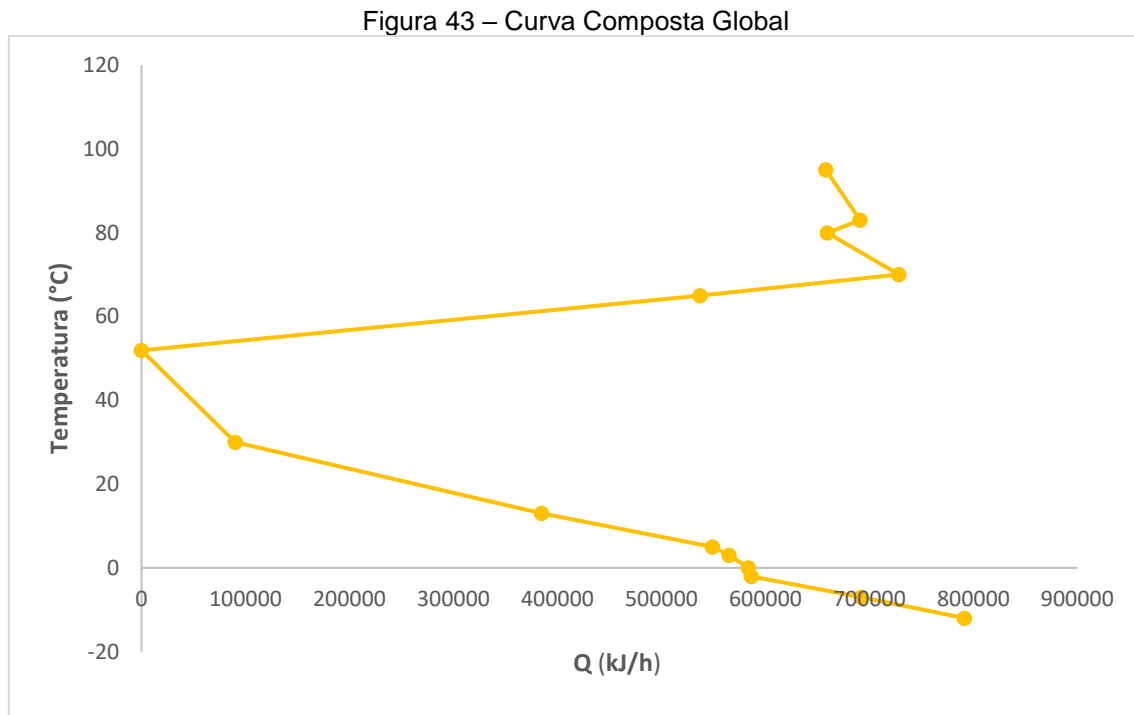
O ponto de estrangulamento permite ainda identificar as temperaturas das curvas compostas que contemplam o ΔT_{\min} (46,9 °C para a fria e 56,9 °C para a quente) atentando-se para a correção das temperaturas realizada anteriormente.

Em seguida, construiu-se o gráfico de curvas de entalpia composta, representado na Figura 42, dadas pela interligação das correntes de cada tipo (quentes ou frias). Quando uma ou mais corrente do mesmo tipo se encontravam em um mesmo intervalo de temperatura, o coeficiente angular médio ou capacidade térmica total, foi calculado pelo somatório das capacidades térmicas de cada corrente nesse intervalo. As referências de entalpia inicial e final foram estabelecidas com a fixação da entalpia final da curva composta quente em $H=0$ e para a fria na posição cujo menor intervalo de temperatura entre as correntes compostas fosse equivalente a 10°C (46,9 °C para a fria e 56,9 °C para a quente).



A fim de se analisar qual a qualidade e propriedades das utilidades quentes e frias, construiu-se a partir das temperaturas corrigidas e dos valores

de variação de entalpia da 2ª cascata realizada no Quadro 2, o gráfico da Curva Composta Global, ilustrada na Figura 43.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A partir do gráfico da Curva Composta Global, verifica-se que acima da zona do *Pinch* as curvas apresentam inclinação positiva, caracterizando o déficit de energia das correntes. Na zona abaixo, as inclinações se apresentam negativas, representando o excesso de energia das correntes do processo.

Visando economia nos custos com os trocadores de calor, a utilidade quente utilizada será vapor saturado a 150°C. Como utilidade fria, será utilizado propilenoglicol, conhecido também como propano-1,2-diol, a -17°C para suprir, pelo menos, a diferença mínima de 10 °C da corrente dos maturadores, as quais possuem as menores temperaturas entre as correntes de processo.

Após a determinação das zonas acima e abaixo do *Pinch* e a determinação das condições das utilidades, procedeu-se a análise da rede de trocadores de calor, ilustrada no Apêndice I. As especificações e dimensionamento desses trocadores de calor são representados no I.2.

8 LABORATÓRIO DE CONTROLE DE QUALIDADE

A análise das matérias-primas alimentadas no processo cervejeiro bem como as análises durante e pós processo produtivo são essenciais para garantir a qualidade do produto final e evitar ao máximo a variabilidade do produto. Assim, a Microcervejaria *Offenheit* prezando pela qualidade do seu produto, satisfação e segurança do cliente, contará com um laboratório de controle de qualidade no qual serão realizadas análises periódicas das matérias-primas utilizadas tanto na produção cervejeira em si quanto em processo relacionadas à produção que afetam diretamente o funcionamento da empresa.

8.1 ANÁLISE DAS MATÉRIAS-PRIMAS

A análise das matérias-primas diz respeito a análise da água de alimentação do processo, do malte e do lúpulo utilizado. Em geral, as análises de malte e lúpulo ficam apenas a cabo da verificação visual, conforme constatado em pesquisas de campo, com o intuito de identificar corpos estranhos que podem prejudicar o processo produtivo e a qualidade do produto. A análise da água fica restrita a adequação de pH, posto que, a água de alimentação (potável) é fornecida pela companhia de água do estado do Paraná (SANEPAR) e as demais características da água se enquadram no padrão de produção cervejeiro.

8.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICAS DA CERVEJA

O controle de qualidade desde a brassagem até o envasamento do produto permite garantir um produto de sabor agradável e em condições de satisfazer às exigências do consumidor (Filipe et al., 2006; Ambev, 2011; Zuppardo, 2010). Esse controle de qualidade é composto por três tipos de análises: físico-químicas, microbiológicas e sensoriais (ROSA e AFONSO, 2015). Assim sendo, as análises das propriedades da cerveja são importantes

para garantir a entrega de um produto de qualidade bem como perpetuar o nome da marca.

O controle de qualidade da cerveja é essencial para manter a estabilidade do produto. Segundo SENAI (2014), a estabilidade da cerveja refere-se à preservação de seus parâmetros originais de qualidade quanto a sabor, espuma, cor, pasteurização e turbidez. É o cuidado com a manutenção desses parâmetros que garante a estabilidade de cor, de sabor, de espuma, microbiológica e coloidal. Ademais, controlar parâmetros como teor alcoólico (ABV), nível de IBU (parâmetro associado ao amargor da cerveja), densidade e gravidade específica são de natureza intrínseca em uma cervejaria que preza pela qualidade do produto. Além dos parâmetros citados, a Microcervejaria *Offenheit* também fará análises antes e após o processo de pasteurização e análise do CIP. A análise do processo de pasteurização tem por objetivo verificar se o processo está de fato sendo eficiente.

8.3 ANÁLISES DA ÁGUA DA CALDEIRA

As análises da água da caldeira, tendo em vista que a água utilizada será fornecida pela SANEPAR e em tese já cumpre os parâmetros relacionados a turbidez, sólidos em suspensão e material orgânico, ficaram restritas a avaliação de pH e dureza.

Segundo Trovati (20-??) o pH adequado para alimentação da água na caldeira deve ser na faixa alcalina (10,5 – 11,5). Assim, a análise de pH determinará a quantidade de químico utilizado para a adequação do pH ao valor ideal para a alimentação da água na caldeira.

Conforme afirmam Mól, Barbosa e Silva (1995), a dureza da água é definida em termos da concentração de cátions cálcio e magnésio, sendo classificada dependendo da concentração desses cátions em águas duras (teores acima de 150 mg/L), moles (teores abaixo de 75 mg/L) ou moderadas (entre 75 e 150 mg/L). Segundo Trovati (20-??) a dureza total para alimentação da água na caldeira deve ser menor que 2 mg/L. Portanto, a análise laboratorial da dureza da água será utilizada para efetuar a devida correção de concentração

de íons cálcio e magnésio e determinar a quantidade total de fosfato e do “condicionador de lama” (polímeros baseados em acrilatos, sulfonatos e fosfinocarboxílicos). Trovati (20-??) afirma que o fosfato tem a função de precipitar os íons responsáveis pela dureza da água e a sílica, enquanto o “condicionador de lama” tem a função de impedir a aderência da lama a superfície de aquecimento da caldeira.

9 DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS

9.1 ÁREA 100: MOAGEM

A área 100 da Microcervejaria *Offenheit* contará com dois equipamentos: um moinho e uma rosca transportadora.

9.1.1 Moinho

Com o objetivo de reduzir a granulometria do malte bem como deixar exposto o endosperma amiláceo, será empregado um moinho de dois rolos para moer o malte. A escolha do moinho de dois rolos foi baseada nos cálculos do balanço de massa, no tipo de moagem que será efetuada (moagem a seco) bem como em fatores como facilidade de uso do equipamento e redução de despesas com manutenção devido à simplicidade do equipamento empregado. Assim sendo, no tratante a demanda de malte moído na Microcervejaria *Offenheit*, o uso do moinho selecionado será capaz de suprir com facilidade a demanda requerida pela empresa. As especificações do moinho constam no Quadro 3.

Quadro 3 – Especificações do moinho

Equipamento	Moinho
Capacidade (kg/h)	80-150
Largura (m)	0,85
Comprimento (m)	0,85
Altura (m)	0,97
Diâmetro do rolo (m)	0,155
Comprimento do rolo (m)	0,30
Peso (kg)	80
Quantidade	1
Tensão (V)	127-220
Potência (kW)	1,1
Velocidade (RPM)	700
Material	Aço carbono
Custo total (U\$)	978
Características	2 rolos

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão do moinho está devidamente efetuada no Apêndice B.1.

9.1.2 Rosca transportadora tubular

A rosca transportadora tubular tem a função de levar o malte moído até as tinas de mosturação. A escolha da rosca transportadora tubular foi baseada na demanda de malte no processo de mosturação bem como na altura da tina de mosturação. O equipamento empregado será capaz de suprir a demanda da Microcervejaria *Offenheit* com facilidade, minimizando, portanto, a possibilidade de incorrer em problema relacionados ao transporte do malte até os tanques de mosturação. Ademais, a rosca transportadora tubular conta com base em formato de funil para direcionar o malte moído até o início da rosca, sendo, portanto, o modelo ideal a ser empregado na empresa. As especificações do equipamento constam no Quadro 4.

Quadro 4 – Especificações da rosca transportadora

Equipamento	Rosca transportadora
Capacidade (kg/h)	1000
Diâmetro (m)	0,114
Comprimento (m)	4,0
Quantidade	1
Tensão (V)	400
Potência (kW)	1,1
Peso (kg)	320
Material	Aço inoxidável
Custo total (U\$)	5488
Características	Com funil de entrada

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão da rosca transportadora está devidamente efetuada no Apêndice B.2.

9.2 ÁREA 200: BRASSAGEM

A área 200 contará com 9 equipamentos: um tanque para armazenamento de água, dois tanques de mosturação, dois tanques de filtração, dois tanques de fervura e *Whirlpool*, um trocador de calor e um aerador.

Convém ressaltar que para as tinas de mosturação, filtração, fervura e *Whirlpool* a compra será efetuada em conjunto e, portanto, não há como atribuir custo específico para cada equipamento, sendo atribuído um custo total do conjunto de tinas.

9.2.1 Tanque de armazenamento de água

O tanque de armazenamento de água tem como objetivo armazenar por pequeno intervalo de tempo a água utilizada nas etapas de mosturação e filtração. Ademais, o tanque também recebe a adição de químicos (ácido fosfórico e carbonato de cálcio) que naturalmente são adicionadas na água antes do início do processo produtivo cervejeiro, sendo realizado ainda no tanque o controle das propriedades da água a ser utilizada. A determinação da capacidade do tanque foi baseada na etapa mais demandante de água (filtração

do mosto) que ocorre na Microcervejaria *Offenheit*, sendo, portanto, um tanque com capacidade de 2000 L o ideal para minimizar os custos de implementação bem como suprir de maneira eficiente a demanda da empresa. As especificações do equipamento constam no Quadro 5.

Quadro 5 – Especificações para o tanque de armazenamento de água

Equipamento	Tanque
Volume (L)	2000
Diâmetro (m)	1,4
Altura (m)	2,2
Espessura (mm)	2
Quantidade	1
Temperatura (°C)	5 – 45
Material	Aço Inoxidável AISI 304
Peso (kg)	200
Custo total (US\$)	1750
Características	Porta de inspeção superior
	Topo e fundo cônico (150°)

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão do tanque de armazenamento está devidamente efetuada no Apêndice C.1.

9.2.2 Tina de mosturação

A tina de mosturação será responsável por promover a extração dos açúcares e aromas do malte de acordo com rampas específicas de temperatura. A escolha da tina de filtração foi embasada no volume de produção de cerveja por batelada, sendo a tina de mosturação escolhida pela Microcervejaria *Offenheit* com capacidade ideal para o funcionamento da empresa. As especificações do equipamento constam no Quadro 6.

Quadro 6 – Especificações da tina de mosturação

Equipamento	Tina de mosturação	Tina de mosturação
Volume útil (m ³)	1,990	1,990
Diâmetro (m)	1,3	1,3
Altura (m)	1,5	1,5
Área de aquecimento (m ²)	1,69	1,69
Quantidade	1	1
Tensão (V)	230	230
Potência dos agitadores (kW)	1,1	1,1
Material	Aço inoxidável AISI 304	Aço inoxidável AISI 304
Material (Isolamento)	Algodão plastificado	Algodão plastificado
Espessura isolamento (mm)	50	50
Custo total (U\$)	-	-
Características	Porta de inspeção superior em vidro	
	Agitador de 4 braços	
	Revestimento externo de aço inoxidável	
	Iluminação interna	
	2 banhos de chuveiro sanitários	
	Acoplagem de CIP	
	Controle automático	

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão da tina de mosturação está devidamente efetuada no Apêndice C.2.

9.2.3 Tina de filtração

A tina de filtração é responsável por separar o bagaço de malte do mosto. A escolha da tina de filtração é feita de modo conjunto com a tina de mosturação, adotando-se, portanto, os mesmos critérios da tina de mosturação na escolha da tina de filtração. As especificações do equipamento constam no Quadro 7.

Quadro 7 – Especificações da tina de filtração (Lauter)

Equipamento	Tina de filtração	Tina de filtração
Volume útil (m ³)	1,368	1,368
Diâmetro (m)	1,320	1,320
Altura (m)	1,2	1,2
Quantidade	1	1
Tensão (V)	230	230
Potência dos agitadores (kW)	2,2	2,2
Temperatura (°C)	0-120	0-120
Material	Aço inoxidável AISI 304	Aço inoxidável AISI 304
Material (Isolamento)	Algodão plastificado	Algodão plastificado
Espessura isolamento (mm)	50	50
Custo total (U\$)	-	-
Características	Porta de inspeção superior em vidro	
	2 portas laterais	
	Agitador de 2 braços e 8 lâminas	
	Revestimento externo de aço inoxidável	
	Descarga automática de grãos	
	Iluminação interna	
	2 banhos de chuveiro sanitários	
	Acoplagem de CIP	
Controle automático		

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão da tina de filtração está devidamente efetuada no Apêndice C.3.

9.2.4 Tanque de fervura e *Whirlpool*

A tina de fervura e *Whirlpool* será responsável por promover a evaporação da água excedente do mosto, inativar as enzimas provenientes do malte e separar o mosto do *Trub*. A escolha da tina de fervura e *Whirlpool* é feita de maneira conjunta com as tinas de mosturação e filtração, visto que há uma interdependência entre as tinas. Assim sendo, será feita a aquisição da tina de fervura e *Whirlpool* baseada nos mesmos critérios adotados para as tinas de mosturação e filtração. As especificações do equipamento constam no Quadro 8.

Quadro 8 – Especificações do tanque de fervura e Whirlpool

Equipamento	Tina de fervura e Whirlpool	Tina de fervura e Whirlpool
Volume útil (m ³)	1,356	1,356
Diâmetro (m)	1,2	1,2
Altura (m)	1,2	1,2
Quantidade	1	1
Material	Aço inoxidável AISI 304	Aço inoxidável AISI 304
Material (Isolamento)	Algodão plastificado	Algodão plastificado
Espessura isolamento (mm)	50	50
Custo total (U\$)	-	-
Características	Porta de inspeção superior em vidro	
	Revestimento externo de aço inoxidável	
	Acoplagem de CIP	
	Indicador de nível	

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão da tina de fervura e *Whirlpool* está devidamente efetuada no Apêndice C.4.

Como já destacado, a aquisição das tinas é feita em conjunto e, portanto, o custo de aquisição será definido como um custo para aquisição da sala de brassagem e não por equipamento individual. No Quadro 9 constam os custos com a aquisição das duas salas de brassagem.

Quadro 9 – Custo para aquisição das salas de brassagem

Sala	Pilsen e Weizen	Session IPA
Custo (U\$)	108387	108387

Fonte: Autoria própria (2019).

É relevante destacar que a Microcervejaria *Offenheit* optou por adquirir um sistema de brassagem totalmente automatizado. O intuito da aquisição é de minimizar erros de natureza humana, evitar desperdícios e aumentar a eficiência do processo de produção, aumentando assim a lucratividade a longo prazo, justificando, portanto, a aquisição do sistema automático apesar do aumento em cerca de 27% em relação a um sistema semiautomático.

9.3 ÁREA 300: ADEGA

Na área 300 haverá oito equipamentos distintos, referentes as etapas de resfriamento e aeração do mosto; tratamento, armazenagem e inoculação de levedura; Fermentação e maturação do mosto inoculado; Armazenamento da cerveja e condensação do álcool etílico volatilizado da etapa de fermentação.

9.3.1 Trocador de calor e sistema de aeração

O trocador de calor tem como objetivo o resfriamento do mosto para que esteja com as condições de temperatura necessária para a etapa de fermentação. Baseado nos balanços de massa e energia, calculou-se a área de troca térmica necessária pelo método da efetividade-NTU.

Primeiramente calculou-se as taxas de capacidade térmica dos fluidos quentes e frios, representado pela Equação 71, a fim de determinar a taxa de capacidade térmica mínima. Na qual as vazões mássicas do fluido quente e frio são, respectivamente, 2078,155 kg/h e 2220,248 kg/h. E o Cp do wort, do lúpulo e do fluido refrigerante são apresentados no Apêndice A.

$$C_{f,q} = C_{p,f,q} \cdot m_{f,q} \quad (71)$$

$$C_q = 1,842.0,428 + 4,186.2077,727$$

$$C_q = 8698,154 \frac{KJ}{kg \cdot h}$$

$$C_f = 2220,248.3,771$$

$$C_f = 8698,154 \frac{KJ}{kg \cdot h}$$

Como, $C_f = C_q$, $C_{min}=C_f$, segundo Çengel (2012), a transferência de calor máxima é atingida em um trocador de calor quando o fluido frio é aquecido até a

temperatura de entrada do fluido quente ou o fluido quente é resfriado até a temperatura de entrada do fluido frio. E como as capacidades térmicas de ambos os fluidos são idênticas, as duas condições serão alcançadas simultaneamente, portanto a taxa de transferência de calor máxima possível é calculada pela Equação 72.

$$Q_{m\acute{a}x} = C_{m\acute{i}n} \cdot (T_{e,q} - T_{e,f}) \quad (72)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 8698,15 \cdot (95 - 10)$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 739343,123 \text{ KJ/h}$$

Com esse dado é possível então determinar a efetividade de transferência pela Equação 73 que representa a razão entre a taxa de transferência de calor real ($Q = 652361,579 \text{ KJ/h}$) e a máxima possível.

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_{m\acute{a}x}} \quad (73)$$

$$\epsilon = \frac{652361,579}{739343,123} = 0,882$$

Assim, com a efetividade e a razão entre as taxas de capacidade calorífica pode-se encontrar NTU (número de unidades de transferência) = 14 pelo gráfico encontrado no Anexo A.

A área de troca térmica é determinada pela Equação 74, no qual $U = 6120 \text{ kJ/h.m}^2\cdot\text{K}$ (ÇENGEL, 2012).

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{m\acute{i}n}} \quad (74)$$

$$A = \frac{C_{m\acute{i}n} \cdot NTU}{U}$$

$$A = 14 \cdot \frac{8698,154}{6120} = 19,898 \text{ m}^2$$

De posse desses dados, as especificações e dimensões do trocador de calor são representados no Quadro 10.

Quadro 10 – Especificações do trocador de calor

Equipamento	Trocador de Calor
Comprimento (m)	1,32
Largura (m)	0,586
Altura (m)	0,508
Diâmetro da conexão (mm)	50,8
Diâmetro interno (mm)	47,5
Tipo de conexão	Tri Clamp
Quantidade	1
Custo total (U\$)	6741,89
Características	Medidor de temperatura e válvula esfera

Fonte: Autoria própria (2019).

A aeração do mosto cervejeiro tem como objetivo suprir a demanda de oxigênio para a fermentação, a oxigenação será feita através de uma pedra sinterizada com porosidade de 2 μm . As especificações se encontram no Quadro 11.

Quadro 11 – Especificações da pedra sinterizada

Equipamento	Pedra sinterizada
Comprimento (m)	0,173
Diâmetro (mm)	63,906
Diâmetro da conexão (mm)	50,8
Tipo de conexão	Tri Clamp/FNTP
Quantidade	1
Custo total (U\$)	131,00
Conexões	T e curva 90

Fonte: Autoria própria (2019).

As dimensões do trocador de calor e da pedra sinterizada se encontram no Apêndice C.5 e C.6 respectivamente.

9.3.2 Inoculadores

Com o objetivo de pré-condicionar e propagar as leveduras utilizadas no processo de fermentação, os inoculadores terão o papel fundamental na aceleração do processo fermentativo, mantendo as leveduras em um ambiente esterilizado e isotérmico. Baseado nos cálculos de balanço de massa, determinou-se que será necessário a utilização de três tanques inoculadores e dois tanques de armazenamento de leveduras (para cepas *Ale* e *Lager*) com as mesmas especificações de 200 L e outras representadas Quadro 12. Além dos equipamentos de processo, a Microcervejaria *Offenheit* contará com controladores integrado nesses equipamentos que atuarão na estabilização de parâmetros como temperatura e pH.

Quadro 12 – Especificações dos inoculadores e tanques de armazenamento de leveduras

Equipamento	Inoculador
Volume (L)	200
Diâmetro (m)	0,586
Altura (m)	0,94
Espessura total (mm)	86,5
Quantidade	5
Temperatura (°C)	0 - 120
Material	Aço Inox AISI 304
Material (isolação)	Poliuretano
Custo total (U\$)	2000
Características	Porta de inspeção
	Fundo cônico (60°)
	Controlador de pressão e manômetro
	Torneira de retirada de amostras
	Encamisado
	Acopagem de CIP

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão desse tanque inoculador está apresentada no Apêndice D.1.

9.3.3 Fermentadores

Com o objetivo de fermentar e maturar o mosto inoculado, convertendo os açúcares fermentescíveis em álcool, gás carbônico, água e outros componentes, os fermentadores terão papel fundamental no condicionamento desse mosto e futuramente da cerveja. De acordo com o balanço de massa na etapa de fermentação e maturação, atribuiu-se a utilização de seis fermentadores de 4500 L e doze de 2500 L com as seguintes especificações apresentadas no Quadro 13. Para manter a qualidade do produto da Microcervejaria *Offenheit*, assim como nos inoculadores e tanques de leveduras, haverá controladores integrados nesses equipamentos que atuarão na estabilização de parâmetros como temperatura e pH.

Quadro 13 – Especificações dos fermentadores

Equipamento	Fermentador	Fermentador
Volume (L)	4500	2500
Diâmetro (m)	2	1,8
Altura (m)	4,45	3,55
Espessura total (mm)	100	100
Quantidade	6	12
Temperatura (°C)	-10 a 120	-10 a 120
Material	Aço Inox AISI 304	Aço Inox AISI 304
Material (isolação)	Poliuretano	Poliuretano
Custo total (U\$)	9000	4500
Características	Porta de inspeção	
	Fundo cônico (60°)	
	Controlador de pressão e manômetro	
	Torneira de retirada de amostras	
	Encamisado	
	Acoplagem de CIP	

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão desses tanques fermentadores está apresentada nos Apêndice D.2 e D3.

9.3.4 Tanque Pulmão

Após drenar os tanques fermentadores, a cerveja será condicionada em tanques pulmões a fim de alimentar e não sobrecarregar o sistema de envase da área 400. Assim, os volumes desses tanques deverão ser iguais aos dos respectivos fermentadores de cada estilo de cerveja. As especificações e dimensão desses tanques estão representadas no Quadro 14.

Quadro 14 – Especificações dos Tanques Pulmões

Equipamento	Tanque Pulmão	Tanque Pulmão
Volume (L)	4500	2500
Diâmetro (m)	1,6	1,4
Altura (m)	2,6	1,9
Espessura total (mm)	85	85
Quantidade	1	2
Temperatura (°C)	-10 a 120	-10 a 120
Material	Aço Inox AISI 304	Aço Inox AISI 304
Material (isolação)	Poliuretano	Poliuretano
Custo total (U\$)	7000	4000
Características	Porta de inspeção	
	Controlador de pressão e manômetro	
	Torneira de retirada de amostras	
	Acoplagem de CIP	

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão desses tanques pulmões está apresentada no Apêndice D.4 e D.5.

9.3.5 Centrífuga

Após a retirada das leveduras dos fermentadores depois de sua decantação devido o resfriamento da cerveja no processo de maturação, essas leveduras serão centrifugadas, a fim de separá-las da mistura contendo resquícios de componentes da cerveja. Assim, as leveduras já hidratadas e separadas de qualquer mistura contendo componentes do processo fermentativo anterior serão condicionadas nos tanques de leveduras. As especificações e dimensão da centrífuga utilizada estão representadas no Quadro 15.

