



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
DEQ1023 – ENGENHARIA DE PROCESSOS III**

**Daynara Almeida Lima de Sena  
Lucas da Silva Tavares  
Marcelo Augusto Vicenzi  
Thaís Christine Amoedo Ferreira**

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO E SILICATO DE SÓDIO ALCALINO A  
PARTIR DE CASCA DE ARROZ**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2022**

**Daynara Almeida Lima de Sena**  
**Lucas da Silva Tavares**  
**Marcelo Augusto Vicenzi**  
**Thaís Christine Amoedo Ferreira**

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO E SILICATO DE SÓDIO ALCALINO A  
PARTIR DE CASCA DE ARROZ**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Departamento de  
Engenharia Química da Universidade  
Federal de Santa Maria como parte da  
avaliação da disciplina de Engenharia de  
Processos III e requisito para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia  
Química.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Cancelier

Santa Maria, RS, Brasil

2022

**Daynara Almeida Lima de Sena**  
**Lucas da Silva Tavares**  
**Marcelo Augusto Vicenzi**  
**Thaís Christine Amoedo Ferreira**

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO E SILICATO DE SÓDIO ALCALINO A  
PARTIR DE CASCA DE ARROZ**

Como requisito parcial para obtenção do  
grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado em 11 de Fevereiro de 2022

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Adriano Cancelier, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)

---

Gabriela Carvalho Collazzo, Dra. (UFSM)  
(Professora convidada)

---

Sérgio Luiz Jahn, Dr. (UFSM)  
(Professor convidado)

Santa Maria, RS, Brasil  
2022

## RESUMO

### PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO E SILICATO DE SÓDIO ALCALINO A PARTIR DE CASCA DE ARROZ

AUTORES: Daynara Almeida Lima de Sena, Lucas da Silva Tavares, Marcelo Augusto Vicenzi, Thaís Christine Amoedo Ferreira.

ORIENTADOR: Adriano Cancelier.

Carvão ativado e silicato de sódio são produtos que podem ser obtidos a partir da casca de arroz. Tendo em vista a crescente demanda pela redução de emissões, bem como produtos mais responsáveis para utilização em causas ambientais, o aproveitamento dessa matéria prima proveniente do agronegócio é uma possibilidade promissora para elaborar produtos com uma proposta voltada a aplicações em diversos setores de maneira ecologicamente correta, fazendo com que o mercado esteja receptivo com relação a produção da empresa. Para tornar isso uma realidade, foi desenvolvida a análise de mercado, seleção e dimensionamento da rota produtiva, bem como a viabilidade econômica do projeto. Através da análise de mercado, decidiu-se instalar a empresa na cidade de Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul, devido a proximidade de fornecedores e possíveis consumidores. A partir da rota produtiva, optou-se por utilizar um resíduo agroindustrial da colheita de arroz, a casca do grão especificamente.

Com base nos critérios de decisão, pode-se afirmar que o projeto é economicamente viável para uma produção anual de 15.803,72 toneladas de silicato de sódio e 10.382,82 toneladas de carvão, operando durante 300 dias no ano, com paradas para manutenção programada anual. Primeiramente, a condição da  $TIR > TMA$  é satisfeita, uma vez que foi obtida uma TIR de 32% a.a. versus uma TMA de 9,25% a.a. Então, tem-se um VPL de R\$ 17.725.655,86, logo, por ser positivo, a viabilidade do projeto é comprovada. Ademais, estima-se que o *payback time* ocorrerá entre o ano 3 e o ano 4 de operação da empresa, ou seja, a partir desse período, o capital investido é recuperado.

**Palavras-chave:** Casca de arroz, carvão ativado, silicato de sódio.

## ABSTRACT

### PRODUCTION OF ACTIVATED CHARCOAL AND ALKALINE SODIUM SILICATE FROM RICE HUSK

AUTHORS: Daynara Almeida Lima de Sena, Lucas da Silva Tavares,  
Marcelo Augusto Vicenzi, Thaís Christine Amoedo Ferreira.

ADVISOR: Adriano Cancelier.

Activated charcoal and sodium silicate are products that can be obtained from rice husk. In view of a growing demand for reducing emissions, as well as more responsible products for use on environmental causes, the use of this raw material from agribusiness is a promising possibility to produce products with an ecologically applied way of thinking in various sectors, making the company's market receptive to the production. In order to make this a reality, a market analysis, selection and economic feasibility dimension of the project was developed. Through market analysis, it was decided to install the company in the city of Pelotas, in the state of Rio Grande do Sul, due to the proximity of possible suppliers and consumers. From the production route, it was decided to use an agro-industrial residue from the rice harvest, the husk of the grain specifically.

Based on the decision criteria, it can be stated that the project is economically viable for an annual production of 15,803.72 tons of sodium silicate and 10,382.82 tons of activated charcoal, operating for 300 days a year, with yearly pauses for scheduled maintenance. First, the condition of  $IRR > TMA$  is satisfied, since an IRR of 32% p.a. was obtained versus a TMA of 9.25% p.a. So, there is an NPV of R\$ 17,725,655.86. As it is positive, the project's viability is proven. Furthermore, it is estimated that the payback time will occur between year 3 and year 4 of the company's operation, that is, from this period onwards, the invested capital is recovered.

**Keywords:** Rice husk, activated charcoal, sodium silicate.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Produção de casca de arroz no Brasil no período de 2016 a 2018. ....	32
Figura 2 - Produção de casca de arroz no Rio Grande do Sul no período de 2016 a 2018. ....	33
Figura 3 - Tamanho estimado para o mercado de carvão ativado no período de 2014 a 2025. ....	37
Figura 4 - Taxa de crescimento do mercado de carvão ativado por região no período de 2021 a 2026. ....	38
Figura 5 - Dados de importação/exportação de carvão ativado para o Brasil. ....	39
Figura 6 - Rota de acesso entre os fornecedores. ....	43
Figura 7 - Representação do processo de pirólise. ....	55
Figura 8 - Processo autotérmico da patente WO 2015/168763 AI. ....	57
Figura 9 - Diagrama de blocos do processo. ....	60
Figura 10 – Fluxograma da produção de silicato de sódio alcalino, carvão ativado em pó e peletizado. ....	62
Figura 11 – Layout geral. ....	95
Figura 12 – Layout dos equipamentos. ....	97
Figura 13 – Layout completo com equipamentos e instalações. ....	99
Figura 14 – Controle e instrumentação para o carbonizador. ....	102
Figura 15 – Fluxo de caixa para os primeiros 10 anos de operação. ....	124

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados correspondentes ao fornecimento de matéria-prima.....	42
Tabela 2 – Especificações do silicato de sódio alcalino. ....	51
Tabela 3 - Relação entre parâmetros operacionais e seus respectivos produtos formados na pirólise. ....	54
Tabela 4 – Descrição do transporte da casca de arroz. ....	64
Tabela 5 – Demanda de vapor para os trocadores de calor. ....	69
Tabela 6 – Consumo de água diário. ....	74
Tabela 7 – Demanda de água para os ambientes internos. ....	76
Tabela 8 – Demanda de tubulação PVC para água fria. ....	76
Tabela 9 – Demanda de tubulação de aço carbono para água fria. ....	76
Tabela 10 – Demanda de água quente no processo. ....	77
Tabela 11 – Demanda de água quente civil. ....	78
Tabela 12 – Tubulação de água quente. ....	78
Tabela 13 – Demanda diária de vapor. ....	79
Tabela 14 – Tubulações de vapor e condensado. ....	79
Tabela 15 – Demanda de ar comprimido. ....	80
Tabela 16 – Tubulação PPR de ar comprimido. ....	81
Tabela 17 - Estimativa de produção de produtos e consumo de matéria prima e reagentes por ciclo. ....	85
Tabela 18 – Balanço de massa para 1 ciclo. ....	86
Tabela 19 – Balanço de massa para um tanque de ativação. ....	87
Tabela 20 – Balanço de massa para 1 filtro prensa. ....	88
Tabela 21 – Balanço de massa para o tanque de lavagem. ....	88
Tabela 22 – Balanço de massa para o secador tambor rotativo. ....	89
Tabela 23 – Balanço de massa para o tanque de diluição. ....	90
Tabela 24 – PCS e PCI para casca de arroz e Biochar. ....	91
Tabela 25 – Energia para casca de arroz, Biochar, voláteis e descontada. ....	91
Tabela 26 – Resultado das iterações do Apêndice B.4.3. ....	92
Tabela 27 – Instrumentos utilizados no controle e instrumentação. ....	100
Tabela 28 – Custos com construção civil. ....	104
Tabela 29 - Investimento inicial para implantação da empresa. ....	105
Tabela 30 – Custos com equipamentos do processo. ....	106

Tabela 31 - Custos com acessórios. ....	107
Tabela 32 – Resumo dos custos com utensílios. ....	108
Tabela 33 – Custos com utensílios para escritório e sala de reunião. ....	108
Tabela 34 – Custos com móveis e recepção.....	109
Tabela 35 – Custos com banheiro e vestiários.....	110
Tabela 36 – Custos com refeitório.....	110
Tabela 37 – Custos com EPIs e uniformes. ....	111
Tabela 38 – Custos com oficina. ....	112
Tabela 39 – Custos com equipamentos do controle da qualidade.....	112
Tabela 40 – Resumo dos custos operacionais.....	114
Tabela 41 – Custos com mão de obra. ....	115
Tabela 42 – Custos com energia elétrica. ....	117
Tabela 43 – Custos com depreciação. ....	119
Tabela 44 – Taxa das alíquotas. ....	120
Tabela 45 – Projeção do fluxo de caixa. ....	122
Tabela 46 – Payback.....	123
Tabela 47 – Simulação de financiamento com o BNDES. ....	125
Tabela 48 - Estimativa de produção de produtos e consumo de matéria prima e reagentes por ciclo.....	141
Tabela 49 – Detalhamento do balanço de massa para 1 ciclo.....	141
Tabela 50 – Caracterização do Biochar. ....	143
Tabela 51 – Caracterização das cinzas. ....	143
Tabela 52 – Detalhamento do balanço de massa para o tanque de ativação.....	143
Tabela 53 – Detalhamento do balanço de massa para o filtro prensa. ....	145
Tabela 54 – Detalhamento do balanço de massa para o tanque de lavagem.....	146
Tabela 55 – Detalhamento do balanço de massa para o secador tambor rotativo..	147
Tabela 56 – Detalhamento do balanço de massa no tanque de diluição. ....	147
Tabela 57 – Destino da água de reciclo. ....	149
Tabela 58 – Procedência da água de lavagem. ....	149
Tabela 59 – Composição elementar da casca de arroz. ....	153
Tabela 60 – Valores obtidos para PCS e PCI. ....	153
Tabela 61 – Valores obtidos de energia.....	153
Tabela 62 – Dados dos componentes do tanque de diluição.....	155
Tabela 63 - Valores utilizados para interpolação.....	155

Tabela 64 - Coeficientes utilizados no cálculo do Cp. ....	156
Tabela 65 – Resultado das iterações. ....	157
Tabela 66 – Entalpias de formação a 25 °C. ....	160
Tabela 67 – Resumo do balanço de energia para o tanque de ativação. ....	160
Tabela 68 – Dimensionamento dos trocadores de calor. ....	163
Tabela 69 – Vazões de projeto para água fria.....	175
Tabela 70 – Vazões de projeto por trecho. ....	175
Tabela 71 – Detalhamento da tubulação de água fria.....	179
Tabela 72 - Dimensionamento da tubulação de água fria para o processo. ....	182
Tabela 73 – Vazão de água quente por trecho. ....	184
Tabela 74 – Detalhamento por trecho de tubulação.....	185
Tabela 75 – Dimensionamento da água quente de processo. ....	186
Tabela 76 – Pressão de vapor. ....	187
Tabela 77 – Dimensionamento da linha de vapor. ....	188
Tabela 78 – Perda de carga para tubulação de vapor. ....	189
Tabela 79 – Dimensionamento para retorno de condensado.....	191
Tabela 80 – Vazões de compressão para os equipamentos de maior consumo. ...	192
Tabela 81 – Resumo do dimensionamento de ar comprimido. ....	193

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aplicações e funções do silicato de sódio. ....	35
Quadro 2 - Concorrentes para o mercado de carvão ativado e silicato de sódio. ....	42
Quadro 3 - Modelo de negócio (CANVAS).....	45
Quadro 4 - Viabilidade Econômica Simplificada.....	50
Quadro 5 - Caracterização da casca de arroz (b.s - base seca). ....	53
Quadro 6 - Tempo estimado para etapas da produção de silicato de sódio alcalino. .....	70
Quadro 7 - Tempo estimado para etapas da produção de carvão ativado em pó. ....	70
Quadro 8 - Tempo estimado para etapas da produção de carvão ativado peletizado. .....	70
Quadro 9 – Escala de produção para silicato de sódio alcalino. ....	71
Quadro 10 - Escala de produção para carvão ativado em pó. ....	72
Quadro 11 - Escala de produção para carvão ativado peletizado. ....	73
Quadro 12 - Detalhamento dos custos com a matéria prima para produção. ....	115

## LISTA DE ABREVIATURAS

CAGR – Compound Anual Growth Rate  
CC – Coeficiente de custo de carga e descarga  
CCD – Coeficiente de custo de deslocamento  
CIA – Companhia  
CLF – Certificado de Licença de Funcionamento  
COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social  
CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito  
CRC – Certificado de Registro Cadastral  
CSLL – Contribuição Social Sobre o Lucro Líquido  
DLP – Descarga Livre Padrão  
ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços  
IPI – Imposto sobre Produto Industrializado  
IRPJ – Imposto de Renda Pessoa Jurídica  
FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler  
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo  
ICMS – Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços  
LB - Libra  
LI – Licença de Instalação  
LO – Licença de Operação  
LP – Licença Prévia  
LTDA – Limitada  
MDIC – Ministério do Desenvolvimento da Indústria e Comércio  
PCI – Poder calorífico inferior  
PCS – Poder calorífico superior  
PIS – Programa de Integração Social  
SAC – Serviço de Atendimento ao Cliente  
SACRE – Sistema de Amortização Crescente  
SCH - Schedule  
SQA – Secretaria Municipal de Qualidade Ambiental  
ST – Substituição Tributária  
TIR – Taxa Interna de Retorno  
TMA – Taxa mínima de atratividade

UV – Ultravioleta

VPL – Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	29
1.1	OBJETIVOS .....	29
1.2	JUSTIFICATIVA .....	30
2.	MATÉRIA PRIMA: CASCA DE ARROZ .....	31
2.1	DISPONIBILIDADE DE MATÉRIA PRIMA NO BRASIL .....	31
3.	DEFINIÇÕES DOS PRODUTOS .....	34
3.1	CARVÃO ATIVADO E SUAS APLICAÇÕES.....	34
3.2	SILICATO DE SÓDIO E SUAS APLICAÇÕES.....	34
3.3	EMBALAGEM E ROTULAGEM .....	36
4.	ANÁLISE DE MERCADO.....	37
4.1	CENÁRIO GLOBAL PARA CARVÃO ATIVADO .....	37
4.2	CENÁRIO NACIONAL PARA CARVÃO ATIVADO .....	39
4.3	CENÁRIO GLOBAL PARA SILICATO DE SÓDIO .....	40
4.4	CENÁRIO NACIONAL PARA SILICATO DE SÓDIO.....	40
4.5	PÚBLICO-ALVO .....	40
4.6	CONCORRENTES .....	41
4.7	FORNECEDORES .....	42
5.	A EMPRESA .....	44
5.1	LOCALIZAÇÃO DA UNIDADE INDUSTRIAL.....	44
5.2	CAPACIDADE DE PRODUÇÃO .....	44
5.3	MODELO DE NEGÓCIO (CANVAS).....	45
5.3.1	<b>Proposta de valor</b> .....	46
5.3.2	<b>Segmento de clientes</b> .....	46
5.3.3	<b>Canais</b> .....	46
5.3.4	<b>Relacionamento com clientes</b> .....	46
5.3.5	<b>Atividades-chave</b> .....	47
5.3.6	<b>Recursos-chave</b> .....	47
5.3.7	<b>Parceiros-chave</b> .....	47
5.3.8	<b>Fontes de receita</b> .....	47

<b>5.3.9 Estrutura de custos</b> .....	47
<b>5.4 EXIGÊNCIAS LEGAIS</b> .....	47
<b>5.4.1 Licenciamento ambiental</b> .....	48
<b>5.4.2 Produtos químicos sujeitos a controle pela Polícia Federal</b> .....	49
<b>5.5 VIABILIDADE ECONÔMICA SIMPLIFICADA</b> .....	49
<b>5.6 PRODUTOS COMERCIALIZADOS</b> .....	50
<b>5.6.1 Carvão ativado em pó</b> .....	50
<b>5.6.2 Carvão ativado peletizado</b> .....	51
<b>5.6.3 Silicato de sódio alcalino</b> .....	51
<b>6. ANÁLISE DE TECNOLOGIAS</b> .....	53
<b>6.1 OBTENÇÃO DE BIOCHAR A PARTIR DO TRATAMENTO TÉRMICO DA BIOMASSA</b> .....	53
<b>6.1.1 Pirólise lenta ou convencional</b> .....	55
<b>6.1.2 Pirólise via processo autotérmico – Patente WO 2015/168763 AI</b> .....	55
<b>6.1.3 Escolha tecnológica da pirólise</b> .....	57
<b>6.2 OBTENÇÃO DE CARVÃO ATIVADO</b> .....	57
<b>6.2.1 Ativação física e tratamento térmico com CO<sub>2</sub></b> .....	58
<b>6.2.2 Lixiviação alcalina para extração de sílica</b> .....	58
<b>6.2.3 Escolha das tecnologias para ativação</b> .....	59
<b>7. DEFINIÇÃO DO PROCESSO</b> .....	60
<b>7.1 DIAGRAMA DE BLOCOS</b> .....	60
<b>7.2 FLUXOGRAMA E DETALHAMENTO</b> .....	61
<b>7.2.1 Recepção e armazenamento de matéria-prima</b> .....	63
<b>7.2.2 Peneira</b> .....	64
<b>7.2.3 Esteira de transporte</b> .....	64
<b>7.2.4 Reator de processamento</b> .....	65
<b>7.2.5 Caldeira</b> .....	65
<b>7.2.6 Flare</b> .....	66
<b>7.2.7 Tanque de ativação</b> .....	66
<b>7.2.8 Tanque de diluição</b> .....	66
<b>7.2.9 Filtro prensa</b> .....	67
<b>7.2.10 Secador tambor rotativo</b> .....	67
<b>7.2.11 Moinho</b> .....	67

7.2.12	<b>Peletizadora</b> .....	68
7.2.13	<b>Envasadora</b> .....	68
7.2.14	<b>Ensacadeira</b> .....	68
7.2.15	<b>Trocador de calor</b> .....	68
7.3	PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO.....	69
7.4	UTILIDADES DO PROCESSO .....	74
7.4.1	<b>Instalações de água fria</b> .....	74
7.4.2	<b>Instalações de água quente</b> .....	77
7.4.3	<b>Instalações de vapor e condensado</b> .....	78
7.4.4	<b>Instalações de ar comprimido</b> .....	79
7.4.5	<b>Bombas</b> .....	81
7.5	CONTROLE DA QUALIDADE .....	81
7.5.1	<b>Controle da qualidade do carvão ativado</b> .....	82
7.5.2	<b>Controle da qualidade do silicato de sódio alcalino</b> .....	82
7.5.3	<b>Equipamentos do laboratório de controle da qualidade</b> .....	83
7.6	TRATAMENTO DE EFLUENTES .....	84
8.	PROJETO DO PROCESSO.....	85
8.1	BALANÇO DE MASSA .....	85
8.1.1	<b>Carbonizadores (RC-101 a RC-106)</b> .....	86
8.1.2	<b>Tanques de ativação (TA-101 a TA-103)</b> .....	87
8.1.3	<b>Filtros prensa (FP-101 a FP-104)</b> .....	87
8.1.4	<b>Tanque de lavagem (TL-101)</b> .....	88
8.1.5	<b>Secador tambor rotativo (ST-101)</b> .....	89
8.1.6	<b>Tanques de diluição (TD-101 a TD-102)</b> .....	89
8.1.7	<b>Peletizadora (P-101)</b> .....	90
8.2	BALANÇO DE ENERGIA.....	90
8.2.1	<b>Balanço de energia para os Carbonizadores (RC-101 a RC-106)</b> .....	90
8.2.2	<b>Balanço de energia para o secador tambor rotativo (ST-101)</b> .....	91
8.2.3	<b>Balanço de energia para o tanque de diluição (TD-101 a TD-102)</b> ....	92
8.2.4	<b>Balanço de energia para o tanque de ativação (TA-101 a TA-103)</b> .....	92
8.2.5	<b>Balanço de energia para a caldeira (C-101)</b> .....	93
8.2.6	<b>Balanço de energia para equipamentos com uso exclusivamente elétrico</b> .....	93

9.	PROJETO DAS INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS .....	94
9.1	LAYOUT .....	94
9.1.1	<i>Layout geral</i> .....	94
9.1.2	<i>Layout dos equipamentos</i> .....	96
9.1.3	<i>Layout das instalações</i> .....	98
10.	CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO DO PROCESSO .....	100
10.1	INSTRUMENTOS DOS CARBONIZADORES .....	100
10.2	ESTRATÉGIA DE CONTROLE .....	101
11.	ANÁLISE ECONÔMICA .....	104
11.1	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DA UNIDADE INDUSTRIAL .....	104
11.1.1	<i>Custos com construção civil</i> .....	104
11.1.2	<i>Custos com licenciamento, seguro e manutenção</i> .....	104
11.1.3	<i>Custos com equipamentos</i> .....	105
11.1.4	<i>Custos com acessórios</i> .....	107
11.1.5	<i>Custos com utensílios</i> .....	108
11.1.6	<i>Custos com controle de qualidade</i> .....	112
11.2	CUSTOS OPERACIONAIS .....	114
11.2.1	<i>Custos com matéria-prima</i> .....	114
11.2.2	<i>Custos com mão de obra</i> .....	115
11.2.3	<i>Custos com energia elétrica</i> .....	117
11.2.4	<i>Custos com depreciação</i> .....	118
11.2.5	<i>Custos com alimentação</i> .....	120
11.3	IMPOSTOS .....	120
11.4	FLUXO DE CAIXA.....	121
11.4.1	<i>Financiamento</i> .....	125
11.4.2	<i>Taxa mínima de atratividade (TMA)</i> .....	126
11.4.3	<i>Valor presente líquido (VPL)</i> .....	126
11.4.4	<i>Taxa interna de retorno (TIR)</i> .....	126
12.	CONCLUSÃO .....	128
	APÊNDICES.....	140
	APÊNDICE A – BALANÇO DE MASSA .....	140

A.1	BALANÇO DE MASSA POR CICLO.....	140
A.2	BALANÇO DE MASSA POR EQUIPAMENTO .....	141
A.2.1	Carbonizadores (RC-101 a RC-106).....	141
A.2.2	Tanques de ativação (TA-101 a TA-103).....	143
A.2.3	Filtros prensa (FP-101 a FP-104) .....	145
A.2.4	Tanque de lavagem (TL-101).....	146
A.2.5	Secador tambor rotativo (ST-101).....	147
A.2.6	Tanques de diluição (TD-101 a TD-102).....	147
A.2.7	Peletizadora (P-101) .....	148
A.2.8	Reaproveitamento da água de lavagem .....	148
	APÊNDICE B – BALANÇO DE ENERGIA .....	151
B.3	BALANÇO DE ENERGIA.....	151
B.4	BALANÇO DE ENERGIA POR EQUIPAMENTO.....	151
B.4.1	Carbonizadores (RC-101 a RC-106).....	151
B.4.2	Secador tambor rotativo (ST-101).....	154
B.4.3	Tanques de diluição (TD-101 a TD-102).....	155
B.4.4	Tanques de ativação (TA-101 a TA-103).....	157
B.4.5	Caldeira (C-101) .....	161
B.4.6	Flare (F-101) .....	161
B.4.7	Ensacadeira de carvão ativado em pó (ENS-101) .....	162
B.4.8	Ensacadeira de carvão ativado peletizado (ENS-102).....	162
B.4.9	Envasadora de silicato de sódio alcalino (ENV-101) .....	162
B.4.10	Moinho (M-101).....	162
B.4.11	Peletizadora (P-101) .....	162
B.4.12	Trocador de calor.....	162
	APÊNDICE C – LAYOUTS.....	165

C.1 LAYOUT GLOBAL .....	165
C.2 LAYOUT DOS EQUIPAMENTOS .....	166
C.3 LAYOUT DAS INSTALAÇÕES DE VAPOR E CONDENSADO.....	167
C.4 LAYOUT DAS INSTALAÇÕES DE ÁGUA QUENTE CIVIL .....	169
C.5 LAYOUT DAS INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA CIVIL .....	171
C.6 LAYOUT DAS INSTALAÇÕES DE AR COMPRIMIDO.....	173
APÊNDICE D – INSTALAÇÕES .....	175
D.1 INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA .....	175
D.2 INSTALAÇÕES DE ÁGUA QUENTE .....	184
D.3 INSTALAÇÕES DE VAPOR .....	187
D.4 INSTALAÇÕES DE RETORNO DE CONDENSADO .....	190
D.5 INSTALAÇÕES DE AR COMPRIMIDO .....	192
APÊNDICE E – CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO .....	194
ANEXO A.1 – CARBONIZADOR.....	196
ANEXO A.2 – TANQUE DE ATIVAÇÃO .....	198
ANEXO A.3 – TANQUE DE RECIRCULAÇÃO .....	201
ANEXO A.4 – TANQUE DE LAVAGEM .....	202
ANEXO A.5 – FILTRO PRENSA .....	203
ANEXO A.6 – SECADOR TAMBOR ROTATIVO .....	205
ANEXO A.7 – CALDEIRA.....	208
ANEXO A.8 – MOINHO.....	211
ANEXO A.9 – TROCADOR DE CALOR.....	214
ANEXO A.10 – FLARE .....	217
ANEXO A.11 – TANQUE PULMÃO .....	219
ANEXO A.12 – TANQUE DE DILUIÇÃO.....	221
ANEXO A.13 – TANQUE DE MISTURA .....	223

ANEXO A.14 – PENEIRA.....	225
ANEXO B – EQUIPAMENTOS AUXILIARES.....	228
ANEXO B.1 – ESTEIRA DE TRANSPORTE.....	228
ANEXO B.2 – COMPRESSOR.....	230
ANEXO B.3 – ENSACADEIRA.....	233
ANEXO B.4 – ENSACADEIRA BIG BAG .....	235
ANEXO B.5 – ENVASADORA.....	237
ANEXO B.6 – PELETIZADORA .....	238
ANEXO B.7 – MISTURADOR .....	240
ANEXO B.8 – TOMBADOR.....	242
ANEXO B.9 – AQUECEDOR .....	243
ANEXO B.10 – ISOLAMENTO LÃ DE ROCHA.....	245
ANEXO B.11 – PURGADOR TIPO BÓIA (LINHA DE VAPOR).....	247
ANEXO B.12 – PURGADOR TIPO BÓIA (LINHA DE AR COMPRIMIDO).....	248
ANEXO B.13 – FILTRO REGULADOR LUBRIFICADOR .....	249
ANEXO B.14 – CAIXA D'ÁGUA .....	250
ANEXO C – UTILIDADES .....	251
ANEXO C.1 – BOMBA .....	251

## 1. INTRODUÇÃO

Carvão ativado e silicato de sódio podem ser empregados para as mais diversas finalidades, desde adsorventes para o tratamento de água, no caso do carvão, até como matéria prima para fabricação de detergentes e adesivos no caso do silicato. O uso da casca de arroz como matéria prima para produção de carvão ativado é um projeto que tem seu uso dependente da adequação de suas características básicas (não-grafitizável, alto teor de carbono fixo) para esta finalidade (NEVES, 2015).

A obtenção desses produtos é dada a partir da carbonização, ativação e separação do material escolhido. O estado do Rio Grande do Sul, por ser o maior produtor de arroz do país, oferece condições ideais para implantação da unidade industrial, possibilitando fácil acesso, baixo custo de aquisição e adaptação do processo como um todo ao cenário e às condições operacionais de projeto.

O desenvolvimento de uma empresa voltada à produção de produtos como carvão ativado tem fundamentação em inúmeros pilares. Um aumento na demanda para atender normas de controle das mais diversas formas de emissões, aliado a uma crescente conscientização ambiental por parte da população e a necessidade de suprir condições para uma crescente demográfica, torna produtos como o carvão ativado e silicato de sódio muito relevantes no contexto em que vivemos. A sociedade atual vem exigindo não só um bom desempenho dos materiais sob o ponto de vista técnico e funcional mas, principalmente, um conhecimento de suas interações com o meio ambiente, em busca daqueles cuja obtenção ou utilização se faça com o mínimo consumo energético e menor impacto ecológico (DELLA, 2005).

Além de uma necessidade de mercado, a produção da empresa tem o potencial de ajudar a minimizar o impacto ambiental provocado pelo destino dos resíduos da produção, bem como dar uma finalidade para os mesmos, onde há agregação de valor no produto e geração de emprego e renda para a comunidade.

### 1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da implantação de uma unidade industrial de produção de carvão ativado e silicato de sódio a partir da carbonização de casca de arroz proveniente de resíduo agroindustrial. Para que isso seja possível, serão realizados:

- Análise de mercado, buscando identificar a demanda dos futuros clientes, o

comportamento da concorrência no segmento e as condições ideais de fornecimento de matéria-prima;

- Caracterização e descrição das rotas tecnológicas plausíveis, a fim de realizar a escolha do processo produtivo que melhor se adapte às condições do projeto;
- Realização dos cálculos necessários para a execução e manutenção do projeto, como balanços de massa e energia, dimensionamento de equipamentos e utilidades escolhidos para o bom funcionamento do projeto;
- Análise da viabilidade econômica para instalação, manutenção e retorno financeiro do projeto.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A utilização de resíduos agroindustriais para a elaboração de produtos com valor agregado é uma prática cada vez mais comum no cotidiano contemporâneo. Tendo em vista o contexto do mercado e o impacto ambiental, a implantação de uma indústria que utiliza a casca de arroz de forma nobre, para a produção de compostos adsorventes e aditivos químicos com inúmeras finalidades, projeta a região e o setor para um patamar de maior destaque. Com isso, tem-se:

- Impacto ambiental positivo: A produção de carvão ativado e silicato de sódio a partir da casca de arroz reduzirá o descarte deste material no meio ambiente e, por consequência, auxiliará na preservação da fauna e flora da região. Além disso, a produção de carvão ativado e silicato de sódio por esta matéria-prima alternativa também contribui para a redução do consumo das matérias-primas tradicionais para sua produção, como a madeira e a extração mineral, por exemplo;
- Redução de custos: A utilização do material, de baixo valor de aquisição, permite a viabilização do processo e seus produtos;
- Movimentação do cenário e estímulo no setor empresarial;
- Aproveitamento de matéria-prima de resíduo do agronegócio, através de uma parceria com produtores e beneficiadores locais de grãos: O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas do mundo e gera anualmente grandes quantidades de resíduos agroindustriais com potencial de se tornarem problemas ambientais caso não reutilizados. O emprego da carbonização da casca de arroz para produção de carvão ativado e silicato de sódio possibilita o aproveitamento da matéria-prima no processo.

## **2. MATÉRIA PRIMA: CASCA DE ARROZ**

Segundo Armesto (2002) a casca de arroz é uma capa que envolve o grão, representando em torno de 20% de sua massa. Após a combustão dessa casca restam 22,6% de cinzas altamente concentradas em sílica (95,8%) (IRGA, 2007). Sua constituição é representada por celulose, lignina e material inorgânico. Schettino Jr. (2007) descreve a casca de arroz como uma matéria prima de baixo custo e de difícil reaproveitamento devido a propriedades negativas, como abrasividade e baixo valor nutritivo, resistência à degradação, grande volume ocupado e alto teor de cinzas.

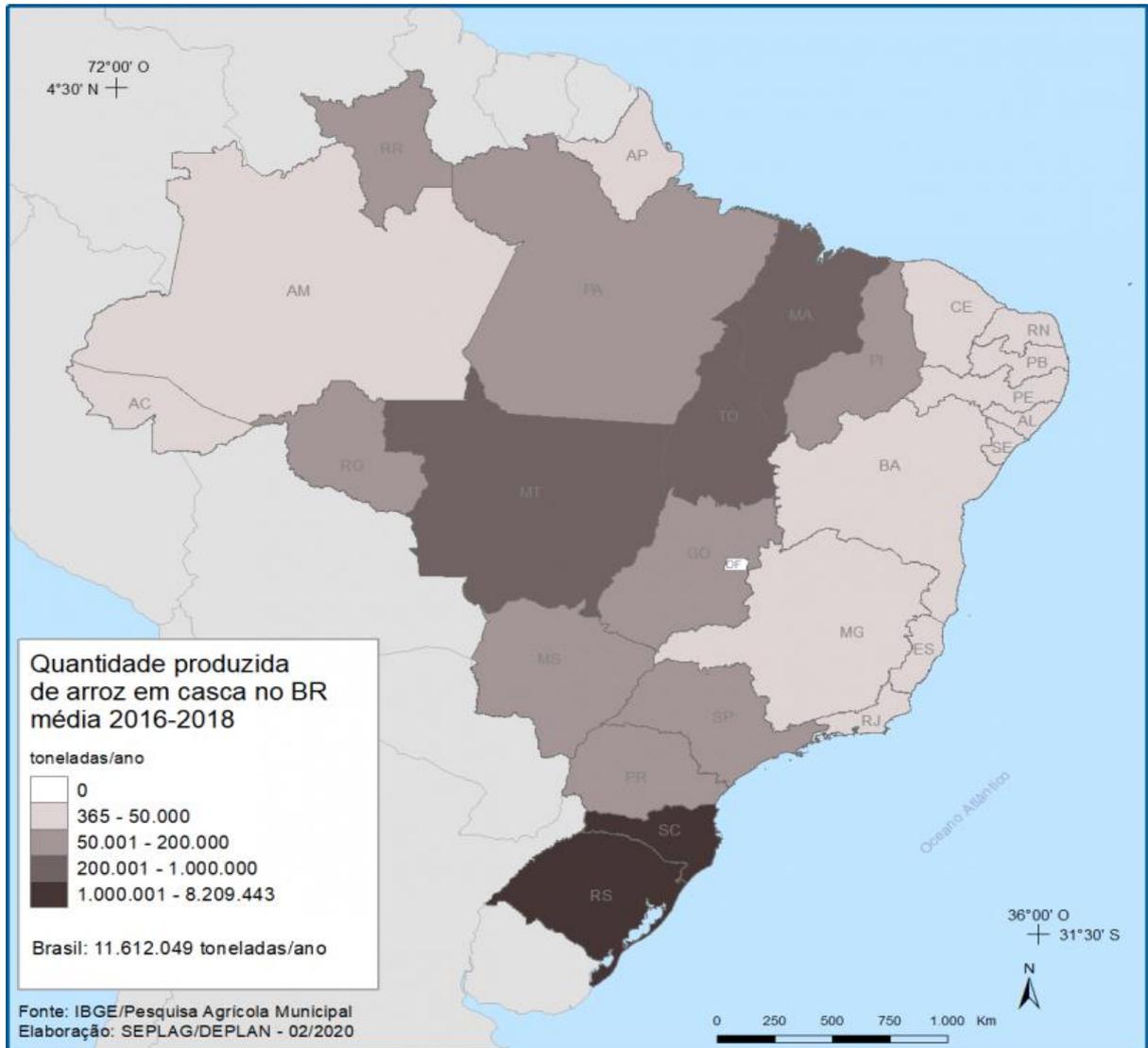
A população mundial está crescendo exponencialmente nas últimas décadas e, seguindo essa tendência, a produção de cereais e grãos para sua alimentação também. Assim, a produção de arroz no país necessita atender uma grande quantidade de pessoas, visto que o Brasil está situado na 6ª colocação do ranking mundial, com 214 milhões de pessoas (WORLDMETER, 2021).

Conforme as estatísticas, o crescimento da produção de arroz também tem demonstrado um constante aumento, objetivando atender a demanda populacional. Em 1961, a produção mundial de arroz com casca girava em torno de 215 milhões de toneladas. Em 2018, a produção de arroz mundial foi de 782 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2021).

### **2.1 DISPONIBILIDADE DE MATÉRIA PRIMA NO BRASIL**

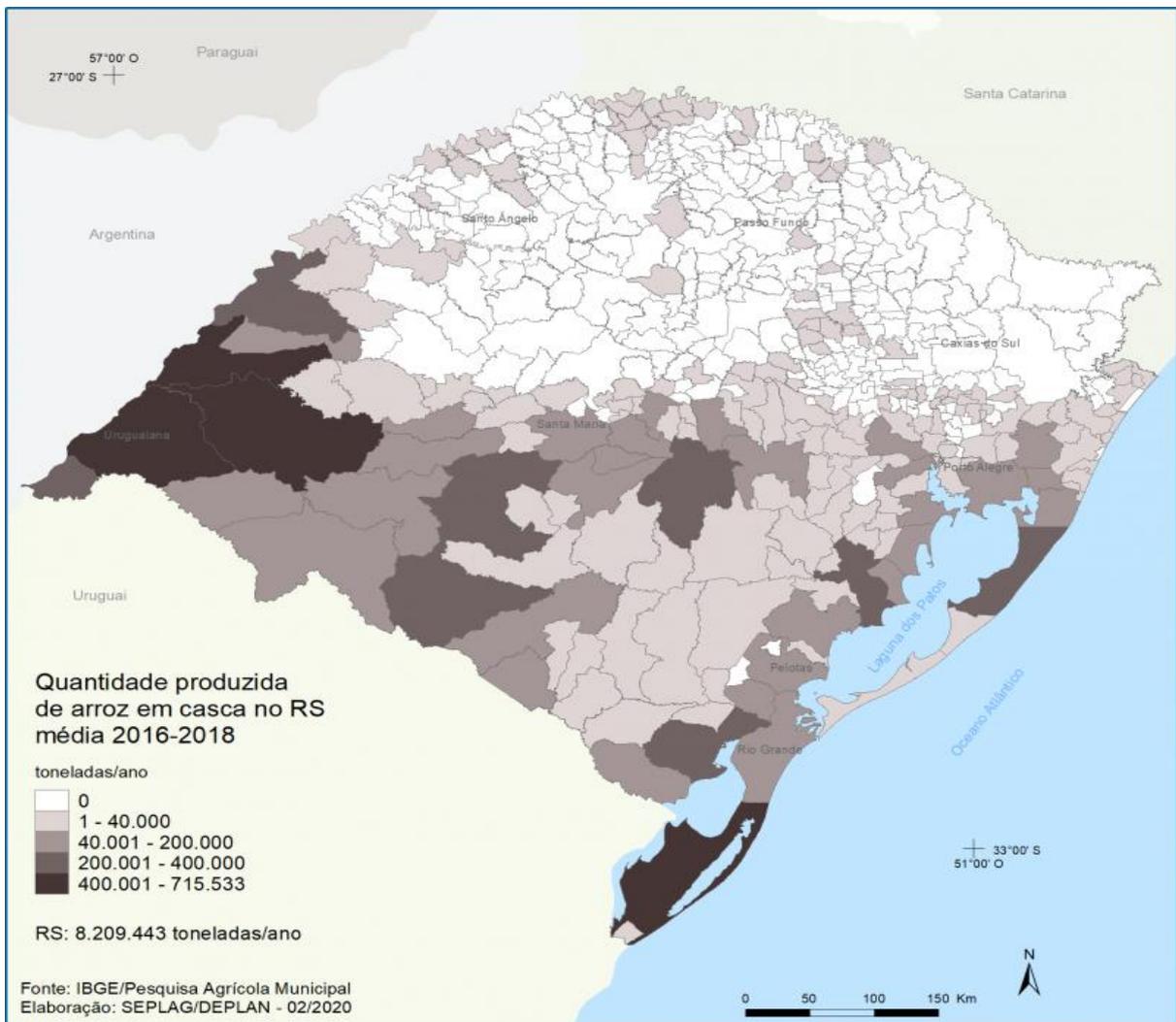
A casca de arroz é separada do grão e geralmente fica restrita a regiões onde há o plantio e beneficiamento de arroz. O grão é transportado para as demais regiões, ou exportado para outros países, enquanto a casca torna-se um resíduo agroindustrial. Para investigar a disponibilidade de matéria prima no mercado foi realizada uma análise das regiões produtoras no Brasil. Na Figura 1 são expostos cenários nacional e estadual no período de 2016 a 2018, onde é possível avaliar que a região sul do país, particular o estado do Rio Grande do Sul, é destaque por conta da maior produtividade. A Figura 2 apresenta a produtividade média de casca de arroz por municípios no estado do Rio Grande do Sul, onde é possível observar que a maior produção concentra-se na região sul do estado.

Figura 1 - Produção de casca de arroz no Brasil no período de 2016 a 2018.



Fonte: IBGE (2020).

Figura 2 - Produção de casca de arroz no Rio Grande do Sul no período de 2016 a 2018.



Fonte: IBGE (2020).

Conforme é possível observar, a região Sul possui alta participação na produção agrícola arrozeira, especialmente o estado do Rio Grande do Sul, o maior produtor brasileiro do grão, representando mais de 70% da área ocupada (CONAB, 2021).

### **3. DEFINIÇÕES DOS PRODUTOS**

#### **3.1 CARVÃO ATIVADO E SUAS APLICAÇÕES**

O carvão ativado é um composto químico de origem mineral ou vegetal e apresenta notáveis propriedades atribuídas a sua área superficial, dentre elas destaca-se a eliminação de substâncias de concentração, composição e tamanhos variáveis (REINOSO, 2004).

Uma possibilidade de obtenção desse material provém de resíduos agroindustriais, os quais estão cada vez mais presentes devido à crescente do agronegócio a nível mundial. Com isso, novas buscas visando utilizar os resíduos agroindustriais através do reaproveitamento e da biotransformação surgiram, gerando assim, novos produtos com valor agregado (SILVEIRA e RIES, 2019).

Obtido através da carbonização e ativação da casca de arroz, o produto é economicamente viável, amigável ao meio ambiente e traz um destino mais adequado para os resíduos (DELLA, 2005). O adsorvente pode ser apresentado comercialmente na modalidade pulverizada, granulada ou peletizada, visando desempenhar funções de maneira otimizada, sendo que a aplicação geralmente consiste na remoção de determinados compostos de um fluido.

Na empresa Silicarbon, os produtos do tipo carvão ativado consistirão em: carvão ativado em pó, também conhecido como carvão pulverizado, normalmente utilizado como descolorante, desodorizante, para aplicações de purificação de ar, produtos farmacêuticos, catalisadores e purificação de fontes hídricas; e carvão ativado peletizado, muito utilizado para aplicação em fase gasosa e catálise, purificação da água em aquários de água doce e purificação de gases (ARMELIN e SILVA, 2011).

#### **3.2 SILICATO DE SÓDIO E SUAS APLICAÇÕES**

Silicato de sódio é um composto constituído por dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) e óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ). Estudos sobre esse composto datam da segunda década do século XIX, período em que Von Fuchs realizava experimentos sistemáticos com estes produtos, os quais chamou de “waterglass” ou “vidros líquidos” (VAIL, 1952). Fuchs percebeu que estes produtos serviriam como adesivos, cimentos e pinturas à prova de fogo (ILER, 1979). Em 1841, Kuhlman, professor da Universidade de Lille, implantou uma fábrica para produzi-lo (VAIL, 1952).

O silicato de sódio alcalino é um líquido turvo, podendo ser acinzentado, esverdeado a róseo, inodoro e solúvel em água. Se destaca no mercado por apresentar fácil manipulação, ser atóxico e não inflamável, além de ser um ótimo substituto em formulações e processos que visam alternativas ecologicamente corretas.

O produto pode ser empregado nos mais diversos campos industriais como, por exemplo, dispersante e regulador de pH, entre outras finalidades. Suas utilidades se dão por conta de sua viscosidade, estabilidade química, capacidade de polimerização, potencial modificador de cargas superficiais, entre outras. O Quadro 1 apresenta áreas onde o silicato de sódio pode ser empregado, bem como algumas de suas respectivas funções e aplicações.

Quadro 1 - Aplicações e funções do silicato de sódio.

<b>Aplicação</b>	<b>Função</b>
Tratamento de água	Proteção de metais e tubulações da corrosão em sistema de água potável e de uso industrial, “capturando” ferro e manganês
Têxtil	Estabilização do peróxido de hidrogênio no alvejamento do algodão; lavagem e estonagem de jeans
Cimentos e refratários	Aditivos para acelerar a cura do cimento; agente ligante na produção de refratários; defloculante da argila para pisos, pastilhas e porcelanatos
Fundição	Agente aglomerante no processo silicato/CO <sub>2</sub>
Cerâmica	Forma aglomerados e desestabiliza suspensões
Detergentes	Agente de tamponamento, removendo óleos e graxas; auxiliar na anti-redeposição da sujeira
Reparos automotivos	Útil para selar vazamentos nos furos das galerias de água do cabeçote de um motor

Agricultura	Auxilia no melhor desenvolvimento das plantas, como aveia e arroz; auxiliar de plantas, como o trigo, na criação de resistência a pragas, como pulgão verde
-------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Diatom (2022).

O produto é estável em soluções neutras e alcalinas. Em soluções ácidas, o íon silicato reage com íons hidrogênio para formar ácido silícico, que quando aquecido e calcinado gera sílica gel, uma dura e vítrea substância (AVANZI QUÍMICA, 2021).

Na elaboração deste projeto escolheu-se produzir e comercializar o produto silicato de sódio alcalino em solução.

### 3.3 EMBALAGEM E ROTULAGEM

Como o carvão ativado é um produto sólido, estável e não corrosivo, a empresa irá comercializá-lo de duas formas. A primeira, quando o carvão for em pó é destinado para empresas e indústrias que realizam higienização de água, onde a comercialização será em bags industriais de 1000 kg. Essas bags possuem fácil manuseio, boa flexibilidade, ótimas condições para conservação do produto e são recicláveis.

A segunda opção é para comercialização do carvão peletizado. Neste caso serão utilizadas embalagens plásticas de 25 kg, visto que seria a melhor forma para o transporte e comercialização, tanto para agropecuárias como para empresas maiores, já que esse produto é muito utilizado para limpeza de água em locais menores, como aquários ou caixas d'água.

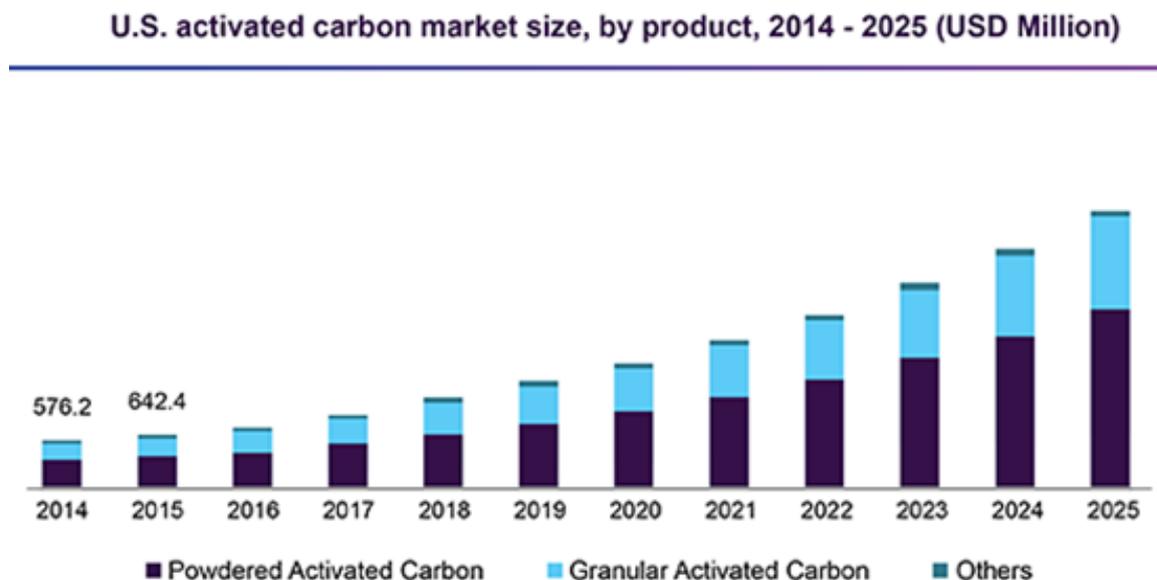
O silicato de sódio, por ser um produto líquido e não corrosivo, será comercializado em galões plásticos de 200 L.

## 4. ANÁLISE DE MERCADO

### 4.1 CENÁRIO GLOBAL PARA CARVÃO ATIVADO

O mercado global de carvão ativado no ano de 2018 foi estimado em USD 4,72 bilhões, onde o produto em pó representou mais de 60% do volume produzido. Conforme estimativas, o mercado futuro apresentará uma taxa de crescimento anual composta (CAGR - *Compound Annual Growth Rate*) de 17,5% até o ano de 2025 (GRAND VIEW RESEARCH, 2019). A Figura 3 expõe as projeções até o ano de 2025 para o tamanho do mercado, onde destaca-se o carvão ativado em pó como a modalidade com maior fatia do mercado.

Figura 3 - Tamanho estimado para o mercado de carvão ativado no período de 2014 a 2025.



Fonte: Grand View Research (2021).

Estudos econômicos posteriores ao ano de 2019 consideram o efeito do vírus Covid-19, visto que no ano de 2020 inúmeras indústrias interromperam sua produção total ou parcialmente em virtude das medidas sanitárias adotadas em todo o mundo. O cenário atual é de que a economia global levará algum tempo para poder ter sua plena recuperação. Para o período entre 2021 e 2026, a previsão de crescimento apresenta uma CAGR maior que 3% (MORDOR INTELLIGENCE, 2021).

Segundo Grand View Research (2019), em 2018 o tratamento de água no mundo representou mais de 40% do consumo de carvão ativado do mundo. Também destaca-se o tratamento de ar, que deve crescer e poderá atingir um valor de USD

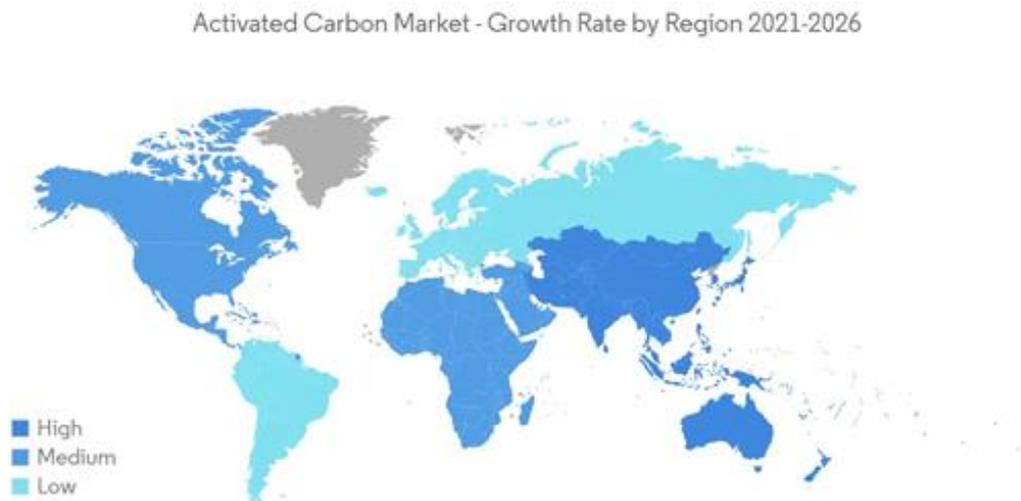
5,82 bilhões, de modo a liderar o mercado durante o período previsto de 2019 a 2025. Isso se deve a crescente demanda de aplicações de purificação de ar de usuários domésticos e comerciais, como filtro para máscaras, tratamento de efluentes gasosos, ar condicionado, entre outros.

