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

Gabriele Steffler Werner
Henrique Gasparetto
Laureane Matter Donato
Ohana Taís Lohmann

SÍNTESE DAS ZEÓLITAS 4A E ZSM-5 POR TRATAMENTO HIDROTÉRMICO VIA LIXÍVIA BÁSICA DA CINZA DA CASCA DE ARROZ

Santa Maria, RS
2020

Gabriele Steffler Werner
Henrique Gasparetto
Laureane Matter Donato
Ohana Taís Lohmann

SÍNTESE DAS ZEÓLITAS 4A E ZSM-5 POR TRATAMENTO HIDROTÉRMICO VIA LIXÍVIA BÁSICA DA CINZA DA CASCA DE ARROZ

Trabalho de conclusão de curso submetido ao curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Maria, RS, como parte de avaliação da disciplina de Engenharia de Processos III e requisito parcial para obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Química.**

Orientador: Prof. Dr. Adriano Cancelier

Santa Maria, RS
2020

Gabriele Steffler Werner
Henrique Gasparetto
Laureane Matter Donato
Ohana Taís Lohmann

SÍNTESE DAS ZEÓLITAS 4A E ZSM-5 POR TRATAMENTO HIDROTÉRMICO VIA LIXÍVIA BÁSICA DA CINZA DA CASCA DE ARROZ

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

Aprovado em 29 de agosto de 2020:

_____

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

_____

Gabriela Carvalho Collazzo, Prof.ª Dr.ª (UFSM)
(Professora convidada)

_____

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

Santa Maria, RS
2020

RESUMO

SÍNTESE DAS ZEÓLITAS 4A E ZSM-5 POR TRATAMENTO HIDROTÉRMICO VIA LIXÍVIA BÁSICA DA CINZA DA CASCA DE ARROZ

AUTORES: Gabriele Steffler Werner, Henrique Gasparetto, Laureane Matter Donato, Ohana Taís Lohmann

ORIENTADOR: Prof. Dr. Adriano Cancelier.

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 29 de Agosto de 2020.

As zeólitas são materiais com crescente consolidação de mercado e tem encontrado muitas aplicações em diferentes áreas. A zeólita 4A tem sido amplamente utilizada na agricultura e a zeólita ZSM-5 possui aplicações em processos de craqueamento catalítico, isomerização e alquilação. Em conjunto com a crescente utilização desses materiais, verifica-se a busca por rotas alternativas de síntese, pelo menor custo em comparação às rotas convencionais. Nesse cenário, apresenta-se a utilização de cinza de casca de arroz como matéria-prima do processo, por apresentar grandes quantidades de sílica em sua composição, além de ser um resíduo agroindustrial de baixo valor agregado. O processo produtivo apresentado no trabalho engloba a síntese de silicato de sódio, da zeólita 4A e zeólita ZSM-5, além do tratamento de efluentes e utilidades. Dentro da escala de produção, são sintetizadas 3.722.111,95 kg de zeólita 4A e 203.431,44 kg de zeólita ZSM-5 anualmente, em 335 dias de produção com duas paradas de manutenção programadas. Também, realizou-se a análise econômica da planta industrial, onde fez-se o levantamento de todos os custos relacionados à produção. Por essa análise, estimou-se lucro a partir de 4,53 anos, na ordem de 8 milhões de reais após 15 anos de investimento, o que demonstra a viabilidade econômica da planta.

Palavras-Chave: Zeólita 4A, zeólita ZSM-5, casca de arroz.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de zeólita como peneira molecular. 3
Figura 2 - Projeção da produção mundial de arroz para o ano de 2020. 6
Figura 3- Projeção do ranking de exportadores de arroz mundiais (Projeção 2020 - USDA). 7
Figura 4 - Projeção do ranking dos importadores mundiais para o ano de 2020. 7
Figura 5 - Mapa geográfico da produção de arroz no Brasil. 8
Figura 6 - Evolução da área, produção e produtividade do arroz no Rio Grande do Sul entre a safra de 1921/22 até 2018/19. 8
Figura 7 - Mercado de zeólitas distribuído por sua aplicação em 2012 - 2022 (em bilhões de dólares). 11
Figura 8 - Modelo de negócios representado pelo Canvas, da empresa. 12
Figura 9 - Localização da unidade industrial na região Sul e proximidade ao porto de Rio Grande. 18
Figura 10 - Diagrama de blocos da síntese do silicato de sódio. 28
Figura 11 - Diagrama de fases correspondentes às concentrações dos géis para obtenção das zeólitas identificadas. 29
Figura 12 - Fluxograma do processo de obtenção da zeólita A. 30
Figura 13 - Efeito dos direcionadores de rede e sementes na síntese da zeólita ZSM-5. 32
Figura 14 - Fluxograma do processo de obtenção da zeólita ZSM-5. 33
Figura 15 - Esquema de obtenção do silicato de sódio. 37
Figura 16 - Esquema de obtenção da zeólita 4A. 39
Figura 17 - Esquema de obtenção da zeólita ZSM-5. 41
Figura 18 - Programação do armazenamento da casca de arroz. 47
Figura 19 – Fluxograma do processo de tratamento de efluentes. 55
Figura 20 - Esquema da tubulação de água para o processo. 59
Figura 21 - Esquema da tubulação de água para o abastecimento de reservatórios e caldeira. 60
Figura 22 - Esquema da tubulação de água fria. 61
Figura 23 - Corte A referente à Figura 22. 62
Figura 24 - Corte B referente à Figura 22. 62
Figura 25 - Esquema da tubulação de água quente. 67
Figura 26 - Esquema da tubulação de vapor. 68
Figura 27 - Esquema da tubulação de retorno de condensado. 70

Figura 28 - Esquema da tubulação de abastecimento de gás GLP. 71
Figura 29 - Esquema da tubulação de óleo mineral..... 72
Figura 30 - Diagrama de processo e instrumento (P&ID) para o reator de lixiviação. 75
Figura 31 - Gráfico do fluxo de caixa em 15 anos. 100
Figura 32 - Esquema de recuperação do etanol..... 104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características da escala de produção diária. 26
Tabela 2 - Turnos de produção. 27
Tabela 3 - Consumo de matéria-prima. 34
Tabela 4 - Produtos. 34
Tabela 5 - Consumo de água no processo. 35
Tabela 6 - Formulação de planta industrial para produção de silicato de sódio. 36
Tabela 7 - Balanço de massa para obtenção do silicato de sódio. 36
Tabela 8 - Balanço de massa para obtenção da zeólita 4A. 38
Tabela 9 - Balanço de massa para obtenção da zeólita ZSM-5. 40
Tabela 10 - Consumo de energia da produção. 43
Tabela 11 - Tempo de funcionamento de cada trocador de calor. 44
Tabela 12 - Extensão das roscas transportadoras. 53
Tabela 13 - Características da tubulação de água para o processo. 59
Tabela 14 - Características da tubulação de água de abastecimento de reservatórios e caldeira. 60
Tabela 15 - Características da tubulação de água fria. 63
Tabela 16 - Características da tubulação de água quente. 67
Tabela 17 - Características da tubulação de vapor. 69
Tabela 18 - Características da tubulação de retorno de condensado. 70
Tabela 19- Características da tubulação de GLP para o processo. 71
Tabela 20 - Características da tubulação de óleo mineral. 72
Tabela 21 - Instrumentos utilizados no reator de lixiviação. 74
Tabela 22 - Investimentos para abertura das instalações. 77
Tabela 23 - Investimentos em obra e instalações. 78
Tabela 24- Investimento em equipamentos da Área 100. 78
Tabela 25 - Investimento em equipamentos da Área 200. 79
Tabela 26 - Investimento em equipamentos da Área 300. 79
Tabela 27 - Investimento em equipamentos da Área 400. 79
Tabela 28 - Investimento em equipamentos da Área 500. 80
Tabela 29 - Investimento em equipamentos de utilidades. 80
Tabela 30 - Investimento em acessórios da planta industrial. 81
Tabela 31 - Investimento em tubulações da empresa. 83
Tabela 32 - Investimento total de equipamentos, instrumentação e controle de processos. 84

Tabela 33 - Equipamentos do laboratório de qualidade. 85
Tabela 34 - Vidrarias do laboratório de qualidade. 86
Tabela 35 - Itens de infraestrutura do prédio administrativo..... 88
Tabela 36 - Itens de infraestrutura dos banheiros da indústria e do prédio administrativo. . 89
Tabela 37 - Itens de infraestrutura dos vestiários da indústria. 89
Tabela 38 - Itens de infraestrutura do laboratório de qualidade. 90
Tabela 39 - Custos com matérias-primas. 90
Tabela 40 - Custos com reagentes. 91
Tabela 41 - Custos com utilidades do processo..... 92
Tabela 42 - Custos administrativos da empresa. 93
Tabela 43 - Custos empregatícios da empresa..... 94
Tabela 44 - Custos com segurança. 96
Tabela 45 Custos e investimentos totais..... 97
Tabela 46 - Projeção de receita bruta da empresa. 98
Tabela 47 - Custos empresariais relacionados às alíquotas do sistema de tributação. 99
Tabela 48 - Fluxo de caixa da empresa. 100
Tabela 49 - Simulação do financiamento com o BNDES. 101
Tabela 50 - Constituintes do efluente do reator da zeólita ZSM-5..... 121
Tabela 51 - Simbologia utilizada no balanço de massa..... 122
Tabela 52 - Objetivos e tempo de operação dos trocadores de calor do processo. 128
Tabela 53 - Capacidade calorífica dos compostos do processo..... 129
Tabela 54 - Dados sobre vazão, temperaturas, capacidade calorífica e demanda de calor dos reatores..... 130
Tabela 55 - Fluidos e seus coeficientes globais de transferência de calor dos trocadores. 131
Tabela 56 - Temperaturas e área de troca térmica dos trocadores de calor..... 132
Tabela 57 - Vazões de vapor, água e óleo dos trocadores de calor. 132
Tabela 58 - Diâmetros calculados para velocidade de 2,5 m/s..... 134
Tabela 59 - Cálculo das bitolas e seleção destas. 135
Tabela 60 - Diâmetros calculados para velocidade de 2,5 m/s..... 136
Tabela 61 - Dimensões comerciais e escolha da bitola. 136
Tabela 62 - Diâmetros calculados para velocidade de 2 m/s..... 137
Tabela 63 - Cálculo das bitolas a partir da velocidade de 2 m/s. 141
Tabela 64 - Diâmetro calculado para a velocidade de 2 m/s. 146
Tabela 65 - Cálculo da velocidade máxima conforme a bitola. 146

Tabela 66 - Diâmetro calculado para as tubulações. 148
Tabela 67 - Velocidade para cada trecho e bitola selecionada. 149
Tabela 68 - Cálculo do diâmetro para tubulações de gás. 151
Tabela 69 - Cálculo das velocidades segundo diâmetro das bitolas. 152
Tabela 70 - Perda de carga e escolha das bitolas. 152

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Å	Angstrom
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AVCB	Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros
CA	Casca de arroz
CCA	Cinza da casca de arroz
CCM	Cadastro do Contribuinte Mobiliário
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CPF	Cadastro de Pessoa Física
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
IZA	International Zeolite Association
LI	Licença de instalação
LO	Licença de operação
LP	Licença prévia
LTA	Linde Type A
RG	Registro Geral
STPP	Tripolifosfato de sódio
USDA	United States Department of Agriculture

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **1**
2 DEFINIÇÃO DO PRODUTO **3**
2.1 ZEÓLITAS 3
2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS 4
2.2.1 Zeólita 4A 4
2.2.2 Zeólita ZSM-5 5
2.3 MATÉRIA-PRIMA 5
2.3.1 Casca de arroz 5
2.3.1.1 Análise do mercado de Casca de Arroz 6
2.4 APLICAÇÕES E MERCADO 9
2.4.1 Aplicações das Zeólitas 9
2.3.2 Mercado de Zeólitas 10
3 A EMPRESA **12**
3.1 MODELO DE NEGÓCIO 12
3.1.1 Proposta de Valor 13
3.1.2 Segmento de Clientes 13
3.1.3 Canais 13
3.1.4 Relacionamento com os Clientes 14
3.1.5 Atividades-Chave 14
3.1.6 Recursos-Chave 15
3.1.7 Parceiros-Chave 15
3.1.8 Fontes de Receita 15
3.1.9 Estrutura de Custos 15
3.2 EXIGÊNCIAS LEGAIS 16
3.2.1 Instalação da Indústria: Regulamentação 16
3.2.2 Localização da unidade industrial 17
3.2.3 Licenciamento Ambiental 18
4 ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS **20**
4.1 OBTENÇÃO DO SILICATO DE SÓDIO 20
4.1.1 Tecnologias disponíveis 21
4.1.1.1 Patente CN104591197A 21
4.1.1.2 Síntese de zeólitas e wolastonita a partir da cinza da casca de arroz 21

4.1.1.3 Obtenção de silicato de sódio por lixívia alcalina a partir da cinza da casca de arroz para uso como defloculante 21
4.1.2 Análise das tecnologias e escolha da rota 22
4.2 ZEÓLITA 4A 22
4.2.1 Tecnologias disponíveis 22
4.2.1.1 Patente BR10218010397-0A2 22
4.2.1.2 Síntese de zeólitas e wolastonita a partir da cinza da casca de arroz 23
4.2.2 Análise das tecnologias e escolha da rota 23
4.3 ZEÓLITA ZSM-5 23
4.3.1 Tecnologias disponíveis 24
4.3.1.1 Patente MX2008003003A 24
4.3.1.2 Patente Petrobrás - BR8506248A 24
4.3.2 Análise das tecnologias e escolha da rota 25
5 DEFINIÇÕES DO PROCESSO 26
5.1 ESCALA E LOGÍSTICA DE PRODUÇÃO 26
5.2 DETALHAMENTO DAS ROTAS DE PRODUÇÃO 27
5.2.1 Síntese do Silicato de Sódio 27
5.2.2 Síntese da Zeólita 4A 28
5.2.3 Síntese da Zeólita ZSM-5 31
6 PROJETO DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DAS ZEÓLITAS 34
6.1 BALANÇO MATERIAL DO PROCESSO 34
6.1.1 Balanço de massa global 34
6.1.2 Silicato de sódio 35
6.1.3 Zeólita 4A 38
6.1.4 Zeólita ZSM-5 40
6.2 BALANÇO DE ENERGIA 42
6.2.1 Demanda energética por equipamento 42
6.2.2 Balanço de Energia e dimensionamento dos trocadores de calor 43
6.2.2.1 Balanço de Energia e dimensionamento (TC-101) 44
6.2.2.2 Balanço de Energia e dimensionamento (TC-102) 44
6.2.2.3 Balanço de Energia e dimensionamento (TC-201) 45
6.2.2.4 Balanço de Energia e dimensionamento (TC-202) 45
6.2.2.5 Balanço de Energia e dimensionamento (TC-301) 45
6.2.2.6 Balanço de Energia e dimensionamento (TC-302) 46

6.3 PROJETO DOS EQUIPAMENTOS 46
6.3.1 Tancagem pré e pós processo 46
6.3.1.1 Tanques de armazenamento de casca e cinza da casca de arroz (TQ-101, TQ-102 e TQ-103) 46
6.3.1.2 Tanque de armazenamento do hidróxido de sódio (TQ-104) 47
6.3.1.3 Tanque de armazenamento do aluminato de sódio (TQ - 105) 48
6.3.1.4 Tanque de armazenamento de ácido sulfúrico (TQ-106) 48
6.3.1.5 Tanque de armazenamento de etanol (TQ-107) 48
6.3.2 Equipamentos do processo 49
6.3.2.1 Reator de lixiviação (R-101) 49
6.3.2.2 Tanque pulmão da lixívia (TQ-108) 49
6.3.2.3 Filtro tipo prensa (F-101) 49
6.3.2.4 Tanque de armazenamento do silicato de sódio (TQ-109) 49
6.3.2.5 Tanque de mistura da suspensão com aluminato de sódio (TL-101) 50
6.3.2.6 Tanque de mistura da suspensão com silicato de sódio (TL-102) 50
6.3.2.7 Reatores com agitação encamisados (R-201, R-202, R-301, R-302) 50
6.3.2.8 Tanque pulmão para suspensão de produtos (TQ-201 e TQ-301) 51
6.3.2.9 Filtros tambor (F-201 e F-301) 51
6.3.2.10 Secadores Rotativos (SR-201 e SR-301) 51
6.3.2.11 Calcinador (C-201 e C-301) 51
6.3.2.12 Peletizadora (P-301) 52
6.3.2.13 Ensacadeiras (E-301) 52
6.3.3 Equipamentos auxiliares 52
6.3.3.1 Torre de resfriamento (TR-501) 52
6.3.3.2 Bombas 53
6.3.3.3 Transporte de sólidos 53
6.3.3.4 Caldeira (CA-101) 54
6.4 TRATAMENTO DE EFLUENTES 54
6.4.1 Escolha dos equipamentos 56
6.4.1.1 Tanque de equalização (T-401) 56
6.4.1.2 Decantador (D-401) 56
6.4.1.3 Filtro de carvão areia (F-401) 56
7 PROJETO DAS INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS 58
7.1 ÁGUA FRIA 58

7.1.1 Reservatórios de água 58
7.1.2 Instalações de água para o processo 58
7.1.3. Instalações de água fria 61
7.2 ÁGUA QUENTE 66
7.3 VAPOR E CONDENSADO 68
7.4 GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP) 71
7.5 ÓLEO MINERAL 71
7.6 AR COMPRIMIDO 72
7.6.1 Compressor 73
7.6.2 Tubulação 73
8 CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO DO REATOR DE LIXIVIAÇÃO 74
9 ANÁLISE ECONÔMICA 76
9.1 CLASSIFICAÇÃO DA EMPRESA 76
9.2 INVESTIMENTOS 76
9.2.1 Investimentos para abertura das instalações 76
9.2.2 Investimentos em obra e instalações 77
9.2.3 Investimentos na planta industrial 78
9.2.4 Investimentos em equipamentos para laboratório 84
9.2.5 Investimentos em infraestrutura 87
9.3 CUSTOS VARIÁVEIS 90
9.3.1 Custos com reagentes e matérias-primas 90
9.3.2 Custos com utilidades 91
9.3.3 Custos com depreciação de equipamentos 92
9.4 CUSTOS FIXOS 92
9.4.1 Custos Administrativos 92
9.4.2 Custos empregatícios 93
9.4.3 Custos com segurança 95
9.5 CUSTOS E INVESTIMENTOS TOTAIS 96
9.6 PROJEÇÃO DE RECEITAS 97
9.6.1 Alíquotas 98
9.7 PROJEÇÃO DE FLUXO DE CAIXA 99
9.8 CAPTAÇÃO DE RECURSOS 101
9.9 ANÁLISE DE INDICADORES ECONÔMICOS 101

9.9.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA) 102
9.9.2 Valor Presente Líquido (VPL) 102
9.9.3 Taxa Interna de Retorno (TIR) 102
9.9.4 Payback 102
10 PROPOSTAS DE MELHORIAS DO PROCESSO 103
10.1 RECUPERAÇÃO DE ETANOL POR DESTILAÇÃO BATELADA 103
11 CONSIDERAÇÕES FINAIS 105
REFERÊNCIAS 106
APÊNDICE A - BALANÇO DE MASSA PARA O SILICATO DE SÓDIO 111
APÊNDICE B - BALANÇO DE MASSA PARA A ZEÓLITA 4A 114
APÊNDICE C - BALANÇO DE MASSA PARA A ZEÓLITA ZSM-5 117
APÊNDICE D - RECUPERAÇÃO DE ETANOL 121
APÊNDICE E - BALANÇO ENERGÉTICO PARA A CALDEIRA 125
APÊNDICE F- PROJETO DOS TROCADORES DE CALOR 128
APÊNDICE G - MEMORIAL DE CÁLCULO PARA INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS 133
G.1 TUBULAÇÕES DE ÁGUA FRIA PARA PROCESSO 133
G.2 TUBULAÇÕES DE ÁGUA FRIA 136
G.3 TUBULAÇÕES DE ÁGUA QUENTE 145
G.5 TUBULAÇÕES DE GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP) 150
ANEXO A - CATÁLOGO TANQUES DE FUNDO RETO 158
ANEXO B - CATÁLOGO TANQUES DE FUNDO CÔNICO E ABAULADO 159
ANEXO C - AGITADORES E MISTURADORES 160
ANEXO D - CATÁLOGO E DADOS DO FILTRO PRENSA 161
ANEXO E - CATÁLOGO SECADOR ROTATIVO 162
ANEXO F - CATÁLOGO FORNO CALCINADOR 163
ANEXO G - CATÁLOGO PELETIZADORA 164
ANEXO H - CATÁLOGO ENSACADEIRA 165
ANEXO I - CATÁLOGO FILTRO DE TAMBOR ROTATIVO 166
ANEXO J - CATALÁGO SECAMAQ 167
ANEXO K - SILO FUNDO PLANO DE ARMAZENAMENTO 168
ANEXO L - SILO ELEVADO DE ARMAZENAMENTO 170
ANEXO M - BOMBAS 172
ANEXO N - ALIMENTADOR TRANSPORTADOR 173

ANEXO O - ROSCA TRANSPORTADORA **174**
ANEXO P - CALHA TRANSPORTADORA **175**
ANEXO Q - TORRE DE RESFRIAMENTO **176**
ANEXO R - TANQUE DE EQUALIZAÇÃO **178**
ANEXO S - DECANTADOR DE LAMELAS **179**
ANEXO T - FILTRO DE AREIA **181**
ANEXO U - DEIONIZADOR **182**
ANEXO V - TUBULAÇÃO DE CONDENSADO **183**
ANEXO W - DETERMINAÇÃO DA BITOLA DO SISTEMA *AIR-LIFT* **184**
ANEXO X - COMPRESSOR **185**
ANEXO Z - CATÁLOGO TROCADORES DE CALOR **188**

1 INTRODUÇÃO

As zeólitas são materiais que têm se consolidado a partir da segunda metade do século XXI por apresentarem-se como importantes catalisadores nos mais diversos processos industriais. Estes materiais podem ser naturais ou sintéticos, apresentando estrutura microporosa (GRECCO, RANGEL e GONZÁLEZ, 2013; LUNA e SCHUCHARDT, 2001). Dadas as inúmeras variedades de zeólitas que é possível extrair da natureza ou obter sinteticamente, existe uma gama diferenciada de aplicações que tornam interessante o seu uso. Dentre elas, pode-se citar aplicações em catálise química, refino de petróleo, aditivação em detergentes, adsorção, entre outros (MELO e RIELA, 2010; SUTILI, 2009; SOUZA, 2001).

O objeto de estudo deste trabalho, as zeólitas sintéticas, podem ser classificadas em mais de 200 tipos, segundo a International Zeolite Association (IZA), como as zeólitas A, X e ZSM-5. As zeólitas Y e X são amplamente utilizadas na indústria por apresentarem poros e cavidades de tamanhos considerados grandes para as zeólitas, conferindo diversidade de aplicação. Já as zeólitas A são utilizadas para a redução da dureza de água doméstica e industrial (GIANNETTO, 1990; TANAKA e FUJII, 2009 *apud* IZIDORO, 2013).