Quadro 15 – Especificações da Centrífuga de Leveduras

Equipamento	Centrífuga
Capacidade (L/h)	500
Diâmetro (m)	0,85
Altura (m)	1,2
Potência (kW)	11
Quantidade	1
Tensão (V)	380
Material	Aço Inox AISI 304
Custo total (U\$)	15000
Características	Descarga automática
	Acoplagem de CIP
	Operação contínua

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão da centrífuga de leveduras utilizada está apresentada no Apêndice D.6.

9.3.6 Airlock

Como será apresentado no capítulo de tratamento dos resíduos gasosos, o *Airlock* projetado pela Microcervejaria *Offenheit* terá como função condensar o álcool etílico volatilizado do processo fermentativo, o qual será utilizado no sistema de limpeza e esterilização dos equipamentos. As dimensões e especificações desse equipamento, representadas no Quadro 16, foram concebidas no intuito de se obter aproximadamente 50% m/m de solução alcóolica.

Quadro 16 – Especificações dos *Airlocks*

Equipamento	Airlock	Airlock
Volume (L)	5	2,5
Diâmetro (cm)	16	8
Altura (cm)	45	22,5
Espessura total (mm)	2	2
Quantidade	6	12
Temperatura (°C)	0 a 80	0 a 80
Material	HDPE	HDPE
Custo total (U\$)	40	20

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão dos *Airlocks* projetados está apresentada nos Apêndice D.7 e D8.

9.3.7 Sistema de Controle

Será usado na Microcervejaria *Offenheit*, com o intuito de se controlar a temperatura, através da solução refrigerante de propilenoglicol, nos fermentadores, inoculadores e tanques de leveduras na área 300, um sistema de controle composto por bombas centrífugas, termopares, válvulas e o seu painel.

As seguintes dimensões (painel) e especificações do sistema de controle estão apresentadas a seguir no Quadro 17.

Quadro 17 – Especificações do Sistema de Controle da Área 300

Equipamento	Sistema de Controle
Comprimento (m)	1,4
Largura (m)	0,381
Altura (m)	0,584
Potência (kW)	5,5
Tensão (V)	380
Quantidade	1
Custo total (U\$)	10250
Características	2x Bombas Centrífugas integradas
	Controle PID
	21x Termopar
	21x Válvula Solenoide

Fonte: Autoria própria (2019).

9.4 ÁREA 400: ENVASE E ROTULAGEM

Na área 400 haverá cinco equipamentos distintos responsáveis pela clarificação, carbonatação, envase e pasteurização da cerveja, além da rotulagem das garrafas.

9.4.1 Filtro de Terra Diatomácea

No intuito de promover a clarificação de cervejas que demandam tal especificação, será utilizado um filtro de terra diatomácea tipo vela, com capacidade de 6,3 kg de leito, o qual será renovado 4 vezes por mês de produção. As dimensões e especificações desse filtro estão representadas no Quadro 18.

Quadro 18 – Especificações do Filtro de Terra Diatomácea

Equipamento	Filtro de Vela
Capacidade (L/h)	800
Diâmetro (m)	1,13
Altura (m)	1,65
Leito de terra diatomácea (kg)	6,3
Área de filtração (m ²)	1
Quantidade	1
Temperatura (°C)	-10 a 80
Pressão máxima (bar)	6
Material	Aço Inox AISI 304
Custo total (U\$)	11460
Características	Operação contínua
	Bomba de dosagem
	Bomba Centrífuga
	Manômetro
	Válvula de amostragem
	Válvula de segurança

Fonte: Aatoria própria (2019).

A representação e dimensão do filtro que será utilizado está apresentada no Apêndice E.1.

9.4.2 Carbonatador

O gás carbônico é responsável pela acidez e efervescência da cerveja. e contribui no controle microbiano e reage no lugar do oxigênio, evitando oxidações indesejáveis. A carbonatação será feita através de uma pedra sinterizada com uma porosidade de 2 µm. As especificações se encontram no Quadro 19.

Quadro 19 – Especificações da pedra sinterizada

Equipamento	Pedra sinterizada
Comprimento (m)	0,173
Diâmetro (mm)	63,906
Diâmetro da conexão (mm)	50,8
Tipo de conexão	Tri Clamp/FNTP
Quantidade	1
Custo total (U\$)	131,00
Conexões	T e curva 90

Fonte: Autoria própria (2019).

As dimensões da pedra sinterizada se encontram no Apêndice D.1.

9.4.3 Envasadora

Considerando que aproximadamente 3800 L de cerveja deverão ser envasadas diariamente em garrafas de 0,6 L, e que essa linha de processo trabalhará aproximadamente 8 horas diárias, calculou-se que a cadência necessária de envasamento seja de aproximadamente 800 garrafas por hora. As dimensões e especificações desse equipamento estão representadas no Quadro 20.

Quadro 20 – Especificações da Envasadora

Equipamento	Envasadora
Capacidade (garrafas/h)	600 a 1200
Largura (m)	1,65
Altura (m)	3,00
Comprimento	2,25
Tensão (V)	380
Potência (kW)	4,4
Quantidade	1
Material	Aço Inox AISI 304
Custo total (U\$)	37500
Características	Refrigeração com glicol
	Moto-Bomba
	4 bicos de enxague
	Controlado por CLP
	Sensores de segurança
	4 válvulas de enchimento
	Reservatório de ácido peracético

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão da Envasadora está apresentada no Apêndice E.3.

9.4.4 Pasteurizador

Com o objetivo de atender as especificações do projeto do pasteurizador no balanço material e energético, a Microcervejaria *Offenheit* irá adquirir um equipamento que trabalhará em uma cadência de pasteurização de 800 garrafas por hora, com 5 seções de faixas de temperaturas diferentes, o qual ainda possui um reservatório integrado que atende à demanda de 3500 L de água de utilidade. As dimensões e especificações desse equipamento estão representadas no Quadro 21.

Quadro 21 – Especificações da Pasteurizador em Túnel

Equipamento	Pasteurizador em túnel
Capacidade (Garrafa/h)	800
Comprimento (m)	9
Largura (m)	1,6
Altura (m)	2,55
Potência (kW)	15
Quantidade	1
Tensão (V)	220/380
Material	Aço Inox AISI 304
Custo total (U\$)	28000
Características	5 Seções

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão do pasteurizador em túnel está apresentada no Apêndice E4.

9.4.5 Rotuladora

A rotuladora será utilizada com o objetivo de fixar os rótulos nas garrafas de cerveja. A escolha da rotuladora automática foi baseada na taxa de garrafas envasadas na etapa de envase. A Microcervejaria *Offenheit* optou por utilizar a

rotulagem automática (algumas microcervejarias possuem rotulagem semiautomática) devido ao aumento da eficiência do processo e redução de possíveis erros de natureza inerentemente humana que serão drasticamente reduzidos com a automatização do processo. As especificações da rotuladora constam no Quadro 22.

Quadro 22 – Especificações da Rotuladora

Equipamento	Rotuladora
Capacidade (garrafas/h)	1800-3000
Largura (m)	0,6
Altura (m)	0,65
Comprimento (m)	1,4
Tensão (V)	220
Potência (kW)	1,5
Quantidade	1
Peso (kg)	120
Material	Alumínio
Custo total (U\$)	2400
Características	Controlador lógico programável (PLC)
	Automática

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão da rotuladora não foi inserida nos apêndices, entretanto não há perda no entendimento do equipamento devido a sua não descrição. A Microcervejaria *Offenheit* optou por não representar o equipamento devido a quantidade de informações de cotas que seria necessária para a sua representação, fato que causaria confusão na análise do equipamento.

9.5 ÁREA 500: CALDEIRARIA

9.5.1 Caldeira

A caldeira será responsável pelo fornecimento de toda utilidade quente demandante na Microcervejaria *Offenheit*. A escolha do tipo de caldeira (flamotubular ou aquatubular) empregada na empresa está estritamente relacionada a demanda da empresa, aos custos de aquisição e manutenção do

equipamento, a temperatura que se deseja para a utilidade quente bem como a pressão de operação do projeto.

Na Microcervejaria *Offenheit* será utilizada uma caldeira do tipo flamotubular a base de biomassa. A escolha por empregar a biomassa e não um combustível fóssil foi embasada em fatores ambientais e econômicos, sendo, portanto, mais viável empregar uma caldeira a base de biomassa. No Quadro 23 constam as especificações da caldeira a ser empregada na Microcervejaria *Offenheit*.

Quadro 23 – Especificações da caldeira

Equipamento	Caldeira
Capacidade (kg/h)	1000-1100
Diâmetro (m)	1,8
Comprimento (m)	3,95
Volume útil (m ³)	3,85
Temperatura de operação (°C)	180
Quantidade	1
Tensão (V)	220 trifásico
Pressão máxima (bar)	8,33
Rendimento térmico (%)	75 ± 2
Combustível	Biomassa
Material	Aço carbono ASTM-A-516 Gr 70
Custo total (U\$)	43537
Características	Isolamento térmico de mantas de lã de rocha
	Revestimento externo de alumínio tipo estuco
	Controlador individual
	Flamotubular 2 passes

Fonte: Aatoria própria (2019).

A representação e dimensão da caldeira está devidamente efetuada no Apêndice F.1.

Ressalta-se que a Microcervejaria *Offenheit* preocupada com a questão ambiental foi criteriosa na escolha da biomassa a ser empregada na caldeira, optando por empregar briquetes de biomassa provenientes dos mais variados processos que fazem uso direto da madeira gerando diretamente restos de madeira até então sem valor agregado. Assim, a Microcervejaria *Offenheit* contribui em não incentivar o corte ilegal da madeira e promove uso adequado de materiais com alto poder calorífico e baixo valor agregado.

9.5.2 Soprador de ar

O soprador de ar será responsável por manter o excesso de ar dentro da caldeira. A escolha do soprador empregado pela Microcervejaria *Offenheit* teve como base a demanda de ar para a queima da biomassa na caldeira. As especificações do equipamento constam no Quadro 24.

Quadro 24 – Soprador de ar

Equipamento	Soprador
Capacidade (m ³ /h)	1380
Largura (m)	0,3780
Altura (m)	0,3855
Comprimento (m)	0,2970
Tensão (V)	220
Velocidade (RPM)	2930-2980
Potência (kW)	0,55
Quantidade	1
Peso (kg)	20
Material da lâmina	Ferro fundido
Material do motor	Cobre
Custo total (U\$)	96
Características	Entrada de ar lateral

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão do soprador de ar está devidamente efetuada no Apêndice F.2.

9.6 SISTEMA CIP DE LIMPEZA

Esse sistema é responsável pelas limpezas diárias entre as bateladas e pelo sistema CIP de limpeza, irá possuir quatro tanques de 500 L, contendo água de reaproveitamento, solução básica de carbonato de cálcio, solução de ácido fosfórico e água tratada. As dimensões e especificações desse equipamento estão representadas no Quadro 25.

Quadro 25 – Especificações do Sistema CIP

Equipamento	Sistema CIP
Nº Tanques	4
Volume cada tanque (L)	500
Largura (m)	1,65
Altura (m)	2
Comprimento	3
Tensão (V)	380
Potência (kW)	2,2
Pressão máxima (bar)	6
Quantidade	1
Material	Aço Inox AISI 304
Custo total (U\$)	24000
Características	Bomba centrífuga
	Encamisado
	Controle CLP individual
	Válvula de amostragem
	Válvulas pneumáticas
	Medidor de vazão

Fonte: Autoria própria (2019).

A representação e dimensão dos equipamentos integrados no Sistema CIP está apresentada no Apêndice G.

9.7 TROCADORES DE CALOR DA INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA

Já especificados em relação às correntes quentes e frias, e dimensionados a respeito da área de troca térmica, no Apêndice I.2, os trocadores de calor da integração energética da Microcervejaria *Offenheit* terão as seguintes características ilustradas no Quadro 26.

Quadro 26 – Especificações dos Trocadores de calor da Integração Energética

Equipamento	Trocador de Calor
Tipo	Casco e Tubo
Máxima temperatura (°C)	250
Máxima pressão (Mpa)	1,6
Material	Cobre, Níquel e Aço Inoxidável 304
Quantidade	13
Custo total (U\$)	18200

Fonte: Autoria própria (2019).

9.8 ÁREA 600: SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Atendendo as especificações do sistema de refrigeração projetado, a Microcervejaria *Offenheit* utilizará para refrigerar a solução de propilenoglicol a 30% um sistema de refrigeração de Chiller com as seguintes especificações ilustradas no Quadro 27.

Quadro 27 – Especificações do Sistema de refrigeração

Equipamento	Refrigerador tipo Chiller
Largura (m)	1,2
Comprimento (m)	2,6
Altura (m)	2,2
Refrigerante	Amônia
Quantidade	1
Potência Compressor (kW)	80
Potência Bomba (kW)	3,5
Capacidade de refrigeração (kW)	400
Voltagem (V)	380
Peso	1100 kg
Custo total (U\$)	70000
Características	Condensador de tubo de cobre aletado
	Evaporador casco e tubo
	Controlador de pressão e temperatura

Fonte: Autoria própria (2019).

9.9 BOMBAS E COMPRESSORES

Para transporte de fluidos entre equipamentos será utilizado 17 bombas centrífugas com as especificações apresentadas no Quadro 28.

Quadro 28 – Especificações das bombas utilizadas para escoamento de fluidos entre equipamentos

Equipamento	Bomba centrífuga
Largura (cm)	13,7
Comprimento (cm)	27,1
Altura (cm)	17
Diâmetro do rotor (mm)	102
Quantidade	16
Potência (kW)	0,18
Vazão máxima (m ³ /h)	7,6
Vazão mínima (m ³ /h)	1,3
Voltagem (V)	110/220
Peso	6,1 kg
Velocidade (rpm)	3500
Custo por unidade (U\$)	92,87
Características	Protetor térmico contra sobrecarga

Fonte: Autoria própria (2019).

Para deslocamento de fluidos gasosos será utilizado 2 compressores com as especificações apresentadas no Quadro 29.

Quadro 29 – Especificações dos compressores

Equipamento	Compressor
Temperatura mínima ambiente (°C)	5
Temperatura máxima ambiente (°C)	40
Quantidade	2
Potência (kW)	0,14
Vazão máxima (m ³ /h)	1,34
Pressão máxima contínua (bar)	1,5
Voltagem (V)	230
Peso (kg)	2,49
Velocidade (rpm)	2700
Custo por unidade (U\$)	362,75
Características	Modo de operação – pressão

Fonte: Autoria própria (2019).

10 TRATAMENTO DE RESÍDUOS E TRATAMENTO DA ÁGUA DA CALDEIRA

A quantidade de subprodutos e resíduos gerados pela indústria cervejeira é caracterizada pela elevada carga orgânica devido a todo processo de fabricação do seu produto, sendo que grande parte destes resíduos provém

de produtos agrícolas que podem ser facilmente tratados, reciclados e reutilizados (MENESES et al., 2013).

Os efluentes líquidos e resíduos sólidos quando lançados diretamente no meio ambiente, sem qualquer tratamento prévio, podem causar uma série de complicações nocivas para a região de implantação, como o aumento da turbidez das águas do corpo receptor, odores nocivos à população, comprometimento da fauna e flora aquática e contaminação da água com compostos orgânicos que aumentam a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) desse efluente devido ao aumento de carga orgânica. Assim, faz-se necessário o tratamento desses resíduos a partir de diversos métodos, os quais serão devidamente pontuados abaixo, para a manutenção e segurança do meio ambiente.

Os resíduos mais comuns e impactantes que são produzidos nas cervejarias são bagaço de malte, *trub* – junção das sobras do processo de fervura, incluindo partículas de lúpulo, restos de malte e proteínas coaguladas (FILLAUDEAU et al., 2006), leveduras, água, CO₂ do processo fermentativo e resíduos sólidos como embalagens, tampas, vidros quebrados etc.

10.1 SISTEMA DE LIMPEZA DOS EQUIPAMENTOS

A fim de garantir a segurança e higienização dos produtos produzidos, a Microcervejaria *Offenheit* adotará o processo de limpeza CIP (*Clean In Place*). Esse processo de lavagem consiste em diversos ciclos de lavagens, por fases descritas na Tabela 65, em tanques, bombas, válvulas e de outros equipamentos no fluxo do processo. Portanto, trata-se de um sistema inteligente que faz ajustes contínuos nas operações de modo a garantir os mais elevados níveis de desempenho.

Além de água, para esse processo é necessário somente dois compostos químicos em concentrações diluídas: a soda cáustica a 2,0% m/m e ácido fosfórico a 1,0% m/m, além da água. O controle incluso nesse equipamento é ajustado às demandas de tempo, temperatura, concentração, fluxo e volume, que poderão ser reprogramadas segundo as necessidades de produção da

cervejaria. O procedimento de limpeza pode ser descrito de forma geral, segundo a Tabela 65.

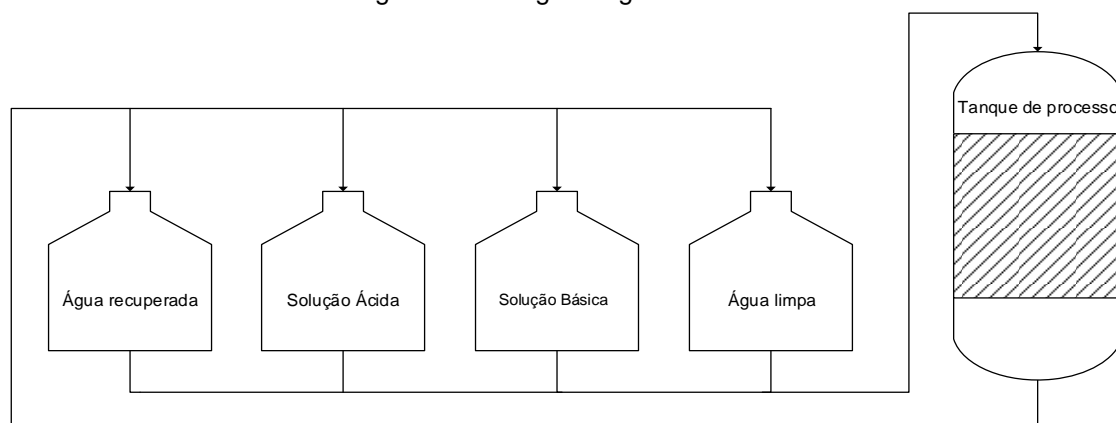
Tabela 65 – Fases da CIP

Fase	Objetivo
Pré-lavagem com água	Remover sujidades grosseiras
Limpeza com solução alcalina	Remover resto de resíduos (principalmente proteínas e gordura)
Lavagem ou enxague intermediária com água	Remover produtos químicos de limpeza e sólidos dissolvidos nestes.
Limpeza com solução ácida	Remover restos de resíduos (principalmente minerais)
Lavagem ou enxague	Remover produtos químicos de limpeza
Desinfecção/esterilização	Reduzir a carga microbiana a um nível seguro

Fonte: TETRAPARK (2012).

Inicialmente, o tanque de processo, ilustrado na Figura 44, no qual será realizado a CIP é submetido à uma pré-lavagem com a água recuperada do processo anterior, a qual por sua vez será destinada para a ETE da unidade. Posteriormente, é vez das soluções básica e ácida, respectivamente, circular pelo tanque de processo, sendo ainda recicladas em seus respectivos tanques de armazenamento no final do processo, podendo ser reciclados por cinco ciclos de limpeza antes de serem descartados. Depois do tratamento com as soluções básica e ácida, água tratada é circulada no sistema sendo reaproveitada no tanque de água recuperada. Após a realização da CIP, será necessário imediatamente a esterilização do equipamento antes do uso, utilizando água a 90°C (IndustrySearch, 2019).

Figura 44 – Diagrama geral da CIP



Fonte: Adaptado de FillTech (2019).

Outro processo de limpeza, além do CIP realizado uma vez por semana na cervejaria, é o enxague dos tanques de todos os processos com 346 L de água quente a 70 °C, reaproveitada do processo de fervura, entre os processos de batelada de cada um. Estabeleceu-se essa quantidade utilizada na limpeza de acordo com o dimensionamento dos equipamentos e das perdas das correntes de processo.

Considerou-se de acordo com o dimensionamento dos equipamentos da Microcervejaria *Offenheit*, que serão necessários aproximadamente 500 L para cada tanque de água recuperada, solução de ácido fosfórico 2% m/m, solução básica de soda cáustica 2% m/m e água limpa.

10.2 RESÍDUOS GERADOS E POSSÍVEIS APLICAÇÕES

A seguir, classifica-se os resíduos gerados na Microcervejaria *Offenheit* e a correta destinação dos mesmos.

10.2.1 Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos consistem basicamente em resíduos de material orgânico proveniente do processo de produção, incluindo grãos, lúpulos usados, *trub*, lodo, leveduras excedentes e materiais de embalagem (OLAJIRE, 2012).

10.2.1.1 Bagaço de malte

O bagaço de malte, chamado em inglês de *Beer Spent Grain* (BSG), é o subproduto mais abundante do processo cervejeiro, podendo representar 85% dos resíduos gerados, sendo a proporção de 20 quilos de bagaço para cada 100 litros de cerveja produzida (REINOLD, 1997). Ainda segundo Reinold (1997), a cada 100 kg de mostura são gerados 110 a 120 kg de bagaço úmido. O bagaço de malte é gerado na filtração do mosto após a caldeira de mostura, antes da fervura.

Para o tratamento desses resíduos são sugeridas algumas opções. Mussatto, Dragone e Roberto (2006) afirmam que embora o bagaço de malte seja o principal subproduto do processo de fabricação de cerveja, ele recebeu pouca atenção como um produto comercializável, e seu descarte é frequentemente um problema ambiental. Segundo SANTOS (2005), a principal aplicação do resíduo tem sido como ração animal (principalmente para bovinos), devido aos seus altos teores de proteína e fibra.

Aliyu e Bala (2011) afirmam que o bagaço de malte é rico em celulose e polissacarídeos não celulósicos com alto potencial de reutilização. Do ponto de vista econômico, a reutilização do bagaço de malte é viável devido aos fáceis métodos de tratamento aos quais o resíduo é submetido, sua disponibilidade e também sua propriedade inerte (MUSSATTO, DRAGONE e ROBERTO, 2006).

Assim, a Microcervejaria *Offenheit* em associação com fazendeiros locais destinará por dia, 814 kg de bagaço de malte, devido sua composição rica em proteínas e fibras, como ração para alimentação animal.

10.2.1.2 *Trub*

O *trub* é gerado em duas formas diferentes e proveniente de etapas distintas. O *trub* grosso é o resíduo tirado do *Whirlpool* (recipiente cilíndrico onde o mosto é bombeado tangencialmente para o seu interior), na primeira filtração após o cozimento, composto de gordura vegetal e proteínas coaguladas, enquanto o *trub* fino é obtido na segunda filtração, composto principalmente de gordura vegetal. Segundo Fillaudeau et al. (2006), o *trub* é uma junção das sobras do processo de fervura, incluindo partículas de lúpulo, restos de malte e proteínas coaguladas. Assim, devido seus teores nutricionais compostos por proteínas e gorduras, o *trub* pode ser misturado junto ao bagaço de malte para serem usados como ração animal.

Assim, na Microcervejaria *Offenheit*, 55 kg do *trub* produzido diariamente será misturado ao bagaço de malte e leveduras para ser destinado para ração animal.

10.2.1.3 Excesso de levedura

Durante o processo de fermentação as leveduras se reproduzem, obtendo-se ao final do processo mais levedo do que se utilizará na próxima batelada. Segundo Briggs et al. (2004), durante a etapa de fermentação, a massa de levedura tende a se multiplicar entre 3 e 5 vezes no reator. Fillaudeau et al. (2006) afirmam que apesar do excesso de levedura ser recuperado por sedimentação natural no final da segunda fermentação e maturação, apenas parte dessa levedura pode ser reutilizada. Segundo Ferreira et al. (2010), a biomassa da levedura *Saccharomyces* ocupa o segundo lugar em subprodutos gerados pela indústria cervejeira.

Para o tratamento desses resíduos são sugeridas algumas opções. Ferreira et al. (2010) destacam que a destinação principal das leveduras é a alimentação de suínos e ruminantes, devido ao fato de serem uma excelente fonte de proteínas. Kadimaliev et al. (2012), afirmam que uma possível solução para aproveitar as leveduras residuais dos processos cervejeiros é a criação de colas e adesivos naturais, sendo necessário aprimorar suas características adesivas por meio de tratamentos químicos, produzindo colas com a mesma qualidade das colas convencionais. Aimaretti e Ybalo (2012) demonstraram que é possível produzir bioetanol a partir da levedura *Saccharomyces cerevisiae* residual do processo de produção de cerveja.

Assim, na Microcervejaria *Offenheit*, 27,6 kg de excesso de levedura descartada diariamente será misturada ao bagaço de malte e *trub* para ser destinada como ração animal.

8.1.1.4 Materiais de embalagem

Os resíduos de materiais de embalagem incluem os rótulos da lavagem de garrafas retornáveis, vidro quebrado, papelão, tampas de garrafas e madeira, sendo classificados como resíduos de classe II-A segundo a ABNT NBR 10007. Estes resíduos devem ser evitados ou pelo menos limitados, uma vez que a separação e tratamento dos mesmos não serão simples (OLAJIRE, 2012). Esses

resíduos materiais serão segregados em uma baía de resíduos e destinados ao serviço de coleta seletiva da cidade sede, Ponta Grossa (PR). Atualmente o material reciclável é entregue aos PEVs (Ponto de Coleta Seletiva) dispostos por toda cidade (SMMA, 2018). Segundo dados coletados em campo e considerações relacionadas ao porte de Microcervejarias, considerou-se que por dia serão descartados 10 kg de resíduos sólidos dessa classe, sendo esses 40% de plástico, 30% de papel, 20% de vidro e 10% de metal.

8.1.1.5 Terra Diatomácea

Devido sua alta área específica e baixa massa específica, a terra diatomácea é muito utilizada na etapa de clarificação da cerveja. No entanto, quando aplicada nesse processo de clarificação de cerveja, esse material possui uma vida útil muito curta, acarretada pela saturação de material orgânico do processo fermentativo da cerveja.

Segundo Mello e Pawlowsky (2003), a terra diatomácea se comporta como resíduos sólidos de Classe II. Para a NBR 10.004, nesta classe estão os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente.