Em 2020 o tratamento de água representou 38% do consumo total e foi a maior aplicação de carvão ativado. A purificação de ar e gases representou 24% do total, seguido por aplicações no processamento de alimentos com 19%. Durante o período de 2020 a 2025 não é esperado que essa proporção se altere de forma significativa (IHS MARKIT, 2020).

A China é o segundo maior consumidor de carvão ativado do mundo, seguido pelos Estados Unidos (MORDOR INTELLIGENCE, 2021), conforme é possível observar na Figura 4. O mercado asiático é o mais ativo quando comparado a outras regiões, isso se deve ao elevado número de habitantes e indústrias, fato que impulsiona o consumo de carvão ativado para tratamento de água e tratamento de efluentes industriais, bem como demais aplicações.

Atualmente, os principais players do mercado de carvão ativado incluem Cabot Corporation, Jacobi Carbons Group, Ingevity, Kuraray Co. Ltd. e Haycarb Ltd. e outros.

Figura 4 - Taxa de crescimento do mercado de carvão ativado por região no período de 2021 a 2026.

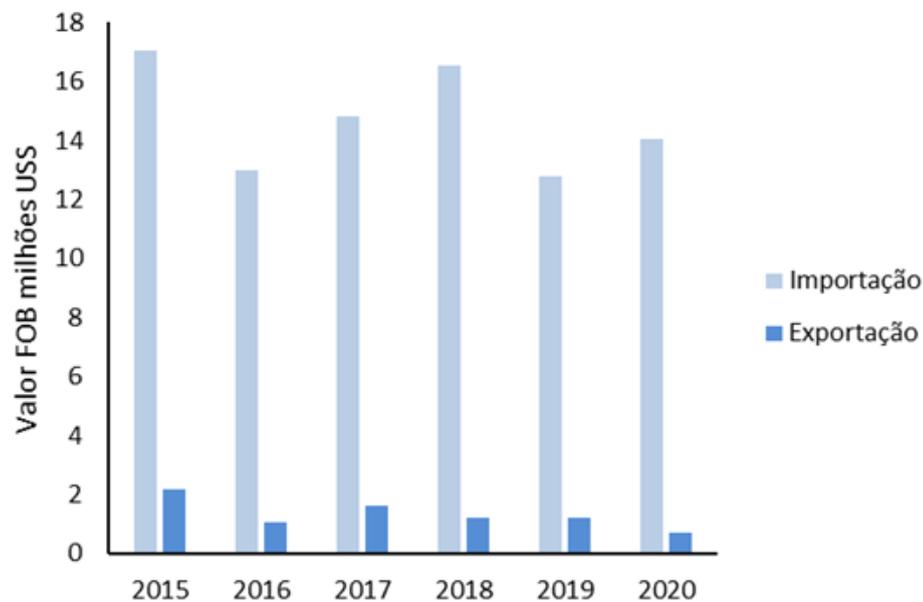


Fonte: Mordor Intelligence (2021).

## 4.2 CENÁRIO NACIONAL PARA CARVÃO ATIVADO

O Brasil possui balança comercial negativa para o carvão ativado. De acordo com o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), no ano de 2020 o país importou mais de 6.187 toneladas e exportou apenas 433 toneladas. A Figura 5 expõe os dados das importações/exportações de carvão ativado durante o período de 2015 a 2020, onde é possível observar que o país possui características importadoras.

Figura 5 - Dados de importação/exportação de carvão ativado para o Brasil.



Fonte: Adaptado de MDIC (2021).

Dentre as possíveis aplicações para o produto, destaca-se o tratamento de águas residuais, onde projeta-se um aumento na demanda. As projeções indicam um cenário onde o fornecimento de água é amplamente atendido até o ano de 2040, de modo que a procura por água potável terá um aumento de 1,6% ao ano (TRATA BRASIL, 2020).

Em conjunto com o crescimento do tratamento de água, tem-se o indicativo de crescimento na demanda por carvão ativado, sendo possível concluir que a demanda de carvão ativado no Brasil tende a crescer em conjunto com a demanda por água potável.

### 4.3 CENÁRIO GLOBAL PARA SILICATO DE SÓDIO

O mercado de silicato de sódio tem crescido em todo mundo. O mercado global de silicato de sódio no ano de 2019 girava em torno de USD 7,2 bilhões. Conforme estimativas, o mercado futuro apresentará uma CAGR de 3,7% até o ano de 2027 (MARKET RESEARCH, 2021), sendo já contabilizando o impacto proveniente da pandemia de Covid-19.

Os principais países participantes no mercado de silicato de sódio são: Estados Unidos, Japão, Alemanha, Índia, China, Espanha e Polônia (MARKETS AND MARKETS, 2018). Sendo os Estados Unidos o maior consumidor deste produto (BRAGA MAGAZINE, 2021).

### 4.4 CENÁRIO NACIONAL PARA SILICATO DE SÓDIO

Segundo MDIC, o Brasil exportou cerca de USD 6.421.931,00 no ano de 2021, o que equivale a aproximadamente 21.463.346 quilogramas-líquido de silicato de sódio, importando apenas 367.524 quilogramas-líquido de silicato de sódio e movimentando um montante de USD 527.436,00. Desse modo, observa-se um mercado de silicato de sódio para exportação promissor.

Essa ascensão do mercado desse produto deve-se a sua utilização, principalmente em detergentes, produtos de limpeza, sabões para lavar roupa e de utilização industrial, pasta de dente, entre outros. Pode-se afirmar a manutenção de um mercado para silicato de sódio, visto que o mesmo desempenha relevante função na limpeza e higienização, considerada essencial no cotidiano da humanidade.

### 4.5 PÚBLICO-ALVO

O carvão ativado pulverizado, também conhecido como carvão ativado em pó, é utilizado como descolorante e desodorizante, contudo, isto não é regra, de modo que o público-alvo para o carvão ativado pulverizado produzido pela empresa terá estações de tratamento de água como destino final. Sua capacidade adsortiva se dá devido à grande área superficial interna, desenvolvida durante seu processo de ativação (BRASCARBO, 2020).

Quando na forma de pellets, por sua vez, o uso é indicado para aplicação em fase gasosa e catálise, principalmente para remoção de odores, tratamento de gases e ambientes (ARMELIN e SILVA, 2011). Portanto, nesta modalidade será utilizado em

sistemas de filtragem para aquários de água doce, águas marinhas ou em aquários de peixes ornamentais.

Para o produto silicato de sódio alcalino, também conhecido como “vidro líquido”, a modalidade será comercializada em solução. O mesmo possui aplicações na indústria de detergentes, onde atua na formulação dos produtos com o intuito de melhorar a eficiência dos tensoativos, também podendo ser usado como agente aglomerante, no tratamento de água, formulação de tintas especiais, eletrodos e precipitados de sílica (MENEGHEL, 2021). Na modalidade alcalino em solução, o público alvo será composto por indústrias que necessitam utilizar o composto como matéria-prima para a produção de outros produtos.

#### **4.6 CONCORRENTES**

Os concorrentes da empresa são compostos por indústrias que possuem produtos com o mesmo foco, voltados às mesmas necessidades e perfil de clientes. Assim, serão entendidos como concorrentes não apenas produtores de carvão ativado de origem vegetal, mas também de origem mineral, ainda sendo considerada a localização, venda de produtos e obtenção de matérias primas semelhantes às utilizadas na empresa Silicarbon.

A desvantagem competitiva de um novo empreendimento, quando comparado a empresas já existentes no mercado, consiste principalmente na experiência já existente das mesmas no segmento, somado a um público consumidor já estabelecido e uma variada gama de produtos já existentes e consolidados.

A possível vantagem competitiva do novo negócio é a utilização de uma matéria prima diferenciada, uma fonte renovável e acessível, trazendo consigo um apelo ambiental considerável e um valor agregado interessante. Vale ressaltar que o arroz é um alimento difundido e abundante na cultura brasileira, de modo que as beneficiadoras do grão processam grandes volumes do alimento, gerando quantidades significativas de casca e, portanto, fornecendo condições ideais para o aproveitamento da mesma. O Quadro 2 apresenta algumas das empresas que produzem carvão ativado e silicato de sódio presentes no site da Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM).

Quadro 2 - Concorrentes para o mercado de carvão ativado e silicato de sódio.

Carvão ativado		Silicato de Sódio	
Empresa	Localização	Empresa	Localização
Alphacarbo	Guarapuava, PR	DAV QUÍMICA	Içara, SC
Bahiacarbon	Valença, BA	DIATOM	Mogi das Cruzes, SP
Brascarbo	Pinhais, PR	MQB CHEMICAL	Criciúma, SC
Carbomafra	Curitiba, PR	PQ	Jabotão dos Guararapes, PE
-	-	PQ SÍLICAS	São Paulo, SP
-	-	RHODIA BRASIL	São Paulo, SP
-	-	UNAPROSIL	São Paulo, SP

Fonte: Adaptado de ABIQUIM (2021).

#### 4.7 FORNECEDORES

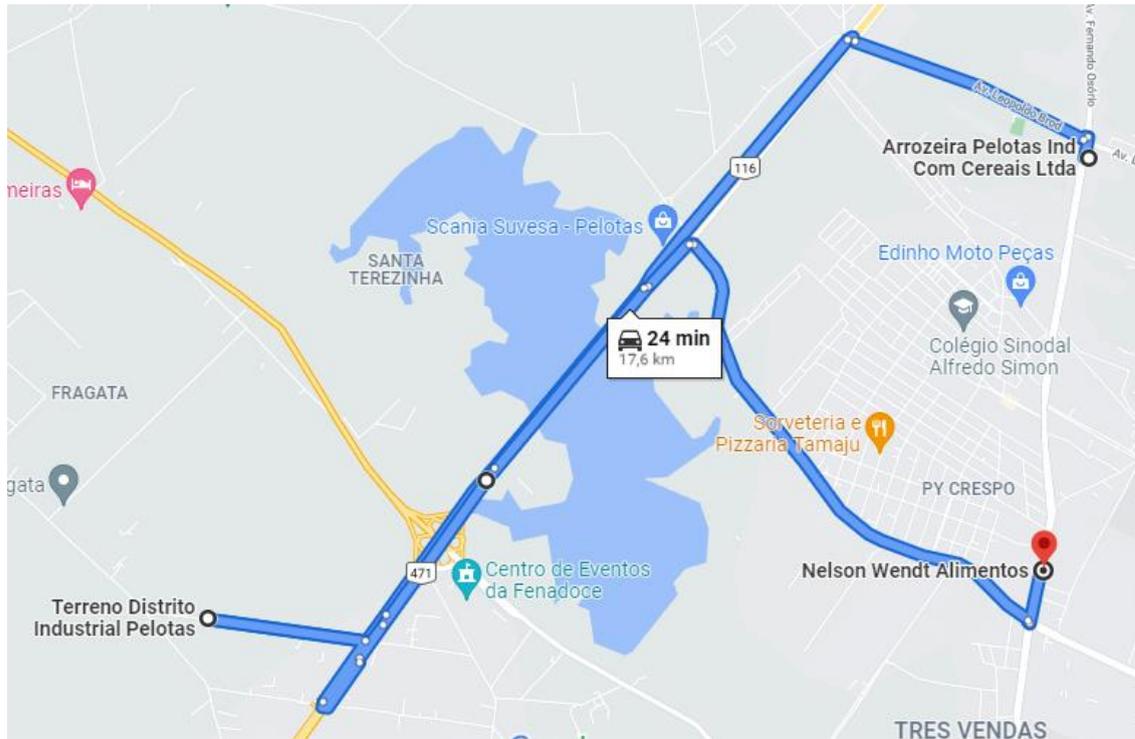
Os fornecedores de casca de arroz estão localizados na rota de coleta de matéria prima, estimada em 25 km e representada na Figura 6, onde há fácil acesso para o transporte via frete de caminhões entre o distrito industrial (local onde será implantada a empresa) e as beneficiadoras do grão. As arrozeiras Pelotas Industria e Comércio de Cereais Ltda. e Nelson Wendt & Cia. Ltda. tem suas capacidades de fornecer matéria prima para a empresa apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados correspondentes ao fornecimento de matéria-prima.

Empresa	Toneladas de arroz beneficiado por ano (80% em massa do grão)	20% da massa do grão (ton/ano)
Arrozeira Pelotas	216.000	54.000
Nelson Wendt	216.000	54.000

Fonte: Autores (2022).

Figura 6 - Rota de acesso entre os fornecedores.



Fonte: Google Maps (2021).

## **5. A EMPRESA**

A empresa Silicarbon busca atender o mercado consumidor de carvão ativado em pó e peletizado, bem como o mercado consumidor de silicato de sódio alcalino em solução, através do processamento de casca de arroz na região sul do Brasil.

### **5.1 LOCALIZAÇÃO DA UNIDADE INDUSTRIAL**

No processo de escolha da localização da unidade industrial inúmeros fatores foram considerados, como a proximidade da matéria-prima, rota de coleta otimizada e mercado consumidor. A matéria-prima utilizada no desenvolvimento dos produtos da empresa é proveniente do resíduo do processamento e beneficiamento do grão de arroz, logo, é interessante que a empresa possua sua instalação próxima à região onde a cultura do grão seja relevante. Isso se traduz nas beneficiadoras escolhidas para o projeto em conjunto detentoras de uma capacidade de 108 mil ton/ano de casca.

O local escolhido para a implantação das instalações foi a cidade de Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul, devido ao fato de possuir grandes beneficiadoras de arroz, além de ser um município gaúcho situado a aproximadamente 60 km do porto de rio grande, o que propicia uma fácil exportação para outros países e/ou transporte para regiões mais distantes do território nacional.

As instalações da empresa estarão situadas no distrito industrial da cidade, por conta da aquisição do terreno e proximidade com relação às fornecedoras de matéria-prima, o que torna possível uma rota otimizada para fretes e viabiliza o processo como um todo.

### **5.2 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO**

A unidade industrial a ser projetada irá processar cerca de 32,5% da casca de arroz gerada pelas beneficiadoras, o que representa 13 toneladas por hora de matéria-prima. Considerando-se o regime laboral de 2 turnos de 8 h diários e uma jornada de 300 dias no ano, a capacidade anual estimada para produção de carvão ativado é 10.382,82 toneladas e 15.803,72 toneladas de silicato de sódio alcalino.

### 5.3 MODELO DE NEGÓCIO (CANVAS)

O modelo de negócio é o que possibilita ao empreendedor uma ampla visão do empreendimento, trazendo à tona o potencial comercial do produto que está sendo desenvolvido e suas características.

A ferramenta escolhida para melhor descrever o modelo foi o Business Model Canvas, a mesma muito utilizada por empresas para criar valor a seus produtos e conceituá-los com relação a utilização de recursos demandados. A partir da proposta de valor do negócio são determinados público-alvo, rotas de recebimento e entrega de produtos e serviços, e as relações com os respectivos segmentos de mercado e clientes. O modelo de negócio é apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Modelo de negócio (CANVAS).

<p><b>Parceiros-chave</b></p> <p>Beneficiadoras de arroz;</p> <p>Fornecedores de insumos;</p> <p>Empresas terceirizadas para limpeza, alimentação e manutenção de equipamentos e transporte de cargas;</p> <p>Bancos de investimentos, empréstimos (BNDES).</p>	<p><b>Atividades-chave</b></p> <p>Aquisição de matéria prima;</p> <p>Carbonização da casca de arroz e ativação do carvão;</p> <p>Distribuição e comercialização do produto.</p>	<p><b>Proposta de valor</b></p> <p>Produção de carvão ativado de elevada área superficial e silicato de sódio alcalino a partir de resíduo agroindustrial.</p>	<p><b>Relacionamento com os clientes</b></p> <p>Site institucional e redes sociais;</p> <p>Serviço de atendimento ao cliente (SAC);</p> <p>Equipe de vendas e suporte técnico;</p> <p>Pesquisa de satisfação de clientes.</p>	<p><b>Segmento de clientes</b></p> <p>Empresas que fazem tratamento de água;</p> <p>Indústrias que utilizam carvão ativado para purificação e/ou tratamento de efluentes;</p> <p>Indústrias que utilizam silicato de sódio alcalino na formulação de seus produtos.</p>
<p><b>Estrutura de custo</b></p> <p>Custos de implantação, operação e logística.</p>	<p><b>Recursos-chave</b></p> <p>Aquisição de matéria prima e equipamentos;</p> <p>Mão de obra qualificada.</p>		<p><b>Canais</b></p> <p>Distribuidoras de produtos químicos;</p> <p>Vendas online, por telefone ou representante comercial.</p>	<p><b>Fontes de receita</b></p> <p>Venda de carvão ativado de elevada área superficial;</p> <p>Venda de silicato de sódio alcalino em solução.</p>

Fonte: Autores (2022).

### **5.3.1 Proposta de valor**

A proposta de valor é um conceito de marketing que diz respeito ao quanto um produto é importante para seus clientes (VOITTO, 2021). Ela possui a capacidade de informar que o produto ou serviço ofertado terá valor para o cliente. No caso da empresa Silicarbon, a proposta consiste na produção de carvão ativado de elevada área superficial e silicato de sódio alcalino, produzidos a partir da casca de arroz, de modo a agregar valor ao resíduo agroindustrial. Tais produtos, relevantes no mercado atual, possuem aplicabilidade na formulação de detergentes e produtos de limpeza, os mesmos contam de propriedades adsorventes muito utilizadas na purificação e remoção de poluentes.

### **5.3.2 Segmento de clientes**

O segmento é referente a fatia de mercado visada pela empresa. No caso da Silicarbon, o foco é voltado a empresas que fazem uso de carvão ativado no tratamento de água, processos de purificação e filtração, bem como indústrias que utilizam silicato como matéria prima e na formulação de seus produtos.

### **5.3.3 Canais**

Os canais correspondem a forma como é realizada a compra do produto e como o mesmo chega até o cliente. Desse modo, o sistema de canais da empresa é composto por distribuidoras de produtos químicos, vendas online, por telefone ou representante comercial. O transporte dos produtos será realizado com auxílio de caminhões e navios, através de um sistema de parceria comercial, de modo a realizar as entregas de forma mais eficiente.

### **5.3.4 Relacionamento com clientes**

Esta modalidade é referente a como a empresa se relaciona com cada segmento de clientes. O primeiro contato será realizado com auxílio do site institucional, onde o cliente encontrará informações a respeito dos produtos, atualizações a respeito da empresa e diversas formas de contato. A equipe de vendas fornecerá suporte personalizado para cada segmento de cliente, de acordo com sua necessidade e aplicação do produto, de modo a fidelizar o cliente por intermédio de um atendimento eficiente. Para atendimentos posteriores será utilizado o Serviço de Atendimento ao Cliente (SAC) e serão realizadas pesquisas de satisfação do cliente, com intuito de

verificar o grau de satisfação e efetividade da produção e do atendimento ao mesmo.

### **5.3.5 Atividades-chave**

As atividades-chave correspondem a todas as funções que devem ser realizadas para que a proposta de valor seja entregue. Sendo elas: Aquisição de matéria prima, carbonização, ativação e separação dos produtos, e distribuição e comercialização do produto.

### **5.3.6 Recursos-chave**

São compostos por recursos necessários para a realização das atividades-chave. Compostos em primeiro momento pela aquisição de matéria prima, instalações industriais e equipamentos, e em segundo momento pela mão de obra qualificada.

### **5.3.7 Parceiros-chave**

Composto pelos colaboradores que fazem o processo como um todo ser possível. Desde beneficiadores de arroz, fornecedores de insumo, terceirizados para realização de atividades de manutenção e transporte, até bancos de investimento e empréstimo.

### **5.3.8 Fontes de receita**

São os meios que possibilitam a obtenção de receita através da proposta de valor. A fonte de receita da empresa Silicarbon é composta basicamente pela venda de carvão ativado de elevada área superficial, bem como a venda de silicato de sódio alcalino em solução.

### **5.3.9 Estrutura de custos**

É composta pelos principais custos de implantação, operação, manutenção e logística das atividades empresariais. Desde a aquisição da matéria prima necessária para o processo e seu transporte, até a remuneração dos colaboradores, contas de energia elétrica e água, e periódicas manutenções fabris.

## **5.4 EXIGÊNCIAS LEGAIS**

As exigências legais comportam normas e leis, tanto na esfera municipal, quanto estadual e federal, que devem ser obrigatoriamente cumpridas para regularizar

judicialmente as atividades da empresa.

#### **5.4.1 Licenciamento ambiental**

A Lei Federal 6.938/81 estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, e no Artigo 6º define que os órgãos seccionais são os órgãos ou entidades estaduais responsáveis pela execução de programas e projetos, e pelo controle e fiscalização de atividades capazes de provocar a degradação ambiental. Para o estado do Rio Grande do Sul, o órgão responsável é a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM). A Lei define também que órgãos locais são os órgãos ou entidades municipais, responsáveis pelo controle e fiscalização dessas atividades nas suas respectivas jurisdições. No município de Pelotas, a responsabilidade é da Secretaria Municipal de Qualidade Ambiental (SQA).

Para o licenciamento ambiental, conforme dispõe o artigo 8º da Resolução CONAMA Nº 237, de 19 de dezembro de 1997 o Poder Público expedirá as licenças ambientais, sendo assim, a empresa Silicarbon vai comprometer-se em atender os requisitos necessários do órgão estadual (FEPAM) para conseguir as seguintes licenças:

- I. Licença Prévia (LP): Concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;
- II. Licença de Instalação (LI): Autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;
- III. Licença de Operação (LO): Autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

Além de seguir as exigências da FEPAM, a empresa Silicarbon também está sujeita à fiscalização da Secretaria Municipal de Qualidade Ambiental de Pelotas, e deve atender as normas propostas pelo órgão municipal.

#### **5.4.2 Produtos químicos sujeitos a controle pela Polícia Federal**

A Portaria N° 240, de março de 2019 define os produtos químicos que estão sujeitos ao controle da Polícia Federal. A empresa Silicarbon produzirá carvão ativado e utilizará em seus processos hidróxido de sódio. As substâncias citadas na portaria estão classificadas na lista VII como “Produtos químicos capazes de serem empregados na preparação de drogas, sujeitos a controle e fiscalização a partir de 1 (um) grama ou 1 (um) mililitro, em qualquer concentração”. De acordo com o Artigo 9° da portaria, todas as partes deverão possuir os seguintes certificados:

- I. Certificado de Registro Cadastral (CRC): É o documento que comprova que a pessoa física ou jurídica está devidamente cadastrada na Polícia Federal;
- II. Certificado de Licença de Funcionamento (CLF): É o documento que comprova que a pessoa jurídica está habilitada a exercer atividade não eventual com produtos químicos, assim como, de forma equiparada e em caráter excepcional, a pessoa física que desenvolva atividade na área de produção rural ou pesquisa científica.

Segundo o Artigo 57 da Portaria N° 240, que trata de exceções no controle de compostos, estão isentos de controle os seguintes produtos formulados com substância química controlada:

III - Saneantes: substâncias ou preparações destinadas à higienização, à desinfecção ou à desinfestação domiciliar, em ambientes coletivos e/ou públicos, em lugares de uso comum e no tratamento da água, compreendendo inseticidas, raticidas, desinfetantes e detergentes.

#### **5.5 VIABILIDADE ECONÔMICA SIMPLIFICADA**

É possível simplificar a análise econômica do projeto através da sucinta comparação de gastos entre matéria prima e receita, obtida em conjunto com o valor agregado dos produtos finais. Desse modo, através da realização de cotações com empresas atuantes no ramo, é possível estimar a precificação dos materiais, e com o auxílio do contato de empresas concorrentes é possível definir um valor médio dos produtos comercializados.

O lucro bruto da empresa foi calculado com base na capacidade de processamento de casca de arroz da planta, atuando em 2 turnos de 8 h, totalizando

117.000 kg/dia de casca processada, de modo a ditar as demandas de matéria prima e a obtenção dos produtos finais. O Quadro 4 apresenta o lucro bruto para os produtos, bem como os custos com matéria prima para obtê-los. Para fins de cálculo foi utilizada uma base operacional de 300 dias/ano.

Quadro 4 - Viabilidade Econômica Simplificada.

	Matéria prima		Produto	
	Casca de arroz	Hidróxido de sódio	Silicato de sódio alcalino	Carvão ativado
Quantidade (kg)	35.100.000	4.000.860	15.803.721	10.382.823
Preço (R\$/kg)	0,11	12,50	4,40	9,00
Valor total (R\$)	3.861.000,00	50.010.750,00	69.536.372,40	93.445.407,00
<b>Lucro bruto (R\$)</b>	<b>109.110.029,40</b>			

Fonte: Autores (2022).

## 5.6 PRODUTOS COMERCIALIZADOS

Nesta seção serão abordados de forma sucinta os produtos com pretensão comercial pela empresa, suas especificações, propriedades e a descrição de suas características.

### 5.6.1 Carvão ativado em pó

O produto será comercializado em bags industriais de 1000 kg. O carvão ativado em pó possui alta capacidade adsorvente, sendo capaz de separar componentes de interesse do meio em que se encontram.

A dosagem de carvão a ser utilizada varia muito conforme a quantidade de impurezas no meio, no entanto, dosagens de 0,1% à 0,5% são quantias normais de uso que garantem um excelente desempenho. O aspecto visual do produto é de um pó negro, fino, inodoro e insípido. Seu teor máximo de umidade ao embalar é de 10%, com teor de cinzas de 8%. O índice de iodo mínimo é de 800 mg I<sub>2</sub>/g e a granulometria

menor que 325 mesh (QUIMIDROL, 2021).

### 5.6.2 Carvão ativado peletizado

O carvão peletizado, também conhecido como extrudado, possui as mesmas características físico-químicas que a modalidade em pó, visto que o peletizado passa por apenas mais um equipamento após sua elaboração (peletizadora). Este equipamento não é capaz de alterar suas propriedades, visto que apenas realiza a união das partículas utilizando um aglutinante, de modo a formar carvão ativado na forma de pellets, partículas maiores que 3 mm.

Este formato possui alguns benefícios, como baixa geração de partículas finas, menor quantidade de poeira, menor queda de pressão, e excelente resistência ao estresse mecânico e térmico. O carvão peletizado é bastante utilizado industrialmente e domesticamente por sua praticidade na limpeza de aquários, remoção de impurezas, pigmentos, entre outras finalidades (RUBIM, 2015).

### 5.6.3 Silicato de sódio alcalino

O silicato de sódio alcalino será comercializado em solução. Essa solução é um líquido viscoso, inodoro, geralmente incolor e turvo, minimamente opaco. Útil na formulação de detergentes, fabricação de sabão, cimentos, defloculante, pigmentos, tratamento de superfícies e de água. (GOTAQUÍMICA, 2021).

O produto será comercializado em bombonas plásticas de 5 L com ótima vedação. As mesmas deverão ser armazenadas em local fresco, seco e com boa ventilação. As especificações físico-químicas do produto encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Especificações do silicato de sódio alcalino.

Parâmetro	Silicato de Sódio Alcalino
Na <sub>2</sub> O (%)	11,7 - 13,2
SiO <sub>2</sub> (%)	29 - 31,5
Razão SiO <sub>2</sub> /Na <sub>2</sub> O	2,35 - 2,5

Sólidos Totais (%)	40,7 - 44,7
Umidade (%)	55,3 - 59,3
Densidade (g/L)	1,468 - 1,505
°Be	46,0 - 48,4
Viscosidade (cP)	150 - 300

---

Fonte: Diatom (2021).

## 6. ANÁLISE DE TECNOLOGIAS

No desenvolvimento do projeto realizou-se análise e detalhamento das principais tecnologias que envolvem o processo de produção de carvão ativado a partir da casca de arroz. Para essa transformação são necessárias duas etapas, sendo a primeira um processo de pirólise, para transformação da casca em Biochar (carvão obtido através de pirólise de biomassa). O Quadro 5 apresenta principais características da casca de arroz, matéria prima onde pode ser aplicado o processo de pirólise.

Quadro 5 - Caracterização da casca de arroz (b.s - base seca).

Parâmetro % (b.s).	Casca de arroz
C	41,01
H	5,35
O	32,78
Carbono fixo	12,81
Cinza	20,48
Material volátil	66,71

Fonte: (CASTRO, 2017).

A segunda etapa consiste em um processo de ativação, que tem como objetivo aumentar a área superficial do Biochar de modo produzir um carvão ativado de elevada área superficial. Vale ressaltar que a cinza do Biochar apresenta 94,75% de  $\text{SiO}_2$  (MARTINS, 2003), o que pode influenciar na escolha da tecnologia para este fim.

### 6.1 OBTENÇÃO DE BIOCHAR A PARTIR DO TRATAMENTO TÉRMICO DA BIOMASSA

O processo de pirólise é responsável por converter a biomassa em produtos através da degradação térmica da matéria orgânica na ausência de ar. A pirólise da casca de arroz trata de uma série de reações complexas com produção de vapores condensáveis, não-condensáveis e resíduo sólido sílico-carbonoso (DINIZ, 2005). Os vapores condensáveis podem ser compostos por bio-óleo, extrato pirolenhoso e alcatrão, enquanto os vapores não-condensáveis são constituídos por gases

combustíveis ou inflamáveis e CO<sub>2</sub>. A fração sólida do produto é o carvão, que pode conter cinzas e/ou material orgânico, conjunto denominado Biochar. A Tabela 3 apresenta os produtos que podem ser obtidos ao se adequarem os parâmetros de operação.

Tabela 3 - Relação entre parâmetros operacionais e seus respectivos produtos formados na pirólise.

Processo	Tempo de residência	Taxa de aquecimento	Temperatura (°C)	Produtos
Carbonização	Dias	Muito lenta	400	Carvão
Lenta	5 - 30 min	Lenta	600	Bio-óleo, gás e carvão
Rápida	0,5 - 5 s	Muito rápida	650	Bio-óleo
Ultra rápida	< 0,5 s	Muito rápida	1000	Químicos, gás

Fonte: NAN (1994).

A Tabela 3 fornece informações a respeito do processo de pirólise, podendo ser aplicadas diferentes faixas de temperatura, dependendo das características da biomassa e a quantidade/proporção de produtos que se deseja obter.

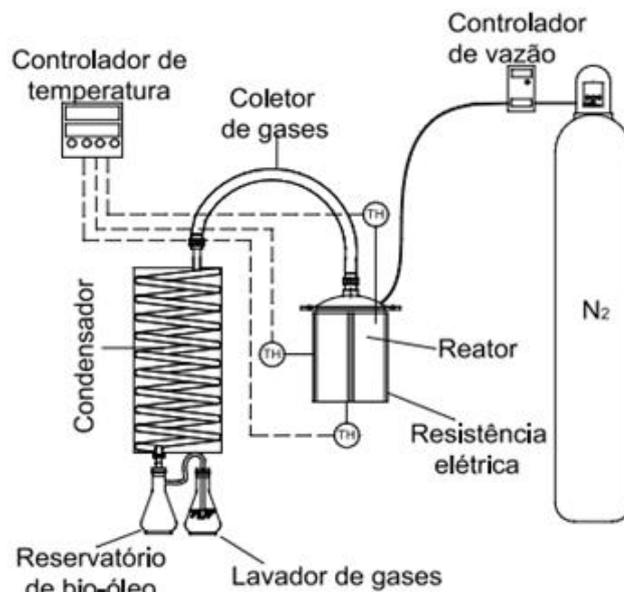
A carbonização é um processo lento, não sendo aplicável ao processamento de grandes volumes de casca de arroz, situação proposta neste projeto. A pirólise rápida tem como objetivo gerar produtos líquidos, enquanto a ultra-rápida tem como objetivo gerar produtos primários de degradação térmica, não possibilitando que haja tempo para a ocorrência de reações secundárias ou paralelas (DINIZ, 2005).

Estas modalidades não se aplicam no que diz respeito a este trabalho. Portanto, a pirólise lenta, também conhecida como pirólise convencional, por possuir a capacidade de gerar Biochar, gases e condensáveis, é a mais adequada para o estudo das tecnologias que compreendem a geração dos produtos de interesse do projeto.

### 6.1.1 Pirólise lenta ou convencional

Vieira (2018) analisou o aproveitamento energético da casca de arroz para pirólise lenta em reator de leito. O trabalho observou características físico-químicas da casca de arroz e do Biochar para avaliar o potencial de geração de energia. O processo de pirólise é representado na Figura 7.

Figura 7 - Representação do processo de pirólise.



Fonte: Vieira (2018).

O sistema de pirólise apresentado na Figura 7 consiste em reator tubular de leito fixo aquecido por uma resistência elétrica. Os gases pirolíticos, bem como os condensáveis são arrastados por gás nitrogênio. O sistema possui controlador de temperatura e vazão de N<sub>2</sub>. Os parâmetros estudados da pirólise foram: Taxa de aquecimento ( $\beta$ ), de 5, 10 e 20 °C/min; Temperatura (T), de 300, 400 e 500 °C; Tempo de residência (t), de 3600, 5400 e 7200 s; E massa da biomassa in natura (m), de 125, 250 e 500 g. Em seus resultados o maior rendimento de Biochar obtido foi 37,71%, onde foram adotados os seguintes parâmetros:  $\beta = 20$  °C/min, T = 300 °C, t = 5400 s, m = 500 g.

### 6.1.2 Pirólise via processo autotérmico – Patente WO 2015/168763 AI

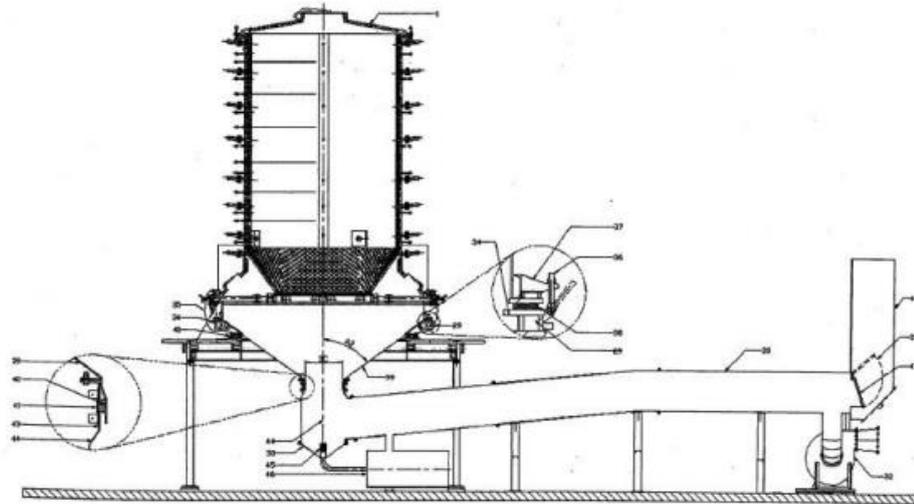
A Patente WO 2015/168763 AI (2015) utiliza um processo denominado autotérmico, onde a própria biomassa é capaz de gerar energia para a fase endotérmica da pirólise através da combustão parcial do material e dos voláteis

gerados. O processo consiste de aprimoramentos tecnológicos com relação aos fornos de alvenaria e sua finalidade é produzir carvão e gases, onde os gases podem alimentar uma caldeira para geração de energia, a qual também pode ser alimentada com extrato pirolenhoso e alcatrão, gerados em proporção significativamente inferior.

O reator é do tipo container, com capacidade de 50 m<sup>3</sup>, exaustão forçada, sistema de controle de temperatura, válvulas de admissão de ar e balança para controle do rendimento gravimétrico. Sua estrutura metálica é revestida com material refratário visando minimizar perdas energéticas, estimadas pelos autores em 5%, somando-se a perdas de 10% em termos de energia gerada que é consumida para a manutenção da pirólise.

Dá-se início ao processo com a combustão parcial da biomassa, gerando energia e, conseqüentemente, degradação térmica. Então, parte dos voláteis (extrato pirolenhoso, alcatrão e gases inflamáveis) são consumidos pela combustão, enquanto simultaneamente reações paralelas ocorrem até que seja alcançada a temperatura determinada pelo processo. Neste momento as válvulas de admissão de ar são fechadas, sendo as mesmas abertas posteriormente conforme a necessidade de manutenção da temperatura do processo. No momento em que as válvulas de admissão de ar encontram-se fechadas o processo tem comportamento aproximado de uma pirólise, pois não há presença de O<sub>2</sub> no reator. O procedimento é encerrado assim que atinge-se o rendimento gravimétrico desejado, retirando-se o carvão do reator e resfriando o mesmo utilizando água através de bicos aspersores, de modo a prepará-lo para as próximas etapas e evitar a continuidade da reação no momento do contato com o ar atmosférico. A Figura 8 apresenta a ilustração do processo autotérmico, com as principais partes como o forno e o sistema de exaustão que retira os gases pela parte inferior do forno e permite entrada de ar pelas válvulas de admisssão.

Figura 8 - Processo autotérmico da patente WO 2015/168763 AI.



Fonte: VICITIN (2015).

### 6.1.3 Escolha tecnológica da pirólise

Para o projeto, escolheu-se a tecnologia apresentada no item 6.1.2 devido a sua capacidade compatível para produção, com reatores de 50 m<sup>3</sup>. A patente apresenta algumas vantagens, como o fato de a própria biomassa gerar energia para o processo de pirólise, descartando-se a necessidade de fornecimento de energia externa, além de contar com um sistema de exaustão que simula condições de arraste de N<sub>2</sub> na atmosfera do reator, condição encontrada em pirólises convencionais. Soma-se estes fatos à tecnologia do modelo, que visa minimizar a fração líquida dos produtos.

A tecnologia portanto apresenta uma vantagem quando comparado à pirólise convencional, que gera uma fração líquida considerável de produto, pois não conta com O<sub>2</sub> no interior do reator. Ademais, a corrente gasosa, bem como a fração líquida, pode alimentar uma caldeira para geração de potência térmica, que pode ser aproveitada em outras partes do projeto, como secagem do carvão ativado e utilização em acessórios e demais etapas do processo que demandam energia.

## 6.2 OBTENÇÃO DE CARVÃO ATIVADO

Sistemas macromoleculares orgânicos quando carbonizados formam microporos em sua estrutura. Entretanto, isso não maximiza seu potencial poroso, ou seja, sua capacidade de adsorção (medida como volume de poros ou área de

superfície), sendo, portanto, ainda considerado pequeno para aplicações comerciais (MARSH, 2006). Para aumentar a área superficial podem ser aplicados processos físicos e/ou químicos visando aumentar a porosidade do material.

### **6.2.1 Ativação física e tratamento térmico com CO<sub>2</sub>**

A ativação física consiste em aplicar tratamento térmico na presença de vapor d'água ou CO<sub>2</sub>, de forma individual ou combinada. Esses agentes removem átomos de carbono da estrutura porosa, aumentando sua porosidade e área superficial (MARSH, 2006).

Jung (2014) estudou três métodos de ativação por intermédio de CO<sub>2</sub>, utilizando como Biochar amostras de carvalho pirolizado. O primeiro método foi realizado utilizando N<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> sem resfriamento. A amostra é aquecida até 500 °C com adição de N<sub>2</sub> e, posteriormente, é aquecida até uma temperatura de ativação de 800 a 900 °C na presença de CO<sub>2</sub>. O segundo método utilizando N<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> foi realizado com resfriamento, onde a amostra foi aquecida até 500°C com N<sub>2</sub> e então resfriada até temperatura ambiente, posteriormente sendo aquecida até a temperatura de ativação na presença de CO<sub>2</sub>. No terceiro método, a amostra é aquecida diretamente até a temperatura de ativação com adição de CO<sub>2</sub>. Neste estudo utilizando N<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> com e sem resfriamento a área superficial obtida no material é similar para tempos de ativação de 60 min a 800 °C. A área superficial máxima obtida foi com a técnica sem resfriamento, sendo 1126 m<sup>2</sup>/g para uma temperatura de 900 °C e 60 min de residência. Ademais, os carvões ativados via método direto de CO<sub>2</sub> possuíam áreas de superfície em torno de 800 m<sup>2</sup>/g. Segundo os autores, o método direto utilizando CO<sub>2</sub> é o mais econômico dos três métodos testados devido a sua simplicidade na fabricação de carvão ativado.

### **6.2.2 Lixiviação alcalina para extração de sílica**

A cidade de Itaqui, RS, possui uma usina termoelétrica que faz uso da casca de arroz para geração de energia, gerando também grande quantidade de cinzas. A empresa Oryzasil é um exemplo industrial do reaproveitamento desse resíduo, utilizando processo de lixiviação alcalina para produção de sílicas, gerando zero efluentes, através de processos com temperaturas inferiores a 200 °C (ORYZASIL, 2021).

A casca de arroz é rica em sílica (SiO<sub>2</sub>), que se torna um material inerte à

carbonização, permanecendo no Biochar após sua obtenção. A remoção desse composto é importante pois aumenta a porosidade do carvão, o que ajuda em sua capacidade de adsorção e também separa materiais com diferentes finalidades comerciais.

A lixiviação utilizando hidróxido de sódio (NaOH), produz silicato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), que pode ser considerado tanto produto final, como também intermediário, caso seja de interesse produzir sílica precipitada ou outros compostos como sílica gel. Estudos utilizando temperaturas em torno de 100 °C e tempos reacionais de 1 hora, tendo a cinza da casca de arroz como matéria prima, obtiveram como resultado um rendimento de aproximadamente 90% para extração de sílica através da lixiviação alcalina com NaOH (TODKAR, 2016).

A Patente WO 00/16896 (1998) informa que é possível obter carvão ativado de alta área superficial a partir da lixiviação alcalina de cinzas da casca de arroz, com etapas posteriores de lavagem com água quente e outra lavagem com solução ácida (ácido fosfórico) para remover silicato de sódio adsorvido nos poros do carvão.

### **6.2.3 Escolha das tecnologias para ativação**

Por fim, a escolha da tecnologia para extração e ativação, presente no item 6.2.2, se justifica por conta da matéria prima ser rica em sílica, pelas condições reacionais envolverem temperaturas relativamente baixas (em torno de 500 °C) e por não haver produção de sílica cristalina em quantidades significativas, de modo que o conteúdo reacional é composto majoritariamente por sílica amorfa, sendo a mesma capaz de realizar a operação satisfatoriamente nas condições estabelecidas.

O Biochar proveniente da casca de arroz possui quantidades superiores a 50% de compostos inorgânicos, o que possibilita a comparação dos resultados obtidos em processos de lixiviação de Biochar e lixiviação de cinzas. A principal vantagem desse método é a utilização de temperaturas mais brandas com relação à ativação física, onde ocorre tratamento térmico com  $\text{CO}_2$ . Ademais, a solução obtida possui significativo valor agregado, sendo produzido silicato de sódio alcalino em solução sem que haja geração de resíduos no processo de ativação.

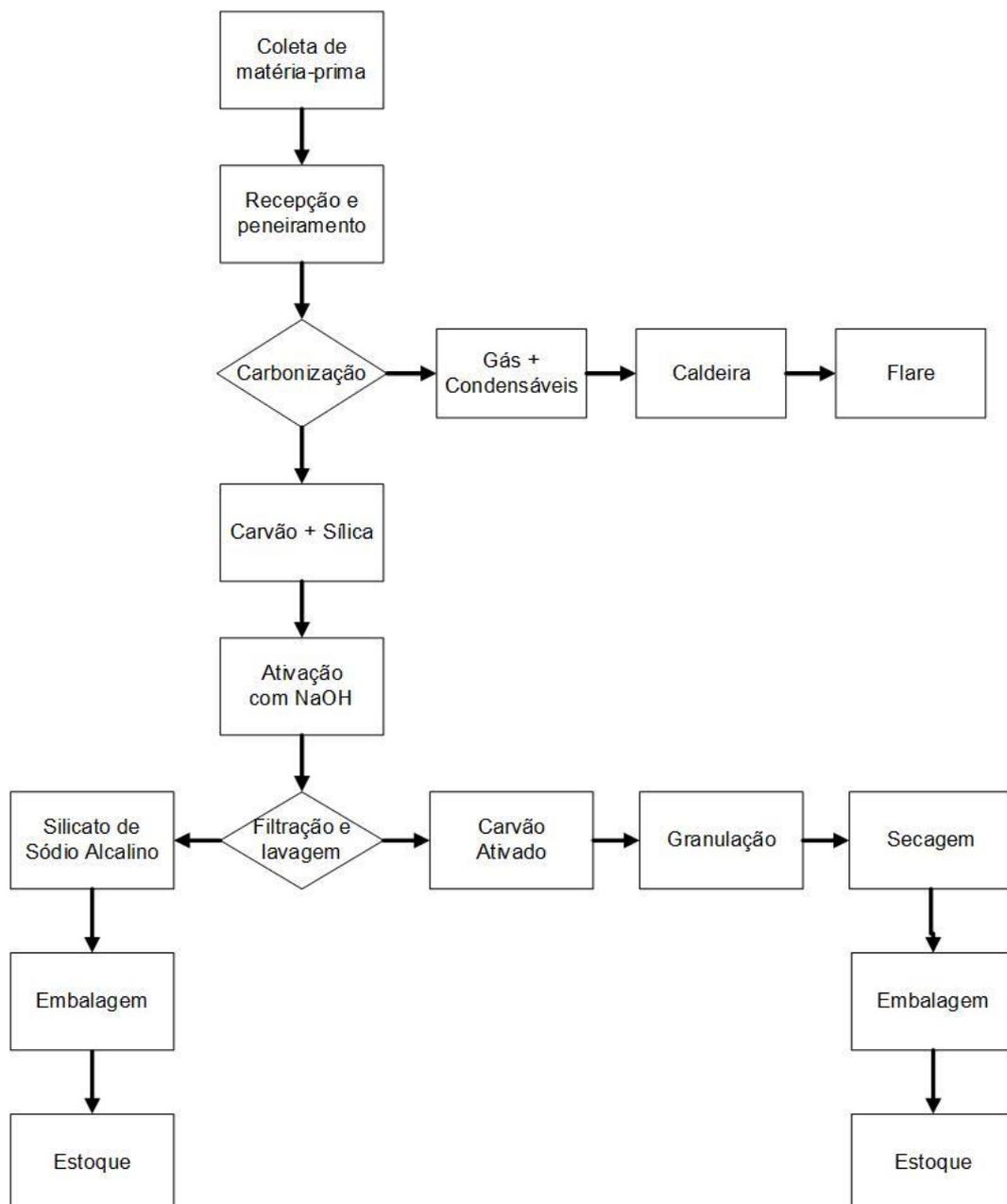
## 7. DEFINIÇÃO DO PROCESSO

Nesta seção são apresentados diagrama de blocos, fluxograma do processo e detalhamento, operações unitárias e equipamentos utilizados no processo produtivo.

### 7.1 DIAGRAMA DE BLOCOS

A visualização objetiva do processo produtivo é dada de forma eficaz através do diagrama de blocos, apresentado na Figura 8.

Figura 9 - Diagrama de blocos do processo.



Fonte: Autores (2022).

## 7.2 FLUXOGRAMA E DETALHAMENTO

Na Figura 9 é apresentado o fluxograma do processo produtivo de carvão ativado em pó, carvão ativado peletizado, silicato de sódio alcalino e todas as etapas e equipamentos que envolvem a obtenção dos mesmos.

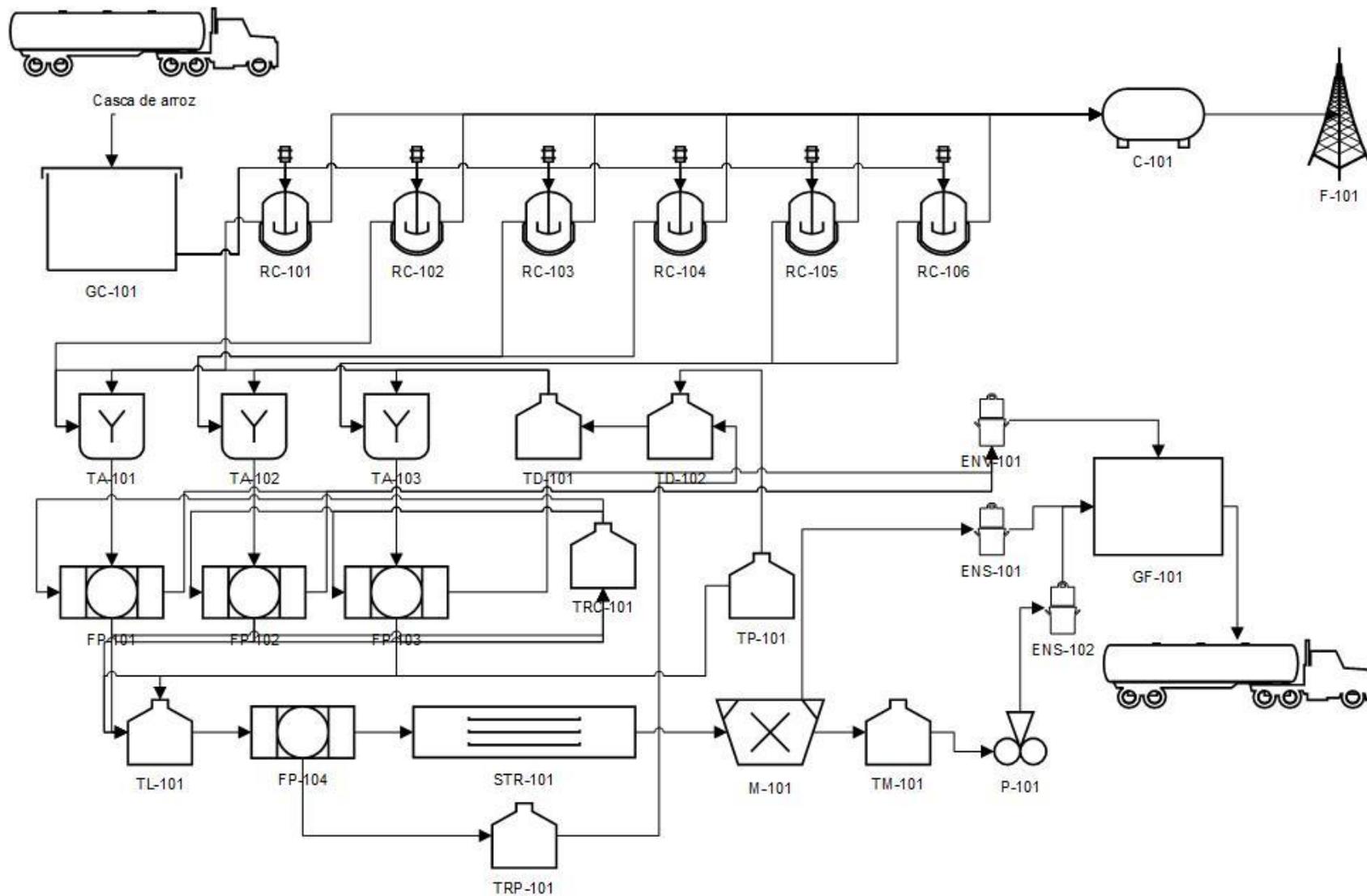
Inicialmente, a casca de arroz é recepcionada no galpão coberto, onde é realizado o tombamento do caminhão por um sistema tombador hidráulico. Em seguida, a matéria-prima passa por um peneiramento e é encaminhada através de esteiras até os carbonizadores. Realizada a carbonização, o material é despejado e aspergido com água, sendo transportado por esteiras para a próxima etapa. Na sequência ocorre a etapa de ativação, onde em um tanque aquecido e agitado o material é colocado em contato com uma solução de hidróxido de sódio. Após esta etapa o material segue para o filtro prensa, onde ocorre a separação do carvão e da solução de silicato, que já na concentração correta é encaminhada para envase ao final da linha de produção.