Dentre elas, as zeólitas do tipo 4A vêm ganhando espaço na agricultura quanto a liberação lenta de nutrientes para o solo por ter se mostrado uma boa alternativa de aditivo controlador aos fertilizantes convencionais, pois evita que componentes necessários ao desenvolvimento de plantas percam-se por lixiviação ou volatilização. Da mesma forma, este tipo específico é capaz de substituir os fosfatos em detergentes, visto que estes causam a nutrição excessiva de sistemas aquáticos, resultando na eutrofização de corpos hídricos (INÁCIO, 2016; SUTILI, 2009).

Já a zeólita do tipo ZSM-5 teve seu uso patenteado em 1972 pela Mobil para a conversão de metanol em gasolina, como uma fonte alternativa de produção. As aplicações mais relevantes deste composto estão nos processos de craqueamento catalítico, hidrocraqueamento, isomerização e alquilação. Da mesma forma, os incentivos de seu uso tiveram grandes avanços a partir de 1983 em vista da necessidade de se aumentar a octanagem da gasolina pela eliminação do chumbo utilizado, bem como, pela produção de gasolina com baixos teores de enxofre e aromáticos e o aumento na demanda de produção de propileno (CALSAVARA, 2000; PLOTEGHER e RIVEIRO, 2009; SILVA, 2012).

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a produção de petróleo em junho de 2019 alcançou o volume de 2,557 milhões de barris por

dia. Neste contexto, tem-se as zeólitas participando ativamente dos processos de craqueamento catalítico do petróleo, as quais assumem o papel dos catalisadores mais importantes na indústria química (LUNA e SCHUCHARDT, 2001).

A síntese de zeólitas pode ser feita por diversas rotas alternativas, pela possibilidade de serem obtidas por qualquer matéria-prima que contenha uma predominância de sílica e alumina, como as argilas e a casca de arroz. A utilização de materiais alternativos e de baixo custo teve grande desenvolvimento nas últimas décadas, pelo fato de os processos que utilizam soluções convencionais de alumínio e silício apresentarem maior custo (IZIDORO, 2013).

Nessa perspectiva, surge como opção para a síntese de zeólitas a utilização da cinza da casca de arroz, sendo a matéria-prima inicial do processo. Segundo dados de 2015 da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) o Rio Grande do Sul concentra 68% da produção nacional de arroz, ou seja, aproximadamente 8 milhões de toneladas por ano (MAPA, 2018). As cascas são um subproduto residual da produção de arroz, sendo que representam aproximadamente 20% da massa do arroz. Desta forma, a busca de alternativas para o uso deste resíduo agroindustrial é crescente, tanto na produção de energia quanto para o uso como alternativa de matéria-prima em processos já existentes (FOLETTO *et al.*, 2005).

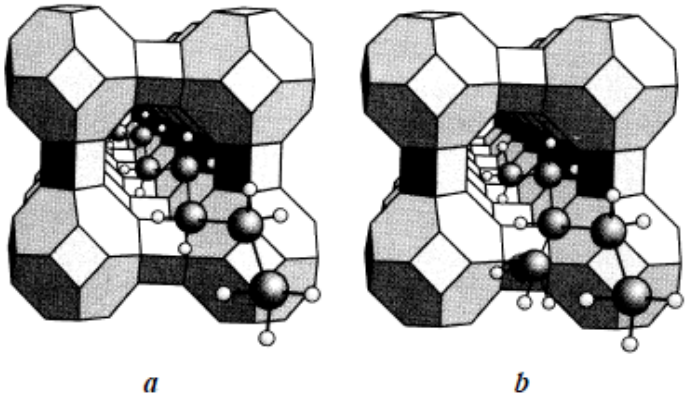
Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo dimensionar uma unidade industrial para produção de zeólitas 4A e ZSM-5, empregando cinza da casca de arroz como fonte de sílica. Essa unidade industrial tem previsão de instalação na cidade de Pelotas - Rio Grande do Sul. O projeto apresenta a análise de mercado, a análise econômica, o projeto de processos e a instalação de uma planta industrial, aplicando os conhecimentos adquiridos no curso de Engenharia Química.

2 DEFINIÇÃO DO PRODUTO

2.1 ZEÓLITAS

As zeólitas são aluminossilicatos hidratados com estrutura altamente cristalina, cujo arranjo estrutural apresenta poros e cavidades nas quais estão presentes íons, compensadores de carga, do tipo Na^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}. Esta estrutura interna possibilita a transferência de massa entre os espaços intercristalinos, sendo esta limitada pelo diâmetro dos poros de cada tipo de zeólita, de maneira que só é possível entrar ou sair do espaço intercristalino moléculas cujas dimensões sejam inferiores a um valor crítico. Partindo deste princípio, é possível classificar os diferentes tipos de zeólitas de acordo com o tamanho de seus poros. A composição química, em base molar, geral de uma zeólita é representado pela formula $M_{x/n}[(AlO_2)_x(SiO_2)_y]\cdot mH_2O$, sendo que M é um cátion, dos metais alcalinos ou alcalinos terrosos, o qual neutraliza as cargas negativas na estrutura do aluminossilicato. Essas cargas são geradas pela presença de alumínio tetravalente na estrutura desses materiais. Desta forma, as zeólitas são constituídas por tetraedros de SiO_4 e AlO_4 ligados entre si pelos átomos de oxigênio. A Figura 1 apresenta um exemplo de como caracteriza-se a filtração a nível molecular por esses materiais. Na Figura 1*a* é possível verificar que as moléculas lineares, por possuírem diâmetro cinético menor que a abertura dos poros são absorvidas pela zeólita e na Figura 1b o diâmetro cinético das moléculas é superior ao diâmetro dos poros, fazendo com que não seja possível seu acesso ao interior da zeólita. (MELO e RIELA, 2010; LUNA e SCHUCHARDT, 2001).

Figura 1 - Exemplo de zeólita como peneira molecular.



Fonte: LUNA e SCHUCHARDT, 2001.

As zeólitas sintéticas são fabricadas a partir de materiais variados, sendo que seus processos exigem condições rígidas de variáveis físicas e químicas. A grande vantagem do uso destes materiais em relação a outros está na uniformidade do tamanho de seus poros. A sua propriedade catalítica é justificada pelas superfícies ativas presentes na estrutura das zeólitas, através do sistema interno de passagens e vazios, cavidades internas e propriedades de troca catiônica, levando, então, a uma reação de catálise por seletividade de forma (MELO e RIELA, 2010).

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS

2.2.1 Zeólita 4A

A zeólita A foi produzida pela primeira vez em 1956, por Reed e Breck. Em geral, ela é utilizada na sua forma sódica, com uma morfologia cúbica bem característica e com poucos micrômetros de tamanho. A sua relação de Si/Al é igual a 1 e possui alta capacidade de troca catiônica (BRECK, 1974).

No mercado pode ser encontrada como zeólita 4A, devido ao sódio ser seu cátion de compensação, fazendo com que o diâmetro efetivo do poro seja aproximadamente 4Å. Esta zeólita também é denominada de LTA (Linde Type A), conforme a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), e tem sua fórmula química expressa como $M_{12/m}[(AlO)_{12}(SiO)_{12}]\cdot nH_2O$, em que M expressa o cátion compensador de carga, m representa o número de elétrons faltantes em M e n o número de moléculas de água ocluídas na estrutura do material, que pode variar de 20 a 30, desta forma, para cada átomo de alumínio a rede assume um cátion compensador de carga, por exemplo, se o cátion for sódio, m = 1, se for cálcio, m = 2. A fórmula química também pode ser expressa como $MA_{12/m}[(AlO)_{12}(SiO)_{12}]\cdot nH_2O$, o que justifica a zeólita, na forma sódica, também ser conhecida como zeólita NaA (MAIA, 2007). Ainda na fórmula molecular da zeólita A, sabe-se que sua composição geral é comumente encontrada como $Na_{12}Al_{12}Si_{12}O_{48}.27H_2O$, com razão Si/Al mínima em relação a outras zeólitas e alta capacidade de troca catiônica (YAMADA *et al.*, 2005).

A zeólita A a ser comercializada apresenta diâmetro médio da partícula entre 1,0 a 2,5 μm, contendo também parcela de partículas com tamanho manométrico, na ordem de 0,250 μm (ANDRADE, 2009; BRECK, 1974; SILVA, 2019). Como a demanda considerada para este tipo é maior, devido às aplicações principais em detergentes em pó e agricultura, a

comercialização da zeólita A em pó pode ser realizada em sacos que comportem 50 kg ou distribuição a granel, com carregamento diretamente em caminhão.

2.2.2 Zeólita ZSM-5

A zeólita ZSM-5 (do inglês, *Zeolite Socony Mobil*, com abertura de poros de $5x10^{-10}$ m), caracteriza-se por ser uma zeólita sintética com elevados teores de sílica, possuindo uma relação molar de sílica e alumina (SiO_2/Al_2O_3) maior que 15 e com fórmula empírica da sua célula unitária de $M_nAl_nSi_{(96-n)}O_{192}\cdot 16H_2O$, sendo M o cátion compensador de carga, sendo n sua valência. Ela possui aplicações industriais amplas devido à sua alta seletividade em reações catalíticas, elevada estabilidade térmica e força ácida superior a do ácido sulfúrico (FOLETTO *et al.*, 2005; FERNANDES, 2006).

As propriedades físicas e químicas da zeólita ZSM-5 são influenciadas pela composição química e pelo processo de formação, em que consiste na natureza dos reagentes, na presença de sementes, na alcalinidade do gel, no direcionador de rede, na temperatura, no tempo de cristalização, nos teores de água e demais etapas, como envelhecimento e agitação (MENDONÇA, 2019).

Ainda, a zeólita ZSM-5 pode apresentar distribuição granulométrica bastante variada em relação a diferentes catalisadores utilizados em sua síntese e suas finalidades de uso. Desta forma, pode apresentar tamanho médio da partícula variando entre 1 a 20 μm, (FOLETTO *et al.*, 2005; SALBEGO, 2014). Sabendo que a sua demanda de mercado é menor por possuir maior valor agregado em relação às demais zeólitas, a sua comercialização será dada em sacos de 20 kg, no formato de *pellets* de aproximadamente 0,6 cm de largura e 0,3 cm de diâmetro.

2.3 MATÉRIA-PRIMA

2.3.1 Casca de arroz

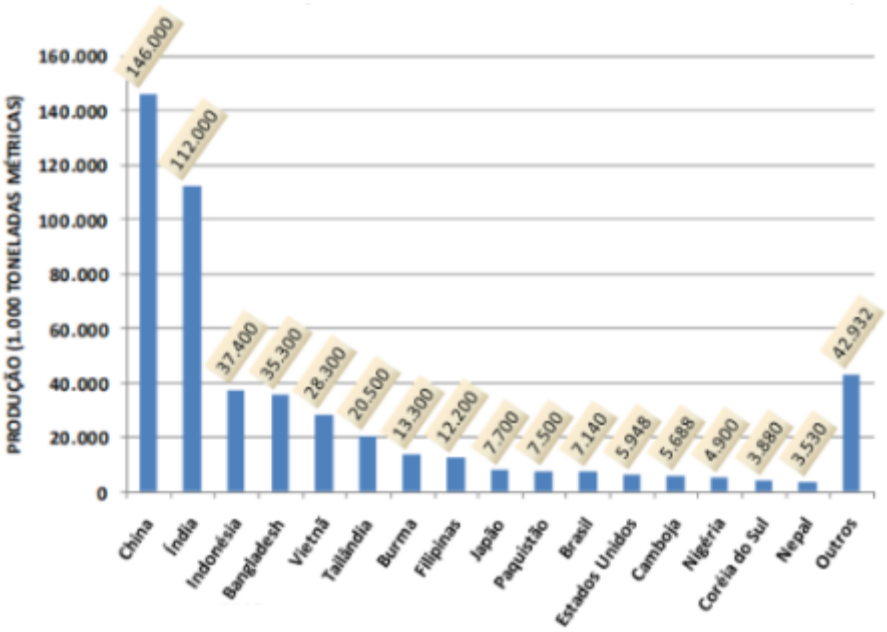
A casca de arroz representa cerca de 20% da massa do grão de arroz e é conhecida como uma fonte de energia renovável alternativa, com um alto teor energético, de 12-18 MJ/Kg (MANSARAY e GHALY, 1998) e ter um alto custo de transporte, com baixo empacotamento, ou seja, baixa densidade aparente. Devido a isso, ela é usada como combustível no próprio beneficiamento de arroz. Sua queima, conforme as condições

escolhidas, pode produzir um resíduo negro que contém, em média, cerca de 15% de carbono, com o restante de sílica. Esse resíduo, então, é conhecido como cinza da casca de arroz (CCA), com as principais impurezas presentes sendo K, Ca, Mg e Al (SOUZA *et al.*, 2000).

2.3.1.1 Análise do mercado de Casca de Arroz

No cenário mundial, o Brasil é o décimo primeiro maior produtor de arroz, com uma produção de 7,140 milhões toneladas, representando 1,4% da produção mundial, até setembro de 2019 (IRGA, 2019). Na Figura 2 está disposto o ranking mundial de produtores de arroz para o ano de 2020.

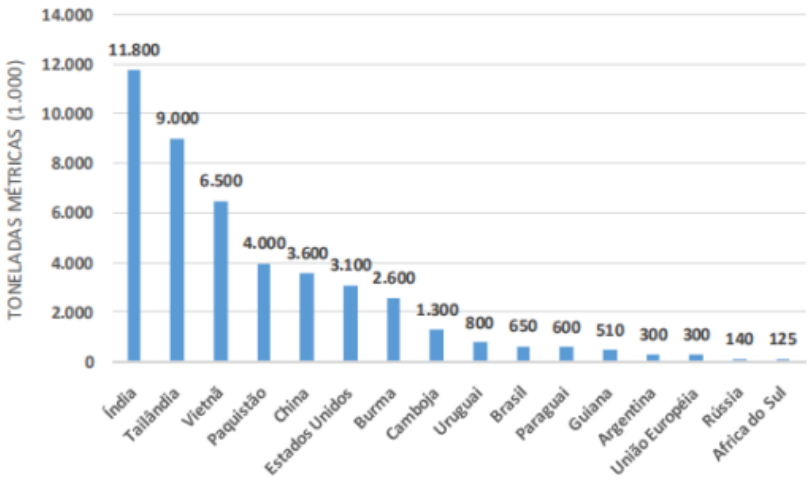
Figura 2 - Projeção da produção mundial de arroz para o ano de 2020.



Fonte: IRGA, 2019.

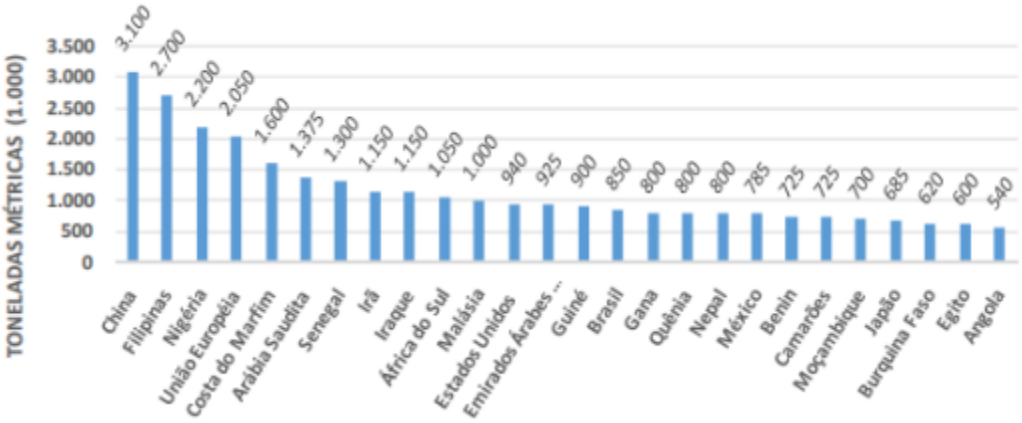
Segundo dados do *United States Department of Agriculture* (USDA**)**, as projeções para o ano de 2020 de importações e exportações, classificam o Brasil na posição de 15° maior importador mundial e 10° maior exportador, com quantidades de 850 mil e 650 mil toneladas respectivamente. As relações dos países exportadores e importadores estão dispostas na Figura 3 e 4, respectivamente.

Figura 3- Projeção do ranking de exportadores de arroz mundiais (Projeção 2020 - USDA).



Fonte: IRGA, 2019.

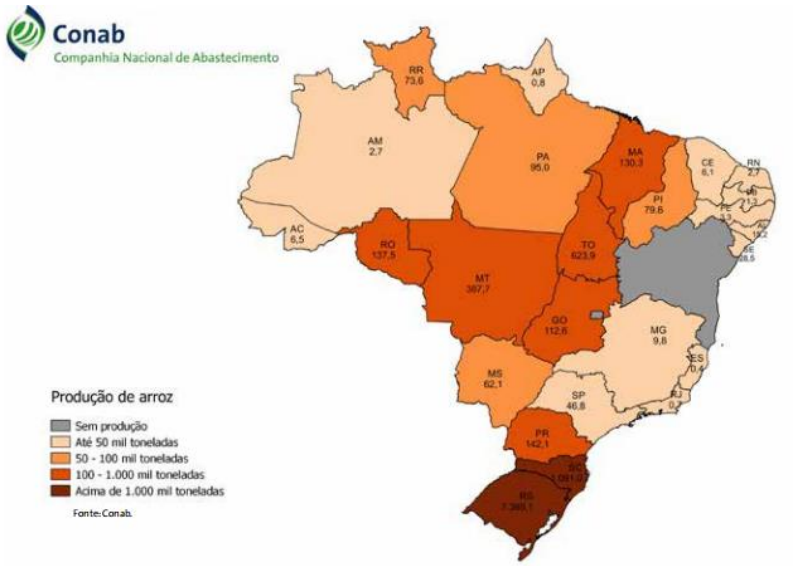
Figura 4 - Projeção do ranking dos importadores mundiais para o ano de 2020.



Fonte: IRGA, 2019.

Segundo o CONAB, 2019, a Região Sul concentra cerca de 82% da produção brasileira de arroz, em termos de quantidade, este valor representa 8622,2 mil toneladas na safra de 2018/2019, sendo 13,4% menor que o apresentado na safra passada. Deste montante, apenas o Rio Grande do Sul produziu cerca de 85,7%, condizente com o valor de 7389,1 mil toneladas. O mapa geográfico da produção de arroz está disposto na Figura 5.

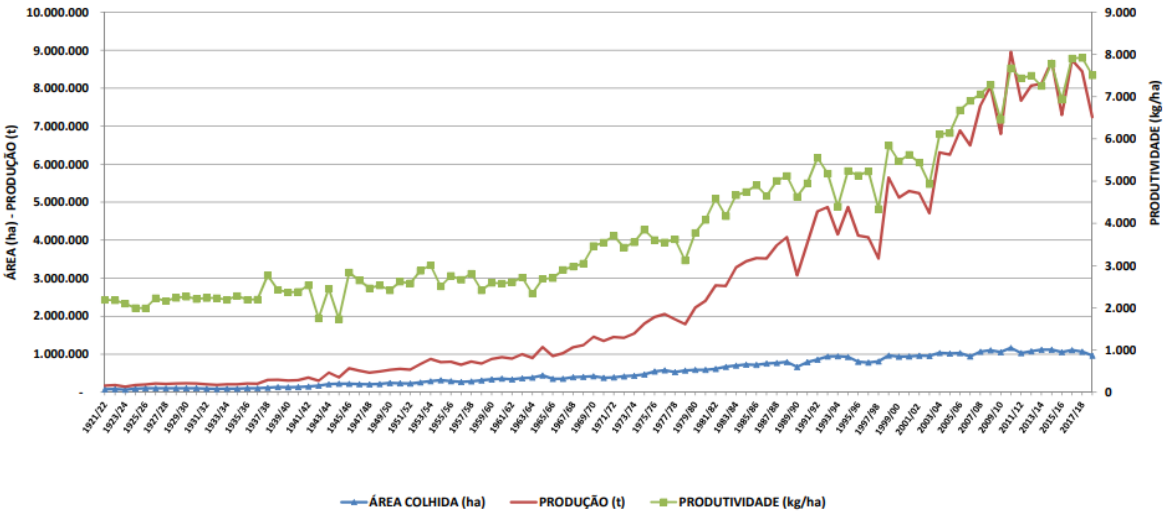
Figura 5 - Mapa geográfico da produção de arroz no Brasil.



Fonte: CONAB, 2019.

Segundo dados do IRGA, a evolução do cultivo de arroz, área utilizada e produtividade vêm aumentando ao longo dos anos, variando negativamente pouco ao passar dos anos, como mostra a Figura 6. Isso se dá pelas condições climáticas e fenômenos meteorológicos vigentes naquele ano, como por exemplo, o fenômeno La Niña, causa principal da queda na produtividade de arroz na safra 2017/2018.

Figura 6 - Evolução da área, produção e produtividade do arroz no Rio Grande do Sul entre a safra de 1921/22 até 2018/19.



Fonte: IRGA, 2019.

2.4 APLICAÇÕES E MERCADO

2.4.1 Aplicações das Zeólitas

As zeólitas foram conhecidas, por muito tempo, apenas na sua versão natural em forma de minérios, com poucos estudos sobre sua extração e aplicabilidades. No entanto, as zeólitas passaram a ser estudadas para serem produzidas de forma sintética e, conforme a quantidade de estudos realizados sobre suas aplicabilidades, passaram a ser amplamente difundidas, especialmente nas áreas de trocas iônicas seletivas, na remoção da dureza da água e como peneiras moleculares, a fim de separar moléculas de diversos tamanhos e características. Porém, as zeólitas têm sido estudadas para outros usos, como catálise e liberação lenta de nutrientes. Assim, o mercado passou a utilizá-las em grande volume para essas finalidades (HOLMES, 1997).

Das zeólitas naturais, 40 foram caracterizadas, mas, para os processos industriais, mais de 150 zeólitas sintéticas foram desenvolvidas, o que mostra que as zeólitas naturais não possuem o mesmo sucesso e abrangência que as zeólitas sintéticas no mercado. Dentre as características, o que torna preferível a zeólita sintética é a sua monomineralidade, por apresentar um único cátion com previsão de troca iônica em seus poros e poucas impurezas, possuindo canais e cavidades com dimensões pré-estabelecidas, em que a única vantagem da zeólita natural, no entanto, é o preço (HOLMES, 1997).

Ao analisar as principais demandas comerciais para as zeólitas, encontram-se as áreas da agricultura, nutrição animal, aquicultura, catálise e refino de petróleo, gaseificação de carvão mineral, separação gasosa, dessecação, aplicações médicas, processos de troca iônica, controle de odor, tratamento de processos nucleares, purificação de gás natural, tratamento de esgoto, carga de papel, energia solar e limpeza de derramamento de óleo (MENDONÇA, 2019).