Para grandes cervejarias que incluem em toda sua linha de produção o processo de clarificação, o descarte desse material pode chegar a 30 toneladas mensais. Nessa proporção, a reutilização desse material através de tratamentos térmicos torna-se viável (GOULART et al., 2011).

Uma vez que o descarte dessa terra diatomácea será de aproximadamente 25 kg mensais, a reutilização desse material através de tratamentos térmicos não se torna economicamente viável. Assim, a Microcervejaria *Offenheit* irá terceirizar esse descarte, o qual por sua vez será destinado em aterros industriais da região.

10.2.2 Resíduos Líquidos

O tratamento dos efluentes líquidos de uma cervejaria engloba efluentes do processo de produção, envasamento, utilidades, oficinas e sanitários (REINOLD, 1997). Desse ponto de vista, o tratamento dos efluentes líquidos é baseado na composição da água descartada em todos os processos relacionados à produção. Compostos orgânicos como proteínas coaguladas, minerais, açúcares e microrganismos fazem parte dos efluentes líquidos da indústria da cerveja. Além disso, a água utilizada para a lavagem e desinfecção dos equipamentos, planta industrial e de garrafas que é composta majoritariamente por compostos alcalinos, ácidos e microrganismos, também constitui os efluentes líquidos da indústria cervejeira.

Para o tratamento desses efluentes existem à disposição diversos métodos químicos, físicos e biológicos que podem ser suficientes para atender os critérios para lançamento de efluentes. Os padrões de lançamento seguirão a Resolução nº 430 do CONAMA para lançamento em corpos hídricos – corpo receptor de água doce, classe 3, conforme indica a Resolução nº 357 do CONAMA e com base nos corpos hídricos locais – na qual os efluentes devem obedecer às seguintes condições: pH entre 5 e 9; temperatura inferior a 40° C, na qual a variação de temperatura do corpo receptor não deve exceder a 3° C no limite da zona de mistura; concentração de matérias sedimentáveis inferior a 1 mL/L; regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor; concentração inferior a 20 mg/L de óleos minerais e 50 mg/L de óleos vegetais e gorduras animais; ausência de materiais flutuantes; remoção mínima de 60% de DBO; e a legislação da companhia de saneamento local, SANEPAR.

A etapa principal desse tratamento é constituída na separação das substâncias sólidas, como rótulos, fragmentos de vidro, plásticos, restos de matéria orgânica e outros materiais do efluente, processo também conhecido como gradeamento.

Após essa etapa de separação, a medição da carga orgânica do efluente cervejeiro é essencial para um futuro tratamento biológico e de neutralização,

separadas em etapas anaeróbias e aeróbias. Ao final, gera-se lodo de tratamento, que necessita de uma correta destinação (SANTOS, 2005). Segundo Olajire (2012), a demanda química de oxigênio dos efluentes de cervejarias variam entre 1150 a 1350 mg/L, a qual excede o valor padrão de lançamento, que, ainda conforme o CONAMA (2011), é de 120 mg/L.

Considerou-se que a quantidade de efluente médio gerado pela Microcervejaria *Offenheit* por dia é de 0,495 m³/dia proveniente do sistema de limpeza dos equipamentos.

As características dos efluentes gerados pela indústria cervejeira são apresentadas na Tabela 66.

Tabela 66 – Características dos resíduos líquidos da indústria cervejeira

pH	DQO (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TN (mg/L)	SS (mg/L)
6,5	1250	16	24	500

Fonte: Wen, Wu, Zhao, et al.(2010).

Segundo Briggs (2004) a razão média entre a DQO e a DBO é de 1,75. Portanto, a DBO adotada é de 714,285mg/L. Como parâmetro foi adotado o mesmo sistema de tratamento citado por ALCANTÂRA (2012) que consiste em gradeamento, tanque de condicionamento e um reator anaeróbico com circulação interna.

10.2.2.1 Gradeamento

O gradeamento consiste em uma grade com aberturas de dimensões uniformes com objetivo de reter sólidos grosseiros contidos no Afluente à estação de tratamento, que podem danificar ou obstruir os equipamentos dos processos seguintes, contaminar tubulações ou reduzir a eficiência do processo (METCALF, EDDY, 2016).

Considerando que é um sistema de gradeamento estático, considerou-se um espaçamento entre as grades de $a=0,7$ mm e uma espessura de $t=0,25$ mm (METCALF, EDDY,2016), calculou-se a eficiência da grade por meio da Equação 75.

$$E = \frac{a}{a + t} \quad (75)$$

$$E = \frac{0,7}{0,7 + 0,25} = 0,737$$

Adotou-se como a velocidade entre as barras o valor de 0,6 m/s (CAMMAROTA, 2011). Assim, com a Equação 76, calculou-se a área útil.

$$A_u = \frac{Q}{v} \quad (76)$$

$$A_u = \frac{0,495}{0,6 \cdot 24 \cdot 3600} = 8,812 \cdot 10^{-6} m^2$$

Com os valores de área útil e eficiência, calculou-se então a área total pela Equação 77.

$$S = \frac{A_u}{E} \quad (77)$$

$$S = \frac{8,8121 \cdot 10^{-6}}{0,737} = 6,493 \cdot 10^{-6} m^2$$

Considerando $H=2 \cdot L$, as dimensões da grade estática encontram-se na Tabela 67.

Tabela 67 – Dimensões da grade estática

H (cm)	L (cm)	a (mm)	t (mm)
2,5	1,27	7	0,25

Fonte: Autoria Própria (2019).

10.2.2.2 Tanque de Equalização

A equalização é o amortecimento das variações de vazão para se obter uma vazão constante podendo melhorar o tratamento biológico diminuindo as cargas de choque e estabilizando o pH.

Para essa etapa, considerou-se um tempo de detenção de aproximadamente de 8 horas, calculou-se o volume necessário pela Equação 78.

$$V = Q \cdot \tau \quad (78)$$

$$V = 28800 \cdot 5,73 \cdot 10^{-6} = 0,165 \text{ m}^3$$

Considerou-se um tanque quadrado de altura $H = 2 \text{ m}$, determinou-se as outras dimensões que estão dispostas na Tabela 68.

Tabela 68 – Dimensões do tanque equalizador

H (cm)	L (cm)	C (cm)	V (m ³)
20	82,4	90,81	0,165

Fonte: Aatoria Própria (2019).

10.2.2.3 Reator Anaeróbico

O reator anaeróbico consiste no tratamento do resíduo por meio de reações biológicas em meio anaeróbico, o reator UASB com circulação interna que consiste em dois reatores UASB operando em série (METCALF, EDDY, 2016).

Para calcular o volume necessário para o reator, considerou-se uma carga orgânica volumétrica (C_v) de $5 \text{ kg DQO/m}^3 \cdot \text{dia}$ (METCALF, EDDY, 2016) e a DQO inicial igual a 1250 mg/L , e utilizou-se a Equação 79.

$$V = \frac{Q \cdot S_0}{C_v} \quad (79)$$

$$V = \frac{0,495 \cdot 1,25}{5} = 0,124 \text{ m}^3$$

Utilizando a Equação 78, calculou-se o tempo de detenção hidráulica.

$$\tau = \frac{V}{Q}$$

$$\tau = \frac{0,124}{0,495 \cdot 24} = 6 \text{ h}$$

Considerando um reator com altura igual a 3 m (CHERNICHARO, 2007), calculou-se a velocidade superficial do fluxo utilizando a Equação 80 e em seguida a área pela Equação 81.

$$v = \frac{H}{\tau} \quad (80)$$

$$v = \frac{3}{6} = 0,667 \text{ m/h}$$

$$A = \frac{Q}{v} \quad (81)$$

$$A = \frac{0,494}{24 \cdot 0,5} = 0,031 \text{ m}^2$$

Como o reator é um cilindro, calculou-se o diâmetro do mesmo utilizando a Equação 82.

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (82)$$

$$D = \sqrt{\frac{4.A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4.0,031}{\pi}} = 0,198 \text{ m}$$

Calculou-se também o volume do decantador, considerando um tempo de detenção hidráulico 1,5 h (CHERNICHARO, 2007) utilizando a Equação 78. Em seguida, considerou-se uma altura de 1,75 m (CHERNICHARO,2007), e então calculou-se o diâmetro do mesmo pela Equação 83.

$$V = Q \cdot \tau$$

$$V = \frac{0,495}{24} \cdot 1,5 = 0,031 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \quad (83)$$

$$D = \sqrt{\frac{4.V}{\pi.H}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4.0,031}{\pi \cdot 1,5}} = 0,162 \text{ m}$$

Para avaliar a eficiência da remoção da DQO e DBO, utilizou-se, respectivamente as Equações 84 e 85. Em seguida, determinou-se a DQO e DBO final por meio das Equações 86 e 87 (CHERNICHARO, 2007).

$$E_{DQO} = 1 - 0,68 \cdot \tau^{-0,35} \quad (84)$$

$$E_{DBO} = 1 - 0,7 \cdot \tau^{-0,5} \quad (85)$$

$$DQO_f = (1 - E_{DQO}) \cdot DQO_i \quad (86)$$

$$DBO_f = (1 - E_{DBO}) \cdot DBO_i \quad (87)$$

$$E_{DQO} = 1 - 0,68 \cdot 6^{-0,35} = 0,63$$

$$E_{DBO} = 1 - 0,7 \cdot 6^{-0,5} = 0,71$$

$$DQO_f = (1 - 0,63) \cdot 1250 = 454,01 \text{ mg/L}$$

$$DBO_f = (1 - 0,71) \cdot 714,28 = 204,12 \text{ mg/L}$$

A Tabela 69 mostra as dimensões do reator e a DQO e DBO do efluente.

Tabela 69 – Dimensões do reator UASB; DQO e DBO finais

H (m)	D (cm)	H _D (m)	D _D (cm)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)
4	19,8	1,5	16,2	204,124	454,124

Fonte: Autoria Própria (2019).

10.2.2.4 Avaliação do Sistema de Tratamento

Segundo o CONAMA (2011), as condições do lançamento de efluentes de no máximo 120 mg/L ou remoção mínima de 60% de DBO, assim da Tabela 69, observou-se que a segunda condição foi atingida.

Entretanto, ao se avaliar as dimensões encontradas, percebeu-se que as mesmas são muito pequenas e assim terceirizou-se o tratamento de efluentes.

10.2.3 Resíduos Gasosos

As emissões de resíduos gasosos da Microcervejaria *Offenheit*, serão compostas principalmente de gases de combustão (CO, CO₂, NO_x, SO_x, hidrocarbonetos e material particulado) oriundas da caldeira, CO₂ e compostos orgânicos voláteis gerados na etapa de fermentação. A resolução n° 382 de 2006 do CONAMA trata em seu anexo IV das emissões gasosas provenientes de queima de derivados da madeira e estabelece os limites máximos permitidos para os poluentes. A resolução citada determina a quantidade máxima permitida de poluente com base na potência térmica nominal que opera o equipamento. Assim sendo, com base na resolução citada e tendo em vista a potência nominal de operação da caldeira, os gases de combustão (temperatura de saída 200/210°C) serão tratados com lavadores de gases, reduzindo significativamente o problema das emissões gasosas por parte da caldeira. Já o CO₂ gerado na etapa de fermentação, pode ser reutilizado na etapa de carbonatação da bebida e em reações de neutralização de efluentes cáusticos derivados da lavagem e desinfecção da planta e garrafas (SANTOS, 2005).

Segundo Briggs (2004), o sistema de reutilização do CO₂ no processo de carbonatação da cerveja se torna oneroso para Microcervejarias. A utilização dessa corrente gasosa para a neutralização de efluentes cáusticos seria custosa também considerando o transporte desse fluido para a estação de tratamento ou de tanques contendo esses efluentes. Assim, o tratamento que será realizado na corrente gasosa da fermentação será a absorção do álcool volatilizado presente nessa corrente.

A Microcervejaria *Offenheit* com o intuito de aproveitar todos os recursos produzidos, utilizará um sistema de absorção vapor-líquido do etanol volatilizado da etapa de fermentação para ser utilizado na limpeza de equipamentos que exigem mais rigor na sanitização, como inoculadores e fermentadores. Inspirando-se no *airlock*, equipamento utilizado na fermentação artesanal para que não haja entrada de ar contaminado no fermentador, projetou-se um equipamento análogo a esse, embora que seja para um objetivo diferente (absorção do álcool volatilizado).

Considerando que a pressão e temperatura, 1 atm e 10 - 20 °C, dessa corrente gasosa está bem abaixo da pressão de vapor e temperatura de ebulição, segundo Perry (1988), 6 kPa e 78 °C, atribuiu-se que ao final desse processo de absorção será recuperado aproximadamente 100% do etanol e outros componentes volatilizados de cada fermentador. Para o dióxido de carbono, devido sua baixa solubilidade em água, desconsiderou-se esse componente acumulado no *airlock*. Ao início da fermentação, cada *airlock* será preenchido com água, a fim de que a solução alcóolica final do processo de absorção tenha aproximadamente 50% m/m de etanol.

Pode-se verificar no Apêndice A as dimensões e especificações do *airlock*.

As Tabelas 70, 71 e 72, ilustram, respectivamente, os balanços materiais de apenas três desses equipamentos: AL-301, AL-313 e AL-307, os quais serão dispostos na saída das correntes gasosas dos fermentadores T-304, T-310 e 316, respectivamente. Os demais *Airlocks* terão as mesmas dimensões e vazões de seus respectivos estilos produzidos.

Uma vez que a ilustração desses equipamentos está resumida em apenas um equipamento no Diagrama de Fluxo de Processo, as numerações das correntes ilustradas a seguir apresentam o mesmo número de indicação, no entanto, seguidas pelos sufixos a/b/c (representando: *Session IPA/Weizen/Pilsen*) e pelo número que representará sua ordem em relação à quantidade total de fermentadores destinado para esse estilo produzido. Ex: Corrente 55a1 – Corrente de solução alcóolica do primeiro fermentador destinado para a fermentação da *Session IPA*.

Tabela 70 – Balanço material do Airlock – A-301 (Área 300)

Corrente	34.1	54a1	55a1	66a1
De	T-304	-	AL-301	AL-301
Para	AL-301	AL-301	-	-
Temperatura (°C)	20	25	20	20
Pressão (atm)	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	3,887	0,044	0,096	3,836
Vazão (kg/batelada)	215,302	2,456	5,301	212,458
Componente (kg/batelada)				
CO2	212,458	0,000	0,000	212,458
Etanol	2,456	0,000	2,456	0,000
Água	0,000	2,456	2,456	0,000
Outros	0,388	0,000	0,388	0,000

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 71 – Balanço material do Airlock – A-313 (Área 300)

Corrente	48.1	54c1	55c1	66c1
De	T-316	-	A-313	A-313
Para	A-313	A-313	-	-
Temperatura (°C)	10	25	20	20
Pressão (atm)	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	1,737	0,027	0,057	1,706
Vazão (kg/batelada)	96,199	1,495	3,184	94,510
Componente (kg/batelada)				
CO2	94,510	0,000	0,000	94,510
Etanol	1,495	0,000	1,495	0,000
Água	0,000	1,495	1,495	0,000
Outros	0,194	0,000	0,194	0,000

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 72 – Balanço material do Airlock – A-307 (Área 300)

Corrente	42.1	54b1	55b1	66b1
De	T-310	-	A-307	A-307
Para	A-307	A-307	-	-
Temperatura (°C)	20	25	20	20
Pressão (atm)	1	1	1	1
Vazão (kg/h)	1,695	0,027	0,057	1,665
Vazão (kg/batelada)	93,875	1,475	3,143	92,206
Componente (kg/batelada)				
CO2	92,206	0,000	0,000	92,206
Etanol	1,475	0,000	1,475	0,000
Água	0,000	1,475	1,475	0,000
Outros	0,194	0,000	0,194	0,000

Fonte: Autoria Própria (2019).

10.3 TRATAMENTO DE ÁGUA DA CALDEIRA

Segundo Trovati (20-??) a operação segura e eficiente de uma caldeira é extremamente dependente da qualidade da água disponível para alimentação da mesma e de nada adianta a instalação de um equipamento ultra moderno, com todos os acessórios/ periféricos disponíveis e automatização total se não é levada em consideração a qualidade da água e o tratamento químico aplicado. Ainda segundo o autor, a presença de impurezas, tais como sais, óxidos/hidróxidos, gases dissolvidos, argila, material orgânico e óleos, muitas vezes causa problemas no uso da água para geração de vapor, podendo formar incrustações e/ ou acelerar os processos corrosivos.

Assim, tendo em vista que a água alimentada na caldeira será proveniente da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), fatores como turbidez, sólidos em suspensão e material orgânico apresentam-se em baixa concentração não sendo necessário portanto, efetuar o controle dos parâmetros citados.

Entretanto, é essencial a remoção dos sais que promovem a formação das incrustações, principalmente os sais de cálcio e magnésio responsáveis pela dureza da água. Ademais, a remoção do oxigênio da água também se faz necessária, visto que, segundo Trovati (2009) a corrosão em caldeiras é geralmente causada pela presença de gases dissolvidos (principalmente o oxigênio) e sua reação com o ferro presente no aço do equipamento. O controle de pH também é relevante em sistemas de abastecimento de caldeiras.

Diante do exposto, a Microcervejaria *Offenheit* fará o tratamento da água utilizando fosfato (fosfato mono, di ou trissódico, polifosfatos, etc) e “condicionadores de lama”.

Segundo Trovati (20-??), o tratamento precipitante com fosfato é um dos primeiros conceitos em tratamento bem sucedido e o mais utilizado em número de caldeiras hoje em dia, principalmente nos modelos pequenos e de baixa pressão. Ainda segundo o autor, o tratamento consiste em adicionar um composto a base de fosfato à água o qual reage com a dureza e a sílica dissolvidas; estas reações ocorrem estequiometricamente e formam lamas

precipitadas de hidroxiapatita de cálcio ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$) e um hidroxissilicato de magnésio ($\text{MgSiO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (chamado de “serpentina”), sendo a lama precipitada no fundo da caldeira e posteriormente removida pelas descargas de fundo. Devido a possibilidade da aderência do precipitado nas superfícies internas da caldeira, é adicionado o “condicionador de lama” (polímeros baseados em acrilatos, sulfonatos e fosfinocarboxílicos) que mantém a lama dispersa impedindo a sua aderência as superfícies. Ademais, a Microcervejaria *Offenheit* realizará a desaeração e controle de pH da água alimentada, procedimentos suficientes para garantir as características pertinentes para a operação ideal da caldeira.

11 ANÁLISE FINANCEIRA

Segundo Sebrae (2013), todo empreendedor que deseja compreender um projeto de sucesso precisa familiarizar-se com o fato de que toda e qualquer ação realizada na empresa, quer seja com propósitos operacionais, administrativos, técnicos ou comerciais, apresentará reflexos na estrutura e no desempenho econômico e financeiro do empreendimento.

Através da análise financeira desse projeto, a qual será realizada por meio do monitoramento de algumas medidas como o faturamento periódico, custos fixo, despesas fixas e despesas variáveis, será possível realizar o estudo da viabilidade do empreendimento da Microcervejaria *Offenheit*, a partir da Demonstração de Resultados no Exercício, Fluxo de caixa, Ponto de Equilíbrio e a Atratividade do empreendimento, que serão detalhados a seguir.

11.1 CUSTOS E DESPESAS

Custos e despesas são fundamentais na análise financeira, representando as saídas de caixa e, portanto, toda empresa precisa conhecer esses valores.

11.1.1 Investimento Inicial

O investimento inicial ou fixo corresponde às despesas iniciais com todos os bens necessários para que a empresa funcione, como máquinas e equipamentos. Estimar qual será o investimento fixo necessário é um dos primeiros passos de um plano financeiro (CAIXA, 2019).

Nos Apêndice J.1 e J.2 são representados, respectivamente, os preços do investimento inicial dos equipamentos e da infraestrutura da Microcervejaria *Offenheit*, os quais totalizam R\$ 4.456.073,91.

Na seção seguinte, a qual tratará dos custos fixos da empresa, a depreciação, que corresponde ao encargo periódico que determinados bens sofrem, por uso, obsolescência ou desgaste natural, dos equipamentos, terreno, instalações e construção civil será inclusa nesses custos, assim faz-se necessário seu levantamento (PORTAL DE CONTABILIDADE, 2019).

No Apêndice J.2, estão representados os ativos fixos que serão, anualmente, depreciados juntamente com sua taxa e valor depreciado.

11.1.2 Custos Fixos

Custo fixo é um fator de produção que tem custos independentes do nível de atividade da empresa. Qualquer que seja a quantidade produzida ou vendida, os custos fixos se mantêm os mesmos. Esse custo difere do custo variável, que varia segundo o volume de vendas ou de produção industrial (WERNKE, 2011).

Os custos fixos considerados para o projeto da Microcervejaria *Offenheit*, apresentados no Apêndice J.2, foram: limpeza e manutenção dos equipamentos e da unidade produtiva; salários dos empregados; seguro dos equipamentos e instalações; IPTU e IPVA; Equipamentos de Proteção Individual (EPI); marketing; telefone e internet, os quais totalizam R\$ 1.949.034,25.

Os valores detalhados das despesas fixas referentes aos salários de cada empregado da unidade industrial estão representados no Apêndice J.3.

11.1.3 Custos Variáveis

Custo variável é a soma dos fatores variáveis de produção, ou seja, custos que mudam de acordo com a produção ou a quantidade de trabalho. Os custos variáveis considerados no projeto da Microcervejaria *Offenheit*, apresentados no Apêndice J.4, serão considerados como os insumos e utilidades consumidas durante o processo produtivo, respectivamente, os quais totalizam R\$ 2.655.004,89.

O custo com energia elétrica analisado no Apêndice J.4 foi calculado a partir do consumo total de energia anual, sumarizado no Apêndice J.5, e da tarifa de energia elétrica de 0,640 R\$/kWh cobrada mensalmente pela Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL, 2019) na cidade de Ponta Grossa de acordo com a categoria que a Microcervejaria *Offenheit* se enquadra (Classe B3).

11.2 CAPITAL DE GIRO

O Capital de Giro de um investimento pode ser compreendido como o valor que a empresa possui para custear as suas operações do dia a dia, permitindo assim a continuidade das operações de uma empresa (SEBRAE, 2017). Considerou-se que para o investimento da Microcervejaria *Offenheit* o capital de giro fosse contabilizado a partir dos custos fixos e variáveis da indústria nos três primeiros meses de fabricação de cerveja. Assim, o valor desse capital será de R\$ 1.151.009,78.

11.3 FINANCIAMENTO

Segundo Sebrae (2017), para executar algum investimento específico previamente acordado, o financiamento é uma operação financeira essencial que fornece recursos para outra parte que está sendo financiada.

O investimento total inicial de R\$ 5.607.083,70, o qual compreende o capital giro somado ao investimento inicial com equipamentos, terreno, obras e

instalações, será parcialmente financiado pelo programa BNDES e parte investido por três sócios. O investimento relacionado aos sócios será de R\$ 1.000.000,00, compreendendo o preço do terreno de aproximadamente 19% do investimento inicial, portanto, o valor financiado pelo programa do BNDES, para médias empresas de todos os setores, será de R\$ 4.607.083,70, o qual será pago em cinco anos no sistema de amortização constante (SAC) a uma taxa de 11,1% a.a, havendo ainda um ano de carência.

A Tabela 73 ilustra as prestações, total amortizado e a quantidade monetária dos juros por ano.

Tabela 73 – Financiamento BNDES

Ano	Parcela Anual	Juros	Amortização	Saldo
0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 4.607.083,70
1	R\$ 0,00	R\$ 506.779,21	R\$ 0,00	R\$ 5.113.862,90
2	R\$ 1.840.990,65	R\$ 562.524,92	R\$ 1.278.465,73	R\$ 3.835.397,18
3	R\$ 1.700.359,42	R\$ 421.893,69	R\$ 1.278.465,73	R\$ 2.556.931,45
4	R\$ 1.559.728,19	R\$ 281.262,46	R\$ 1.278.465,73	R\$ 1.278.465,73
5	R\$ 1.419.096,96	R\$ 140.631,23	R\$ 1.278.465,73	R\$ 0,00
Total	R\$ 6.520.175,20	R\$ 1.913.091,51	R\$ 5.113.862,90	

Fonte: Autoria Própria (2019).

11.4 RECEITA E DEDUÇÕES

Supondo a venda de toda cerveja produzida a partir da capacidade total de produção da Microcervejaria *Offenheit*, o Apêndice J.6 demonstra o preço de venda por estilo de cerveja e a receita bruta da indústria de R\$ 12.600.000,00.

Segundo Wernke e Lembeck (2016), a diferença média do custo de venda para o de compra de cerveja nas distribuidoras de bebidas, atacado e varejo é de aproximadamente 30%. Portanto, os preços unitários das garrafas dos estilos *Session IPA*, *Pilsen* e *Weizen* estarão dispostos para consumidores por R\$ 9,10, R\$ 6,50 e R\$ 7,80, respectivamente, correspondendo em média, segundo dados coletados em campo, 49% do preço de venda desses estilos já presentes no mercado.

Para o faturamento da receita líquida mensal da empresa, incidem-se, na receita bruta, os tributos PIS (Programa de Integração Social), COFINS

(Contribuição para o financiamento da seguridade social) e ICMS (Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços). Após os cálculos da receita líquida, desconta-se os custos fixos e variáveis, faturando assim o lucro bruto. Para o faturamento do lucro líquido mensal da empresa, incidem-se os tributos IRPJ (Imposto de Renda de Pessoa Jurídica), ADIRPJ (Adicional do imposto de Renda de Pessoa Jurídica) e CSLL (Contribuição social sobre o lucro líquido) de acordo com a base de cálculo do regime de tributação optado pela empresa, o qual foi o de lucro presumido (PORTAL TRIBUTÁRIO, 2019).

Os respectivos tributos que incidem sobre a receita bruta e lucro bruto anual da Microcervejaria *Offenheit* estão representados no Apêndice J.5.

11.5 DEMONSTRAÇÃO DE RESULTADOS DO EXERCÍCIO

A Demonstração de Resultado do Exercício (DRE) é um relatório contábil que apresenta, de forma resumida, as operações de uma empresa em determinado período e o resultado apurado, que pode ser de lucro ou prejuízo (PORTAL TRIBUTÁRIO, 2019).