Para a produção de carvão ativado, o material da torta do filtro segue via esteira até um tanque de lavagem com água aquecida, onde ocorre a remoção do silicato presente nos poros do mesmo. Após a realização da lavagem, a etapa subsequente é a remoção do excesso de umidade via filtro prensa. O encaminhamento do carvão é então realizado via esteira até um secador do tipo tambor rotativo.

Realizada a secagem, o material segue via esteira até um moinho, onde o mesmo passa a ter granulometria uniforme e pode ser dividido nas modalidades em pó e peletizado. Para a modalidade em pó, o produto já pode ser embalado em sacos do tipo big bag. Para a modalidade peletizado, o material é encaminhado a um tanque de mistura, onde é adicionado amido de milho com objetivo de aglutinar o carvão e possibilitar a manutenção da forma pellet. Por fim, o material é encaminhado para a peletizadora, onde a forma final do produto é obtida e o mesmo pode ser embalado na ensacadeira.

Devidamente adequados em suas modalidades, os produtos são então encaminhados a um galpão fechado para estoque ou escoamento da produção, conforme necessidade.

Figura 10 – Fluxograma da produção de silicato de sódio alcalino, carvão ativado em pó e peletizado.



Fonte: Autores (2022).

Os equipamentos apresentados no fluxograma estão descritos na legenda e recebem seu detalhamento nos itens 7.2.1 a 7.2.14.

Legenda:

- GC-101: Galpão coberto para recebimento de casca de arroz;
- PN-101: Peneira;
- RC-101 a RC-106: Reatores de carbonização;
- C-101: Caldeira;
- F-101: Flare;
- TA-101 a TA-103: Tanques de ativação de Biochar;
- FP-101 a FP-104: Filtros prensa;
- TD-101 e TD-102: Tanques de diluição;
- TRC-101: Tanque de recirculação de silicato;
- TP-101: Tanque pulmão;
- TL-101: Tanque de lavagem;
- TRP-101: Tanque de recuperação de água de lavagem;
- TM-101: Tanque misturador;
- ST-101: Secador tambor rotativo;
- M-101: Moinho;
- P-101: Peletizadora;
- ENS-101: Ensacadeira de carvão ativado em pó;
- ENS-102: Ensacadeira de carvão ativado peletizado;
- ENV-101: Envasadora de silicato de sódio alcalino;
- GF-101: Galpão fechado para estoque de produtos.

### **7.2.1 Recepção e armazenamento de matéria-prima**

A casca de arroz será transportada por caminhões graneleiros com lona e carrocerias com guardas laterais fechadas com telas metálicas, de modo a evitar perdas do material durante o transporte. Segundo a Resolução Nº 441 de 28 de maio de 2013 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), este é o veículo mais adequado para o transporte de sólidos a granel. O cálculo do frete é baseado na Resolução Nº 5.949, de 13 de julho de 2021, que descreve os coeficientes dos pisos mínimos para o transporte rodoviário de acordo com o tipo de carga, número de eixos

do caminhão e R\$/km rodado. Os coeficientes de custo envolvidos no cálculo são: Coeficiente de Custo de Deslocamento (CCD) e Coeficiente de Custo de Carga e descarga (CC). A Tabela 4 descreve o transporte designado para a casca de arroz.

Tabela 4 – Descrição do transporte da casca de arroz.

Tipo de carga	nº de eixos	km rodados	CCD (R\$/km)	CC (R\$)
Granel sólido	3	25	2,8579	250,19

Fonte: Autores (2022).

Após a chegada do caminhão, a casca de arroz será descarregada por um sistema tombador, apresentado no Anexo B.8, e armazenada em um galpão coberto. O mesmo permitirá a entrada de luz natural durante o período diurno, de modo a proporcionar economia energética na parte da iluminação, e também protegerá a matéria-prima da chuva e raios UV.

### 7.2.2 Peneira

O primeiro processo após a recepção do material na empresa é um peneiramento simples, visando retirar resíduos que possam estar em conjunto com a matéria prima. O peneiramento será realizado através de uma peneira industrial com sistema de vibração (Anexo A.14), a fim de tornar o processo mais eficiente, evitando problemas nas etapas subsequentes.

### 7.2.3 Esteira de transporte

Com intuito de transportar matéria prima e produtos entre equipamentos, serão utilizadas esteiras no processo, apresentadas no Anexo B.1. As mesmas poderão ser inclinadas com determinada angulação, utilizadas horizontalmente e com altura regulável conforme necessidade.

Serão utilizadas esteiras compactas sem orifícios ou furos pois a matéria prima e os produtos são sólidos com baixa granulometria, sendo modelos de esteira com esta característica capazes de diminuir as chances de perdas durante o transporte, de modo a melhorar eficiência do processo.

#### **7.2.4 Reator de processamento**

Para a realização do projeto foi feita a escolha de um forno industrial proveniente da Patente WO 2015/168763 A1 (2015), com detalhamento no Anexo A.1. O mesmo possui condições ideais para a obtenção dos produtos objetivados pelo processo, contando com entradas para admissão de ar e um mecanismo que permite cessar a admissão de maneira controlada, de modo que seja possível o controle da temperatura. No momento em que a admissão de ar cessa, considera-se uma combustão isenta de O<sub>2</sub>, assemelhando-se a uma pirólise. (VICITIN, 2015).

O equipamento possui característica autotérmica, o que possibilita um processo sustentado através da queima da própria casca de arroz, utilizando apenas 2 kg de brasa por batelada para iniciar a combustão, diminuindo gastos energéticos quando comparado a equipamentos de categoria semelhante.

Para a finalidade do projeto o equipamento é crucial na obtenção dos produtos, visto que é onde ocorrerão os processos que convertem a matéria-prima em Biochar, material que posteriormente será separado para adequar os produtos à condição de comércio.

#### **7.2.5 Caldeira**

Segundo a NR 13 (2021), caldeiras são equipamentos destinados a gerar e acumular vapor, a pressões superiores a atmosférica, utilizando diversas fontes de energia, projetados conforme códigos pertinentes. No que diz respeito a sua construção, as caldeiras podem ser classificadas como aquatubulares, flamotubulares e mistas. Caldeiras aquatubulares são caldeiras que tem por característica a água ter passagem no interior dos tubos, enquanto os gases quentes provenientes da combustão do material combustível circulam na parte externa dos tubos. No caso das flamotubulares, os gases circulam na parte interna dos tubos, enquanto a água tem passagem em sua parte externa. Caldeiras mistas possuem ambas as características mencionadas anteriormente atuando em conjunto em um mesmo equipamento.

A caldeira escolhida para o processo tem característica flamotubular, capacidade de geração de 20.000 kg vapor/h e será utilizada para suprir a demanda dos trocadores de calor e equipamentos auxiliares. Sua visualização pode ser feita no Anexo A.7.

### **7.2.6 Flare**

O sistema flare tem como objetivo queimar os gases residuais provenientes do processo. Este equipamento geralmente é utilizado em indústrias de produtos químicos e/ou refino de petróleo.

Os gases eliminados durante o processo serão levados através de uma tubulação até a extremidade superior do equipamento, onde ocorre a queima. O dimensionamento será de acordo com a necessidade da planta, devendo-se monitorar localização, velocidade do vento, nível de ruído, radiação térmica entre outros fatores no momento da instalação (UTBR, 2020).

No caso do projeto, o equipamento será posicionado sequencialmente após a caldeira, visando a eliminação de gases excedentes à necessidade do processo, de modo a convertê-los em gases menos nocivos e realizando a parte do tratamento de efluentes da planta no que diz respeito ao processo principal. Este equipamento está presente no Anexo A.10.

### **7.2.7 Tanque de ativação**

Para a ativação do Biochar escolheu-se realizar a etapa com auxílio de hidróxido de sódio, visto que é o composto mais adequado para o processo, tanto por questões de custo, quanto por questões de manuseio na escala proposta. Somando-se estes fatores ao comportamento apresentado pelo composto quando em contato com a sílica presente no Biochar, tem-se a justificativa da escolha.

A ativação será realizada em tanques fechados, agitados e aquecidos, onde haverá a alimentação da solução de NaOH e aquecimento até temperaturas de 100 °C. No momento em que as condições estiverem estabelecidas, haverá a adição de Biochar e o monitoramento do tempo de residência poderá ser iniciado. O tanque de ativação pode ser visualizado no Anexo A.2.

### **7.2.8 Tanque de diluição**

Os tanques de diluição agitados serão utilizados para o reaproveitamento da solução de silicato de sódio diluída proveniente da lavagem do carvão ativado, para posteriormente receberem adição de hidróxido de sódio em escamas, de modo a formar a solução na concentração especificada para o tanque de ativação respectivo. O tanque escolhido para esta função pode ser observado no Anexo A.12.

### **7.2.9 Filtro prensa**

O equipamento realizará a separação sólido-líquido por meio de alta pressão, onde a fase líquida passará pelo filtro, enquanto os sólidos ficarão retidos. O conjunto de sólidos retidos recebe a denominação de torta.

Dentre as vantagens do filtro prensa para a escolha no projeto, pode-se citar o fato de que a torta é retirada com baixa umidade, diminuindo o tempo de secagem e simplificando o processo. Tem-se também um relativo baixo custo de implantação, manutenção e consumo de energia do equipamento.

O filtro prensa será utilizado para separação do carvão ativado do silicato de sódio, onde o carvão formará a torta no equipamento, enquanto a fase líquida será composta pela solução de silicato de sódio. Sua visualização pode ser realizada no Anexo A.5.

### **7.2.10 Secador tambor rotativo**

O secador do tipo tambor rotativo é um secador cilíndrico com aletas internas. Essas aletas têm como finalidades distribuir melhor o material e o ar quente durante a rotação do cilindro, a fim de secar de forma uniforme todo material e avançar com o mesmo para a etapa subsequente. Além disso, há pouca resistência ao fluxo, aumentando a flexibilidade da operação e a eficiência (MF Rural, 2020).

O fornecimento de energia do equipamento provém de energia elétrica para o motor responsável pela rotação e de GLP para a secagem do material. Este processo será utilizado para secagem do carvão ativado, de modo a garantir que os produtos sejam obtidos com o teor de umidade especificado para embalagem. O tambor rotativo está presente no Anexo A.6.

### **7.2.11 Moinho**

No processo serão obtidos produtos de carvão ativado em pó e peletizado. Portanto, após a secagem o carvão ativado passará por um moinho com objetivo de uniformizar a granulometria do material. Após o moinho uma fração do carvão será embalado, no caso da modalidade em pó, e outra será encaminhado ao processo de peletização para obtenção do carvão ativado peletizado. O moinho utilizado para realizar esta etapa pode ser visualizado no Anexo A.8.

### **7.2.12 Peletizadora**

Este equipamento é utilizado para a obtenção do carvão ativado peletizado. Nesta etapa o carvão em pó será transportado via esteira até um tanque de mistura, onde receberá adição de amido como aglutinante e água, passando pelo equipamento e adquirindo a característica de pellet. A peletizadora utilizada no processo pode ser visualizada no Anexo B.6.

### **7.2.13 Envasadora**

A envasadora industrial será utilizada para envasar a solução de silicato de sódio alcalino proveniente do filtro prensa, portanto, terá capacidade de alocar o silicato de sódio em embalagens de 5 L para fácil estoque e comercialização. Este equipamento pode ser observada no Anexo B.5.

### **7.2.14 Ensacadeira**

De maneira similar às envasadoras, o processo de embalagem otimiza o escoamento da produção. O equipamento realizará o empacotamento dos produtos sólidos de carvão ativado em pó e carvão ativado peletizado. O carvão em pó proveniente do moinho será embalado em bags industriais de 1000 kg e o carvão proveniente da peletizadora será embalado em embalagens plásticas de 5 kg. A ensacadeira para big bags pode ser visualizada no Anexo B.4. A ensacadeira para carvão peletizado, no Anexo B.3.

### **7.2.15 Trocador de calor**

Os trocadores de calor utilizados no processo são do tipo casco e tubos helicoidal da marca Bermo. Eles serão utilizados para a lavagem do carvão ativado e para o quecedor, panelas e caldeirão da cozinha, utilizando para isto 14.952,18 kg de vapor/dia. A demanda de vapor para os trocadores de calor pode ser observada na Tabela 5. O detalhamento da demanda de vapor pode é apresentado no Anexo A.9.

Tabela 5 – Demanda de vapor para os trocadores de calor.

	kg vapor/h	h/dia	kg vapor/dia
TC-101	7.144,09	1	7.144,09
TC-102	7.144,09	1	7.144,09
<b>Total</b>			<b>14288,18</b>

Fonte: Autores (2022).

### 7.3 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

A escala de produção foi definida a partir da capacidade de processamento de casca de arroz da unidade, tomando-se como base um ano produtivo de 300 dias. Na utilização de 2 turnos diários de 8 h, a empresa será capaz de realizar 9 ciclos produtivos, iniciando as atividades às 8:00 h e encerrando-as 0:00 h do dia seguinte, totalizando 16 h de operação diárias. Os ciclos produtivos são constituídos pelas etapas operacionais necessárias para a transformação da matéria-prima em produto, desde o carregamento nos fornos até a embalagem.

Os Quadros 6, 7 e 8 apresentam o tempo estimado para realização de cada operação para os diferentes produtos, contando com os tempos de carga e descarga. Os Quadros 9, 10 e 11 apresentam o planejamento da produção por ciclo para cada produto, onde cada ciclo é numerado por sua hora operacional correspondente e a sequência do processo ocorre da esquerda para a direita. Os produtos ficam prontos ao final da etapa de ensacamento e envase de suas respectivas modalidades.

Quadro 6 - Tempo estimado para etapas da produção de silicato de sódio alcalino.

Etapa	Carbonização	Ativação	Filtro prensa 1	Env. silicato de sódio alcalino
Tempo	1h 40min	1h 20min	1h 20min	30 min

Fonte: Autores (2022).

Quadro 7 - Tempo estimado para etapas da produção de carvão ativado em pó.

Etapa	Carbonização	Ativação	Filtro prensa 1	Tanque de lavagem	Filtro prensa 2	Secador tambor rotativo	Moinho	Ens. carvão em pó
Tempo	1h 40min	1h 20min	1h 20min	30min	20min	1h 10min	15min	15min

Fonte: Autores (2022).

Quadro 8 - Tempo estimado para etapas da produção de carvão ativado peletizado.

Etapa	Carbonização	Ativação	Filtro prensa 1	Tanque de lavagem	Filtro prensa 2	Secador tambor rotativo	Moinho	Tanque misturador	Peletizadora	Ens. carvão peletizado
Tempo	1h 40min	1h 20min	1h 20min	30min	20min	1h 10min	15min	30min	30min	15min

Fonte: Autores (2022).

Quadro 9 – Escala de produção para silicato de sódio alcalino.

Hora op.	Carbonização	Ativação	Filtro prensa 1	Env. silicato de sódio alcalino
0h	1h 40min	3h	4h	4h 15min
1h	2h 40min	4h	5h	5h 15min
2h	3h 40min	5h	6h	6h 15min
3h	4h 40min	6h	7h	7h 15min
4h	5h 40min	7h	8h	8h 15min
5h	6h 40min	8h	9h	9h 15min
6h	7h 40min	9h	10h	10h 15min
7h	8h 40min	10h	11h	11h 15min
8h	9h 40min	11h	12h	12h 15min

Fonte: Autores (2022).

Quadro 10 - Escala de produção para carvão ativado em pó.

Hora op.	Carbonização	Ativação	Filtro prensa 1	Tanque de lavagem	Filtro prensa 2	Secador tambor rotativo	Moinho	Ens. carvão em pó
0h	1h 40min	3h	4h	4h 30min	4h 50min	6h	6h 15min	6h 30min
1h	2h 40min	4h	5h	5h 30min	5h 50min	7h	7h 15min	7h 30min
2h	3h 40min	5h	6h	6h 30min	6h 50min	8h	8h 15min	8h 30min
3h	4h 40min	6h	7h	7h 30min	7h 50min	9h	9h 15min	9h 30min
4h	5h 40min	7h	8h	8h 30min	8h 50min	10h	10h 15min	10h 30min
5h	6h 40min	8h	9h	9h 30min	9h 50min	11h	11h 15min	11h 30min
6h	7h 40min	9h	10h	10h 30min	10h 50min	12h	12h 15min	12h 30min
7h	8h 40min	10h	11h	11h 30min	11h 50min	13h	13h 15min	13h 30min
8h	9h 40min	11h	12h	12h 30min	12h 50min	14h	14h 15min	14h 30min

Fonte: Autores (2022).

Quadro 11 - Escala de produção para carvão ativado peletizado.

Hora op.	Carbonização	Ativação	Filtro prensa 1	Tanque de lavagem	Filtro prensa 2	Secador tambor rotativo	Moinho	Tanque misturador	Peletizadora	Ens. carvão peletizado
0h	1h 40min	3h	4h	4h 30min	4h 50min	6h	6h 15min	6h 45min	7h 15min	7h 30min
1h	2h 40min	4h	5h	5h 30min	5h 50min	7h	7h 15min	7h 45min	8h 15min	8h 30min
2h	3h 40min	5h	6h	6h 30min	6h 50min	8h	8h 15min	8h 45min	9h 15min	9h 30min
3h	4h 40min	6h	7h	7h 30min	7h 50min	9h	9h 15min	9h 45min	10h 15min	10h 30min
4h	5h 40min	7h	8h	8h 30min	8h 50min	10h	10h 15min	10h 45min	11h 15min	11h 30min
5h	6h 40min	8h	9h	9h 30min	9h 50min	11h	11h 15min	11h 45min	12h 15min	12h 30min
6h	7h 40min	9h	10h	10h 30min	10h 50min	12h	12h 15min	12h 45min	13h 15min	13h 30min
7h	8h 40min	10h	11h	11h 30min	11h 50min	13h	13h 15min	13h 45min	14h 15min	14h 30min
8h	9h 40min	11h	12h	12h 30min	12h 50min	14h	14h 15min	14h 45min	15h 15min	15h 30min

Fonte: Autores (2022).

## 7.4 UTILIDADES DO PROCESSO

### 7.4.1 Instalações de água fria

O abastecimento de água da empresa será realizado por um poço, onde está presente um sistema Airlift que alimentará reservatório próximo ao chão com volume de 150.000 L, representando aproximadamente 2 vezes a demanda diária de água (65.453,17 L). Este reservatório, por sua vez, alimentará a caixa d'água com volume de 40.000 L (Anexo B.14) e o sistema de boia acionará a bomba no momento em que a caixa d'água atingir 70% de seu volume.

O dimensionamento do diâmetro da tubulação (PVC para parte civil e aço carbono para parte industrial) está presente no Apêndice D.1. A representação das instalações no layout está presente no Apêndice C. Toda água que entra no pavilhão industrial e demais instalações é água fria, ou seja, a temperatura ambiente. A demanda de água quente será tratada no item 7.4.2. Para cada aquecedor ou trocador de calor será necessária a distribuição de pontos de água fria.

A água de processo é utilizada na diluição de hidróxido de sódio, na lavagem do carvão ativado, na aglutinação para produção de carvão peletizado e nos bicos aspersores para resfriamento do Biochar que sai dos carbonizadores (RC-101 a RC-106). A água das instalações secundárias ou administrativas consiste na água dos banheiros, cozinha, bebedouros, torneiras disponibilizadas para o laboratório de controle de qualidade e oficina. A estimativa total de consumo diário de água é representada na Tabela 6.

Tabela 6 – Consumo de água diário.

Processo/Equipamento	Água (L/dia)
Carbonizador	6.632,46
Diluição NaOH <sup>(a)</sup>	34.572,42
Lavagem <sup>(a)</sup>	19.775,79
Peletizadora	112,50

---

**Total**

**61.093,17**

---

Fonte: Autores 2022. (a) Proveniente da água quente dos trocadores de calor.

Os dados da Tabela 6 estão demonstrados no Apêndice A, que trata do balanço de massa, e Apêndice B, que trata do balanço de energia, onde é detalhada a quantidade de água requisitada em cada equipamento por ciclo. Na Tabela 6 também é apresentada demanda diária (9 ciclos). Para fins de simplificação, considerou-se a densidade da água como sendo 1 kg/L.

Para áreas prediais e administrativas o consumo de água foi estimado em função do número de funcionários da empresa. de acordo com De Souza (2012), o consumo médio é de 11 L de água por refeição em restaurantes, como a empresa possui 80 funcionários, isso se traduz em um consumo de 880 L de água/dia com refeições.

Para o banheiro, foi utilizado um vaso com caixa acoplada e considerou-se um 200 descargas/dia, o que se traduz em uma média entre 2 a 3 descargas por funcionário por dia. O consumo pode ser de 3 ou 6 L por descarga dependendo do botão acionado. Para o cenário com maior consumo (6 L/dia) o consumo d'água se traduz em 1.200 L/dia.

Para estimar a água gasta nos banhos, considerou-se que 40% dos funcionários tomam banho na empresa por dia. Assumindo-se uma média de 60L por banho, têm-se volume d'água de 1920 L/dia. Visando garantir uma hidratação adequada dos colaboradores, na água dos bebedouros são disponibilizados 160 L/dia, o que garante ao menos 2 L/dia de água para cada funcionário.

O laboratório de controle de qualidade tem consumo d'água com preparo de soluções e limpeza de vidrarias. Considerou-se uma demanda de 150 L/dia para o laboratório e 50 L/dia para a oficina. A Tabela 7 apresenta demanda diária de água para cada utilidade, com exceção da água de processo.

Nas instalações da área industrial as tubulações são de aço carbono galvanizado SCH 40 e na área predial o material é PVC. As Tabelas 8 e 9 apresentam as demandas requeridas para cada diâmetro de acordo com o material. O dimensionamento pode ser visualizado no Apêndice D.1.

Tabela 7 – Demanda de água para os ambientes internos.

Local	Água (L/dia)
Banheiro	3.120
Cozinha	880
Bebedouros	160
Controle de qualidade	150
Oficina	50
<b>Total</b>	<b>4.360</b>

Fonte: Autores (2022).

Tabela 8 – Demanda de tubulação PVC para água fria.

Bitola	Comprimento (m)	Custo por metro (R\$/m)	Custo total (R\$)
50 mm	5,1	14,58	54,36
32 mm	0,65	10,12	6,57
25 mm	6,2	4,67	28,92
20 mm	178,15	4,81	727,15

Fonte: Autores (2022).

Tabela 9 – Demanda de tubulação de aço carbono para água fria.

Bitola	Comprimento (m)	Custo por metro (R\$/m)	Custo total (R\$)
5"	47,95	122,91	5.893,65
4"	31,07	98,33	3.055,22

2"	125,68	45,55	5.724,93
3/8"	35,2	44,23	1.556,9

Fonte: Autores (2022).

#### 7.4.2 Instalações de água quente

A representação das instalações e o cálculo do dimensionamento da tubulação são apresentados no Apêndice D.2. A demanda de água quente no processo será utilizada na água de diluição e na água de lavagem do carvão ativado, ambas com temperatura de 70 °C. O material utilizado para a tubulação da cozinha e banheiro é PPR, enquanto para a água quente de processo a tubulação é de aço galvanizado. A água de lavagem é reutilizada na etapa de diluição e parcialmente na lavagem. A Tabela 10 apresenta a demanda líquida de água quente do processo, considerando-se o reciclo da água de lavagem.

Tabela 10 – Demanda de água quente no processo.

Processo/equipamento	Água (70 °C) (L/dia)	Reciclo (L)	Saldo (L)
Lavagem	98.883	-79.101	19.782
Diluição NaOH	34.572	-	34.572
<b>Total</b>			<b>54.354</b>

Fonte: Autores (2022).

A Tabela 10 representa a demanda diária de água quente no processo para 9 ciclos, o sinal negativo na coluna de reciclo representa a quantidade da água de lavagem que é reaproveitada, diminuindo assim a demanda. O reaproveitamento é apresentado no Apêndice A.2.8.

Para estimar demanda para a cozinha, considerou-se que 50% do volume gasto de água em refeições é de água quente, e para a água de chuveiro foi feita a mesma consideração. A água é aquecida no aquecedor de água da marca Weco, modelo B 1500 V, e seu catálogo é apresentado no Anexo B.9. O consumo diário das instalações civis pode ser visualizado na Tabela 11. A Tabela 12 apresenta o detalhamento da tubulação de água quente.

Tabela 11 – Demanda de água quente civil.

Área	Água (70 °C) (L/dia)
Cozinha	440
Banheiro	960
<b>Total</b>	<b>1.400</b>

Fonte: Autores (2022).

Tabela 12 – Tubulação de água quente.

Bitola	Comprimento (m)	Custo por metro (R\$/m)	Custo total (R\$)
PPR 50mm	2,5	27,29	68,23
PPR 40mm	3,30	19,16	63,29
PPR 32mm	2	13,08	26,16
PPR 20mm	38,20	5,88	224,62
Aço 4"	63,59	98,33	3.597,89

Fonte: Autores (2022).

### 7.4.3 Instalações de vapor e condensado

O vapor gerado na caldeira possui 12,5 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão. As instalações de vapor e condensado utilizarão tubos de aço galvanizado SCH 40 e serão revestidos com material isolante de lã de rocha basáltica da marca Thermax. O detalhamento a respeito está presente no Anexo B.10. Na distribuição da linha serão dispostas válvulas reguladoras de pressão para os equipamentos, além de serem instalados purgadores tipo bóia (Anexo B.11). A demanda de vapor para os trocadores de calor tem seu detalhamento no Apêndice B.4.12. A demanda diária de vapor é apresentada na Tabela 13. A Tabela 14 fornece o detalhamento das tubulações de vapor e condensado.

Tabela 13 – Demanda diária de vapor.

	kg vapor/h	h/dia	kg vapor/dia
TC-101	7.655	1	7.655
TC-102	7.655	1	7.655
Aquecedor	130	2	260
Panelas, caldeirão cozinha	36	4	144
<b>Total</b>			<b>15.714</b>

Fonte: Autores (2022).

Tabela 14 – Tubulações de vapor e condensado.

Bitola	Comprimento (m)	Custo por metro (R\$/m)	Custo total (R\$)
8"	70,70	182,2	12.881,54
2"	60,82	45,55	2.770,35
1 1/2"	11,23	33,6	337,33
3/4"	0,40	23,04	9,22
1/2"	11,63	19,16	223,83
1/4"	13,38	27,68	370,36

Fonte: Autores (2022).

#### 7.4.4 Instalações de ar comprimido

A linha de ar comprimido tem pressão de operação de 7 kgf/cm<sup>2</sup>, sendo composta por tubulação PPR. O dimensionamento da linha pode ser visualizado no Apêndice D.5. A demanda de ar comprimido da empresa é composta pelas ferramentas pneumáticas da oficina e o bico de limpeza do laboratório de controle da qualidade. Será disposto ao final da linha um purgador tipo bóia da marca Spirax Sarco (Anexo B.12). Também será utilizado um filtro regulador lubrificador de ar comprimido com manômetro da marca Schulz (Anexo B.13).

A Tabela 15 apresenta a demanda de ar comprimido, considerando-se uma

utilização de 4 h/dia. O fator de utilização e o consumo por ferramenta está de acordo com Macintyre (1997). Considerou-se que o bico de limpeza do laboratório tem fator de utilização igual a 1, pois é a única ferramenta pneumática utilizada. A Tabela 16 apresenta a tubulação de ar comprimido.

Tabela 15 – Demanda de ar comprimido.

Equipamento	Consumo DLP (m <sup>3</sup> /h)	Fator de utilização	Consumo (m <sup>3</sup> /h)	Consumo (m <sup>3</sup> /dia)
Furadeira	19,80	0,20	3,96	15,84
Rosqueadeira	27	0,20	5,40	21,6
Esmerilhadeira	90	0,30	27	108
Bico de limpeza	30	0,10	3	12
Rebitadores	66	0,10	6,60	26,40
Jato de areia	93	0,20	18,60	74,4
Pistola de pintura	15	0,50	7,50	30
Bico de limpeza Laboratório de C.Q.	30	1	30	120
<b>Total</b>			<b>102,4</b>	<b>408,24</b>

Fonte: Macintyre (1997).

Tabela 16 – Tubulação PPR de ar comprimido.

Bitola	Comprimento (m)	Custo por metro (R\$/m)	Custo total (R\$)
63 mm	6,22	45,93	285,68
50 mm	1,5	28,73	43,09
32 mm	6	13,08	78,48
20 mm	4,8	5,88	28,22

Fonte: Autores (2022).

Ressalta-se que o sistema Airlift será dimensionado após a perfuração do poço, uma vez que as dimensões do mesmo dependem do tubo interno e externo, que por sua vez depende do tamanho da profundidade real do poço, bem como da medida da submersão dinâmica. Os custos com as tubulações referentes a este item estão contabilizados no custos da construção do poço.

#### 7.4.5 Bombas

As bombas foram escolhidas com base na necessidade do processo. A vazão de operação utilizada é 70 m<sup>3</sup>/h. Serão utilizadas 14 bombas de média pressão e vazão ajustável, série BAP-A da marca Bombas Equipe, com vazão máxima de 75 m<sup>3</sup>/h, capacidade de 3.500 rpm e suporte a temperaturas de até 150°C. Quando necessário, a vazão será controlada por válvulas. O detalhamento da bomba está presente no Anexo C.1.

### 7.5 CONTROLE DA QUALIDADE

A unidade industrial contará com controle da qualidade de seus produtos, onde por meio de um laboratório de controle da qualidade as análises necessárias para a garantia da qualidade dos produtos serão realizadas. Desse modo, amostras dos lotes produzidos de silicato de sódio alcalino, carvão ativado em pó e carvão ativado peletizado serão encaminhadas ao mesmo.

### 7.5.1 Controle da qualidade do carvão ativado

A caracterização física e química do carvão ativado será realizada com testes objetivando verificar sua capacidade de adsorção. Desse modo, farão parte das avaliações realizadas:

- Teor de cinzas: Sabe-se que é importante obter um baixo teor de cinzas, pois segundo Chandrasekar *et al.* (2003) as cinzas contem materiais diversos que contribuem para um produto considerado não ideal;
- Perda por secagem: Avaliação utilizada para se definir o teor de umidade de uma amostra. Segundo Vieira (2018), trata-se da redução de água sofrida pelo produto quando submetido a altas temperaturas, sob condições específicas;
- Teor de materiais voláteis: Altos valores de materiais voláteis indicam uma combustão propícia (VIEIRA *et al.*, 2013);
- Teor de Carbono Fixo: Carbono fixo é o carbono não eliminado durante o processo, estando o mesmo ligado a proporção de cinzas e material volátil, de modo que sua massa é calculada pela diferença dos mesmos, subtraindo-se da massa inicial os compostos voláteis, o teor de umidade e as cinzas (RODRIGUES e PEDROZA, 2019);
- Análise granulométrica: O objetivo é determinar a dimensão das partículas que compõem as amostras, de modo a verificar a uniformidade no tamanho das mesmas. Partículas com tamanhos adequados permitem boas condições de filtração e um bom desempenho de adsorção (DIAS, 2004);
- Número de Iodo: Esta avaliação é realizada como indicador relativo à porosidade do carvão ativado, apresentando um índice de porosidade relativa a pequenos poros (LOUREIRO, 2012). Na determinação do número de iodo, o parâmetro utilizado é baseado na ABNT MB-3410 modificada, cuja metodologia é fundamentada na quantidade de iodo absorvido em mg por 1,0 g de carvão ativado.

### 7.5.2 Controle da qualidade do silicato de sódio alcalino

A avaliação da qualidade do silicato de sódio alcalino será realizada com auxílio de testes, de modo a possibilitar a caracterização das amostras e, por consequência, do produto:

- Razão entre sílica e óxido de sódio ( $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ): É uma das características importantes na produção de silicato de sódio, podendo influenciar outras

características do produto. Segundo Link (2013), silicatos solúveis conseguem determinar a composição química pela fórmula  $(\text{SiO}_2)_x(\text{M}_2\text{O})$ , onde M é um metal alcalino (geralmente sódio ou potássio). Assim, sabendo que as massas molares de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Na}_2\text{O}$  são 60 e 62 g/mol, respectivamente, percebe-se que a diferença entre a razão molar e a razão de peso para o silicato de sódio é pequena, sendo usado o fator de 1,033 para esta conversão.

- Densidade: É definida como o quociente entre a massa e o volume da matéria. Este é um teste importante para se fazer no controle de qualidade do silicato de sódio, a qual deve estar dentro de uma média de 1,5 g/mL segundo Ferreira (2013).
- Grau Baumé ( $^{\circ}\text{Be}$ ): É uma escala hidrométrica utilizada para medir a densidade de soluções, levando em consideração diferentes condições operacionais (Ferreira, 2013).
- Viscosidade: Esse teste irá medir a resistência de movimento do fluido, estando diretamente relacionada com a densidade do fluido. Segundo COIMBRA, (2015) graficamente a viscosidade pode ser dita como sendo a derivada da força viscosa (também chamada de força de cisalhamento) por unidade da área entre dois planos paralelos de um fluido em movimento relativo. Este valor pode ser facilmente alterado por processamentos de concentração ou diluição da amostra.

### 7.5.3 Equipamentos do laboratório de controle da qualidade

Para garantir a qualidade das análises realizadas no laboratório, será necessário a utilização dos seguintes equipamentos:

- Cadinho de porcelana;
- Béquer;
- Balão volumétrico de fundo chato;
- Funil;
- Papel filtro;
- Estufa de laboratório;
- Mufla;
- Balança Analítica;
- Agitador de peneiras;
- Peneiras granulométricas;
- Dessecador;

- Paquímetro;
- Porosímetro;
- Analisador elementar;
- Espectrômetro de Fluorescência de Raios X;
- Balão volumétrico.

## 7.6 TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os efluentes da unidade industrial são separados em termos de gás e sólidos, sendo atribuídos diferentes destinos aos mesmos. Durante o processo de produção do carvão ativado são liberados gases como hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono e outros hidrocarbonetos. Os efluentes gasosos serão destinados ao equipamento denominado flare, onde será realizada a conversão dos mesmos em gases menos nocivos ao ambiente.

Os efluentes sólidos da planta industrial são compostos pelos resíduos do laboratório de controle de qualidade, onde o descarte adequado dos mesmos será realizado periodicamente.

## 8. PROJETO DO PROCESSO

A elaboração dos balanços de massa e energia do processo se deu com base na demanda de cada corrente, visando a realização de suas respectivas operações. Desse modo, foram feitas as devidas considerações e utilizados diversos métodos para fins de cálculo com objetivo de compor os sistemas que fazem parte do projeto. Através dos balanços é possível dimensionar e definir os equipamentos, acessórios, utilidades e correntes.

### 8.1 BALANÇO DE MASSA

De posse da análise de mercado da região e da capacidade de fornecimento de matéria prima para processamento e conversão em produtos, o cálculo do balanço de massa utilizou como base de cálculo o conceito de ciclos de operação. Em cada ciclo a planta consegue operar utilizando 2 carbonizadores, onde 6.500 kg de matéria prima são processados por carbonizador, totalizando 13.000 kg de processamento de casca de arroz por ciclo.

Para o cálculo da produção anual, foi utilizado como parâmetro um ano operacional composto por 300 dias, onde diariamente a planta opera em 2 turnos de 8 h, totalizando 4.800 h de operação anuais. A Tabela 17 apresenta o balanço de massa com a produção total por ciclo e consumo de reagentes e matéria prima, bem como utilização de água referente ao processo de diluição. Vale ressaltar que na Tabela 17 não é apresentado o consumo real de água, apenas o que é gasto na diluição, o volume de controle abrange o tanque de diluição, 1 par de carbonizadores e 1 tanque de ativação, dessa maneira, é apresentada uma visão geral do processo, sendo o detalhamento do balanço de massa de cada equipamento apresentado nos itens correspondentes.

Tabela 17 - Estimativa de produção de produtos e consumo de matéria prima e reagentes por ciclo.

Material	Entrada (kg)	Saída (kg)
Casca de arroz	13.000	-

NaOH (escamas)	1.100,34	
Ar atmosférico	9.145,5	-
H <sub>2</sub> O para diluir NaOH	3.658,38	
Gases + Condensáveis	-	17.205,5
Carvão ativado	-	2.746,77
Silicato de sódio (solução)	-	6.951,94

Fonte: Autores (2022).

### 8.1.1 Carbonizadores (RC-101 a RC-106)

Após a recepção, tombamento e peneiramento da casca de arroz, o material segue para os carbonizadores, onde ao ser admitido ocorre a etapa de carbonização com 38% de rendimento gravimétrico (GOMES, 2012) nas condições adotadas pelo projeto. A corrente de saída é composta por 17.205,5 kg de gases e condensáveis e o material retido no fundo do equipamento, composto por 4.940 kg, recebe a denominação de Biochar. A Tabela 18 apresenta o balanço de massa para 1 ciclo. A etapa pode ser observada em mais detalhes no Apêndice A.2.1.

Tabela 18 – Balanço de massa para 1 ciclo.

Material	Entrada (kg)	Saída (kg)
Casca de arroz	13.000	-
Biochar	-	4.940
Ar atmosférico	9.145,5	-
Gases + Condensáveis	-	17.205,5

Fonte: Autores (2022).

### 8.1.2 Tanques de ativação (TA-101 a TA-103)

A etapa subsequente realiza a ativação do Biochar através de tanques agitados e aquecidos com uma solução de NaOH. A solubilização do material em SiO<sub>2</sub> é de 90% (SHELKE, 2010). Para fins de cálculo, foi considerado uma umidade de 9% (GOUVEIA, 2002), um teor de cinzas de 20,48% (CASTRO, 2017) e um teor de SiO<sub>2</sub> nas cinzas de 94,75% (MARTINS, 2003). A concentração da solução de NaOH utilizada na realização desta etapa é de 280 g/L.

Cada corrente de saída dos tanques de ativação contém 2.746,77 kg de carvão ativado e 6.951,94 kg de silicato de sódio. A suspensão formada na mistura dos compostos teve seu volume calculado através do dimensionamento do tanque de ativação. Foram considerados o volume vazio do Biochar, uma margem de segurança de 25% para operação do tanque, a massa específica do Biochar na faixa de trabalho de operação, densidade aparente e porosidade do leito nos cálculos. O volume obtido para cada tanque foi de 8.672,35 L. A Tabela 19 apresenta o balanço de massa para um tanque de ativação. O detalhamento dos cálculos, parâmetros e considerações está presente no Apêndice A.2.2.

Tabela 19 – Balanço de massa para um tanque de ativação.

Material	Entrada (kg)	Saída (kg)
Biochar	4.940	-
Solução de NaOH	4.758,72	-
Carvão ativado	-	2.746,77
Silicato de sódio (solução)	-	6.951,94

Fonte: Autores (2022).

### 8.1.3 Filtros prensa (FP-101 a FP-104)

Na realização da separação do carvão ativado do silicato de sódio, foi adotado como parâmetro de projeto que o carvão retém cerca de 60% do silicato de sódio, sendo assim, em torno de 76,3% da solução de silicato passa pelo filtro prensa, enquanto 23,7% fica retido no carvão, representando 60% de sua massa.

A corrente de entrada do filtro é formada por uma suspensão contendo 2.746,77 kg de carvão em base seca e 6.951,94 kg de silicato de sódio com um módulo de sílica de 2,5 e uma umidade de 56%. As correntes de saída apresentam 5.303,87 kg de silicato de sódio e 4.394,85. Nas considerações dos cálculos há silicato retido no carvão. A Tabela 20 apresenta o balanço de massa para 1 filtro prensa. O detalhamento está presente no Apêndice A.2.3.

Tabela 20 – Balanço de massa para 1 filtro prensa.

Material	Entrada (kg)	Saída (kg)
Carvão base seca	2.746,78	-
Silicato de sódio	6.951,94	5.303,87
Silicato de sódio retido no carvão <sup>a</sup>	-	1.648,07
Carvão seco + silicato retido <sup>b</sup>	-	4.394,85

Fonte: Autores (2022); (a) está contido em (b).

#### 8.1.4 Tanque de lavagem (TL-101)

A torta dos filtros é lavada em um tanque a temperatura de 70 °C na proporção volumétrica de 4 partes de água para 1 de carvão. Para fins de cálculo considerou-se que todo silicato é removido no processo, visto que o residual é significativamente inferior. O carvão lavado contará com uma área superficial na faixa de 600 a 1.200 m<sup>2</sup>/g, e ao sair do tanque de lavagem uma umidade de 80%. Isso se deve ao grande volume de poros. A Tabela 21 apresenta o balanço de massa para o tanque de lavagem. O detalhamento da lavagem está presente no Apêndice A.2.4.

Tabela 21 – Balanço de massa para o tanque de lavagem.

Material	Entrada (kg)	Saída (kg)
Carvão seco + silicato (solução, retido)	4.394,85	-
Silicato de sódio retido (solução)	-	1.648,07
H <sub>2</sub> O	10.987,12	8.789,69

Carvão úmido <sup>a</sup>	-	4.944,20
---------------------------	---	----------

---

Fonte: Autores (2022). (a) Sem silicato.

### 8.1.5 Secador tambor rotativo (ST-101)

Para secar o material e adequá-lo as etapas subsequentes a umidade passará de 80% na entrada para próxima de zero na saída do tambor rotativo. Para fins de cálculo assumiu-se 0%. A Tabela 22 apresenta o balanço de massa para o secador tambor rotativo. O detalhamento é apresentado no Apêndice A.2.5.

Tabela 22 – Balanço de massa para o secador tambor rotativo.

Material	Entrada (kg)	Saída (kg)
Carvão úmido	4.944,20	-
Carvão seco	-	2.746,78
H <sub>2</sub> O removida	-	2.197,42

Fonte: Autores (2022).

### 8.1.6 Tanques de diluição (TD-101 a TD-102)

Os tanques de diluição terão a função de fornecer a solução de NaOH na concentração correta para ativação. Para isto será utilizada a água da lavagem do carvão em conjunto com água nova de processo, de modo a reaproveitá-la e reduzir resíduos. Para fins de cálculo será desprezada a massa de silicato de sódio diluído presente na corrente de reaproveitamento da água da lavagem.

A obtenção de uma solução de NaOH 280 g/L se dará através de um tanque de 10 m<sup>3</sup>, preenchido 90% para fins de segurança, com 2.520 kg de NaOH e 8.771,85 kg de água a 70 °C, sendo isto o necessário para ativação do carvão proveniente dos carbonizadores e produção de silicato de sódio alcalino com as propriedades comerciais desejadas. A Tabela 23 apresenta o balanço de massa para o tanque de diluição. O detalhamento desta etapa está contido no Apêndice A.2.6.

Tabela 23 – Balanço de massa para o tanque de diluição.

Material	Entrada (kg)	Saída (kg)
H <sub>2</sub> O	8.771,85	-
NaOH	2.520	-
NaOH (solução)	-	11.291,85

Fonte: Autores (2022).

### 8.1.7 Peletizadora (P-101)

A peletizadora converterá cerca de 9% do carvão em pó em carvão peletizado. Para realizar esta etapa será utilizado previamente um tanque misturador, onde será adicionado carvão ativado em pó, amido de milho industrial e água, nas proporções 85%, 10% e 5%, respectivamente. Portanto, serão utilizados nesta etapa 250 kg de carvão, 25 kg de amido e 12,5 kg de água. Por fim, a mistura será encaminhada para a peletizadora.

## 8.2 BALANÇO DE ENERGIA

Similar ao balanço de massa, no balanço de energia será abordado o detalhamento da demanda energética dos equipamentos baseada nas vazões anuais de produção. Os resultados devem levar em consideração a multiplicação por 9 ciclos diários operando 300 dias/ano. O detalhamento do balanço de energia está presente no Apêndice B.

### 8.2.1 Balanço de energia para os Carbonizadores (RC-101 a RC-106)

O balanço energético dos carbonizadores baseou-se na Patente WO 2015/168763 A1 (2015), onde constam perdas térmicas de 5% e perdas para manutenção da reação de carbonização de 10%.

Inicialmente considerou-se as energias da casca, do Biochar e dos voláteis. Então, de acordo com Bazzo (1995) calculou-se os poderes caloríficos superiores e inferiores através da Equação 11, presente no Apêndice B.4.1. De posse da composição das correntes, foi possível obter os valores de PCS e PCI para a casca de arroz e Biochar. Os valores são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – PCS e PCI para casca de arroz e Biochar.

	PCS (kJ/kg)	PCI (kJ/kg)
Casca	15.678,44	14.723,18
Biochar	12.901,94	-

Fonte: Autores (2022).

Na sequência, calculou-se os valores energéticos descontando-se 15% de perdas energéticas fornecidos pela patente, levando-se em consideração a matéria prima demandada por 2 carbonizadores (13.000 kg), 9% de umidade e 4.940 kg de Biochar gerado após o processo. O resultado para casca de arroz, Biochar e voláteis com a energia já descontada pode ser observado na Tabela 25. O detalhamento desta etapa pode ser observado no Apêndice B.4.1.

Tabela 25 – Energia para casca de arroz, Biochar, voláteis e descontada.

$E_{ca}$ (kJ)	$E_{bio}$ (kJ)	$E_v$ (kJ)	$(E_v - 15\%)$ (kJ)
191.401.275	63.735.599	127.665.676	108.515.824,6

Fonte: Autores (2022).

Sabe-se que o Biochar deixa o forno a temperatura de 500 °C e que a patente utiliza 6 bicos aspersores com vazões de até 20 L/min atuando por até 5 min com resfriamento até 120 °C. De posse do calor específico do Biochar, das entalpias e calor latente de vaporização da água, é possível estimar um volume de 738,41 L de água necessário para realização do resfriamento. O detalhamento está presente no Apêndice B.4.1.

### 8.2.2 Balanço de energia para o secador tambor rotativo (ST-101)

O processo de secagem do Biochar realizado pelo secador ocorre através de GLP no que se refere ao aquecimento e via motor elétrico para a rotação do tambor. Para a realização desta etapa são demandadas 30,16 lb/h de GLP e 10 kWh de energia elétrica. O detalhamento está presente no Apêndice B.4.2.

### 8.2.3 Balanço de energia para o tanque de diluição (TD-101 a TD-102)

Neste balanço o trabalho de eixo foi desprezado, sendo o ganho de temperatura proveniente somente do calor de solução da diluição do hidróxido de sódio. Para uma proporção molar de água e NaOH de 7,73, o calor de diluição é de 40,346 kJ/mol, obtido através de interpolação de Himmelblau (2006). Para estimar o Cp da mistura foi utilizada a hipótese de mistura ideal presente na Equação 17 do Apêndice B.4.3, e para determinar Cp/R foram utilizadas correlações obtidas de Smith (2007). O resultado pode ser observado na Tabela 26. O detalhamento deste item pode ser visualizado no Apêndice B.4.3.

Tabela 26 – Resultado das iterações do Apêndice B.4.3.

$\Delta h$ (J/mol NaOH)	$\langle Cp \rangle$ (J/mol solução)	$\Delta H$ (J)	$\langle Cp \rangle$ (J)	$(\Delta h / \langle Cp \rangle)$	T (°C)
40.346,00	114,83	4.619,62	114,83	40,23	110,23

Fonte: Autores (2022).

### 8.2.4 Balanço de energia para o tanque de ativação (TA-101 a TA-103)

Para o balanço de energia dos tanques de ativação o trabalho de eixo foi desprezado, assim como os efeitos de movimento e gravitacionais. As entalpias de formação foram obtidas para 25 °C e 1 atm. A divisão do balanço é composta por entalpia das correntes de entrada, entalpia de reação e entalpia da corrente de saída. A Equação 24, presente no Apêndice B.4.4 foi utilizada para determinar a variação das entalpias das correntes de entrada e saída.

A corrente de Biochar proveniente dos carbonizadores possui massa de 4.940 kg e temperatura de entrada no tanque de 120 °C. O calor específico do Biochar foi aproximado do calor específico do carvão de eucalipto, 1,017 kJ/kg°C de acordo com Dos Santos (2013), e foi feita a consideração de que o mesmo é constante no intervalo de temperatura utilizado no processo. Nesta etapa foi obtido um  $\Delta H$  de -477.278,1 kJ. Segundo o balanço de energia para o tanque de diluição, a solução de NaOH entra no reator a 110 °C (Apêndice B.4.3).

De posse das temperaturas de entrada e saída, bem como dos coeficientes apresentados na Tabela 26, foi estimado o Cp médio e calculada a entalpia. Para uma entrada de 240.000 mol de solução (Apêndice A.2.2) foi obtido um  $\Delta H$  de -

1.514.550,825 kJ. A entalpia de saída do carvão ativado foi estimada através do Cp do Biochar. A massa de carvão ativado que deixa o tanque é de 2.746,77 kg, com temperatura de 100 °C. Através da Equação 30 (Apêndice B.4.4), obtém-se um  $\Delta H$  de 209.509,88 kJ. Através da Equação 34 (Apêndice B.4.4), obtém-se um  $\Delta H$  de 666.017,1 kJ para o NaOH que entra no tanque. O detalhamento do balanço de energia para o tanque de ativação está presente no Apêndice B.4.4.

### **8.2.5 Balanço de energia para a caldeira (C-101)**

A caldeira iniciará a operação com seu compartimento d'água preenchido e serão realizados incrementos de água conforme necessidade, de modo a mantê-la em plena operação e com capacidade de suprir até 20.000 kg/h de vapor. Os gases e condensáveis gerados na carbonização serão canalizados integralmente até o equipamento e o excedente à sua demanda será destinado ao flare. A quantidade de gases gerados nos fornos é capaz de suprir a demanda energética da caldeira. O detalhamento está presente no Apêndice B.4.5.

### **8.2.6 Balanço de energia para equipamentos com uso exclusivamente elétrico**

Os equipamentos utilizados no processo apresentados neste item fazem uso energético exclusivamente de energia elétrica. São eles: Ensacadeira de carvão ativado em pó, ensacadeira de carvão ativado peletizado, envasadora de silicato de sódio, moinho e peletizadora. O detalhamento do consumo e custos destes equipamentos pode ser visualizado no item 11.2.3.