> As zeólitas adicionadas aos fertilizantes podem funcionar no aumento da retenção de nutrientes e ainda melhorar a qualidade do solo por meio desse incremento da capacidade de retenção. Isto acontece com relação a macronutrientes primários, como N e K, macronutrientes secundários, como Ca e Mg, e também micronutrientes. A presença desse mineral aumenta a retenção de nutrientes na zona radicular, para utilização pelas plantas no momento mais necessário. Consequentemente, isso melhora a eficiência do uso de fertilizantes, pois reduz as perdas por lixiviação, especialmente de N e de K, e também intensifica o crescimento (BERNARDI *et al.*, 2008, p. 24).

Quanto ao mercado de detergentes, encontra-se grande aplicação de zeólitas nos últimos anos como substituto de fosfatos, que se deve, especialmente, pelo aumento de restrições quanto ao uso, principalmente devido a questões ambientais. Estudos mostram a grande aplicabilidade de zeólitas do tipo A como coadjuvantes na formulação de detergentes, devido a sua seletividade e cinética na remoção do cálcio, reduzindo a dureza da água. A zeólita, além da sua capacidade de troca iônica, atua como antiumectantes e fluidificantes do pó, melhorando a estabilidade dos detergentes com agentes branqueadores, como o percarbonato e o perborato.

No setor de limpeza doméstica, existem dois tipos de zeólitas usadas, a sintética, 4A, e outra, de origem natural, a clinoptilolita. A estrutura de ambas as zeólitas é formada por redes cristalinas tridimensionais uniformes e, em virtude disso, os canais internos são ocupados por cátions intercambiáveis e água, possibilitando uma capacidade de absorção e adsorção (TRAJANO, 2011).

Mundialmente, essa aplicação tem maior concentração nos Estados Unidos e na Europa, especialmente após a proibição do uso do tripolifosfato de sódio (STPP) na produção de detergentes pela União Europeia, a fim de controlar o aumento do nível de fósforo solúvel nas águas residuais, com previsão de expansão e crescimento de uso no mercado da América Latina, em especial, do Brasil, bem como da Ásia. Ainda, a zeólita A foi a zeólita com maior volume de produção em todo o mundo em 2018.

Há um mercado promissor do uso dessa zeólita em aplicações para o meio ambiente, especificamente, como adsorventes, como, por exemplo, na remoção de nitratos contidos em urinas de animais para não contaminação de lençóis freáticos, no tratamento de esgotos urbanos, no abrandamento de águas industriais e domésticas e na purificação de gases e efluentes industriais.

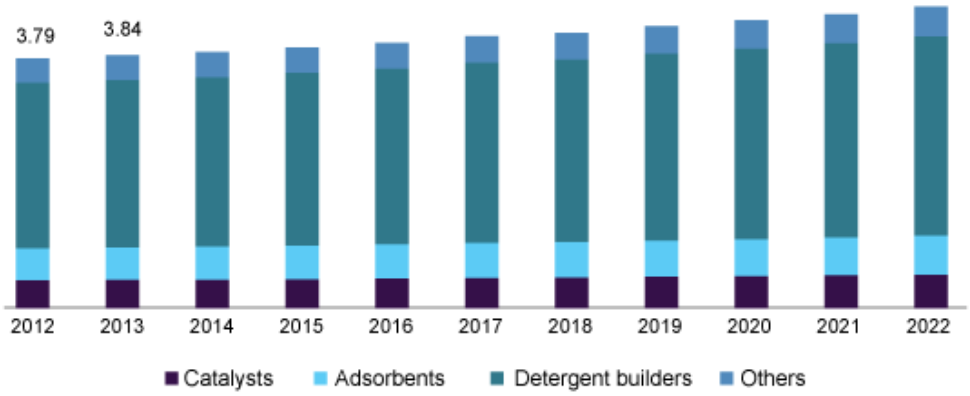
2.3.2 Mercado de Zeólitas

O mercado de zeólitas, em todo mundo, engloba não somente as zeólitas sintéticas, que é o caso de apresentação da presente rota tecnológica, mas também das zeólitas naturais. Nisso, os principais fornecedores de zeólitas naturais do mundo são EUA, Japão, Hungria, Itália, Alemanha, Bulgária, Cuba e México. Já as zeólitas sintéticas tem mercado concentrado nos EUA, Alemanha e Inglaterra (FERNANDES, 2006).

A Figura 7 indica que o crescimento do mercado de zeólitas no planeta deteve-se em algumas áreas com maior destaque, como o caso da aplicação de zeólitas em detergentes.

Além disso, é perceptível o grande uso de zeólitas no mercado de catalisadores e de adsorventes.

Figura 7 - Mercado de zeólitas distribuído por sua aplicação em 2012 - 2022 (em bilhões de dólares).



Fonte: Grand View Research, 2019.

Outro fator muito importante do mercado de zeólitas sintéticas no mundo é a sua previsão de crescimento, na qual em 2018, o cenário foi de USD 5,2 bilhões investidos, e com expectativa de USD 5,9 bilhões investidos para 2023. O principal cenário de expansão do mercado de zeólitas sintéticas é a Ásia, com uma procura, em especial, para indústrias de detergentes e de refinarias petroquímicas (MARKETS e MARKETS, 2018).

Ainda para esse mercado, em 2011, no Brasil, havia uma demanda de 45 mil toneladas de Zeólita 4A para uso como substituto do tripolifosfato de sódio (STPP) na produção de detergente em pó (TRAJANO, 2011).

Dessa forma, a demanda de zeólitas no mercado possui alta expansão de produção e compra, nas mais diversas aplicabilidades em diversos ramos de produção e de estudo. Portanto, optou-se destinar 90% da produção de silicato de sódio a partir da cinza de casca de arroz do presente projeto para a produção de zeólitas 4A, com foco de vendas para as áreas de detergentes e de agricultura. Assim, o silicato de sódio restante que será produzido, será destinado à produção de zeólita ZSM-5, que possui demanda menor no mercado e maior valor agregado.

3 A EMPRESA

A empresa que terá sede em Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul, será pioneira na produção de zeólitas no Rio Grande do Sul, baseando-se na produção das zeólitas 4A e ZSM-5 a partir de resíduo agroindustrial presente em abundância - a casca de arroz. A produção ocorrerá 24h por dia, com três turnos de 8h, e estará concebida para funcionar por 365 dias ao ano, de modo que paradas preventivas e de limpeza ocorrerão duas vezes ao ano, em um período de 15 dias cada, totalizando 335 dias de produção e 30 dias de parada.

3.1 MODELO DE NEGÓCIO

Para o modelo de negócio, optou-se pela utilização do modelo *canvas*, que permite a análise de ideias e conceituação de um modelo de negócios de forma prática, visual e interativa. Nele, aparecem explicações de como a empresa funciona, buscando entender como a empresa obtém seus lucros e como áreas e processos de negócio distintos se relacionam de modo a fazer com que esta funcione (DORNELAS, 2016). Na Figura 8, é possível encontrar um resumo do modelo de negócios elaborado, representado através do Quadro Canvas.

Figura 8 - Modelo de negócios representado pelo Canvas, da empresa.

PARCEIROS-CHAVE:	ATIVIDADES-CHAVE:	PROPOSTA DE VALOR:	RELACIONAMENTO COM CLIENTES:	SEGMENTO DE CLIENTES:
- Beneficiadoras de arroz; - Fornecedores dos outros reagentes; - Empresas terceirizadas para limpeza e alimentação; - Bancos de investimento (BNDES).	- Aquisição de matérias-primas; - Processo de produção de zeólitas; - Distribuição dos produtos; - Comunicação e vendas. **RECURSOS-CHAVE:** - Aquisição de equipamentos e matéria prima; - Mão de obra qualificada para a produção e gerenciamento da indústria; - Capital para investimento e manutenção; - Fontes de energia; - Sistema de transporte eficiente.	Produção de zeólitas 4A e ZSM-5 a partir da lixiviação básica da cinza da casca de arroz, um resíduo agroindustrial.	- Site institucional; - Equipe de vendas e comunicação para atração de clientes e suporte técnico personalizado com a demanda ; - Central de atendimento (SAC); - Assistência técnico para aplicação do produto (sob demanda do cliente); - Pesquisas de satisfação com clientes. **CANAIS:** - Equipe de Comunicação e Vendas, em contato com clientes e atração de novos clientes; - Equipe de Suplly Chain, na organização de aquisição de matérias primas e distribuição de produtos; - Distribuição: via terrestre e marítima.	- Indústrias já consolidadas que utilizam zeólitas em alguma parte do processo produtivo - Indústrias de detergentes/limpeza, em substituição aos fosfatos; - Indústrias petroquímicas/refinarias; - Agroindústrias; - Agricultores; - Revendedores de zeólitas.

ESTRUTURA DE CUSTOS:	FONTES DE RECEITA:
- Os custos baseiam-se em transporte da matéria prima, compra de reagentes, custos empregatícios, manutenções, custo com utilidades, tratamento de efluentes e fontes de energia e água;	- Vendas das zeólitas 4A e ZSM-5;

Fonte: Autores, 2020.

3.1.1 Proposta de Valor

A proposta de valor informa qual é o produto ou serviço que realmente terá valor para os clientes. No caso da empresa, é a produção sustentável das zeólitas 4A e ZSM-5 a partir da cinza da casca de arroz, de modo a agregar valor ao resíduo agroindustrial. Os presentes produtos têm valor competitivo no mercado e suas características não diferem das zeólitas obtidas por rotas usuais. Também, as zeólitas são um produto alternativo a outros nocivos ao meio ambiente, nas mais diversas aplicabilidades, como na produção de detergentes, na adsorção, nas catálises, como peneiras moleculares, no meio ambiente e na agricultura.

3.1.2 Segmento de Clientes

Esse segmento refere-se aos clientes a serem alcançados pela empresa. Assim, visualizando o cenário de aplicações e demanda, os maiores clientes da empresa são outras indústrias, já consolidadas, que utilizam zeólitas em qualquer etapa de sua rota produtiva. No caso da ZSM-5, seu foco será em empresas que realizam processos de catálise e petroquímicas. Exemplo disso é a Braskem, que utiliza a zeólita ZSM-5 em sua rota. Já no caso da zeólita 4A, o foco será a venda para indústrias que a utilizam como aditivos de seus compostos, como as indústrias de detergentes, que estão substituindo os fosfatos por zeólita 4A em sua produção, e venda para ramos da agricultura, em que a zeólita 4A vem sendo utilizada como aditivo para otimizar a absorção de nutrientes das plantas. A venda abrangerá a distribuição nacional e internacional.

3.1.3 Canais

Os canais referem-se a como é realizada a compra e como produto chega ao cliente. Dessa forma, o sistema de canais é composto pela equipe de vendas e comunicação, estará em contato com os clientes, por meio de plataformas, vendas presenciais e prospecção. Além disso, a empresa contará com uma equipe de Supply Chain para organizar a distribuição de vendas e de estoque.

Quanto ao transporte dos produtos, será feito por caminhões e navios. Os primeiros são obtidos através do sistema de parceria da empresa com a transportadora contratada e realizam as entregas por via terrestre. Já os últimos realizam boa parte das exportações do produto, partindo do porto de Rio Grande.

3.1.4 Relacionamento com os Clientes

Essa seção refere-se ao como a empresa se relaciona com cada segmento de clientes. Por isso, a primeira forma de relacionamento se dará através do site institucional, com informações sobre os produtos, novidades e meios de contato. Ainda, a equipe de vendas e comunicação fornecerá suporte personalizado a cada segmento de clientes conforme sua demanda e aplicação do produto, desde o início da venda até o uso do produto, com a intenção de fidelizar o cliente e promover a qualidade do produto vendido. Também, será realizado contato diretamente com os principais clientes, por meio telefônico ou eletrônico.

A empresa disponibilizará uma equipe de assistência técnica para auxiliar no uso dos produtos adquiridos, conforme o interesse e demanda do cliente, com intuito de promover a relação de fidelização e atendimento personalizado. Com isso, pesquisas de satisfação serão aplicadas para medir a efetividade das atividades de produção e de atendimento ao cliente.

3.1.5 Atividades-Chave

As atividades-chave consistem nas atividades que devem ser realizadas de modo que a proposta de valor seja entregue. A empresa possui 4 principais atividades a serem realizadas:

a) Aquisição das matérias-primas: obter as matérias-primas do processo visando qualidade dos reagentes e garantia de estoque para a produção, com o menor custo possível de aquisição;
b) Processo de produção: A principal atividade desenvolvida pela empresa é a produção das zeólitas A e ZSM-5, utilizando uma rota tecnológica diferenciada, que possui a cinza da casca de arroz como matéria-prima fonte de sílica do processo. Nela, devem-se adotar processos de melhoria contínua para seguir a proposta de valor com qualidade;
c) Distribuição dos produtos: Visar qualidade de entrega do produto e em seus processos, com baixo custo e eficiência, mantendo o produto competitivo no cenário nacional e internacional;
d) Comunicação e vendas: Estratégias de vendas e de marketing para atingir os clientes, realizar vendas, promover relacionamento e fidelização com eles e estar presente no mercado conforme a sua demanda, para que haja garantia de venda de todas as zeólitas produzidas desde o momento da implantação da indústria.

3.1.6 Recursos-Chave

São os recursos-chaves para a realização das atividades-chave. Inicialmente, boa parte dos recursos financeiros serão investidos na construção da planta, com todos os equipamentos, além das aquisições dos reagentes e matérias-primas necessários.

Assim, aos recursos necessários para a produção das zeólitas, são: mão de obra qualificada para atender todas as demandas da indústria, sistema de transporte eficiente, matérias-primas, capital de investimento e de manutenção, fontes de energia e recursos básicos, como água e acesso a fontes de abastecimento de matérias-primas e de venda.

3.1.7 Parceiros-Chave

Dentre os principais parceiros da empresa, estão os fornecedores de matéria-prima. Como a empresa inicia seu processo produtivo utilizando casca de arroz, esta parceria é fixada com beneficiadoras de arroz, uma vez que a casca é resíduo de seu processo. Nesse caso, as fornecedoras serão as empresas. Além destas, há parcerias com os fornecedores dos demais reagentes e solventes, bem como empresas terceirizadas para a manutenção das atividades da empresa, como alimentação dos funcionários e limpeza.

3.1.8 Fontes de Receita

São as formas de obter receitas por meio da proposta de valor. A fonte de receita da empresa é a comercialização das zeólitas A e ZSM-5, tanto para mercado nacional quanto internacional. Quanto à abertura da empresa, será por meio de financiamento no BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento) e investimento dos sócios.

3.1.9 Estrutura de Custos

Envolvem os principais custos para a execução e manutenção das atividades, que estão relacionados principalmente à aquisição de reagentes necessários ao processo, transporte da matéria-prima e do produto acabado, salário de funcionários e gastos com energia elétrica e água, além de eventuais manutenções necessárias na planta.

3.2 EXIGÊNCIAS LEGAIS

3.2.1 Instalação da Indústria: Regulamentação

Para a instalação da indústria, é necessário o registro da empresa na Junta Comercial do município de Pelotas, obtendo-se o Alvará de funcionamento, que autorizará a empresa exercer as suas atividades, a fim de comprovar que a indústria estará alocada em um local permitido para a sua atuação. Além deste, é necessário o registro na Secretaria Estadual da Fazenda, do registro na Receita Federal, do registro na secretaria municipal e no Instituto Nacional do Seguro Social (INSS). Conforme solicita a Junta Comercial do município, é necessário, para a abertura da empresa, o cadastro de pessoa jurídica e a obtenção do alvará de funcionamento, ter em mãos uma lista de licenças, sendo elas:

a. Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros (AVCB);
b. Licença Ambiental;
c. Licença Sanitária;
d. Registro de produtos químicos controlados;

Assim, com essas licenças autorizadas, é possível realizar o cadastro de pessoa jurídica e obter o alvará de funcionamento na Junta Comercial, com a disposição dos seguintes documentos:

a. Planta do imóvel em que a empresa está alocada;
b. Cópia do recibo do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) pago;
c. Cadastro de Pessoa Física (CPF) e Registro Geral (RG), originais ou cópias, de todos os sócios da empresa;
d. Cadastro do Contribuinte Mobiliário, ou CCM, obtido na Secretaria das Finanças;
e. O Setor, Quadra e Lote – também chamado de SQL – do imóvel, ou comprovante de endereço;
f. Declaração de atividade da indústria;
g. Certificado de conclusão de imóvel recém-construído, em caso de construção da indústria;

Além disso, é imprescindível que o local em que a indústria realizará suas atividades esteja compatível com o Plano Diretor do município, bem como o imóvel deverá estar cadastrado no Cadastro do Município. Para isso, há o Alvará de Localização Definitivo, que

permite o uso da instalação no local determinado para o desempenho das atividades. Para obtê-lo, é necessário a apresentação dos seguintes documentos:

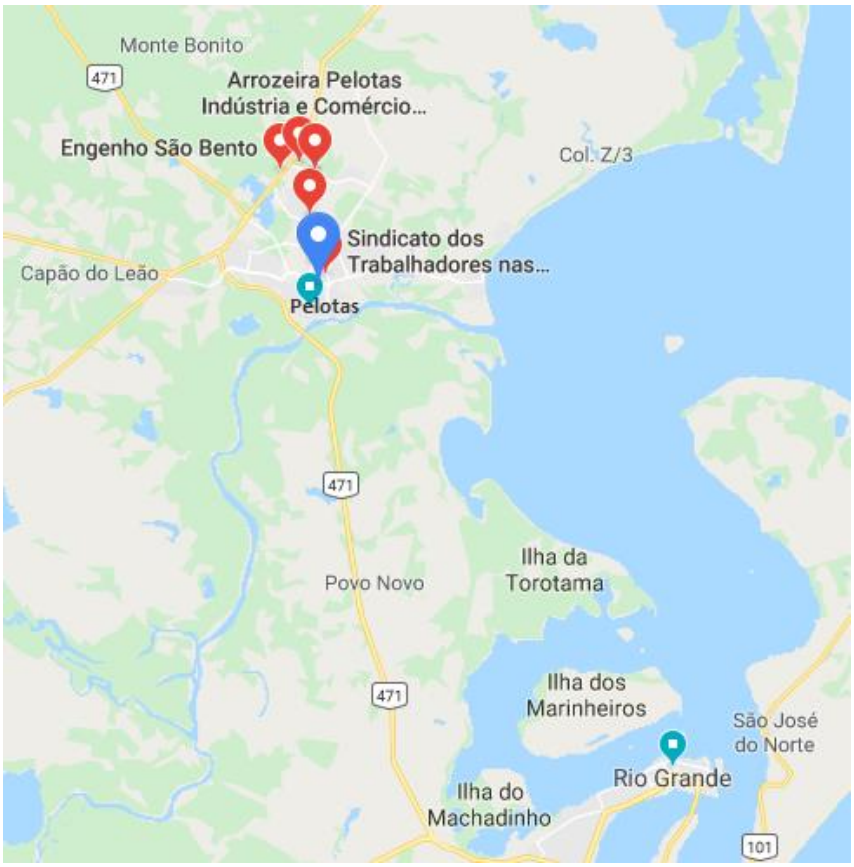
a. Declaração de firma individual ou contrato social;
b. Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ);
c. CPF e RG dos sócios ou responsáveis pela empresa;
d. Comprovante de residência dos sócios;
e. Apresentar alvará dos bombeiros;
f. Certidão de cadastro de imóvel;
g. Viabilidade na Junta Comercial ou do setor;
h. Apresentar alvará de Habite-se.

3.2.2 Localização da unidade industrial

A unidade industrial estará localizada no município de Pelotas, Rio Grande do Sul, devido a proximidade de grandes beneficiadoras de arroz, como Arrozeira Pelotas Indústria e Comércio de Cereais Ltda, Cerealista Polisul Ltda, produzindo juntas cerca de 260 mil toneladas de arroz por ano, e diversas outras beneficiadoras de menor porte. Além disto, o município se faz próximo à Rio Grande, em uma distância de aproximadamente 60 km, facilitando assim a exportação do produto final pelo Porto de Rio Grande.

A cidade de Pelotas está localizada na região Sul do estado do Rio Grande do Sul, conforme observado na Figura 9, sendo considerada a quarta cidade mais populosa do estado, com cerca de 342 mil habitantes (IBGE, 2018). Está localizada a 261 km da capital, Porto Alegre, e conta com cinco instituições de ensino superior, podendo assim, garantir a mão de obra especializada para a operação na unidade industrial.

Figura 9 - Localização da unidade industrial na região Sul e proximidade ao porto de Rio Grande.



Fonte: Google Maps, 2019.

3.2.3 Licenciamento Ambiental

Para a atuação da indústria de forma legalizada e que estejam coerentes com o uso dos recursos naturais locais, é necessário que a empresa tenha seu licenciamento ambiental atualizado. O licenciamento ambiental é um procedimento em que o poder público, representado por órgãos ambientais, autoriza e acompanha a implantação e a operação de atividades que utilizam recursos naturais ou que sejam consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras (SEBRAE, 2004).

Na obtenção do licenciamento ambiental, primeiro, é necessário definir o ramo de atividade do empreendimento, que, nesse caso, é qualificada como “Industrial”, no ramo de “Fabricação de Produtos Químicos”, que, conforme a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler (FEPAM), é classificada com o código 2.020-00, ou seja, que possui um alto potencial poluidor.

I. Licença prévia (LP): Aprovação e concepção da atividade, atestando sua viabilidade ambiental e estabelecendo os quesitos a serem aprovados na fase de implantação. Também provém os parâmetros para os efluentes líquidos, gasosos e resíduos sólidos. Requer medidas de controle ambiental em função dos possíveis impactos ambientais gerados.

II. Licença de instalação (LI): autoriza a instalação da atividade, de acordo com as especificações do plano aprovado, disponibilizando um cronograma para execução de medidas mitigadoras e implantação de sistemas de controle ambiental.

III. Licença de operação (LO): autorização de operação da atividade, após o cumprimento das medidas de controle ambiental e condicionantes determinadas nas licenças anteriores.

4 ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS

A produção das zeólitas 4A e ZSM-5 pode ser realizada por diferentes rotas tecnológicas e com uso de diferentes matérias-primas ao longo dos processos, resultando em produtos finais com diversas características. Desse modo, serão apresentadas nesta seção diversas formas de obtenção, tanto do silicato de sódio, que será aplicado na produção, quanto das zeólitas 4A e ZSM-5, a fim de determinar a rota tecnológica de funcionamento da empresa.

As zeólitas são obtidas por argilominerais ou, também, por resíduos industriais. Todas são elaboradas por condições físicas e químicas rígidas e, variando-se estas condições, obtêm-se zeólitas de diferentes estruturas e composições (MELO e RIELLA, 2010). No mercado, existem dois processos básicos para a produção de zeólitas, que são: formação e cristalização de zeólita a partir de hidrogel de aluminossilicato ou a partir do caulim calcinado. No primeiro, as zeólitas são cristalizadas por meio de um gel de aluminossilicato correspondente, preparado a partir de aluminato, silicato e uma solução de hidróxido de sódio (LUZ, 1995; SNIAR, 1988 *apud* SENA, 2013). No segundo, em geral existem duas etapas, que são (1) o tratamento térmico ou mecânico da caulinita (mineral proveniente do caulim), para obter a metacaulinita; e (2) a reação com uma fonte de cátion e, se necessário, fontes de alumínio e silício (BRECK, 1974; KIM *et al*., 2000; ALKAN *et al*., 2005; SALDANHA, 2006; MAIA *et al*., 2007; MIGNONI *et al*., 2008; MUZZI *et al*., 2008).