Para se chegar a esse resultado, o DRE detalha os valores para os grupos de receitas, custos, despesas, lucros e impostos, os quais foram discutidos detalhadamente nas seções anteriores. Dessa forma, o Apêndice J.6 representa essa demonstração.

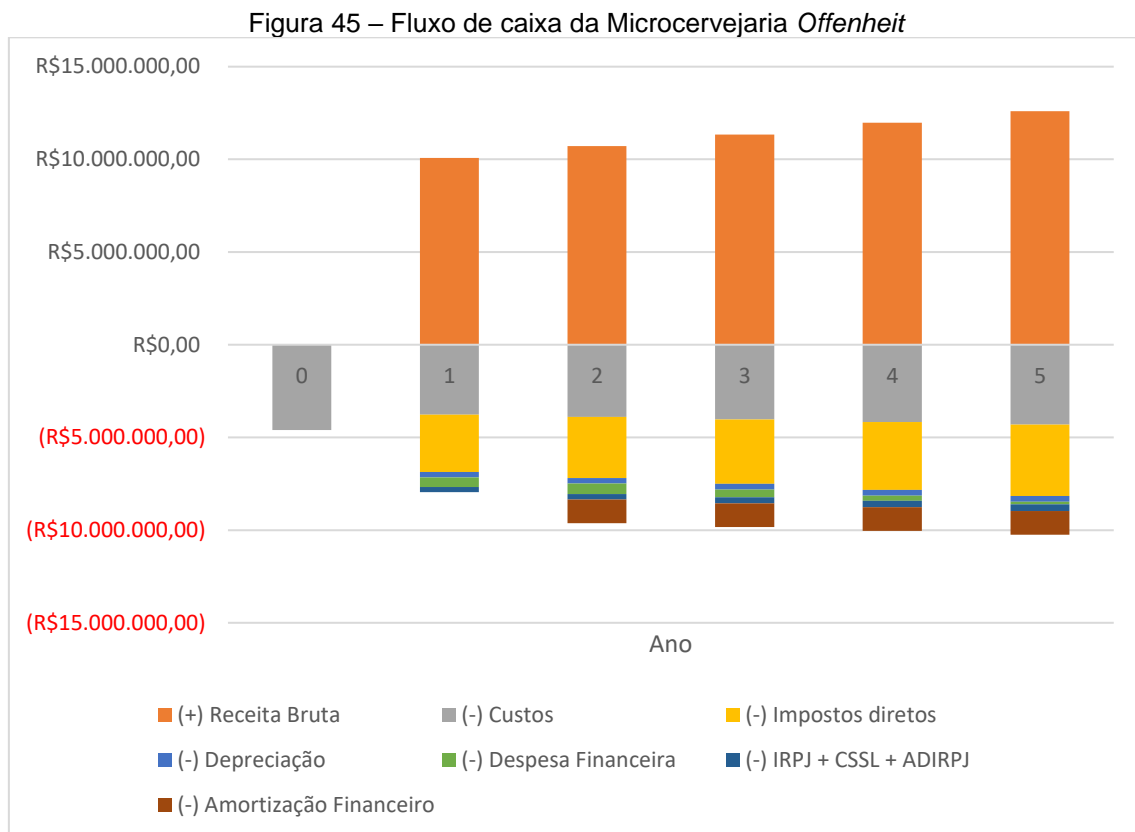
Atribuiu-se ainda que no primeiro ano de operação, será utilizado apenas 80% da capacidade produtiva da indústria (967.680 L/ano). Para os seguintes anos de conquista e estabilidade de mercado, considerou-se a projeção de crescimento constante de 5% ao ano, até que no quinto ano a capacidade de produção seja máxima (1.209.600 L/ano).

11.6 FLUXO DE CAIXA

A representação do fluxo de caixa de um projeto consiste em uma escala horizontal onde são marcados os períodos das saídas e entradas de caixa. A

partir dessa representação gráfica, se torna fácil a visualização de um problema envolvendo receitas e despesas.

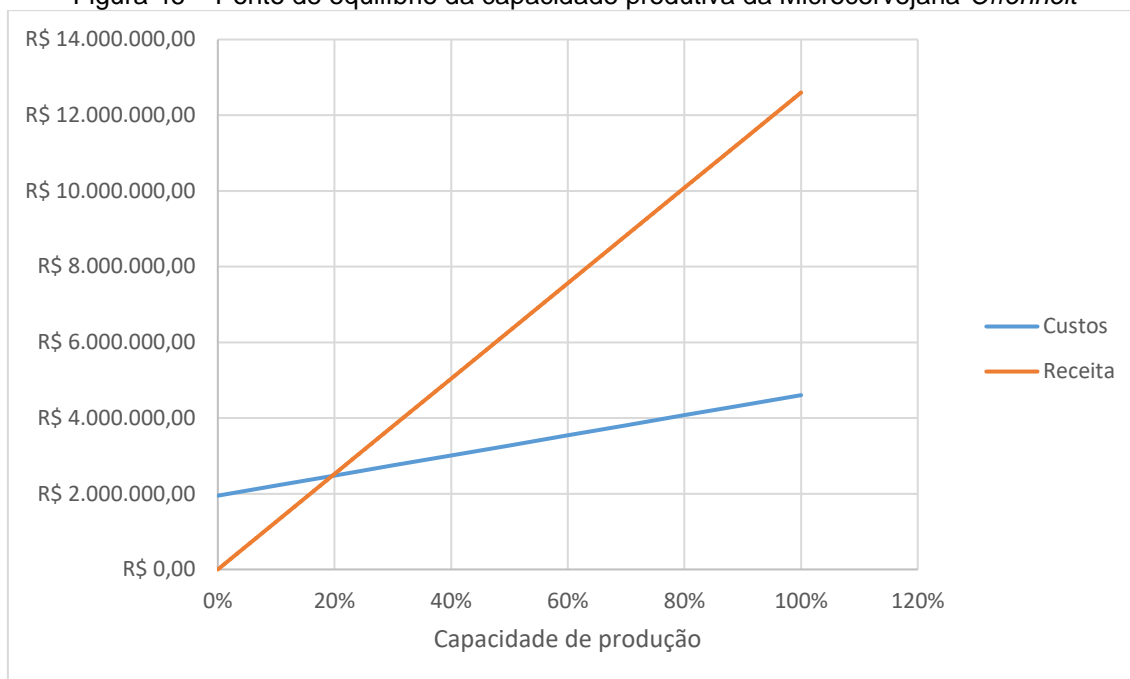
Com base no demonstrativo dos resultados (DRE) da Microcervejaria *Offenheit* apresentado anteriormente, construiu-se o fluxo de caixa representado na Figura 45.



11.7 PONTO DE EQUILÍBRIO

Considerando os valores dos custos fixos, receita e custos variáveis em função da capacidade produtiva da Microcervejaria *Offenheit*, construiu-se o gráfico na Figura 46, representando o ponto de equilíbrio, o qual representa a capacidade mínima que se deve produzir para obter lucro com o empreendimento.

Figura 46 – Ponto de equilíbrio da capacidade produtiva da Microcervejaria *Offenheit*



Fonte: Autoria Própria (2019).

Observou-se na Figura 46, que a partir de 19,6% da capacidade produtiva total da empresa os valores da receita se sobressaem em relação aos custos fixos e variáveis.

11.8 TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é uma taxa de juros que representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento, ou o máximo que uma pessoa se propõe a pagar quando faz um financiamento.

Assim, para que o seguinte projeto da implementação da Microcervejaria *Offenheit* seja atrativo, a TIR (taxa interna de retorno) do projeto proposto deverá superar a TMA, a qual será atribuída igual à taxa Selic de maio de 2019 de 10,0%, segundo o Banco Central do Brasil (2019). A escolha da taxa SELIC foi motivada pelo fato dela ser o índice de referência para remuneração em títulos públicos do Governo Federal brasileiro, emitidos pelo Tesouro Nacional e considerados investimentos seguros, com baixo nível de risco

A partir dos dados do fluxo de caixa da Figura 45, o valor calculado do TIR do projeto foi de 26,10%. Assim, considera-se o investimento da Microcervejaria *Offenheit* rentável para investidores e sócios.

11.9 PAYBACK

O Payback pode ser definido como um indicador que objetiva analisar o retorno de investimentos, indicando qual é o tempo necessário para que o lucro acumulado gerado possa se igualar ao investimento inicial.

Para calcular esse tempo de retorno, inicialmente determina-se o VPL (Valor Presente Líquido), que atua como indicador de viabilidade. A Equação 88 apresenta o cálculo para o VPL.

$$VPL = \sum_{n=0}^n \frac{FC_n}{(1 + TMA)^n} \quad (88)$$

Em que FC representa o fluxo de caixa, o índice n o ano correspondente ao FC e TMA a taxa mínima de atratividade considerada de 10%.

A Tabela 74 apresenta os valores de fluxo de caixa, valor presente e *payback*, sendo que esse é determinado através da soma do *payback* do ano anterior com o VPL atual.

Tabela 74 – Payback do empreendimento

Ano	Fluxo de caixa	Valor presente	Payback
0	-R\$ 4.607.083,70	-R\$ 4.607.083,70	-R\$ 4.607.083,70
1	R\$ 2.124.198,64	R\$ 1.931.089,67	-R\$ 2.675.994,03
2	R\$ 1.074.737,95	R\$ 888.213,18	-R\$ 1.787.780,84
3	R\$ 1.500.119,94	R\$ 1.127.062,31	-R\$ 660.718,53
4	R\$ 1.925.501,92	R\$ 1.315.143,72	R\$ 654.425,19
5	R\$ 2.350.883,91	R\$ 1.459.713,95	R\$ 2.114.139,14

Fonte: Autoria Própria (2019).

Observou-se, portanto, que o investimento do empreendimento terá retorno entre o terceiro ano e quarto ano de produção.

12 LAYOUT DA EMPRESA

O estudo de Layout da empresa possui como objetivo definir o arranjo físico de uma instalação. Dessa maneira, máquinas, equipamentos, mão de obra, áreas de movimentação e estoques são integrados e posicionados de uma maneira harmônica. Como consequência, temos um fluxo de materiais e de trabalho mais fluido através da fábrica, ou um padrão de tráfego mais acessível para clientes e funcionários de uma organização que presta serviços.

Além de facilitar entradas e saídas de materiais, melhorar os fluxos, auxiliar no gerenciamento visual e na supervisão, o estudo do layout preza pela integridade dos funcionários e da qualidade do processo produtivo.

Baseado nesses fatores, o layout da empresa, ilustrado no Apêndice K, visou dispor as áreas da unidade da melhor maneira possível.

Seguindo a NR 13, a área 500, que consta a presença da caldeira, foi alocada respeitando a distância de 3,00 metros de qualquer instalação e afastada da área administrativa e de circulação de funcionários, além de dispor duas saídas desobstruídas e ampla.

Visando a minimização dos custos com a área que constitui a refrigeração das utilidades e da CIP, essa, foi compreendida no centro da unidade industrial.

Para facilitar o carregamento de matéria prima e despacho de produto, as áreas de estoque e de armazenamento de matéria prima estão dispostas nas áreas periféricas da unidade.

13 CONCLUSÃO

A consolidação do mercado das cervejas artesanais é atribuída à recente disseminação da cultura do consumo de cervejas com características peculiares e que diferem do produto tradicionalmente comercializado no Brasil. Para atender o consumidor desse nicho de mercado, a Microcervejaria *Offenheit* será localizada na cidade de Ponta Grossa pelo fato de estar em um potencial centro econômico e em um centro logístico estratégico de obtenção de matéria prima e distribuição do produto.

A princípio, a produção das cervejas do estilo *Session IPA*, *Pilsen* e *Weizen* serão de, respectivamente, 50400, 25200 e 25200 litros de cada estilo de cerveja mensalmente. Para atender essa demanda de produção serão utilizados 19573 kg de malte, 372 kg lúpulo e 130240 L de água, como os principais insumos.

Respeitando todas as normas regulamentadoras impostas e visando seu desenvolvimento sustentável nesse segmento de mercado, a *Offenheit* se compromete em destinar adequadamente seus resíduos industriais e aplicar a integração energética em seu processo.

Em relação a viabilidade econômica, a partir da análise detalhada de algumas ferramentas contábeis, observou-se que o período de retorno do investimento estará entre o terceiro e quarto ano de produção; a taxa interna de retorno do empreendimento foi equivalente à 26,21%, a qual se apresenta maior que a taxa de atratividade mínima adotada; e a produção mínima necessária para que a receita supere os custos fixos e variáveis, equivale a 19,6% da capacidade produtiva nominal. Desse modo, sugere-se a alta viabilidade econômica na implantação da indústria.

Além disso, a fim de cumprir com a missão de proporcionar ao consumidor cervejas de estilos variados a menores preços de custo, analisou-se que os estilos de cerveja produzidos pela Microcervejaria *Offenheit* estarão dispostos no atacado e varejo a 49% do preço da concorrência.

REFERÊNCIAS

ABOUMRAD, J. C.; BARCELLOS, Y. C. M. **Análise e Simulação das Operações de Mosturação e Fermentação no Processo de Produção de Cervejas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Química e de Petróleo. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.

ABT – **Associação Brasileira de Normas Métodos**. NBR no.10004, Classificação de Resíduos, NBR 10004.

AIMARETTI, N., YBALO, C. **Valorization of carrot and yeast discards for the obtention of ethanol**. Biomass and Bioenergy: 42, p.18-23, 2012.

ALCÂNTARA, C. **Estudo, monitoramento e avaliação de estações de tratamento de efluentes industriais: estudo de caso de indústrias de polímeros e cervejeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 74 p.2012.

ALIYU, S., BALA, M. **Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications**. African Journal of Biotechnology, p.324-331, 2011.

ALVES, R. **Session IPA: Receita**. Disponível em: <http://homebrewer.com.br/2017/03/29/bronco-receita-session-ipa-mosaic/>. Acesso em: 10 out. 2018.

AMBEV. **Programa de formação técnica cervejeiros**. Jacareí: AmBev, 2011.

AMORIM, E. B. **Gases de efeito de estufa produzidos pela combustão de biomassa**. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Campus Guaratinguetá, 2012.

ANAPOLSKI, J. L. P.; INDRUSIAK, M. L. S. **Síntese energética de uma rede de trocadores de calor de um processo de refino de óleo de soja. Perspectiva**. Erechim, v. 39, n. 146, p. 27-42, 2015. Disponível em: http://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/146_507.pdf. Acesso em: 14 mai. 2019.

ANDRITZ SEPARATION. **Yeast drying: Add value instead of waste**. 2014. Disponível em: http://www.andritzgouda.com/uploads/docs/AG_Yeast_drying_brochure_def_web.pdf. Acesso em: 14 nov. 2018.

AQUARONE, E.; LIMA, U. de A.; BORZANI, W. **Alimentos e bebidas produzidas por fermentação**. Volume 5. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 1986.

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. de a. **Biotecnologia industrial: Biotecnologia na produção de alimentos.** v. 4. São Paulo: Blucher, 2001.

ATHAÍDE, G. **Cerveja: paixão nacional.** Disponível em: <http://portalimprensa.com.br/cdm/caderno+de+midia/75642/cerveja+e+paixao+nacional+e+foco+de+campanhas+emblematicas+no+brasil>. Acesso em 19 set. 2018.

BARTH, J; SOHN, G. **140 Years Barth-Report.** Nuremberg: Ed. Heinrich Meier. 2017. Disponível em: <https://www.barthhaasgroup.com/images/mediacenter/downloads/pdfs/412/barthbericht20162017en.pdf>. Acesso em: 9 set. 2018.

BARTH, J; SOHN, G. **The Barth-Report.** Nuremberg: Ed. Heinrich Meier. 2010. Disponível em: <https://www.barthhaasgroup.com/images/mediacenter/downloads/pdfs/768/barthreport20092010english.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2018.

BEM PARANÁ. **Mercado Cervejeiro cresce 20% ao ano no Paraná.** Disponível em: <https://www.bemparana.com.br/noticia/mercado-de-cerveja-artesanal-cresce-20-ao-ano-no-parana>. Acesso em: 8 de set. 2018.

BCB. **Taxa Selic.** 2019. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em: 24 mai. 2019.

BLAKE. D. et al. **Beer Style Guidelines.** Brewers Association, 2015. Disponível em: https://www.bjcp.org/docs/2015_Guidelines_Beer.pdf. Acesso em: 1º set. 2018.

BORGES, P. F. **Concentração do mercado de cerveja no Brasil e a participação das microcervejarias.** 2015. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Química e de Petróleo. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.

BORTOLI, D. A.; et al. **Leveduras e produção de cervejas – revisão.** Bioenergia em Revista, ano 3, n. 1, p. 45-58, 2013.

BLEIER, B. et al. **Craft Beer Production.** Pennsylvania: Pennsylvania: Senior Design Reports; 2013.

BRASIL. Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009. **Diário Oficial da União,** Brasília, DF, 4 jun. 2009. Seção 3. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.html. Acesso em: 2 set. 2018.

BRIGGS, D. E.; BOULTON, C. A.; BROOKES, P. A.; STEVENS, R. **Brewing Science and Practice**. Flórida: CRC Press LLC and Woodhead Publishing Limited, 863p. 2004.

BUSCH, J. **More Beer**, 2015. Disponível em: <https://www.morebeer.com/articles/advancedmashing>. Acesso em: 15 set.2018.

CAIXA. **Dicas de investimento inicial**. 2019. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/educacao-financeira/aulas-empresas/investimento-inicial/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 24 mai. 2019.

CAMMAROTA, Magali C. **Notas de Aula: Tratamento de efluentes líquidos**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

CARVALHO, G. B. M.; ROSSI, A. A.; SILVA, J. B. A. **Elementos biotecnológicos fundamentais no processo cervejeiro: 3ª parte: a maturação**. Revista Analytica, São Paulo, v. 27, p. 69-74, 2007.

CASSOLA, M.S.; MORAES, S.L.; ALBERTIN, E. **Desgaste na mineração: O caso dos corpos moedores**. Rev. Esc. Minas: 59, 173–178, 2006.

CERVBRASIL. **Dados do setor cervejeiro nacional**. São Paulo: CervBrasil. 2018. Site. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor/. Acesso em: 26 ago. 2018.

CERVIERI, O. et al. **O setor de bebidas**. Brasil: BNDES Setorial, p. 93-130, 2014. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3462/1/BS%2040%20O%20setor%20de%20bebidas%20no%20Brasil_P.pdf. Acesso em: 4 de set. 2018.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2007.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos SAFRA 2017/2018**. Brasília: CONAB, v.5, n.5, p. 120, 1º fev. 2018.

CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

CONAMA. **Resolução nº 382, de 2 de janeiro de 2006**. 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>. Acesso em: 14 maio de 2019.

COSTA, M. A.; NORMEY, J. E. R. **Modeling, Control and Optimization of Ethanol Fermentation Process**. Journal of Process Control, n. 19, p. 10609-10614, 2011.

COUTINHO, A. C. T. **História da cerveja no Brasil**. Disponível em: <https://www.cervesia.com.br/artigos-tecnicos/cerveja/historia-da-cerveja/2-a-historia-da-cerveja-no-brasil.html>. Acesso em: 6 set. 2018.

CZECH BREWERY SYSTEM LTDA. **Tanque de fermentação cilíndrico-cônico modular**. 2016. Disponível em: <http://eshop.czechminibreweries.com/pt/product/cctm-800b2/>. Acesso em: 16 set. 2018.

ÇENGEL, Y. A. **Transferência de Calor e Massa – Uma Abordagem Prática**. 7ª Ed. Editora McGraw-Hill Interamericana, 2012.

DE CLERK, J. **A Textbook of Brewing**. 1ª. ed: Chapman & Hall, v. 1, 1957.

DIAS, J. M. C. de S.; SOUZA, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Embrapa Agroenergia, Brasília, DF, 2012.

DINSLAKEN, D. **Recirculação do mosto**. Disponível em: <https://concerveja.com.br/recirculacao/>. Acesso em 18 de setembro de 2018.

DIRECT INDUSTRY LTDA. **Envasadora para cerveja**. 2016. Disponível em: <http://www.directindustry.com/pt/prod/melegari-manghi/product-60393-423404.html>. Acesso em: 16 set. 2018.

ESSLINGER, H. M.; LUDWIG, N. **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**. v.1. Alemanha: Wiley Library, 2009.

EYSTER, C. **The Optimum pH for Diastase of Malt Activity**. The Ohio Journal of Science. Vol. 59, 1957.

FILIPPE, S. FERREIRA, I.M.P.L.V.O. TEIXEIRA, N. **Polipeptídeos e proteínas com influência na qualidade da espuma da cerveja e métodos analíticos utilizados em seu estudo**. Química Nova, n. 29, p. 1326-1331, 2006.

FERREIRA, M.P.L.V.O.; PINHO, O.; VIEIRA, E.; TAVARELA, J.G. **Brewer's Saccharomyces yeast biomass: characteristics and potential applications**. Trends Food Sci. Technol., v. 21, p. 77-84, 2010.

FILHO, W. G. V. **Bebidas alcólicas: Ciências e tecnologia**. v.1. São Paulo: Blucher, 2010.

FILHO, W. G. V.; NOJIMOTO, T. **Aproveitamento da água de umidificação de malte da moagem úmida como matéria prima na fabricação de cerveja**. Ciências e tecnologia. v.19. Campinas, 1999.

FILLAUDEAU, L., AVET, P.B., DAUFIN, G. **Water, wastewater and waste management in brewing industries.** Journal of Cleaner Production: 14, 463-471, 2006.

FUNDAÇÃO MUNICIPAL DE TURISMO DA PREFEITURA MUNICIPAL DE PONTA GROSSA. **Localização.** Ponta Grossa: Prefeitura Municipal, 2018. Disponível em: <http://www.pontagrossa.pr.gov.br/localizacao>. Acesso em: 25 ago. 2018.

GAUTO, M.; ROSA, G. **Química industrial.** Porto Alegre: Bookman, 2013.

GOULART, M. R.; SILVEIRA, C. B.; CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A.; COIMBRA, S. M.; OLIVEIRA, A. F. **Metodologias para reutilização do resíduo de terra diatomácea, proveniente da filtração e clarificação da cerveja.** Química Nova, v.34. no. 4, São Paulo, 2011.

HANGZHOU FUYINDI MACHINERY. **Whirlpool Tun.** Disponível em: <http://no.fydachinery.nl/brew-kettle>. Acesso em: 14 out. 2018.

HELMENSTINE, A. M. **The Chemical Composition of Air.** 2018. Disponível em: <https://www.thoughtco.com/chemical-composition-of-air-604288>. Acesso em: 14 maio 2019.

HOMINILUPULO. **Água na Cerveja.** Disponível em: <https://www.hominilupulo.com.br/cervejas-caseiras/como-calculer-a-quantidade-de-agua/>. Acesso em: 10 out. 2018

HORNSEY, I. S. **A history of beer and brewing.** v. 34. Royal Society of Chemistry, 2003.

IBGE. **Estatísticas por cidade e estado.** Brasil: IBGE, 2017. Site. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/politico-administrativo.html>. Acesso em: 26 de ago. 2018.

IBGE. **Mapas políticos-administrativos.** Brasil: IBGE, 2004. Site. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/politico-administrativo.html>. Acesso em: 26 de ago. 2018.

INDUSTRYSEARCH. **CIP Cleaning.** 2019. Disponível em: <https://www.industrysearch.com.au/cip-cleaning/f/3692>. Acesso em: 30 abr. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Relatório do ranking do saneamento.** São Paulo: Trata Brasil, 1 abr. 2018. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking-2018/realatorio-completo.pdf?utm_source=social%20media&utm_medium=site&utm_campaign=blog&utm_content=estudositb-17052018. Acesso em: 25 ago. 2018.

JÚNIOR, C. C. F. **Integração energética da etapa de extração de óleo de soja, utilizando a análise *pinch***. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2009.

KADIMALIEV, D., TELYATNIK, V., REVIN, V., PARSHIN, A., ALLAHVERDI, S., GUNDUZ, G., KEZINA, E., ASIK, N. **Optimization of the conditions required for chemical and biological modification of the yeast waste from beer manufacturing to produce adhesive compositions**. BioResources 7 (2). p. 1984-1993. 2012.

KIRIN BEER UNIVERSITY. **Report Global Beer Production by Country in 2016**. Japão: Kirin Beer University, 2016. Site. Disponível em: https://www.kirinholdings.co.jp/english/news/2017/0810_01.html. Acesso em 27 de ago. 2018.

LARA, C. **Cerveja artesanal: tudo que você precisa saber a respeito**. Disponível em: <https://www.hominilupulo.com.br/cervejas-caseiras/artigos/cerveja-artesanal/>. Acesso em: 2 set 2018.

LIMBERGER, S. C. **O setor cervejeiro no Brasil: Gênese e evolução**. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/cnau/article/view/4769/2970>. Acesso em: 6 set 2018.

MAIA, U. B. A., CARVALHO, J. F. S. **Modelos de negócios e inovações: o caso das microcervejarias**. Inovação e Empreendedorismo, 2017.

MALLET, J. **Malt: A Practical Guide from Field to Brewhouse**. USA. p. 300. 2014.

MARCUSSO, E. A., MULLER, C. V. **CERVEJA NO BRASIL: O ministério da agricultura informando e esclarecendo**. Brasília: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 2016. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pasta-publicacoes-DIPOV/a-cerveja-no-brasil-28-08.pdf/view>. Acesso em: 04 set. 2018.

MEGA, J. F.; NEVES E.; ANDRADE C. J.; A Produção da cerveja no Brasil. **Revista CITINO**: v.1, n.1, p 34-41, 1 out. 2011. Disponível em: <http://www.hestia.org.br/wp-content/uploads/2012/07/CITINOAno1V01N1Port04.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2018.

MELLO, V. S. A. **Determinação da composição do bagaço de malte de cevada e estudo de suas aplicações**. Disponível em: <http://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2014/MEQ14082.pdf>. Acesso em: 15 out. 2018.

MELLO, E.T., PAWLOWSKY, U. **Minimização de resíduos em uma indústria de bebidas. Engenharia Sanitária e Ambiental.** v.8, n.4, p.249-256, 2003.