## **9. PROJETO DAS INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS**

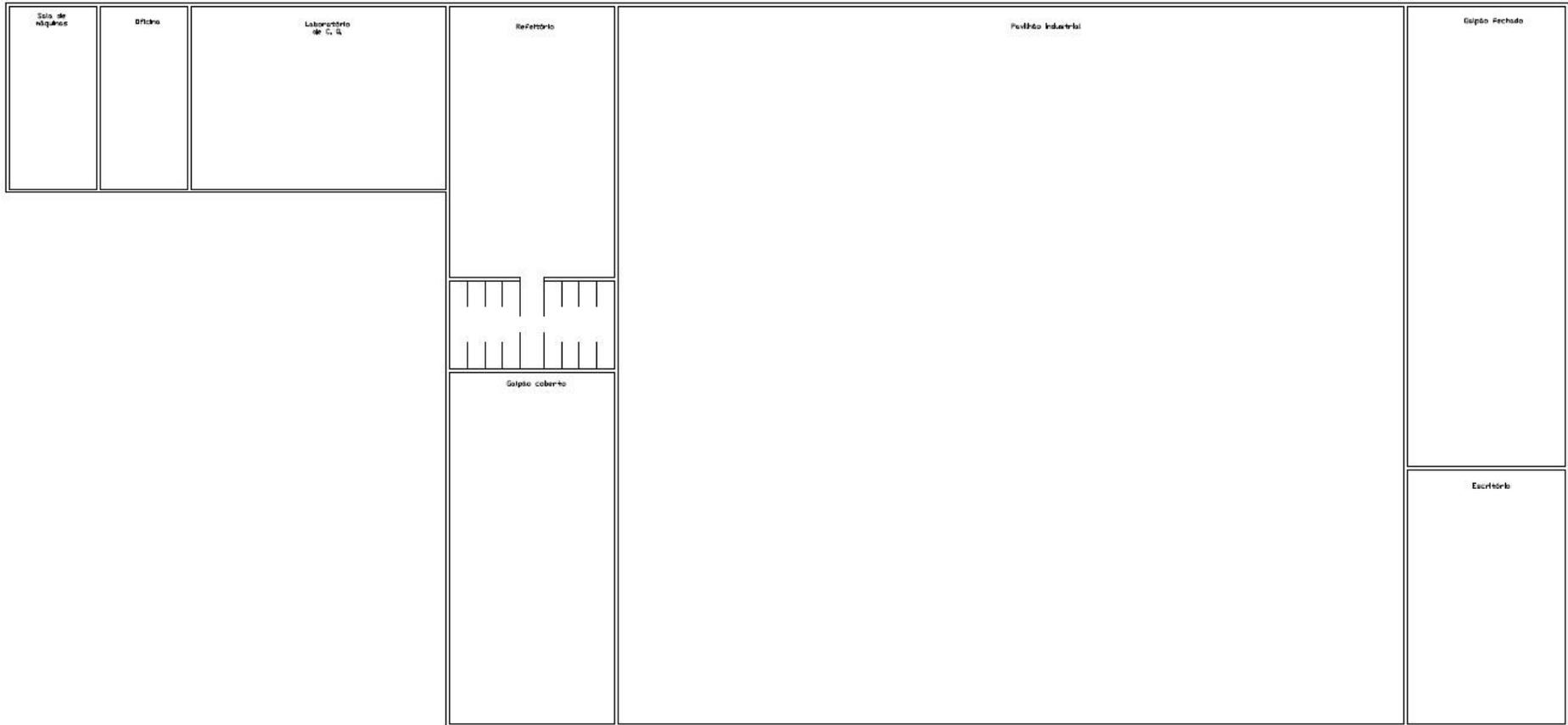
### **9.1 LAYOUT**

De posse do dimensionamento dos equipamentos e sua necessidade espacial, na sequência foi construída a planta baixa e projetado o layout do processo produtivo visando organizar e otimizar as etapas que o compõe. Foi realizada a divisão da representação do layout com objetivo de melhor representar todas as partes do mesmo de forma clara e objetiva. O detalhamento da representação está presente no Apêndice C.

#### **9.1.1 Layout geral**

O layout geral objetiva uma visão do espaço onde o pavilhão industrial está situado, das divisões espaciais e dimensões onde cada etapa estará posicionada. É possível visualizá-lo na Figura 10. O detalhamento deste item está presente no Apêndice C.1.

Figura 11 – Layout geral.

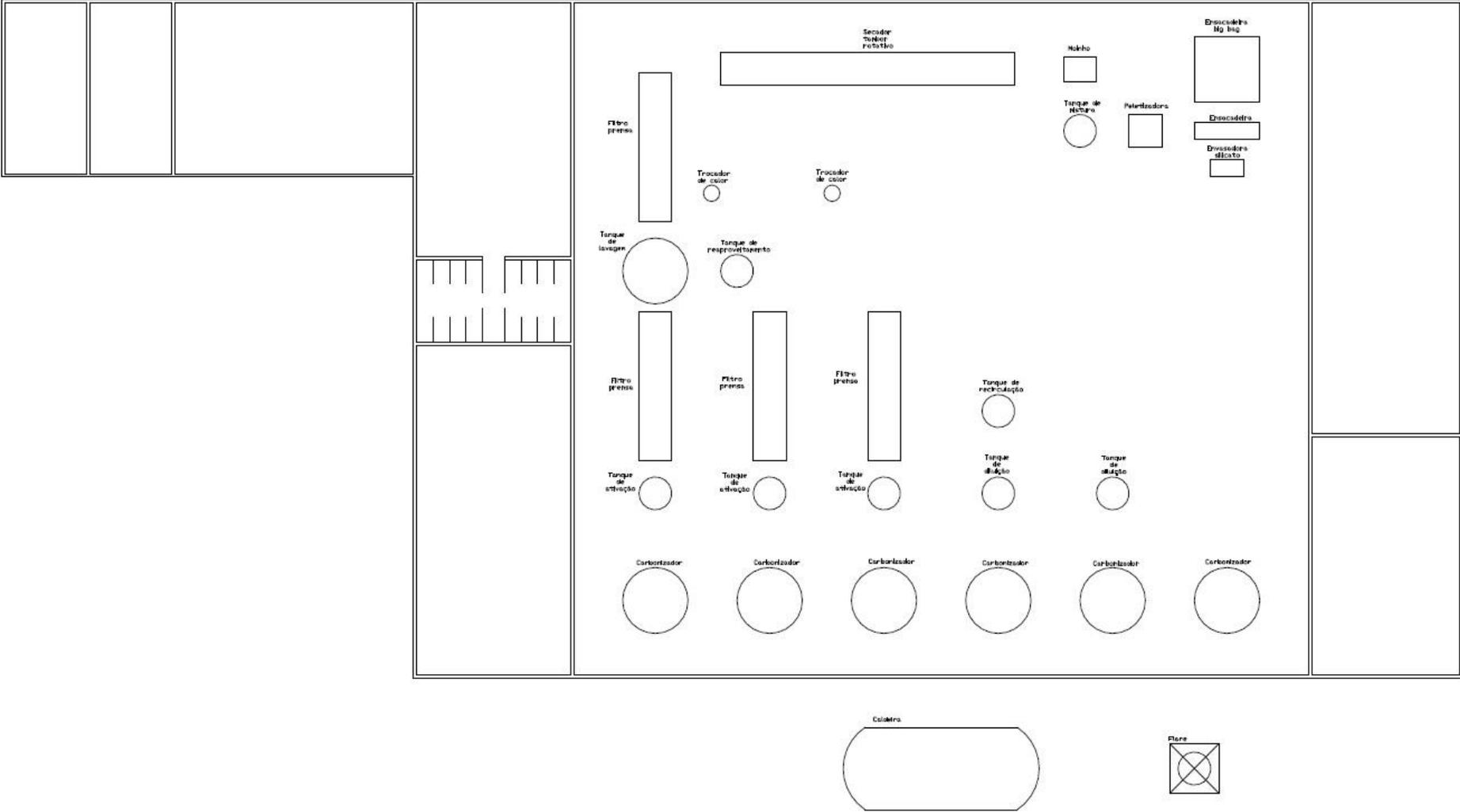


Fonte: Autores (2022).

### **9.1.2 Layout dos equipamentos**

O layout dos equipamentos, por sua vez, visa ilustrar onde ocorrerá cada etapa do processo e os equipamentos envolvidos, de modo a contextualizar a função de cada item no conjunto da obra. É possível visualizá-lo na Figura 11. O detalhamento deste item está presente no Apêndice C.2.

Figura 12 – Layout dos equipamentos.

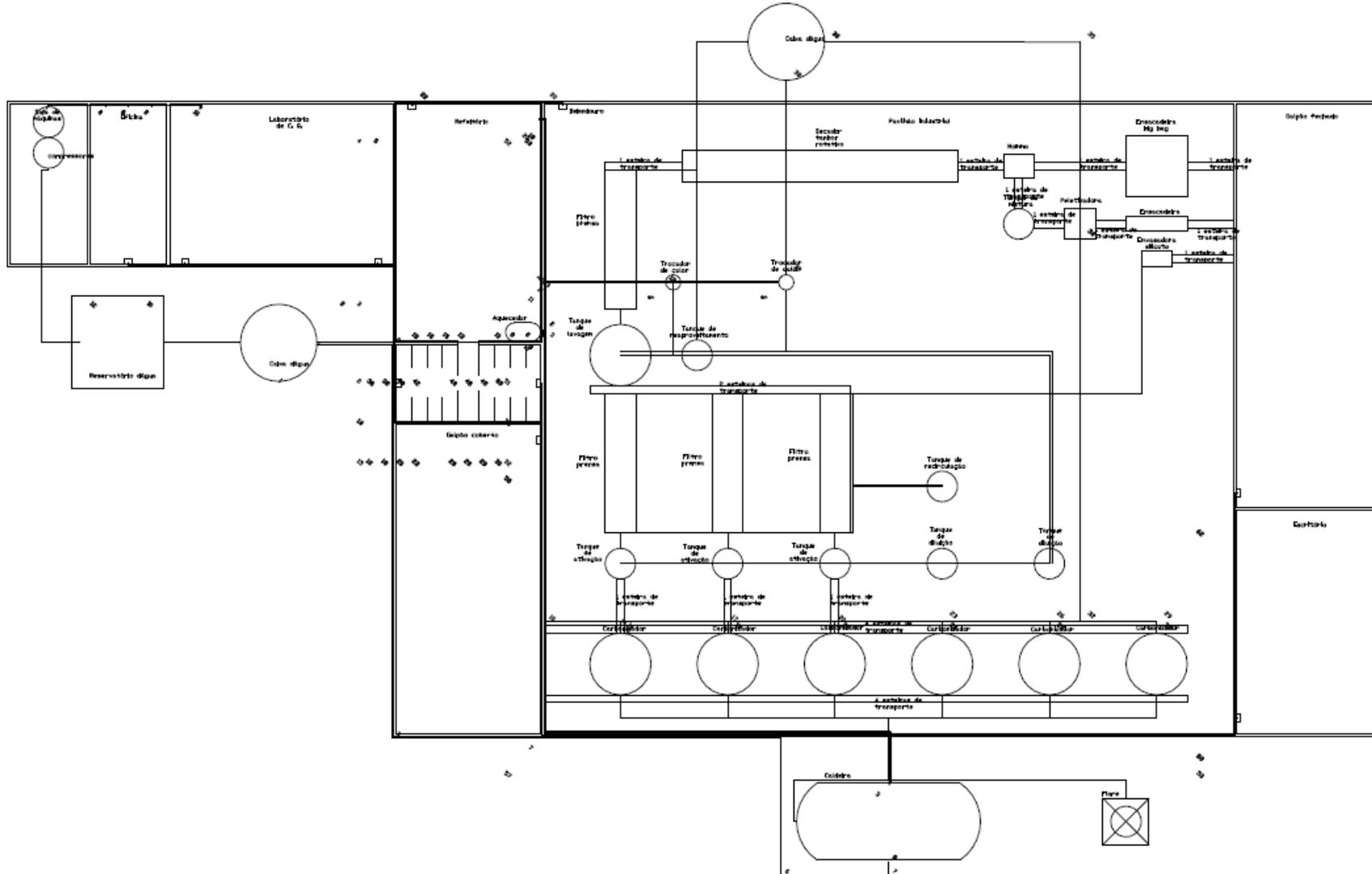


Fonte: Autores (2022).

### **9.1.3 Layout das instalações**

Para uma visualização mais precisa a respeito das tubulações de vapor, condensado, água quente, fria e ar comprimido, foi realizada a divisão da ilustração das instalações. A Figura 12 apresenta o layout completo com equipamentos e instalações. O detalhamento com a representação individual das instalações está presente no Apêndice C.

Figura 13 – Layout completo com equipamentos e instalações.



Fonte: Autores (2022).

## 10. CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO DO PROCESSO

Neste tópico será apresentado o controle e instrumentação de um forno carbonizador. A instrumentação foi realizada utilizando o Diagrama de Processo e Instrumentação (P&ID), conforme a norma ANSI/ISA 5.1 (2009) - *Instrumentation Symbols and Identification*.

### 10.1 INSTRUMENTOS DOS CARBONIZADORES

Os carbonizadores foram escolhidos para realizar a instrumentação e controle, visto que parâmetros de processo como a distribuição da temperatura no forno são fundamentais para que a pirólise seja realizada no tempo previsto e para que o Biochar se distribua de forma uniforme no equipamento, de modo a não haver material sem passagem por degradação térmica.

Serão utilizados termopares do tipo K com objetivo de indicar e transmitir a informação de temperatura através de sinal elétrico. As válvulas são do tipo esfera, acionadas com atuador elétrico, e os controladores tem função de registrar e controlar a temperatura através do acionamento das válvulas, o qual emite sinal elétrico para as mesmas. A pressão é medida através de manômetro, e o peso é medido com célula de carga, onde o sinal é enviado para disparar o alarme quando o rendimento gravimétrico desejado é atingido. Os instrumentos utilizados são descritos na Tabela 27.

Tabela 27 – Instrumentos utilizados no controle e instrumentação.

Instrumento	Tag	Quantidade
Válvula esfera	V 101 a V 128	28
Termopar tipo K	TIT 101 a TIT 134	34
Medidor de peso/massa	WIT 101	1
Medidor de pressão	PI 01 e PI 02	2
Alarme de peso baixo	WAL 101	1
Controlador de temperatura	TRC 01 e TRC 02	2

Fonte: Autores (2022).

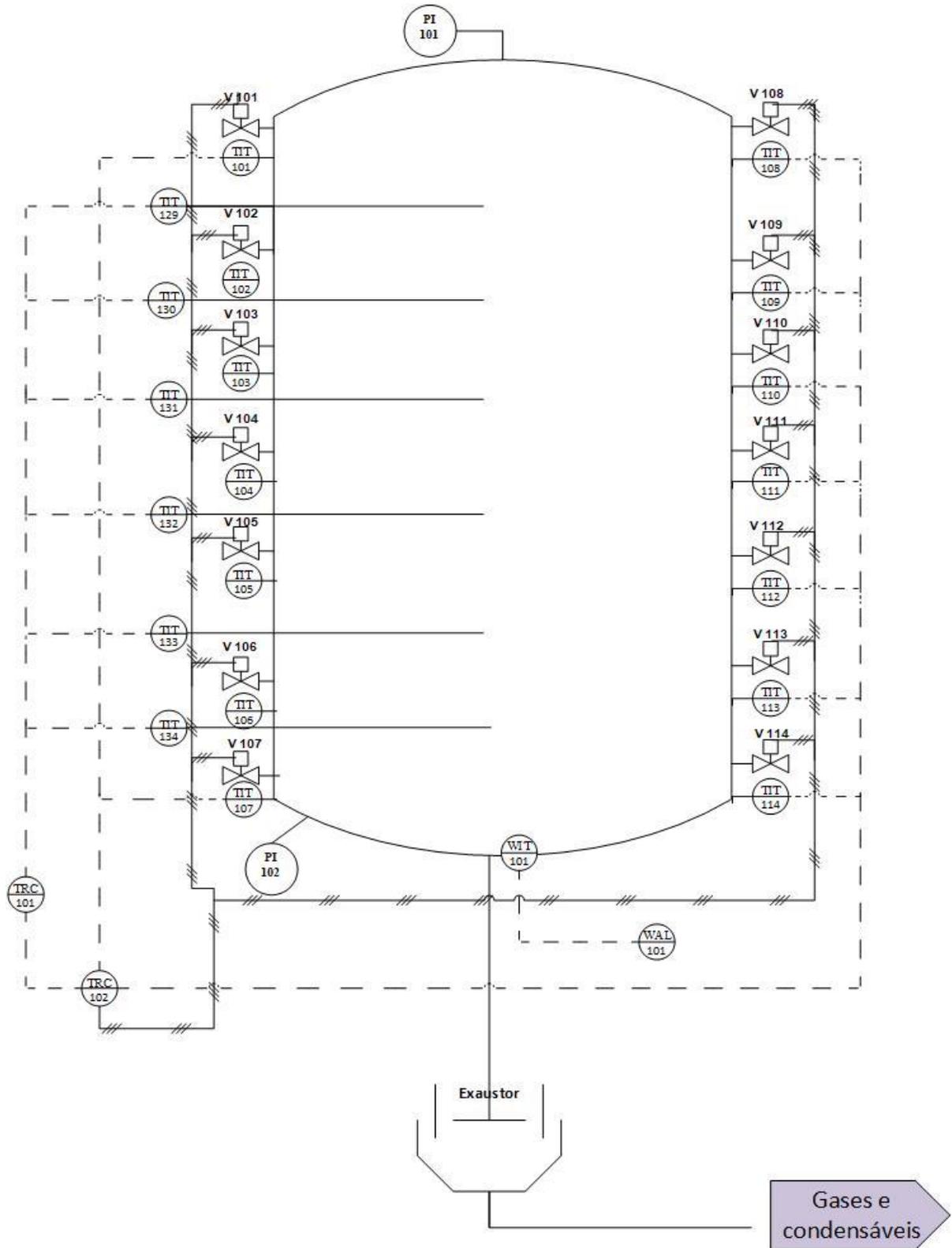
## 10.2 ESTRATÉGIA DE CONTROLE

O sistema de controle é proposto conforme informações descritas na Patente WO 2015/168763 AI (2015), onde termopares aferem a temperatura e válvulas de 4" do tipo esfera podem ser abertas caso a temperatura for menor que o Setpoint, ou fechadas caso a temperatura for maior ou igual ao Setpoint.

O sistema é composto por 28 válvulas, sendo as mesmas distribuídas em 4 colunas e 7 linhas. As colunas são igualmente espaçadas na circunferência do cilindro central do forno. As alturas para a distribuição são recomendadas pela patente de acordo com o volume, sendo as alturas de cada linha de válvulas dadas por um percentual da altura total do forno.

Para medir a temperatura na parte central, 6 termopares são instalados. Medidores de pressão são instalados na parte inferior e superior do forno para verificação da pressão que está operando o processo. Um medidor de peso está acoplado ao fundo do forno e o mesmo envia sinal para o disparo do alarme, acionando-o quando a massa correspondente ao rendimento gravimétrico desejado é atingida. A Figura 13 ilustra o controle e instrumentação, onde os instrumentos da superfície estão compreendidos apenas por V 101 a V 108, e TIT 101 a TIT 114. Demais instrumentos da parte superficial tem funcionamento análogo a estes, portanto, conectados ao controlador TRC 2. Os medidores de temperatura TIT 129 a TIT 134 estão conectados ao controlador TRC 1. Uma visualização mais completa a respeito da instrumentação pode ser realizada a partir do Apêndice E.

Figura 14 – Controle e instrumentação para o carbonizador.



Fonte: Autores (2022).

O controlador TRC 1 recebe informações da temperatura central e envia para o controlador TRC 2, que por sua vez recebe informações dos pares de válvulas e termopares da superfície do equipamento.

O controlador TRC 1 tem a função de receber a informação da temperatura em 6 alturas da parte central, onde cada altura controla uma linha de válvulas, com exceção das 2 linhas inferiores, que são controladas com informações do termopar TIT 134. O controlador TRC 2 envia o comando para as válvulas fecharem quando a parte central e superficial atinge a temperatura desejada. Dessa forma, a temperatura da região central possui hierarquia no acionamento das válvulas, podendo a região superficial estar a uma temperatura ligeiramente maior que a central. Portanto, há garantia de que o forno esteja operando na temperatura desejada.

## 11. ANÁLISE ECONÔMICA

Neste tópico será abordada a precificação de todas as etapas envolvidas na implantação, operação e manutenção da empresa, realizada a partir do levantamento de custos e detalhamento do processo.

### 11.1 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DA UNIDADE INDUSTRIAL

Os custos de implantação da unidade industrial são divididos em custos com implantação, construção civil e aquisição de equipamentos. O detalhamento é apresentado nos itens 11.1 a 11.3.

#### 11.1.1 Custos com construção civil

Os custos com construção civil compõe a aquisição do terreno no distrito industrial do município de Pelotas, a construção do pavilhão industrial e seus anexos. A área construída será de 2.915,62 m<sup>2</sup> e para isto contará com um terreno de 37.000 m<sup>2</sup>, que já conta com terraplanagem e está pronto para a implantação da unidade. Os valores para precificação das instalações foram baseados no Sindicato da Construção Civil do Rio Grande do Sul (SINDUSCON - RS). O detalhamento dos valores referentes a aquisição do terreno, terraplanagem e construção civil estão presentes na Tabela 28.

Tabela 28 – Custos com construção civil.

Item	Área (m <sup>2</sup> )	Custo (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo total (R\$)
Pavilhão industrial	2.318,56	1.117,00	2.589.831,52
Anexos	611,74	2.144,46	1.311.851,96
<b>Total</b>			<b>3.901.683,48</b>

Fonte: Autores (2022).

#### 11.1.2 Custos com licenciamento, seguro e manutenção

O custo para abertura da empresa, no que se refere a documentação de licenciamento prévio para operação, questões ambientais, de implementação, seguro e manutenção dos equipamentos é estimado em 1% do investimento inicial, ou seja, R\$ 182.188,41. O Custo para implementação e partida do sistema de instrumentação

e controle foi considerado 20% do custo com equipamentos instalados. O custo para instalação da tubulação foi considerado como 25% do custo de aquisição da mesma. A Tabela 29 apresenta o detalhamento do investimento inicial.

Tabela 29 - Investimento inicial para implantação da empresa.

Item	Valor (R\$)
Construção civil	3.901.683,48
Equipamentos (instalados)	11.844.935,44
Instrumentação e controle	2.148.924,24
Tubulação com acessórios	75.182,83
Equipamentos de laboratório	137.578,03
Utensílios	102.911,64
<b>Total</b>	<b>18.211.215,66</b>

Fonte: Autores (2022).

### 11.1.3 Custos com equipamentos

Os equipamentos que compõem o processo produtivo da empresa têm origem nacional e internacional. A precificação foi realizada com base em orçamentos, catálogos de equipamentos e com auxílio de sites de comércio nacionais e internacionais. Também foram utilizados sites de fabricantes, que oferecem serviços de cotação, orçamento e taxas de importação de equipamentos, instrumentos e acessórios, como Alibaba, MF Rural e Limana. Equipamentos importados receberão uma correção de valor baseado na cotação do dólar (jan, 2022). Também serão considerados impostos como Cofins, ICMS, IPI, PIS e ST, de modo que o valor final terá um acréscimo em torno de 90%. A taxa de instalação dos equipamentos foi estimada em 15% do valor de aquisição. A Tabela 30 oferece o detalhamento dos custos por equipamento.

Tabela 30 – Custos com equipamentos do processo.

Equipamento	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Caldeira	1	1.245.450,00	1.245.450,00
Compressor	1	20.397,93	20.397,93
Envasadora	1	336.271,50	336.271,50
Ensacadeira	1	99.636,00	99.636,00
Ensacadeira big bag	1	62.272,50	62.272,50
Esteira de transporte	22	22.418,10	493.196,00
Filtro prensa	4	238.056,11	952.224,44
Flare	1	112.090,50	112.090,50
Moinho	1	64.400,00	64.400,00
Peletizadora	1	298.908,00	298.908,00
Reator de carbonização	6	897.687,67	5.386.126,02
Secador tambor rotativo	1	1.245.450,00	1.245.450,00
Tanque de ativação	3	99.636,00	298.908,00
Tanque de recirculação	1	43.590,75	43.590,75
Tanque de lavagem	1	48.572,55	48.572,55
Tanque de mistura	1	24.909,00	24.909,00
Trocador de calor	2	218.500,00	437.000,00
Misturador	4	24.909,00	99.636,00

Peneira	1	31.136,25	31.136,25
Tombador	1	364.300,00	364.300,00
Caixa d'água	2	35.230,00	70.460,000
Bomba	14	4.000,00	56.000,00
<b>Total</b>			<b>11.844.935,44</b>

Fonte: Autores (2022).

#### 11.1.4 Custos com acessórios

Os custos com acessórios compõe joelhos, tês, válvulas, purgadores e filtros utilizados para o funcionamento e manutenção das tubulações da unidade industrial. Seu detalhamento é apresentado na Tabela 31.

Tabela 31 - Custos com acessórios.

Acessório	Quantidade	Custo total (R\$)
Joelho	141	758,58
Tê	68	3.241,56
Válvula de retenção	14	8.664,18
Válvula gaveta	9	896,67
Purgador	6	4.592,40
Filtro	3	1.054,5
<b>Total</b>		<b>19207,89</b>

Fonte: Autores (2022).

### 11.1.5 Custos com utensílios

Os custos com utensílios tratam a respeito da mobília e acessórios que compõe a parte civil da empresa, baseando-se na precificação encontrada no varejo para os produtos necessários. O resumo dos custos com utensílios pode ser observado na Tabela 32. O detalhamento dos custos com escritório e sala de reunião está presente nas Tabelas 33 e 34. O detalhamento dos custos com banheiro e vestiários é apresentado na Tabela 35. Custos com refeitório são apresentados na Tabela 36 e os custos com EPIs na Tabela 37. Custos com a oficina são apresentados na Tabela 38.

Tabela 32 – Resumo dos custos com utensílios.

Utensílios	Valor (R\$)
Escritório e sala de reunião	36.303,00
Recepção	2.048,62
Banheiro e vestiários	7.539,01
EPIs e uniformes	7.661,40
Oficina	34.000,96
Refeitório	23.020,05
<b>Total</b>	<b>110.537,04</b>

Fonte: Autores (2022).

Tabela 33 – Custos com utensílios para escritório e sala de reunião.

Móvel/Utensílio	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Notebook	8	2.974,00	23.792,00
Impressora	2	328,00	656,00

Telefone	16	99,00	1.584,00
Mesa de escritório	16	119,00	1.904,00
Mesa de reunião	2	327,00	654,00
Cadeira de escritório	16	235,00	3.760,00
Estante	4	159,00	636,00
Ar condicionado	2	1.259,00	2.518,00
Projektor	1	799,00	799,00
<b>Total</b>			<b>36.303,00</b>

Fonte: Autores (2022).

Tabela 34 – Custos com móveis e recepção.

Móvel	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Balcão	1	686,00	686,00
Cadeira de escritório	2	235,00	470,00
Mesa de escritório	1	119,00	119,00
Kit 2 Poltronas	2	386,81	773,62
<b>Total</b>			<b>2.048,62</b>

Fonte: Autores (2022).

Tabela 35 – Custos com banheiro e vestiários.

Móvel/Utensílio	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Guarda-volumes 8 portas	3	845,91	2.537,73
Chuveiro	8	50,00	400,00
Vaso sanitário com caixa acoplada	8	499,90	3.999,92
Cuba	2	70,90	141,80
Kit <i>dispenser</i> sabonete e papel toalha	4	94,80	379,20
Lixeira	2	14,09	28,18
Torneira	2	26,09	52,18
<b>Total</b>			<b>7.539,01</b>

Fonte: Autores (2022).

Tabela 36 – Custos com refeitório.

Móvel/Utensílio	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Mesa com bancos 8 lugares	4	1.320,00	5.280,00
Conjunto 12 pratos	3	67,60	202,80
Conjunto 6 copos	6	11,30	67,80
Kit talheres 30 peças	2	45,10	90,20

Lixeira	2	14,09	28,18
Bebedouro	1	734,07	734,07
Caldeirão industrial para cocção	3	3.490,00	10.470,00
Lava louças industrial	1	15.900,00	15.900,00
Cuba	1	70,90	70,90
Kit <i>dispenser</i> sabonete e papel toalha	4	94,80	379,20
<b>Total</b>			<b>23.020,05</b>

Fonte: Autores (2022).

Tabela 37 – Custos com EPIs e uniformes.

Utensílio	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Botina de segurança	60	31,57	1.894,20
Capacete	60	10,90	654,00
Protetor auricular	60	1,56	93,60
Óculos de proteção	60	3,50	210,00
Camisa uniforme	78	20,90	1.630,20
Jaleco uniforme	78	45,90	3.580,20
<b>Total</b>			<b>7.661,40</b>

Fonte: Autores (2022).

Tabela 38 – Custos com oficina.

Utensílio	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Furadeira	2	351,41	70,28
Rosqueadeira	2	5.729,90	11.459,80
Esmerilhadeira	2	421,09	842,18
Bico de limpeza	2	25,04	50,80
Rebitadores	2	1.035,00	2.070,00
Jatos de areia	2	9.650,00	19.300,00
Pistola de pintura	2	103,95	207,90
<b>Total</b>			<b>34.000,96</b>

Fonte: Autores (2022).

### 11.1.6 Custos com controle de qualidade

Os custos com controle de qualidade serão compostos pelo custo com equipamentos, dispositivos e acessórios utilizados na estrutura do laboratório. A Tabela 39 apresenta os itens necessários e seus respectivos custos para compor o laboratório.

Tabela 39 – Custos com equipamentos do controle da qualidade.

Equipamento	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Cadinho	10	11,77	117,70
Béquer	10	3,78	37,80
Balão volumétrico	10	46,68	466,80

Funil	10	13,18	131,18
Papel filtro	10	22,47	224,70
Estufa	1	1.847,00	1.847,00
Mufla	1	4.047,00	4.047,00
Balança analítica	1	3.224,02	3.224,02
Agitador de peneiras	1	4.697,00	4.697,00
Peneira granulométrica	1	237,24	237,24
Dessecador	1	1.184,00	1.184,00
Paquímetro	1	81,90	81,90
Espectrômetro	1	95.497,00	95.497,00
Ar-condicionado	1	1.259,10	1.259,10
Armário aéreo	3	589,97	1.769,91
Bancada com pia	1	1.109,60	1.109,60
Banqueta	4	50,00	200,00
Cadeira de escritório	2	177,22	354,44
Chuveiro e lava-olhos de emergência	1	831,80	831,80
Gabinete de exaustão	2	4.422,52	8.845,04
Mesa de escritório	2	256,40	512,80
Notebook	2	2.451,00	4.902,00

---

<b>Total</b>	<b>137.578,03</b>
--------------	-------------------

Fonte: PR Labor; 7Lab; General Med; LojadoMecânico; AliExpress (2022).

## 11.2 CUSTOS OPERACIONAIS

Os custos operacionais englobam todos os recursos necessários para manutenção da operação em pleno funcionamento. A Tabela 40 resume os custos operacionais.

Tabela 40 – Resumo dos custos operacionais.

<b>Demanda</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Matéria-prima	82.213.702,00
Mão de obra	3.071.566,38
Energia elétrica	569.569,29
EPIs e uniformes	7.661,40
Licenciamento, seguro e manutenção	182.188,41
Alimentação	210.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>86.254.687,48</b>

### 11.2.1 Custos com matéria-prima

Para determinar os custos estimados com matéria-prima considerou-se a quantidade anual a ser utilizada (adotando-se um ano de 300 dias), o valor de cotação do produto, a distância entre a cidade de origem e a cidade sede da onde o projeto está situado, e o preço do frete por tonelada, levando em consideração a quilometragem rodada. Para determinar o custo do frete, utilizou-se a média dos valores encontrados no site Tabelas de Frete. O custo total anual com as matérias primas será de R\$ 82.213.702,00. O detalhamento dos custos está presente no Quadro 12.

Quadro 12 - Detalhamento dos custos com a matéria prima para produção.

Matéria-prima	Quantidade anual (ton)	Custo/ton (R\$)	Cidade de origem	Distância (Km)	Custo com transporte (R\$/ton)	Custo total (R\$)
Casca de arroz	35.100	110,00	Pelotas/RS	20	310,45	14.757.795,00
Hidróxido de Sódio em escamas	4000,86	12.750,00	Ribeirão Preto/SP	1.673	5.290,77	67.077.498,56
Amido de milho	98,19	1.275,00	Trombudo Central/SC	773	2.579,16	378.408,44
<b>Total</b>	39.199,05	14.135,00	-	2.466	8.179,93	<b>82.213.702,00</b>

Fonte: Autores (2022).

### 11.2.2 Custos com mão de obra

Os custos empregatícios referem-se aos custos salariais com colaboradores, benefícios e encargos sociais. A folha salarial da Silicarbon será composta por 80 colaboradores. Os salários considerados representam a média salarial de cada cargo e tem os encargos trabalhistas já contabilizados. Na Tabela 41 são exibidos os principais custos com mão de obra.

Tabela 41 – Custos com mão de obra.

Cargo	Quantidade	Salário (R\$)	Custo real mensal (R\$)	Custo real anual (R\$)
Advogado	1	3.539,00	5.458,55	65502,64
Analista de Controle de Qualidade	1	3.260,00	5.028,22	60338,69

Analista de Logística	4	3.165,00	4.881,70	234321,4
Analista de Vendas	2	3.000,00	4.627,20	111052,8
Assistentes de Produção	2	1.840,00	2.838,02	68112,38
Engenheiro químico	1	6.529,00	10.070,33	120843,96
Faxineira	4	1.082,00	1.668,88	80106,08
Cozinheiro geral	4	1.424,00	2.196,38	35142,08
Ajudante de cozinha	4	1.227,00	1.892,53	30280,44
Gerente de Produção	1	4.622,00	7.128,97	85547,67
Gerente Administrativo	1	2.844,00	4.386,59	52639,03
Operador de máquina	36	1.886,00	2.908,97	1256673,6
Operador de produção	4	1.813,00	2.796,37	134225,8
Porteiro	2	1.335,00	2.059,10	49418,5
Químico	2	4.360,00	6.724,86	161396,74
Recepcionista	2	1.256,00	1.937,25	46494,1

Supervisor Ambiental	1	5.135,00	7.920,22	95042,69
Técnico química	2	2.345,00	3.616,93	86806,28
Técnico segurança do trabalho	1	2.875,00	4.434,40	53212,8
Técnicos de Laboratórios	1	1.907,00	2.941,36	35296,28
Técnicos de Manutenção	2	2.809,00	4.332,60	103982,44
Técnicos Eletricista	2	2.840,00	4.380,42	105129,98
<b>Total</b>	<b>80</b>			<b>3.071.566,38</b>

Fonte: Autores (2022).

### 11.2.3 Custos com energia elétrica

Dentro da operação, inúmeros processos e equipamentos farão uso de energia elétrica para executar plenamente suas funções. O cálculo do consumo foi baseado no detalhamento dos equipamentos fornecido pelos respectivos fabricantes e na tarifa vigente para cidade de Pelotas, RS, referente a Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), sendo a mesma aplicada a classe industrial e modalidade convencional (0,6297 R\$/kWh). A Tabela 42 apresenta o detalhamento dos custos com energia elétrica anuais para 2 turnos de 8h/dia durante 300 dias/ano.

Tabela 42 – Custos com energia elétrica.

Equipamento	Quantidade	Consumo (kWh)	Tempo de uso (h/ano)	Custo (R\$)
Compressor	1	11,20	3.600,00	25.389,50

Envasadora	1	4,00	1.350,00	3.400,38
Ensacadeira	1	4,50	675,00	1.912,71
Ensacadeira big bag	1	4,50	675,00	1.912,71
Esteira de transporte	21	3,5	2.700,00	124.963,96
Filtro prensa	4	11,00	3.600,00	99.744,48
Bomba	14	5,00	3.600,00	158.684,40
Moinho	1	36,78	675,00	15.633,25
Peletizadora	1	37,00	1.350,00	31.453,51
Secador tambor rotativo	1	15,00	3.150,00	29.753,32
Tanque de ativação	3	5,50	3.600,00	37.404,18
Tanque de diluição	2	5,50	3.600,00	24.936,12
Tanque de lavagem	1	5,50	3.600,00	12.468,06
<b>Total</b>				<b>569.569,29</b>

Fonte: Autores (2022).

#### 11.2.4 Custos com depreciação

Conforme Schultz (2006), a depreciação contábil pode ser definida como sendo a alocação de custos para a aquisição de bens, instalações e equipamentos durante períodos em que se busca obter os benefícios decorrentes de sua aquisição e uso. A Equação 1 apresenta o cálculo da depreciação.

$$Depreciação = \frac{\text{Valor contábil} - \text{Valor residual}}{\text{Tempo de vida útil}} \quad (1)$$

Para o cálculo da depreciação dos equipamentos e máquinas considerou-se um

tempo de vida útil de 10 anos e uma taxa de depreciação de 10% a.a., conforme informações disponibilizadas pela Receita Federal. O tempo de operação da empresa será 16 h/dia e 300 dias/ano, totalizando uma carga horária de 4.800 h. A Tabela 43 apresenta os custos com depreciação.

Tabela 43 – Custos com depreciação.

Equipamento	Custo total (R\$)	Depreciação (R\$)
Caldeira	1.245.450,00	124.545,00
Compressor	20.397,93	2.039,79
Envasadora	336.271,50	33.627,15
Ensacadeira	99.636,00	99.636,00
Ensacadeira big bag	62.272,50	6.227,25
Esteira de transporte	493.198,20	49.319,82
Filtro prensa	238.056,11	23.805,61
Flare	112.090,50	11.209,05
Moinho	64.400,00	6.400,00
Peletizadora	298.908,00	29.890,80
Reator de carbonização	5.386.126,02	538.612,60
Secador tambor rotativo	1.245.450,00	124.545,00
Tanque de ativação	298.908,00	29.890,80
Tanque de recirculação	43.590,75	4.359,07
Tanque de lavagem	48.572,55	4.857,25
Tanque de mistura	24.909,00	2.490,90
Trocador de calor	218.500,00	21.850,00
Misturador	99.636,00	9.963,60
Peneira	31.136,25	3.113,62

Tombador	364.300,00	36.430,00
Caixa d'água	35.230,00	3.523,00
<b>Total</b>		<b>1.076.703,93</b>

Fonte: Autores (2022).

### 11.2.5 Custos com alimentação

Os custos com alimentação serão compostos pela soma das refeições realizadas pelos funcionários ao longo de 2 turno diários. Cada refeição tem custo fixo unitário de R\$ 8,75. Para 80 funcionários, o custo resume-se em R\$ 700,00/dia, totalizando R\$ 210.000,00/ano.

### 11.3 IMPOSTOS

A tributação da empresa será constituída do IRPJ (Imposto de Renda Pessoa Jurídica), CSLL (Contribuição Social sobre o Lucro Líquido), PIS (Programa de Integração Social), COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social) e ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços). As taxas IRPJ, PIS e COFINS incidem sobre o lucro bruto da empresa, enquanto o ICMS incide sobre o valor do produto e o CSLL sobre o lucro líquido. A Tabela 44 apresenta as alíquotas aplicadas para o cálculo das taxas consideradas.

Tabela 44 – Taxa das alíquotas.

Alíquota	Taxa
IRPJ	15%
CSLL	12%
PIS	1,65%
COFINS	7,6%
ICMS	17%

Fonte: Autores (2022).

#### 11.4 FLUXO DE CAIXA

A projeção do fluxo de caixa representa uma estimativa sobre os valores futuros de receitas, custos operacionais, custos com financiamento e impostos. É necessário que ao longo dos anos a empresa registre um fluxo de caixa positivo para que apresente retorno aos investimentos e trabalhe com a possibilidade de consolidação e expansão. Como premissa, considerou-se que as receitas têm crescimento à medida que a empresa torna-se mais eficiente em seus processos produtivos e se estabelece em novos mercados. Dito isso, o faturamento nos anos iniciais serão uma fração do faturamento total (R\$ 172.693.498,50). Dessa forma, no ano 1 corresponderia a 50% do faturamento, seguido por 75% 90% da capacidade produtiva nos anos subsequentes.

Na Tabela 45 é apresentado o fluxo de caixa para os próximos 10 anos. Na Tabela 46, tem-se o *payback time* entre o ano 2 e 3 de operação, ou seja, após esse período a empresa recupera o capital investido. Na Figura 14 é apresentado o fluxo de caixa para os 10 primeiros anos de operação.

Tabela 45 – Projeção do fluxo de caixa.

(Continua)

Ano	Faturamento (R\$)	Impostos (R\$)	Custos Operacionais (R\$)	Custo com Financiamento (R\$)	Investimento Inicial (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)
0	-	-	-	-	16.390.094,09	-16.390.094,09
1	86.346.749,25	36.215.389,29	43.127.343,74	3.361.014,16	-	3.334.555,66
2	129.520.123,88	54.323.083,94	64.691.015,61	3.188.813,68	-	6.130.595,56
3	155.424.148,65	65.187.700,72	77.629.218,73	3.016.613,21	-	7.354.991,33
4	155.424.148,65	65.187.700,72	77.629.218,73	2.844.412,73	-	6.853.135,87
5	155.424.148,65	65.187.700,72	77.629.218,73	2.672.212,26	-	6.383.537,05
6	155.424.148,65	65.187.700,72	77.629.218,73	2.500.011,78	-	5.944.330,31
7	155.424.148,65	65.187.700,72	77.629.218,73	2.327.811,31	-	5.533.735,57

(Conclusão)

8	155.424.148,65	65.187.700,72	77.629.218,73	2.155.610,83	-	5.150.056,32
9	155.424.148,65	65.187.700,72	77.629.218,73	1.983.410,36	-	4.791.678,22
10	155.424.148,65	65.187.700,72	77.629.218,73	1.811.209,88	-	4.457.067,35

---

Fonte: Autores (2022).

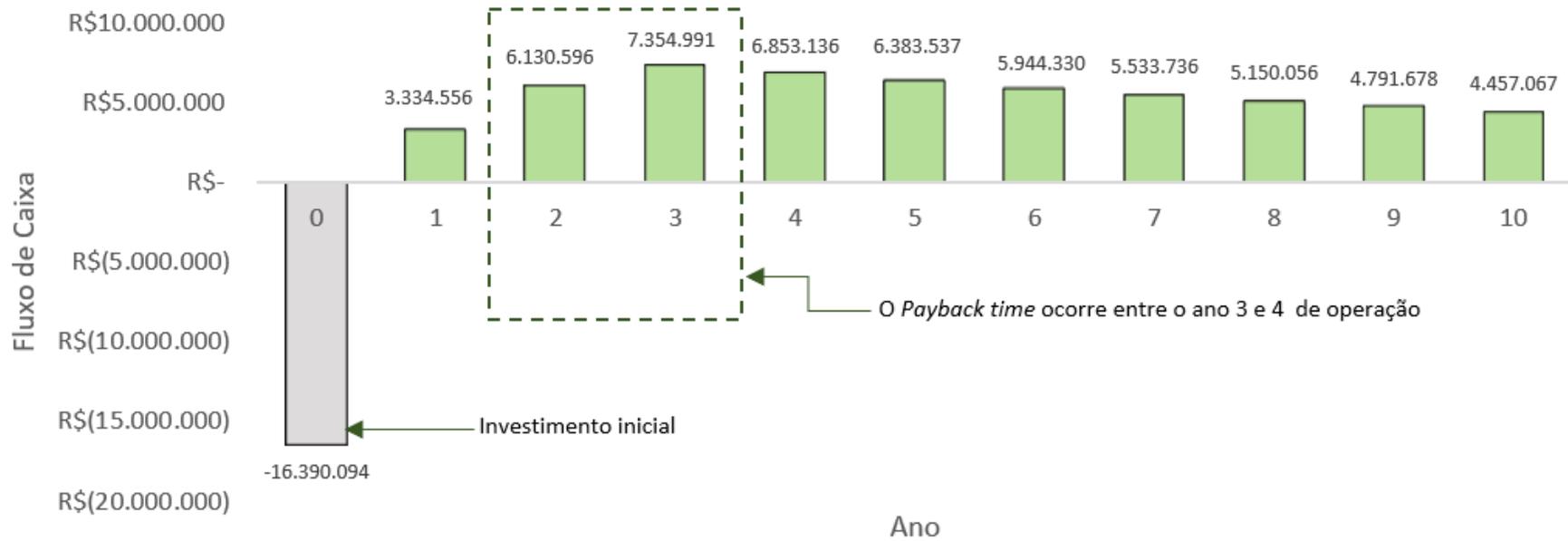
Tabela 46 – Payback.

Ano	Fluxo de Caixa	Valor a Recuperar
0	-16.390.094,09	-16.390.094,09
1	3.334.555,66	-13.055.538,43
2	6.130.595,56	-6.924.942,87
3	7.354.991,33	430.048,46
4	6.853.135,87	7.283.184,33
5	6.383.537,05	13.666.721,38
6	5.944.330,31	19.611.051,69

7	5.533.735,57	25.144.787,26
8	5.150.056,32	30.294.843,57
9	4.791.678,22	35.086.521,79
10	4.457.067,35	39.543.589,14

Fonte: Autores (2022).

Figura 15 – Fluxo de caixa para os primeiros 10 anos de operação.



Fonte: Autores (2022).

### 11.4.1 Financiamento

Para o cálculo do financiamento, utiliza-se apenas os itens relacionados à implantação da unidade industrial (Tabela 29). Dessa forma, a empresa necessitará de um investimento inicial para sua construção de R\$ 18.211.215,66, sendo realizado um financiamento de 90% deste valor (R\$ 16.390.094,09) via Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Os 10% restantes (R\$ 1.821.121,57) são provenientes de investidores. A taxa de juros do BNDES é de 11% a.a. com período de quitação de 10 anos. A taxa é composta por uma parcela de custo financeiro, no caso a taxa Selic vigente de 9,25% a.a., somada a taxa do BNDES vigente de 1,15% a.a. No cálculo da taxa de juros utilizou-se a Equação 1.

$$\text{Taxa de juros} = (1 + \text{Taxa SELIC}).(1 + \text{Taxa BNDES}) - 1 \quad (2)$$

As prestações foram calculadas com base no Sistema de Amortização Crescente (SACRE), conforme apresentado na Tabela 47.

Tabela 47 – Simulação de financiamento com o BNDES.

Período	Saldo Devedor (R\$)	Amortização (R\$)	Juros (R\$)	Prestação (R\$)
0	16.390.094,09	-	-	-
1	14.751.084,68	1.639.009,41	1.722.004,75	3.361.014,16
2	13.112.075,28	1.639.009,41	1.549.804,27	3.188.813,68
3	11.473.065,87	1.639.009,41	1.377.603,80	3.016.613,21
4	9.834.056,46	1.639.009,41	1.205.403,32	2.844.412,73
5	8.195.047,05	1.639.009,41	1.033.202,85	2.672.212,26
6	6.556.037,64	1.639.009,41	861.002,37	2.500.011,78

7	4.917.028,23	1.639.009,41	688.801,90	2.327.811,31
8	3.278.018,82	1.639.009,41	516.601,42	2.155.610,83
9	1.639.009,41	1.639.009,41	344.400,95	1.983.410,36
10	0,00	1.639.009,41	172.200,47	1.811.209,88
<b>Total</b>		<b>16.390.094,09</b>	<b>9.471.026,12</b>	<b>25.861.120,21</b>

Fonte: Autores (2022).

#### 11.4.2 Taxa mínima de atratividade (TMA)

A taxa mínima de atratividade (TMA) é a taxa que representa o mínimo que um investidor espera ser remunerado ao realizar um investimento. Essa taxa é pessoal, pois representa o apetite de risco do investidor. Tradicionalmente, na análise de investimentos a TMA é estimada a partir das principais taxas de juros praticadas no mercado. Para este trabalho, a taxa de juros fixada como referência será a taxa Selic, que atualmente é de 9,25% a.a.

#### 11.4.3 Valor presente líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma métrica que busca calcular o valor presente de uma sucessão de pagamentos futuros descontado uma taxa de custo de capital. Este cálculo é necessário, pois o dinheiro se desvaloriza ao longo do tempo. Em resumo, o VPL aponta se um investimento é viável ou não, ou aquele que possui um retorno financeiro numericamente maior. Para o projeto, obteve-se a um VPL de R\$ 17.725.655,86 indicativo de um investimento economicamente viável por resultar em um valor de VPL positivo.

#### 11.4.4 Taxa interna de retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma taxa de desconto teórica, deduzida a partir de uma projeção de fluxo de caixa quando consideramos que seu Valor Presente Líquido (VPL) é igual a zero. Esta taxa é usada para determinar a viabilidade econômica de um investimento ou projeto, assim como o VPL. Como critério de decisão, tem-se que a TIR deve ser superior à TMA para que seja economicamente

viável. Para o projeto, obteve-se uma TIR igual a 32%, portanto, o investimento é economicamente viável, visto que a condição  $TIR > TMA$  é satisfeita.

## 12. CONCLUSÃO

A utilização de matérias primas alternativas tem aumentado nos últimos anos no contexto de um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. Com isso, um maior interesse no estudo de diferentes usos para resíduos agroindustriais se torna cada vez mais relevante, e produtos com valor agregado obtidos a partir dos mesmos passam a ocupar um patamar de maior destaque no mercado. Com objetivo de produzir produtos nesse sentido, a empresa traz a proposta de produção de 3 modalidades seguindo esta tendência. Através da utilização de mecanismos de recirculação e reciclo no projeto e produção de produtos relevantes no que se refere ao meio ambiente, a empresa se coloca em um cenário otimista no contexto atual.

O processo produtivo utiliza como principais etapas a carbonização, utilizando carbonizadores com tecnologia autotérmica visando realizar a queima da matéria-prima, a lixiviação alcalina com intuito de extrair a sílica e a ativação em meio alcalino para finalização do processo de produção do carvão ativado. Através desse processo obtém-se 21,14% de rendimento em relação ao carvão ativado a partir da casca de arroz.

O resultado da carbonização traduz-se na obtenção de 57.105 ton de carvão ativado e 63.214 ton de silicato de sódio alcalino por ano, gerando um faturamento bruto na ordem de R\$ 172.693.498,50 milhões/ano. Esse faturamento Através da análise econômica foi possível obter um payback time de 3 a 4 anos desde o funcionamento da empresa, que aliado ao fluxo de caixa apresenta um futuro promissor ao processo, validando sua viabilidade. Como melhoria futura de projeto, é possível apontar um melhor aproveitamento energético dos gases gerados no processo de carbonização, onde haveria possibilidade de implantação de um sistema visando gerar energia elétrica, sendo este composto por uma caldeira capaz de gerar vapor superaquecido, um sistema de geração de energia via turbina e uma torre de resfriamento.

Por fim, através da elaboração do projeto foi possível aplicar os conhecimentos adquiridos no decorrer da graduação, de modo a melhor compreender a importância e relevância dos mesmos no que diz respeito a carreira do profissional de Engenharia Química.

## REFERÊNCIAS

ABIQUIM. **Produtos Químicos Brasileiros – BRAZILIAN QUEMICALS**. Disponível em:<<https://brachem.abiquim.org/INDEX/>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

ARMELIN, Rodrigo Luis. **Remoção de íons Fosfato de efluentes industriais por Adsorção**. Orientadora: Maria Lúcia Caetano Pinto da Silva. 2011. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Química, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2011. Disponível em:<<http://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2011/MEQ11012.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

ARMESTO, L. *et al.* **Combustion behavior of rice husk in a bubbling fluidized bed**. Biomass and Bioenergy, v. 23, p. 171-179. 2002.

BAZZO, E. **Geração de Vapor**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1995.

BRASCARBO. **Carvão**. Disponível em:<<https://brascarbo.com.br/carvao/>>. Acesso em 21 dez. 2021.

CASTRO *et al.* **Estudo da utilização de casca de arroz, cavaco de eucalipto e aparas de couro para a geração de energia via co-combustão**. V Congresso Brasileiro de Carvão Mineral. Crisciúma – SC – Brasil. 29 de maio a 01 de junho de 2017.

CHANDRASEKHAR, SATHY *et al.* **Review processing, properties and applications of reactive silica from rice husk - an overview**. Journal of materials science, v. 38, n. 15, p. 3159-3168, 2003.

COIMBRA, A. L. **Mecânica dos fluidos**. 1 ed. Rio de Janeiro. E-papers, 2015. Disponível em:<[http://www.e-papers.com.br/produtos.asp?codigo\\_produto=2641](http://www.e-papers.com.br/produtos.asp?codigo_produto=2641)>. Acesso em: 22 dez. 2021.

COMGÁS. **Características do gás natural**. Disponível em:<

<https://www.comgas.com.br/para-industria/caracteristicas-do-gas-natural/>>. Acesso em: 31 jan. 2022.