Optou-se pela síntese das zeólitas a partir do hidrogel de aluminossilicato pois o objetivo inicial advém da utilização do resíduo agroindustrial como matéria-prima. Além disso, o caulim é um minério, o que torna o uso da CCA mais atrativa, especialmente no âmbito ecológico. Por fim, a cinza da casca de arroz não possui valor agregado, o que torna sua utilização interessante também economicamente.

4.1 OBTENÇÃO DO SILICATO DE SÓDIO

Nesta seção, será realizada uma apresentação das rotas para a obtenção do silicato de sódio, além de uma análise das mesmas de modo a definir e justificar as escolhas realizadas.

4.1.1 Tecnologias disponíveis

4.1.1.1 Patente CN104591197A

A patente CN104951197A de 2015, desenvolvida por um grupo de pesquisadores, define uma rota para a obtenção do silicato de sódio através da adição da cinza da casca de arroz a uma solução de hidróxido de sódio, agitada de 1 a 6 horas. Em seguida a mistura é filtrada, adiciona-se hidróxido de sódio e filtra-se novamente. Então, a solução é seca em temperatura entre 100 e 200 °C e o composto seco é aquecido a temperatura entre 760 e 820 °C por 30 a 210 min. Por fim, o composto é resfriado de modo a obter o silicato de sódio em camadas alfa. Após estas etapas, o silicato de sódio sólido obtido por este processo tem pureza 8% maior que a do produto industrial existente no mercado.

4.1.1.2 Síntese de zeólitas e wolastonita a partir da cinza da casca de arroz

A segunda rota refere-se à pesquisa desenvolvida para a tese de obtenção do grau de doutor de Alberto de Andrades Fernandes, pela Universidade de São Paulo, em 2006 (FERNANDES, 2006). Esta pesquisa propõe a lixiviação alcalina da cinza da casca de arroz, utilizando hidróxido de sódio. São utilizadas diferentes amostras de cinzas, cuja obtenção advém de diferentes temperaturas de combustão, de modo a fazer uma análise do produto obtido através das diferentes amostras. A lixiviação é feita utilizando uma solução de hidróxido de sódio (1 M) sob agitação, a 90°C e por 1 h. A solução obtida é filtrada e analisada. O cálculo da densidade de cada amostra é feito pela diferença de massa da CCA e desta após a lixiviação, considerando a presença de NaOH residual. A relação de proporção SiO_2:NaOH de 4:1 obteve o melhor resultado, indicando alta eficiência e reatividade para o posterior processo de obtenção das zeólitas.

4.1.1.3 Obtenção de silicato de sódio por lixívia alcalina a partir da cinza da casca de arroz para uso como defloculante

A metodologia desenvolvida por Michel Jean Ferreira, da Universidade Federal de Santa Catarina em 2013 para a obtenção de grau de mestre em Engenharia Química (FERREIRA, 2013), baseia-se em Kalapathy *et al.* (2000), sendo que este propõe a formulação de uma planta industrial para produção do silicato de sódio. Esta formulação foi

modificada pelo autor, de maneira que, em seus experimentos, a melhor formulação foi a que apresentava a lixívia de uma solução de 60 g de casca de arroz, previamente adicionada a 300 mL de água, com 52,88 mL de solução (3N) de NaOH, à temperatura de 90ºC por 2 horas. O rendimento da reação foi na ordem de 70 a 75%.

4.1.2 Análise das tecnologias e escolha da rota

Para definição da rota optou-se por trabalhar com o processo desenvolvido por Ferreira (2013), que utiliza características favoráveis da metodologia desenvolvida por Kalapathy *et al.* (2000). Este é um processo simples de lixívia alcalina, desta forma, as operações unitárias relacionadas são relativamente simples e, como observado nas tecnologias disponíveis, seguem o mesmo escopo - lixiviação seguida de filtragem. Também, os experimentos de Ferreira (2013) apresentam as proporções de reagentes, rendimento e metodologias bem definidas.

4.2 ZEÓLITA 4A

Nessa seção, serão apresentadas e analisadas algumas rotas tecnológicas disponíveis de produção da zeólita 4A. Após, haverá a escolha da rota de produção da empresa.

4.2.1 Tecnologias disponíveis

4.2.1.1 Patente BR10218010397-0A2

A invenção, desenvolvida por Denise Alves Fungaro e colaboradores (2019), traz a preparação da Zeólita A de alta pureza a partir de cinzas de carvão mineral, compreendendo três etapas. A primeira consiste no processo de fusão, onde as cinzas de carvão são misturadas com hidróxido de sódio sólido, na relação mássica 1:1,2, por meio de moagem, garantindo o contato íntimo entre as partículas dos materiais, obtendo-se uma mistura homogênea. Após, esta mistura é colocada em mufla na temperatura de 450-550°C, por 1 hora. Na segunda etapa, a massa fundida pós-resfriamento à temperatura ambiente é moída, dispersa em água com adição do aluminato de sódio na proporção de 10 mL de água para cada grama de cinzas e a suspensão é deixada em agitação por 2 horas à frequência de 150-300 rpm. Por fim, na última etapa, a suspensão é aquecida entre 90-100 °C por 3 horas, o sólido é separado do

líquido, lavado na proporção de 1 grama da matéria-prima por 150 mL de água destilada e colocado em estufa à 105°C até a secagem.

4.2.1.2 Síntese de zeólitas e wolastonita a partir da cinza da casca de arroz

Esta rota também se refere à pesquisa apresentada na tese para a obtenção do grau de doutor de Alberto de Andrades Fernandes, pela Universidade de São Paulo, em 2006 (FERNANDES, 2006). Para a síntese da zeólita A é utilizada a solução de silicato de sódio produzido, com relação Si/Na de 4,0. Utiliza-se o aluminato como íon $(Al(OH)_4)^-$ em solução para evitar a formação da sodalita ao invés da zeólita A. Para formar o gel adiciona-se a solução de silicato de sódio sobre a de aluminato, sendo em uma relação molar SiO_2/Al_2O_3 de 2,5, conforme diagrama de fases Na_2O-SiO_2-Al_2O_3. O gel obtido é cristalizado em autoclave sob pressão autógena. Por fim, o sólido é filtrado e lavado apenas uma vez, sendo então seco em estufa a 110 ºC e posteriormente calcinado a 500 °C.

4.2.2 Análise das tecnologias e escolha da rota

Para a produção da zeólita 4A optou-se, majoritariamente, pelo uso da pesquisa desenvolvida por Fernandes (2006). Isto se dá devido aos resultados obtidos na pesquisa, que são altamente satisfatórios, e ao emprego da mesma matéria-prima. Para o desenvolvimento da rota tecnológica deste trabalho, serão utilizados os métodos aplicados na amostra A3 da pesquisa, cujos resultados apresentaram maior pureza na cristalização da zeólita A, que tem relação em volume de silicato/aluminato de 120/100, com cristalização a 100°C por 4 horas. Nota-se que, uma vez que a zeólita A produzida na pesquisa é formada com cátion de sódio, o diâmetro de poros de 4Å, podendo ser também chamada zeólita 4A.

4.3 ZEÓLITA ZSM-5

Nessa seção, serão apresentadas e analisadas algumas rotas tecnológicas disponíveis de produção da zeólita ZSM-5. Após, haverá a escolha da rota de produção da empresa.

4.3.1 Tecnologias disponíveis

4.3.1.1 Patente MX2008003003A

A patente MX2008003003A (2009), de um grupo de pesquisadores da Universidad Nacional Autónoma de Mexico, define que a obtenção da zeólita ZSM-5 dá-se por meio de um processo de gelificação, realizado com uma mistura de cinzas da casca de arroz, clinoptilolita e glicerol. A mistura é aquecida em temperatura entre 150 e 250°C por 1 a 3 horas, obtendo-se então um gel. Este é mantido entre 70 a 130°C por mais de um dia, com a adição de um diretor de estrutura como o tetrapropilamonio (TPA) e água, deixando descansar entre 70 a 130°C por 24 a 72h. Após, a mistura é lavada e centrifugada, adicionando-se novamente TPA e água, agita-se e aquece, deixando entre 50 a 100°C por mais 1 a 3h. A mistura é passada para um vaso hermético e metálico, onde é deixada entre 100 e 200°C por mais 3 a 15 dias. Em seguida, a mistura é seca entre 80 e 100°C por 24h, onde se eliminam os compostos voláteis. Finalmente, é feita a calcinação em mufla em ambiente atmosférico, entre 400 a 600°C, de 12 a 48h.

Nessa patente, observa-se o uso de cinza da casca de arroz como fonte de sílica para a zeólita. Além disso, há a adição de um direcionador de rede, que tem papel de formar a fase zeolítica ao longo do processo, facilitando a formação da zeólita ZSM-5.

4.3.1.2 Patente Petrobrás - BR8506248A

A patente BR85066248A, criada em 1987 pela Petrobrás, tem como foco a produção de zeólitas ZSM-5 com uso reduzido de sementes da zeólita previamente sintetizadas, sem uso de base orgânica como direcionador de rede. Além disso, é utilizado o álcool etílico (etanol) como co-agente, de modo melhorar a qualidade do produto. Desse modo, as etapas de produção da patente são caracterizadas por:

a. Dispersar 0,002 a 0,3% de sementes de zeólita ZSM-5, em relação ao peso total da sílica utilizada, em água deionizada e dividir a suspensão em duas partes iguais;
b. Adicionar uma das partes da suspensão de sementes em um sal de alumínio;
c. Adicionar a outra parte da suspensão de sementes na fonte de sílica (como o silicato de sódio);
d. Juntar as 2 suspensões;

e. Adicionar etanol e ácido sulfúrico a 98% em quantidades pré-determinadas, formando gel com a seguinte composição de razão molar: H_2O/SiO_2: 20-40; -OH/SiO_2: 0,2-0,4; Al_2O_3/SiO_2 : <1/20; C_2H_5OH/SiO_2: 0-0,4;
f. Homogeneizar o gel por agitação mecânica durante 20 minutos;
g. Submeter o gel obtido a transformação hidrotérmica, em autoclave, entre 135 a 180 ºC, sob pressão autógena, durante 1-5 dias.
h. Finalizar a obtenção da zeólita por recuperação, em lavagem, secagem e calcinação.

4.3.2 Análise das tecnologias e escolha da rota

Para a obtenção da zeólita ZSM-5, definiu-se como base o processo produtivo da patente BR85066248A, que utiliza sementes de zeólita ZSM-5 e etanol como co-agente de formação de zeólita com alta qualidade. Nesse caso, optou-se por esse processo, pois o direcionador utilizado na patente MX2008003003A é o TPA, que é um componente orgânico com base nitrogenada, que obtém uma conversão ótima do processo, porém, como suas propriedades indicam, é um reagente com alto custo de obtenção, proporcionando elevados e indesejados custos de produção, além de longo período de conversão.

Desse modo, novos direcionadores estão sendo utilizados em substituição de compostos orgânicos com base nitrogenada, como o etanol, em que estudos relatam a síntese de ZSM-5 altamente cristalinas, bem como apresentam boas propriedades catalíticas, porém, seu uso é ministrado com cuidadoso controle nas suas condições de síntese (ZHANG; WANG; YANG, 2009).

5 DEFINIÇÕES DO PROCESSO

Nessa seção, serão abordados as definições e detalhamentos dos processos de produção de cada etapa de obtenção das zeólitas, que orientará a escala de produção e, posteriormente, a análise do projeto de processo, na Seção 6.

5.1 ESCALA E LOGÍSTICA DE PRODUÇÃO

A escala de produção anual será de 3.893,5 ton/ano de zeólita 4A e de 443,97 ton/ano de zeólita ZSM-5 em duas linhas produtivas separadas. Demais detalhes da produção diária estão apresentados na Tabela 1. As especificações das áreas podem ser encontradas no Apêndice H, onde é possível identifica-las pela numeração dos equipamentos.

Tabela 1 - Características da escala de produção diária.

Área	Características de produção	4A	ZSM-5
200	Total de dias de produção anual	335	-
	Produção (kg/dia)	11.622,6	-
	Número de bateladas por dia	3	-
300	Total de dias de produção anual	-	335
	Produção (kg/dia)	-	1.325,3
	Número de bateladas por dia	-	0,96

Fonte: Autores, 2020.

Dessa forma, as Áreas 200 e 300 terão produção exclusivas, respectivamente, da zeólita 4A e da zeólita ZSM-5.

Quanto à logística de horários de produção, a jornada de trabalho da CCA Síntese será de 24h por dia, 7 dias por semana, operando por 335 dias a cada ano. Assim, ocorrerão duas paradas anuais de 15 dias, para limpeza e manutenção, além de férias. A produção será dividida em 3 turnos de 8 horas, em que os cargos administrativos trabalharão no primeiro turno do dia, os cargos de Supply Chain, auxiliares de limpeza e supervisores de laboratórios trabalharão nos 2 primeiros turnos e, por fim, os cargos de operação industrial, controle e qualidade e vigilância, serão ocupados por 3 turnos diários. A Tabela 2 apresenta a distribuição dos turnos diários, bem como três períodos de pausa, com duração de 1h30min, para que, em cada setor, sempre tenha algum funcionário disponível.

Tabela 2 - Turnos de produção.

Turno	Início	Pausa 1	Pausa 2	Pausa 3	Fim
1	8h	11h	11h30	12h	16h
2	17h	20h	20h30	21h	01h
3	01h	04h	04h30	05h	8h

Fonte: Autores, 2020.

5.2 DETALHAMENTO DAS ROTAS DE PRODUÇÃO

Conforme determinado na Seção 4, as rotas tecnológicas de cada etapa do processo de produção das zeólitas 4A e ZSM-5, que englobam, anteriormente, a extração da sílica da cinza da casca de arroz, foram definidas. Desse modo, será abordado, para cada uma das três etapas, as considerações e os detalhamentos necessários para definição final das rotas da empresa.

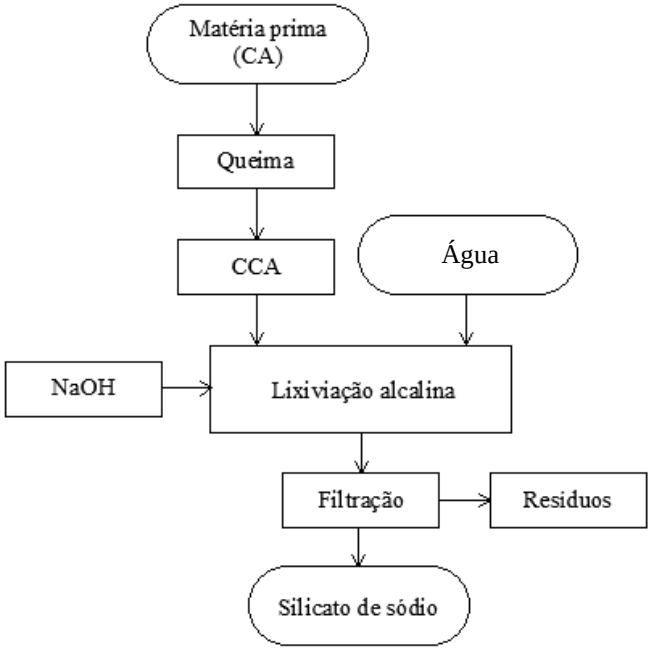
5.2.1 Síntese do Silicato de Sódio

Considerando que a matéria-prima base para preparo do silicato de sódio é a cinza da casca de arroz, tem-se duas possibilidades para obtê-la: a primeira opção é diretamente de empresas que produzem energia a partir da queima da casca de arroz (CA) e a segunda é a partir da queima da casca de arroz na própria empresa, de maneira a produzir energia para consumo próprio. Desta forma, a cinza da casca de arroz (CCA) passa por um processo de lixiviação alcalina com hidróxido de sódio, de maneira que se obtém, diretamente, o silicato de sódio e resíduo (FERNANDES, 2006).

O método de extração da sílica foi proposto por Ferreira (2013), o qual, em seus testes, encontrou a proporção ideal de 60 g de CCA, 52,88 mL de solução de NaOH (3N), temperatura de 90ºC e tempo de agitação de 2h, chegando a um rendimento entre 70 a 75%. Desta forma, o mesmo trabalho apresenta as proporções para formulação industrial. Para o cálculo, considerou-se que o reagente limitante é a sílica presente na cinza da casca de arroz e que a porcentagem de água retida na corrente de resíduo é de 30%, conforme Carvalho (2015).

A Figura 10 apresenta o diagrama de blocos para o processo de síntese do silicato de sódio.

Figura 10 - Diagrama de blocos da síntese do silicato de sódio.



Fonte: Autores, 2019.

Na obtenção do silicato de sódio, a principal reação química é

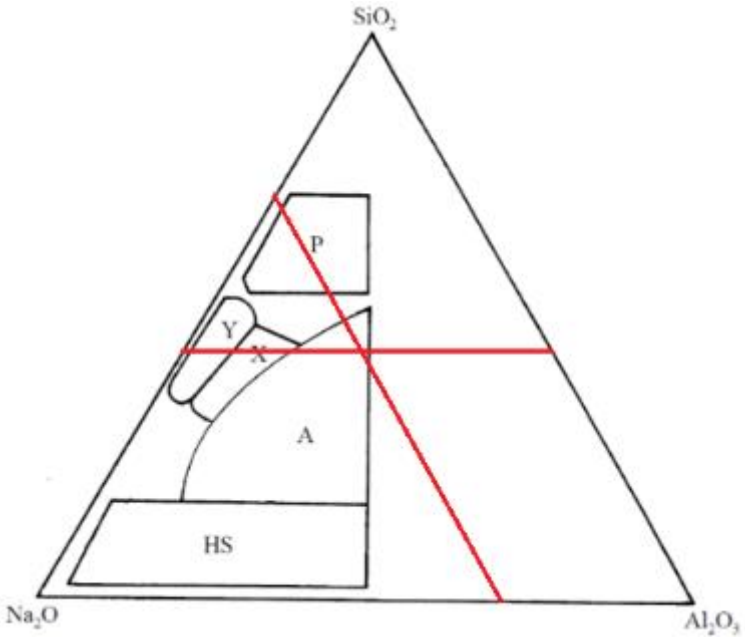
$$NaOH + nSiO_2 + H_2O \rightarrow Na_2O{\cdot}nSiO_2 + 2H_2O$$

na qual n pode variar de 1,6 a 3,8. Neste processo, a quantidade de carbono pode chegar a 30% da cinza, sendo este é inerte durante a reação, não sendo prejudicial (FERREIRA, 2013). Em termos de nomenclatura, o silicato de sódio também pode ser designado como $Na_{2x}O{\cdot}nSiO_{2+x}$.

5.2.2 Síntese da Zeólita 4A

Para a síntese da zeólita 4A, a primeira etapa é a preparação do gel reacional, através da mistura do silicato de sódio com o aluminato. Para a síntese da zeólita 4A, primeiramente determinou-se a razão molar aplicada entre silicato e aluminato, utilizando o diagrama da Figura 11. Assim, encontrou-se uma razão Si/Al de 1,3 de modo a proporção do gel reacional ficar sobre a área de formação da Zeólita 4A.

Figura 11 - Diagrama de fases correspondentes às concentrações dos géis para obtenção das zeólitas identificadas.



Fonte: Adaptado pelos autores de Martín, 2001.

Determinada esta relação, faz-se a mistura das duas soluções e se obtém o gel reacional, que passa por um tratamento térmico e sofre cristalização. Esse tratamento tem temperatura de 100°C e duração de 4 horas. Segundo Silva Filho *et al.* (2015), foram obtidos rendimentos de cristalização na ordem de 67,9%, a partir da síntese da zeólita A, empregando metacaulim. Assim, considerou-se o mesmo rendimento de cristalização para a zeólita produzida neste trabalho, visto que os fatores que afetam a produtividade dos cristais são a temperatura, tempo de cristalização e relação alumínio/silício, e, por se tratar do mesmo tipo de zeólita, considera-se que esta proporção seja mantida. De acordo com Fernandes (2006), as etapas de preparação do gel e cristalização são dadas pelas reações:

$$NaOH_{(aq)} + NaAl(OH)_{4\,(aq)} + Na_2O{\cdot}nSiO_{2\,(aq)} + H_2O$$

$$\downarrow T = 25\ ºC$$

$$Na_a(AlO_2)_b(SiO_2)_c{\cdot}NaOH{\cdot}H_2O$$

$$\downarrow T = 25 \text{ a } 180\ ºC$$

$$Na_x[(AlO_2)_x(SiO_2)_x].mH_2O + \text{solução}$$

Na primeira reação, observa-se que a mistura dos reagentes hidróxido (NaOH), aluminato (NaAl(OH)) e silicato de sódio ($Na_2O{\cdot}nSiO_2$) com água a 25°C formam o gel

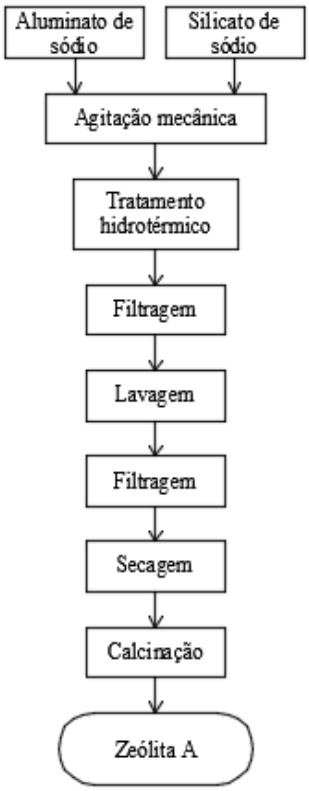
reacional ($Na_a(AlO_2)_b(SiO_2)_c \cdot NaOH \cdot H_2O$). Em seguida, varia-se a temperatura entre 25 e 180°C, por tratamento hidrotérmico, obtendo-se a zeólita 4A ($Na_x[(AlO_2)_x(SiO_2)_x].mH_2O$) em suspensão. A temperatura escolhida para o processo foi 100 °C.

Após a cristalização, o gel é filtrado e, para balanço de massa da filtração, baseou-se no trabalho de Gomes *et al.* (2011), onde empregava-se filtros membrana de cerâmica em um intervalo de diâmetro de poros de 2 µm a 8 µm. Considerando-se tratar de microcristais, cuja granulometria se assemelha à granulometria de materiais em pó, utilizou-se uma eficiência do filtro membrana de 99,4%. Em seguida, o sólido retido é lavado com água, filtrado novamente, considerando uma perda menor, uma vez que boa parte dos finos já foram perdidos na filtração anterior.

Após esta segunda filtração, o sólido é seco a uma temperatura de 110 °C (FERNANDES, 2006), onde perde toda a água residual. Por fim, a etapa de calcinação é responsável pela remoção de orgânicos encontrados no material pós-filtragem e, desta forma, considerou-se uma perda de aproximadamente 5%, permanecendo assim, no produto final, 95% da massa obtida após a filtragem.

O fluxograma completo de obtenção da zeólita A está apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma do processo de obtenção da zeólita A.



Fonte: Autores, 2019.