MENESES, N. G. T.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATO, S. I. **Produção de etanol a partir de subproduto cervejeiro.** Sociedade Portuguesa de Biotecnologia. Série 2. Número 3. Abril de 2013. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/31627/1/document_178771.pdf. Acesso em: 8 de set. 2018.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.** McGraw Hill Brasil, 2016.

MÓL, G. de S. BARBOSA, A. B. SILVA, R. R. **Água dura em sabão mole.** Química nova na escola, nº 2, nov. 1995.

MORADO, R. **Larousse da Cerveja. Larousse do Brasil.** 3 ed, São Paulo, 2015.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. **Princípios de termodinâmica para engenharia.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MULTICHEMIE. Ficha de Informação de Segurança de Produto Química: Propilenoglicol. 2009. Disponível em: <http://www.multichemie.com.br/images/pdf/2965f4746f81d8f74f76ad0721b50f19.pdf>. Acesso em: 8 de set. 2018.

MUSSATTO S.I, DRAGONE G, ROBERTO I.C. **Brewer's spent grain: generation, characteristics and potential applications.** J. Cereal Sci. 43, p.1-14, 2006.

NOGUEIRA, A. et al. **Bebidas Alcoólicas: ciência e tecnologia.** v. 1. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos.** São Paulo: Editora Manoele Ltda, 2006.

OHDE, M. **Cerveja chegou com os imigrantes alemães ao Paraná.** Disponível em: <https://paranaportal.uol.com.br/agronegocio/agricultura/cerveja-chegou-com-os-imigrantes-alemaes-ao-parana/>. Acesso em: 8 set 2018.

OLAJIRE, A. A. **The Brewing industry and environmental challenges. Journal of Cleaner Production.** Elsevier, Industrial and Environmental Chemistry Unit. p.5, 1º mar. 2012.

PARANÁ. **Resolução SEMA. nº 001,** de 11 de janeiro de 2007. Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Recursos hídricos. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br>. Acesso em: 8 set. 2018.

PERRY, Robert H.; GREEN, Don W. **Perry's Chemical Engineer's Handbook**. ed. 8, New York: McGraw-Hill, 2008.

PINHEIRO, P. C. da C.; CERQUEIRA, S. A. A. da G. **Método de Cálculo do balanço térmico de caldeiras**. XVII Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades, Volta Redonda, RJ, set. de 1995.

PINHEIRO, P. C. C.; VALLE, R. M. **Controle de combustão: otimização do excesso de ar**. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Belo Horizonte, MG, agosto de 1995.

PORTAL DE CONTABILIDADE. **Encargos de Depreciação**. 2019 Disponível em: <http://www.portaldecontabilidade.com.br/guia/depreciacao.html>. Acesso em: 24 mai. 2019.

PREDIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **DECRETO Nº 6.871, regulamento da Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6871.htm. Acesso em: 20 nov. 2018.

PROTÁSSIO, T. de P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M. TRUGILHO, M. G. Jr. **Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal**. Pesquisa Florestal Brasileira, MG, 2011.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L.; AZEVEDO, A. C. S. **Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos**. Biomassa & Energia, Viçosa, MG, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

RAMPAZZO, M. **Filtração sustentável da cerveja**. Disponível em: <https://engarrafadormoderno.com.br/processos/filtracao-sustentavel-de-cerveja>. Acesso em: 20 nov. 2018

REBELLO, F. D. F. P. **Produção de cerveja**. Revista Agrogeoambiental, v. 1, n. 3, 2009.

REINOLD, M. R. **Manual prático de cervejaria**. São Paulo: Aden Editora e Comunicações Ltda, 1997.

RELVAS et al. **Integração de Processos: Uma metodologia de otimização energética e ambiental**. Domínio Gráfico Ltda. 2002.

RIBEIRO, B. D. et al. **Microbiologia industrial: Alimentos**. v. 2, 1ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. **A Química da Cerveja**. Química Nova Escola, v. 37, n. 2, p. 98-105, 2015.

ROSSINI, A. OHDE, M. **Microcervejarias crescem em ritmo acelerado no Paraná.** Disponível em: [https://paranaportal.uol.com.br/economia/562-serie-especial-cerveja-microcervejarias/](https://paranaportal.uol.com.br/economia/562-serie-especial- cerveja-microcervejarias/). Acesso em: 8 set. 2018.

SAARI, Jussi. **Heat exchanger dimensioning.** Lappeenranta University of Technology, 2010.

SAINI, R., SINGH S., H., DAHIYA, A. **Amylases: Characteristics and industrial applications.** Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. pp. 1865-1871. 2017

SAMMARTINO, M. **Enzymes in Brewing.** Vol. 52, no. 3, 2015, pp. 156-164.

SANTOS, M. S. **Cervejas e refrigerantes.** São Paulo: CETESB. P.25. 2005. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br. Acesso em: 8 set. 2018.

SANTOS, S. P. **Os primórdios da cerveja no Brasil.** Cotia: Ed. Ateliê Editorial. p.19. 2004.

SARTORI. M. **Ponta Grossa é indústria.** Ponta Grossa: IDEIAS, 4 set. 2018. Site. Disponível em: <http://www.revistaideias.com.br/2017/09/04/ponta-grossa-e-industria/>. Acesso em: 25 ago. 2018.

SEBRAE (PR). **Serviço Brasileiro de Apoio as Micro e Pequenas Empresas – Microcervejarias.** Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/microcervejarias-ganham-espaco-no-mercado-nacional>. Acesso em: 2 set 2018.

SEBRAE (PR); PROCERVA; Faculdade Guairacá. **Microcervejarias Artesanais do PARANÁ.** 2017. Disponível em: [http://www.sebraepr.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Imagens%20SebraeNA/MaPA%202017%20\(1\).pdf](http://www.sebraepr.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Imagens%20SebraeNA/MaPA%202017%20(1).pdf). Acesso em 26 ago. 2018.

SEBRAE. **Passo a passo para elaborar o plano de negócios de sua empresa.** 2017. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/passo-a-passo-para-elaborar-o-plano-de-negocios-de-sua-empresa,d7296a2bd9ded410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em: 24 mai. 2019.

SEBRAE. **COMO ELABORAR UM PLANO DE NEGÓCIOS.** 2013. Disponível em: http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/COMO%20ELABORAR%20UM%20PLANO_baixa.pdf. Acesso em: 24 mai. 2019.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Produção Agropecuária.** Paraná: Governo do Paraná. 2018. Disponível em:

<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=137>. Acesso em: 26 ago 2018.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE. PREFEITURA MUNICIPAL DE PONTA GROSSA. **Reciclagem - o que separar**. Disponível em: <https://smma.pontagrossa.pr.gov.br/separe/>. Acesso em: 9 set. 2018.

SENAI. **Tecnologia cervejeira**. Rio de Janeiro, 2014 .

SILVA, H. A.; LEITE, M. A.; PAULA, A. R. V. de. Cerveja e sociedade. **Contextos de alimentação**. v. 4, n. 2, p. 85-91, 2016.

SWINNEN, J. **A brief economic history of beer**. In: The Economics of Beer. Oxford: OUP, 2011.

TETRAPARK. **Processos da CIP (Clean in Place)**. 2012. Disponível em: <https://www.tetrapak.com.br>. Acesso em: 30 abr. 2019.

TIPLER, P. A. MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros**. Ed. 6, v. 1, LTC, 2012.

TROVATI, J. **Tratamento de água para geração de vapor: caldeiras**. Disponível em: http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua-Caldeira.pdf. Acesso em: 12 maio 2019.

TURTON, Richard; BAILIE, Richard C.; WHITING, Wallace B.; SHAEIWITZ, Joseph A.; BHATTACHARYYA, Debangsu. **Analysis, synthesis, and design of chemical processes**. 4. ed. Prentice Hall, 2012.

WERNKE, R. **Gestão de Custos: uma abordagem prática**. São Paulo: Atlas, 2001.

WERNKE, R. LEMBECK, M. **RENTABILIDADE DE SEGMENTOS DE MERCADO: ESTUDO DE CASO EM DISTRIBUIDORA DE BEBIDAS**. XIII Congresso Brasileiro de Custos – Belo Horizonte, MG, Brasil. 2016

WEN, Qing et al. **Electricity generation and brewery wastewater treatment from sequential anode-cathode microbial fuel cell**. Journal of Zhejiang University SCIENCE B, v. 11, n. 2, p. 87-93, 2010.

WILD, T. N. **Estudo da substituição da aeração do mosto cervejeiro por azeite de oliva**. PUC, Rio Grande do Sul, 2016.

WOLFF, D. **O que é cerveja artesanal?** Disponível em: <http://www.mestre-cervejeiro.com/o-que-e-cerveja-artesanal/>. Acesso em: 2 set. 2018.

ZEGLA. **Rotuladora autoadesiva.** Disponível em: <http://www.zegla.com.br/produto/rotuladora-autoadesiva/>. Acesso em: 05 maio 2019.

ZUPPARDO, B. **Uso da goma Oenogum para a estabilização coloidal e de espuma em cerveja.** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

ZSCHOERPER, O. P. **Apostila de curso cervejeiro e malteador – AMBEV.** Porto Alegre, Ambev. 71 p, 2009.

APÊNDICE A

Propriedades físicas.

Tabela A.1 – Valores de calor específico

C_p (kJ/kg.K)		Fonte
C_p (Água)	4,186	Bleier et al, 2013
C_p (Malte)	1,842	Bleier et al, 2013
C_p (Lúpulo)	1,842	Bleier et al, 2013
C_p (*Mash)	3,831	Bleier et al, 2013
C_p (**Wort)	4,186	Bleier et al, 2013
C_p (*Propilenoglycol30%)	3,771	Engineering toolbox, 2003

*Mosto antes da filtração.

Fonte: Autoria própria (2019).

**Mosto após a filtração.

Tabela A.2 – Valores entalpia da água e do vapor

P (bar)	T (°C)	Parâmetro	Entalpia (kJ/kg)	Fonte
Ambiente	78	$h_{\text{Líquido}}$	326,518	Moran et al, 2011
Ambiente	100	$h_{\text{Líquido}}$	419,040	Moran et al, 2011
3	133,6	$h_{\text{Líquido}}$	561,470	Moran et al, 2011
3	133,6	$H_{\text{Vap/Cond}}$	2163,800	Moran et al, 2011
4	143,6	$h_{\text{Líquido}}$	604,740	Moran et al, 2011
4	143,6	$H_{\text{Vap/Cond}}$	2133,800	Moran et al, 2011
1	25	$h_{\text{Líquido}}$	104,890	Moran et al, 2011
1	100	$H_{\text{Vap/Cond}}$	2257,000	Moran et al, 2011
8,33	180	H_{Vapor}	2778,200	Moran et al, 2011

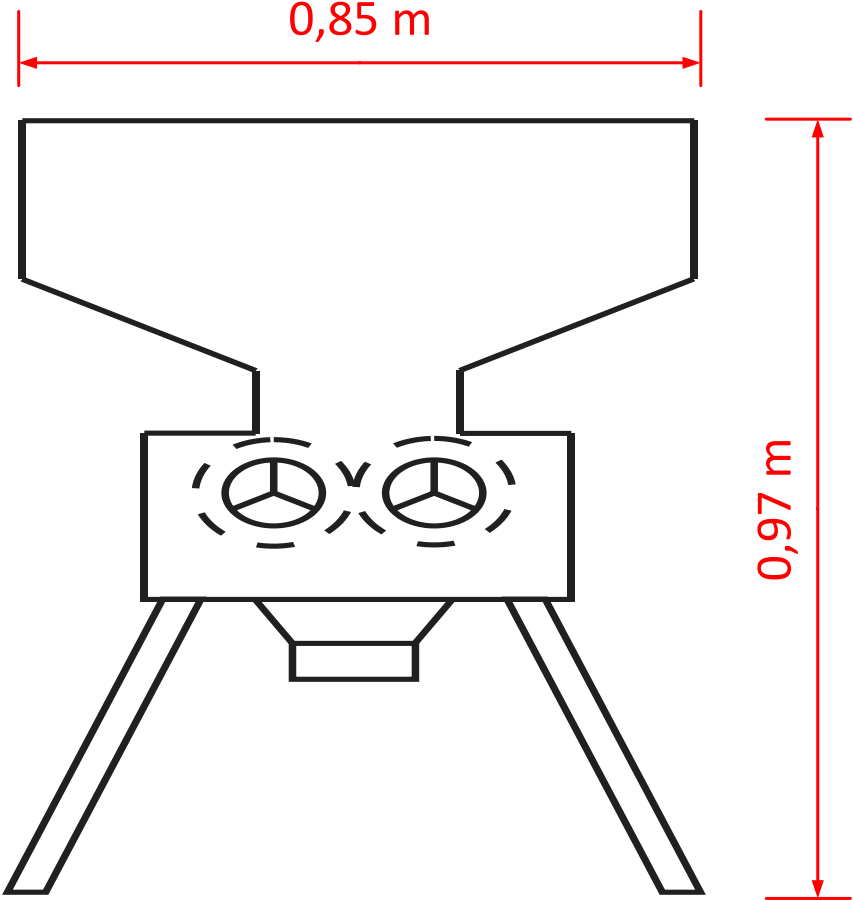

Fonte: Autoria própria (2019).

APÊNDICE B

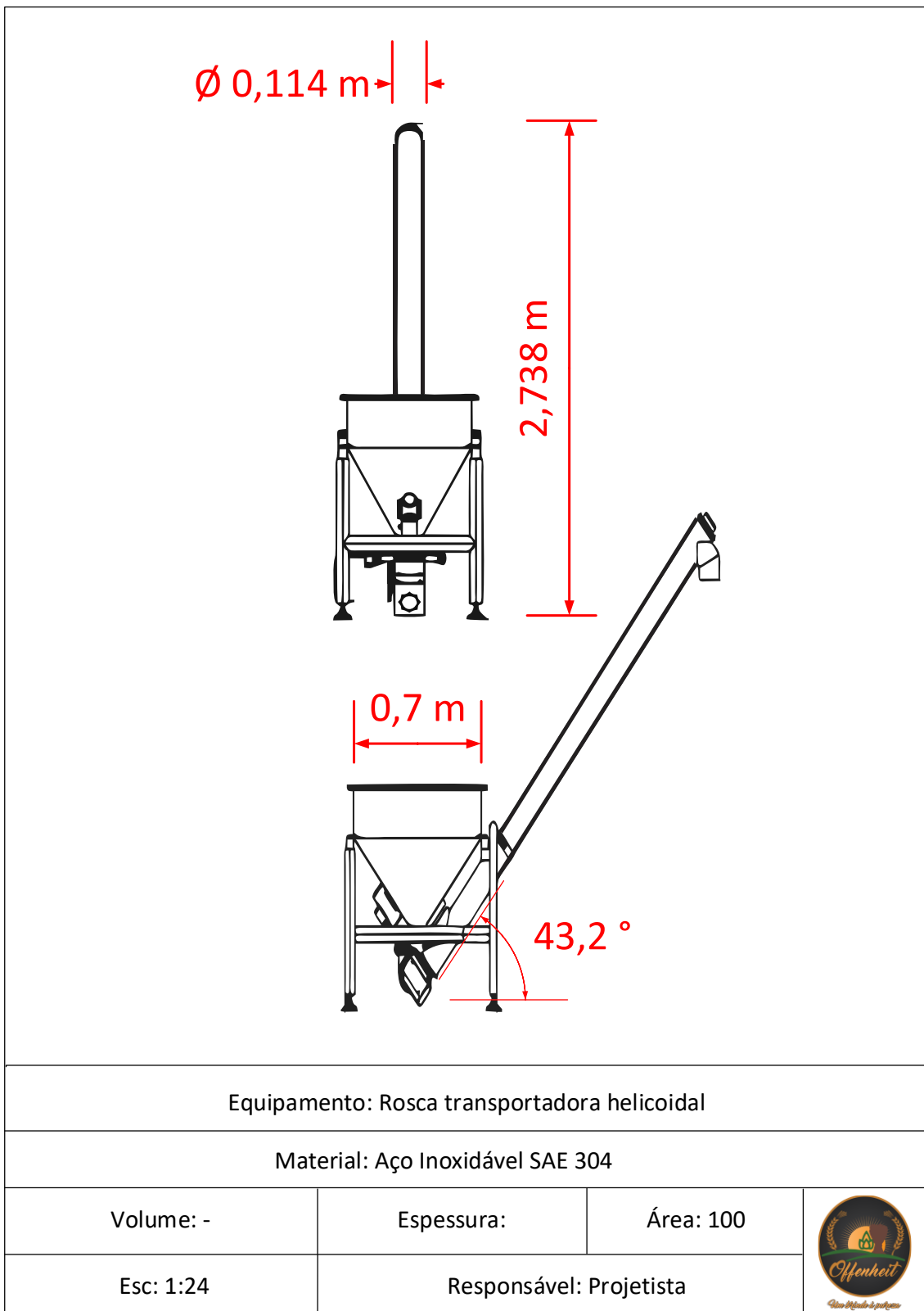
Neste apêndice estão dispostos as dimensões básicas e parâmetros de projeto dos equipamentos da área 100.

- Apêndice B.1 – Moinho
- Apêndice B.2 – Rosca transportadora tubular

Apêndice B.1 – Moinho

			
Equipamento: Moinho			
Material: Aço carbono			
Volume: -	Espessura: -	Área: 100	
Esc: 1:8	Responsável: Projetista		

Apêndice B.2 – Rosca transportadora tubular

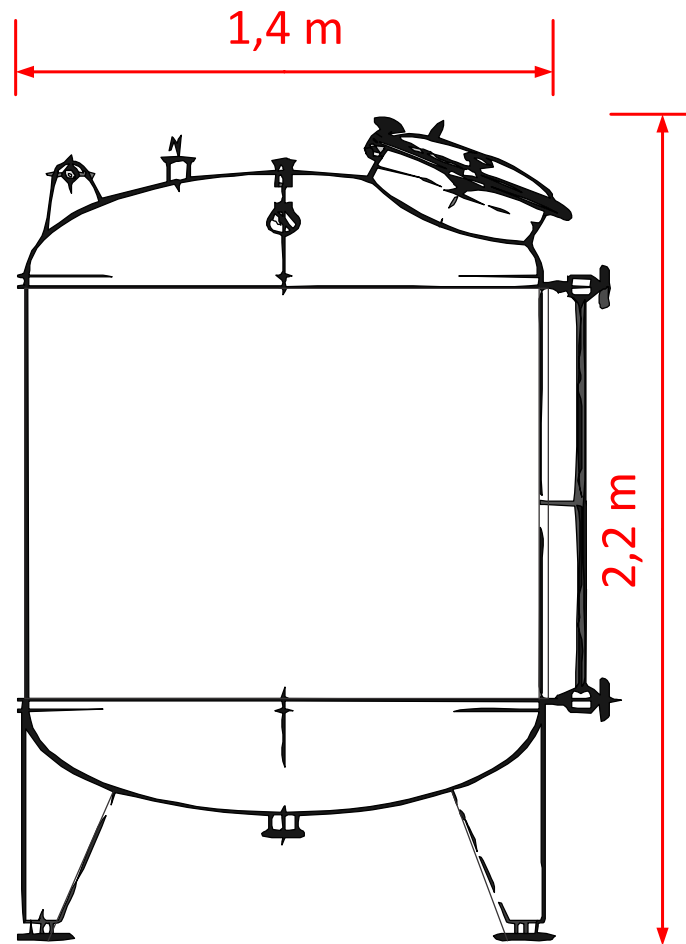


APÊNDICE C

Neste apêndice estão dispostos as dimensões básicas e parâmetros de projeto dos equipamentos da área 200. Convém destacar que em vista do fato de que as tinas utilizadas na produção da *Session IPA* e as tinas utilizadas na produção da *Pilsen* e *Weizen* possuem o mesmo volume e portanto seus equipamentos são iguais. Assim sendo, a representação se limitará a representar apenas uma tina de cada etapa e não duas.

- Apêndice C.1 – Tanque de armazenamento de água 2000 L
- Apêndice C.2 – Tinas de mosturação 1990 L
- Apêndice C.3 – Tinas de filtração 1368 L
- Apêndice C.4 – Tinas de fervura e *Whirlpool* 1356 L
- Apêndice C.5 – Trocador de calor
- Apêndice C.6 – Aerador

Apêndice C.1 – Tanque de armazenamento de água 2000 L



Equipamento: Tanque de armazenamento de água

Material: Aço Inoxidável AISI 304

Volume: 2 m³

Espessura: 2 mm

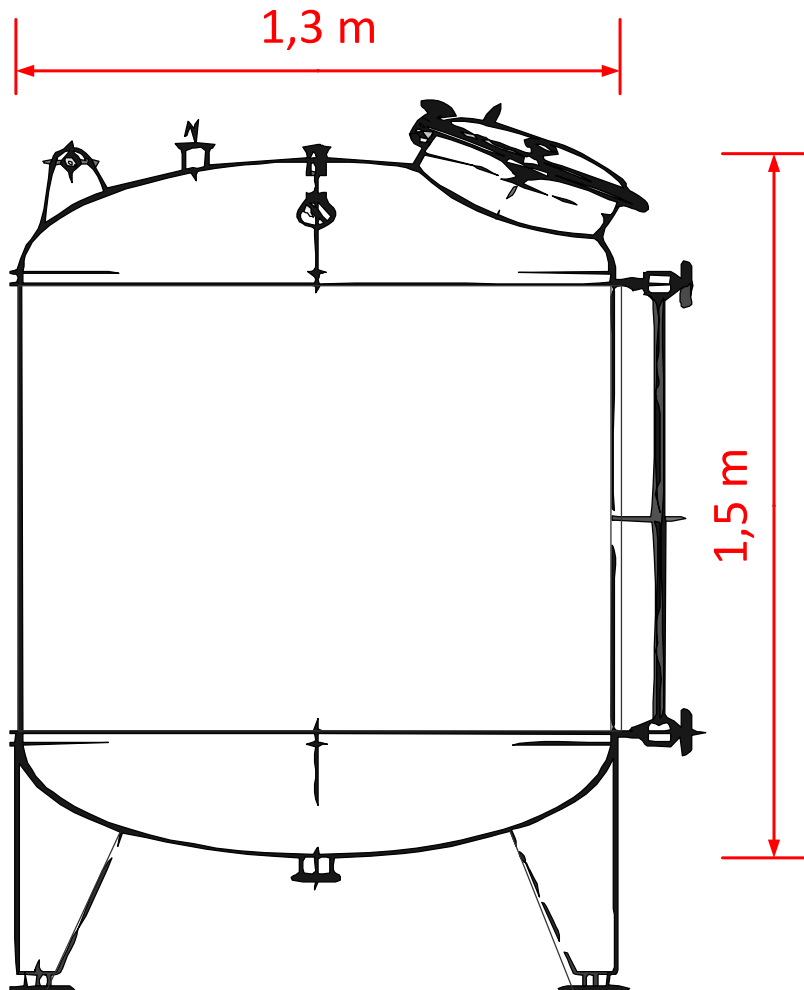

Área: 200

Esc: 1:14

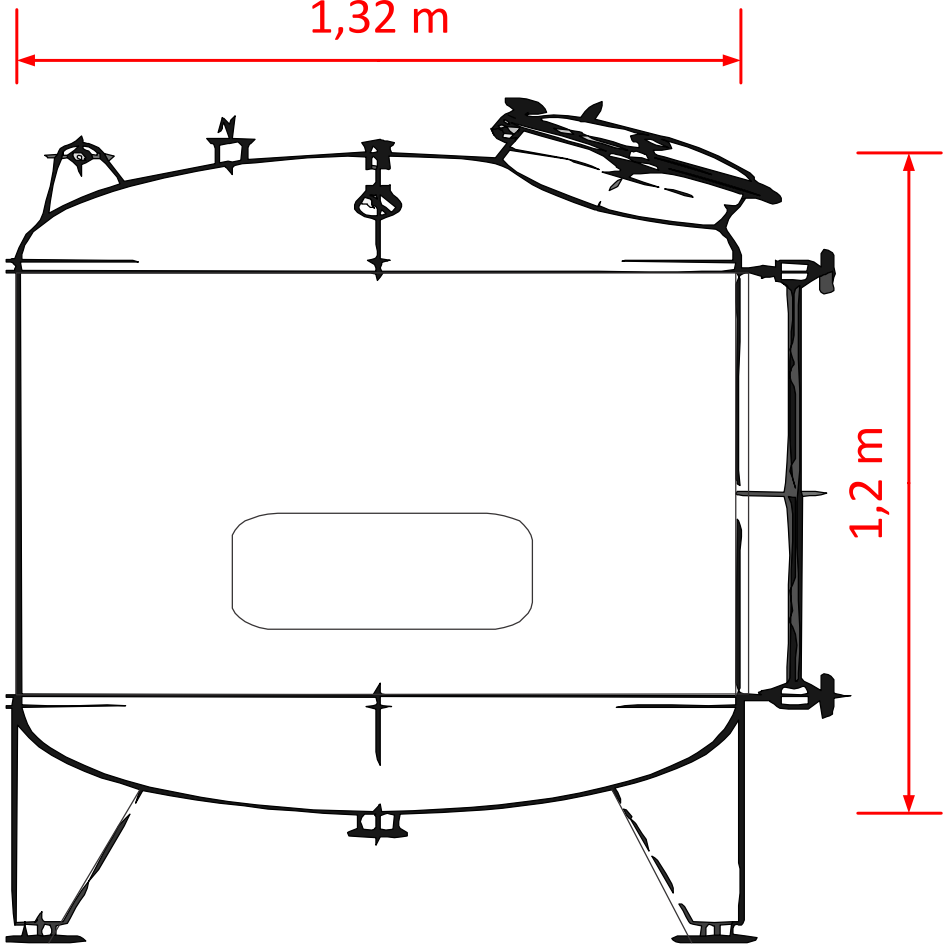

Responsável: Projetista



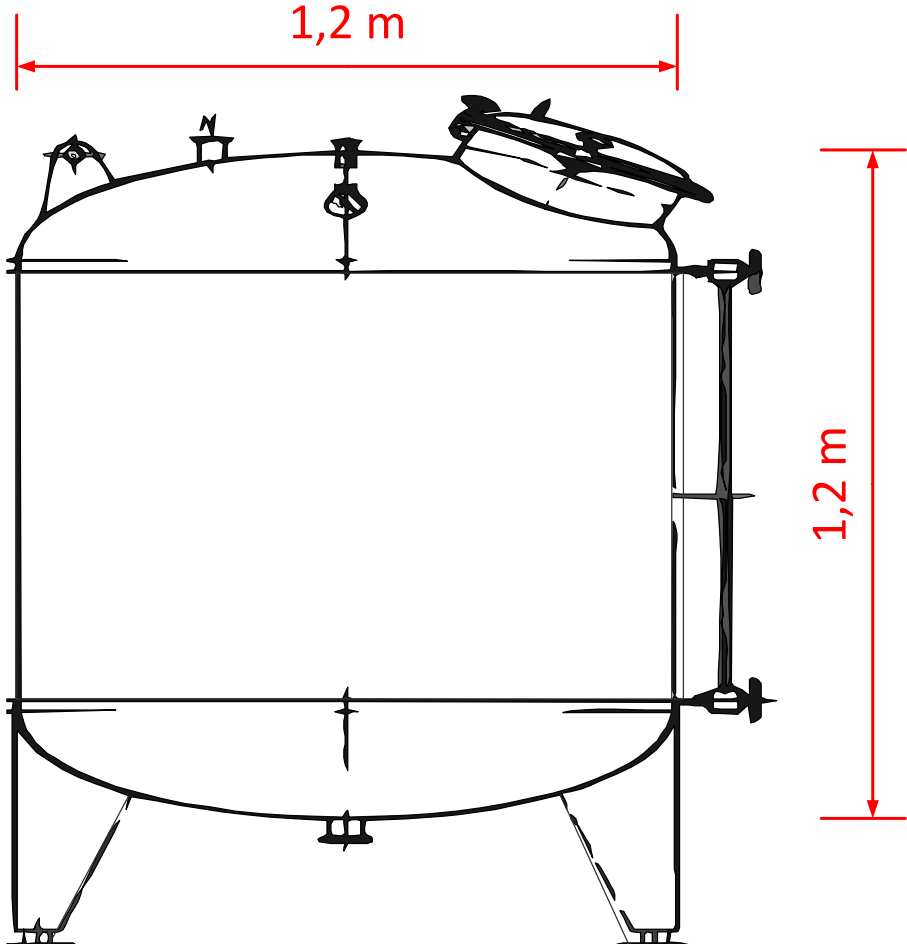

Apêndice C.2 – Tinas de mosturação 1990 L

			
Equipamento: Tina de mosturação			
Material: Aço Inoxidável			
Volume: 1,99 m ³	Espessura: 50 mm	Área: 200	
Esc: 1:11	Responsável: Projetista		