CONAB. **A cultura do arroz é destaque na 2ª edição do Boletim da Agricultura Familiar.** Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4284-a-cultura-do-arroz-e-destaque-na-2-edicao-do-boletim-da-agricultura-familiar>>. Acesso em: 08 nov. 2021.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Resolução 441, de 28 de maio de 2013.** Associação Brasileira de Transporte e Logística de Produtos Perigosos. Disponível em: <<http://www.abtlp.org.br/index.php/legislacao/legislacao-federal/resolucoes-do-conselho-nacional-de-transito-contran/>>. Acesso em: 23 dez. 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 237, de 19 de dezembro de 1997.** Disponível em:[https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/CONAMA%20237\\_191297.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/CONAMA%20237_191297.pdf) f. Acesso em: 23 dez. 2021.

DE SOUZA, David Prado; SANTOS, Reieli Knoner; SANTOS, Reginaldo Ferreira. **Estimativa do consumo de água em restaurantes na cidade de cascavel – PR.** Revista Acta iguazu. Vol. 1. Nº 3. 2012.

DELLA, Viviana Possamai; KUHN, Ingeborg; HOTZA, Dachamir. **Reciclagem de Resíduos Agro-Industriais: Cinza de Casca de Arroz como Fonte Alternativa de Sílica.** Cerâmica Industrial, v. 10, n. 2, 2005.

DIAS, Fernanda. **Proposta de valor: o que é e como funciona.** *Voitto*. Disponível em:<<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/proposta-de-valor>>. Acesso em: 22 nov. 2021.

DIAS, J. A. **A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos – Uma Introdução à Oceanografia Geológica.** 2004. Universidade do Algarve – Faro. E-Book. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/publication/236551412\\_A\\_ANALISE\\_SEDIMENT](https://www.researchgate.net/publication/236551412_A_ANALISE_SEDIMENT)

AR E O CONHECIMENTOS DOS SISTEMAS MARINHOS Uma Introdução a Oceanografia Geologica>. Acesso em: 22 dez. 2021.

DIATOM. **Silicato de Sódio**. Disponível em:<<http://diatom.com.br/pt-BR/produtos/silicato/silicato-de-sodio>>. Acesso em: 21 dez. 2021.

DINIZ, Juracy. **Conversão Térmicas de casca de arroz à baixa temperatura: Produção de bioóleo e resíduo sílico-carbonoso adsorvente**. 2005. Tese (Doutorado em química analítica) - Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

DOS SANTOS, Ivanildo da Silva. **Resfriamento artificial de carvão vegetal em fornos de alvenaria**. Tese (Doutorado em engenharia agrícola) – Universidade de Viçosa, Viçosa - MG, 2013.

FERNANDES, I. *et al.* **Caracterização do resíduo industrial de arroz com vistas a sua utilização como biomassa**. 6º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 10 a 13 de junho, 2015, São José dos Campos, SP, Brasil.

FEEMAN, K. **Mercado Silicato de sódio global de 2021 a 2023: demandas crescentes, tamanho, participação e novas tecnologias, desafios específicos do mercado, crescimento e previsão**. 2021. Disponível em: <<http://bragamagazine.com/2021/11/09/mercado-silicato-de-sodio-global-de-2021-a-2023-demandas-crescentes-tamanho-participacao-e-novas-tecnologias-desafios-especificos-do-mercado-crescimento-e-previsao/>>. Acesso em 15 nov 2021.

FERREIRA, Michel Jean *et al.* **Obtenção de silicato de sódio por lixívia alcalina a partir da cinza da casca de arroz (cinza da casca de arroz) para uso como defloculante**. 2013. Disponível em:<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/107112>>. Acesso em: 22 dez. 2021.

FREITAS, Fernando Garcia de; MAGNABOSCO, Ana Lelia; FERREIRA, Rubens. *Trata Brasil*. **Demanda futura por água tratada nas cidades brasileiras 2017 a 2040**. Disponível em: [http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/Demanda\\_futura\\_por\\_%C3%A1gua\\_-](http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/Demanda_futura_por_%C3%A1gua_-)

Instituto Trata Brasil - 26-08-2020a.pdf . Acesso em: 08 set. 2021.

GRAND VIEW RESEARCH. **Activated Carbon Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Powdered, Granular), By Application (Liquid, Gas), By End Use (Water Treatment, Air Purification), By Region, And Segment Forecasts, 2019 - 2025.** Disponível em:<<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/activated-carbon-market>>. Acesso em: 08 set. 2021.

GOMES *et al.* **Aumento no rendimento de carvão vegetal da casca de arroz por meio da carbonização pressurizada a 2 bar.** 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de abril de 2012.

GOTAQUÍMICA. **Silicato de Sódio Alcalino.** Disponível em:<<https://gotaquimica.com.br/produto-quimico/silicato-de-sodio-alcalino/>>. Acesso em: 21 dez. 2021.

GOUVEIA *et al.* **Caracterização da Casca de Arroz Beneficiada.** Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECIMAT). 09 a 13 de novembro de 2002.

HIMMELBLAU, D. M.; J. B., **Engenharia Química –Princípios e Cálculos**, 7ªed., Rio de Janeiro, LTC, 2006.

IBGE. **O Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz em casca do Brasil.** Disponível em:<<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/arroz>>. Acesso em: 08 set. 2021.

IHS MARKIT. **Activated carbon chemical economics handbook.** Disponível em:<<https://ihsmarkit.com/products/activated-carbon-chemical-economics-handbook.html>>. Acesso em: 08 set. 2021.

ILER, R. K.; **The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and**

**Surface Properties, and Biochemistry.** Wiley-Sons, New York, 1979.

IRGA, 2007. **Sílica da casca de arroz garante resistência e durabilidade na construção civil.** Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/silica-da-casca-de-arroz-garante-resistencia-e-durabilidade-na-construcao-civil#:~:text=O%20arroz%20cont%C3%A9m%20cerca%20de,para%20o%20chip%20do%20computador>>. Acesso em: 21 fev. 2022.

JUNG, Su-Hwa; KIM, Joo-Sik. **Production of Biochars by intermediate pyrolysis and activated carbons from oak by three activation methods using CO<sub>2</sub>.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, [s. l.], v. 107, p. 116-122, 2014.

LINK, Marcelo. **Influência da razão SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O do silicato de sódio na defloculação de suspensões aquosas empregadas na conformação por colagem de barbotinas.** 2013. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/87344>>. Acesso em: 22 dez. 2021.

LOUREIRO, Lorena. Frasson. **Avaliação da adsorção do herbicida 2,4-D em carvão ativado em pó e granular por meio de análises de isotermas de adsorção utilizando diferentes quantidades de água.** 2012. Dissertação De Mestrado em Engenharia Ambiental, Programa De Pós-graduação Em Engenharia Ambiental. Centro De Tecnologia. Universidade Federal Do Espírito Santo. Disponível em: <<https://repositorio.ufes.br/handle/10/6168>>. Acesso em: 22 dez 2021.

MACINTYRE, A. J. **Equipamentos Industriais e de Processos.** Rio de Janeiro. LTC, 1997.

MARKETS AND MARKETS, **Sodium Silicate Market by Form (Solid Sodium Silicate, Liquid Sodium Silicate), Application (Detergents, Precipitated Silica, Construction, Pulp & Paper, Water Treatment, Metal Casting, Food Preservation), and Region - Global Forecast to 2022, 2021.** Disponível em <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/sodium-silicate-market-115268271.html?gclid=Cj0KCQiA-K2MBhC-ARIsAMtLKRvdZAWS0dIMKqROsUCnnxTmlluLGSgNMSiEfuQpLiAp->

EAE30SMfD8aAicnEALw\_wcB>. Acesso em: 20 out 2021.

MARKET RESEARCH. **Sodium Silicate Market by Form (Crystalline and Anhydrous), Type (Liquid and Solid), Grade (Neutral and Alkaline), Application (Paints, Adhesives, Refractories Tube Winding, Detergent, Catalyst, and Others), and End Use (Pulp & Paper, Construction, Automo), 2021.** Disponível em: <<https://www.marketresearch.com/Allied-Market-Research-v4029/Sodium-Silicate-Form-Crystalline-Anhydrous-14256466/>> Acesso em: 20 out 2021.

MARSH, Harry; REINOSO, F. R. **Activated Carbon.** [S. l.]: Elsevier Science e Technology Books, 2006. ISBN 0080444636.

MARTINS *et al.* **Cinza de casca de arroz como fonte de silício para síntese de zeólita.** Anais do 12º Congresso Brasileiro de Catálise, 53-58, 16-19 de setembro de 2003.

MDIC. **Exportação e importação geral.** Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>>. Acesso em: 08 set. 2021.

MENEGHEL, Douglas. **Eficiência do poliacrilato de sódio em barbotina tixotrópica em relação ao silicato de sódio.** Orientador: Gilson Bez Fontana Menegali. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Cerâmica, Universidade do Extremo Sul Catarinense. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/682>>. Acesso em: 19 nov. 2021.

MENEZES, E.A.W., SILVA, F.T., MARCHIORO, M.K. **Projeto e Construção de um trocador de calor e de um medidor de vazão para o resfriamento de mocho de cerveja.** 2011. 18f. Trabalho de conclusão da disciplina de Medições Térmicas do curso de Engenharia Mecânica – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Resolução Nº 5.949, de 13 de julho de 2021.** Agência nacional de transportes terrestres. Disponível em: <<http://www.abtlnp.org.br/index.php/legislacao/legislacao-federal/resolucoes-do->

conselho-nacional-de-transito-contran/>. Acesso em: 04 jan. 2022.

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA. **Portaria Nº 240, de 12 de março de 2019.** Disponível em:<[https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/66952742/do1-2019-03-14-portaria-n-240-de-12-de-marco-de-2019-66952457](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/66952742/do1-2019-03-14-portaria-n-240-de-12-de-marco-de-2019-66952457)>. Acesso em: 23 dez. 2021.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA. **Norma Regulamentadora Nº 13 (NR-13).** Disponível em:< <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-13-nr-13>>. Acesso em: 06 jan. 2022.

MORDOR INTELLIGENCE. **Activated Carbon Market - Growth, Trends, Covid-19 Impact, And Forecasts (2021 - 2026).** Disponível em:<<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/activated-carbon-market>>. Acesso em: 08 set. 2021.

MF Rural. **Secador Rotativo.** Marília, 2021. Disponível em:<<https://www.mfrural.com.br/detalhe/178735/secador-rotativo>>. Acesso em: 21 dez. 2021.

NAN, Lu; Best, Gustavo; Carvalho Neto, C. C. de. **Integrated energy systems in China: the cold northeastern region experience.** Research and Technology Development Div. Chapter 7. FAO, 1994.

NEVES, Ubaldo Martins; SILVA, Niléia Cristina da; REIS, Amanda da Silva. **Produção de carvão ativado a partir de casca de arroz.** DESAFIOS: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins – V. 2, No Especial, p. 89-103, 2015.

National Institute of Standards and Technology (NIST). **Disodium metasilicate.** Disponível em:<<https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C6834920&Units=SI&Mask=2>>. Acesso em: 09 jan. 2022.

ORYZASIL. **Usina verde**. Disponível em: <<https://www.oryzasil.com.br/pt-br/usina-verde>>. Acesso em: 23 dez. 2021.

QUIMIDROL. **Carvão Ativado**. Disponível em: <<https://www.quimidrol.com.br/carv-o-ativado-po-1kg.html>>. Acesso em: 27 dez. 2021.

RICHET, Pascal. BOTTINGA, Yan. TEQUI, Christophe. **Heat Capacity of Sodium Silicate Liquids**. Journal of the American Ceramic Society. 1984.

REINOSO, F. R. **Adsorbentes en la solución de algunos problemas ambientales**. Espanha: CYTED, 2004.

RODRIGUES, Camila Ribeiro; PEDROZA, Marcelo Mendes. **Aplicabilidade da casca de arroz como alternativa sustentável para a produção de novos materiais de alto valor agregado**. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/artigo/producao-de-carvao-ativado-partir-da-pirolise-da-casca-de-arroz-em-reator-de-leito-fixo>>. Acesso em: 22 dez. 2021.

ROVANI, S. *et al.* **Comparative study of methods for the synthesis of silica nanoparticles from sugarcane waste ash**. ACS NATIONAL MEETING & EXPOSITION, 257th, March 31 - April 4, 2019, Orlando, FL, USA. Disponível em: <<http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/30915>>. Acesso em: 21 nov. 2021.

RUBIM, Cristiane. **Carvão ativado tem perfil sustentado**. Revista e portal meio filtrante. Ano XIV, nº75. Julho/Agosto de 2015.

SCHETTINO, Miguel Angelo; FREITAS, Jair C. C; CUNHA, Alfredo G.; EMMERICH, Francisco G. **Preparação e caracterização de carvão ativado quimicamente a partir da casca de arroz**. Quim. Nova, Vol. 30, No. 7, 1663-1668, 2007.

SMITH, J. M., VAN NESS, H. C., ABBOT, M. M. **Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química**. Editora LTC, 7ª. Ed. 2007.

STEPHEN, Douglas K. **Highly Activated Carbon from Caustic Digestion of Rice Hull Ash and Method**. Depositante: Agritec Inc. WO 00/16896. Depósito: 23 jul. 1998. Concessão: 22 jul. 1999.

SILVA, Isis; RIBEIRO, José; GOMES, Tairi. **Processo para produção de etanol e sílica a partir da casca e palha de arroz**. Depositante: Maria de Fátima Tonon. PI0903040-9 A2. Depósito: 10 ago. 2009. Concessão: 12 abr. 2011.

SILVEIRA, Joyce Helena e RIES, Lúcia Allebrandt da Silva. **Remoção de Cr(VI) por adsorção empregando carvão ativado comercial e carvão vegetal produzido a partir da casca de arroz**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, 6477-6494, jun. 2019. DOI:10.34117/bjdv5n6-148. ISSN 2525-8761. Disponível em:<[brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/1878/2073](http://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/1878/2073)>. Acesso em: 18 nov. 2021.

SHELKE, V. R, BHAGADE, S. S, MANDAVGANE, S. A. **Mesoporous Silica from Rice Husk Ash**. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 5 (2), 2010, 63 – 67.

Schultz, C. A., Da Silva, M. Z., & Borgert, A. **Crítérios de depreciação: Uma revisão da literatura**. *Anais Do Congresso Brasileiro De Custos - ABC*. Disponível em:<https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/1706>. Acesso em: 12 jan. 2022.

TABELAS DE FRETE. **Simulador da tabela de pisos mínimos vigente**. Disponível em:< <https://www.tabelasdefrete.com.br/p/calculo-carreteiro>>. Acesso em: 28 dez. 2021.

TODKAR, Bajrao S *et al*. **Extraction of Silica from Rice Rusk**. International Journal of Engineering Research and Development, [s. l.], v. 12, p. 69-74, 2016.

TORAASON, Joseph; LANDAY, Richard. **Produtos de reação de fumaça líquida**. Depositante:Kerry Luxemboutgs S.À.R.L.BR 112019022547-1 A2. Depósito: 27 abr. 2018. Concessão: 19 mai. 2020.

TOWLER, G. P.; SINNOTT, R. K. **Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design**. Kindlington, Oxford, U.K., ButterworthHeinemann, 2 ed, 2013.

TSAI, Wen-Tien; LIN, Yu-Quan; HUANG, Hung-Ju. **Valorization of rice husk for the production of porous Biochar materials**. *Fermentation* 2021, pg. 7-70. Disponível em:<https://www.mdpi.com/2311-5637/7/2/70>>. Acesso em: 08 jan. 2022.

UTBR. **Flare**. Campinas, 2021. Disponível em:<<http://www.utbr.com.br/flare/>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

VAIL, J. G. **Soluble Silicates - Their Properties and Uses**. Book Division Reinhold Publishing Corporation. New York, USA, 1952.

VAN WYLEN, Gordon; Sonntag, Richard E. **Fundamentos da termodinâmica**. 8<sup>a</sup>ed. São Paulo. Editora Blucher. 2009.

VICITIN, Ricardo *et al.* **Processo industrial utilizando forno metálico com exaustão forçada e mecanismos desenvolvidos para produção concomitante de carvão, gás combustível, extrato pirolenhoso e alcatrão**. Depósito: 7 mai. 2015. Concessão: 12 nov. 2015.

Vieira. A. C. S; Bariccatti, S. N. M; Siqueira. R. A; Nogueira, J. C; Camargo, C. E. **Caracterização da Casca de Arroz para Geração de Energia**. *Revista Varia Scientia Agrárias*, v. 3, n. 1, p. 51–57, 2013. Disponível em:<<https://e-revista.unioeste.br/index.php/variascientiaagraria/article/view/6100>>. Acesso em: 22 dez. 2021.

Vieira, F. R. **Estudo experimental da pirólise lenta da casca de arroz em reator de leito fixo**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018. Disponível em:<<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/153632>>. Acesso em: 22 dez. 2021.

Worldometer. **Current World Population.** Disponível em:<<https://www.worldometers.info/world-population/>>. Acesso em 08 nov. 2021.

ZUMDAHL, S. S. **Chemical Principles.** 6th Ed. New York: Houghton Mifflin Company, 2009.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – BALANÇO DE MASSA

Nesta seção será abordado o detalhamento do balanço de massa do processo produtivo, visando relacionar as demandas produtivas com o fornecimento de matéria-prima. Primeiramente será realizada uma abordagem global, e posteriormente uma abordagem particular com o detalhamento dos equipamentos envolvidos no processo de obtenção dos produtos.

Para cada ciclo de operação considera-se o volume de casca processado em dois fornos carbonizadores. O cálculo das vazões anuais de produção leva em consideração os resultados apresentados nas tabelas desta seção, multiplicados por 9 ciclos/dia e 300 dias/ano.

#### A.1 BALANÇO DE MASSA POR CICLO

O cálculo do balanço de massa é baseado na capacidade de processamento de casca de arroz da planta. A patente utilizada para a definição do processo de carbonização da casca de arroz indica uma capacidade ideal de operação de 50 m<sup>3</sup>, portanto, um processamento de 6.500 kg de casca por forno, visto que a massa específica da casca é 130 kg/m<sup>3</sup> segundo Fernandes (2014).

Para a obtenção de silicato de sódio alcalino com as características comerciais desejadas (Tabela 2), deverá ser utilizado um módulo de SiO<sub>2</sub> de 2,5 na etapa de ativação do Biochar, ou seja, uma razão molar SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O de 2,5:1. As Equações 3 e 4 descrevem a etapa de ativação do Biochar:



A Tabela 48 apresenta o balanço de massa com a produção total por ciclo e consumo de reagentes e matéria prima, bem como utilização de água referente ao processo de diluição. Vale ressaltar que na tabela 48 não é apresentado o consumo real de água, apenas o que é gasto na diluição, o volume de controle abrange o tanque de diluição, 1 par de carbonizadores e 1 tanque de ativação, dessa maneira apresenta uma visão geral do processo, sendo o detalhamento do balanço de massa de cada

equipamento apresentado em tópicos específicos na sequência.

Tabela 48 - Estimativa de produção de produtos e consumo de matéria prima e reagentes por ciclo.

Material	Entrada (kg)	Saída (kg)
Casca de arroz	13.000	-
NaOH escamas	1.100,34	
Ar atmosférico	9.145,5	-
H2O para diluir NaOH	3658,38	
Gases + Condensáveis	-	17205,5
Carvão ativado	-	2746,77
Silicato de sódio (solução)	-	6951,94

Fonte: Autores (2022).

## A.2 BALANÇO DE MASSA POR EQUIPAMENTO

### A.2.1 Carbonizadores (RC-101 a RC-106)

Ao ser admitida no carbonizador, a casca passa por um processo de carbonização seguido por pirólise, de modo a transformar o material em Biochar, gases e condensáveis. Segundo Gomes (2012), o rendimento gravimétrico para produção de Biochar é 38% nas condições reacionais adotadas pelo projeto. O resultado do processo, com base em 1 ciclo, é descrito na Tabela 49.

Tabela 49 – Detalhamento do balanço de massa para 1 ciclo.

Material	Entrada (kg)	Saída (kg)
Casca de arroz	13.000	-
Biochar	-	4.940

Ar atmosférico	9.145,5	-
Gases + Condensáveis	-	17.205,5

---

Fonte: Autores (2022).

### A.2.2 Tanques de ativação (TA-101 a TA-103)

Na sequência da carbonização, o Biochar é encaminhado para tanques agitados, onde será realizado o processo de ativação do material em contato com a solução de NaOH. Segundo Shelke (2010), a solubilização de NaOH em SiO<sub>2</sub> é de 90%.

A base de cálculo leva em consideração uma umidade de 9% segundo Gouveia (2002), um teor de cinzas de 20,48% segundo Castro (2017) e um teor de SiO<sub>2</sub> nas cinzas de 94,75% segundo Martins (2003). O resultado é descrito nas Tabelas 50 e 51.

Tabela 50 – Caracterização do Biochar.

	Casca	Umidade	Cinzas (base seca)
(%)	100	9	20,48
(kg)	13.000	1.170	2.422,78

Fonte: Autores (2022).

Tabela 51 – Caracterização das cinzas.

	Cinzas	SiO <sub>2</sub>	Outros (sais)
(%)	100	94,75	5,25
(kg)	2.422,78	2.295,59	127,20

Fonte: Autores (2022).

A concentração da solução de NaOH formulada para a etapa de ativação é 280 g/L. O resultado do processo, com base em 1 ciclo, é descrito na Tabela 52.

Tabela 52 – Detalhamento do balanço de massa para o tanque de ativação.

Material	Entrada (kg)	Saída (kg)
Biochar	4.940,00	-
Solução de NaOH	4.758,72	-
Carvão ativado	-	2.746,77

Silicato de sódio (solução)	-	6.951,94
--------------------------------	---	----------

---

Fonte: Autores (2022).

Com a concentração de NaOH utilizada, o silicato obtido na Tabela 52 possui as características comerciais apresentadas na Tabela 2, sendo portanto um produto pronto para comercialização, não sendo necessário posteriores etapas de concentração ou diluição. Portanto, é necessário somente o filtro prensa para realizar a separação do carvão ativado da solução de silicato e condicionamento do produto.

Para o dimensionamento do tanque de ativação considerou-se que volume de solução ocupa espaços vazios presentes na porosidade do leito, portanto o volume real é dado pela Equação 5:

$$V_r = (V_{\text{biochar}} - V_{\text{vazio}}) + V_{\text{solução}} \quad (5)$$

Ao volume do reator é acrescido uma margem de 25% para segurança operacional, portanto:

$$V_{\text{reator}} = 1,25V_r \quad (6)$$

A massa específica do Biochar na faixa de temperatura de trabalho é 1,643 kg/L e a densidade aparente 1,299 kg/L, com uma porosidade do leito de 0,209 (TSAI, 2021). Utilizando estes valores de densidade e massa de Biochar, tem-se:

$$V_{\text{biochar}} = 4.940/1,299 = 3.802,93 \text{ L} \quad (7)$$

O Volume vazio é encontrado através da porosidade:

$$V_{\text{vazio}} = 3.802,93 \times 0,209 = 794,81 \text{ L} \quad (8)$$

Mas o volume da solução é conhecido:

$$V_{\text{solução}} = 3.929,76 \text{ L} \quad (9)$$

Portanto, o volume do reator é:

$$V_{\text{reator}} = 8.672,35 \text{ L} \quad (10)$$

Como dificilmente são encontrados reatores com este volume em termos comerciais, será adotado um reator com volume 10.000 L.

### A.2.3 Filtros prensa (FP-101 a FP-104)

Após a ativação é necessário realizar uma etapa de separação através de um filtro prensa, de modo a separar a solução de silicato de sódio alcalino do carvão ativado. O carvão ativado é um material poroso com alta tendência a reter umidade e outros compostos. Como parâmetro de projeto, considerou-se que o carvão retém cerca de 60% do silicato de sódio (0,6 kg de solução de silicato de sódio alcalino para cada 1 kg carvão sólido seco). Sendo assim, em torno de 76,3% da solução de silicato passa pelo filtro prensa, enquanto 23,7% fica retido no carvão, representando 60% de sua massa.

A corrente de entrada do filtro prensa é uma suspensão contendo 2.746,77 kg de carvão ativado (base seca) e 6.951,94 kg de silicato de sódio alcalino (módulo de sílica de 2,5 e 56% de umidade). A Tabela 53 apresenta o balanço material para o filtro prensa:

Tabela 53 – Detalhamento do balanço de massa para o filtro prensa.

Material	Entrada (kg)	Saída (kg)
Carvão base seca	2.746,78	-
Silicato de sódio	6.951,94	5.303,87
Silicato de sódio retido no carvão <sup>a</sup>	-	1.648,07
Carvão seco + silicato retido <sup>b</sup>	-	4.394,85

Fonte: Autores (2022); (a) está contido em (b).

#### A.2.4 Tanque de lavagem (TL-101)

Após o filtro prensa, a torta segue para um tanque de lavagem. Segundo a patente WO 00/16896 (1998) é possível obter um carvão ativado com área superficial na faixa de 600 a 1.200 m<sup>2</sup>/g a partir da lixiviação alcalina da cinza da casca de arroz. Para chegar neste resultado, o autor sugere que é necessária uma etapa de lavagem com água quente (70°C), na proporção volumétrica de 3 partes de água para 1 de carvão e, posteriormente, uma lavagem com solução de ácido fosfórico. Para este projeto será adotado somente a etapa de lavagem com água, visto que não é desejado a geração de resíduos no processo.

Visando outras etapas e o reaproveitamento da água de lavagem, serão adotadas adaptações ao que é proposto na patente, como lavagem na proporção em massa de 4 partes de água para 1 de carvão (4kg água para 1 kg de carvão seco) e temperatura de 70°C. Para fins de cálculo considera-se que todo silicato é removido no processo de lavagem, visto que o valor residual é significativamente inferior ao todo.

O carvão é um material poroso, portanto, considera-se que ao sair do tanque de lavagem terá 80% de umidade devido ao grande volume dos poros. O resultado desta etapa, com base em 1 ciclo, é descrito na Tabela 54.

Tabela 54 – Detalhamento do balanço de massa para o tanque de lavagem.

Material	Entrada (kg)	Saída (kg)
Carvão seco + silicato (solução, retido)	4.394,85	-
Silicato de sódio retido (solução)	-	1.648,07
H <sub>2</sub> O	10.987,12	8.789,69
Carvão úmido <sup>a</sup>	-	4.944,20

Fonte: Autores (2022). (a) Sem silicato.

### A.2.5 Secador tambor rotativo (ST-101)

Na sequência da lavagem do material é necessário secá-lo, retirando o excesso de umidade e adequando o mesmo para o processo de embalagem. Esta etapa é realizada por um secador do tipo tambor rotativo. A umidade de entrada do material é de 80% e a de saída próxima a zero, assumindo-se para fins de cálculo 0%. O resultado desta etapa é descrito na Tabela 55.

Tabela 55 – Detalhamento do balanço de massa para o secador tambor rotativo.

Material	Entrada (kg)	Saída (kg)
Carvão úmido	4.944,20	-
Carvão seco	-	2.746,78
H <sub>2</sub> O removida	-	2.197,42

Fonte: Autores (2022).

### A.2.6 Tanques de diluição (TD-101 a TD-102)

O tanque TD-102 fará a diluição na concentração desejada, enquanto o tanque TD-101 servirá como tanque pulmão para distribuição da solução de NaOH para os tanques de ativação. Este mesmo tanque, em situações excepcionais, também poderá ser utilizado para realizar a diluição. No processo de diluição poderá ser usada água da lavagem do carvão. Neste caso, por simplificação será desprezada a massa de silicato de sódio, e também poderá ser utilizada água nova (não proveniente de nenhum processo). O volume do tanque é de 10 m<sup>3</sup> e, para uma margem de segurança será adotado que o tanque será preenchido 90% de seu volume, ou seja, 9 m<sup>3</sup>. O objetivo é produzir uma solução 280 g/L. Valores utilizados no processo estão descritos na Tabela 56.

Tabela 56 – Detalhamento do balanço de massa no tanque de diluição.

Material	Entrada (kg)	Saída (kg)
H <sub>2</sub> O	8.771,85	-
NaOH	2.520,00	-

NaOH (solução)	-	11.291,85
----------------	---	-----------

---

Fonte: Autores (2022).

A água informada na Tabela 56 possui temperatura de 70°C e apresenta massa específica de 974,65 kg/m<sup>3</sup>, conforme consultado em no Apêndice B das tabelas de propriedades termodinâmicas da água (VAN WYLEN, 2009). De posse das massas utilizadas nos cálculos, pode-se estimar a densidade da solução em 1,25465 kg/L.

### **A.2.7 Peletizadora (P-101)**

Após o carvão ativado sair do moinho, aproximadamente 9% (250 kg) da corrente será direcionada para um tanque misturador a fim de realizar a mistura entre o carvão ativado, aglutinante (amido de milho industrial) e água. A mistura proveniente desse tanque deve conter 85% de carvão ativado, 10% de amido de milho industrial e 5% de água (DE FONTES, 1989), portanto 250 kg de carvão ativado, 25 kg de aglutinante e 12,5 kg de água. Por fim, a mistura passará pela peletizadora formando pellets de carvão, facilitando o manuseio do produto final e agregando as características correspondentes a esta modalidade de produto.

### **A.2.8 Reaproveitamento da água de lavagem**

O tanque de lavagem (TL-101) devolve para o processo aproximadamente 8.709 L de água, que precisa ser reaproveitada para que o processo não gere resíduos. A Tabela 57 apresenta o caminho para o reaproveitamento da água, onde água R é a água reciclada. As outras colunas indicam o destino onde pode ser aproveitada para o tanque de diluição de NaOH e /ou retornar para lavagem do próximo ciclo (n+1). A água remanecente é destinada a caixa d'água externa de 40.000 L (Anexo B.14). Este volume possibilita a diluição para atender padrões desejados pelo processo, caso necessário.

Tabela 57 – Destino da água de reciclo.

Ciclo	Água R (L)	TQ diluição (L)	Lavagem (n +1)	Caixa d'água (L)
1	8.709	8.709	0	0
2	8.709	0	8.709	0
3	8.709	5.248	2.000	1.461
4	8.709	5.248	3.461	0
5	8.709	0	2.000	6.709
6	8.709	0	8.709	0
7	8.709	0	2.500	6.209
8	8.709	0	8.709	0
9	8.709	0	0	8.709
<b>Total</b>	<b>78.381</b>	<b>19.205</b>	<b>36.088</b>	<b>23.088</b>

Fonte: Autores (2022).

A Tabela 58 informa a demanda de água para lavagem de cada ciclo e apresenta a procedência da mesma, onde água nova é a denominação para a água ainda não utilizada no processo e a água R (n-1) é água que já foi usada 1x no ciclo anterior, sendo esta usada novamente no ciclo atual.

Tabela 58 – Procedência da água de lavagem.

Ciclo	Demanda (L)	Água nova (L)	Água R (n-1) (L)
1	10.998	2.289	8.709
2	10.998	10.998	0
3	10.998	2.289	8.709
4	10.998	8.998	2.000
5	10.998	7.537	3.461

6	10.998	8.998	2.000
7	10.998	2.289	8.709
8	10.998	8.498	2.500
9	10.998	2.289	8.709
<b>Total</b>	<b>98.982</b>	<b>54.185</b>	<b>44.797</b>

Fonte: Autores (2022).

O primeiro ciclo é abastecido com água usada que estava armazenada na caixa d'água externa. Esta caixa d'água também fornece volume necessário para diluição de NaOH de 4 ciclos. Os 5 ciclos restantes são usados de acordo com a coluna "TQ diluição" da Tabela 57. Para fornecer o volume necessário aos 4 ciclos de diluição e a primeira lavagem do dia é necessário fornecer aproximadamente 985 L de água nova para caixa d'água externa. Como o volume total é grande, surge a possibilidade de adicionar-se mais água caso necessário, a critério dos resultados do controle de qualidade.

## APÊNDICE B – BALANÇO DE ENERGIA

### B.3 BALANÇO DE ENERGIA

Nesta seção é apresentado o balanço de energia do processo produtivo. A apresentação será feita por equipamento do processo onde o balanço de energia se faz necessário.

### B.4 BALANÇO DE ENERGIA POR EQUIPAMENTO

#### B.4.1 Carbonizadores (RC-101 a RC-106)

Para o balanço energético de cada forno considerou-se valores fornecidos pela patente WO 2015/168763 A1 (2015), onde a informação de que 5% da energia é considerada perda térmica pelo sistema de isolamento, e 10% da energia é consumida para manter o processo de pirólise.

O volume de controle engloba o forno carbonizador, entretanto, para realizar o balanço de energia, considera-se que os gases e condensáveis gerados são queimados. Desse modo, é possível estimar a energia que pode ser gerada a partir da corrente de saída do forno. Vale ressaltar que esta consideração é válida apenas para estimar a energia proveniente da queima dos gases, pois não se tem informações precisas a respeito da composição de saída do reator, mas sabe-se que a lei de conservação de energia pode ser aplicada. O balanço de energia com as considerações propostas pode ser observado a partir da Equação 11:

$$E_{Ca} = E_{bio} + E_v \quad (11)$$

Onde:

$E_{Ca}$  = Energia da casca (potencial de geração a partir de sua queima);

$E_{bio}$  = Energia do Biochar (potencial de geração a partir de sua queima);

$E_v$  = Energia dos voláteis (potencial de geração a partir de sua queima).

Bazzo (1995) fornece correlações para estimar o poder calorífico superior (PCS) (kJ/kg) e poder calorífico inferior (PCI) (kJ/kg) de um determinado combustível com base em sua composição elementar:

$$PCS = 33900c + 141900 \left( h - \frac{O}{8} \right) + 9200s \quad (12)$$

$$PCI = PCS - 2440(9h - w) \quad (13)$$

Onde:

$c$  = Teor de carbono (kg/kg combustível);

$h$  = Teor de hidrogênio (kg/kg combustível);

$O$  = Teor de oxigênio (kg/kg combustível);

$w$  = Teor de umidade (kg/kg combustível);

$S$  = Teor de enxofre (kg/kg combustível).

A estratégia adotada para o balanço é determinar o PCI da casca de arroz, pois o mesmo considera a quantidade presente de água, e o PCS do Biochar. A partir do balanço material e dos poderes caloríficos superior e inferior é possível estimar a energia que pode ser gerada na caldeira e flare, de modo que:

$$m_{ca}PCI_{casca} - m_{bio}PCS_{bio} = E_v \quad (14)$$

Onde:

$m_{ca}$  = Massa de casca;

$m_{bio}$  = Massa de Biochar;

$E_v$  = Energia obtida através da queima dos voláteis.

Na Tabela 59 está representada a composição elementar da casca de arroz. PCI e PCS foram determinados utilizando Equações 12 e 13 e estão representados na Tabela 60. O teor de enxofre é muito pequeno na casca de arroz, de modo que é possível desprezá-lo na equação. Para o Biochar considerou-se um teor de hidrogênio de zero, visto que a temperatura do forno atinge 500°C, volatilizando o mesmo quase que em sua totalidade.

Tabela 59 – Composição elementar da casca de arroz.

	Cinzas (%)	C (%)	H (%)	O (%)
Casca <sup>a</sup>	20,48	41,01	5,35	32,78
Biochar <sup>b</sup>	49,04	51,00	0,00	24,75

Fonte: (a) CASTRO, 2017; (b) Determinado pelo balanço de massa após carbonização.

Tabela 60 – Valores obtidos para PCS e PCI.

	PCS (kJ/kg)	PCI (kJ/kg)
Casca	15.678,44	14.723,18
Biochar	12.901,94	-

Fonte: Autores (2022).

Para dois fornos tem-se 13.000 kg de casca de arroz, com umidade de 9% e 4.940 kg de Biochar gerado após a pirólise. A Tabela 61 apresenta a energia calculada através do método.

Tabela 61 – Valores obtidos de energia.

$E_{ca}$ (kJ)	$E_{bio}$ (kJ)	$E_v$ (kJ)	$(E_v - 15\%)$ (kJ)
191.401.275,00	63.735.599,00	127.665.676,00	108.515.824,60

Fonte: Autores (2022).

A reação de pirólise ocorrerá na faixa de 400 a 500°C. A escolha da temperatura de 500°C visa atingir o rendimento gravimétrico e as características do desejadas para o produto, bem como remover boa parte dos voláteis. O Biochar sairá do forno a 500°C e será necessário realizar seu resfriamento. Através de bicos aspersores de água será evitado o prolongamento da reação em contato com ar atmosférico, evitando uma nova combustão e diminuindo a temperatura do material para etapas subsequentes.

De acordo com a patente WO 00/16896 (1998), é possível utilizar 5 bicos distribuídos, somados a 1 bico central, portanto totalizando 6, que podem aspergir água em vazões de 5 a 20 L/min, resfriando o material até 120°C em um tempo de 3 min. Para estimar a quantidade de água necessária nesta etapa foi realizado o

balanço de energia, considerando-se apenas o calor sensível e o calor latente de vaporização da água como fonte de remoção de calor e desprezando-se a taxa de calor transferida por convecção pelo ar. Desse modo, a quantidade de água necessária é ligeiramente inferior ao calculado. O calor específico do Biochar será aproximado ao calor específico do carvão de eucalipto, 1,017 kJ/kg°C (DOS SANTOS, 2013). As propriedades da água utilizadas foram consultadas em tabelas de propriedades da água (VAN WYLEN, 2009).

$$m_{\text{biochar}}C_{p\text{biochar}}\Delta t = m_{\text{H}_2\text{O}}(h_2 - h_1 + \lambda) \quad (15)$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{biochar}}C_{p\text{biochar}}\Delta t}{(H_2 - H_1 + \lambda)} \quad (16)$$

Onde:

$h_2 = 419,02$  kJ/kg (entalpia da água líquida a 100°C);

$h_1 = 83,94$  kJ/kg (entalpia da água líquida a 20°C);

$\lambda = 2.257,03$  kJ/kg (calor latente de vaporização da água a 100°C e 1 atm);

$m_{\text{bio}} =$  massa de Biochar para 2 fornos (4.940 kg);

$\Delta T =$  Temperatura de resfriamento do Biochar (de 500°C a 120°C).

A massa de água requerida para 2 fornos é de 736,94 kg, considerando-se a massa específica da água a 20°C como 0,998 kg/L, o volume de água requerido para 2 fornos é 738,41 L. Considerando-se 2 fornos, tem-se 12 bicos aspersores que levam de 3 a 5 min para realizar o resfriamento, sendo a vazão requerida em cada bico aspersor de 12 a 20 L/min.

#### **B.4.2 Secador tambor rotativo (ST-101)**

O processo de secagem do material via tambor rotativo envolve gastos energéticos com GLP, para alimentação do sistema de aquecimento, e gastos com eletricidade, relacionados ao motor que efetua a rotação do equipamento. O consumo de energia elétrica do equipamento é de cerca de 10 kWh, já o consumo de GLP é o necessário para suprir até 175 kW, sendo o equivalente a 30,16 lb de GLP. O detalhamento pode ser observado no Anexo A.6.

### B.4.3 Tanques de diluição (TD-101 a TD-102)

Neste balanço desprezam-se o trabalho de eixo, de modo que o único ganho de temperatura é ocasionado somente pelo calor de solução da diluição do NaOH. Os dados da Tabela 62 foram utilizados para a realização dos cálculos que envolvem o balanço energético.

Tabela 62 – Dados dos componentes do tanque de diluição.

Material	H <sub>2</sub> O	NaOH
Massa (kg)	8.771,85	2.520
kmol	487,325	63,015
Fração molar	0,8855	0,1145

Fonte: Autores (2022).

O calor de diluição é de 40,346 kJ/mol para uma proporção molar de água e hidróxido de sódio de 7,73. O resultado foi obtido através da interpolação de valores presentes na Tabela 63:

Tabela 63 - Valores utilizados para interpolação.

1 mol NaOH em x mol	(-Δh) (kJ/mol)
5	37,73
10	42,509

Fonte: Himmelblau (2006).

Para estimar o Cp da mistura considerou-se a hipótese de mistura ideal, onde:

$$C_{p_{mistura}} = X_{H_2O}C_{p_{H_2O}} + X_{NaOH}C_{p_{NaOH}} \quad (17)$$

Correlações para determinar  $C_p/R$  foram obtidas de Smith (2007). Este coeficiente é adimensional e as unidades do  $C_p$  dependem das unidades da constante  $R$ , portanto, para os cálculos utilizou-se a constante  $R = 8,314 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ . A correlação empírica para o  $C_p$  é da forma:

$$\frac{C_p}{R} = A + BT^2 + CT^3 + DT^{-2} \quad (18)$$

Os coeficientes da equação são conhecidos para NaOH e H<sub>2</sub>O (SMITH, 2007). A temperatura é dada em Kelvin (K), sendo aplicada na faixa de 298 a 566 K para hidróxido de sódio e 273,15 a 373,15 K para água. Como assumiu-se a hipótese de mistura ideal e sabe-se que NaOH eleva o ponto de ebulição da água quando em solução, adotou-se a consideração de que os coeficientes são válidos mesmo ultrapassando 373,15 K (100°C). A Tabela 64 apresenta os coeficientes utilizados no cálculo do  $C_p$ .

Tabela 64 - Coeficientes utilizados no cálculo do  $C_p$ .

	A	$10^3 B$	$10^6 C$	$10^{-5} D$
H <sub>2</sub> O	8,712	1,25	-0,18	0,00
NaOH	0,121	16,316	0,00	1,948

Fonte: Smith (2007).

De posse dos coeficientes é possível resolver a integral:

$$\int_{T_0}^T C_p dt \quad (19)$$

Um artifício usado para resolver a integral em função de  $T_0$  (temperatura inicial) e  $T$  (temperatura final) é escrever:

$$\tau = \frac{T}{T_0} \quad (20)$$

Resolvendo e rearranjando os termos encontra-se  $\langle C_p \rangle$ , que é definido como capacidade calorífica média:

$$\frac{\langle C_p \rangle}{R} = A + \frac{B}{2}T_0(\tau + 1) + \frac{C}{3}T_0^2(\tau^2 + \tau + 1) + \frac{D}{\tau T_0^2} \quad (21)$$

Como o calor de diluição é conhecido, é possível reescrever a equação visando isolar T, visto que o objetivo do balanço de energia nesta etapa é conhecer a temperatura da saída do equipamento.

$$\Delta H = \langle C_p \rangle (T - T_0) \quad (22)$$

$$T = \frac{\Delta H}{\langle C_p \rangle} + T_0 \quad (23)$$

Percebe-se que a solução para T será obtida de modo iterativo, partindo-se de um chute inicial, então  $\tau = T/T_0$  permite a avaliação de  $\langle C_p \rangle$ , que novamente retorna um valor para T. O cálculo iterativo é realizado até obter-se um erro de 0,01 entre as iterações. Admitindo-se água entrando a 70°C, a temperatura de saída será de 110°C. O resultado obtido é apresentado na Tabela 65. A base utilizada é 1 mol de solução para calor específico, e para o calor de diluição 0,1145 referente a fração molar de NaOH.

Tabela 65 – Resultado das iterações.

$\Delta h$ (J/mol NaOH)	$\langle C_p \rangle$ (J/mol solução)	$\Delta H$ (J)	$\langle C_p \rangle$ (J)	$(\Delta h / \langle C_p \rangle)$	T (°C)
40.346,00	114,83	4.619,62	114,83	40,23	110,23

Fonte: Autores (2022).

#### B.4.4 Tanques de ativação (TA-101 a TA-103)

Para o balanço de energia desprezaram-se o trabalho de eixo realizado pelos agitadores, efeitos de movimento e gravitacionais. As entalpias de formação utilizadas foram consultadas a temperatura de 25°C e pressão de 1 atm. O balanço é dividido

em 3 partes, sendo entalpia das correntes de entrada, entalpia da reação e entalpia da corrente de saída. A Equação 24 foi utilizada para determinar a variação das entalpias das correntes de entrada e saída.

$$\Delta h = \int_{T_i}^{T_f} C_p dt \quad (24)$$

Onde as entalpias dos reagentes foram tomadas a  $T_f$  (temperatura de referência, 25°C) e  $T_i$  (temperatura de entrada), e as entalpias dos produtos a  $T_f$  (temperatura de saída) e  $T_i$  (temperatura de referência, 25°C).

A corrente de Biochar é proveniente do par de fornos carbonizadores, totalizando 4.940 kg. A temperatura de entrada é 120°C. O calor específico do Biochar será aproximado ao calor específico do carvão de eucalipto (1,017 kJ/kg°C) (DOS SANTOS, 2013). O mesmo será considerado constante no intervalo de temperatura utilizado no processo. A Equação 25 descreve o cálculo.

$$\Delta H = 1,017 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 4.940 \text{ kg} \times (25^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C}) \quad (25)$$

O resultado obtido para  $\Delta H$  foi -477.278,1 kJ.

A solução de hidróxido de sódio entra no reator a 110°C, conforme o balanço de energia do tanque de diluição. Como a temperatura inicial e final do sistema é conhecida, através dos coeficientes apresentados na Tabela 65 é possível estimar o  $C_p$  médio no intervalo de temperatura ( $\langle C_p \rangle$ ), e então calcular a entalpia. Do balanço de massa têm-se que 240.300,00 mol de solução entra no reator.

$$C_p = 74,15 \text{ J/mol solução} \quad (26)$$

$$\Delta H = 74,15 \times 240.300 \times (25^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}) \quad (27)$$

$$\Delta H = -1.514.550.825 \text{ J} = -1.514.550,825 \text{ kJ} \quad (28)$$

Para estimar a entalpia de saída do carvão ativado foi utilizado o mesmo  $C_p$  do Biochar, visto que o material contém carbono, assemelhando-se ao mesmo. A massa de carvão ativado na saída do reator é de 2.746,77 kg. A temperatura esperada na saída do reator é de 100°C, o que condiciona a reação a um bom rendimento. Porém, vale ressaltar que temperaturas superiores não prejudicam a reação, podendo ainda favorecer a solubilização da sílica cristalina. Contudo, busca-se conduzir a reação próxima a 100°C, visando reduzir custos com fornecimento energético. O cálculo das entalpias para correntes de produto considera a temperatura de 100°C.

$$\Delta H = 1,017 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 2.746,77 \text{ kg} \times (100 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) \quad (29)$$

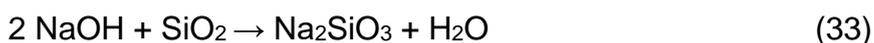
$$\Delta H = 209.509,88 \text{ kJ} \quad (30)$$

Para a entalpia de saída do silicato de sódio, tem-se que a temperatura de saída e a temperatura de carvão ativado são de 100°C e a capacidade calorífica para a solução de silicato de sódio é de 0,92 kJ/kg°C (RICHET, 1984). Considera-se que a capacidade será constante no intervalo de temperatura adotado. Através do balanço de massa tem-se que 6.951,94 kg de silicato de sódio em solução é obtido no reator.

$$\Delta H = 0,92 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (100 \text{ }^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \quad (31)$$

$$\Delta H = 479.693,86 \text{ kJ} \quad (32)$$

A reação global para formação do silicato de sódio é dada por:



Os valores de entalpia de formação a 25°C obtidos estão relacionados na Tabela 66.

Tabela 66 – Entalpias de formação a 25 °C.

	$\Delta H_{\text{formação}} 25^{\circ}\text{C}$ (kJ/mol)	Referência
NaOH <sub>aq</sub>	-467,07	Himemblau (2006)
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> <sub>aq</sub>	-1.510,88	NIST (2022)
H <sub>2</sub> O	-285,840	Himemblau (2006)
SiO <sub>2</sub>	-911	Zumdahl (2009)

Fonte: Autores (2022).

Para determinar a entalpia da reação a 25°C utilizou-se a Equação 34:

$$\Delta H = \sum \Delta H \text{ Produtos} - \sum \Delta H \text{ Reagentes} \quad (34)$$

$$\Delta H = 48,42 \text{ kJ/mol de SiO}_2 \text{ ou } 24,21 \text{ kJ/mol de NaOH} \quad (35)$$

Pelo balanço de massa tem-se que 27.510,00 mol de NaOH entram no reator, logo:

$$\Delta H = 24,21 \text{ kJ/mol} \times 27.510 \text{ mol} = 666.017,1 \text{ kJ} \quad (36)$$

A Tabela 67 apresenta o resumo das informações a respeito do balanço de energia para o tanque de ativação, sendo a coluna “B.E” correspondente ao balanço de energia somando-se todas entalpias.

Tabela 67 – Resumo do balanço de energia para o tanque de ativação.

$\Delta H$ Biochar (kJ)	$\Delta H$ sol. NaOH (kJ)	$\Delta H$ Carvão ativado (kJ)	$\Delta H$ silicato de sódio (kJ)	$\Delta H$ de reação (kJ)	$\Delta H$ B.E. (kJ)
-477.278,1	-1.514.550,83	209.509,88	479.693,86	666.017,1	-636.608,09

Fonte: Autores (2022).

Através do B.E., tem-se que para o tanque de ativação chegar a 100°C é necessário perder 636.608 kJ, o que fornece uma margem para corrente de solução de NaOH entrar a uma temperatura ligeiramente inferior e também para as perdas térmicas do sistema. Por fim, este balanço sugere que não é necessário fonte de aquecimento no ativador, e que se a temperatura final for superior a 100°C não haverá prejuízos para a reação, podendo-se inclusive aumentar o rendimento da mesma.

#### **B.4.5 Caldeira (C-101)**

O balanço de energia para caldeira tem objetivo de verificar se a corrente de saída dos fornos carbonizadores é suficiente para geração de vapor na caldeira. Para o abastecimento da caldeira escolhida serão utilizados os gases gerados no processo de carbonização. Os mesmos serão canalizados diretamente, sendo o excedente da demanda canalizado até um flare para queima. A capacidade da caldeira é de 20.000 kg/h de vapor saturado. De acordo com o fabricante (Anexo A.7), este porte de geração consome o equivalente 1.598,44 Nm<sup>3</sup>/h. Segundo Comgas (2022), o PCS do gás natural equivale a 9.400 kcal/m<sup>3</sup> ou 39,29 MJ/m<sup>3</sup>. Portanto, a demanda energética (D.E.) é dada por:

$$D.E. = 1.598,44 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 39,29 \text{ MJ/m}^3 = 62.802,71 \text{ MJ/h} \quad (37)$$

A corrente gasosa que sai do forno é de 17.205,5 kg, e a energia estimada é de 108.515,82 MJ (Anexo B.4.1). Considerando-se um tempo de carbonização próximo a 1 h, tem-se possibilidade 108.515,82 MJ/h serem direcionados para a caldeira.

A energia que pode ser gerada a partir da queima dos gases da saída do forno é de 108.515,82 MJ/h. Sendo a demanda de 62.802,71/h, são destinados ao flare 45.713,11 MJ/h.

#### **B.4.6 Flare (F-101)**

A queima de gases excedentes no flare será correspondente ao excesso da demanda da caldeira e pode ser ajustada conforme necessidade.

**B.4.7 Ensacadeira de carvão ativado em pó (ENS-101)**

Os gastos energéticos referentes ao ensacamento realizado pela ensacadeira na modalidade big bag serão com energia elétrica apenas. O equipamento consome 4,5 kWh e irá operar durante 675 h/ano, totalizando 3.037,50 kW.

**B.4.8 Ensacadeira de carvão ativado peletizado (ENS-102)**

O ensacamento realizado pela ensacadeira de carvão peletizado consumirá também apenas energia elétrica. Para um consumo de 4,5 kWh, o total anual será de 3.037,50 kW, visto que o equipamento opera 675 h/ano.

**B.4.9 Envasadora de silicato de sódio alcalino (ENV-101)**

O envase de silicato de sódio realizado pela envasadora terá um consumo de energético de 5.400 kW anuais, visto que sua operação tem 4 kWh de consumo, operando 1.350 h/ano.