5.2.3 Síntese da Zeólita ZSM-5

A síntese da zeólita ZSM-5 geralmente é realizada por meio do preparo de um gel, pelo método hidrotérmico, em que contém precursores de sílica, alumina cátions metálicos de compensação de carga e estrutura de um direcionador de rede ou co-agente (MENDONÇA, 2019). Optou-se pela produção de um gel reacional, por meio do uso de etanol como agente direcionador de estrutura, bem como sementes da zeólita serão utilizadas para acelerar o seu processo de nucleação.

O início do processo consistirá em adicionar 0,3% de sementes de zeólita ZSM-5 em relação à quantidade total de sílica utilizada, conforme a patente BR85066248A, as quais provêm de uma corrente de reciclo da etapa final desse processo - quando a zeólita já estará produzida -, em água deionizada, com razão molar de SiO_2/H_2O igual a 40, a fim de formar uma suspensão, que será subdividida, logo após, em duas suspensões.

Nas suspensões, em uma delas será adicionado o composto de aluminato, em que nessa síntese, será utilizado o aluminato de sódio ($Na_2O.Al_2O_3$), de modo que forme uma solução diluindo o aluminato de sódio em óxido de sódio (Na_2O) e incorporando o óxido de alumínio (Al_2O_3) à semente em suspensão. Já na outra suspensão, será adicionado o produto da primeira etapa, de extração de sílica, o silicato de sódio em solução ($Na_2O.SiO_2$), que formará, assim como na outra suspensão, óxido de sódio em solução, incorporando o óxido de silício (SiO_2) às sementes.

Em relação à composição molecular da ZSM-5, o SAR (razão de SiO_2/Al_2O_3) a ser adotado para o processo será de 60, pois indica maior cristalização. Como esse teor reduzirá a fração de alumínio presente, que é responsável pelo aumento da cristalização da zeólita, aumenta-se a proporção de etanol, que também aumenta a cristalização do produto, além de favorecer o processo de nucleação, tendo-se, então, uma compensação na adaptação do processo (UGUINA *et al.*, 1995).

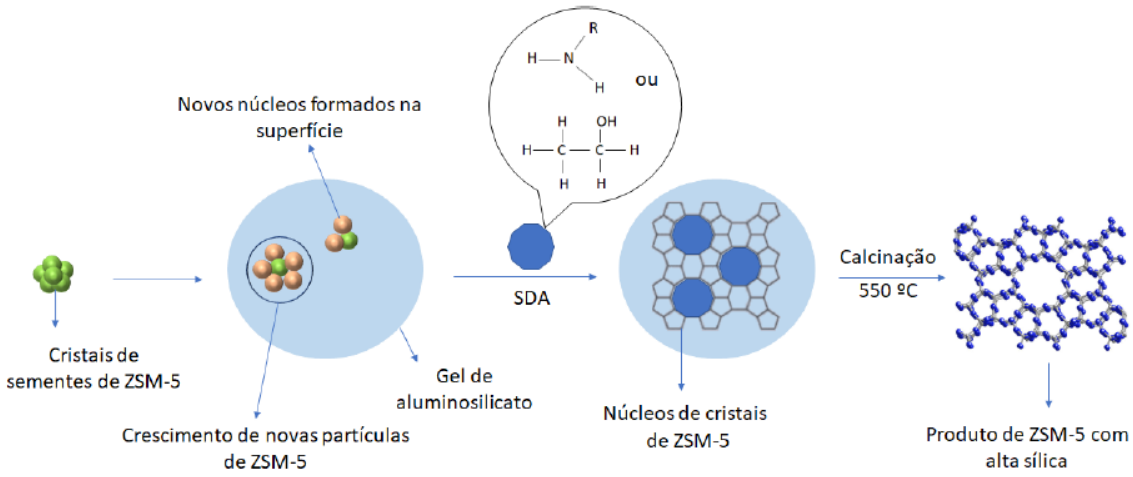
Em seguida, as duas suspensões são unidas, passando por um tanque agitador, adicionando à mistura reacional etanol (C_2H_5OH) e ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 98%. Ao adicionar os reagentes dessa etapa, realiza-se uma agitação mecânica por 20 minutos. Nessa etapa, é importante ressaltar que, para que a formação da zeólita possa ser viabilizada, a razão molar entre os reagentes e a quantidade de SiO_2 a ser obtida na sua composição molar final devem ser, respectivamente, de 3,0 (SiO_2/C_2H_5OH) e de 36,7 (SiO_2/H_2SO_4). De acordo com Mendonça (2019), o uso de proporção molar de SiO_2/Etanol igual a 3,0 promove uma faixa de proporção ideal para a manutenção da taxa de cristalização da zeólita, o que corrobora a

razão molar utilizada na patente BR85066248A, rota tecnológica selecionada para a presente síntese de zeólita ZSM-5, determinada em uma faixa de razão molar entre 0 a 4,0.

Logo após a agitação mecânica da mistura reacional, tem-se o gel homogeneizado requerido, que deverá passar por uma etapa de transformação hidrotérmica, de modo que será selado em um reator a 170°C, para viabilizar a cristalização e formação da zona zeolítica desejada.

Após a transformação hidrotérmica é necessário que o produto formado passe por uma lavagem, de modo a remover as impurezas indesejadas do processo, assim como, em seguida, passar por um processo de secagem, obtendo o produto quase finalizado. Por fim, as zeólitas formadas ainda estão com o direcionador de rede entre os seus poros, impossibilitando a efetividade do produto quanto ao uso de seus poros. Para isso, é realizada uma calcinação a 550ºC para a remoção do etanol presente nos poros, a fim de obter-se a zeólita ZSM-5 pronta para a distribuição. Na Figura 13 indica como esse processo de formação e calcinação ocorre na molécula, e a importância de cada etapa para garantir a efetividade do produto final.

Figura 13 - Efeito dos direcionadores de rede e sementes na síntese da zeólita ZSM-5.



Fonte: Mendonça, 2019.

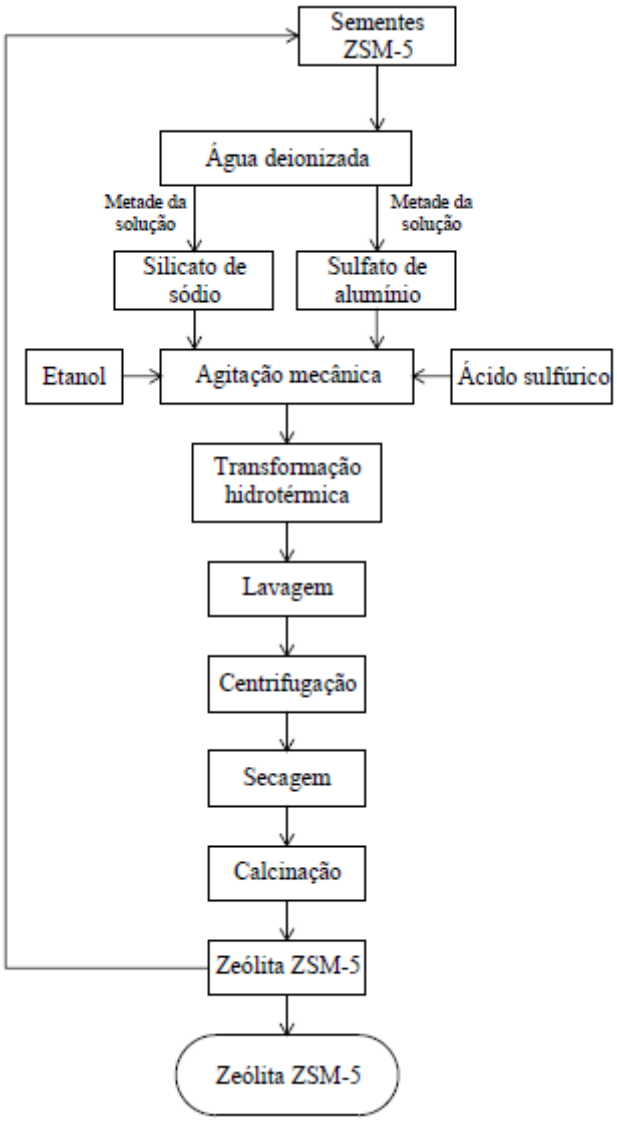
De acordo com os resultados de Mendonça (2019), adotou-se um rendimento final de obtenção de sólidos de 88%, considerando-se a amostra de zeólita estudada.

Após a obtenção de zeólitas ZSM-5, para fins comerciais, elas passarão por um processo de peletização. Para que isso ocorra, as zeólitas passarão por uma operação de aglutinação, em que 90% de massa do pellet é formado pela zeólita e, os 10% restantes, pelo

aglutinante selecionado. Nesse caso, o aglutinante com melhor resultado para a formação de pellets de zeólitas são as argilas caulinita e bentonita, com proporção, em massa, de 5% de cada, apresentando um material com boa trabalhabilidade, alta capacidade de troca catiônica, alta resistência física e estabilidade em água (BERTOLINI, GHILHEN e FUNGARO, 2017).

O fluxograma simplificado do processo de obtenção da zeólita ZSM-5, adaptado, com uso de sementes, uso de silicato de sódio extraído a partir da cinza da casca de arroz e uso de etanol está apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Fluxograma do processo de obtenção da zeólita ZSM-5.



Fonte: Autores, 2019.

6 PROJETO DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DAS ZEÓLITAS

Nesta seção, será abordado o processo geral de obtenção das zeólitas, bem como a definição do balanço material de cada etapa. Posteriormente, serão dimensionados e selecionados os equipamentos a serem utilizado no processo produtivo.

6.1 BALANÇO MATERIAL DO PROCESSO

Nessa seção, serão abordados os dimensionamentos e o balanço material dos processos previamente definidos e detalhados na Seção 5.

6.1.1 Balanço de massa global

O balanço de massa global do processo em relação a consumo de matéria-prima, produção de silicato de sódio e zeólitas, bem como, consumo de água, está apresentado nas Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente. O detalhamento do balanço de massa está apresentado nos Apêndices A, B e C.

Tabela 3 - Consumo de matéria-prima.

Substância	Vazão mássica (kg/dia)	Vazão mássica (ton/ano)
CCA	7.389,16	2.475,36
NaOH	5.527,07	1.851,57
Aluminato de sódio	8.872,69	2.972,35
H_2SO_4	164,08	54,97
Etanol	9.749,9	3.266,21
Caulinita	27,6	9,25
Bentonita	27,6	9,25

Fonte: Autores, 2020.

Tabela 4 - Produtos.

Substância	Vazão mássica (kg/dia)	Vazão mássica (ton/ano)
Silicato de sódio	6.350,34	2.127,37
Zeólita 4A	11.110,78	3.722,11
Zeólita ZSM-5	607,26	203,43

Fonte: Autores, 2020.

Tabela 5 - Consumo de água no processo.

Especificação	Vazão mássica (kg/dia)	Vazão mássica (ton/ano)
Lixiviação	34.374,26	11.515,38
Lavagem zeólita 4A	351.569,94	117.775,93
Obtenção zeólita ZSM-5	20.581,76	6.894,89
Lavagem zeólita ZSM-5	17.493,4	5.860,29

Fonte: Autores, 2020.

É importante salientar que o silicato de sódio obtido estará em solução numa concentração de, aproximadamente, 19% (m/m). Desta forma, a vazão mássica da solução de silicato de sódio em solução será de 34.281,28 kg/dia e/ou 11.484,23 ton/ano. A produção de zeólita descrita na Tabela 4 considera a produção de *pellets* de zeólita, enquanto que, para a 4A, o produto é em pó. Por fim, a Tabela 5 apresenta o complemento de água nos reatores de lixiviação e de produção da zeólita 4A, bem como, as quantidades de água necessária para lavagem das zeólitas. No que segue o detalhamento do balanço de massa será apresentado dividido entre três tópicos: obtenção do silicato de sódio, da zeólita 4A e da zeólita ZSM-5. Cada tópico apresentará o balanço de massa e fluxograma respectivo, todavia, o fluxograma completo do processo está apresentado no Apêndice H.

6.1.2 Silicato de sódio

Sabe-se que aproximadamente 20% das safras de arroz correspondem à casca. Esta casca, por possuir um alto poder calorífico, é empregada como combustível em caldeiras para geração de energia. Após a queima, cerca de 18% em peso da casca é convertido em cinzas (FOLETTO *et al.*, 2005).

Considerando dados da última safra de arroz do Rio Grande do Sul, onde foram produzidas aproximadamente 7.389,1 mil (IRGA, 2019), tem-se aproximadamente 266.007,6 toneladas de cinza da casca de arroz por ano disponíveis a serem processadas. Considerando estas informações, a empresa irá processar aproximadamente 13.750 toneladas de casca de arroz por ano, quantidade que está disponível em sua totalidade por beneficiadoras de arroz na região onde a empresa será instalada, Pelotas - RS.

Por sua vez, a cinza da casca de arroz possui um teor de sílica de aproximadamente 92%. Desta forma, como o objetivo do processamento da cinza da casca de arroz é obter o silicato de sódio, a primeira etapa do processo é realizar a lixiviação alcalina, (FOLETTO *et*

al., 2005; FERREIRA, 2013; FERNANDES, SABINO e ROSSETO, 2014). As proporções de água, CCA e NaOH utilizadas estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Formulação de planta industrial para produção de silicato de sódio.

Massa de água (kg)	Massa de CCA (kg)	Massa de NaOH (kg)
1.250	250	187

Fonte: Adaptado de Ferreira (2013).

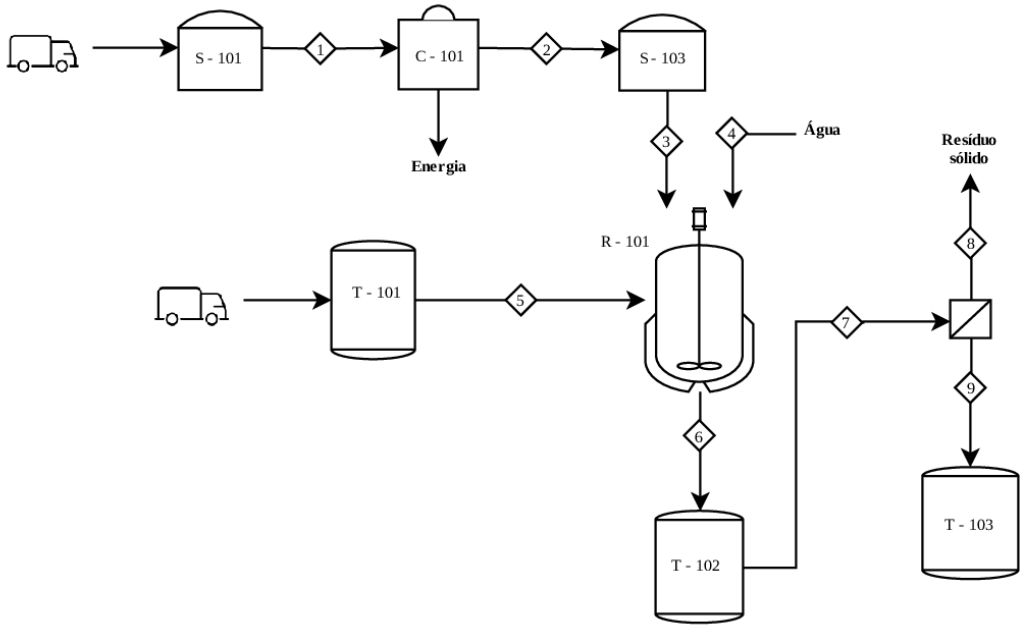
A Tabela 7 apresenta o balanço de massa para a obtenção do silicato de sódio, conforme cálculos dispostos no Apêndice A. A Figura 15 apresenta um esquema simplificado do processo, com a indicação das correntes. A corrente 4 representa a diluição do NaOH para a concentração de 3N descrita na tecnologia.

Tabela 7 - Balanço de massa para obtenção do silicato de sódio.

Corrente	Vazão mássica (kg/h)	Descrição da corrente
1	1.710,45	CA
2	307,88	CCA
3	307,88	CCA
4	1.432,26	Água
5	460,59	NaOH (50%)
6	2.200,73	Contém resíduo sólido e silicato de sódio em solução
7	2.200,73	Contém resíduo sólido e silicato de sódio em solução
8	772,34	Resíduo sólido
9	1.428,39	Silicato de sódio em solução aquosa a 19%

Fonte: Autores, 2020.

Figura 15 - Esquema de obtenção do silicato de sódio.



Fonte: Autores, 2020.

6.1.3 Zeólita 4A

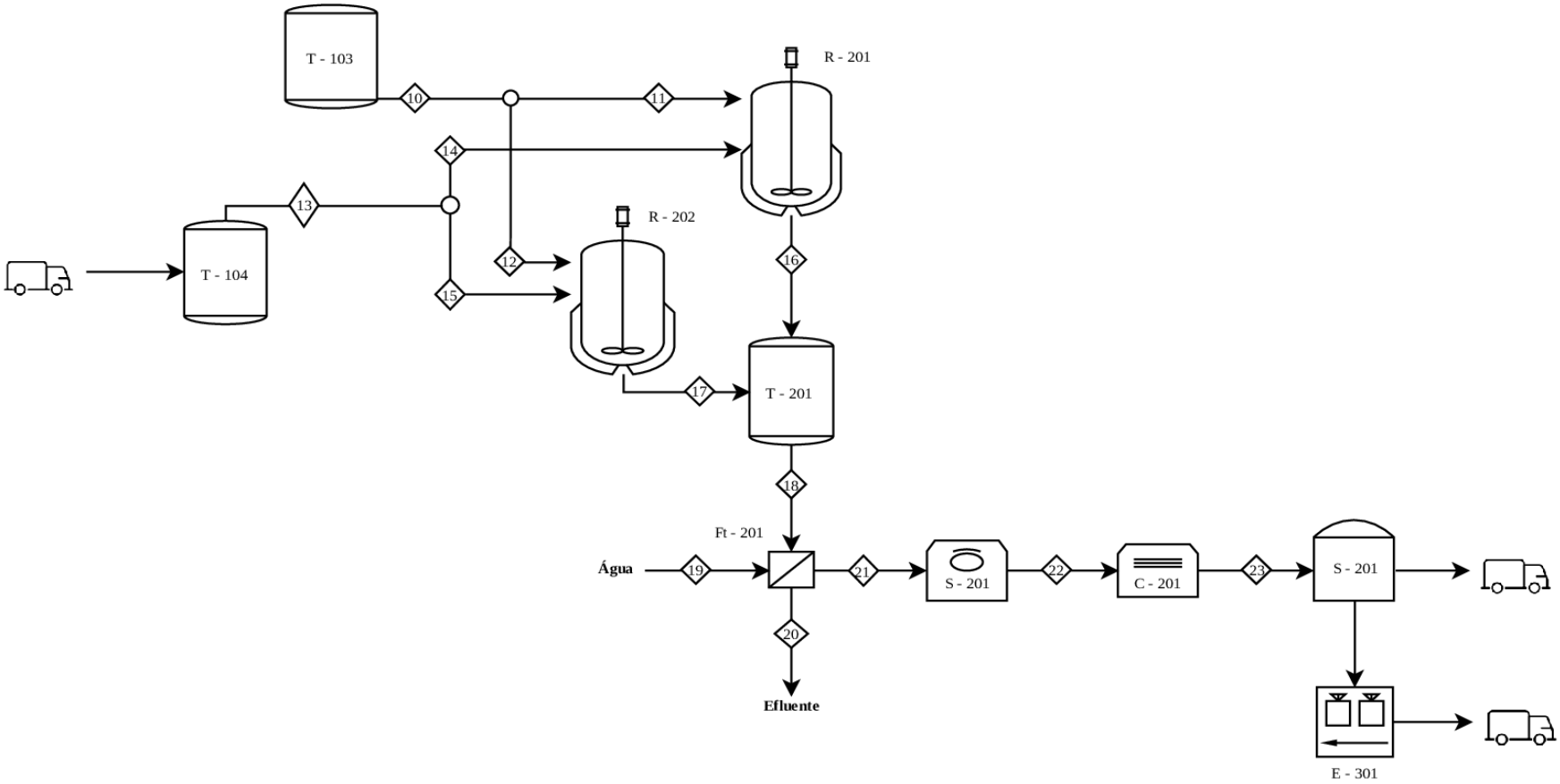
Estipulou-se que 90% do silicato de sódio obtido é destinado à produção da zeólita A. Isto se deve à grande demanda encontrada para este produto, em relação à zeólita ZSM-5. Utilizou-se a razão molar de 1,3, obtida no diagrama ternário SiO_2-Na_2O-Al_2O_3, apresentado na Figura 11. Os cálculos estão apresentados no Anexo B, enquanto os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 8, da mesma forma, a Figura 16 apresenta um esquema simplificado do processo de produção da zeólita 4A, onde é possível acompanhar a sequência do processo e respectivas correntes.

Tabela 8 - Balanço de massa para obtenção da zeólita 4A.

Corrente	Vazão mássica (kg/h)	Descrição da corrente
10	1.285,55	Silicato de sódio em solução a 19%
11	642,77	Solução do silicato de sódio
12	642,77	Solução do silicato de sódio
13	369,47	Aluminato de sódio sólido
14	184,74	Metade do aluminato de sódio sólido
15	184,74	Metade do aluminato de sódio sólido
16	827,51	Contém a zeólita 4A obtida e efluente
17	827,51	Contém a zeólita 4A obtida e efluente
18	1.655,02	Contém a zeólita 4A obtida e efluente
19	14.648,75	Água para lavagem da zeólita
20	16.115,22	Efluente do reator e água de lavagem
21	638,61	Produto zeólita úmido
22	487,31	Produto zeólita seco
23	462,95	Produto zeólita calcinado

Fonte: Autores, 2020.

Figura 16 - Esquema de obtenção da zeólita 4A.



Fonte: Autores, 2020.