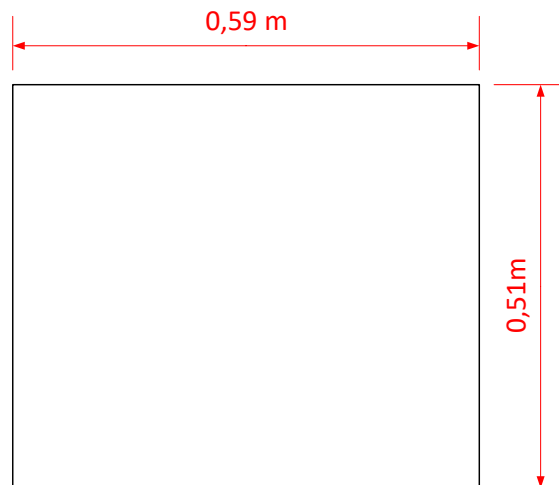
Apêndice C.3 – Tinas de filtração 1368 L

			
Equipamento: Tina de filtração			
Material: Aço Inoxidável SAE 304			
Volume: 1,368 m ³	Espessura: 50 mm	Área: 200	
Esc: 1:9	Responsável: Projetista		

Apêndice C.4 – Tinas de fervura e *Whirlpool* 1356 L


			
Equipamento: Tina de fervura e Whirlpool			
Material: Aço Inoxidável			
Volume: 1,356 m ³	Espessura: 50 mm	Área: 200	
Esc: 1:9	Responsável: Projetista		

Apêndice C.5 – Trocador de calor

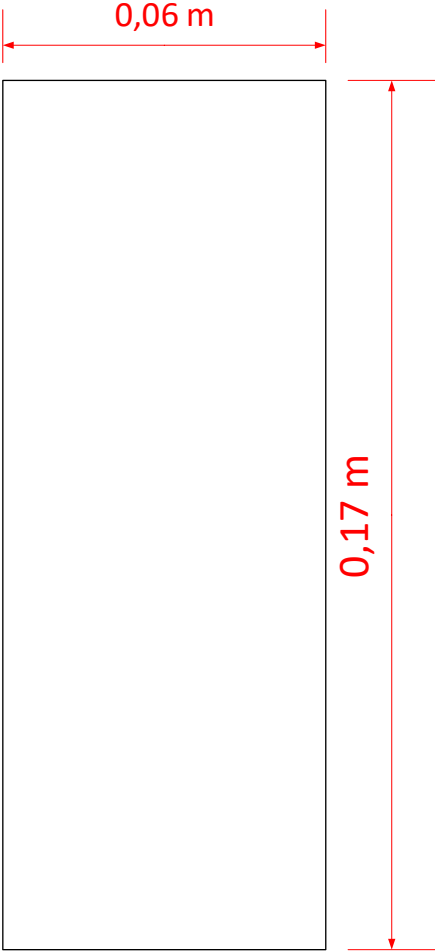



Equipamento: Trocador de calor

Material: Aço Inoxidável SS 304

Diâmetro do tubo: 0,2 m	Comprimento: 1,32 m	Área: 200	
Esc: 1:7	Responsável: Projetista		

Apêndice C.6 – Aerador

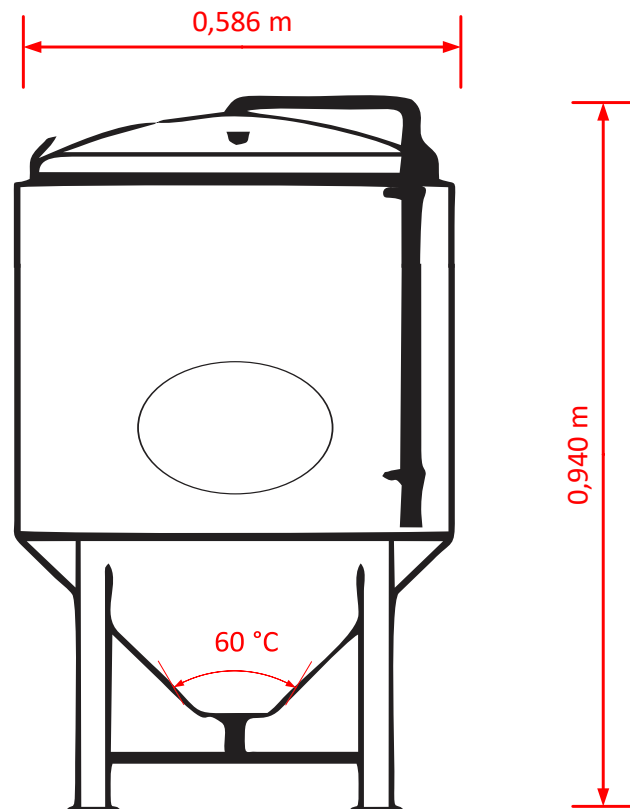
			
Equipamento: Aerador			
Material: Aço Inoxidável SS 304			
Diâmetro : 63,906 mm	Porosidade: 2 μm	Área: 300	
Esc: 1:1	Responsável: Projetista		

APÊNDICE D

Neste apêndice estão dispostos as dimensões básicas e parâmetros de projeto dos equipamentos da área 300.

- Apêndice D.1 – Inoculador
- Apêndice D.2 – Fermentador 4500 L
- Apêndice D.3 – Fermentador 2500 L
- Apêndice D.4 – Tanque Pulmão 4500 L
- Apêndice D.5 – Tanque Pulmão 4500 L
- Apêndice D.6 – Centrífuga
- Apêndice D.7 – Airlock

Apêndice D.1 – Inoculador



Equipamento: Inoculador

Material: Aço Inoxidável SAE 304

Volume: 0,2 m³

Espessura: 86,5 mm

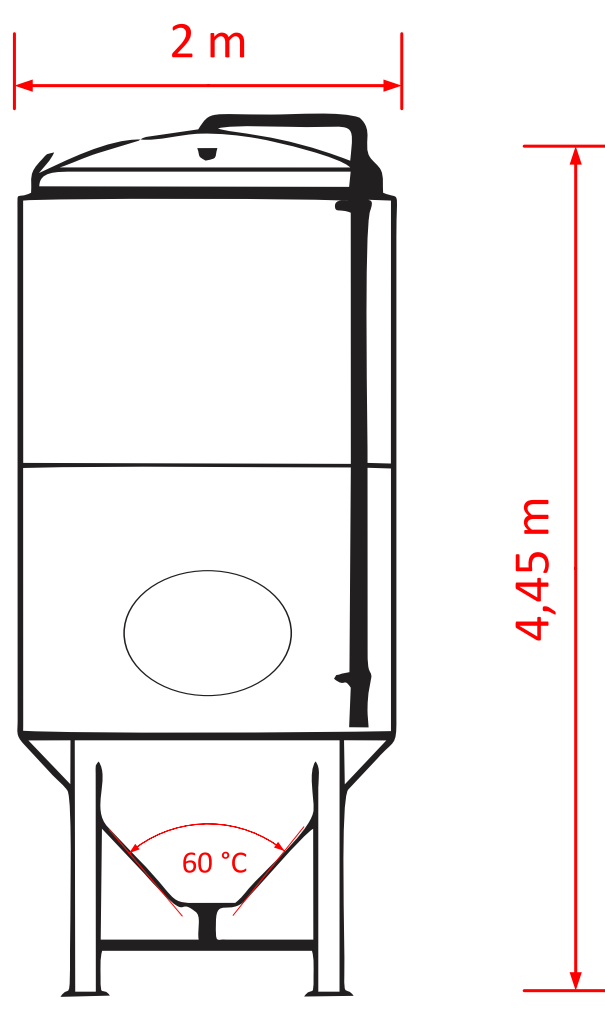

Área: 300

Esc: 1:7

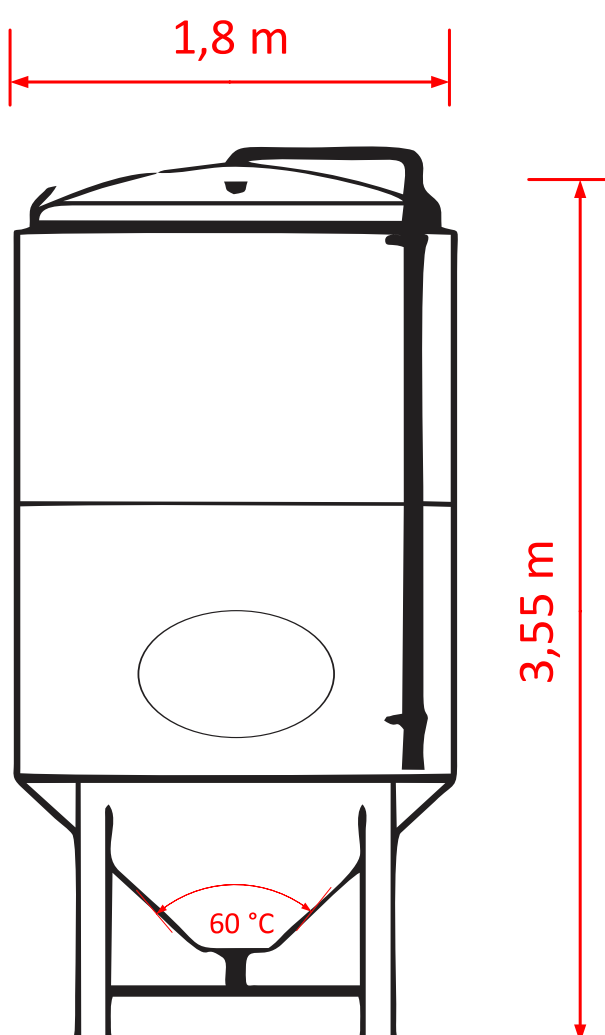

Responsável: Projetista



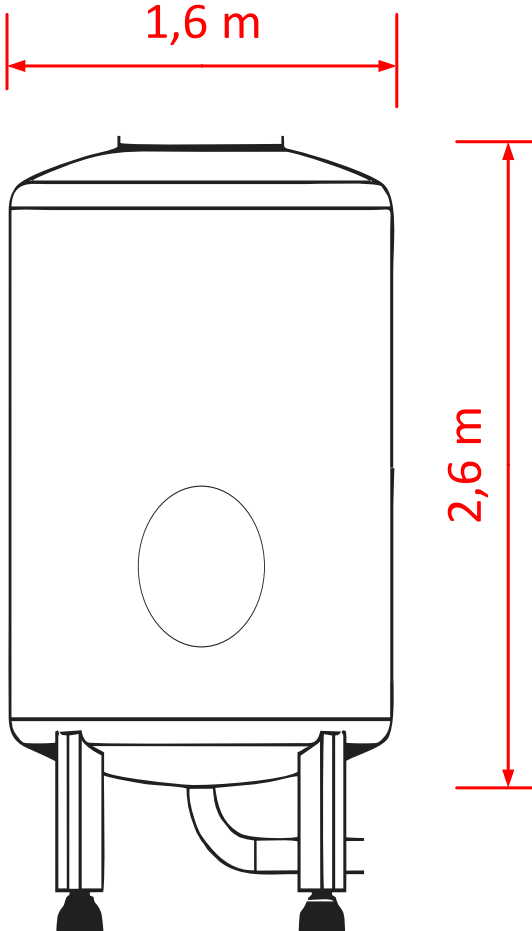

Apêndice D.2 – Fermentador 4500 L

			
Equipamento: Fermentador			
Material: Aço Inoxidável SAE 304			
Volume: 4,5 m ³	Espessura: 100 mm	Área: 300	
Esc: 1:30	Responsável: Projetista		

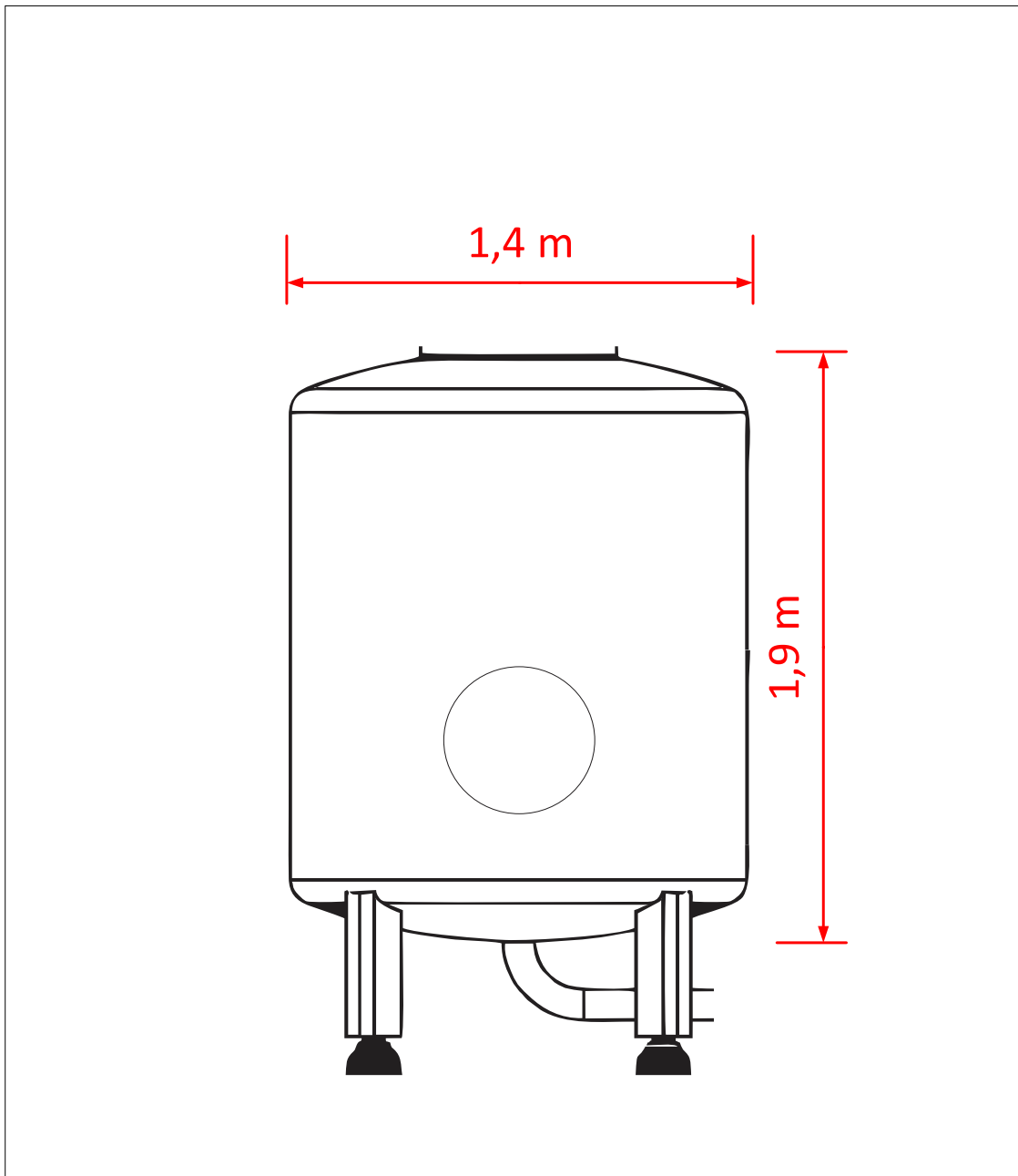
Apêndice D.3 – Fermentador 2500 L

			
Equipamento: Fermentador			
Material: Aço Inoxidável SAE 304			
Volume: 2,5 m ³	Espessura: 100 mm	Área: 300	
Esc: 1:20	Responsável: Projetista		

Apêndice D.4 – Tanque Pulmão 4500 L

			
Equipamento: Tanque Pulmão			
Material: Aço Inoxidável SAE 304			
Volume: 4,5 m ³	Espessura: 85 mm	Área: 300	
Esc: 1:20	Responsável: Projetista		

Apêndice D.5 – Tanque Pulmão 2500 L

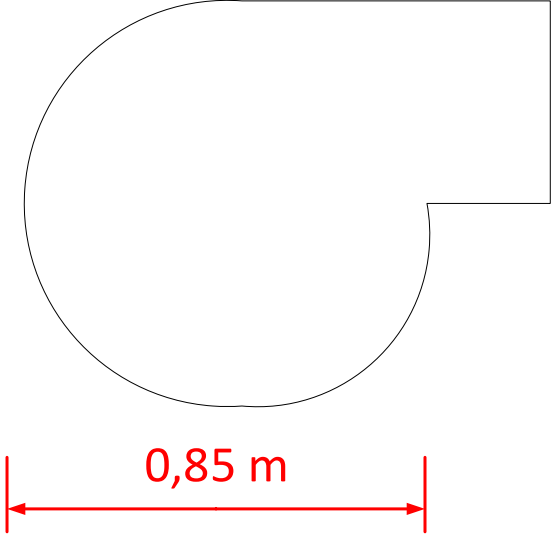



Equipamento: Tanque Pulmão

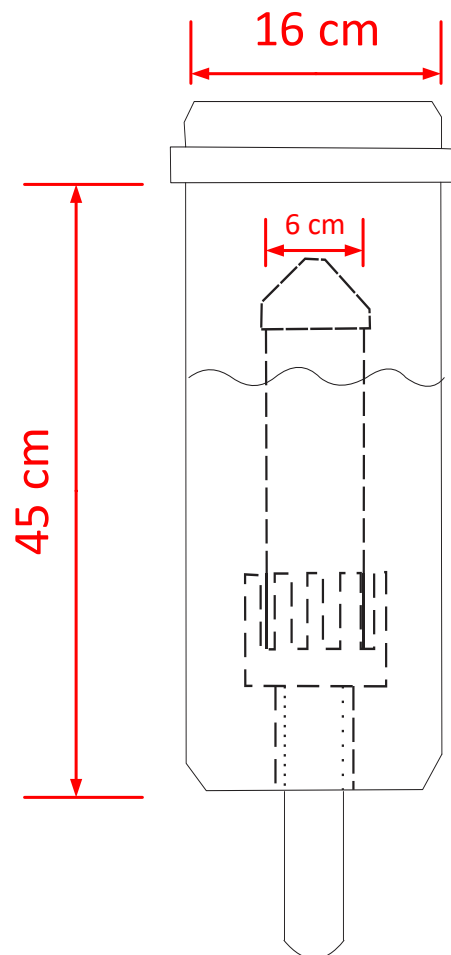
Material: Aço Inoxidável SAE 304

Volume: 2,5 m ³	Espessura: 85 mm	Área: 300	
Esc: 1:15	Responsável: Projetista		

Apêndice D.6 – Centrífuga

 <p>A technical drawing of a centrifuge component, which is a semi-circular shape with a rectangular extension on the right side. A red dimension line below the drawing indicates a width of 0,85 m.</p>			
Equipamento: Centrífuga			
Material: Aço Inoxidável SAE 304			
Altura: 1,2 m	Espessura: 2 mm	Área: 300	 <p>Offenholtz Engenharia</p>
Esc: 1:10	Responsável: Projetista		

Apêndice D.7 – Airlock 5 L



Equipamento: Airlock

Material: HDPE

Volume: 5 L

Espessura: 2 mm

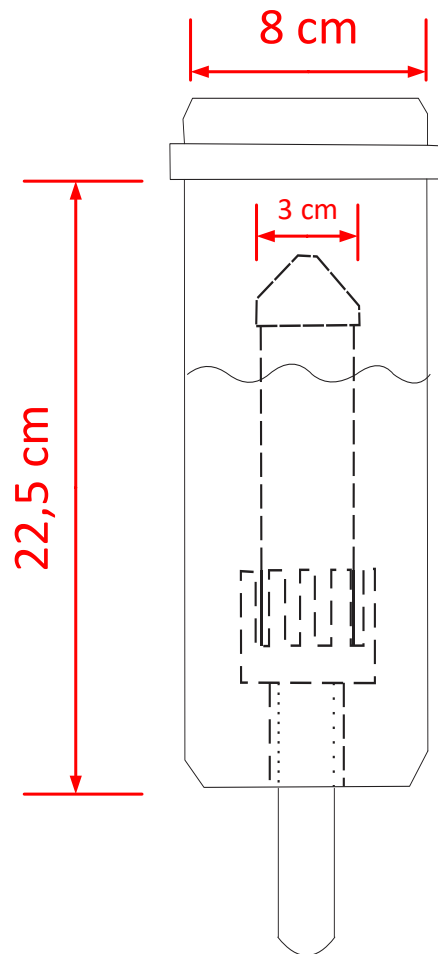
Área: 300

Esc: 1:4

Responsável: Projetista



Apêndice D.8 – Airlock 2,5 L



Equipamento: Airlock

Material: HDPE

Volume: 2,5 L

Espessura: 2 mm

Área: 300

Esc: 1:2

Responsável: Projetista

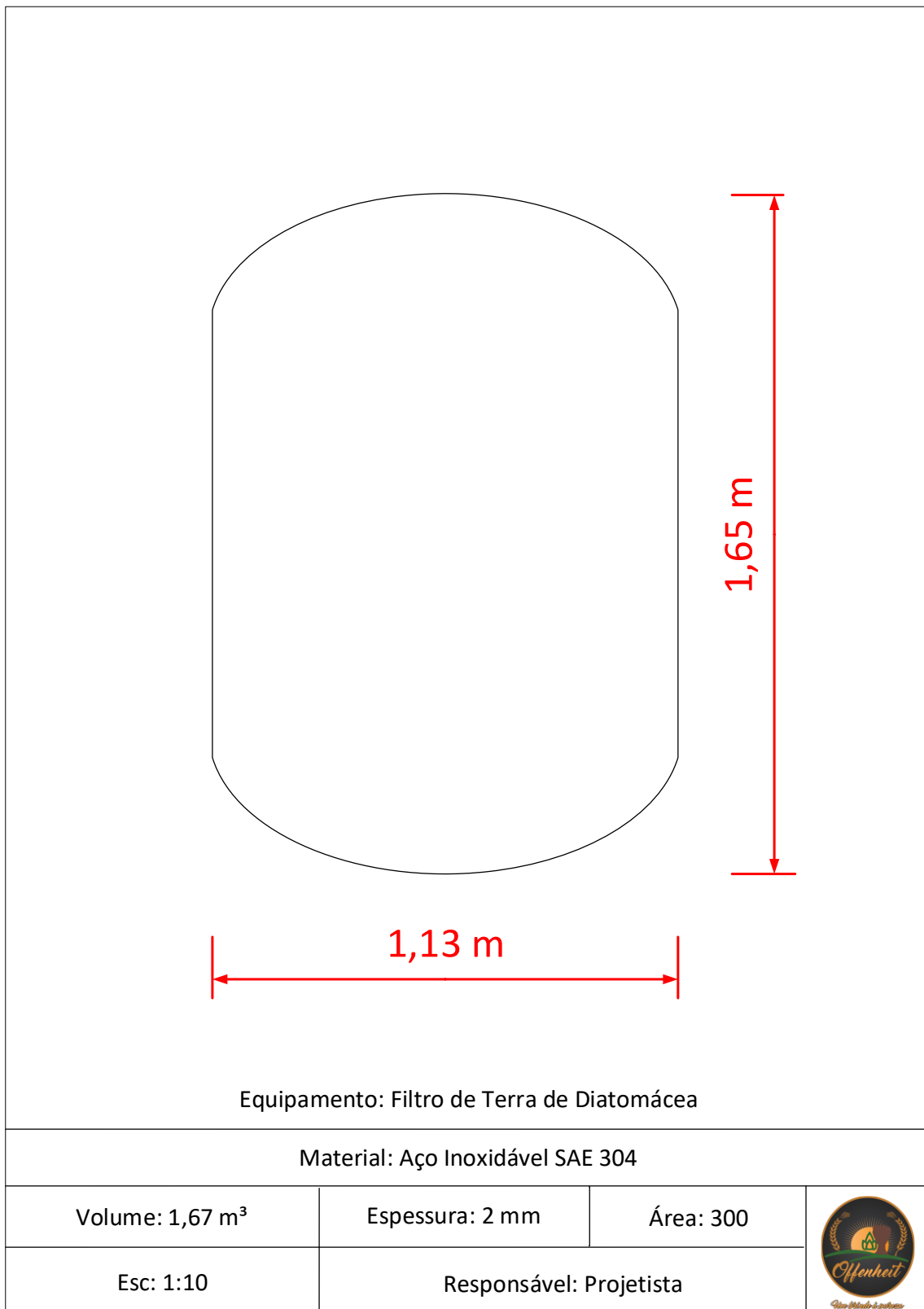


APÊNDICE E

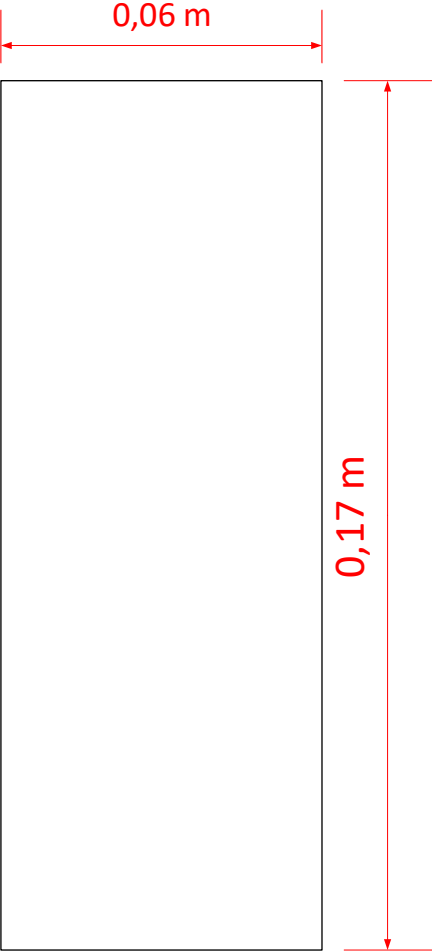

Neste apêndice estão dispostos as dimensões básicas e parâmetros de projeto dos equipamentos da área 400.