**B.4.10 Moinho (M-101)**

Para reduzir a granulometria e uniformizar o material, o moinho fará uso de energia elétrica. O equipamento tem um consumo anual elétrico de 24.826,50 kW, sendo a operação de 675 h/ano, totalizando 36,78 kWh.

**B.4.11 Peletizadora (P-101)**

A peletizadora realizará o trabalho de adequar o produto a modalidade de carvão peletizado, e para isso utilizará energia elétrica. Seu consumo será de 49.950 kW/ano, sendo a operação ocorrendo ao longo de 1.350 h e o consumo de 37 kWh.

**B.4.12 Trocador de calor**

Os trocadores de calor possuirão a mesma capacidade, sendo responsáveis pelo aquecimento de 70.000 L/h de água. Para fins de cálculo considerou-se a massa específica da água igual a 1 kg/L. Como parâmetro de projeto considerou-se que a água será aquecida de 20 a 70 °C.

A demanda de calor é dada por:

$$\dot{Q} = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \quad (38)$$

Onde:

$$h_2 = 298,96 \text{ kJ/kg};$$

$$h_1 = 83,94 \text{ kJ/kg};$$

$$\dot{m} = 70.000 \text{ kg/h};$$

$$\dot{Q} = 15.051.400 \text{ kJ/h}.$$

A área do trocador de calor é dada por:

$$A = \frac{\dot{Q}}{Ux\Delta T_{ml}} \quad (39)$$

Onde:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left( \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (40)$$

Onde U é coeficiente global de transferência de calor, 1.500 W/°Cm<sup>2</sup> ou 5.400 kJ/h°Cm<sup>2</sup> (MENEZES *et al.*, 2011). A Tabela 68 apresenta o dimensionamento para os trocadores de calor.

Tabela 68 – Dimensionamento dos trocadores de calor.

	T <sub>ef</sub> (°C)	T <sub>sf</sub> (°C)	T <sub>eq</sub> (°C)	T <sub>sq</sub> (°C)	ΔT <sub>1</sub> (°C)	ΔT <sub>2</sub> (°C)	ΔT <sub>ml</sub> (°C)	A (m <sup>2</sup> )
TC-101	20	70	194	194	174	124	147,59	18,88
TC-102	20	70	194	194	174	124	147,59	18,88

Fonte: Autores (2022).

Escolheu-se o trocador de calor presente no Anexo A.9, o qual apresenta uma área de troca térmica de 22,40 m<sup>2</sup>, sendo portanto superior a área requerida. O calor latente de vaporização (λ) é de 1.966,19 kJ/kg. Com uma demanda de calor de 15.051.400 kJ/h, têm-se que a quantidade necessária de vapor para cada trocador de

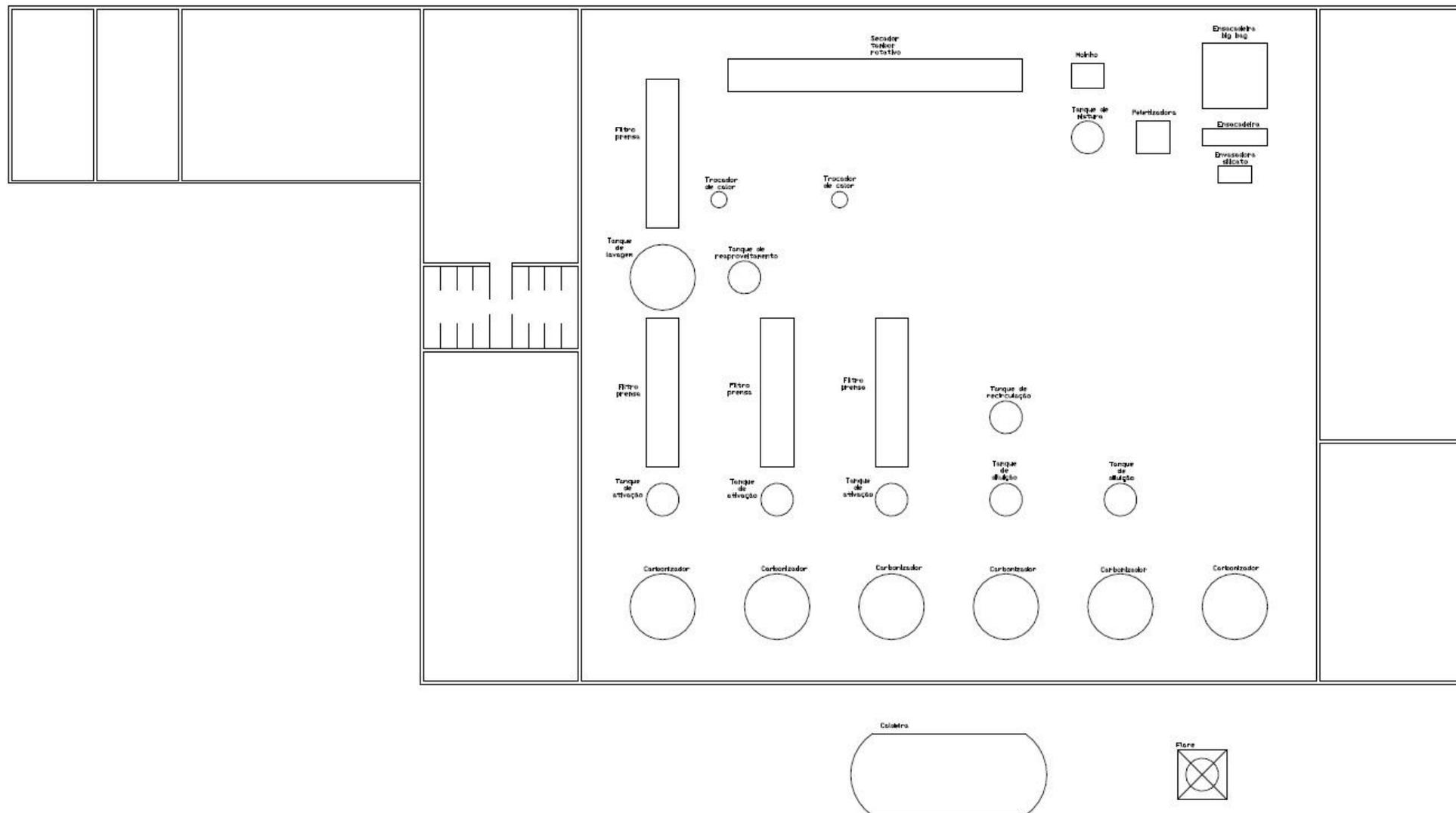
calor é dada pela Equações 41 e 42:

$$m_{\text{vapor}} = \frac{12.051.400 \text{ kJ/h}}{1.966,19 \text{ kJ/kg}} \quad (41)$$

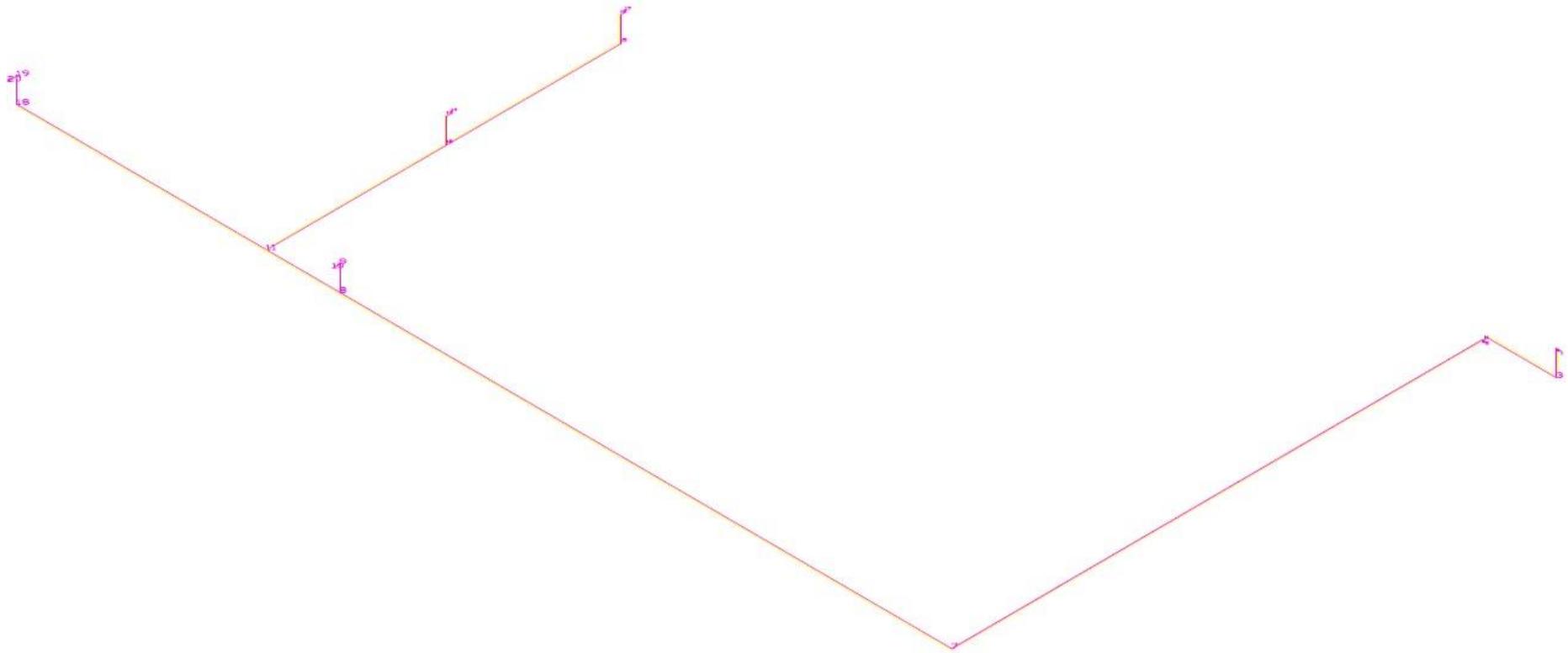
$$m_{\text{vapor}} = 7.655 \text{ kg/h} \quad (42)$$



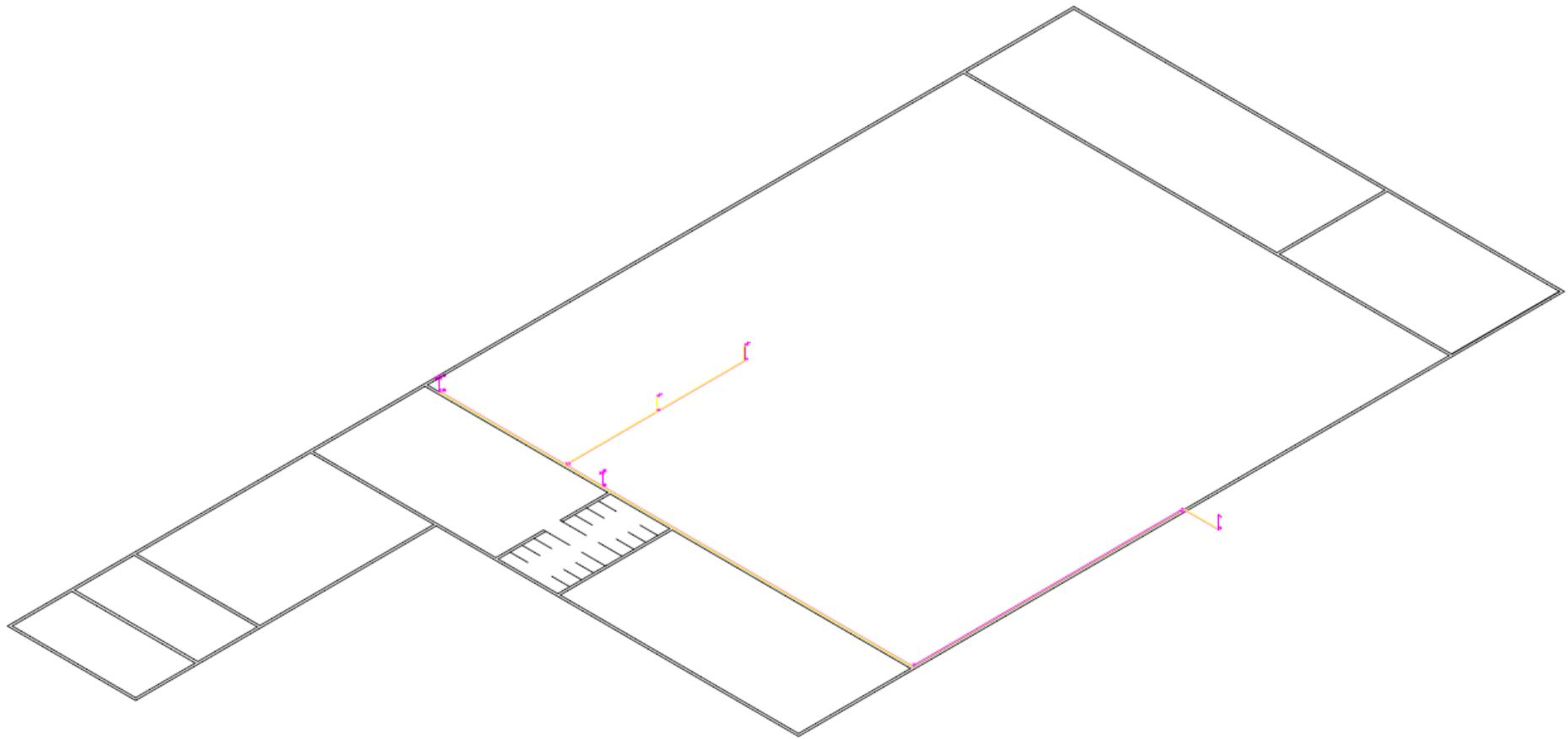
## C.2 LAYOUT DOS EQUIPAMENTOS



### C.3 LAYOUT DAS INSTALAÇÕES DE VAPOR E CONDENSADO

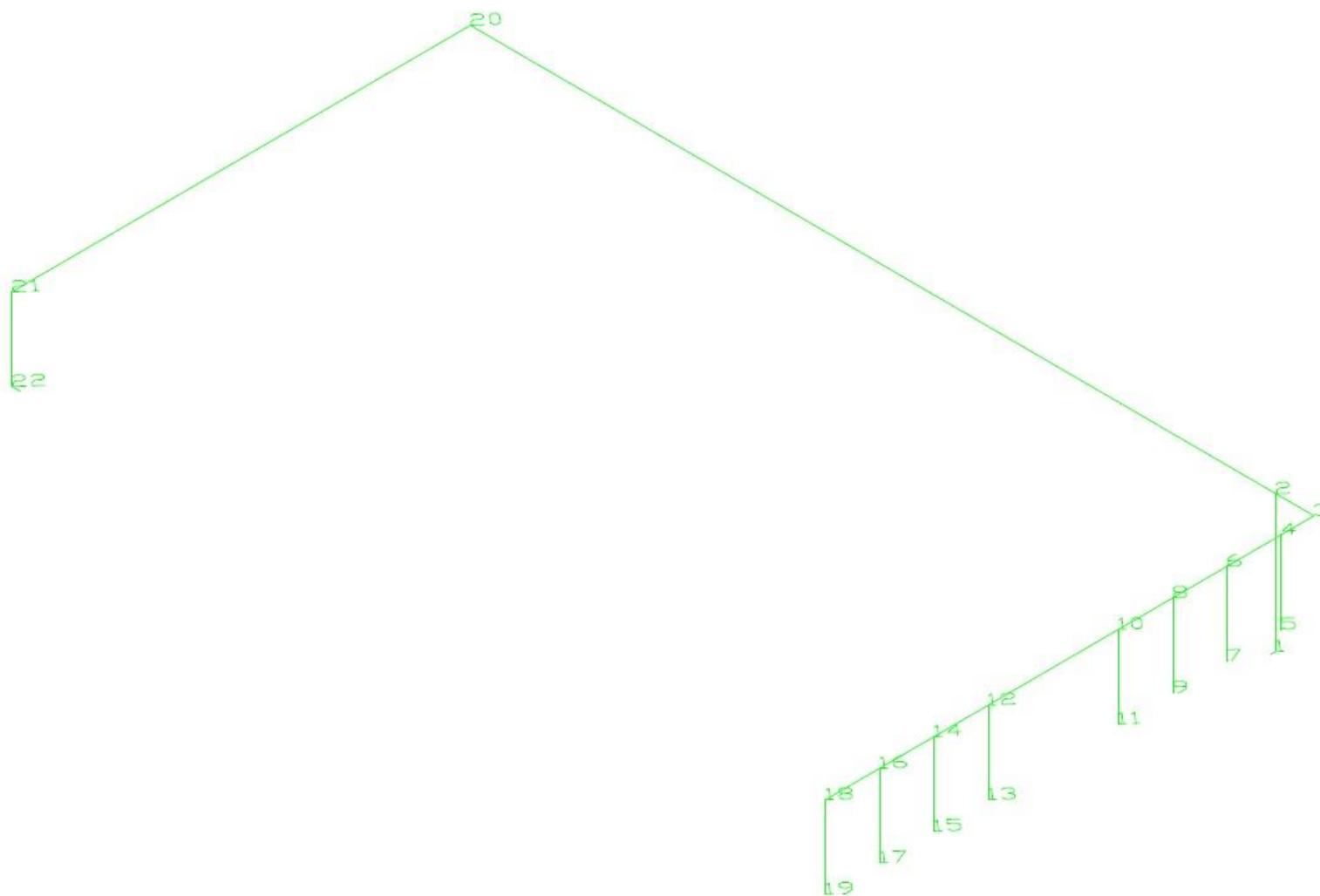


Fonte: Autores (2022).

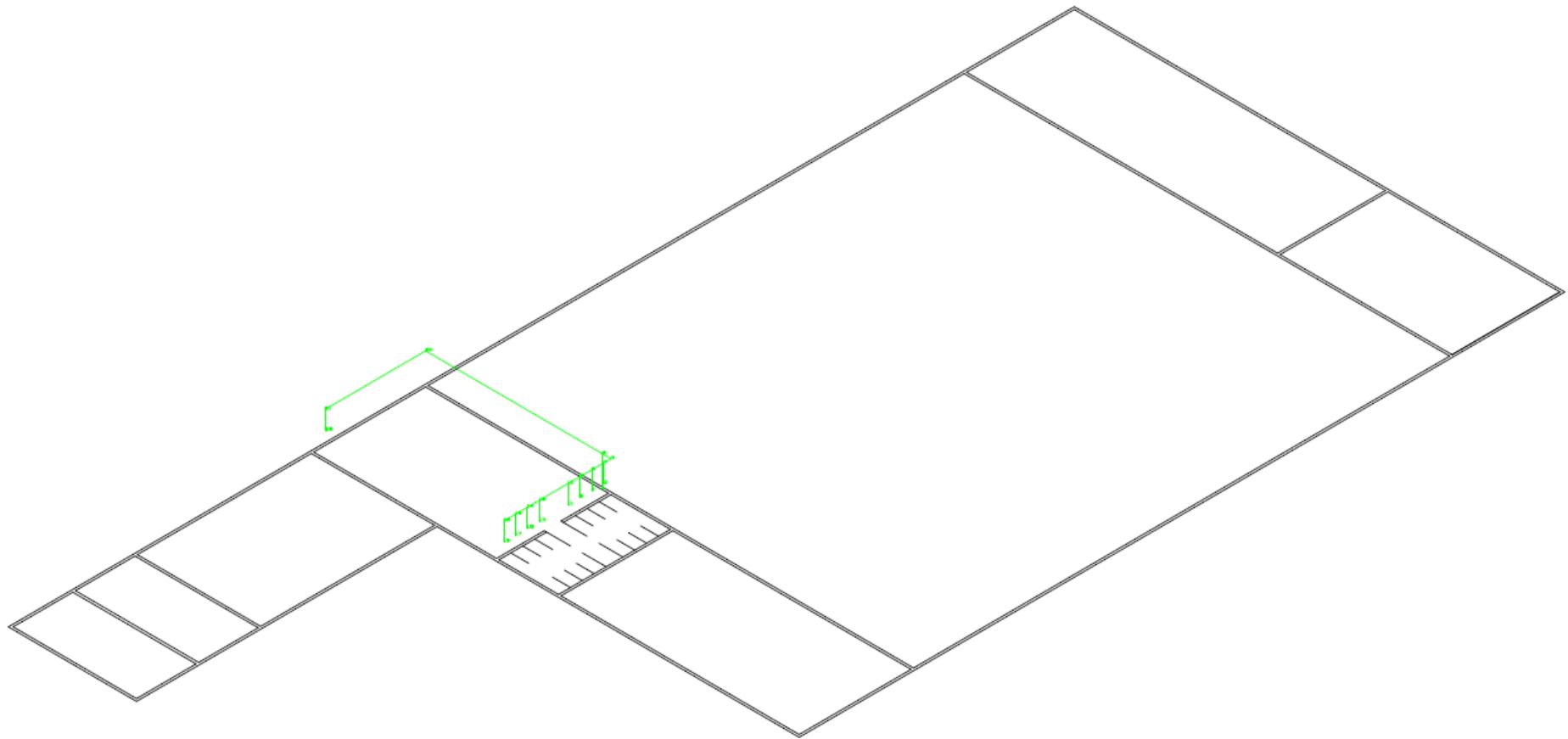


Fonte: Autores (2022).

## C.4 LAYOUT DAS INSTALAÇÕES DE ÁGUA QUENTE CIVIL

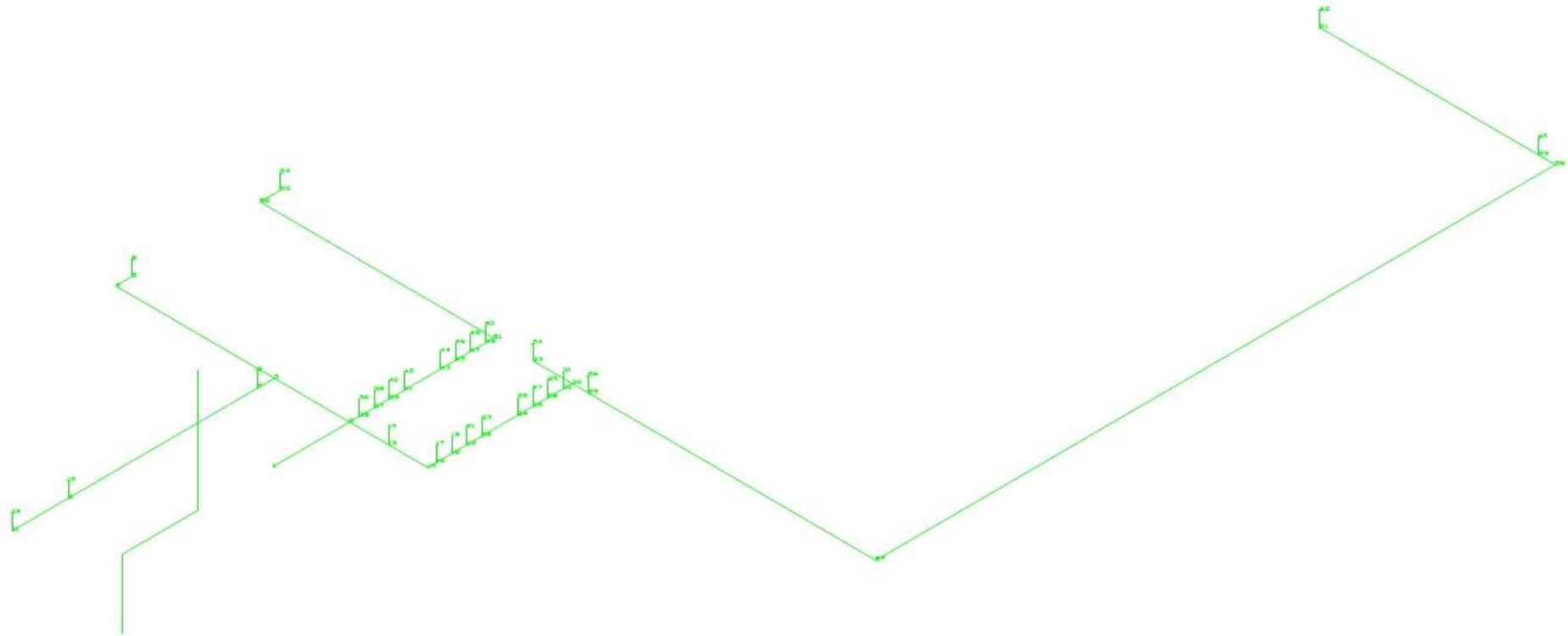


Fonte: Autores (2022).



Fonte: Autores (2022).

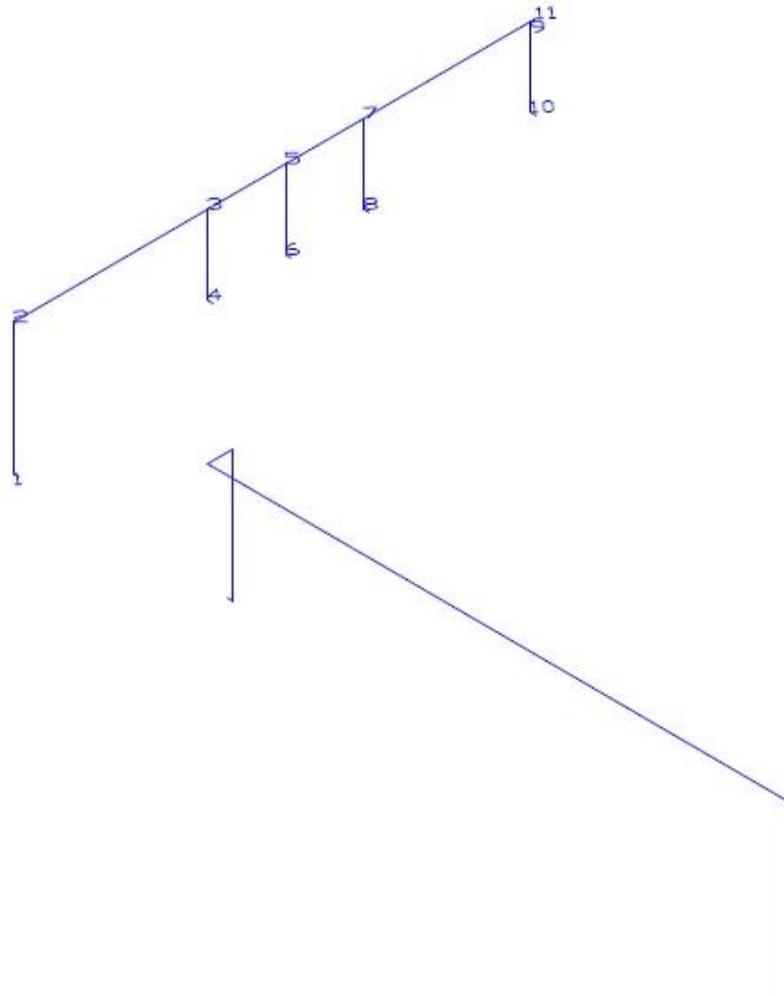
## C.5 LAYOUT DAS INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA CIVIL



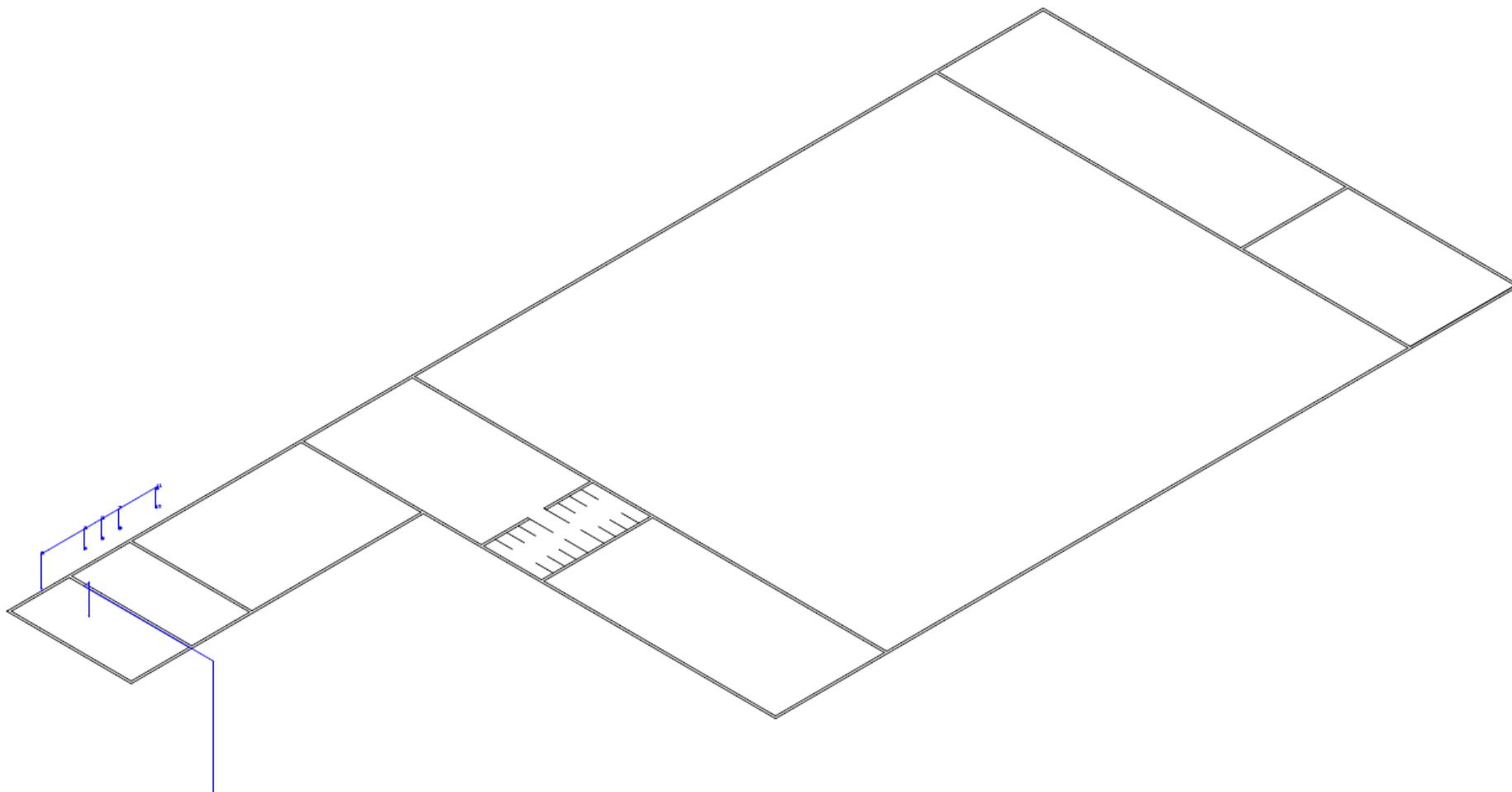
Fonte: Autores (2022).



## C.6 LAYOUT DAS INSTALAÇÕES DE AR COMPRIMIDO



Fonte: Autores (2022).



Fonte: Autores (2022).

## APÊNDICE D – INSTALAÇÕES

### D.1 INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA

A tubulação destinada para áreas civis como banheiro, cozinha, escritório será de tubos PVC. A Tabela 69 apresenta a vazão utilizada para dimensionamento das tubulações. A Tabela 70 apresenta a vazão de cada trecho.

Tabela 69 – Vazões de projeto para água fria.

Aparelho	Vazão de projeto (L/s)
Bacia sanitária	0,15
Bebedouro	0,1
chuveiro	0,2
Pia	0,25
Aquecedor <sup>a</sup>	0,17

Fonte: Autores (2022); NBR 5626.

Tabela 70 – Vazões de projeto por trecho.

(Continua)		
Trecho	Vazão (L/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
1-2	4,8675	0,004868
2-3	1	0,001
3-4	0,25	0,00025
3-7	0,75	0,00075
4-5	0,25	0,00025
5-6	0,25	0,00025
7-8	0,25	0,00025
7-9	0,5	0,0005
9-10	0,25	0,00025

(Continua)

9-11	0,25	0,00025
11-12	0,25	0,00025
2-13	2	0,002
13-14	0,25	0,00025
2-35	1,8675	0,001868
35-36	0,2	0,0002
35-37	1,6675	0,001668
37-38	0,2	0,0002
37-39	1,4675	0,001468
39-40	0,2	0,0002
39-41	1,2675	0,001268
41-42	0,2	0,0002
41-43	1,0675	0,001068
43-44	0,2	0,0002
43-45	0,8675	0,000868
45-46	0,2	0,0002
45-47	0,6675	0,000668
47-48	0,2	0,0002
47-49	0,4675	0,000468
49-50	0,2	0,0002
49-51	0,1	0,0001
51-52	0,2	0,0002
52-53	0,25	0,00025

(Continua)

53-54	0,1675	0,000168
13-15	1,75	0,00175
15-16	1,75	0,00175
16-17	0,15	0,00015
16-18	1,6	0,0016
18-19	0,15	0,00015
18-20	1,45	0,00145
20-21	0,15	0,00015
20-22	1,3	0,0013
22-23	0,15	0,00015
22-24	1,15	0,00115
24-25	0,15	0,00015
24-26	1	0,001
26-27	0,15	0,00015
26-28	0,85	0,00085
28-29	0,15	0,00015
28-30	0,7	0,0007
30-31	0,15	0,00015
30-32	0,55	0,00055
32-33	0,25	0,00025
33-34	0,25	0,00025
32-55	0,3	0,0003
55-56	0,1	0,0001

		(Conclusão)
55-57	0,2	0,0002
57-58	0,2	0,0002
58-59	0,1	0,0001
59-60	0,2	0,0002
59-61	0,25	0,00025
61-62	0,1675	0,000168

---

Fonte: Autores (2022).

Para as tubulações de água fria utilizou-se a velocidade de 3 m/s, de acordo com a NBR 5626, que sugere que em cada trecho a velocidade não ultrapasse o valor recomendado. O diâmetro estimado é dado pela Equação 43.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{v\pi}} \quad (43)$$

Onde:

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

v = Velocidade recomendada.

Com o diâmetro calculado, escolheu-se a tubulação comercial que apresenta diâmetro interno próximo ao calculado e na sequencia avaliou-se a velocidade através da Equação 44. Na hipótese de a velocidade calculada ser maior que 3 m/s, escolheu-se um diâmetro maior, de modo que a nova velocidade seja inferior à 3 m/s. A Tabela 71 apresenta os valores calculados.

$$v = \frac{4Q}{D^2\pi} \quad (44)$$

Tabela 71 – Detalhamento da tubulação de água fria.

(Continua)

Trecho	Comprimento (m)	Diâmetro calculado (m)	Diâmetro calculado (mm)	Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro interno (mm)	Velocidade (m/s)
1-2	5,1	0,0455	45,45	50,00	53,40	2,17
2-3	5	0,0206	20,60	20,00	21,10	2,86
3-4	10,55	0,0103	10,30	20,00	21,10	0,71
3-7	1,1	0,0178	17,84	20,00	21,10	2,14
4-5	1,1	0,0103	10,30	20,00	21,10	0,71
5-6	1	0,0103	10,30	20,00	21,10	0,71
7-8	1	0,0103	10,30	20,00	21,10	0,71
7-9	12,6	0,0146	14,57	20,00	21,10	1,43
9-10	1	0,0103	10,30	20,00	21,10	0,71
9-11	3,7	0,0103	10,30	20,00	21,10	0,71
11-12	1	0,0103	10,30	20,00	21,10	0,71
2-13	2,6	0,0291	29,13	20,00	21,10	5,72
13-14	1	0,0103	10,30	20,00	21,10	0,71
2-35	0,65	0,0282	28,15	32,00	35,20	1,92
35-36	1	0,0092	9,21	20,00	21,10	0,57
35-37	1	0,0266	26,60	25,00	27,80	2,75
37-38	1	0,0092	9,21	20,00	21,10	0,57
37-39	1	0,0250	24,96	20,00	21,10	4,20
39-40	1	0,0092	9,21	20,00	21,10	0,57
39-41	1	0,0232	23,19	25,00	27,80	2,09

(Continua)

41-42	1	0,0092	9,21	20,00	21,10	0,57
41-43	2,4	0,0213	21,29	20,00	21,10	3,05
43-44	1	0,0092	9,21	20,00	21,10	0,57
43-45	1	0,0192	19,19	20,00	21,10	2,48
45-46	1	0,0092	9,21	20,00	21,10	0,57
45-47	1	0,0168	16,83	20,00	21,10	1,91
47-48	1	0,0092	9,21	20,00	21,10	0,57
47-49	1	0,0141	14,09	20,00	21,10	1,34
49-50	1	0,0092	9,21	20,00	21,10	0,57
49-51	0,55	0,0065	6,51	20,00	21,10	0,29
51-52	15,55	0,0092	9,21	20,00	21,10	0,57
52-53	1,35	0,0103	10,30	20,00	21,10	0,71
53-54	1	0,0084	8,43	20,00	21,10	0,48
13-15	2,6	0,0273	27,25	25,00	27,80	2,88
15-16	0,6	0,0273	27,25	25,00	27,80	2,88
16-17	1	0,0080	7,98	20,00	21,10	0,43
16-18	1	0,0261	26,06	25,00	27,80	2,64
18-19	1	0,0080	7,98	20,00	21,10	0,43
18-20	1	0,0248	24,81	20,00	21,10	4,15
20-21	1	0,0080	7,98	20,00	21,10	0,43
20-22	1	0,0235	23,49	25,00	27,80	2,14
22-23	1	0,0080	7,98	20,00	21,10	0,43
22-24	2,4	0,0221	22,09	20,00	21,10	3,29

						(Conclusão)
24-25	1	0,0080	7,98	20,00	21,10	0,43
24-26	1	0,0206	20,60	20,00	21,10	2,86
26-27	1	0,0080	7,98	20,00	21,10	0,43
26-28	1	0,0190	18,99	20,00	21,10	2,43
28-29	1	0,0080	7,98	20,00	21,10	0,43
28-30	1	0,0172	17,24	20,00	21,10	2,00
30-31	1	0,0080	7,98	20,00	21,10	0,43
30-32	0,6	0,0153	15,28	20,00	21,10	1,57
32-33	2,6	0,0103	10,30	20,00	21,10	0,71
33-34	1	0,0103	10,30	20,00	21,10	0,71
32-55	1,1	0,0113	11,28	20,00	21,10	0,86
55-56	1	0,0065	6,51	20,00	21,10	0,29
55-57	19,1	0,0092	9,21	20,00	21,10	0,57
57-58	45,2	0,0092	9,21	20,00	21,10	0,57
58-59	1,1	0,0065	6,51	20,00	21,10	0,29
59-60	1	0,0092	9,21	20,00	21,10	0,57
59-61	14,55	0,0103	10,30	20,00	21,10	0,71
61-62	1	0,0084	8,43	20,00	21,10	0,48

---

Fonte: Autores (2022).

Para a tubulação de água fria industrial de aço galvanizado SCH 40 utilizou-se a mesma abordagem para água da área civil, que utiliza tubos de PVC, tendo como diferença apenas o material da tubulação. O resultado do dimensionamento é apresentado na Tabela 72.

Tabela 72 - Dimensionamento da tubulação de água fria para o processo.

(Continua)

Trecho	Comprimento (m)	Vazão (L/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Diâmetro calculado (mm)	Diâmetro nominal (SCH 40) (in)	Diâmetro interno (mm)	Velocidade (m/s)
1-2	4,9	26,13887	0,026139	105,3265	5	128,3	2,021825
2-3	25,5	26,13887	0,026139	105,3265	5	128,3	2,021825
3-4	10	26,13887	0,026139	105,3265	5	128,3	2,021825
4-5	15,4	0,277778	0,000278	10,85783	3/8	12,53	2,252711
5-6	8,9	0,277778	0,000278	10,85783	3/8	12,53	2,252711
6-7	7	0,277778	0,000278	10,85783	3/8	12,53	2,252711
7-8	0,9	0,277778	0,000278	10,85783	3/8	12,53	2,252711
8-9	1,25	0,277778	0,000278	10,85783	3/8	12,53	2,252711
4-10	7,55	25,86109	0,025861	104,7654	5	128,3	2,000339
10-11	21,97	19,44444	0,019444	90,84315	4	102,26	2,367522
11-12	7,85	19,44444	0,019444	90,84315	4	102,26	2,367522
12-13	1,25	19,44444	0,019444	90,84315	4	102,26	2,367522
10-14	4,67	6,416647	0,006417	52,18534	2	52,5	2,964146
14-15	0,62	4,749997	0,00475	44,89946	2	52,5	2,194243
15-16	1,25	4,749997	0,00475	44,89946	2	52,5	2,194243
14-17	7	6,083317	0,006083	50,81181	2	52,5	2,810166
17-18	0,62	4,749997	0,00475	44,89946	2	52,5	2,194243
18-19	1,25	4,749997	0,00475	44,89946	2	52,5	2,194243
17-20	7	5,749987	0,00575	49,4001	2	52,5	2,656185
20-21	0,62	4,749997	0,00475	44,89946	2	52,5	2,194243
21-22	1,25	4,749997	0,00475	44,89946	2	52,5	2,194243

							(Conclusão)
20-23	7	5,416657	0,005417	47,94685	2	52,5	2,502205
23-24	0,62	4,749997	0,00475	44,89946	2	52,5	2,194243
24-25	1,25	4,749997	0,00475	44,89946	2	52,5	2,194243
23-26	7	5,083327	0,005083	46,44815	2	52,5	2,348224
26-27	0,62	4,749997	0,00475	44,89946	2	52,5	2,194243
27-28	1,25	4,749997	0,00475	44,89946	2	52,5	2,194243
26-32	2	4,749997	0,00475	44,89946	2	52,5	2,194243
32-29	5	4,749997	0,00475	44,89946	2	52,5	2,194243
29-30	0,62	4,749997	0,00475	44,89946	2	52,5	2,194243
30-31	1,25	4,749997	0,00475	44,89946	2	52,5	2,194243
32-33	24,75	4,416667	0,004417	43,2954	2	52,5	2,040263
33-34	1,75	0,25	0,00025	10,30065	3/8	12,53	2,02744
33-35	12,78	4,166667	0,004167	42,05221	2	52,5	1,924776
35-36	16,68	4,166667	0,004167	42,05221	2	52,5	1,924776
36-37	8	4,166667	0,004167	42,05221	2	52,5	1,924776
38-39	12,58	4,166667	0,004167	42,05221	2	52,5	1,924776

---

Fonte: Autores (2022).

## D.2 INSTALAÇÕES DE ÁGUA QUENTE

A tubulação para água quente na cozinha e banheiros será de PPR. Para a vazão de água quente considerou-se uma mesma vazão para chuveiros e pia, assim como o apresentado para água fria. A Tabela 73 apresenta a vazão de cada trecho:

Tabela 73 – Vazão de água quente por trecho.

Trecho	Vazão (L/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
1-2	1,85	0,00185
2-3	1,6	0,0016
3-4	1,6	0,0016
4-5	0,2	0,0002
4-6	1,4	0,0014
6-7	0,2	0,0002
6-8	1,2	0,0012
8-9	0,2	0,0002
8-10	1	0,001
10-11	0,2	0,0002
10-12	0,8	0,0008
12-13	0,2	0,0002
12-14	0,6	0,0006
14-15	0,2	0,0002
14-16	0,4	0,0004
16-17	0,2	0,0002
16-18	0,2	0,0002
18-19	0,2	0,0002
2-20	0,25	0,00025

20,21	0,25	0,00025
21-22	0,25	0,00025

Fonte: Autores (2022).

Para água quente utilizou-se mesmo critério para água fria, ou seja, escoamento de 3 m/s para calcular o diâmetro através da Equação 45.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{v\pi}} \quad (45)$$

Após, escolheu-se a tubulação comercial que apresenta diâmetro interno mais próximo do calculado, e então recalculada a nova velocidade com a Equação 46. O detalhamento da tubulação por trecho é apresentado na Tabela 74.

$$v = \frac{4Q}{D^2\pi} \quad (46)$$

Tabela 74 – Detalhamento por trecho de tubulação.

Trecho	Comprimento (m)	Diâmetro calculado (mm)	Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro interno (mm)	Velocidade (m/s)
1-2	2,5	28,02	50	33,4	2,111489
2-3	0,7	26,06	40	26,6	2,879167
3-4	0,60	26,06	40	26,6	2,879167
4-5	1,5	9,21	20	13,2	1,461478
4-6	1	24,38	40	26,6	2,519271
6-7	1,5	9,21	20	13,2	1,461478
6-8	1	22,57	40	26,6	2,159375
8-9	1,5	9,21	20	13,2	1,461478

8-10	1	20,60	32	21,2	2,832947
10-11	1,5	9,21	20	13,2	1,461478
10-12	2,4	18,43	32	21,2	2,266357
12-13	1,5	9,21	20	13,2	1,461478
12-14	1	15,96	32	21,2	1,699768
14-15	1,5	9,21	20	13,2	1,461478
14-16	1	13,03	32	21,2	1,133179
16-17	1,5	9,21	20	13,2	1,461478
16-18	1	9,21	20	13,2	1,461478
18-19	1,5	9,21	20	13,2	1,461478
2-20	14,85	10,30	20	13,2	1,826847
20,21	5,45	10,30	20	13,2	1,826847
21-22	1,5	10,30	20	13,2	1,826847

Fonte: Autores (2022).

A tubulação de água quente para o processo será de aço galvanizado SCH 40 e terá o diâmetro de 4" devido a demanda de água ser 0,019444 m<sup>3</sup>/s e a velocidade de escoamento 3 m/s. A Tabela 75 apresenta o resultado do dimensionamento e a velocidade recalculada com a bitola escolhida.

Tabela 75 – Dimensionamento da água quente de processo.

Comprimento (m)	Diâmetro (m)	Diâmetro (mm)	Diâmetro nominal (in)	Diâmetro interno (mm)	Velocidade (m/s)
63,59	0,09084	90,84	4	102,26	2,37

Fonte: Autores (2022).

### D.3 INSTALAÇÕES DE VAPOR

Para o dimensionamento da tubulação de vapor a velocidade recomendada para ramais e linhas curtas é de 10 a 15 m/s, e para linhas alimentadoras de 15 a 30 m/s. Portanto, escolheu-se a velocidade de 15 m/s como critério para dimensionamento do diâmetro através da Equação 47.

$$D = \sqrt{\frac{V * m'}{0,283 * v}} \quad (47)$$

Onde:

$m'$  = Vazão mássica (kg/h);

$V$  = Volume específico do vapor saturado à pressão relativa;

$v$  = Velocidade recomendada (15 m/s);

$D$  = Diâmetro da tubulação (cm).

A Tabela 76 apresenta a pressão relativa de operação da demanda dos equipamentos. A pressão de linha de vapor será de 12,5 kgf/cm<sup>2</sup>, sendo realizado um aumento inicial da linha para compensar a queda de pressão até o ponto mais afastado. Para os pontos onde a pressão de trabalho é inferior, será instalada uma válvula redutora de pressão.

Tabela 76 – Pressão de vapor.

Equipamento	P (kgf/cm <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> /kg)
TC-101 e TC-102	12,5	0,1460
Panela industrial a vapor	4	0,37489
Aquecedor	4	0,37489

Fonte: Autores (2022).

Após calcular diâmetro, escolheu-se a bitola com diâmetro comercial e a velocidade foi recalcula através da Equação 48.

$$v = \frac{4 * m' * V}{D^2 * \pi} \quad (48)$$

A Tabela 77 apresenta a vazão mássica requerida em cada trecho, o diâmetro calculado e a bitola comercial escolhida, bem como a velocidade recalculada.

Tabela 77 – Dimensionamento da linha de vapor.

Trecho	m' (kg/h)	Diâmetro (cm)	Diâmetro nominal (in)	Diâmetro interno SCH 40 (cm)	Velocidade (m/s)
1-2	15.476	23,07103	8	20,27	19,44773
2-3	15.476	23,07103	8	20,27	19,44773
3-4	15.476	23,07103	8	20,27	19,44773
4-5	15.476	23,07103	8	20,27	19,44773
5-6	15.476	23,07103	8	20,27	19,44773
6-7	15.476	23,07103	8	20,27	19,44773
7-8	15.476	23,07103	8	20,27	19,44773
8-9	130	2,114508	1 1/2	4,09	10,30406
9-10	130	3,388323	1 1/2	4,09	10,30406
8-11	15.216	22,87641	8	20,27	19,121
11-12	15.216	22,87641	8	20,27	19,121
12-13	7.655	16,22595	8	20,27	9,619563
13-14	7.655	16,22595	8	20,27	9,619563
12-15	7.655	16,22595	8	20,27	9,619563
15-16	7.655	16,22595	8	20,27	9,619563
16-17	7.655	16,22595	8	20,27	9,619563
11-18	36	1,112728	1/2	1,58	7,446442

18-19	36	1,112728	1/2	1,58	7,446442
19-20	36	1,783053	3/4	2,09	10,89621

Fonte: Autores (2022).

Para estimar o comprimento equivalente da tubulação considerou-se que os acessórios representam 25% do comprimento equivalente em relação comprimento total da tubulação. Calculou-se a perda de carga para cada trecho da tubulação através da Equação 49 e perda de pressão do trecho através da Equação 50. A Tabela 78 apresenta a perda de carga e a queda de pressão em cada trecho da tubulação.

$$J = \frac{0,029 \cdot m'^{1,95} \cdot V \cdot 0,95}{D^{5,1}} \quad (49)$$

$$\Delta P = \frac{J \cdot Lt}{100} \quad (50)$$

Onde:

Lt = Comprimento da tubulação (L) + comprimento equivalente (Le);

J = Perda de carga (kgf/cm<sup>2</sup>.100m);

$\Delta P$  = Queda de pressão na linha (kgf/cm<sup>2</sup>)

Tabela 78 – Perda de carga para tubulação de vapor.

Trecho	L (m)	Le (m)	Lt (m)	J (kgf/cm <sup>2</sup> .100m)	$\Delta P$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
1-2	0,20	0,05	0,25	0,1286	0,0003
2-3	1,05	0,2625	1,31	0,1286	0,0017
3-4	3,00	0,75	3,75	0,1286	0,0048
4-5	0,20	0,05	0,25	0,1286	0,0003
5-6	0,15	0,0375	0,19	0,1286	0,0002
6-7	22,50	5,625	28,13	0,1286	0,0362
7-8	22,95	5,7375	28,69	0,1286	0,0369

8-9	1,05	0,2625	1,31	0,0404	0,0005
9-10	0,30	0,075	0,38	0,0404	0,0002
8-11	3,12	0,78	3,90	0,1244	0,0049
11-12	7,65	1,9125	9,56	0,1244	0,0119
12-13	1,05	0,2625	1,31	0,0326	0,0004
13-14	0,20	0,05	0,25	0,0326	0,0001
12-15	7,38	1,845	9,23	0,0326	0,0030
15-16	1,05	0,2625	1,31	0,0326	0,0004
16-17	0,20	0,05	0,25	0,0326	0,0001
11-18	10,58	2,645	13,23	0,4228	0,0559
18-19	1,05	0,2625	1,31	0,4228	0,0055
19-20	0,40	0,1	0,50	0,1008	0,0005
<b>Total</b>	<b>84,08</b>	<b>21,02</b>	<b>105,10</b>	<b>-</b>	<b>0,1639</b>

Fonte: Autores (2022).

Verifica-se a partir da Tabela 78 que a queda de pressão é inferior a 0,50 kgf/cm<sup>2</sup>, o que indica que o diâmetro calculado está adequado, além de as velocidades calculadas encontrarem-se dentro da faixa recomenda.