6.1.4 Zeólita ZSM-5

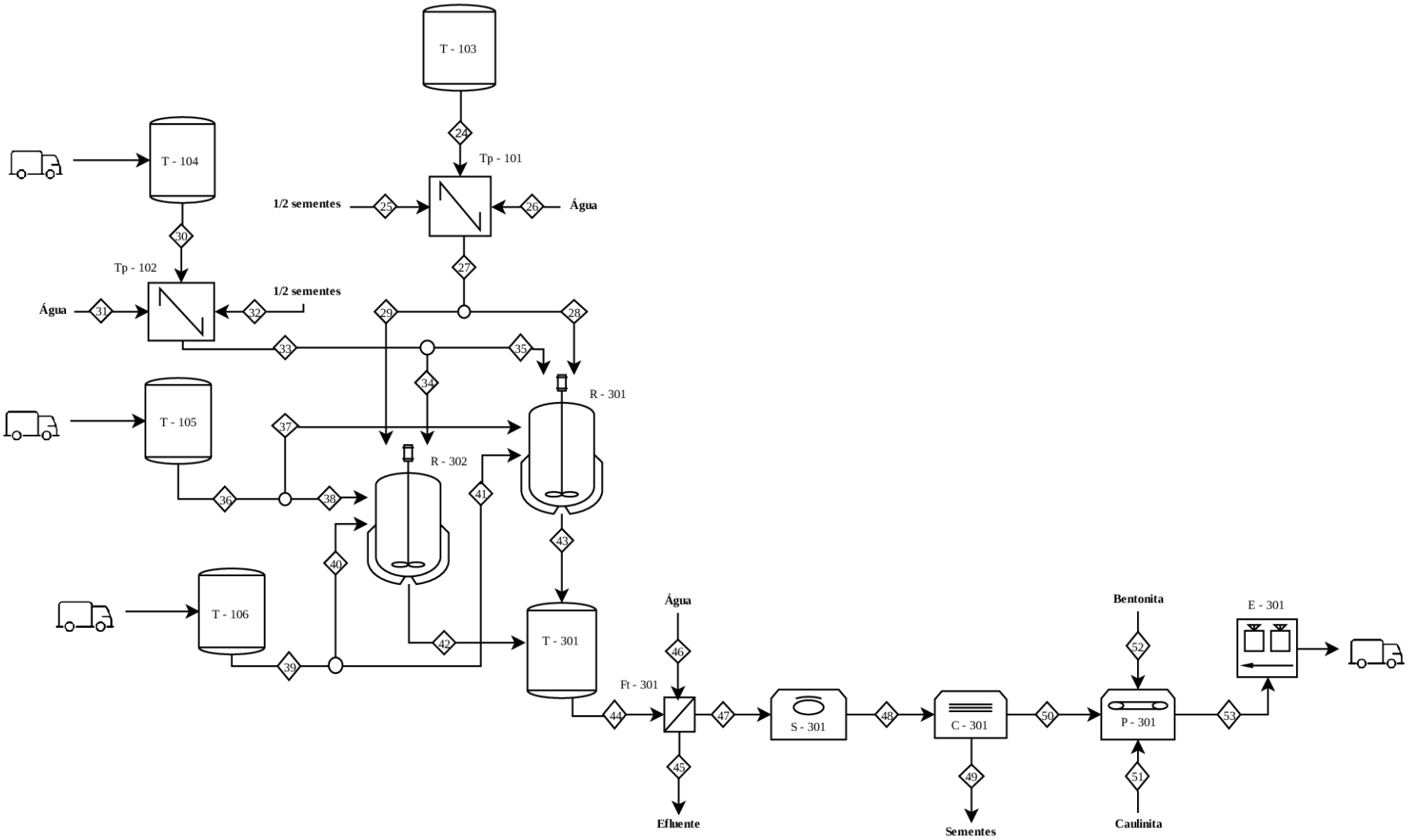
Como apresentado nas seções anteriores, a demanda de mercado da zeólita ZSM-5 é menor, ainda que esta tenha um alto valor agregado. Desse modo, estipulou-se o uso de 10% da produção de sílica para ser alocada na produção da ZSM-5. Os cálculos realizados estão apresentados no Anexo C, a Figura 17 apresenta um fluxograma do processo de síntese da zeólita ZSM-5 e a Tabela 9 o balanço de massa para as correntes.

Tabela 9 - Balanço de massa para obtenção da zeólita ZSM-5.

Corrente	Vazão mássica (kg/h)	Descrição
24	142,84	Solução de silicato de sódio a 19%
25	0,04	Metade das sementes
26	428,79	Complemento de água
27	571,67	Suspensão 1 (contendo as sementes e o silicato)
28	285,83	Metade da suspensão 1
29	285,83	Metade da suspensão 1
30	0,22	Aluminato de sódio sólido
31	428,79	Complemento de água
32	0,04	Metade das sementes
33	429,79	Suspensão 2 (contendo as sementes e o aluminato)
34	214,53	Metade da suspensão 2
35	214,53	Metade da suspensão 2
36	6,84	Ácido sulfúrico
37	3,42	Metade do ácido sulfúrico
38	3,42	Metade do ácido sulfúrico
39	406,25	Etanol
40	203,12	Metade do etanol
41	203,12	Metade do etanol
42	706,9	Contém a zeólita ZSM-5 obtida e efluente
43	706,9	Contém a zeólita ZSM-5 obtida e efluente
44	1413,9	Contém a zeólita ZSM-5 obtida e efluente
45	2195,54	Efluente do reator e água de lavagem
46	728,89	Água de lavagem
47	31,59	Produto zeólita úmido
48	24,30	Produto zeólita seco
49	0,08	Sementes para a próxima batelada
50	23,00	Zeólita calcinada
51	1,15	Bentonita
52	1,15	Caulinita
53	25,30	Pellets de zeólita ZSM-5

Fonte: Autores, 2020.

Figura 17 - Esquema de obtenção da zeólita ZSM-5.



Fonte: Autores, 2020.

6.2 BALANÇO DE ENERGIA

Nessa seção, serão abordados os dimensionamentos dos trocadores de calor e o balanço de energia dos processos previamente definidos e detalhados na Seção 5.

6.2.1 Demanda energética por equipamento

Nesse item, serão especificadas as demandas energéticas de cada equipamento do processo, com base em seu consumo em kWh/h e kWh/ano, demonstradas na Tabela 10. Os trocadores de calor serão abordados no item posterior. As simbologias estão apresentadas no Apêndice H e as demandas energéticas foram obtidas dos catálogos de cada componente ou por aproximação ao consumo de equipamentos semelhantes.

Tabela 10 - Consumo de energia da produção.

Equipamento	Demanda energética (kWh/dia)	Demanda energética (kWh/ano)
R-101	114,4	38.324
R-201	242	81.070
R-202	242	81.070
R-301	115,5	38.692,50
R-302	115,5	38.692,50
Fp-101	40,26	13.489,71
T-102	99	33.165
Tp-101	11	3.685
Tp-102	11	3.685
T-201	22	7.370
Ft-201	1452	13.489,71
S-201	69,6	23.316
C-201	140	3.360
T-301	11	3.685
Ft-301	1452	13.489,71
S-301	34,8	11.658
C-301	140	3.360
P-301	882,48	295.630,80
E-301	25	8.375
Total	-	1.722.095,43

Fonte: Autores, 2020.

6.2.2 Balanço de Energia e dimensionamento dos trocadores de calor

Com base nos dados de demanda energética dos equipamentos e de todo o processo de produção, estimou-se a quantidade de vapor necessária para geração de energia na planta, bem como foi possível selecionar os trocadores de calor para auxiliar no processo energético da produção. Ainda, lembra-se que os trocadores de calor não operarão 24 horas por dia, devido ao processo ser descontínuo, logo, a Tabela 11 indica o tempo de funcionamento de cada trocador de calor, que corresponde diretamente ao tempo total de reação de cada reator. Os cálculos estão apresentados no Apêndice F.

Na simbologia da Tabela 11, TC significa “trocador de calor” e os números representam a área onde cada trocador está disposto. Assim, o TC-201, por exemplo, é o trocador 1 da área 200, o TC-202 é o trocador 2 da área 200 e assim por diante.

Tabela 11 - Tempo de funcionamento de cada trocador de calor.

Trocador de Calor	Tempo de operação (h)
TC-101	8
TC-102	12
TC-201	12
TC-202	12
TC-301	21
TC-302	21

Fonte: Autores, 2020.

Ainda, as informações relacionadas à demanda energética, dimensionamento e seleção dos trocadores estão dispostas nos próximos itens.

6.2.2.1 Balanço de Energia e dimensionamento (TC-101)

O trocador de calor 101 tem como objetivo aquecer a água da reação da produção de silicato de sódio, que será destinada ao tanque de lixiviação (R-101). O fluido quente de entrada do trocador será água quente a 100 ºC, que aquecerá o fluido frio de entrada no tanque até 50ºC. A partir disso, o calor gerado do processo é de 834,77 MJ/h e a área de troca térmica do trocador é de 7,88 m².

O trocador de calor escolhido para o processo é do tipo casco e tubo, do modelo 1000 10” Shell, da Marca AMETEK, conforme indica o Anexo Z.

6.2.2.2 Balanço de Energia e dimensionamento (TC-102)

O trocador de calor 102 tem como objetivo aquecer o fluido de troca térmica da camisa de aquecimento do reator 101 (R-101), que realiza o processo de lixiviação da cinza da casca de arroz. Esse fluido será água condensada à 100ºC, que entrará na camisa de aquecimento do reator, mediante aquecimento no trocador de calor pelo fluido quente, vapor saturado, uma temperatura de 205ºC. Desse modo, o calor gerado do processo é de 897,75 MJ/h e a área de troca térmica do trocador é de 7,66 m².

O trocador de calor escolhido para o processo é do tipo casco e tubo, do modelo 1000 10” Shell, da Marca AMETEK, conforme indica o Anexo Z.

6.2.2.3 Balanço de Energia e dimensionamento (TC-201)

O trocador de calor 201 realiza o aquecimento, por meio de vapor saturado a 205ºC, do fluido de troca térmica da camisa de aquecimento do reator 201 (R-201), que entrará na camisa como água saturada a 110ºC. A essa temperatura, é possível que o fluido esteja em fase líquida devido à pressão interior da camisa de aquecimento ser superior à pressão atmosférica e, além disso, a camisa de aquecimento suporta pressões de até 10 bar. Esse processo gerará um calor de 408,985 MJ/h e sua área de troca térmica é de 3,3 m².

O trocador de calor escolhido para o processo é do tipo casco e tubo, do modelo 218 10” Shell, da Marca AMETEK, conforme indica o Anexo Z.

6.2.2.4 Balanço de Energia e dimensionamento (TC-202)

O trocador de calor 202, assim como o TC-201, realiza o aquecimento, por meio de vapor saturado a 150ºC, do fluido de troca térmica da camisa de aquecimento do reator 202 (R-202), que entrará na camisa como água saturada a 110ºC. Esse processo também gerará um calor de 408,985 MJ/h e sua área de troca térmica é de 3,3 m².

O trocador de calor escolhido para o processo é do tipo casco e tubo, do modelo 218 10” Shell, da Marca AMETEK, conforme indica o Anexo Z.

6.2.2.5 Balanço de Energia e dimensionamento (TC-301)

O trocador de calor 301 realizará o aquecimento do fluido de troca térmica da camisa de aquecimento do reator 301 (R-301), por meio de vapor saturado a 250ºC, aquecendo o óleo mineral que entrará na camisa até 190ºC. Esse processo gerará um calor de 487,31 MJ/h, e área de troca térmica do trocador de 10,6 m². A escolha do óleo mineral deu-se devido à maior temperatura necessária neste processo.

O trocador de calor escolhido para o processo é do tipo casco e tubo, do modelo 525 10” Shell, da Marca AMETEK, conforme indica o Anexo Z.

6.2.2.6 Balanço de Energia e dimensionamento (TC-302)

Assim como o trocador 301 (TC-301), o trocador de calor 302 é responsável pelo aquecimento do fluido de troca térmica da camisa de aquecimento do reator 302 (R-302), aquecendo por meio de vapor saturado a 250ºC, o óleo mineral que entrará na camisa a 180ºC. Esse processo gera um calor de 487,31 MJ/h e área de troca térmica do trocador de 10,6 m².

O trocador de calor escolhido para o processo é do tipo casco e tubo, do modelo 525 10" Shell, da Marca AMETEK, conforme indica o Anexo Z.

6.3 PROJETO DOS EQUIPAMENTOS

6.3.1 Tancagem pré e pós processo

6.3.1.1 Tanques de armazenamento de casca e cinza da casca de arroz (TQ-101, TQ-102 e TQ-103)

Segundo o Conab (2019), os meses de colheita do arroz no RS são fevereiro, março, abril e maio. Desta forma, nestes meses tem-se disponível casca de arroz para produção das zeólitas. Todavia, nos meses em que não realiza-se a colheita, é necessário ter estoque deste produto para que a planta não pare. A casca de arroz é recebida de fevereiro a maio e será estocada para atender a demanda do ano, tanto para o processo tanto para alimentar a caldeira.

A demanda de casca de arroz para a indústria é em torno de 14 mil toneladas, sendo que estas correspondem a aproximadamente 2500 toneladas anuais de cinza de casca de arroz. A indústria arrozeira de Pelotas possui capacidade de atender esta demanda, pois produz cerca de 45 mil toneladas de cinzas anualmente. Da mesma forma, para alimentar a caldeira continuamente são necessárias cerca de 21.000 toneladas de arroz por ano, quantidade também disponível na região. Assim, buscou-se organizar um sistema de armazenamento que recebesse casca de arroz e a armazene nos meses de fevereiro, março, abril e maio. Para tanto, construiu-se a tabela presente na Figura 18 e utilizou-se do recurso "Solver" presente no LibreOffice Calc para calcular o quanto deve ser armazenado em cada mês para que ao final da colheita tenha-se matéria-prima suficiente para atender a demanda anual.

Figura 18 - Programação do armazenamento da casca de arroz.

ton/mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Recebe	-	3616,61	5016,63	5950,02	6416,74	-	-	-	-	-	-	-
Possui	1750,00	-	1866,61	5133,24	9333,26	14000,00	12250,00	10500,00	8750,00	7000,00	5250,00	3500,00
Consome	1750,00	1750,00	1750,00	1750,00	1750,00	1750,00	1750,00	1750,00	1750,00	1750,00	1750,00	1750,00
Armazena	-	1866,61	3266,63	4200,02	4666,74	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autores, 2020.

Analisando os dados apresentados na Figura 18, é necessário ao mês de junho ter uma quantidade de 14.000 toneladas de casca de arroz “em estoque”. Portanto, é necessário selecionar tanques de armazenamento/silos que comportem esta quantidade. Como a queima da casca de arroz é feita continuamente pela empresa não é necessário um silo que armazene CCA para uso ao longo do ano, sendo, então, selecionado apenas um tanque para estoque do equivalente a uma semana de queima de CA. Todavia, aproximadamente 30% da cinza obtida será descartada, pois a demanda para a caldeira é maior que a demanda para o processo.

Para calcular o volume dos tanques necessários partiu-se da densidade da casca de arroz (1400 kg/m³) e de uma porosidade aproximada de 40%. Desta forma, o volume necessário para armazenar as 14 mil toneladas de casca de arroz é de 25.000 m³. Para tanto, selecionou-se 2 silos de fundo plano da marca KeplerWeber de aproximadamente 15.000 m³ cada, TQ-101 e TQ-102, sendo que eles apresentam diâmetro de 31,83 m e altura total de 25,06 m. O catálogo do silo selecionado está presente no Anexo K.

Da mesma forma, selecionou-se um silo para armazenar cerca de uma semana de produção de cinza de casca de arroz, TQ-103, estando presente no Anexo L. Este silo é elevado e apresenta 25,4 m³.

6.3.1.2 Tanque de armazenamento do hidróxido de sódio (TQ-104)

O hidróxido de sódio 50% será armazenado em um tanque de fundo e topo abaulados, com capacidade de armazenamento para 12 dias de produção, com volume útil de 100 m³. Será feito de polipropileno de alta densidade, uma vez que a base nele armazenada é forte e está em alta concentração, e terá isolamento térmico, para evitar que a solução chegue ao ponto de congelamento ou vaporização. Terá altura total de 9,09 m e diâmetro de 4 m. Mais detalhes podem ser encontrados no Anexo B.

O tanque estará localizado fora do pavilhão produtivo e contará com uma bacia de contenção com volume útil superior ao volume máximo de líquido armazenado, para o caso de derramamentos. A empresa fornecedora deste equipamento será a Tecniplas, de Cabreúva - SP.

6.3.1.3 Tanque de armazenamento do aluminato de sódio (TQ - 105)

O aluminato de sódio será sólido e, portanto, armazenado em tanque de aço inoxidável, com topo reto e fundo cônico, também fornecido pela Tecniplas. O tanque terá capacidade para suprir 15 dias de produção, ou seja, deverá armazenar 86 m³. Sendo assim, terá volume total de 100 m³, com as mesmas dimensões do tanque de hidróxido de sódio descrito anteriormente. Demais detalhes estão apresentados no Anexo B.

6.3.1.4 Tanque de armazenamento de ácido sulfúrico (TQ-106)

O armazenamento de ácido sulfúrico terá a capacidade de suprir 16 dias de produção e o recebimento ocorrerá a cada 16 dias. Desta forma, o tanque precisa comportar 1,44 m³ de ácido. Selecionou-se um tanque com topo e fundo abaulado, com capacidade útil de 1,5 m³. O tanque será de aço inox e revestido internamente por vidro e será ligado a uma bacia de contenção com volume ligeiramente maior.

6.3.1.5 Tanque de armazenamento de etanol (TQ-107)

O tanque que armazena etanol terá capacidade de suprir 7 dias de produção da zeólita ZSM-5, sendo que o recebimento deste produto será semanalmente. O tanque precisa comportar um volume de 86,5 m³ de etanol comercial 92,8 % m/m, sendo selecionado um tanque de fundo e topo plano da marca Tecniplas, de aço inox 304, possuindo este 3,8 m de diâmetro e 7,94 m de altura, com volume útil de 90 m³. O tanque selecionado está presente no Anexo B. Este tanque estará ligado a uma bacia de contenção de maior volume.

6.3.2 Equipamentos do processo

6.3.2.1 Reator de lixiviação (R-101)

Nesta etapa, será necessário um tanque agitado, com fundo cônico, volume de 20 m³ e encamisado para realizar o aquecimento e manutenção da temperatura em torno 90°C. A agitação deste tanque será feita através de um impelidor de 3 pás, com consumo de 5,5 kW. Este volume é o necessário para suprir a demanda em 3,2 bateladas por dia, com aproximadamente 20% de volume morto.

6.3.2.2 Tanque pulmão da lixívia (TQ-108)

Este tanque é alocado logo após o tanque de lixiviação e fornece suspensão para a filtração a seguir. Este tanque tem capacidade de 20 m³, suficiente para comportar um pouco mais de uma batelada da reação anterior. Possuirá uma agitação lenta, de modo a manter a mistura em suspensão enquanto esta é bombeada até o filtro. Também faz-se necessário selecionar um agitador para manter a mistura em suspensão, sendo escolhido um agitador portátil segundo Anexo C, da marca Agitec.

6.3.2.3 Filtro tipo prensa (F-101)

O filtro tipo prensa foi escolhido devido ao seu processo em batelada e ao seu baixo custo de manutenção. Será da marca Tecitec de Barueri - SP, automática, do modelo TTI-FP7 com 30 placas de lado 1500 mm e com as demais dimensões apresentadas no Anexo D. Este equipamento terá capacidade para filtrar metade da batelada da lixívia que ocorre anteriormente, de modo a necessitar a aplicação de um tanque pulmão anterior ao filtro. Não haverá lavagem da torta, de modo a não diluir o produto.

6.3.2.4 Tanque de armazenamento do silicato de sódio (TQ-109)

O silicato de sódio será armazenado em um tanque de fibra de vidro, com fundo e topo abaulados, fornecido pela Tecniplas, de Cabreúva - SP. O tanque terá capacidade para suprir dois dias de produção de zeólitas, tendo de comportar 63,2 m³. Assim, o tanque terá capacidade para 70 m³, com diâmetro total de 4 m, sendo também ligado a uma bacia de contenção com

volume ligeiramente maior para o caso de derramamentos. Mais detalhes estão apresentados no Anexo B.

6.3.2.5 Tanque de mistura da suspensão com aluminato de sódio (TL-101)

O tanque de mistura da suspensão com aluminato de sódio precisa comportar cerca de 13 m³, uma vez que este é o volume necessário para um dia, sendo suficiente uma vez que é apenas um tanque de "pré-mistura". Selecionou-se um tanque de topo reto e fundo abaulado da marca Tecniplas, de aço inox, e volume de 15 m³, possuindo diâmetro de 2 m e altura de 5 m. Também é necessário selecionar um agitador para pré-misturar o aluminato com as sementes, sendo escolhido um agitador portátil da marca Agitec, presente no Anexo C.

6.3.2.6 Tanque de mistura da suspensão com silicato de sódio (TL-102)

O tanque de mistura da suspensão com silicato de sódio precisa comportar cerca de 13 m³, sendo este o volume necessário para um dia, suficiente pois é apenas um tanque de "pré-mistura". Por ser uma suspensão, selecionou-se um tanque de fundo cônico e tampo reto da marca Tecniplas, de aço inox, e volume de 15 m³, possuindo diâmetro de 2 m e altura de 4,945 metros, segundo Anexo B. Também é necessário selecionar um agitador para misturar a suspensão, sendo escolhido um agitador portátil segundo Anexo C, da marca Agitec.

6.3.2.7 Reatores com agitação encamisados (R-201, R-202, R-301, R-302)

Para os reatores das zeólitas A e ZSM-5, optou-se por tanques de fundo redondo, com turbinas de pás inclinadas 45º, possibilitando um fluxo radial na suspensão. O reator apresenta serpentina de aquecimento para o tratamento térmico da mistura reacional, assim como camisa de aquecimento, para melhor controle da temperatura de operação durante a cristalização. O volume selecionado foi de 25 m³, considerando uma margem de segurança de 25% no volume das bateladas de cada zeólita, que totalizam 41,4 m³ divididos entre os reatores da zeólita 4A (R-201 e R-202) e 50,25 m³ divididos entre os reatores da zeólita ZSM-5 (R-301 e R-302).

6.3.2.8 Tanque pulmão para suspensão de produtos (TQ-201 e TQ-301)

Este tanque será responsável pela alimentação do filtro continuamente. Terá capacidade de armazenar a produção de um dia. Para a zeólita 4A é necessário um tanque pulmão de 50 m³ e para a ZSM-5 um de 40 m³.

6.3.2.9 Filtros tambor (F-201 e F-301)

A filtração da suspensão ocorrerá por meio de um filtro tambor rotativo, possuindo grande área de filtração, com faixa de fluxo que varia de 5 m³/h até 150 m³/h, podendo ser regulado pela necessidade do tanque pulmão. A faixa granulométrica apresentada pelo filtro é de 40 µm à 300 µm, e a granulometria do produto é de 74 µm, acarretando em uma filtração eficiente e dentro dos parâmetros operacionais do equipamento.

6.3.2.10 Secadores Rotativos (SR-201 e SR-301)

Jusante à centrífuga, duas características do produto auxiliam a seleção do secador que será utilizado, sendo elas:

1. Processo contínuo;
2. Produto com consistência de lodo/pasta.

Assim, segundo Park *et al.* (2007), o secador mais adequado a se utilizar para atender as especificações descritas é o secador rotativo contínuo. Na escolha do tipo de secador buscou-se observar as vazões mássicas das zeólitas 4A e ZSM-5 a fim de atender a capacidade do aparelho. Para tanto, selecionou-se o Secador Rotativo Contínuo de modelo SRCZ-1 da marca ZACCARIA, presente no Anexo E.

6.3.2.11 Calcinador (C-201 e C-301)

Para realizar a calcinação das zeólitas buscou-se selecionar um forno que fosse contínuo e também atendesse a demanda de produção. Desta forma, selecionou-se o forno rotativo da MSE Furnance, presente no Anexo F. O produto migra de uma extremidade a outra, de maneira que o tempo de residência pode ser ajustado conforme a rotação definida.

6.3.2.12 Peletizadora (P-301)

Para a comercialização das zeólitas ZSM-5, que possuem dimensão de produção na escala de nm, o produto passará por um processo de peletização. A peletizadora selecionada será a Peletizadora Chavantes Modelo de 50CV da empresa Peletizadora Chavantes, disposto no Anexo G, e terá capacidade de produção de até 1200 kg/h sem vapor e 4000 kg/h com vapor. Desse modo, para adequar à produção atual, ela realizará a peletização de 538,7 kg/dia de zeólitas, mediante a adição de 53,87 kg/dia de aglutinantes, fornecendo, assim, 590,7 kg/dia de pellets de zeólita ZSM-5.