- Apêndice E.1 – Filtro de Terra Diatomácea
- Apêndice E.2 – Carbonatador
- Apêndice E.3 – Envasadora
- Apêndice E.4 – Pasteurizador em túnel

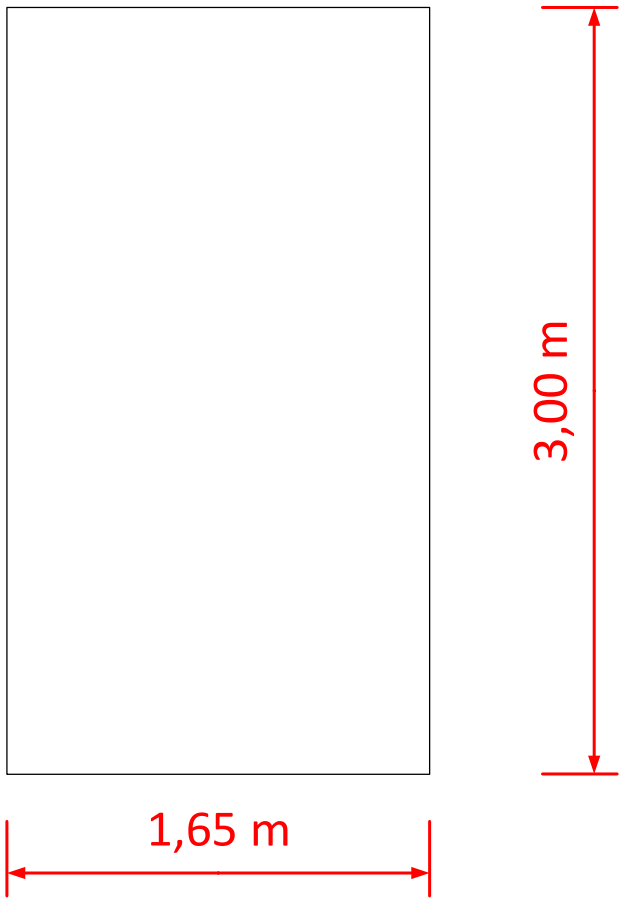

Apêndice E.1 –Filtro de Terra Diatomácea



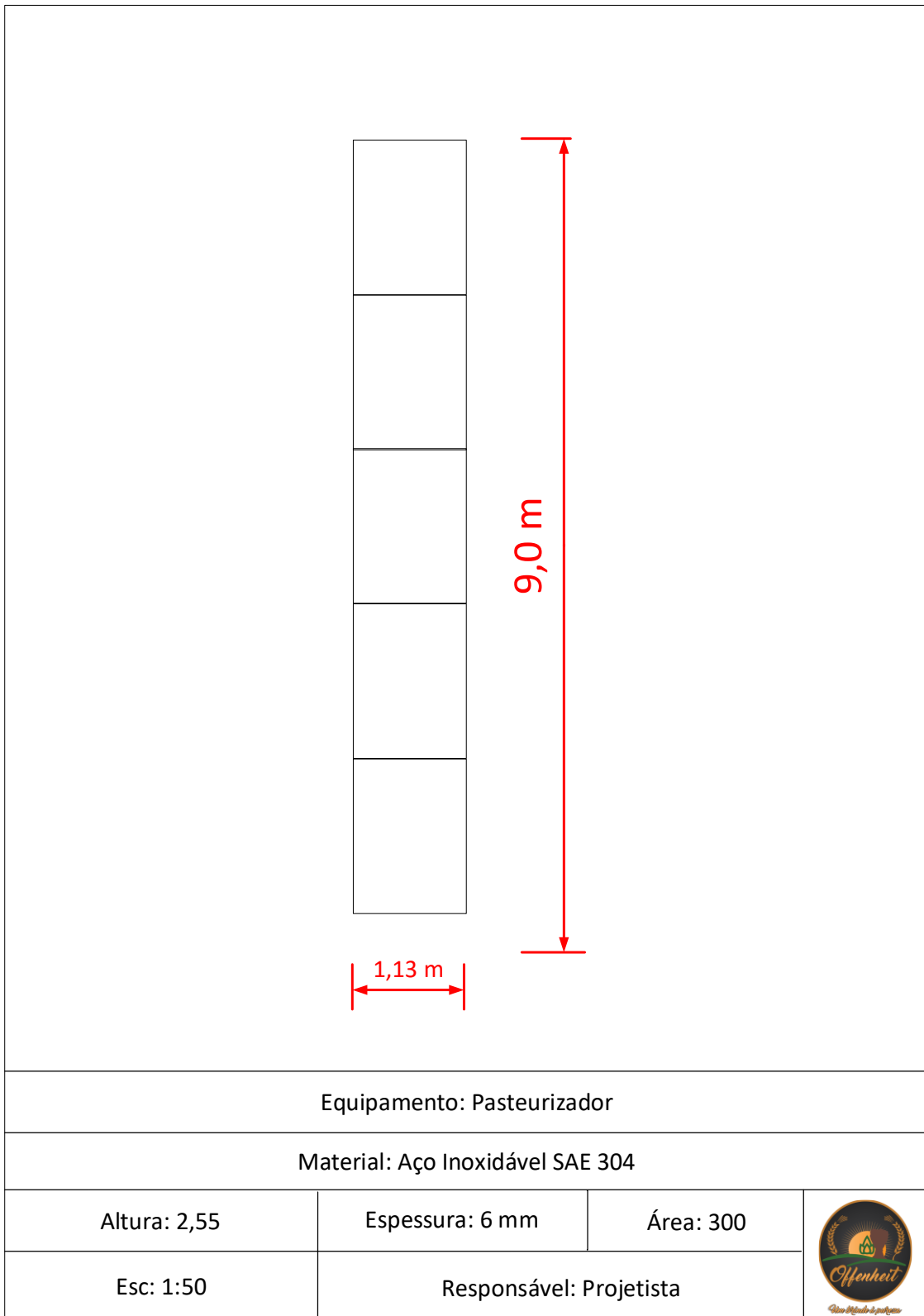
Apêndice E.2 – Carbonatador

			
Equipamento: Carbonatador			
Material: Aço Inoxidável SS 304			
Diâmetro : 63,906 mm	Porosidade: 2 μ m	Área: 300	
Esc: 1:1	Responsável: Projetista		

Apêndice E.3 – Envasadora

 <p>A diagram of a rectangular container. The width is indicated by a red double-headed arrow at the bottom, labeled "1,65 m". The height is indicated by a red double-headed arrow on the right side, labeled "3,00 m".</p>			
Equipamento: Envasadora			
Material: Aço Inoxidável SAE 304			
Altura: 2 m	Espessura: 2 mm	Área: 300	
Esc: 1:20	Responsável: Projetista		

Apêndice E.4 – Pasteurizador em túnel

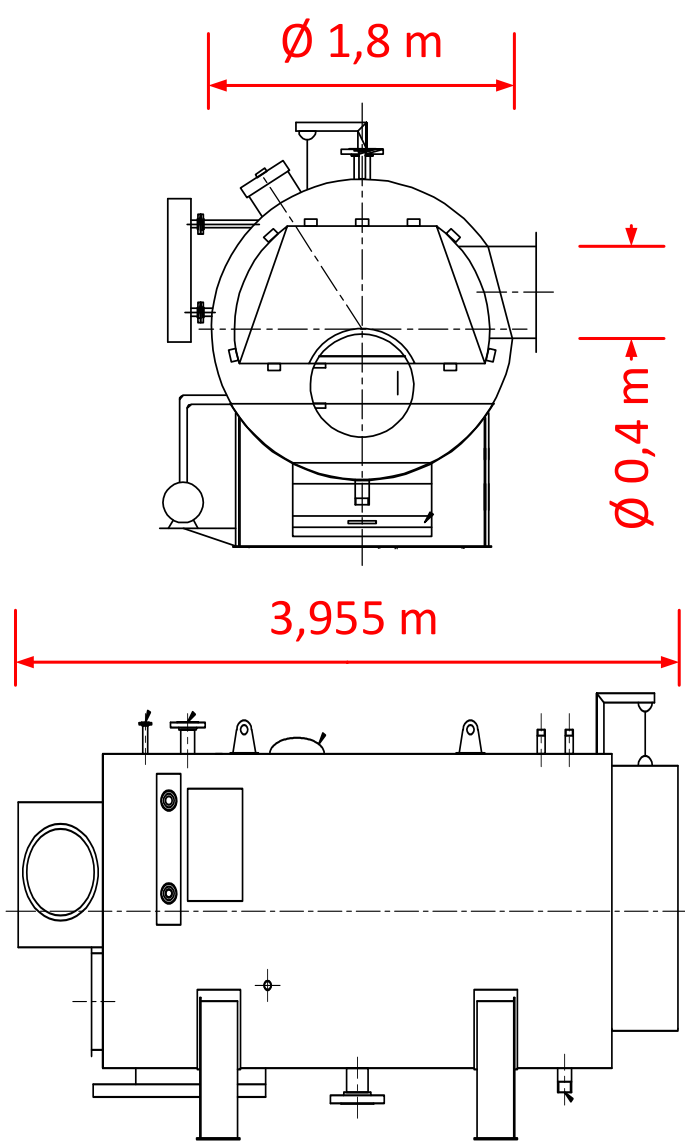



APÊNDICE F

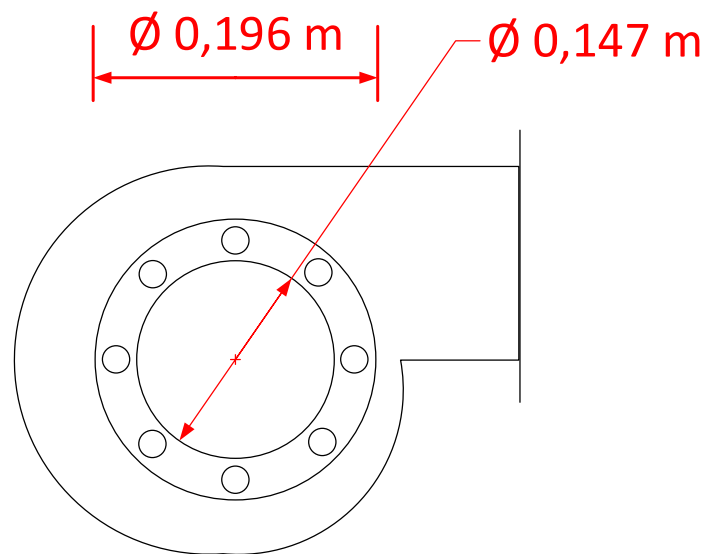
Neste apêndice estão dispostos as dimensões básicas e parâmetros de projeto dos equipamentos da área 500.

- Apêndice B.1 – Caldeira
- Apêndice B.2 – Soprador de ar

Apêndice F.1 – Caldeira

			
Equipamento: Caldeira			
Material: Aço carbono ASTM-A-516 Gr 70			
Volume: 3,85 m ³	Espessura: -	Área: 500	
Esc: 1:32	Responsável: Projetista		

Apêndice F.2 – Soprador de ar



Equipamento: Soprador de ar

Material: Ferro fundido

Volume: -

Espessura: - mm

Área: 500

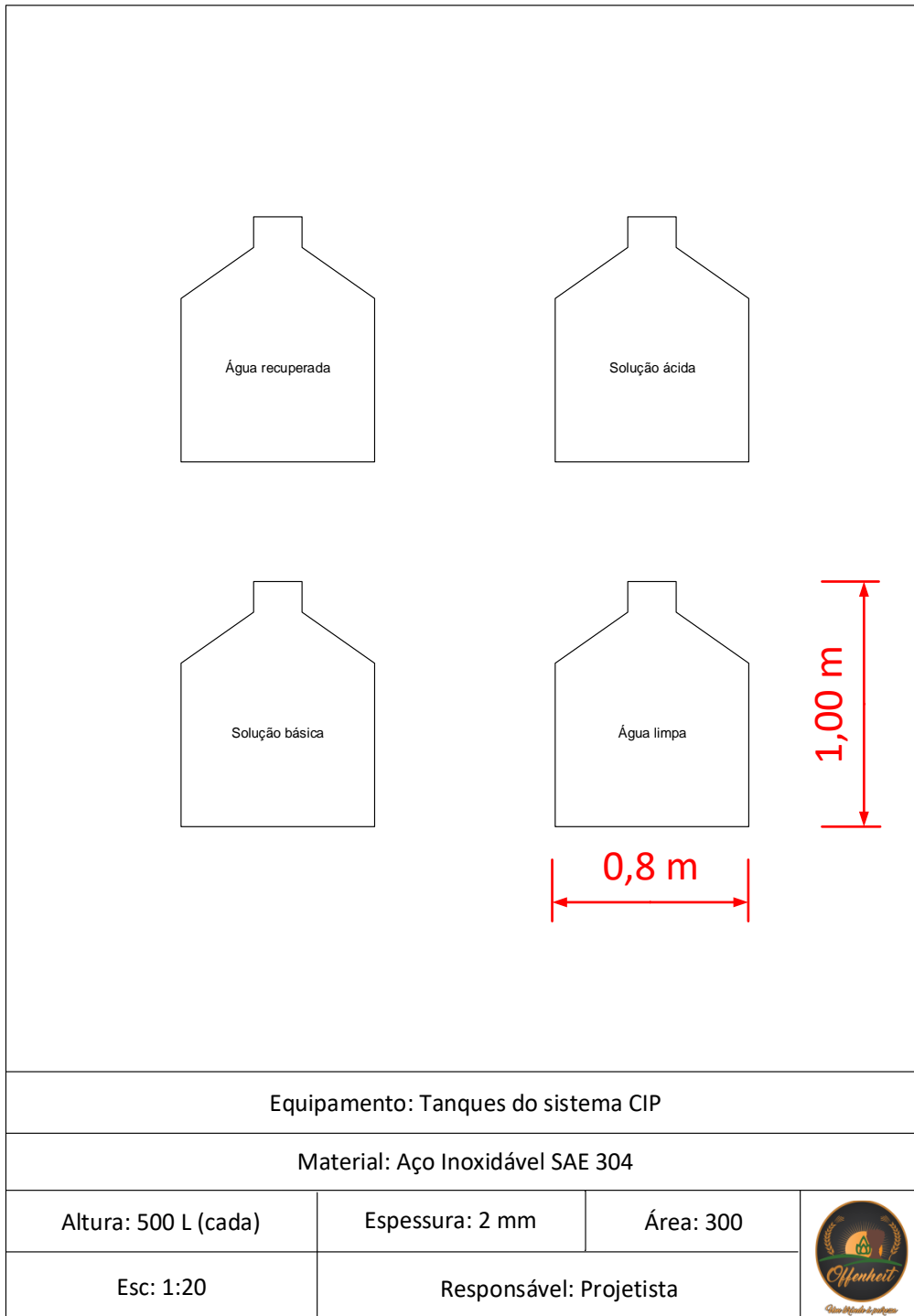
Esc: 1:4

Responsável: Projetista



APÊNDICE G

Neste apêndice estão dispostos as dimensões básicas e parâmetros de projeto dos equipamentos do sistema CIP de limpeza.



APÊNDICE H

- Corrente 87: Considerou-se a vazão diária da soma das correntes do refrigerante de saída dos fermentadores dos estilos *Ale*. Resfria-se essa corrente para ser reutilizada no processo de refrigeração dos fermentadores;
- Corrente 88: Considerou-se a vazão diária de refrigerante de saída dos fermentadores do estilo *Pilsen*; resfria-se essa corrente para ser reutilizada no processo de refrigeração dos fermentadores;
- Corrente 85: Corrente de vazão diária de refrigerante, utilizado para resfriar o mosto dos estilos *Ale* da etapa de resfriamento; resfria-se essa corrente para ser reutilizada no processo de resfriamento;
- Corrente 84: Corrente de vazão diária de refrigerante, utilizado para resfriar o mosto do estilo Lager da etapa de resfriamento; resfria-se essa corrente para ser reutilizada no processo de resfriamento;
- Corrente 19: Corrente de vazão diária de vapor evaporado na etapa de fervura, reutilizado para a limpeza e esterilização de equipamentos; desconsiderou-se o calor latente na metodologia *pinch*, uma vez que essa parcela de calor é mínima comparada ao do calor sensível;
- Corrente 89: Corrente de vazão diária de refrigerante, utilizado para resfriar o a cerveja dos estilos *Ale* da etapa de maturação; resfria-se essa corrente para ser reutilizada no processo de maturação dos estilos *Ale*;
- Corrente 90: Corrente de vazão diária de refrigerante, utilizado para resfriar o a cerveja do estilo *Pilsen* da etapa de maturação; resfria-se essa corrente para ser reutilizada no processo de maturação;
- Corrente 86: Corrente de vazão diária de água utilizada no pasteurizador; resfria-se essa corrente para ser reutilizada no processo de pasteurização da cerveja;
- Corrente 8: Corrente de vazão diária de água utilizada no pasteurizador; resfria-se essa corrente para ser reutilizada no processo de pasteurização da cerveja;

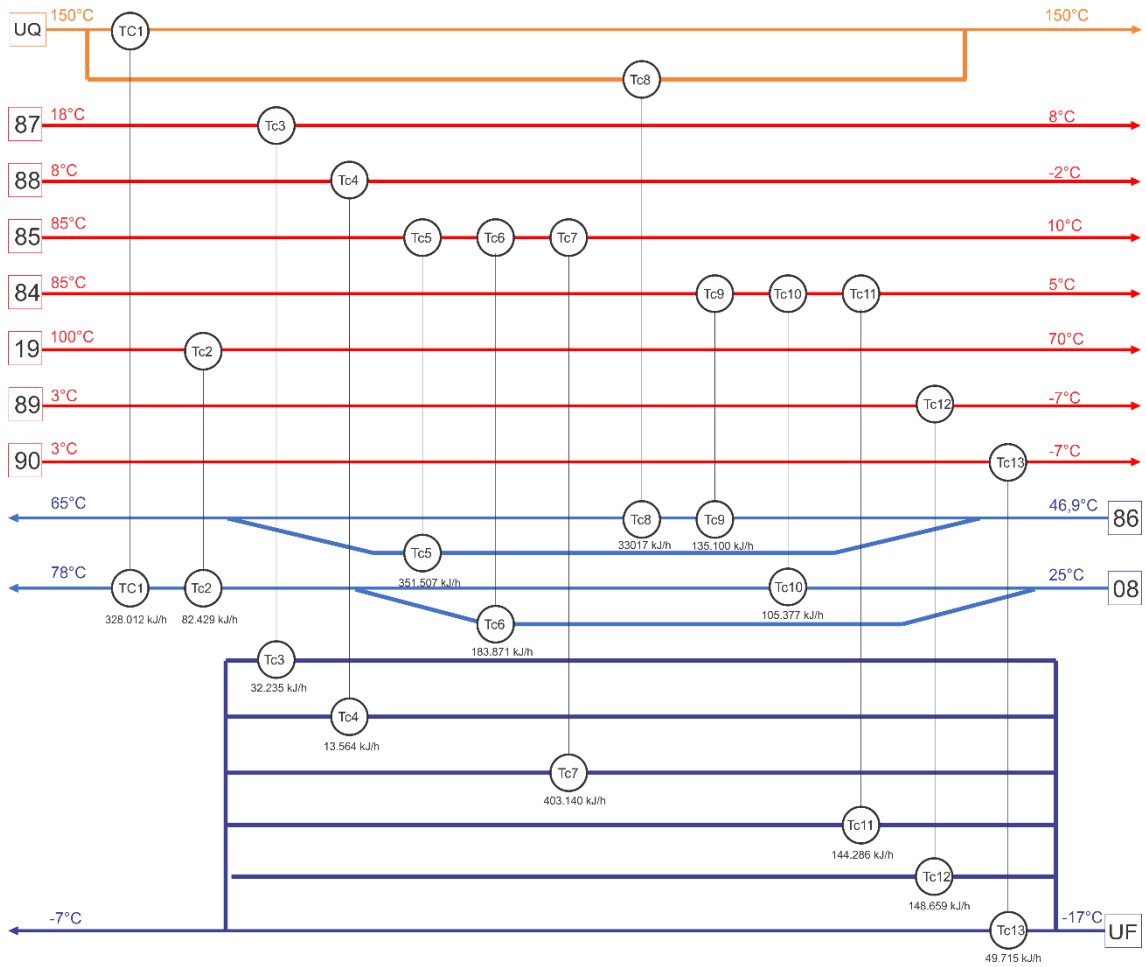
APÊNDICE I

Neste apêndice estão dispostos o diagrama da rede de trocadores de calor da integração energética realizada na Microcervejaria *Offenheit*, bem como suas dimensões e especificações.

- Apêndice I.1 – Rede de trocadores de calor
- Apêndice I.2 – Representação dos trocadores de calor
- Apêndice I.3 – Especificações dos trocadores de calor

Apêndice I.1 – Rede de trocadores de calor

Figura I.1 – Rede de trocadores de calor



Fonte: Autoria Própria (2019).

Apêndice I.2 – Especificações dos trocadores de calor da integração energética

Quadro I.2 – Especificações dos trocadores de calor da integração energética

Trocador de calor	Corrente quente			Corrente fria			Q (kJ/h)	U (kJ/h.m ² .°C)	ΔT_{in}	Área (m ²)
	Número da corrente	Ti (°C)	Tf (°C)	Número da corrente	Ti (°C)	Tf (°C)				
TC-202	85	56,9	42,2	8	25,0	46,9	183872	1429,2	13,3	9,7
TC-203	84	56,9	35,0	8	25,0	46,9	105377	1429,2	10,0	7,4
TC-204	19	100,0	70,0	8	46,9	53,2	82429	1429,2	33,6	1,7
TC-205	Vapor saturado	150,0	150,0	8	53,2	78,0	328012	1429,2	83,8	2,7
TC-401	Vapor saturado	150,0	150,0	86	52,2	65,0	330170	1429,2	91,3	2,5
TC-402	84	85,0	56,9	86	46,9	52,2	135101	1429,2	19,2	4,9
TC-403	85	85,0	56,9	86	46,9	65,0	351507	1429,2	14,4	17,0
TC-301	87	18,0	8,0	Propilenoglicol	-17,0	-7,0	32236	1429,2	25,0	0,9
TC-302	88	8,0	-2,0	Propilenoglicol	-17,0	-7,0	13564	1429,2	15,0	0,6
TC-303	85	42,2	10,0	Propilenoglicol	-17,0	-7,0	403140	1429,2	37,0	7,6
TC-304	84	35,0	5,0	Propilenoglicol	-17,0	-7,0	144286	1429,2	30,9	3,3
TC-305	89	3,0	-7,0	Propilenoglicol	-17,0	-7,0	148659	1429,2	10,0	10,4
TC-306	90	3,0	-7,0	Propilenoglicol	-17,0	-7,0	49715	1429,2	10,0	3,5

Fonte: Autoria Própria (2019).

APÊNDICE J

Neste apêndice estão dispostas especificações da análise financeira do projeto da Microcervejaria *Offenheit*.