#### **D.4 INSTALAÇÕES DE RETORNO DE CONDENSADO**

Considera-se uma perda de 5% do vapor produzido na caldeira, sendo necessário instalação de purgadores. No total serão 5 purgadores do tipo de bóia instalados ao longo da tubulação. O modelo utilizado é apresentado no Anexo B.11.

Neste caso, 95% do vapor condensado retorna para caldeira. A linha de condensado é paralela à linha de vapor e para o cálculo do diâmetro será usado a Equação 51, tendo como critério uma velocidade de escoamento de 2 m/s. Para o volume específico do condensado considera-se 0,001115 m<sup>3</sup>/kg, referente à pressão relativa de 7kgf/cm<sup>2</sup>. A Tabela 79 apresenta resultado do dimensionamento e a velocidade calculada com o diâmetro interno do tubo comercial.

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q'}{\pi * v}} \quad (51)$$

Tabela 79 – Dimensionamento para retorno de condensado.

Trecho	L (m)	m' (kg/h)	Q' (m <sup>3</sup> /s)	D calculado (mm)	D Nominal (in)	D interno SCH 40 (mm)	v (m/s)
1-2	0,20	14.702,20	0,0046	52,03	2	52,5	2,10
2-3	1,05	14.702,20	0,0046	52,03	2	52,5	2,10
3-4	3,00	14.702,20	0,0046	52,03	2	52,5	2,10
4-5	0,20	14.702,20	0,0046	52,03	2	52,5	2,10
5-6	0,15	14.702,20	0,0046	52,03	2	52,5	2,10
6-7	22,50	14.702,20	0,0046	52,03	2	52,5	2,10
7-8	22,95	14.702,20	0,0046	52,03	2	52,5	2,10
8-9	1,05	123,50	0,0000	4,93	1/4	9,24	0,57
9-10	0,30	123,50	0,0000	4,93	1/4	9,24	0,57
8-11	3,12	14.455,20	0,0045	51,56	2	52,5	2,07
11-12	7,65	14.455,20	0,0045	51,56	2	52,5	2,07
12-13	1,05	7.272,25	0,0023	36,58	1 1/2	40,9	1,71
13-14	0,20	7.272,25	0,0023	36,58	1 1/2	40,9	1,71
12-15	7,38	7.272,25	0,0023	36,58	1 1/2	40,9	1,71
15-16	1,05	7.272,25	0,0023	36,58	1 1/2	40,9	1,71
16-17	0,20	7.272,25	0,0023	36,58	1 1/2	40,9	1,71
11-18	10,58	34,20	-	2,60	1/4	9,24	0,16
18-19	1,05	34,20	-	2,60	1/4	9,24	0,16

19-20	0,40	34,20	-	2,60	1/4	9,24	0,16
-------	------	-------	---	------	-----	------	------

Fonte: Autores (2022).

## D.5 INSTALAÇÕES DE AR COMPRIMIDO

A Equação 52 foi utilizada para estimar a vazão após compressão, onde 7 kgf/cm<sup>2</sup> é a pressão (p) de operação escolhida para o compressor.

$$Q = Q_{normal} \times \frac{1}{p + 1} \quad (52)$$

De acordo com Macintyre (1997), a velocidade recomendada para tubulações principais é de 6 a 8 m/s, enquanto que a secundária, 8 a 10 m/s. A Equação 53 é utilizada para estimar o diâmetro, sendo v = 8 m/s.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{v\pi}} \quad (53)$$

A Tabela 80 apresenta a vazão de compressão para os 3 equipamentos de maior consumo na oficina e o bico de limpeza no laboratório.

Tabela 80 – Vazões de compressão para os equipamentos de maior consumo.

Equipamento	Q dlp (m <sup>3</sup> /h)	Q dlp (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Esmerilhadeira	90	0,0250	0,003125
Jato de areia	93	0,0258	0,003229
Rebitadores	66	0,0183	0,002292
Bico de limpeza	30	0,0083	0,001042

Fonte: Autores (2022).

Com o valor de diâmetro calculado com uma velocidade de 8 m/s, buscou-se uma tubulação comercial que apresentasse um diâmetro interno o mais próximo possível para que então a velocidade calculada com o diâmetro real esteja dentro da

faixa requerida. A Equação 54 foi utilizada para calcular a velocidade.

$$v = \frac{4Q}{D^2\pi} \quad (54)$$

A Tabela 81 resume o dimensionamento de ar comprimido. O diâmetro interno é informado pelo fabricante do tubo PPR.

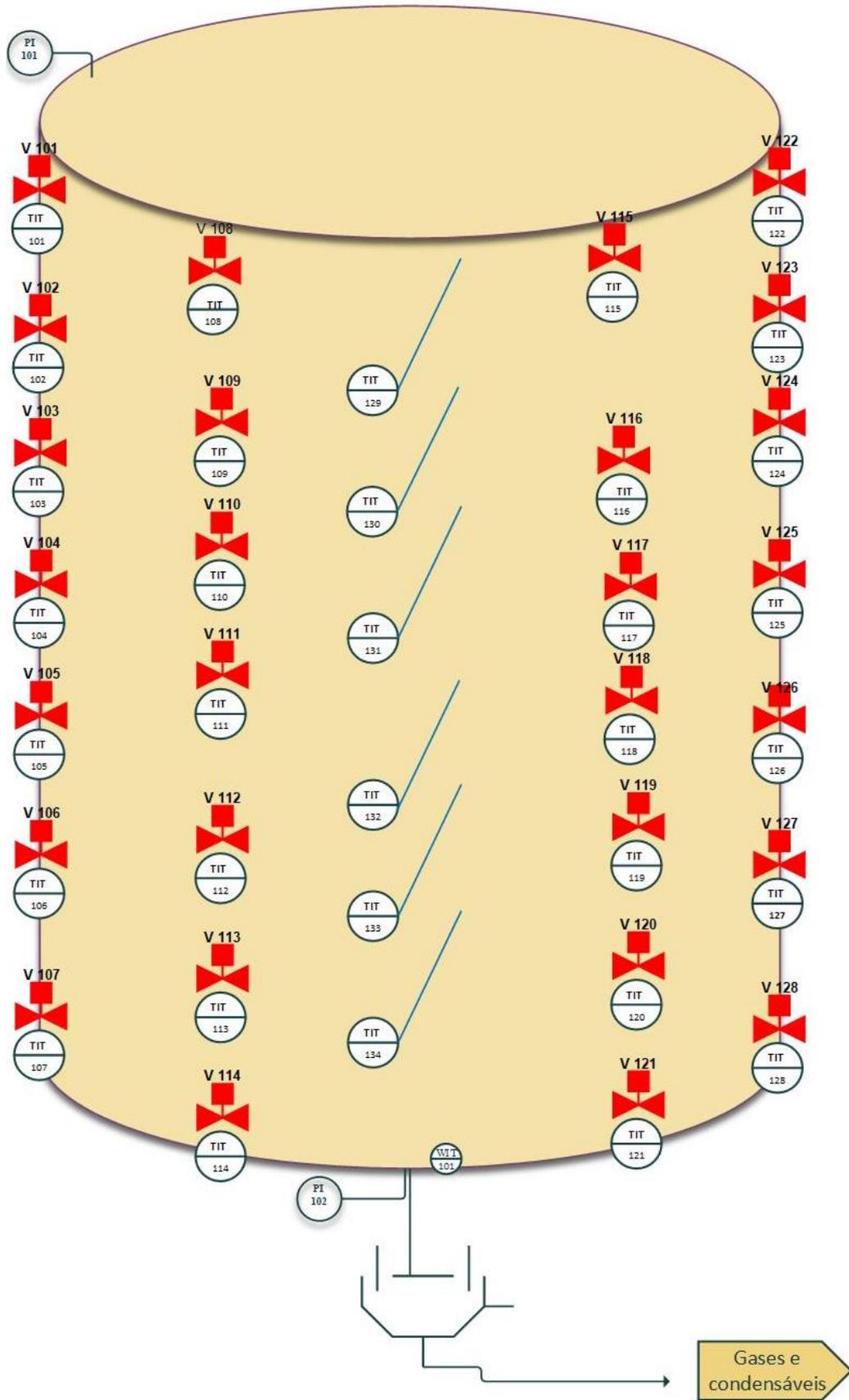
Tabela 81 – Resumo do dimensionamento de ar comprimido.

Trecho	Comprimento (m)	Equipamento	Q (m <sup>3</sup> /s)	D calculado (mm)	D nominal (mm)	D interno (mm)	v (m/s)
1-2	2,5	-	0,0097	39,27	63	45,8	5,88
2-3	3,72	-	0,0097	39,27	63	45,8	5,88
3-4	1,5	Rebitador	0,0023	19,10	32	23,2	5,42
3-5	1,5	-	0,0074	34,31	50	36,2	7,19
5-6	1,5	Esmirilhadeira	0,0031	22,30	32	23,2	7,39
5-7	1,5	-	0,0043	26,07	32	23,2	10,10
7-8	1,5	Jato de areia	0,0032	22,67	32	23,2	7,64
7-9	3,2	-	0,0010	12,88	20	14,4	6,40
9-10	1,5	Bico de limpeza	0,0010	12,88	20	14,4	6,40
9-11	0,1	-	0,0010	12,88	20	14,4	6,40

Fonte: Autores (2022).

## **APÊNDICE E – CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO**

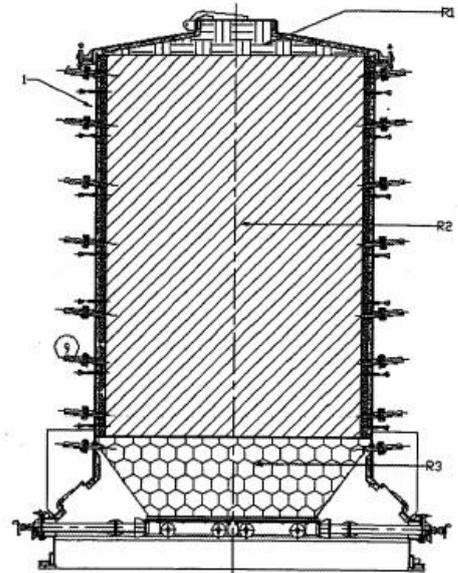
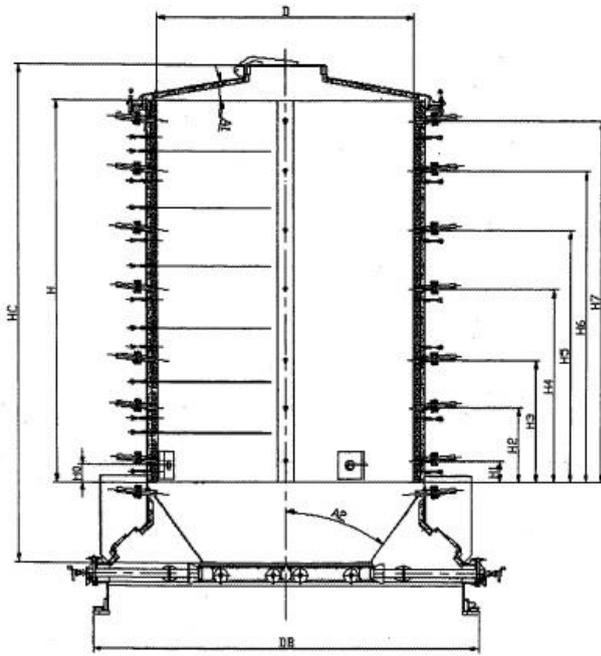
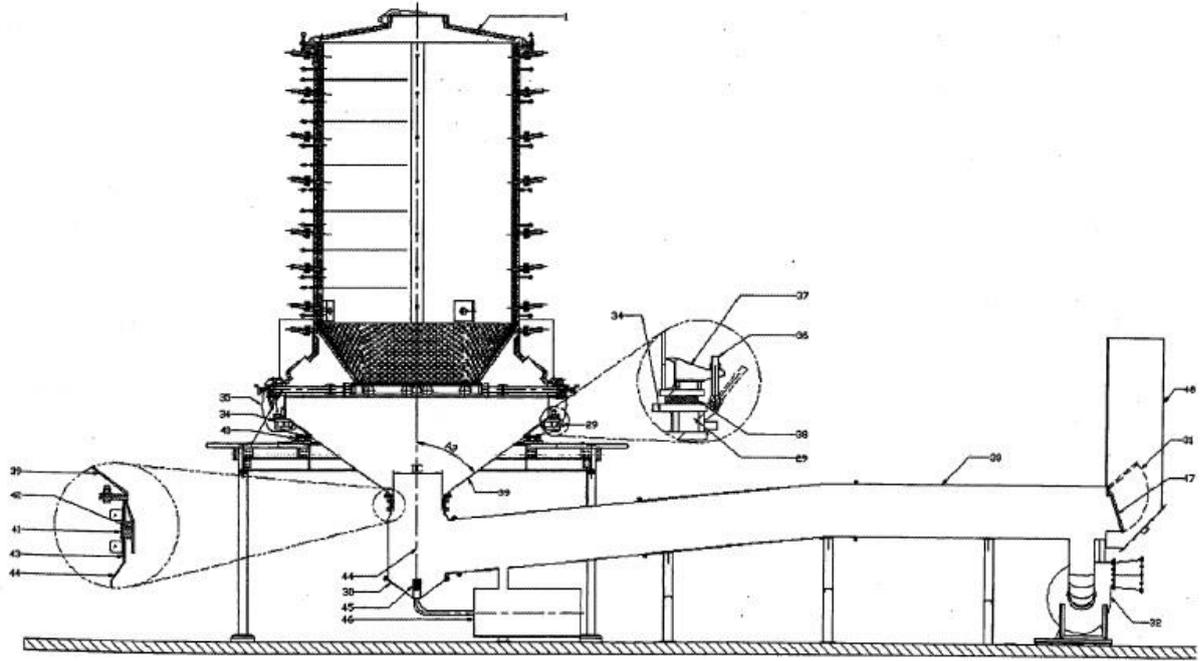
A presente figura do Apêndice E é uma representação da distribuição dos instrumentos no cilindro que compreende o forno metálico. Em uma representação tridimensional, estão distribuídos 28 termopares do tipo K e 28 válvulas esfera com atuador elétrico, ambos estão colocados em 4 colunas e 7 linhas, e no centro do cilindro, têm-se 6 termopares do tipo k em diferentes alturas de modo a medir temperatura da região central do forno. Ademais, estão representando 2 medidores de pressão, um na parte superior e outro na parte inferior, e uma célula de carga que mede o peso do forno para saber quando é atingido o rendimento gravimétrico desejado.

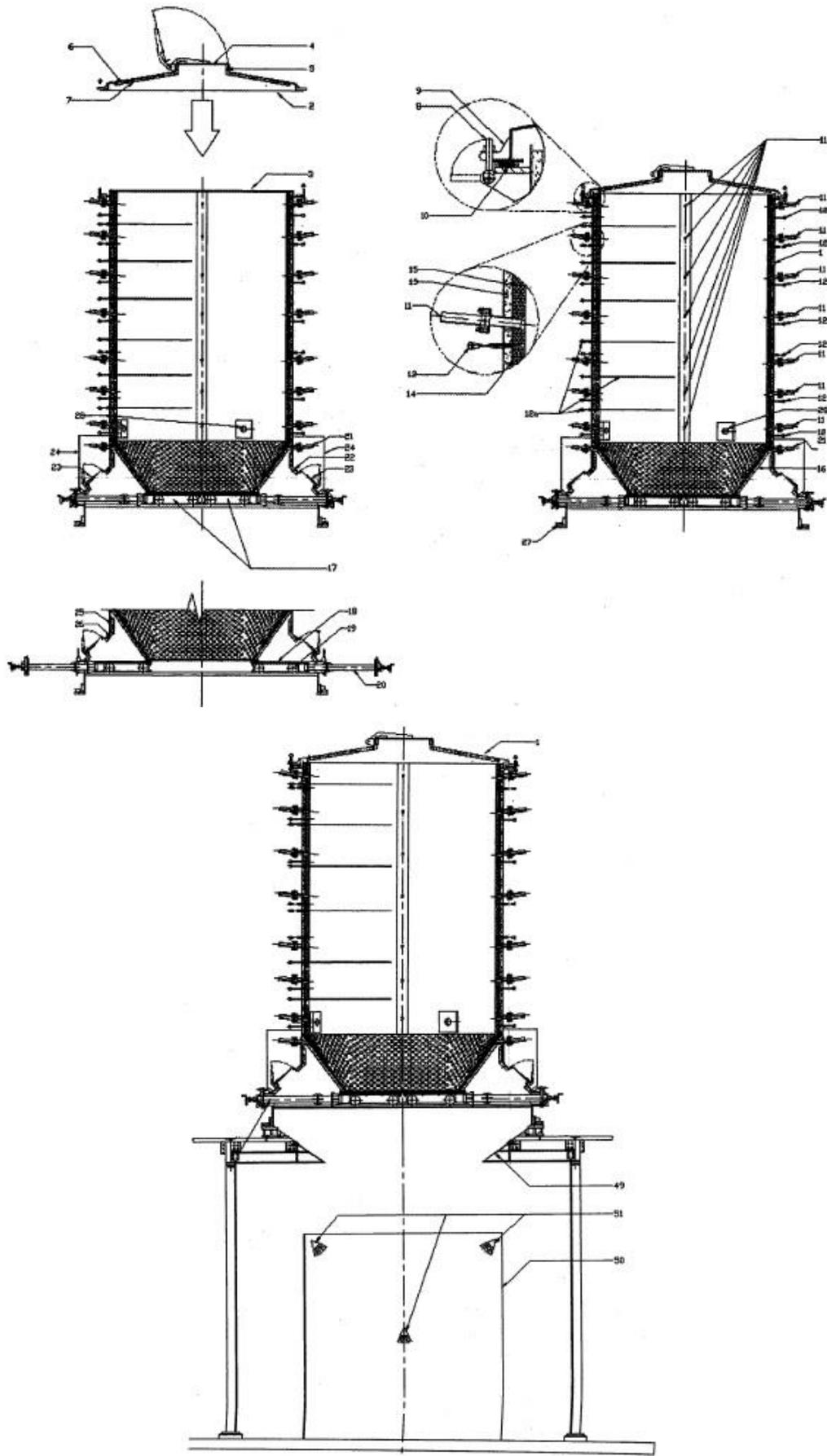


Fonte: Autores (2022).

ANEXO A – EQUIPAMENTOS

ANEXO A.1 – CARBONIZADOR





## ANEXO A.2 – TANQUE DE ATIVAÇÃO



**QIANGZHONG**<sup>®</sup>  
– MACHINERY TECH –

Conform to GMP, QS, and HACCP  
Stainless Steel 304/316 Material

### Heating and Cooling Mixing Tank

We specialize in manufacturing food and medical equipment, and know you better!  
Widely used in food, beverage, pharmaceutical, daily chemical, petroleum and chemical industries.





Capacity (L)	Motor Power	Jacket Pressure	Inner-wall Thickness	Outer Package Thickness	Jacket Thicknes	Insulation
100	0.75(kw)	0.09(Mpa)	3(mm)	0.6(mm)	3(mm)	Rock Wool Insulation
200	0.75(kw)	0.09(Mpa)	3(mm)	0.6(mm)	3(mm)	
300	0.75(kw)	0.09(Mpa)	3(mm)	0.6(mm)	3(mm)	
500	0.75(kw)	0.09(Mpa)	3(mm)	0.6(mm)	3(mm)	
600	0.75(kw)	0.09(Mpa)	3(mm)	0.6(mm)	3(mm)	
800	0.75(kw)	0.09(Mpa)	3(mm)	0.6(mm)	3(mm)	
1000	1.1(kw)	0.09(Mpa)	3(mm)	0.6(mm)	3(mm)	
1500	1.1(kw)	0.09(Mpa)	3(mm)	0.6(mm)	3(mm)	
2000	1.5(kw)	0.09(Mpa)	3(mm)	0.6(mm)	3(mm)	

### Steam Heating and Cooling Tank(with cover and mixer) SS304 Specifications

Nominal Capacity(L)	300	500	1000	2000	3000	5000	6000	8000	10000
Internal Tank Diameter(mm)	800	900	1100	1400	1600	1800	1900	2000	2100
Mixer Power(kw)	0.55	0.75	1.1	1.5	2.2	3.0	4.0	5.5	5.5
Heat Exchange Area(m <sup>2</sup> )	1.7	3.0	4.5	7.5	10	13	15	18	21
Mixer Speed(r/min)	Optional Speed: 17RPM, 32RPM, 48RPM, 60RPM, 82RPM, 127RPM, 155RPM, or stepless speed, frequency control								
Working Pressure(Mpa)	Jacket Pressure: 0.08 ~ 0.3MPa, inner tank pressure: atmospheric pressure								
Working Temperature(°C)	Jacket Temperature: <138°C, inner tank temperature: <100 °C								
Material	Materials: Inner Tank: stainless steel SUS304/SUS316L; Jacket : SUS304/Q235-B; Outer Tank: SUS304								
Type	According to design pressure and characteristics of medium, tank could be classified as atmospheric pressure tank and first-type pressure tank								

Fonte: QIANGZHONG (2022).

### ANEXO A.3 – TANQUE DE RECIRCULAÇÃO



Place of Origin	China
Brand Name	Mayking
Material	plywood/carton/film
Weight	750kg
Size	1000*1000*1700mm
Power	no
Warranty	1 Year
Productivity	50 sets per month
Product name	Water Tank
Material	SUS304/SUS316
Application	Storage water
Capacity	5000L
Surface	Polish

Fonte: MAYKING (2022).

## ANEXO A.4 – TANQUE DE LAVAGEM



No	Volume	Diameter	Thickness	Weight
1	5000L(5m³)	As Customer Required	3mm/4mm/8mm	Different Material with Different Weight
2	10000L(10m³)		3mm/4mm/8mm	
3	12000L(12m³)		3mm/4mm/8mm	
4	15000L(15m³)		5mm/8mm	
5	20000L(20m³)		5mm/8mm	
6	30000L(30m³)		5mm/8mm	
7	50000L(50m³)		5mm/8mm	
8	100000L(100m³)		5mm/8mm	
9	150000L(150m³)		5mm/8mm	

Fonte: XMY (2022).

## ANEXO A.5 – FILTRO PRENSA



## FILTRO PRENSA



Os Filtros Prensa Tecitec permitem alta eficiência de deságue do lodo de Estações de Tratamento de Efluentes Industriais, esgotos ou polpas de processos industriais nos segmentos de mineração, alimentícia, farmacêutica, petroquímica, cerâmica, tintas e pigmentos, celulose, galvânica, bebida, óleo mineral - vegetal entre outras.

Trabalhando com pressão de operação de até 16 bar, os Filtros Prensa Tecitec geram tortas com baixo teor de umidade residual, que podem chegar a 92% de sólidos. São equipamentos robustos, de fácil operação e baixa necessidade de manutenção resultando em baixo custo operacional. Além disso tem baixíssimo consumo de energia.

Filtros prensa Tecitec com tecnologia de última geração, podem ser fornecidos nas configurações abaixo:

### Nível de Automação

- Semi-automáticos
- Totalmente automatizados com automação da abertura e deslocamento de placas, abertura e fechamento da bandeja, acionamento das válvulas, controle de tempo de ciclo, lavagem da torta, secagem complementar com ar comprimido, controle e acionamento da bomba de alimentação, nível de tanque, entre outros.

### Tamanhos

400 x 400 mm a 2000 x 2000 mm

### Tipos de Placas

- Câmara de recesso
- Câmara com membrana de insuflamento
- Quadro e Placa

### Material das Placas

- Polipropileno
- Alumínio
- Ferro Fundido



Filtro Prensa com revestimento anticorrosão



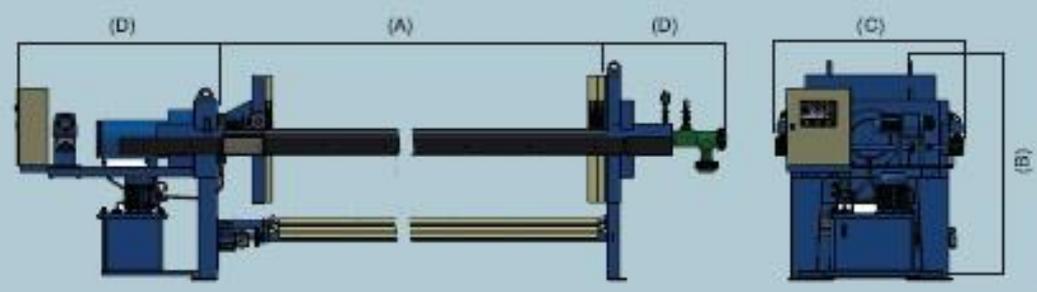
Filtro Prensa automático sobre plataforma      Filtro Prensa automático com lavagem de lamas      Filtro Prensa automático com Ferril de descarga de torta

DIMENSÕES MÁXIMAS ( COMP. X LARG. X ALT.) DOS FILTROS PRENSA E ESPECIFICAÇÕES DAS PLACAS

MODELOS SEMI - AUTOMÁTICO

MODELO	TAMANHO PLACA (mm)	ESPESSURA TORTA (mm)	VOLUME CÂMARA (Lit/cm)	ÁREA FILTRANTE (m <sup>2</sup> /placa)	COMPRIMENTO INT. DOS FILTROS SEMI-AUTOMÁTICOS (x PLACA) (mm) (A)										D+D COMPRIM. SOMAR (mm)	C LARGURA (mm)	B ALTURA (mm)
					10	20	30	40	50	60	70	80	90	100			
TTI-FP4	400X400	32	3,53	0,2600	980	1530	2080	2630	-	-	-	-	-	-	900	1200	1085
TTI-FP5	500X500	30	5,22	0,3374	1100	1630	2180	2690	3220	-	-	-	-	1450	1160	1580	
TTI-FP6	630X630	30	8,72	0,5650	-	1705	2265	2825	3385	3945	-	-	-	1350	1335	1680	
TTI-FP8	800X800	30	14,34	0,9360	-	-	-	3270	3880	4590	5200	5710	6320	1800	1630	1860	
TTI-FP1*	1000X1000	30	22,76	1,4850	-	-	-	3405	4035	4665	5295	5925	6555	1915	2000	1900	
TTI-FP2*	1200X1200	30	31,92	2,0760	-	-	-	-	-	5090	5770	6450	7130	2300	2100	2200	
TTI-FP7*	1500X1500	30	51,78	3,3700	-	-	-	-	-	-	6175	6905	7635	8365	2600	2400	

\* Deslocamento de bandeja com moto-reductor



MODELOS AUTOMÁTICOS

MODELO	TAMANHO PLACA (mm)	ESPESSURA TORTA (mm)	VOLUME CÂMARA (Lit/cm)	ÁREA FILTRANTE (m <sup>2</sup> /placa)	COMPRIMENTO INTERNO DOS FILTROS AUTOMÁTICOS (x PLACA) (mm) (A)										D+D COMPRIM. SOMAR (mm)	C LARGURA (mm)	B ALTURA (mm)
					10	20	30	40	50	60	70	80	90	100			
TTI-FP6	630X630	30	8,72	0,565	-	1705	2265	2825	3385	3945	-	-	-	-	1850	1160	1700
TTI-FP8	800X800	30	14,34	0,938	-	-	-	3270	3880	4590	5200	5710	6320	1950	1700	1900	
TTI-FP1	1000X1000	30	22,76	1,485	-	-	-	3405	4035	4665	5295	5925	6555	1915	2000	2250	
TTI-FP2	1200X1200	30	31,92	2,076	-	-	-	-	-	5090	5770	6450	7130	2300	2100	2200	
TTI-FP7	1500X1500	30	51,78	3,370	-	-	-	-	-	-	6175	6905	7635	8365	2600	2400	

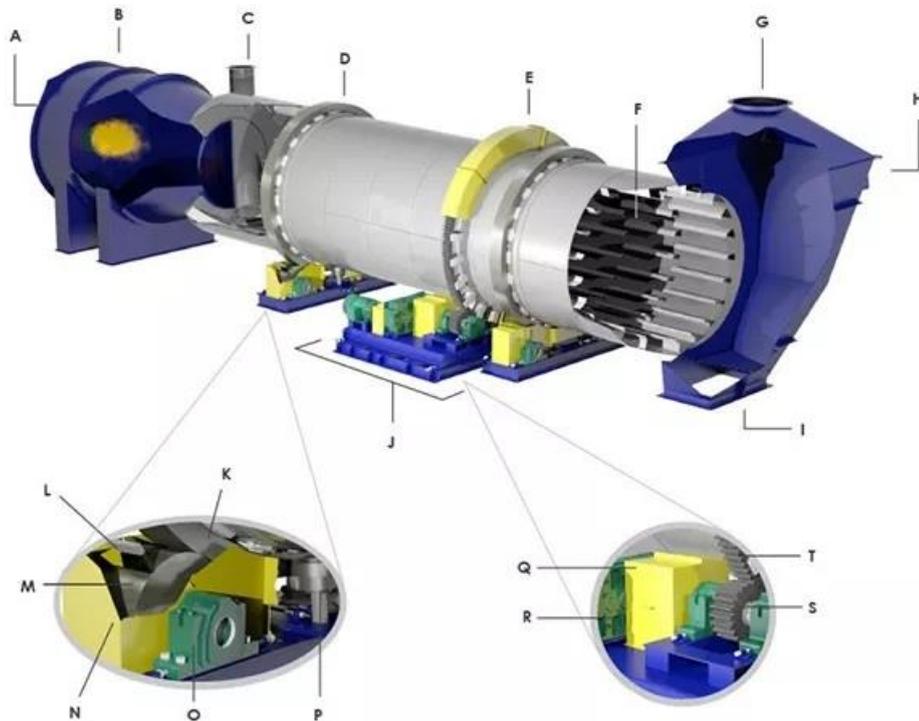
REPRESENTANTE AUTORIZADO



Al. Araguaia, 4001 - Tamboré - Barueri  
 Cep: 08455 - 000 - São Paulo - Brasil  
 Tel: 55 11 2198.2200 Fax (11) 2198.2211  
 www.tecitec.com.br - tecitec@tecitec.com.br

\* A Tecitec reserva-se o direito de alterar as informações constantes neste catálogo a qualquer momento sem prévio aviso

## ANEXO A.6 – SECADOR TAMBOR ROTATIVO



A- Burber	F- Flights	K- Drum Shell Riding Ring	P- Thrust Roller Assembly
B- Combustion Chamber	G- Exhaust Gas System	L- Graphite Block Lubrication System	Q- Drive Guarding
C- Raw Material Feed	H- Discharge Breeching	M- Trunnion Wheel	R- Gear Reducer
D-Riding Ring/Tire	I- Product Discharge	N- Trunnion Guard	S- Pinion Gear
E- Ring Gear	J- Drive Assembly	O- Pillow Block Bearing	T- Girth Gear

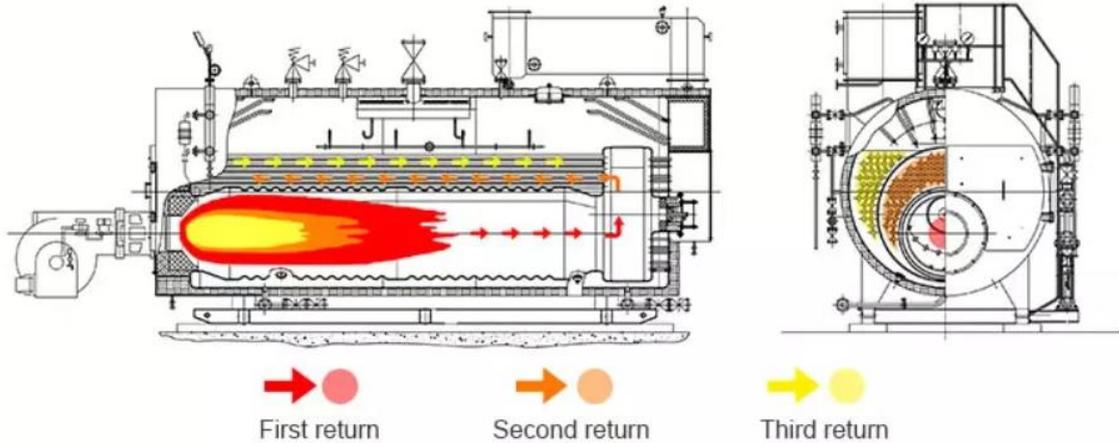


Model	Capacity (t/h)	Motor power (kw)	Motor Model	Gearbox model	Speed ratio	Weight (T)
ø1.2*10	2.5	7.5	Y160M-R3	ZL50-16-I	-----	13.5
ø1.5*12	3.3-4.9	10	Y160L-6-B3	JZQ500-III-2F	-----	18.9
ø1.5*12	4-6	15	Y200L1-6	JZQ500-III-2F	-----	17.8
ø1.8*12	4-6	18.5	Y160L-6	ZQ50-16II-2	16.46	22.83
ø2.2*12	7-12	18.5	Y200L7-6	JZQ650-III	31.5	37.6
ø2.2*14	7-12	22	Y200L7-6	JZQ650-III	31.5	40
ø2.2*16	12	30	Y225M-6	JZQ750-III	31.5	45
ø2.4*14	12	30	Y250M-6	JZQ750-III	31.5	51
ø2.4*18	10-13	37	Y250M-6	ZL85-13-I	27.16	54
ø2.4*20	10-14	37	Y250N-6	ZL85-13-I	27.16	54.14
ø3*20	25	55	Y250M-4	ZL100-16-I	41.52	78
ø3*25	32-36	75	YR280M-4	ZL100-16-I	41.52	104.9

Type:	Rotary Drying Equipment	Application:	Medicine Processing, Chemicals Processing, Plastics Proce...
Condition:	New	Place of Origin:	Henan, China
Brand Name:	Hongji	Voltage:	220v/380v
Power:	3-175kw	Dimension(L*W*H):	Varied
Key Selling Points:	Energy saving	Warranty:	2 years
Applicable Industries:	Building Material Shops, Manufacturing Plant, Machinery Re...	Showroom Location:	Philippines, Indonesia, Pakistan, Kazakhstan, Kyrgyzstan
Machinery Test Report:	Provided	Marketing Type:	New Product 2020
Warranty of core components:	2 years	Video outgoing-inspection:	Provided
After-sales Service Provided:	Engineers available to service machinery overseas, Online s...	Core Components:	Bearing, Pump, Gear, Motor, Gearbox, PLC, Engine, Pressure ...
After-sale service:	The whole using life	Product name:	Drying Equipment Drier Machine Silica Sand Rotary Drum Dr...
Foundation drawing:	Provided	input temperture(C):	≤800
maintenance:	easy and convenient	rotation speed:	1.5-6r/min
After Warranty Service:	Video technical support, Online support, Spare parts, Field ...	Installation:	Under our engineer's guide
Certification:	CE ISO	Delivery time:	30 days
		Heating source:	Gas coal oil electric
		Local Service Location:	Philippines, Indonesia, Pakistan, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Uz...

Fonte: HONGJI (2022).

## ANEXO A.7 – CALDEIRA



Model:WNS Type

Structure:Wet Back Fire Tube Three Pass

Rated Steam Capacity:1-25 ton/hr

Rated Steam Pressure:0.7/1.0/1.25/1.6/2.5 Mpa

Rated Steam Temperature:170/184/194/204/225 C

Application:Textile Mill,Food and Beverage,Chemical,Medicine,Light Industry,Rubber,Printing and Dyeing Plant,Paper Mill,Wood Processing,Garment and Laundry etc.



## Product Advantage

SITONG boiler services to the global



01

### Wet Back Combustion Chamber

100% completely butt welding  
More Reliable Quality

02

### Full Corrugated Furnace

Big Combustion Space  
Large Radiate Heating Surface



03

### Explosion Proof Device

Multi-Function Equipment  
Automatic Reset for Safety

04

### Double Door Smoke Box

Easy to Operate  
Unique Sealing



05

### Thermal Insulation Material

Double-layer Rock Wool Insulation.  
Excellent Fire Protection.

06

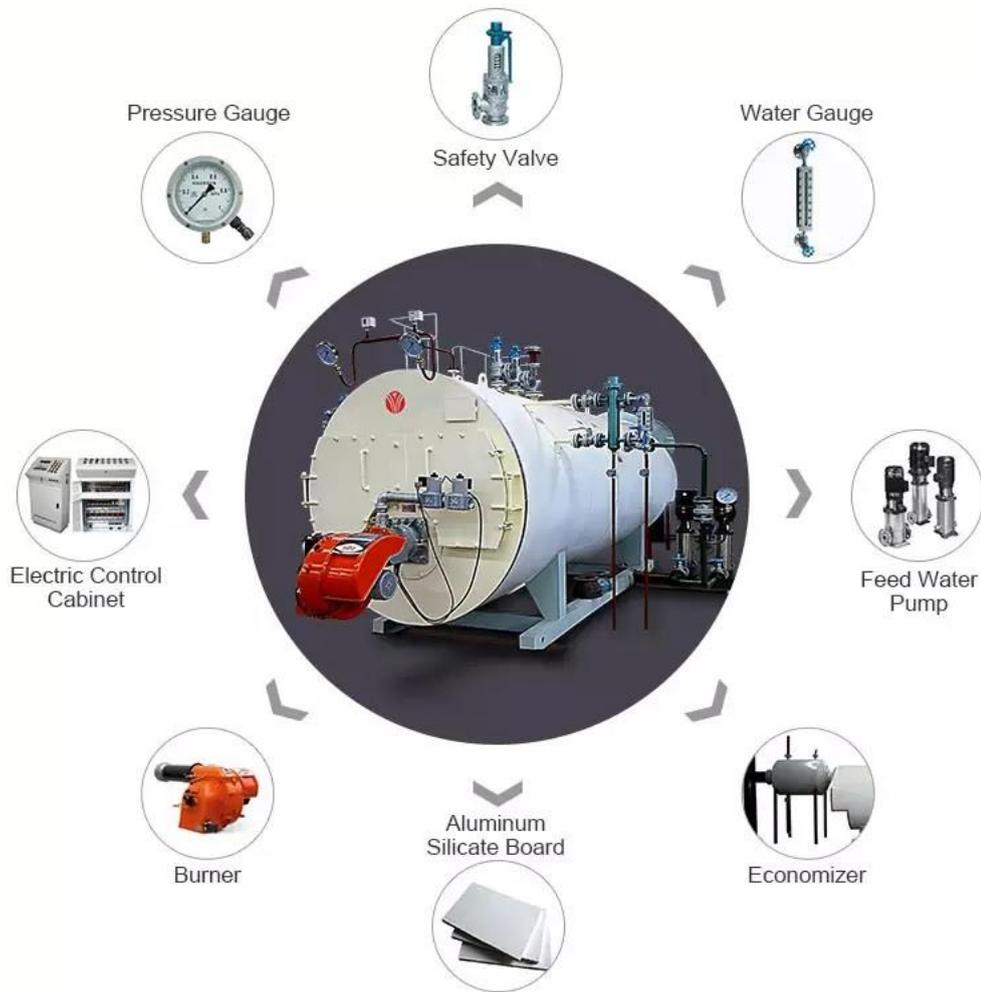
### Full Automatic Controller

Man-Machine Conversation Remote Control  
Liquid Crystal Display(Chinese-English Menu)



**Boiler Accessories**

SITONG boiler services to the global



**Technical Parameters**

SITONG boiler services to the global

Model	Rated Capacity (t/h)	Rated Pressure (Mpa)	Rated Temperature (C)	Thermal Efficiency (%)	Fuel Consumption		Equipment Power		Weight (t)
					Light oil (Kg/h)	Natural gas (Nm³/h)	Burn light oil	Burn gas	
WNS1	1	0.7/1.0/1.25	170/184/194	>90	45-100	18-100	1.5	1.5	4
WNS1.5	1.5			>90.2	101.73	123.47	2.2	1.5	5
WNS2	2			>90.2	137.09	165.97	2.2	3	8
WNS3	3	1.0/1.25/1.6	184/194/204	>91	205.75	249.6	7.5	7.5	9
WNS4	4			>91	272.3	329.5	9	7.5	13
WNS5	5			>91.5	134-402	80-500	17.2	15	15
WNS6	6			>91.5	134-402	80-500	15	15	17
WN8	8			>91.6	523.4	631.5	26	22	21
WNS10	10	1.25/1.6/2.5	194/204/225	>91.6	212-890	150-1085	26	22	22
WNS12	12			>91.8	915.5	1090	26	22	27
WNS15	15			>91.8	931.5	1094.4	/	/	34
WNS20	20			>92	1380.33	1598.44	/	/	45

Note: Parameter is for reference only, we can design the boilers based on customers' needs.

## ANEXO A.8 – MOINHO

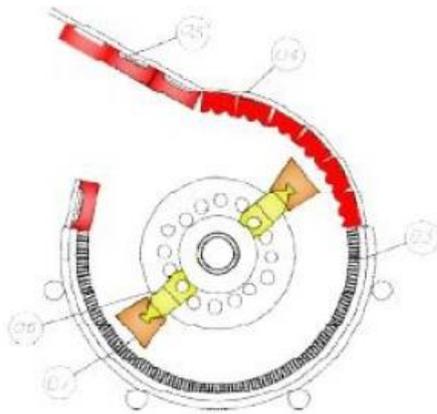


Os Moinhos da **RG MAQ** são de altíssima qualidade, produzindo um ótimo desempenho e proporcionando uma excelente produção. Seu sistema de abertura de tampa bipartido gera uma facilidade na hora da troca de seus revestimentos, grelhas, martelos, telas...

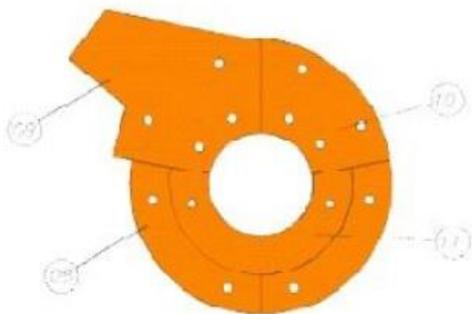
O Moinho **RGM 533**, com motor de 4 Pólos de capacidade de **40 à 60cv** com rotação do entre **1540 RPM** e **1775 RPM** com uma produção variada de **10 T/h** à **15 T/h**, mantendo assim uma ampla possibilidade do controle da granulometria do produto final, dependendo das aberturas de suas grelhas que podem variar de **1.2 mm** até **6 mm**, ou até mesmo telas com furos proporcionais a produção.

Seu Rotor com discos de várias furações escalonadas proporcionam uma aproximação dos martelos nas grelhas ou telas e costelas para obter um resultado de granulometria precisa.

Seus martelos produzidos em material de alta resistência de dureza geram uma durabilidade maior e um excelente produto, assim como seus revestimentos. As grelhas de Aço 5160 são produzidas para maior durabilidade de impacto e abrasão.



11	CARBONO	MEIA LUA INF. N° 6655	02 Pçs
10	CARBONO	LATERAL SUP. N° 17665	02 Pçs
09	CARBONO	LATERAL SUP. N° 16665	02 Pçs
08	CARBONO	LATERAL INF. N° 6657	04 Pçs
07	CROMO	MARTELO RGM 220 x 43 x 115	04 Pçs
06	MANGANÊS	SUORTE 125	04 Pçs
05	MANGANÊS	RÉGUA N° 03 (533)	04 Pçs
04	MANGANÊS	COSTELA N° 10 (533)	06 Pçs
03	AÇO MOLA	GRELHA 533x1" x 1/4" x 2mm	100 Pçs
02	NODULAR	MANCAL SNA 618	02 Pçs
01	AÇO	ROLAMENTO 22318W33K	02 Pçs
POS	MATERIAL	DENOMINAÇÃO	QTD.



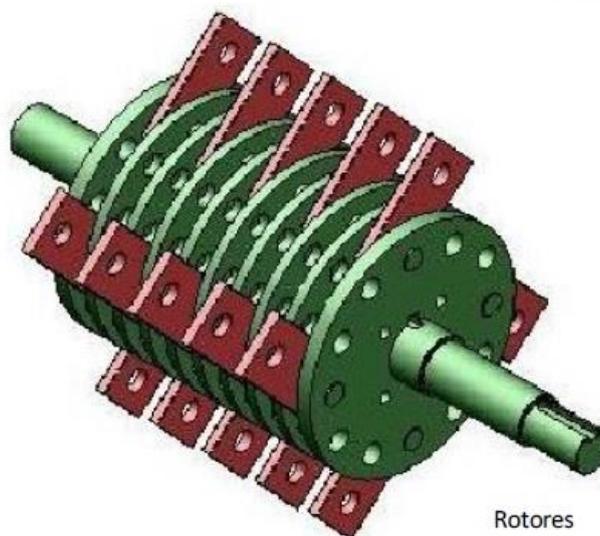
Polias



Telas



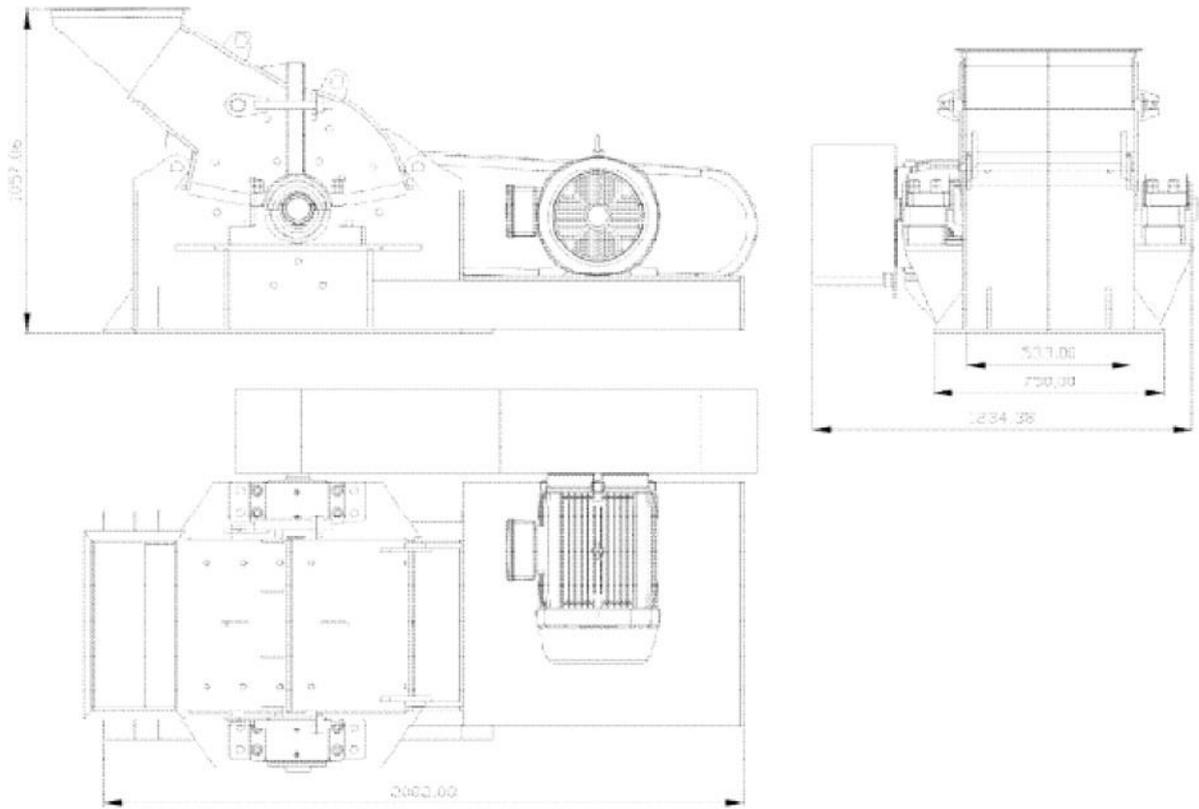
Grelhas



Rotores



Martelos



Fonte: RG MAQ (2022).

## ANEXO A.9 – TROCADOR DE CALOR



Thermal  
Divisão de Troca Térmica

Trocadores de Calor  
Casco e Tubo Helicoidais - BCTH



## Informações Técnicas

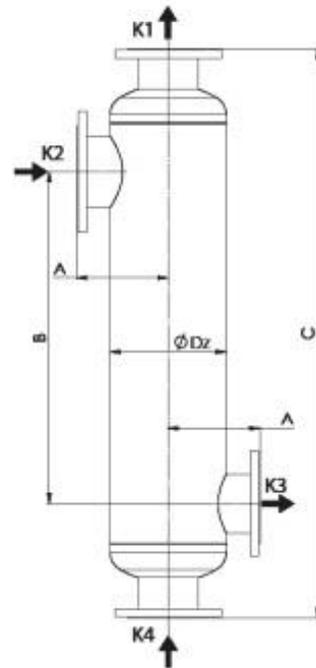
### Desenho Técnico

K4/ K1 – entrada / saída lado frio

K2/ K3 – entrada / saída lado quente

### Material

Aço Inoxidável AISI316L / 1.4404



Tipo	Área de Troca Térmica		Peso		Volume lado Tubos		Volume lado Casco		Dimensões							
	ft <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	lb	kg	gal	l	gal	l	A		B		C		ØDz	
									in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
BCTH 159.10.S24	25.8	2,4	88	40,1	2,1	7,8	3,8	14,3	5,5	140	39,5	850	49,1	1246	6,3	159
BCTH 159.10.S37	39.8	3,7	111	50,5	2,3	8,5	5,5	20,8	5,5	140	53,2	1350	68,7	1746	6,3	159
BCTH 159.10.S49	52.7	4,9	134	60,9	2,6	10,0	7,2	27,3	5,5	140	72,8	1850	88,4	2246	6,3	159
BCTH 219.10.S47	50.6	4,7	155	70,1	4,0	15,0	6,8	25,8	7,3	185	32,1	815	50,1	1272	8,6	219
BCTH 219.10.S72	77.5	7,2	201	91,3	4,2	15,9	10,0	38,0	7,3	185	51,8	1315	69,8	1772	8,6	219
BCTH 219.10.S96	103.3	9,6	248	112,4	5,3	19,9	13,3	50,2	7,3	185	71,5	1815	89,5	2272	8,6	219
BCTH 273.10.S74	79.7	7,4	221	100,3	6,7	25,5	10,6	40,0	8,5	215	30,9	785	53,0	1345	10,8	273
BCTH 273.10.S114	122.7	11,4	289	130,9	7,1	26,9	15,6	59,1	8,5	215	50,6	1285	52,6	1845	10,8	273
BCTH 273.10.S151	162.5	15,1	358	162,2	8,8	33,3	20,6	78,1	8,5	215	70,3	1785	92,3	2345	10,8	273
BCTH 324.10.S110	118.4	11,0	337	153,0	9,5	36,0	14,0	53,1	9,3	235	30,9	785	52,9	1345	12,8	324
BCTH 324.10.S168	180.8	16,8	452	205,0	10,7	40,4	21,0	79,6	9,3	235	50,6	1285	72,6	1845	12,8	324
BCTH 324.10.S224	241.1	22,4	569	258,0	13,1	49,7	29,0	106,0	9,3	235	70,3	1785	92,3	2345	12,8	324
BCTH 406.10.S181	194.8	18,1	619	280,8	17,5	66,2	21,9	82,7	10,6	270	28,4	720	54,4	1381	16,0	406
BCTH 406.10.S277	298.2	27,7	791	359,0	18,8	71,0	32,7	123,7	10,6	270	48,0	1220	74,1	1881	16,0	406
BCTH 406.10.S369	397.2	36,9	958	434,5	22,8	86,4	43,5	164,7	10,6	270	67,7	1720	93,7	2381	16,0	406
BCTH 508.10.S296	318.6	29,6	855	388,0	26,8	101,3	33,5	126,8	13,4	340	26,0	660	57,3	1455	20,0	508
BCTH 508.10.S446	480.1	44,6	1133	514,0	31,5	119,4	50,0	189,3	13,4	340	45,7	1160	77,0	1955	20,0	508
BCTH 508.10.S610	656.8	61,0	1411	640,0	38,2	144,6	66,5	251,8	13,4	340	65,4	1660	96,7	2455	20,0	508
BCTH 550.10.S770	828.8	77,0	1852	840,0	50,6	191,5	89,9	340,3	15,0	380	63,0	1600	100,8	2560	21,7	550



### Tipo de Conexão

Tipo	Flange SS ou CS			
	K1	K2	K3	K4
BCTH 159.10.S24	DN 80	DN 100	DN 80	DN 80
BCTH 159.10.S37	DN 80	DN 100	DN 80	DN 80
BCTH 159.10.S49	DN 80	DN 100	DN 80	DN 80
BCTH 219.10.S47	DN 100	DN 125	DN 100	DN 100
BCTH 219.10.S72	DN 100	DN 125	DN 100	DN 100
BCTH 219.10.S96	DN 100	DN 125	DN 100	DN 100
BCTH 273.10.S74	DN 125	DN 150	DN 125	DN 125
BCTH 273.10.S114	DN 125	DN 150	DN 125	DN 125
BCTH 273.10.S151	DN 125	DN 150	DN 125	DN 125
BCTH 324.10.S110	DN 125	DN 150	DN 125	DN 125
BCTH 324.10.S168	DN 125	DN 150	DN 125	DN 125
BCTH 324.10.S224	DN 125	DN 150	DN 125	DN 125
BCTH 406.10.S181	DN 150	DN 200	DN 150	DN 150
BCTH 406.10.S277	DN 150	DN 200	DN 150	DN 150
BCTH 406.10.S369	DN 150	DN 200	DN 150	DN 150
BCTH 508.10.S296	DN 150	DN 250	DN 200	DN 150
BCTH 508.10.S446	DN 150	DN 250	DN 200	DN 150
BCTH 508.10.S610	DN 150	DN 250	DN 200	DN 150
BCTH 550.10.S770	DN 200	DN 300	DN 250	DN 200

Fonte: BERMO (2022).