6.3.2.13 Ensacadeiras (E-301)

Posterior à produção finalizada de zeólitas 4A e ZSM-5, a empresa contará com ensacadeiras para o processo de ensacagem dos produtos e posterior distribuição. A zeólita 4A será ensacada em embalagens de 50kg e a zeólita ZSM-5 será ensacada em embalagens de 20kg, ambas de polietileno. A máquina selecionada será a ensacadeira vertical bobinada automática da KN Waagen-Modelo 28000 B (Anexo H) em aço inox equipada com comando eletrônico com PLC, IHM Touch Screen e inversores de frequência e fotocélula, que possui a capacidade de ensacar embalagens de 5 a 50 kg com uma produção de 10 a 30 sacos por minuto.

Desse modo, adaptando à necessidade de produção da empresa, serão produzidos 30 sacos por dia de zeólita ZSM-5 e 222 sacos de zeólita 4A durante 335 dias de produção anual. Dessa forma, o período máximo de estoque desses produtos será de 5 dias, a fim de maximizar rotatividade do estoque dos produtos.

6.3.3 Equipamentos auxiliares

6.3.3.1 Torre de resfriamento (TR-501)

A definição da torre de resfriamento levou em consideração as vazões dos trocadores de calor que aquecem os fluidos de troca térmica, sendo estes TC-101, TC-201 e TC-202, totalizando aproximadamente 5,06 m^3/h. O modelo definido foi da marca Vettor, VTF8, com bacia de fibra de vidro, ventilação forçada e distribuição por pressão/gravidade, possuindo uma vazão média de 15 m^3/h. As especificações técnicas da torre de resfriamento estão dispostas no Anexo Q.

6.3.3.2 Bombas

A escolha das bombas foi definida levando em consideração a maior vazão do processo, do reator da zeólita ZSM-5. Serão utilizadas 15 bombas do mesmo modelo, PGP075/076, da marca Parker Hydraulics, suportando uma vazão de 231 L/min, apresentando rotação de 1500 rpm e bitola de 2 ½”. Além disso, o modelo possui potência de 109 HP. Nas demais etapas do processo, o controle da vazão necessária será controlado por válvulas. As especificações da bomba estão presentes no Anexo M.

6.3.3.3 Transporte de sólidos

Para o transporte dos sólidos, definiu-se a utilização de um alimentador transportador da marca Branorte. Este será utilizado para o transporte da cinza da casca de arroz do tanque de armazenamento (TQ-102) para o reator de lixiviação (R-101). Suas especificações estão dispostas no Anexo N. Para o transporte dos filtros tambor (F-201 e F-301) para as secadoras (SR-201 e SR-301), das secadoras para os calcinadores (C-201 e C-301) e do calcinador (C-301) para a peletizadora (P-301) foram utilizadas roscas transportadoras, da marca Branorte, com extensões dispostas na Tabela 12. As especificações das roscas transportadoras estão dispostas no Anexo O.

Tabela 12 - Extensão das roscas transportadoras.

Trecho		**Extensão (m)**
F-201	SR-201	2,75
F-301	SR-301	5,5
SR-201	C-201	6,8
SR-301	C-301	6,0
C-301	P-301	6,0

Fonte: Autores, 2020.

Para o transporte final do calcinador (C-201) e da peletizadora (P-301) para a ensacadeira (E-301), definiu-se a utilização de calhas transportadoras, da marca Branorte, de extensão 8,4 m e 12,5 m respectivamente. As especificações das calhas transportadoras estão dispostas no Anexo P.

6.3.3.4 Caldeira (CA-101)

A caldeira foi selecionada de maneira a atender dois critérios:

1. Suprir a demanda de vapor da indústria (181.944 kgv/dia);
2. Utilizar biomassa como combustível (para queima de casca de arroz, serragem, cavaco, entre outros).

Desta forma, selecionou-se uma caldeira flamotubular de grelha móvel da marca SECAMAQ, sendo que suas especificações estão apresentadas no Anexo J. Esta caldeira tem capacidade de produção de vapor maior que a demanda da indústria e trabalha em uma faixa de operação de até 30 kgf/cm², podendo ser alimentada com casca de arroz, serragem, cavaco, entre outros. Ainda, esta caldeira trabalhará a uma pressão de 17,6 kgf/cm², proporcionando uma temperatura de saída do vapor de 205 ºC.

Esta caldeira queima, aproximadamente, 2,59 toneladas de casca de arroz por hora a fim de atingir a qualidade do vapor, os cálculos de balanço energético para a caldeira estão detalhados no Apêndice E.

6.4 TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os resíduos foram separados em efluentes sólidos e líquidos, sendo assim atribuídas diferentes destinações para os mesmos. Os efluentes sólidos da planta industrial estão localizados no reator R-101 na área 100, sendo este originado da lixiviação da cinza da casca de arroz, de 6178,75 kg/batelada. Além deste, o lodo proveniente do decantador (D-401) da estação de tratamento de efluentes e a torta do filtro prensa (F-101) da área 100, de 2309,11 kg/batelada. As nomenclaturas dos equipamentos podem ser encontradas no Apêndice H. Estes resíduos não serão tratados na planta industrial, sendo destinados ao aterro sanitário mais próximo.

Os efluentes líquidos da planta industrial estão localizados no gel reacional do tratamento térmico dos reatores R-201/ R-202 e R-301/ R-302 e nos filtros tambores F-201 e F-301 das áreas 200 e 300, nas linhas produtivas da zeólita 4A e zeólita ZSM-5, respectivamente.

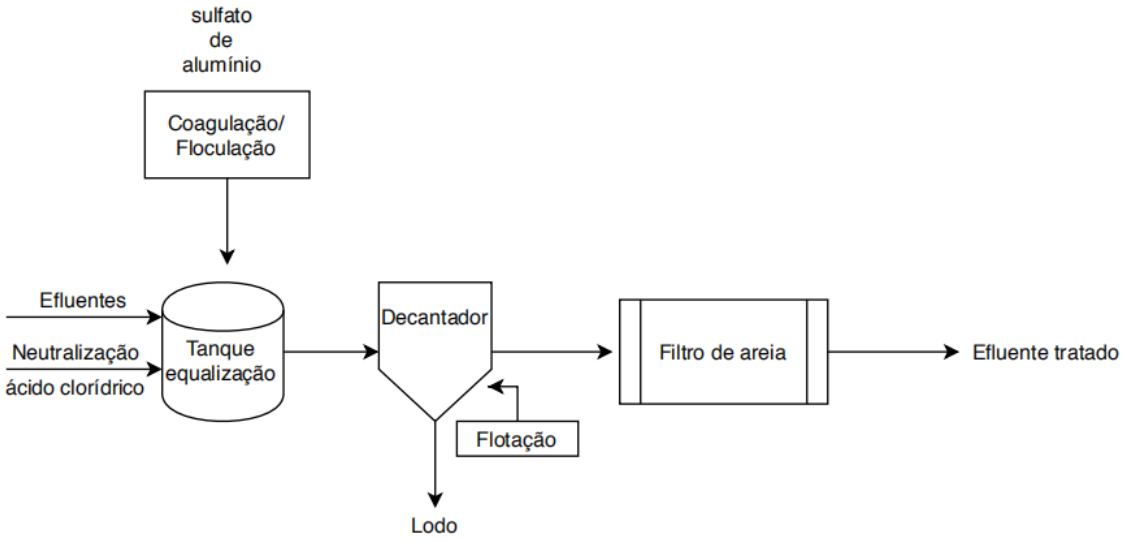
Antes do seu tratamento, será realizada a análise do pH de cada corrente, a fim de propiciar a escolha correta dos reagentes. Na linha referente a zeólita 4A, o gel reacional do tratamento térmico apresenta pH básico, devido ao fato de os dois reagentes, aluminato de sódio

e silicato de sódio, apresentarem pH alcalino elevado, de 12 e 11,5 respectivamente. Essa corrente apresenta a saída do gel reacional após o tratamento hidrotérmico, de 12 m³/batelada. O filtro tambor F-201 desta linha apresentará efluente de mesmo caráter, visto que é proveniente de uma lavagem da matéria-prima, de 140 m³/batelada. Ambos efluentes necessitarão de tratamento químico de neutralização para descarte e somam um volume de 152 m³/batelada de zeólita 4A.

A linha referente a zeólita ZSM-5 apresenta efluente neutro, pois em sua mistura há um componente básico com pH de 11,5, sendo este o silicato de sódio, e ácido sulfúrico, ácido considerado forte, de pH baixo, de aproximadamente 2. O primeiro efluente dessa linha, proveniente do reator, representa a saída do gel reacional que não cristaliza durante o tratamento hidrotérmico, de aproximadamente 35 m³/batelada. Já o segundo, proveniente do filtro de tambor rotativo, é oriundo da lavagem dos cristais, e apresenta volume de 40 m³/batelada. Ambos efluentes somam 75 m³/batelada de zeólita ZSM-5.

Assim, para o tratamento dos efluentes industriais originados na planta, montou-se um processo de tratamento antes da disposição dos mesmos no meio ambiente, representado pela Figura 19.

Figura 19 – Fluxograma do processo de tratamento de efluentes.



Fonte: Autores, 2020.

No processo, utilizou-se um tanque de equalização para a mistura dos efluentes líquidos das áreas 200 e 300, juntamente com a neutralização do pH básico utilizando-se ácido clorídrico. Após, no mesmo equipamento, acontece a adição de hidróxido de ferro e alumínio e de sulfato de alumínio para a coagulação e floculação da suspensão sólida, respectivamente. A

próxima etapa do processo é a decantação das partículas, onde a maior parte da suspensão sólida é extraída na corrente de lodo, e a corrente majoritariamente líquida com as partículas sólidas remanescentes seguem para o filtro que areia, que possui como finalidade a separação destas da corrente de efluente tratado final.

6.4.1 Escolha dos equipamentos

6.4.1.1 Tanque de equalização (T-401)

Para o tanque de equalização, optou-se por um volume de 250 m³, considerando uma margem de segurança para os 227 m³ recebidos a cada batelada das zeólitas. Assim, o tanque de equalização poderá funcionar ao fim do processo produtivo ou continuamente com volumes menores. O tanque, da marca DheyTecnica, especificado no Anexo R, é confeccionado em formato cilíndrico com fundo plano, fabricado em aço inox ou aço carbono, e terá como objetivo a homogeneização dos efluentes, controlando o pH para posteriores tratamentos.

6.4.1.2 Decantador (D-401)

O decantador selecionado é da marca Tecitec, especificado no Anexo S, tendo como objetivo a retirada dos sólidos da suspensão. É fabricado em PRFV ou em aço carbono revestidos com pintura a base de epóxi bi-componente ou aço inox. Possui módulos lamelares em PVC, flanges de entrada e saída e câmera de floculação, e proporciona um rendimento mínimo de 97% de decantação. O modelo escolhido é o TTIDL-30, possuindo vazão de 300.000 L/h. No processo de tratamento de efluentes, pode-se variar a vazão de acordo com o volume armazenado no tanque de equalização, sendo que, se for escolhida a vazão máxima, esta seja suficiente para o tratamento da batelada de efluente recebida, antes que a próxima seja descarregada.

6.4.1.3 Filtro de carvão areia (F-401)

Para a última etapa do tratamento dos efluentes, optou-se por um filtro de areia da marca Naturaltec, especificado no Anexo T, de forma a retirar os sólidos remanescentes das etapas anteriores. O filtro escolhido é o SN-AC 100, possuindo vazão indicada na faixa de 35.000 L/h e área filtrante de 0,785 m², confeccionado em aço carbono. O meio filtrante possui

granulometria de 0,5 a 0,9 mm, podendo operar em temperatura máxima de 50°C e mínima de 5°C.

7 PROJETO DAS INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

Nesta seção, será discutido o projeto e dimensionamento das instalações industriais, principalmente de utilidades. Estas instalações incluem água fria, tanto do processo quanto para acessórios, água quente, vapor e condensado, gás liquefeito de petróleo, óleo mineral e ar comprimido.

7.1 ÁGUA FRIA

7.1.1 Reservatórios de água

Para cumprir a demanda de água necessária ao processo e demais demandas, foram definidos 2 reservatórios, nomeados TQ-501 e TQ-502. Dos três, o primeiro será unicamente para cumprir a demanda de água do processo e a água de utilidade, que passa pelos trocadores de calor. O segundo reservatório suprirá as demandas menores, como torneiras, pias, vasos sanitários etc.

Analisando as demandas de água para o processo, mais a demanda dos trocadores, o volume de água necessário gira em torno de 545 m³ diários. Deste modo, considerando também a purga eventual da caldeira, o volume total diário consumido giraria em torno de 600 m³. Assim, o reservatório TQ-501 terá capacidade para suprir meio dia de produção, ou seja, 300 m³.

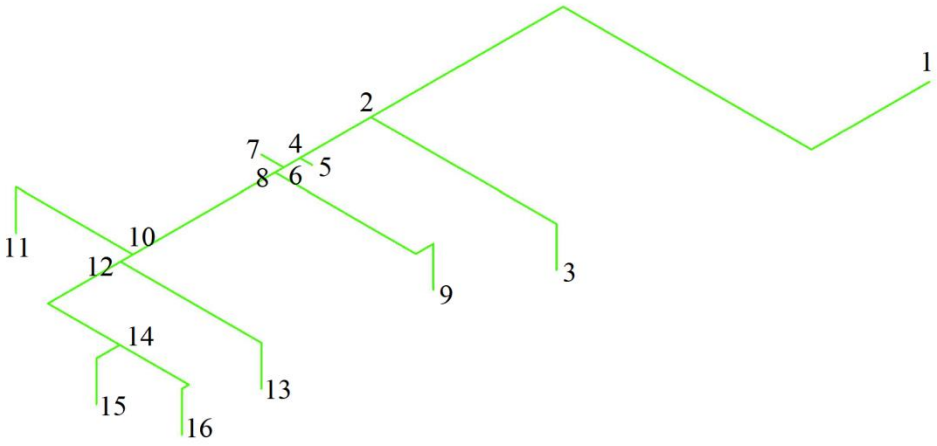
Já o reservatório TQ-502 será ligeiramente menor, uma vez que a demanda de água desta linha é bem inferior quando comparada às demais. Para consumo de água doméstica, Macintyre (2010) traz que o padrão adotado para o reservatório de água é que este atenda à demanda de 1 dia, neste caso, em torno de 8 m³. Além disto, também será adicionado a água da reserva técnica de incêndio. Deste modo, o TQ-502 terá volume de 100 m³.

Ambos os reservatórios ficam elevados 20 m com relação ao solo, não sendo necessária a utilização de bombeamento para a distribuição da água.

7.1.2 Instalações de água para o processo

A tubulação de água para o processo será de aço-carbono e pintada de verde. A Figura 20 apresenta um esquema destas tubulações e dos trechos cujas especificações estão apresentados na Tabela 13. O cálculo das bitolas está apresentado no Apêndice G.

Figura 20 - Esquema da tubulação de água para o processo.



Fonte: Autores, 2020.

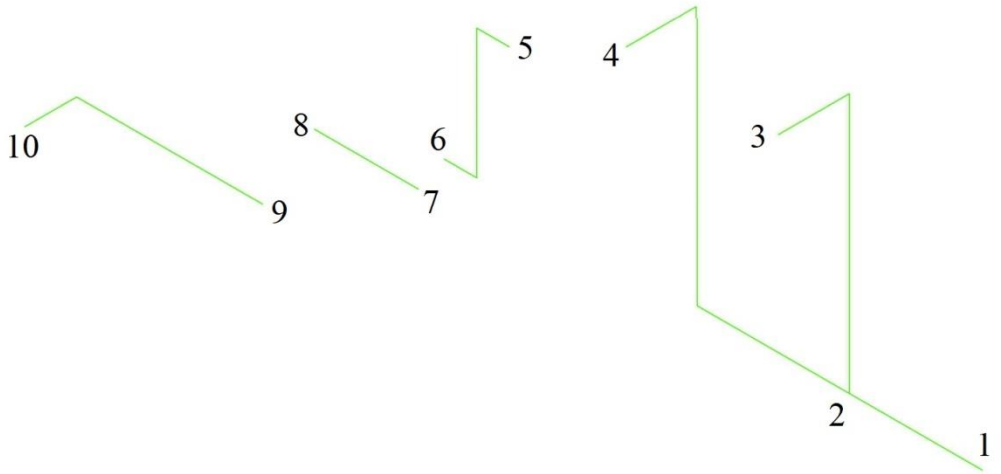
Tabela 13 - Características da tubulação de água para o processo.

Trecho	Comprimento (m)	Acessórios	Bitola (in)
1 - 2	69,97	Válvula de abertura manual e 2 joelhos 90º	3"
2 - 3	28,2	Tê, joelho 90º e válvula manual	¾"
2 - 4	8,91	-	3"
4 - 5	1,52	Tê e válvula manual	¾"
4 - 6	2,05	-	3"
6 - 7	2,8	Tê e válvula manual	¾"
6 - 8	1,08	-	3"
8 - 9	24,87	Tê, 2 joelhos 90º e válvula manual	1 ½"
8 - 10	17,81	-	2"
10 - 11	19,66	Tê, joelho 90º e válvula manual	¾"
10 - 12	1,56	-	2"
12 - 13	22,67	Tê, joelho 90º e válvula manual	¾"
12 - 14	17,94	Joelho 90º	2"
14 - 15	7,92	Tê, joelho 90º e válvula manual	2"
14 - 16	14,54	2 joelhos 90º e válvula manual	¾"

Fonte: Autores, 2020.

Já a Figura 21 traz uma visualização das tubulações de água de alimentação dos reservatórios e também da alimentação da caldeira, cuja água passa pelo deionizador e é armazenada em um tanque, denominado TQ-503. A Tabela 14 traz as especificações desta linha.

Figura 21 - Esquema da tubulação de água para o abastecimento de reservatórios e caldeira.



Fonte: Autores, 2020.

Tabela 14 - Características da tubulação de água de abastecimento de reservatórios e caldeira.

Trecho	Comprimento (m)	Acessórios	Bitola (in)
1 - 2	69,97	Joelho 90º	4"
2 - 3	28,2	Tê e joelho 90º e válvula manual	3/4 "
2 - 4	8,91	2 joelhos 90° e válvula manual	3"
5 - 6	1,52	2 joelhos 90° e válvula manual	1"
7 - 8	2,05	-	1"
9 - 10	14,54	Joelho 90° e válvula	2"

Fonte: Autores, 2020.

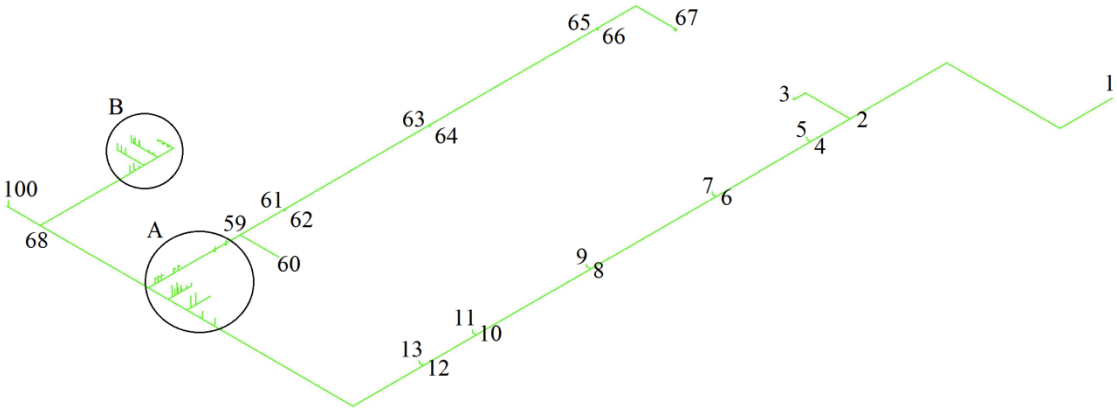
As especificidades do deionizador estão apresentados no Anexo U. No dia a dia, considera-se que há 5% de perda de vapor que deve ser reposto, totalizando uma reposição de aproximadamente 9 m³ diários. Entretanto, o deionizador permitirá maior vazão horária para suprir o volume total da caldeira, quando há a purga desta. O tanque TQ-503 também terá capacidade para abastecer a caldeira totalmente, tendo capacidade para 200 m³, por mais que

permaneça com armazenamento inferior na maior parte do tempo, suficiente para fazer diferença caso seja necessária uma reposição de emergência.

7.1.3. Instalações de água fria

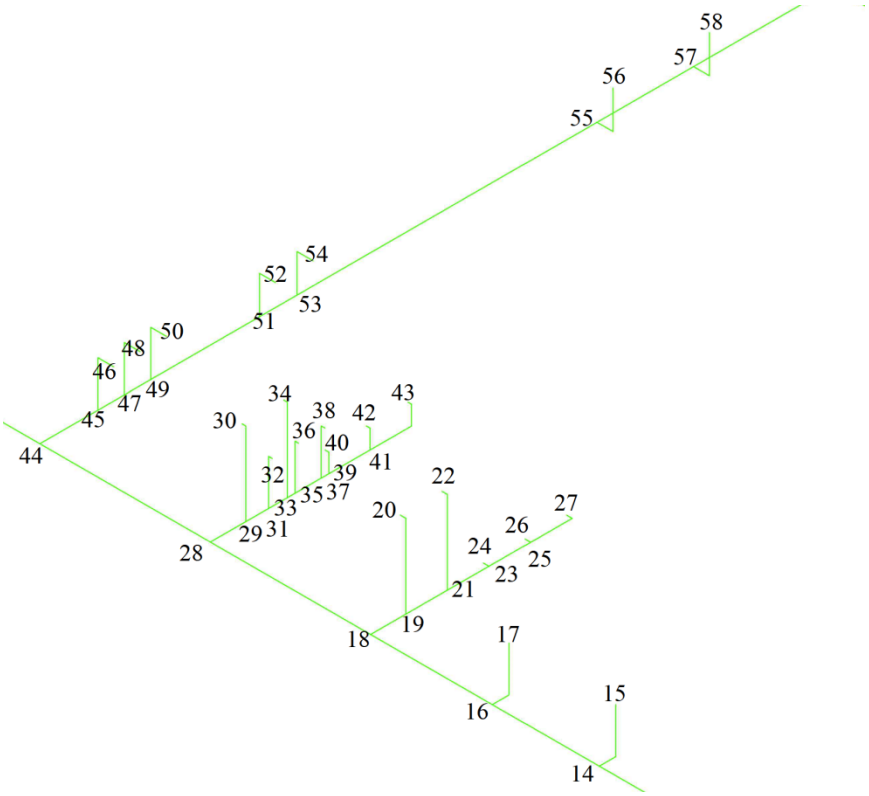
A tubulação de água fria será em PVC rígido. A Figura 22 apresenta as tubulações, com dois cortes, A e B, sendo estes apresentados nas Figuras 23 e 24, respectivamente, apresentando aproximações de trechos das tubulações para melhor entendimento. No apêndice G, encontram-se os cálculos para estimação das bitolas.