- Apêndice J.1 – Custo com equipamentos e infraestrutura administrativa
- Apêndice J.2 – Despesas da infraestrutura, Depreciação e Custos fixos
- Apêndice J.3 – Despesas com salários de empregados
- Apêndice J.4 – Despesas com insumos e utilidades
- Apêndice J.5 – Especificações do consumo energético, Receita bruta anual e tributações sobre a receita da Microcervejaria *Offenheit*
- Apêndice J.6 – Demonstração de Resultados do Exercício da Microcervejaria *Offenheit*

Apêndice J.1 – Custo com equipamentos e infraestrutura administrativa

Tabela J.1 – Especificações dos equipamentos e infraestrutura administrativa

Equipamentos	Quantidade	Preço un. (R\$/un.)	Preço total (R\$)
Moinho	1	R\$ 3.899,68	R\$ 3.899,68
Tanque de água	1	R\$ 6.977,95	R\$ 6.977,95
Tanque de mosturação	2		
Tanque de filtração	2	R\$ 432.182,70	R\$ 864.365,40
Tanque de fervura	2		
Transportador em parafuso	1	R\$ 21.884,36	R\$ 21.884,36
Trocador de calor Casco e Tubo	13	R\$ 4.800,00	R\$ 62.400,00
Trocador de calor Placas	1	R\$ 26.727,56	R\$ 26.727,56
Tanque de O2	1	R\$ 131,00	R\$ 131,00
Inoculador (100 L)	5	R\$ 8.000,00	R\$ 40.000,00
Fermentador (4500 L)	6	R\$ 36.000,00	R\$ 216.000,00
Fermentador (2500 L)	12	R\$ 18.000,00	R\$ 216.000,00
Tanque Pulmão (4500L)	1	R\$ 28.000,00	R\$ 28.000,00
Tanque Pulmão (2500 L)	2	R\$ 16.000,00	R\$ 32.000,00
Centrífuga	1	R\$ 60.000,00	R\$ 60.000,00
Tanque de Levedura	1	R\$ 8.000,00	R\$ 8.000,00
Filtro	1	R\$ 44.000,00	R\$ 44.000,00
Tanque de CO2	1	R\$ 524,00	R\$ 524,00
Envasadora	1	R\$ 80.000,00	R\$ 80.000,00
Pasteurizadora	1	R\$ 100.000,00	R\$ 100.000,00
Rotuladora	1	R\$ 9.569,76	R\$ 9.569,76
Caldeira	1	R\$ 173.600,00	R\$ 173.600,00
Soprador de ar	1	R\$ 382,79	R\$ 382,79
Refrigerador	1	R\$ 280.000,00	R\$ 280.000,00
CIP	1	R\$ 96.000,00	R\$ 96.000,00
Bomba Centrífuga	16	R\$ 374,00	R\$ 5.984,00
Compressor	2	R\$ 1.654,00	R\$ 3.308,00
Válvula redutora	2	R\$ 299,06	R\$ 598,11
Materiais de Laboratório	1	R\$ 5.265,80	R\$ 5.265,80
Balança de malte	1	R\$ 990,00	R\$ 990,00
Balança de lúpulo	1	R\$ 40,00	R\$ 40,00
Gaiola de cavaco	2	R\$ 1.200,00	R\$ 2.400,00
Airlock	18	R\$ 200,00	R\$ 3.600,00
Válvula de alívio	4	R\$ 115,00	R\$ 460,00
Caçamba para bagaço	2	R\$ 2.600,00	R\$ 5.200,00
Válvula solenoide	21	R\$ 420,00	R\$ 8.820,00
Termopar	21	R\$ 160,00	R\$ 3.360,00
Sist. Controle	1	R\$ 24.000,00	R\$ 24.000,00
Fluido refrigerante	1	R\$ 7.000,00	R\$ 7.000,00
Carro	1	R\$ 31.990,00	R\$ 31.990,00
Infraestrutura adm.	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
Lavador de gases	1	R\$ 6.000,00	R\$ 6.000,00
Total			R\$ 2.489.478,41

Fonte: Autoria Própria (2019).

Apêndice J.2 – Despesas da infraestrutura, Depreciação e Custos fixos

Tabela J.2.1 – Especificações das despesas com a infraestrutura

Especificação	Área (m²)	Preço un. (R\$/m²)	Preço total
Terreno	4500	R\$ 222,22	R\$ 1.000.000,00
Instalação elétrica	3100	R\$ 61,81	R\$ 191.595,50
Construção Civil	3100	R\$ 250,00	R\$ 775.000,00
Total			R\$ 1.966.595,50

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela J.2.2 – Ativos, taxas e valores de depreciação anual

Ativos fixos	Taxa Anual	Valor Inicial	Valor depreciado
Equipamentos	10%	R\$ 2.417.488,41	R\$ 241.748,84
Veículo	20%	R\$ 31.990,00	R\$ 6.398,00
Materiais de Informática	20%	R\$ 5.265,80	R\$ 1.053,16
Materiais de Controle	10%	R\$ 24.000,00	R\$ 2.400,00
Móveis e utensílios	10%	R\$ 15.265,80	R\$ 1.526,58
Edificações	4%	R\$ 775.000,00	R\$ 31.000,00
Instalações	10%	R\$ 191.595,50	R\$ 19.159,55
Total		R\$ 3.460.605,51	R\$ 303.286,13

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela J.2.3 – Custos fixos da Microcervejaria *Offenheit*

Especificação	Preço total
Mão de Obra	R\$ 1.401.717,75
Manutenção	R\$ 100.000,00
Refeitório	R\$ 42.432,00
Auxílio transporte	R\$ 5.696,64
EPI	R\$ 5.819,40
Limpeza	R\$ 15.600,00
Seguro	R\$ 10.442,62
IPTU	R\$ 8.000,00
IPVA	R\$ 959,70
Marketing	R\$ 24.000,00
Telefone e Internet	R\$ 1.080,00
Depreciação	R\$ 303.286,13
Tratamento de efluentes	R\$ 30.000,00
Total	R\$ 1.949.034,25

Fonte: Autoria Própria (2019).

Apêndice J.3 – Despesas com salários de empregados

Tabela J.3 – Especificações dos trocadores de calor da integração energética

Cargo	Quantidade	Pro-Labore	Salário	Periculosidade e insalubridade	Auxílio transporte	Despesas mensais		Provisões Mensais				Custo mensal	Custo Anual
						Total Remuneração	INSS	FGTS	13º Salário	Férias + 1/3 Férias	(INSS e FGTS)		
Superintendente	1	R\$ 8.000,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 1.600,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 9.600,00	R\$ 115.200,00
Diretor industrial	1	R\$ 8.000,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 1.600,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 9.600,00	R\$ 115.200,00
Diretor de RH	1	R\$ 8.000,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	-	R\$ 0,00	R\$ 1.600,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 9.600,00	R\$ 115.200,00
Diretor Financeiro	1	R\$ 0,00	R\$ 5.000,00	R\$ 0,00	-	R\$ 5.000,00	R\$ 2.320,00	R\$ 400,00	R\$ 416,50	R\$ 555,50	R\$ 357,70	R\$ 17.049,70	R\$ 204.596,35
Diretor Comercial	1	R\$ 0,00	R\$ 5.000,00	R\$ 0,00	-	R\$ 5.000,00	R\$ 1.450,00	R\$ 400,00	R\$ 416,50	R\$ 555,50	R\$ 357,70	R\$ 8.179,70	R\$ 98.156,35
Técnico de Qualidade	1	R\$ 0,00	R\$ 1.900,00	R\$ 570,00	R\$ 0,00	R\$ 2.470,00	R\$ 716,30	R\$ 197,60	R\$ 205,75	R\$ 274,42	R\$ 176,70	R\$ 4.040,77	R\$ 48.489,24
Mestre cervejeiro	1	R\$ 0,00	R\$ 2.000,00	R\$ 0,00	-	R\$ 2.000,00	R\$ 2.320,00	R\$ 160,00	R\$ 166,60	R\$ 222,20	R\$ 143,08	R\$ 13.011,88	R\$ 156.142,54
Operador	5	R\$ 0,00	R\$ 1.200,00	R\$ 360,00	R\$ 72,00	R\$ 1.560,00	R\$ 452,40	R\$ 124,80	R\$ 129,95	R\$ 173,32	R\$ 111,60	R\$ 12.760,33	R\$ 153.123,91
Diretor de Marketing	1	R\$ 0,00	R\$ 4.000,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 4.000,00	R\$ 1.160,00	R\$ 320,00	R\$ 333,20	R\$ 444,40	R\$ 286,16	R\$ 6.543,76	R\$ 78.525,08
Gerente de Vendas	1	R\$ 0,00	R\$ 2.599,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 2.599,00	R\$ 753,71	R\$ 207,92	R\$ 216,50	R\$ 288,75	R\$ 185,93	R\$ 4.251,81	R\$ 51.021,67
Vendedores	1	R\$ 0,00	R\$ 1.500,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 1.500,00	R\$ 435,00	R\$ 120,00	R\$ 124,95	R\$ 166,65	R\$ 107,31	R\$ 2.453,91	R\$ 29.446,91
Químico	2	R\$ 0,00	R\$ 2.100,00	R\$ 630,00	R\$ 126,00	R\$ 2.730,00	R\$ 791,70	R\$ 218,40	R\$ 227,41	R\$ 303,30	R\$ 195,30	R\$ 8.932,23	R\$ 107.186,74
Auxiliar de escritório	1	R\$ 0,00	R\$ 1.325,00	R\$ 0,00	R\$ 79,50	R\$ 1.325,00	R\$ 384,25	R\$ 106,00	R\$ 110,37	R\$ 147,21	R\$ 94,79	R\$ 2.167,62	R\$ 26.011,43
Porteiro	1	R\$ 0,00	R\$ 1.306,00	R\$ 0,00	R\$ 78,36	R\$ 1.306,00	R\$ 378,74	R\$ 104,48	R\$ 108,79	R\$ 145,10	R\$ 93,43	R\$ 2.136,54	R\$ 25.638,44
Zelador	2	R\$ 0,00	R\$ 1.181,00	R\$ 0,00	R\$ 70,86	R\$ 1.181,00	R\$ 342,49	R\$ 94,48	R\$ 98,38	R\$ 131,21	R\$ 84,49	R\$ 3.864,09	R\$ 46.369,06
Estagiário	2	R\$ 0,00	R\$ 800,00	R\$ 0,00	R\$ 48,00	R\$ 800,00	R\$ 232,00	R\$ 64,00	R\$ 66,64	R\$ 88,88	R\$ 57,23	R\$ 2.617,50	R\$ 31.410,03
Total	23											R\$ 116.809,81	R\$ 1.401.717,75

Fonte: Autoria Própria (2019).

Apêndice J.4 – Despesas com insumos e utilidades

Tabela J.4.1 – Especificações dos custos com insumos

Insumos	Quantidade (kg/ano)	Preço (R\$/kg)	Preço total Anual
Malte	234886	R\$ 5,20	R\$ 1.221.404,67
Lúpulo	4472	R\$ 45,00	R\$ 201.262,32
Água	1562891	R\$ 0,01	R\$ 17.629,41
Levedura Ale	6	R\$ 980,00	R\$ 5.880,00
Levedura Lager	6	R\$ 990,00	R\$ 5.940,00
Terra Diatomácea	307	R\$ 60,00	R\$ 18.432,00
Ácido fosfórico 85%	601	R\$ 40,00	R\$ 24.028,24
Soda cáustica 99%	480	R\$ 20,00	R\$ 9.600,00
Carbonato de cálcio	36	R\$ 60,00	R\$ 2.160,00
Cilindro de O2	8871	R\$ 25,44	R\$ 225.646,28
Cilindro de CO2	4439	R\$ 42,00	R\$ 186.447,74
Garrafa	2016000	R\$ 0,20	R\$ 403.200,00
Rótulo	2016000	R\$ 0,02	R\$ 40.320,00
Transporte/Frete	-	-	R\$ 11.967,90
Total			R\$ 2.373.918,55

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela J.4.2 – Especificações dos custos utilidades

Utilidade	Quantidade (kg ou kWh)	Preço unitário (\$/kg ou \$/kWh)	Preço total
Água	37194,262	R\$ 0,01	R\$ 419,55
Fluido refrigerante	4000,000	R\$ 7,00	R\$ 28.000,00
Briquete de pinus	132425,124	R\$ 0,30	R\$ 39.727,54
Energia	330651,000	R\$ 0,64	R\$ 212.939,24
Total			R\$ 281.086,33

Fonte: Autoria Própria (2019).

Apêndice J.5 – Especificações do consumo energético, Receita bruta anual e tributações sobre a receita da Microcervejaria *Offenheit*

Tabela J.5.1 – Especificações do consumo energético

Equipamento	Tempo (h/dia)	E (kW)	Econs (kWh)	Preço (R\$/dia)	Preço (R\$/ano)
Refrigerador	8	77	616	R\$ 396,70	R\$ 142.813,44
Moinho	1	1,1	1,1	R\$ 0,71	R\$ 255,02
Transportador parafuso	1	1,1	1,1	R\$ 0,71	R\$ 255,02
Centrífuga	0,5	11	5,5	R\$ 3,54	R\$ 1.275,12
Filtro (Bomba)	1,5	1,1	1,65	R\$ 1,06	R\$ 382,54
Rotuladora	8	1,5	12	R\$ 7,73	R\$ 2.782,08
Pasteurizador	8	5	40	R\$ 25,76	R\$ 9.273,60
Soprador de ar	4,7	0,55	2,585	R\$ 1,66	R\$ 599,31
Caldeira	4,7	3	14,1	R\$ 9,08	R\$ 3.268,94
CIP (Bomba)	2	2,2	4,4	R\$ 2,83	R\$ 1.020,10
Controle da Brassagem	5	7	35	R\$ 22,54	R\$ 8.114,40
Controle Adega	24	5,5	132	R\$ 85,01	R\$ 30.602,88
Envasadora	8	4,4	35,2	R\$ 22,67	R\$ 8.160,77
Bombas Centrífugas	6	2,88	17,28	R\$ 11,13	R\$ 4.006,20
Compressores	2	0,28	0,56	R\$ 0,36	R\$ 129,83
Total		123,61	918,475	591,4979	R\$ 212.939,24

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela J.5.2 – Receita bruta da Microcervejaria *Offenheit*

Produto	Produção anual (L/ano)	Quantidade de Garrafas (0,6 L)	Preço de Venda por Garrafa	Receita Bruta
Session IPA	604800	1008000	R\$ 7,00	R\$ 7.056.000,00
Pilsen	302400	504000	R\$ 5,00	R\$ 2.520.000,00
Weizen	302400	504000	R\$ 6,00	R\$ 3.024.000,00
Total	1209600			R\$ 12.600.000,00

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela J.5.3 – Tributos fixos da receita bruta e lucro bruto

Tributos	Taxa
ICMS	27,00%
PIS	0,65%
COFINS	3,00%
IRPJ	15,00%
ADIRPJ	10,00%
CSLL	9,00%

Fonte: Autoria Própria (2019).

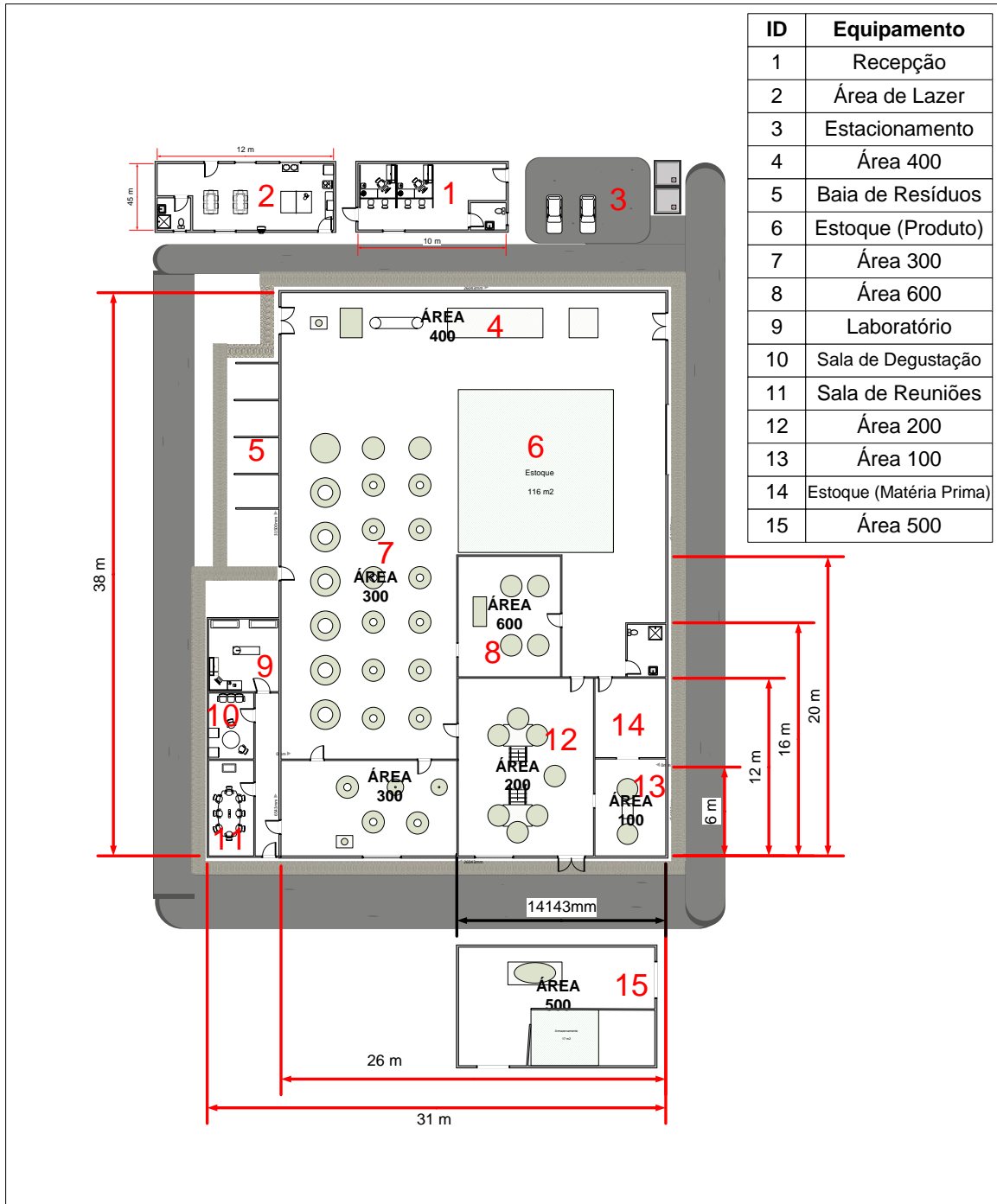
Apêndice J.6 – Demonstração de Resultados do Exercício da Microcervejaria *Offenheit*Tabela J.6 – Demonstração de Resultados do Exercício da Microcervejaria *Offenheit*

Capacidade e produção	80%	85%	90%	95%	100%
Ano	1	2	3	4	5
(+) Receita bruta anual	R\$ 10.080.000,00	R\$ 10.710.000,00	R\$ 11.340.000,00	R\$ 11.970.000,00	R\$ 12.600.000,00
(-) Impostos diretos	R\$ 3.089.520,00	R\$ 3.282.615,00	R\$ 3.475.710,00	R\$ 3.668.805,00	R\$ 3.861.900,00
(-) Custos operacionais	R\$ 3.769.752,02	R\$ 3.902.502,27	R\$ 4.035.252,51	R\$ 4.168.002,76	R\$ 4.300.753,00
(=) EBITDA	R\$ 3.220.727,98	R\$ 3.524.882,73	R\$ 3.829.037,49	R\$ 4.133.192,24	R\$ 4.437.347,00
(-) Depreciação	R\$ 303.286,13	R\$ 303.286,13	R\$ 303.286,13	R\$ 303.286,13	R\$ 303.286,13
(-) Despesa Financeira	R\$ 506.779,21	R\$ 562.524,92	R\$ 421.893,69	R\$ 281.262,46	R\$ 140.631,23
(=) Lucro Líquido antes dos impostos	R\$ 2.410.662,64	R\$ 2.659.071,68	R\$ 3.103.857,67	R\$ 3.548.643,65	R\$ 3.993.429,64
(-) IRPJ + CSSL + ADIRPJ	R\$ 286.464,00	R\$ 305.868,00	R\$ 325.272,00	R\$ 344.676,00	R\$ 364.080,00
(=) Lucro Líquido depois dos impostos	R\$ 2.124.198,64	R\$ 2.353.203,68	R\$ 2.778.585,67	R\$ 3.203.967,65	R\$ 3.629.349,64
(-) Amortização Financeiro	R\$ 0,00	R\$ 1.278.465,73	R\$ 1.278.465,73	R\$ 1.278.465,73	R\$ 1.278.465,73
(=) Fluxo de caixa	R\$ 2.124.198,64	R\$ 1.074.737,95	R\$ 1.500.119,94	R\$ 1.925.501,92	R\$ 2.350.883,91

Fonte: Autoria Própria (2019).

APÊNDICE K

- Layout da Microcervejaria *Offenheit*.



Planta baixa: Microcervejaria Offenheit

Ponta Grossa - PR

Área: 2342 m²

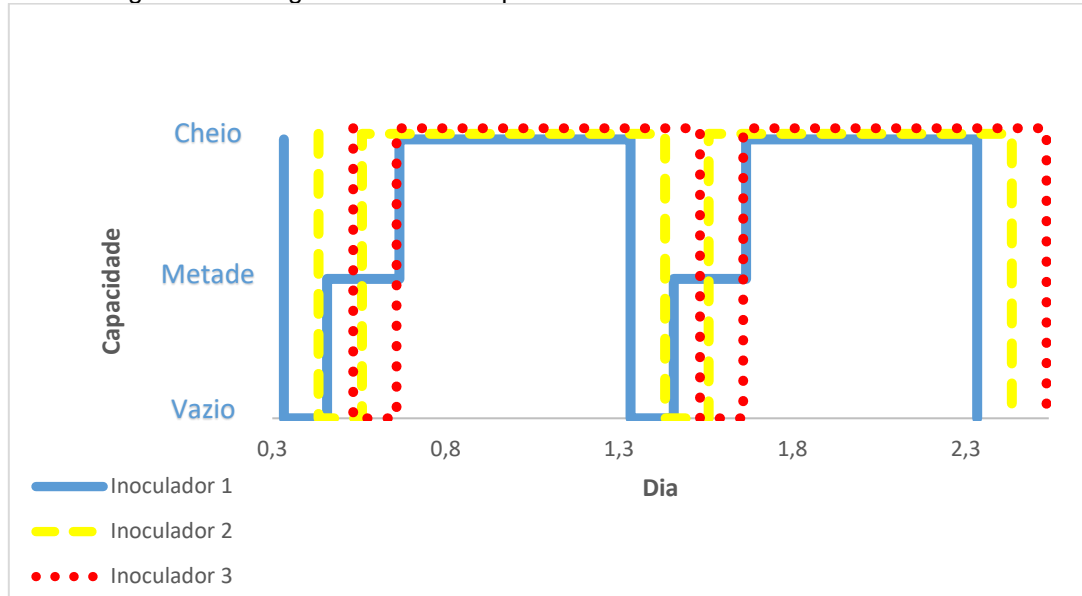
ESC: 1:325

Responsável: Projetista



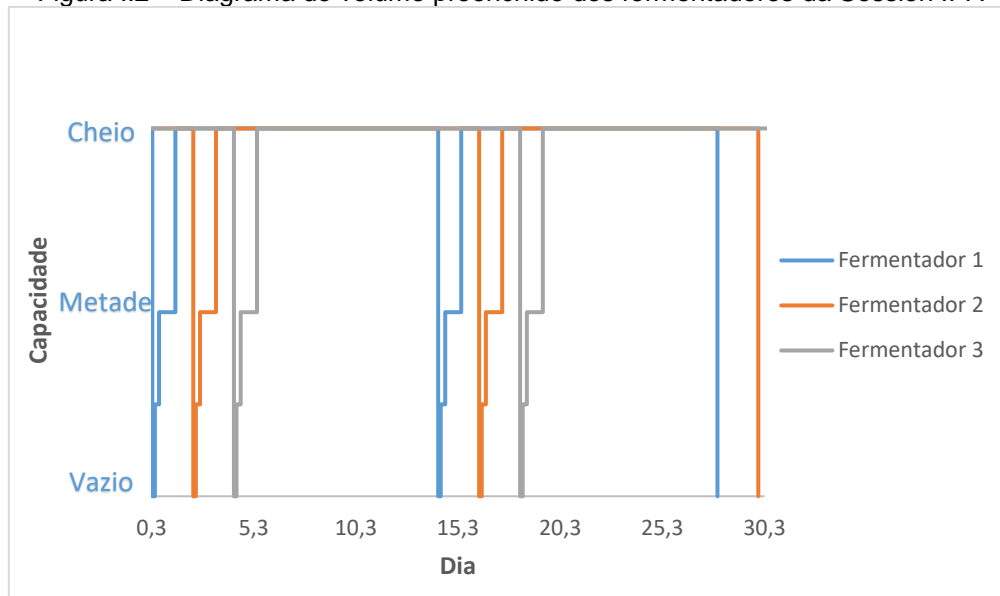
APÊNDICE I

Figura I.1 – Diagrama do volume preenchido dos inoculadores da Offenheit



Fonte: Autoria Própria (2019).

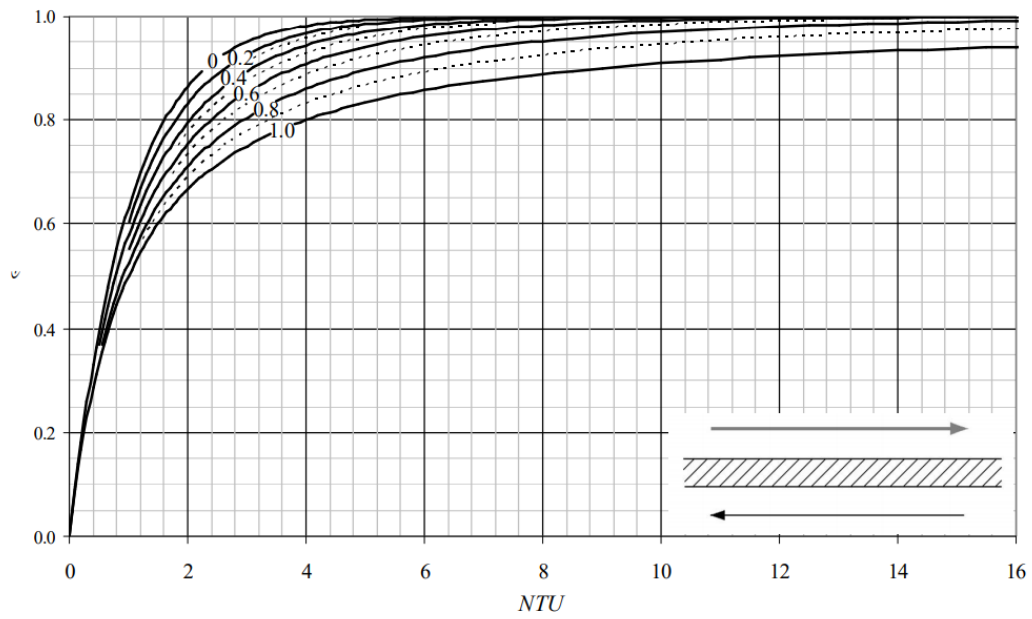
Figura I.2 – Diagrama do volume preenchido dos fermentadores da Session IPA



Fonte: Autoria Própria (2019).

ANEXOS

ANEXO A – Relação entre NTU e efetividade para fluxos de contracorrente.



Fonte: SAARI (2010).