ANEXO A.10 – FLARE





#### Technical Parameter

Petroleum equipment flare ignitor device for oil and gas / automatic ignition system / flare ignitor device.

Fuel types	oil and gas
Gas pressure	$\leq 0.1$ MPa or less
Gas inlet test pressure	0.4MPa
Largest gas consumption	1000m <sup>3</sup> /h
Power source	AC220V. 50HZ 3A (Max)
Electric ignition voltage	10KV (Max)
Electric ignition energy storage	150MJ
Spark frequency	$\geq 5$ HZ
Flame detector response time	$\leq 5$ S
Working temperature	the head of the ignition device (flame outlet within the range of 2m, max 600°C); the other side -25°C~60°C

**ANEXO A.11 – TANQUE PULMÃO**



Applicable Industries:	Food & Beverage Factory	Showroom Location:	Viet Nam, Brazil, Russia, Thailand, Ukraine
Machinery Test Report:	Provided	Video outgoing-inspection:	Provided
Core Components:	Other	Marketing Type:	New Product 2021
Brand Name:	XMY	Warranty of core components:	1 Year
Size:	1800x1800x3500mm	Place of Origin:	Jiangsu, China
Warranty:	1 Year, one year	Weight:	1500kg
Name:	5000 liter / 10000 liter water tank price	Power:	None
Function:	Store water	Productivity:	5000L, 10000L
MOQ:	1set	Material:	Stainless Steel 304
Usage:	store water	Thickness:	2-3mm
Application:	store water	Certification:	CE
		Advantage:	Low Cost
		After Warranty	Video technical support, Online support, Spare parts, Fiel...

Fonte: XMY (2022).

**ANEXO A.12 – TANQUE DE DILUIÇÃO**



Applicable Industries:	Food & Beverage Factory	Showroom Location:	Viet Nam, Brazil, Russia, Thailand, Ukraine
Machinery Test Report:	Provided	Video outgoing-inspection:	Provided
Core Components:	Other	Marketing Type:	New Product 2021
Brand Name:	XMY	Warranty of core components:	1 Year
Size:	1800x1800x3500mm	Place of Origin:	Jiangsu, China
Warranty:	1 Year, one year	Weight:	1500kg
Name:	5000 liter / 10000 liter water tank price	Power:	None
Function:	Store water	Productivity:	5000L, 10000L
MOQ:	1set	Material:	Stainless Steel 304
Usage:	store water	Thickness:	2-3mm
Application:	store water	Certification:	CE
		Advantage:	Low Cost
		After Warranty	Video technical support, Online support, Spare parts, Fiel...

Fonte: XMY (2022).

## ANEXO A.13 – TANQUE DE MISTURA

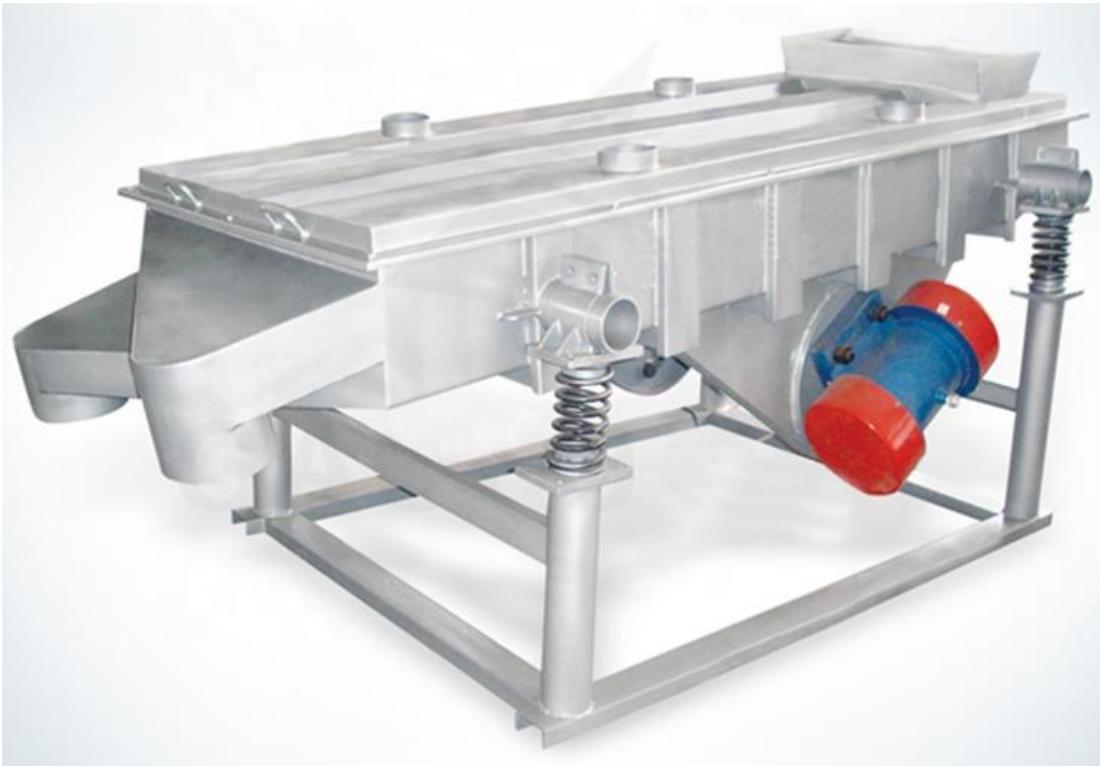
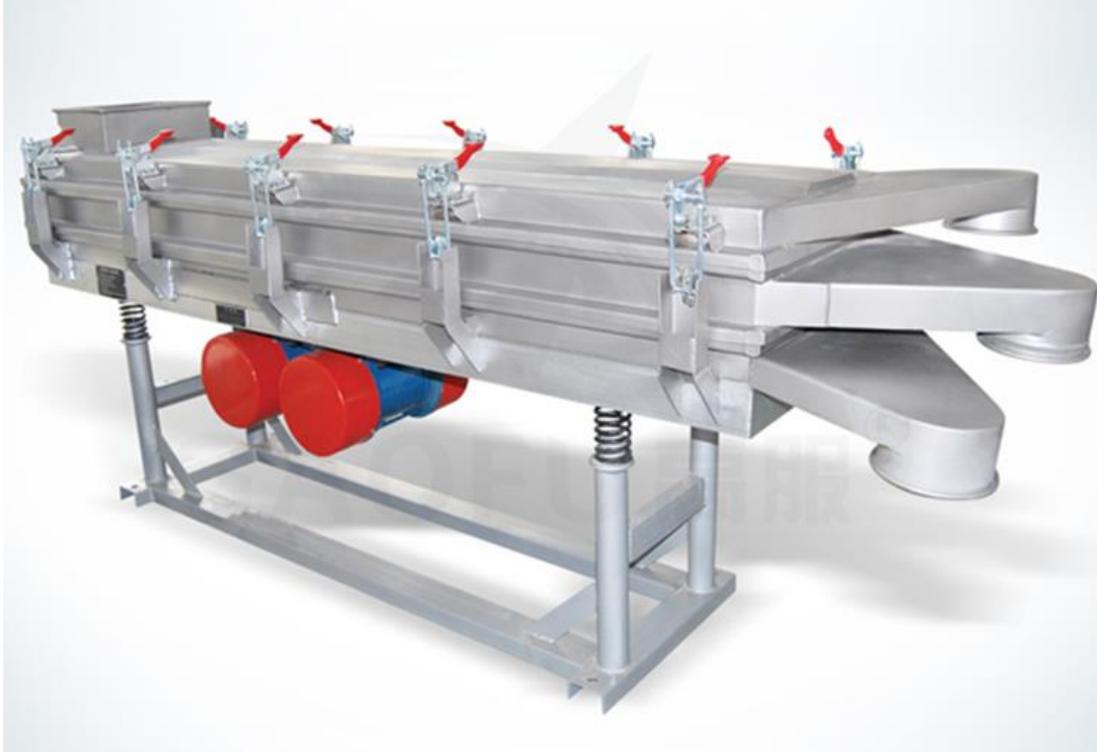




<b>Model</b>	<b>Volume/Capacity</b>
LH-50L	50 Liter
LH-100L	100 Liter
LH-200L	200 Liter
LH-500L	500 Liter
LH-1000L	1000 Liter
LH-2000L	2000 Liter
LH-3000L	3000 Liter
LH-4000L	4000 Liter
LH-5000L	5000 Liter

Fonte: LIANHE (2022).

**ANEXO A.14 – PENEIRA**



**PRODUCT DETAILS** ▼

**01** **DZ**  
DENZO

**MULTI-LEVEL CONTROL**

The multi-layer screen produces several specifications of oversieve and undersieve, which are respectively discharged from their respective outlets.



**02** **DZ**  
DENZO

**GREEN ENVIRONMENTAL PROTECTION**

The linear screen is fully enclosed structure, dust does not overflow, automatic discharge and other characteristics, more suitable for 24-hour assembly line operation.

**03** **DZ**  
DENZO

**HIGH YIELD**

It has the characteristics of low energy consumption, high output, simple structure and easy maintenance.



**04** **DZ**  
DENZO

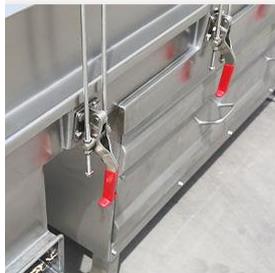
**UNIQUE INSTALLATION STRUCTURE**

The linear screen has a unique net-installed structure, without mixing or stringing.

**05** **DZ**  
DENZO

**SUITABLE FOR ASSEMBLY LINE PRODUCTION**

Low energy consumption, high output, easy to operate, easy to clean, fully enclosed structure, automatic discharge, suitable for assembly line production.



**06** **DZ**  
DENZO

**QUICK RELEASE STRUCTURE**

The quick-release buckle design facilitates the operation of changing the screen and reduces the labor intensity.



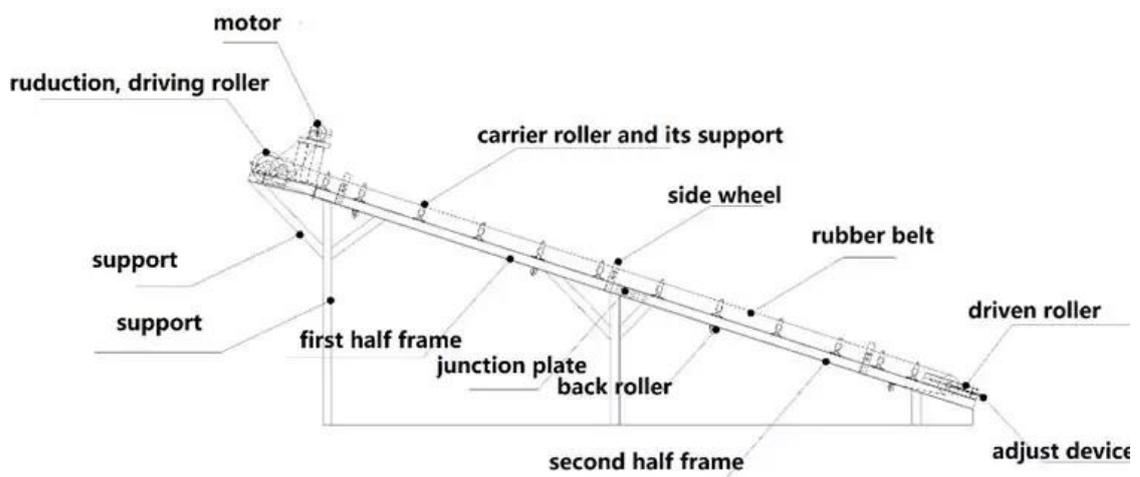
Model	Nominal size (mm)	Material size (mm)	Inclination angle (°)	Amplitude (mm)	Number of layers	Power
SZF520	500*2000	0.074~10	0~7	4~8	1~5	2*(0.4~0.75)
SZF525	500*2500					2*(0.4~0.75)
SZF530	500*3000					2*(0.75~1.1)
SZF535	500*3500					2*(0.75~1.1)
SZF1020	1000*2000					2*(0.75~1.5)

Fonte: DENZO (2022).

## ANEXO B – EQUIPAMENTOS AUXILIARES

### ANEXO B.1 – ESTEIRA DE TRANSPORTE





**BAICHY**  
佰辰重工

Belt width (mm)	Conveying length (m) Power (kw)			Conveying speed (m/s)	Conveying amount (t/h)
500	≤ 12/3	≤ 12-20/4-5.5	≤ 20-30/5.5-7.5	1.3-1.6	40-100
650	≤ 12/4	≤ 12-20/5.5	≤ 20-30/7.5-11	1.3-1.6	80-120
800	≤ 10/4	≤ 10-15/5.5	≤ 15-30/7.5-15	1.3-1.6	120-200
1000	≤ 10/5.5	≤ 10-20/7.5-11	≤ 20-40/11-22	1.3-2.0	200-320
1200	≤ 10/7.5	≤ 10-20/11	≤ 20-40/15-30	1.3-2.0	300-500

Fonte: BAICHY (2022).

## ANEXO B.2 – COMPRESSOR



## 60 PÉS 360L BLUE



CÓD. 21289 trifásico (fechado) IP55

## Características Técnicas:

Ícone	Descrição	Valor
hp	Deslocamento teórico	1700 l/min - 60 pcm
⊖	Pressão máxima	175 psi - 12 bar
Reservatório	Reservatório	360L
Tempo	Tempo enchimento	3'08"
Nº de cilindros	Nº de cilindros	5
Nº de estâgios	Nº de estâgios	2
RPM	RPM do bloco	720
Motor elétrico	Motor elétrico	15 hp - 11,2 kW - 4P
c/embalagem	c/embalagem (mm)	1840x760x1680
Óleo Lubrif. Volume	Óleo Lubrif. Volume	5.000 ml
Peso c/ cabeçote	Peso c/ cabeçote	150 kg
Peso c/ embal c/m	Peso c/ embal c/m	455 kg
Ø Pêla	Ø Pêla	220 mm
Diâmetro do volante	Diâmetro do volante	549 mm
Correia	Correia	887

Imagens meramente ilustrativas

## Apresentação:

Compressor de 2 estágios e alta pressão (175lbf/pol<sup>2</sup>) com rolamento cônico dando melhor ajuste no eixo do virabrequim, design robusto e alta eficiência. São indicados para atividades de alta exigência em empresas de grande porte como fábricas, usinas, oficinas mecânicas e também em fazendas e muito mais!

## Descrição:

## Acompanha o Compressor:

- Unidade compressora em ferro fundido com sistema de trabalho em W.
- Reservatório horizontal
- Transmissão por correia
- Sistema de proteção dupla nas partes girantes do compressor
- Motor trifásico

- Válvula de retenção
- Dreno (válvula purgadora)
- Pressostato
- Manômetro
- Válvula de segurança
- 3 Filtros de ar
- Válvulas concêntricas

- Aliviador centrífugo
- Prontuário de vaso de pressão
- Manual de instruções

## Componentes de compressor sobre reservatório.

- 01. Compressor** – aspira e comprime o ar atmosférico.
- 02. Filtro de ar** – retém as impurezas contidas no ar atmosférico aspirado pelo compressor.
- 03. Serpentina intermediária/descarga** – conduzem e resfriam o ar comprimido.
- 04. Válvula de alívio centrífugo** – permite ao motor elétrico uma partida sem carga, através da despressurização da região de descarga do compressor (C.J. 30/40+ /40/60+ / 60/80 / 120).
- 05. Visor de óleo** – indica o nível de óleo lubrificante.
- 06. Motor elétrico** – aciona o bloco compressor.
- 07. Válvula purgadora/dreno** – utilizado para retirar o condensado (água) contido no interior do reservatório.
- 08. Reservatório de ar** – armazena o ar comprimido.
- 09. Plaqueta de identificação/adeseivo informativo** – indicam os dados técnicos do compressor.
- 10. Plaqueta de identificação do reservatório** – indica os dados técnicos do reservatório, data de fabricação e número de série.
- 11. Válvula de Segurança** – despressuriza automaticamente o reservatório em uma eventual elevação da pressão acima da máxima permitida.

**12. Manômetro** – indica a pressão interna do reservatório.

**13. Pressostato** – com alavanca Liga/Desliga (ON/OFF). Compressores alternativos de pistão possuem regime de trabalho intermitente sendo este 70% do tempo em funcionamento e 30% desligado/alívio, portanto este componente controla o funcionamento dos compressores sem exceder a pressão máxima de trabalho permitida. Alguns modelos intermitentes possuem válvula de alívio.

**14. Válvula de retenção** – retém o ar comprimido no interior do reservatório, evitando seu retorno para o bloco compressor.

**15. Dreno do óleo** – permite a retirada do óleo lubrificante.

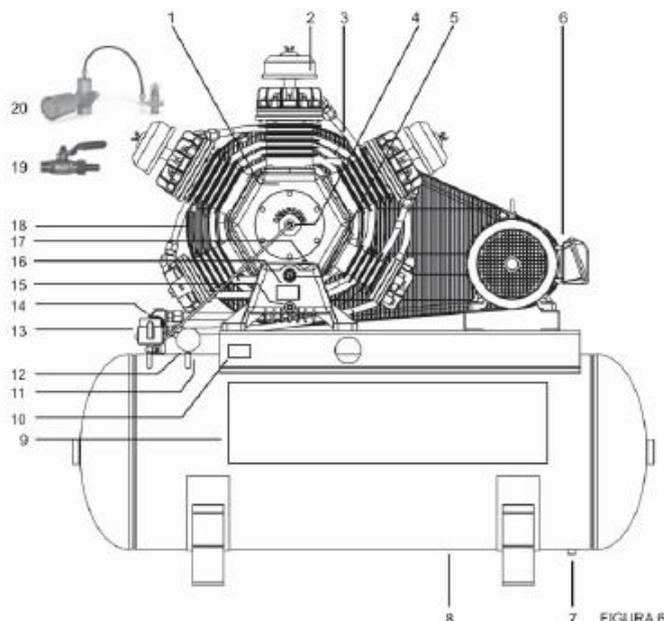
**16. Plaqueta do bloco compressor** – indica as informações técnicas do bloco compressor, data de fabricação e número de série.

**17. Plugue de óleo** – permite a reposição do óleo lubrificante.

**18. Protetor de correia** – protege as partes girantes.

**19. Registro** – controla a liberação do ar comprimido.

**20. Válvula Piloto/Descarga** – análogo ao item 13 (Pressostato) este conjunto controla o funcionamento dos compressores contínuos dentro de uma faixa de pressão estabelecida, sem exceder a pressão máxima de trabalho permitida.



## PRESSOSTATO E VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO

80 a 120 / 100 a 140 / 125 a 175 PSI

OBS: O PRESSOSTATO SAÍ REGULADO DE FÁBRICA.

FIGURA 6

MODELO	Deslocamento Teórico		Pressão Máxima		Reservatório		Nº de CILINDROS	Nº de ESTÁGIOS	RPM DO BLOCO	Motor Elétrico			c/embalagem (mm)			ÓLEO LUBRIF VOLUME (ml)	PESO DO CARBOTE (kg)	PESO C/ EMBAL C. M. (kg)	Ø PÓLIA (mm)	DIÂMETRO DE VOLANTE (mm)	CORREIA
	l/min	pcm	psi	bar	VOLUME (litros)	TEMPO ENCHIM.				hp	KW	Nº DE PÓLOS	Compr.	Larg.	Alt.						
2,6 BPI BASE	74	2,6	120	8,3	*****	*****	1	1	607	1/2	0,37	4	530	420	550	200	9	35,5	80	220	A34
5,2 BPV BASE	140	5,2	120	8,3	*****	*****	2	1	850	1	0,75	2	770	420	460	300	18	38	60	252	A44
8 BPI BASE	168	8	120	8,3	*****	*****	1	1	1325	2	1,5	2	530	420	550	200	9	41	80	200	A32
10 BPV BASE	203	10	120	8,3	*****	*****	2	1	800	2	1,5	2	830	530	550	350	26	68	80	320	A50
10+ BPV BASE	203	10	120	8,3	*****	*****	2	1	1530	2	1,5	2	770	420	460	300	23	42	125	280	A49
0,2 MPV BASE	140	5,2	140	9,6	*****	*****	2	1	730	2	1,5	2	740	410	390	270	14	35	60	265	A38
10 MPV BASE	203	10	140	9,6	*****	*****	2	1	1500	2	1,5	2	630	440	430	270	14	123	115	265	A40
15+ APV BASE	424	15	175	12	*****	*****	2	2	1100	3	2,25	2	970	530	970	600	36	95	100	320	A55
20+ APV BASE	567	20	175	12	*****	*****	2	2	1050	5	3,75	2	970	530	970	900	40	109	128	422	A85
25 APV BASE	710	25	175	12	*****	*****	2	2	880	5	3,75	2	1000	580	980	1500	74	153	100	422	SV710
40 AP3V BASE	1135	40	175	12	*****	*****	3	2	720	10	7,5	4	1380	650	1000	2300	118	254	220	548	B97
60 AP4V BASE	1700	60	175	12	*****	*****	5	2	720	15	11	4	1600	710	1120	5000	159	332	220	548	B97

MODELO	Deslocamento Teórico		Pressão Máxima		Reservatório		Nº de CILINDROS	Nº de ESTÁGIOS	RPM DO BLOCO	Motor Elétrico			c/embalagem (mm)			ÓLEO LUBRIF VOLUME (ml)	PESO DO CARBOTE (kg)	PESO C/ EMBAL C. M. (kg)	Ø PÓLIA (mm)	DIÂMETRO DE VOLANTE (mm)	CORREIA
	l/min	pcm	psi	bar	VOLUME (litros)	TEMPO ENCHIM.				hp	KW	Nº DE PÓLOS	Compr.	Larg.	Alt.						
CJ 5,2 BPV 70L	148	5,2	120	8,3	70	7'5"	2	1	850	1	0,750	2	920	480	950	300	18	63	60	252	A41
CJ 5,2 BPV 110L	148	5,2	120	8,3	110	11'7"	2	1	850	1	0,750	2	1140	510	1110	300	18	80,5	60	252	A41
CJ 10 BPV 150L	205	10	120	8,3	150	8'	2	1	800	2	1,5	2	1220	600	1120	350	26	131	80	320	A50
CJ 10+ BPV 110L	203	10	120	8,3	110	8'27"	2	1	1530	2	1,5	2	1140	510	1110	300	18	97	125	280	A47
CJ 10+ BPV 150L	203	10	120	8,3	150	8'25"	2	1	1530	2	1,5	2	1220	600	1120	300	18	104	125	280	A47
10 PÉS 70L REX.T	283	10	140	9,6	70	3'44"	2	1	1520	2	1,5	2	950	457	830	270	12	67,5	115	254	A40
10 PÉS RED 110L	203	10	140	9,6	110	6'42"	2	1	1500	2	1,5	2	1100	510	950	270	14	88	115	265	A40
10 PÉS RED 150L	203	10	140	9,6	150	8'40"	2	1	1500	2	1,5	2	1180	600	1000	270	14	106	115	265	A40
15 PÉS RED 150L	424	15	140	9,6	150	4'45"	3	1	936	3	2,2	2	1220	600	1200	1300	28	186	85	300	A49
15 PÉS RED 200L	424	15	140	9,6	200	6'32"	3	1	936	3	2,2	2	1200	650	1440	1300	28	186	85	300	A49
20 PÉS RED 200L	566	20	140	9,6	200	3'40"	2	1	937	5	3,7	2	1440	650	1200	1400	35	205	105	367	A60
30 PÉS RED 200L	849	30	140	9,6	200	3'15"	3	1	961	7,5	5,5	2	1440	650	1200	1500	43	183	105	367	A64
6 MPI 70L	170	6	140	9,6	70	8'27"	1	1	850	1,5 (3PL)	P.A. 1,26 P.A. 1,17	2	920	480	950	350	15,5	84	65	265	A44
8 MPI 110L	170	8	140	9,6	110	13'	1	1	850	1,5 (3PL)	P.A. 1,26 P.A. 1,17	2	1140	510	1110	350	15,5	98	65	265	A44
10 MPI 110L	203	10	140	9,6	110	3'35"	2	1	810	2	1,5	2	1140	510	1110	350	26,5	120	85	320	A51
10 MPI 150L	203	10	140	9,6	150	5'27"	2	1	810	2	1,5	2	1220	600	1120	350	26,5	123	85	320	A51
20 MPI 200L	566	20	140	9,6	200	6'09"	2	1	820	5	3,75	2	1440	650	1200	1750	43,5	198	100	378	SV070
TDP 10 MPV 110L	283	10	140	9,6	110	6'06"	2	1	1000	2	1,5	2	1140	510	1110	1600	20	110	80	266	A43
TDP 10 MPV 150L	283	10	140	9,6	150	7'58"	2	1	1000	2	1,5	2	1220	600	1110	1600	20	110	80	266	A43
TDP 15 MP3V 150L	424	15	140	9,6	150	4'45"	3	1	936	3	2,2	2	1220	600	1200	1600	28	186	85	300	A49
TDP 15 MP3V 200L	424	15	140	9,6	200	6'32"	3	1	936	3	2,2	2	1440	650	1200	1300	28	186	85	300	A49
TDP 15 APV 200L	424	15	175	12	200	8'40"	2	2	1055	3	2,2	2	1440	650	1200	1400	28	186	115	367	AXS00
TDP 20 MPV 200L	566	20	140	9,6	200	4'30"	2	1	937	5	3,7	2	1440	650	1200	1400	35	205	105	367	A60
TDP 30 MP3V 200L	849	30	140	9,6	200	3'15"	3	1	961	7,5	5,5	2	1440	650	1200	1500	43	240	105	367	A64
CJ 15+ APV 200L	425	15	175	12	200	11'	2	2	1100	3	2,25	2	1440	650	1200	600	36	186	100	320	A55
CJ 20+ APV 200L	567	20	175	12	200	5'43"	2	2	1050	5	3,75	2	1440	650	1200	900	40	211	128	422	A65
CJ 20+ APV 250L	567	20	175	12	250	6'29"	2	2	1050	5	3,75	2	1600	670	1260	800	40	235	128	422	A65

CJ 40+ APV 360L	1132	40	175	12	360	5'36"	2	2	1421	10	7.5	2	1840	760	1440	1500	74	348	178	422	5V750
CJ 60+ AP3V 425L	1700	60	175	12	425	4'52"	3	2	1030	15	11	2	1930	760	1680	2300	118	438	180	540	894
CJ 25 APV 250L	708	25	175	12	250	5'54"	2	2	880	5	3.75	2	1600	670	1260	1500	77	289	100	422	5V710
CJ 40 AP3V 360L	1133	40	175	12	360	4'47"	3	2	720	10	7.5	4	1840	760	1680	2300	118	411	220	549	897
CJ 40 AP3V 425L	1135	40	175	12	425	7'	3	2	720	10	7.5	4	1940	760	1680	2300	118	425	220	549	897
CJ 60 APV 360L	1700	60	175	12	360	3'08"	5	2	720	15	11.2	4	1840	760	1680	5000	159	428	220	549	897
CJ 60 APV 425L	1700	60	175	12	425	3'35"	5	2	720	15	11.2	4	1930	760	1680	5000	159	485	220	549	897
15 PÉS BLUE 200L	424	15	175	12	200	8'55"	2	2	1079	3	2.2	2	1440	650	1200	1400	28	186	105	367	AX380
20 PÉS BLUE 200L	567	20	175	12	200	5'43"	2	2	1050	5	3.75	2	1440	650	1200	900	40	211	128	422	A65
20 PÉS BLUE 250L	567	20	175	12	250	6'29"	2	2	1050	5	3.75	2	1600	670	1260	900	40	235	128	422	A65
25 PÉS BLUE 250L	710	25	175	12	250	6'	2	2	880	5	3.75	2	1600	670	1260	1500	74	289	100	422	5V710
40 PÉS BLUE 360L	1135	40	175	12	360	4'47"	3	2	720	10	7.5	4	1840	760	1680	2300	118	411	220	549	897
40 PÉS BLUE 425L	1135	40	175	12	425	5'53"	3	2	720	10	7.5	4	1930	760	1680	2300	118	425	220	549	897
60 PÉS BLUE 360L	1700	60	175	12	360	3'08"	5	2	720	15	11.2	4	1840	760	1680	5000	159	428	220	549	897
60 PÉS BLUE 425L	1700	60	175	12	425	3'35"	5	2	720	15	11.2	4	1930	760	1680	5000	159	485	220	549	897
CJ 30 APV 250L	850	30	175	12	250	6'	2	2	1056	7.5	5.5	2	1600	670	1260	1500	74	281	130	422	5V710
CJ 80 APV 425L	2260	80	175	12	425	5'	5	2	940	20	15	2	1930	760	1680	5000	159	498	150	549	894

MODELO	Deslocamento Teórico		Pressão Máxima		Reservatório		N° de Cilindros	N° de Estágios	RPM do Bloco	Motor Elétrico			c/embalagem (mm)			ÓLEO LUBRIF VOLUME (ml)	PESO DO CABEÇOTE (kg)	PESO C/ EMBAL C./M (kg)	Ø POLIA (mm)	DIÂMETRO DO VOLANTE (mm)	CORREIA
	l/min.	pcm	psi	bar	VOLUME (litros)	TEMPO ENCARR.				hp	KW	N° de PÓLOS	Compr.	Larg.	Alt.						
40 PÉS 360L DUD	1133	40	175	12	360	4'47"	3	2	720	10	7.5	4	1840	760	1590	2300	118	411	220	549	897
40 PÉS 425L DUD	1135	40	175	12	425	7'	3	2	720	10	7.5	4	1940	760	1680	2300	118	425	220	549	897
60 PÉS 360L DUD	1700	60	175	12	360	3'08"	5	2	720	15	11.2	4	1840	760	1680	5000	159	428	220	549	897
60 PÉS 425L DUD	1700	60	175	12	425	3'35"	5	2	720	15	11.2	4	1930	760	1680	5000	159	485	220	549	897

<b>Deslocamento Teórico</b>	1700 l/min – 60 pcm
<b>Pressão máxima</b>	175 psi – 12 bar
<b>Reservatório</b>	360L
<b>N° de Cilindros</b>	5
<b>N° de Estágios</b>	2
<b>RPM do Bloco</b>	720
<b>Motor Elétrico</b>	15hp – 11,2kW – 4P
<b>Óleo Lubrif Volume (ml)</b>	5.000
<b>Peso do Cabeçote</b>	171 kg
<b>Diâmetro Polia</b>	220
<b>Diâmetro do Volante</b>	549 mm
<b>Correia</b>	B97
<b>Peso C/ Embalagem C/ Motor Trifásico (IP55 - Fechado)</b>	455kg
<b>Dimensões C/ Embalagem C/ Motor Trifásico (IP55 - Fechado)</b>	1840x760x1680mm

Fonte: CHIAPERINI (2022).

## ANEXO B.3 – ENSACADEIRA



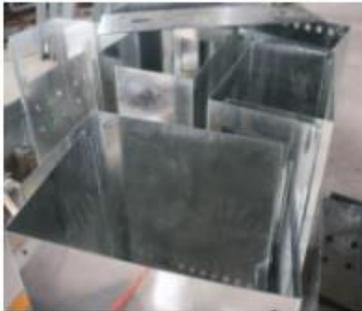
Type	LCS-CF	LCS-CF1	LCS-CF2
Weight range(kg)	25-50	5-10 10-20 25-50 50-100	
Output(bag/hour)	180-260	200-400	300-500
Power supply	380v/220v 50Hz (Power supply must be ordered owing to inconsistent standard with foreign power supply)		
Gas supply(Mpa)	0.4-0.6		
Accuracy	Grade 0.2		

 <p>Full automatic large granular products weighing bag packaging equipment</p>	 <p>Automatic particle packing machine</p>	 <p>Full automatic weighing bag packing equipment small granular products</p>	 <p>Automatic powder products quantitative bag packaging equipment</p>
 <p>Full automatic liquid/paste products quantitative bag packaging equipment</p>	 <p>Full automatic small bag vertical bag making and packing machine</p>	 <p>Full automatic small bag vertical bag making and packing machine</p>	 <p>Semi-automatic power metering equipment</p>
 <p>Automatic vertical bag packaging equipment technology parameter table</p>	 <p>Hardware counting and packing machine</p>	 <p>Automatic counting and packaging equipment production line</p>	 <p>Full automatic rotary packing machine for pre-made bags</p>
 <p>TF Tubular Film Bagging machine</p>	 <p>Fully automatic single-sation packing machine for pre-made bags</p>	 <p>Automatic horizontal flow packaging equipment</p>	 <p>Straight linear bottled/canned powder metering production line</p>

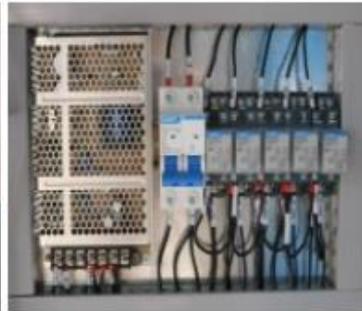
**ANEXO B.4 – ENSACADEIRA BIG BAG**



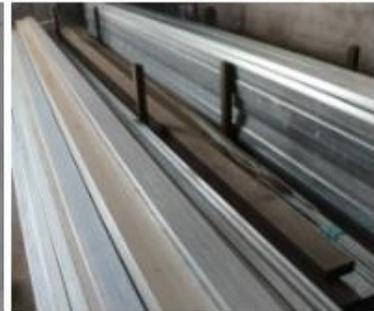
Model	DCS - 1000		
Packing Material	WOODEN BOXES		
Gross Weight	1640 KG		
Packing Capacity	10- 30 bags / h		
Weighing Range	300 - 2000 Kg / bag, customized needs		
Application Materials	flake materials, granule and powder mixture, irregularly shaped materials and bad fluidity materials	powdery materials or fine granule materials with good mobility	powdery materials or fine granule materials with good mobility
Feeding mechanism	Belt feeder	screw feeder	gravity feeder



**Stainless steel contact parts**  
All the parts in touch with the material are made of food grade stainless steel. Such as weighing hopper etc.



**Excellent work**  
Every small part is completed in strict accordance with the quality standards and strictly inspected before leaving the factory.



**laser cutting**  
All steel plates are laser cut by workers during the machine manufacturing process.



Fonte: FULIANG (2022).

## ANEXO B.5 – ENVASADORA



item	value
Application	Food, Chemical
Packaging Type	CANS, Barrel, Pails
Packaging Material	Plastic, metal
Automatic Grade	Automatic
Driven Type	Electric
Voltage	AC110-380V
Brand Name	jinlonghai
Dimension(L*W*H)	1200L*950W*1950H
Weight	215kg
Certification	ce
Warranty	1 Year
	Field installation, commissioning and training, Field maintenance and repair service
Key Selling Points	High-accuracy
Machinery Capacity	4000BPH, 2000BPH, 1000BPH
Filling Material	Water
Filling Accuracy	0.05%F.S.
Marketing Type	New Product 2020
Machinery Test Report	Provided
Video outgoing-inspection	Provided
Warranty of core components	1 Year
Core Components	Motor, Pump, PLC, Gear, Bearing, Gearbox, Engine

Fonte: JINLONGHAI (2022).

ANEXO B.6 – PELETIZADORA

**NGB**



**NGB**





Model	Power - kw	Output - kg/h	Dimension (mm)	Weight - kg
GL420	37	400-600	2050*940*2100	2400
GL460	55	600-800	2100*940*2100	3000
GL560	90	1000-1500	2380*950*2200	5600
GL720	160	1500-2000	3300*1500*2300	8600
GL850	220	2000-3000	3800*1850*3100	13800

Fonte: JNGB (2022).

**ANEXO B.7 – MISTURADOR**



# LARGE DOUBLE-LAYER STIRRING ROD

3D three-dimensional large mixer, High-quality material production



Factory outlet • Support customization

# LARGE STAND FOR VERTICAL MIXER



Mixer Type:	Homogenizer	Barrel Volume (L):	20000
Material Processed:	Plastics, Chemicals, Food, Medicine, Sewage mixing	Max. Loading Volume (L):	20000 L
Range of Spindle Speed(r.p.m):	60 - 150 r.p.m	Weight (KG):	100 KG
Product Type:	Detergent Powder	Condition:	New
Place of Origin:	China	Application:	Liquid, Medicine Processing/Chemicals Processing
Voltage:	380/220	Brand Name:	SPEED
Warranty:	1 Year	Power (kW):	11 kW
Applicable Industries:	Garment Shops, Building Material Shops, Manufacturing ...	Key Selling Points:	High Safety Level
Machinery Test Report:	Provided	Showroom Location:	None
Warranty of core components:	1 Year	Marketing Type:	Hot Product 2019
Application scope:	wastewater treatment	Video outgoing-inspection:	Provided
Product name:	mixer agitator	Core Components:	Motor, Gearbox
		Material:	Stainless Steel 304
		Color:	Clients Request
		Function:	Mixer Blender

Fonte: SPEED (2022).

**ANEXO B.8 – TOMBADOR**

Fonte: MF RURAL (2021).

## ANEXO B.9 – AQUECEDOR



### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Capacidade Estática (litros)	Capacidade Dinâmica (60-80°C) (kcal/h)	Produção de Água Quente (15-80°C) (l/h)	Consumo Vapor * (kg/h)
B 300V	300	6.400	98	14
B 500V	500	20.000	308	44
B 1000V	1.000	39.200	603	86
B 1500V	1.500	59.200	911	130
B 2000V	2.000	78.400	1.206	173
B 3000V	3.000	117.600	1.809	259
B 4000V	4.000	156.800	2.412	346
B 5000V	5.000	196.000	3.015	432
B 6000V	6.000	235.242	3.619	518
B 7500V	7.500	354.750	5.457	704
B 1000V	10.000	476.280	7.327	945

\* Pressão do vapor: 4 kg/cm<sup>2</sup>

**TABELA DIMENSIONAL**

Modelo	Dimensões			Conexões					
	Largura L (mm)	Comprimento C (mm)	Altura H (mm)	Entrada Água Fria	Saída Água Quente	Retorno Água Quente	Dreno	Vapor	Condensado
<b>B 300V</b>	660	1.450	1.035	3/4"	1/2"	1/2"	3/4"	1/2"	1/2"
<b>B 500V</b>	810	1550	1185	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	1/2"	1/2"
<b>B 1000V</b>	1.010	1.886	1.385	1"	1"	1"	1"	3/4"	1/2"
<b>B 1500V</b>	1160	2254	1535	1"	1"	1"	1"	1"	1/2"
<b>B 2000V</b>	1.260	2.294	1.635	1.1/2"	1.1/2"	1.1/2"	1.1/2"	1"	1/2"
<b>B 3000V</b>	1263	3194	1635	1.1/2"	1.1/2"	1.1/2"	1.1/2"	1.1/4"	3/4"
<b>B 4000V</b>	1.313	3.814	1.685	2"	2"	1.1/2"	1.1/2"	1.1/2"	1
<b>B 5000V</b>	1463	3886	1835	3"	3"	2"	1.1/2"	2"	1
<b>B 6000V</b>	1.463	4.486	1.835	3"	3"	2"	1.1/2"	2"	1
<b>B 7500V</b>	1463	5386	1835	3"	3"	3"	1.1/2"	2"	1.1/2"
<b>B 1000V</b>	1.566	8.135	1.935	4"	4"	3"	2"	3"	1.1/2"

Fonte: WECO (2022).

## ANEXO B.10 – ISOLAMENTO LÃ DE ROCHA

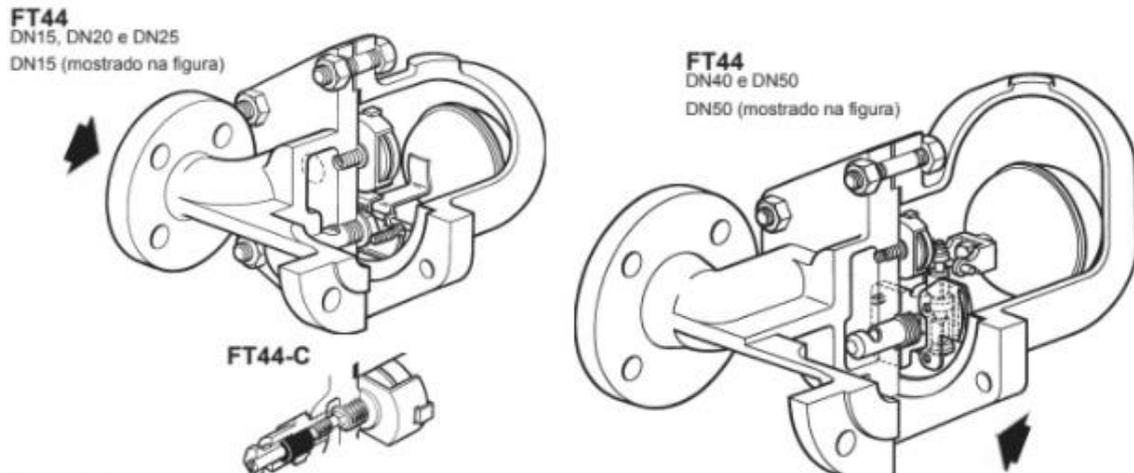


Produto	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	Espessura (mm)	Diâmetro Nominal (pol)	Comprimento (mm)	Embalagem
ISOTUBO "One Piece Pipe"	Até 165	25,40,50,63,75	De ½ a 4	1000	Saco plástico de polietileno
ISOTUBO "Bipartidos"	Até 130	25,40,50,63,75	De 4 ½ a 16	1000	Caixa de papelão
ISOTUBO "Bipartidos"	Até 130	100	De ½ a 16	1000	Caixa de papelão

Temperatura de Operação (°C)									
Diâmetro Nominal	50°C	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C	400°C	450°C
1/2"	25	25	40	40	50	50	63	63	75
3/4"	25	25	40	40	50	50	63	63	75
1"	25	25	40	40	50	50	63	63	75
1 1/4"	25	25	40	50	50	63	63	75	100
1 1/2"	25	25	40	50	50	63	63	75	100
2"	25	40	40	50	63	63	75	75	100
2 1/2"	40	40	50	50	63	63	75	100	125
3"	40	40	50	63	63	75	75	100	125
4"	40	40	50	63	63	75	75	100	125
5"	40	40	50	63	75	75	75	100	125
6"	40	50	63	63	75	75	100	125	150
8"	40	50	63	75	75	75	100	125	150
10"	50	50	63	75	75	100	125	125	150
12"	50	50	63	75	75	100	125	150	175
14"	50	50	63	75	100	125	150	150	175
16"	50	50	63	75	100	125	150	150	175
Superfícies Planas	50	50	63	75	100	125	150	150	175

Fonte: ISAR (2022).

## ANEXO B.11 – PURGADOR TIPO BÓIA (LINHA DE VAPOR)



### Dimensões e pesos (aproximados) em mm e kg

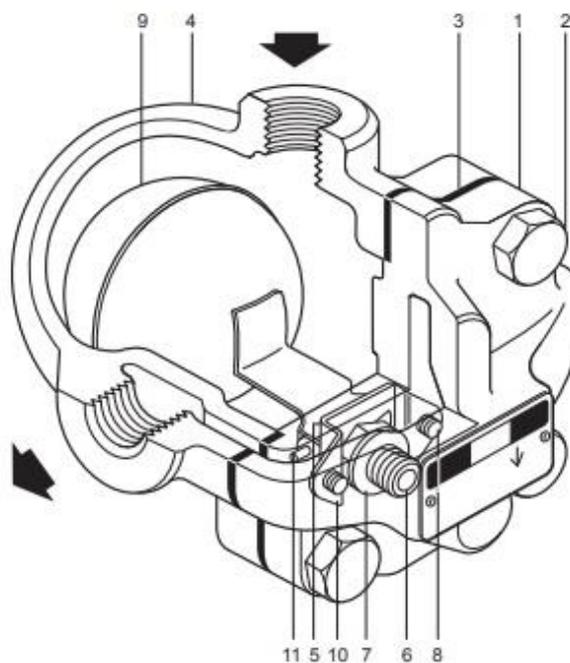
Notas:

1. As dimensões entre parênteses referem-se apenas a conexões verticais.
2. As dimensões totais do PN40 estão de acordo com EN 26554 (Série 1).

Modelo	PN40 A (A)	ASME 300 A (A)	ASME 150 A (A)	JIS/KS 20K A (A)	B	C	D	E	F	Peso
DN15	150 (150)	209 (150)	203 (150)	206 (150)	80	80	215	120	155	10,8
DN20	150 (150)	209 (150)	205 (150)	210 (150)	80	80	225	120	165	10,8
DN25	160 (160)	212 (160)	208 (160)	210 (160)	115	85	282	170	215	15,0
DN40	230 (230)	327 (230)	321 (230)	322 (230)	130	115	337	200	200	33,0
DN50	230 (230)	320 (230)	313 (230)	311 (230)	141	123	347	200	225	34,0

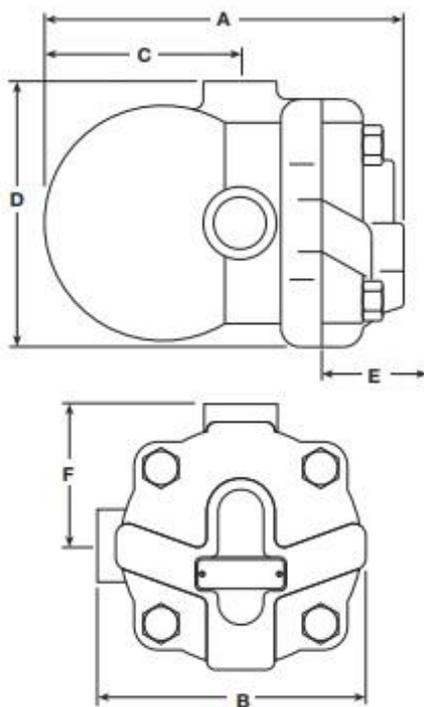
Fonte: SARCO (2022).

## ANEXO B.12 – PURGADOR TIPO BÓIA (LINHA DE AR COMPRIMIDO)



**Dimensões e Pesos** (aproximados) em mm e kg

Ø	A	B	C	D	E	F	Peso
½"	147	114	80	114	105	60,5	2,5
¾"	147	114	80	114	105	60,5	2,5



Fonte: SARCO (2022).

## ANEXO B.13 – FILTRO REGULADOR LUBRIFICADOR



### DADOS TÉCNICOS

Vazão: 2600 litros/minuto

Conexão: 1/2"

Capacidade de Renteção: 40 microns

Pressão Máxima de entrada: 10 bar

Pressão de Trabalho: 0,2 a 10 bar

Faixa de Temperatura: -10°C a + 60°C

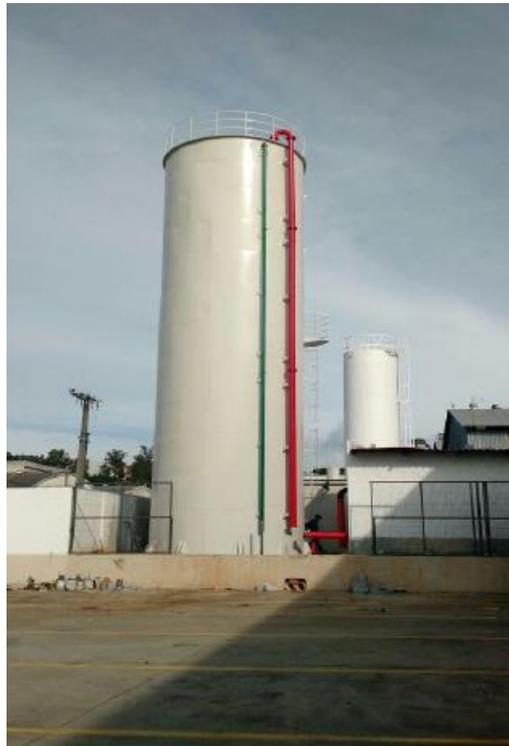
Conexão do Manômetro: 1/8" BSP, escala de 0 a 160 psi

Dreno: Manual

Garantia: 6 meses

Fonte: SCHULZ (2022).

## ANEXO B.14 – CAIXA D'ÁGUA



### CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO:

- Pressão do projeto: Atmosférica.
- Temperatura do projeto: Ambiente.
- Densidade do líquido: 1,0 g/cm<sup>3</sup> - Água.

### NORMAS TÉCNICAS:

- Tanques Soldados para Armazenamento de Petróleo: ABNT NBR 7821 / 83.
- Tanques Soldados para Armazenamento de Petróleo: API STD 650 / 16.
- Instalações Prediais de Água: NBR 5626 / 98.
- Projetos de Estruturas de Aço: ABNT – NBR8800 / 08.
- Velocidade do Vento em Edificações: NBR 6123 / 88.
- Chapas Finas e Quentes de Aço Carbono para Uso Estrutural: ABNT NBR 6650 / 86.
- Especificação de Arames MIG: AWS A5.18.
- Especificação de Eletrodos: AWS A5.5 .
- Parafusos e porcas: ASTM-A325.

As normas citadas são utilizadas como referência, não sendo seguidas em sua íntegra.

### ACESSÓRIOS:

- Escada Interna tipo marinho;
- Escada Externa tipo marinho com guarda corpo;
- Patamar de descanso;
- Guarda corpo externo;
- Gradil de proteção no teto 1,20 m;
- Tampa de inspeção com 600 mm no teto;
- Suporte para fixação de tubulação;
- Fixador de para raio;
- Fixador de luz piloto;
- Chumbadores tipo J jota com porca e arruela;
- Alça de içamento;
- Conexões de acordo com o projeto hidráulico.

Fonte: FAZFORTE (2022).