Figura 22 - Esquema da tubulação de água fria.



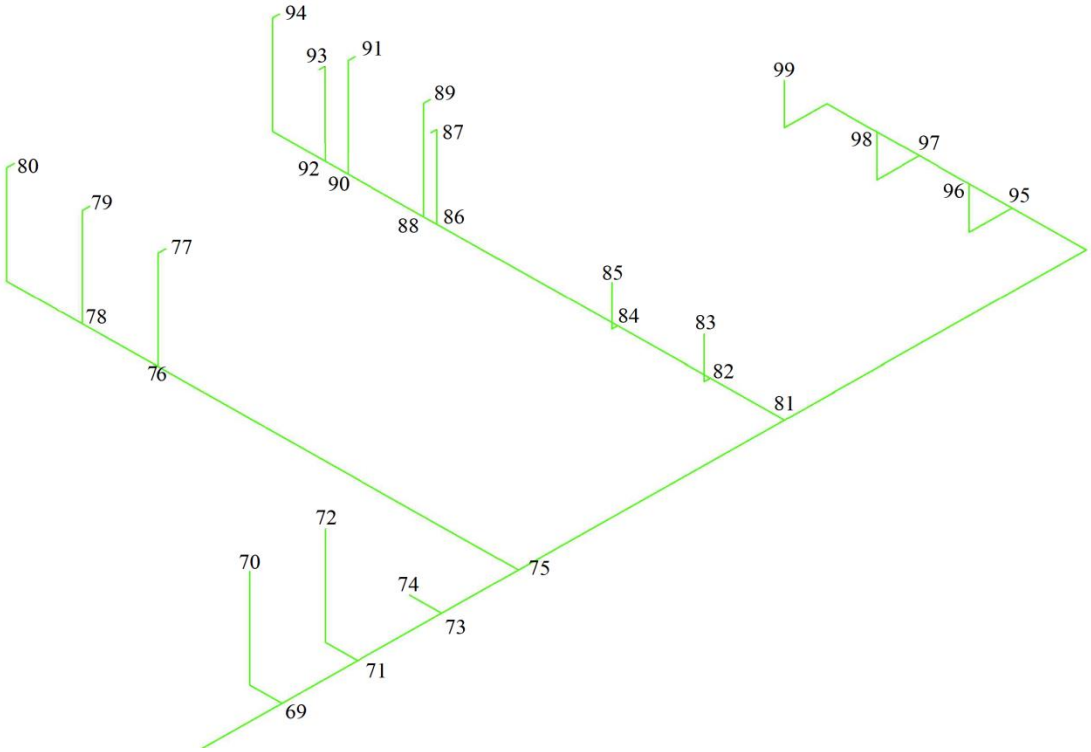
Fonte: Autores, 2020.

Figura 23 - Corte A referente à Figura 22.



Fonte: Autores, 2020.

Figura 24 - Corte B referente à Figura 22.



Fonte: Autores, 2020.

Tabela 15 - Características da tubulação de água fria.

(continua)

Trecho	Comprimento (m)	Acessórios	Bitola (in)
1 - 2	22,1	3 joelhos 90º e válvula manual	¾
2 - 3	37,7	Tê e 2 joelhos 90º	½
2 - 4	9,01	-	¾
4 - 5	1,46	Tê	½
4 - 6	21,6	-	¾
6 - 7	1,46	Tê	½
6 - 8	28,67	-	¾
8 - 9	1,46	Tê	½
8 - 10	26,06	-	¾
10 - 11	1,46	Tê	½
10 - 12	12,11	-	¾
12 - 13	1,46	Tê	½
12 - 14	48,03	Joelho 90º	¾
14 - 15	1,64	Tê e joelho 90º	½
14 - 16	2,83	-	¾
16 - 17	1,64	Tê e joelho 90º	½
16 - 18	3,23	Válvula manual	¾
18 - 19	0,94	Tê	¾
19 - 20	2,35	Tê e joelho 90º	½
19 - 21	1,1	-	¾
21 - 22	2,35	Tê e joelho 90º	½
21 - 23	1,1	-	¾
23 - 24	0,15	Tê	½
23 - 25	1,1	-	¾
25 - 26	0,15	Tê	½
25 - 27	1,25	Joelho 90º	½
18 - 28	4,25	-	¾

Tabela 15 - Características da tubulação de água fria.

(continuação)

Trecho	Comprimento (m)	Acessórios	Bitola (in)
28 - 29	0,94	Tê	¾
29 - 30	2,35	Tê e joelho 90º	½
29 - 31	0,6	-	¾
31 - 32	1,35	Tê e joelho 90º	½
31 - 33	0,5	-	¾
33 - 34	2,35	Tê e joelho 90º	½
33 - 35	0,2	-	¾
35 - 36	1,35	Tê e joelho 90º	½
35 - 37	0,7	-	¾
37 - 38	1,35	Tê e joelho 90º	½
37 - 39	0,2	-	¾
39 - 40	0,65	Tê e joelho 90º	½
39 - 41	1,1	-	¾
41 - 42	0,65	Tê e joelho 90º	½
41 - 43	1,75	2 joelhos 90º	½
28 - 44	4,52	Válvula manual	¾
44 - 45	1,54	Tê	¾
45 - 46	1,62	Tê e joelho 90º	½
45 - 47	0,7	-	¾
47 - 48	1,62	Tê e joelho 90º	½
47 - 49	0,7	-	¾
49 - 50	1,62	Tê e joelho 90º	½
49 - 51	2,88	-	¾
51 - 52	1,62	Tê e joelho 90º	½
51 - 53	1	-	¾
53 - 54	1,62	Tê e joelho 90º	½

Tabela 15 - Características da tubulação de água fria.

(continuação)

Trecho	Comprimento (m)	Acessórios	Bitola (in)
53 - 55	7,95	-	¾
55 - 56	0,42	Tê e joelho 90º	½
55 - 57	2,56	-	¾
57 - 58	0,42	Tê e joelho 90º	½
57 - 59	3,67	-	¾
59 - 60	8,85	Tê e joelho 90º	½
59 - 61	9,83	-	¾
61 - 62	0,92	Tê e joelho 90º	½
61 - 63	33,2	-	¾
63 - 64	0,92	Tê e joelho 90º	½
63 - 65	38,21	-	¾
65 - 66	0,92	Tê e joelho 90º	½
65 - 67	19,51	3 joelhos 90º	½
44 - 68	24,7	Válvula manual	¾
68 - 69	20,89	Tê	¾
69 - 70	1,58	Tê e joelho 90º	½
69 - 71	0,9	-	¾
71 - 72	1,58	Tê e joelho 90º	½
71 - 73	1	-	¾
73 - 74	0,38	Tê	½
73 - 75	0,91	-	¾
75 - 76	4,28	Tê	¾
76 - 77	1,3	Tê e joelho 90º	½
76 - 78	0,9	-	¾
78 - 79	1,3	Tê e joelho 90º	½
78 - 80	2,2	2 joelhos	¾

Tabela 15 - Características da tubulação de água fria.

(conclusão)

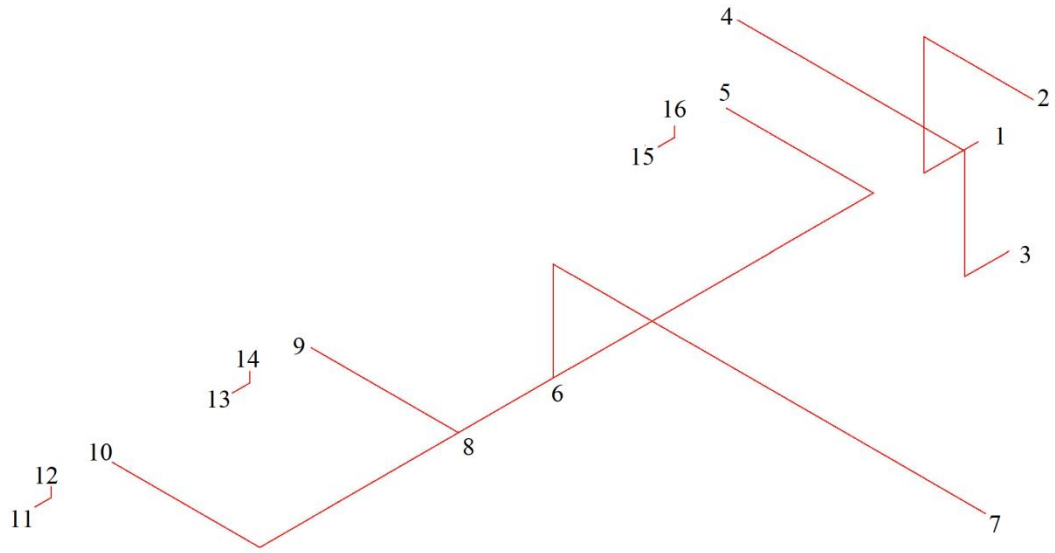
Trecho	Comprimento (m)	Acessórios	Bitola (in)
75 - 81	3,16	-	¾
81 - 82	0,88	Tê	¾
82 - 83	0,6	Tê e joelho 90º	½
82 - 84	1,1	-	¾
84 - 85	0,6	Tê e joelho 90º	½
84 - 86	2,15	-	¾
86 - 87	1,1	Tê e joelho 90º	½
86 - 88	0,16	-	¾
88 - 89	1,3	Tê e joelho 90º	½
88 - 90	0,9	-	¾
90 - 91	1,3	Tê e joelho 90º	½
90 - 92	0,28	-	¾
92 - 93	1,1	Tê e joelho 90º	½
92 - 94	1,92	2 joelhos 90º	¾
81 - 95	4,47	Joelho 90º	¾
95 - 96	1,01	Tê e joelho 90º	½
95 - 97	1,1	-	¾
97 - 98	1,01	Tê e joelho 90º	½
97 - 99	2,11	2 joelhos 90º	¾
68 - 100	8,95	2 joelhos 90º	¾

Fonte: Autores, 2020.

7.2 ÁGUA QUENTE

A tubulação de água quente será de aço-carbono A-53 Schedule 40, terá isolamento térmico e será pintada de vermelho. Um esquema da tubulação está apresentado na Figura 25 e as especificações estão na Tabela 16.

Figura 25 - Esquema da tubulação de água quente.



Fonte: Autores, 2020.

Tabela 16 - Características da tubulação de água quente.

Trecho	Comprimento (m)	Acessórios	Bitola (in)
1 - 2	14,33	2 joelhos 90º e válvula manual	2
3 - 4	20,91	2 joelhos 90º e válvula pneumática	2
5 - 6	23,68	Joelho 90º e válvula manual	1 ¼
6 - 7	26,89	Tê, joelho 90º e válvula manual	1 ½
6 - 8	4,79	-	1 ¼
8 - 9	7,47	Tê e válvula manual	1
8 - 10	17,54	Joelho 90º e válvula manual	1
11 - 12	1,32	Joelho 90º e válvula manual	1
13 - 14	1,32	Joelho 90º e válvula manual	1
15 - 16	1,32	Joelho 90º e válvula manual	1 ¼

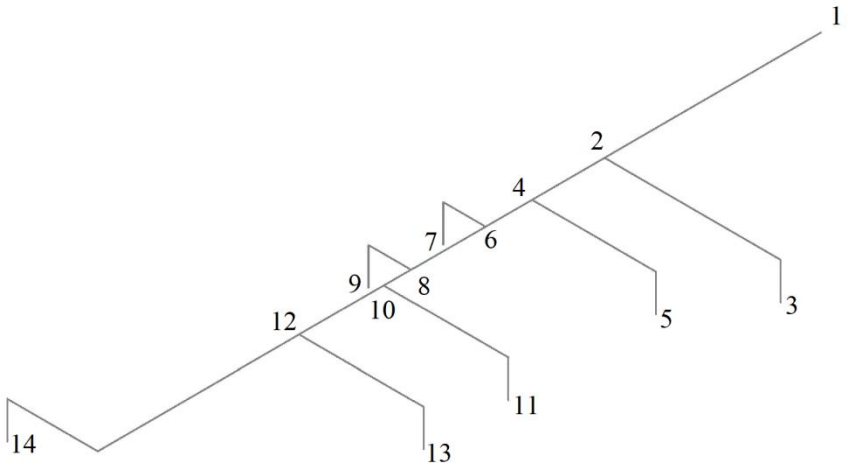
Fonte: Autores, 2020.

Para armazenar cerca de 1 dia de água quente destinada ao reator de lixiviação selecionou-se o tanque TQ-505, o qual comporta 10 m³ de água quente. Os cálculos estão apresentados no Apêndice G.

7.3 VAPOR E CONDENSADO

A tubulação de vapor será feita de aço-carbono A-53 Schedule 80, possuindo isolamento térmico e sendo pintada de cinza. Ela apresenta uma inclinação de 0,5 cm/m no sentido do escoamento do vapor e suas especificações estão apresentadas na Tabela 17. Também, a Figura 26 apresenta um esquema da tubulação de vapor, esta deve apresentar juntas de dilatação no início e no final do ramal principal.

Figura 26 - Esquema da tubulação de vapor.



Fonte: Autores.

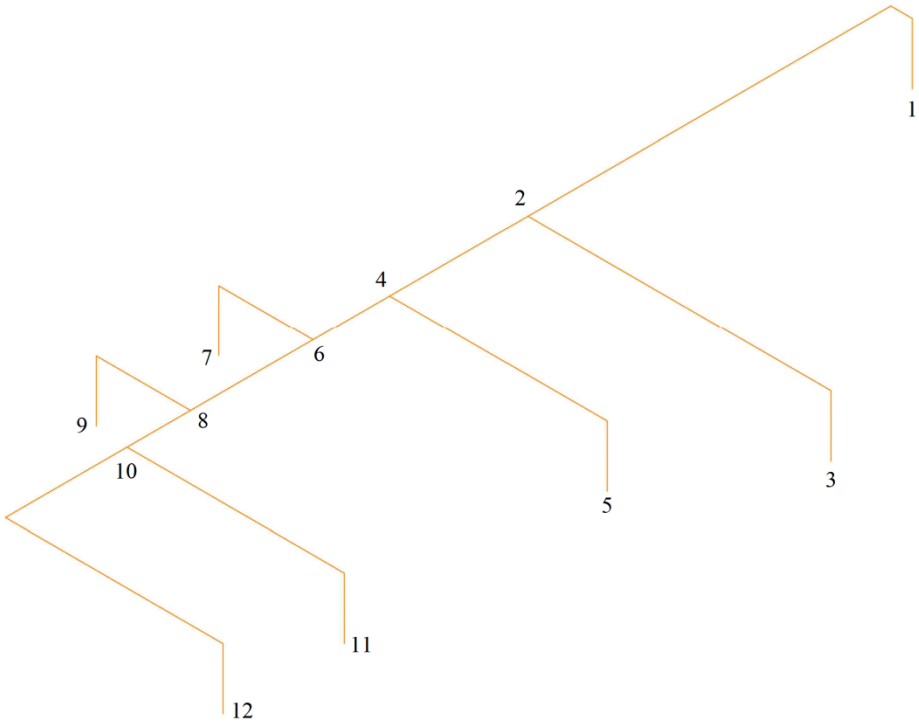
Tabela 17 - Características da tubulação de vapor.

Trecho	Comprimento (m)	Inclinação (cm)	Acessórios	Bitola (in)
1 - 2	29,34	14,67	Purgador de vapor e 2 joelhos 90º	6
2 - 3	28,88	-	Tê e joelho 90º e separador de condensado	2
2 - 4	9,84	4,92	-	6
4 - 5	21,85	-	Tê e joelho 90º e separador de condensado	1 ½
4 - 6	6,28	3,41	-	6
6 - 7	10,75	-	Tê e joelho 90º e separador de condensado	5
6 - 8	10,07	5,04	-	6
8 - 9	10,75	-	Tê e joelho 90º e separador de condensado	5
8 - 10	3,72	1,86	-	3
10 - 11	21,85	-	Tê e joelho 90º e separador de condensado	1 ½
10 - 12	11,48	5,74	-	3
12 - 13	21,85	-	Tê e joelho 90º e separador de condensado	1 ½
12 - 14	44,55	-	2 joelhos 90º e separador de condensado	2

Fonte: Autores, 2020.

A tubulação de retorno de condensado será de aço-carbono A-53 Schedule 40, o ramal principal apresenta uma inclinação de 1 cm/m, contendo isolamento térmico e sendo pintada de laranja. Suas especificações estão apresentadas na Tabela 18, a Figura 27 apresenta um esquema simplificado da tubulação e esta deve conter juntas de dilatação no início e no final do ramal principal.

Figura 27 - Esquema da tubulação de retorno de condensado.



Fonte: Autores, 2020.

Tabela 18 - Características da tubulação de retorno de condensado.

Trecho	Comprimento (m)	Inclinação (cm)	Acessórios	Bitola (in)
1 - 2	36,56	72,7	2 joelhos 90º	3
2 - 3	29,89	-	Tê, curva 90º, filtro e purgador	½
2 - 4	11,34	22,68	-	3
4 - 5	22,85	-	Tê,curva 90º, filtro e purgador	½
4 - 6	6,28	12,56	-	3
6 - 7	12,75	-	Tê, curva 90º, filtro e purgador	½
6 - 8	10,07	20,14	-	3
8 - 9	12,75	-	Tê, curva 90º, filtro e purgador	½
8 - 10	5,22	10,44	-	3
10 - 11	22,85	-	Tê, curva 90º, filtro e purgador	½
10 - 12	32,83	-	2 curvas 90º, filtro e purgador	½

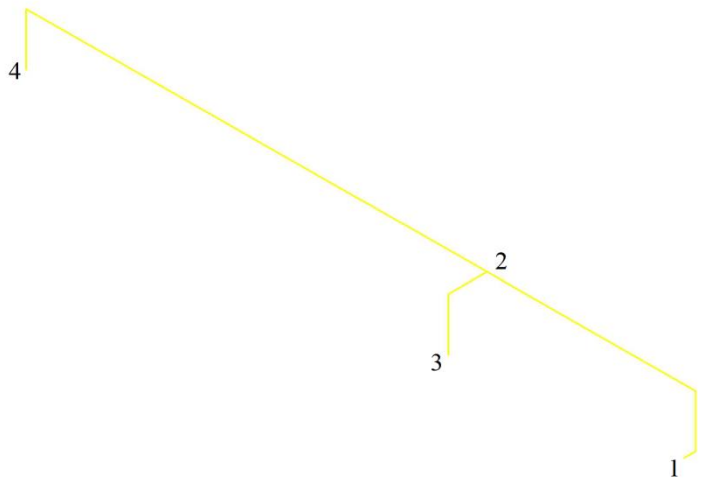
Fonte: Autores, 2020.

Para armazenar cerca de ⅓ de dia da produção de condensado que será destinada à caldeira selecionou-se o tanque TQ-504. Desta forma, partindo da vazão de formação de condensado chega-se a um tanque de, aproximadamente, 25 m³.

7.4 GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP)

As tubulações de gás liquefeito de petróleo serão de aço carbono e serão pintadas de amarelo. Cada secador possui um consumo médio de 5,4 kg/h de gás GLP, sendo assim, um consumo médio total de 10,8 kg/h de gás. O esquema da tubulação de abastecimento de gás está demonstrado na Figura 28, e o dimensionamento das mesmas está disposto na Tabela 19.

Figura 28 - Esquema da tubulação de abastecimento de gás GLP.



Fonte: Autores, 2020.

Tabela 19- Características da tubulação de GLP para o processo.

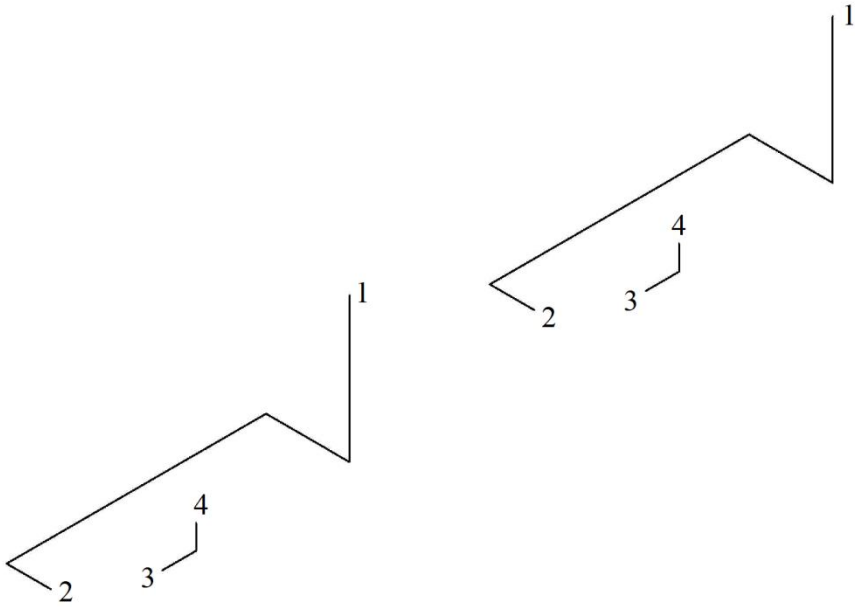
Trecho	Comprimento (m)	Acessórios	Bitola (in)
1 - 2	15,45	2 joelhos 90º e válvula manual	¼
2 - 3	5,18	Tê e joelho 90º e válvula manual	¼
2 - 4	29,07	Joelho 90º e válvula manual	¼

Fonte: Autores, 2020.

7.5 ÓLEO MINERAL

A linha de óleo mineral terá tubulação de aço carbono, pintada de preto. O esquema desta tubulação está apresentado na Figura 29 e os detalhes na Tabela 20.

Figura 29 - Esquema da tubulação de óleo mineral.



Fonte: Autores, 2020.

Tabela 20 - Características da tubulação de óleo mineral.

Trecho	Comprimento (m)	Acessórios	Bitola (in)
1 - 2	11,07	3 joelhos 90º e 1 válvula manual	2 ½ “
3 - 4	1,21	Joelho 90º e 1 válvula manual	2 ½ “

Fonte: Autores, 2020.

A seleção da bitola foi feita com base nas dimensões dos tubos dos trocadores de calor e da vazão que estes devem ter para a troca térmica estabelecida. Deste modo, os tubos de óleo mineral serão todos de 2 ½ polegadas.

Utilizando o comprimento aproximado dos tubos do trocador de calor, de um total de 54 m e os comprimentos da tubulação apresentados na Tabela X7, o volume de óleo total é de aproximadamente 0,204 m³ para cada uma das linhas. A circulação do fluido será feita por uma bomba, apresentada no Anexo M.

7.6 AR COMPRIMIDO

A demanda de ar comprimido é apenas para o fornecimento de água, que usa o sistema *air-lift*.

7.6.1 Compressor

Para suprir a demanda de ar comprimido utilizado para o *air-lift*, segundo Macintyre (2010) o tipo de compressor mais comumente utilizado é o de 120 psi. Deste modo, o compressor escolhido para esta etapa foi o do modelo KUW18,7-10, da Kotech, apresentado no Anexo X.

7.6.2 Tubulação

A tubulação de ar comprimido é feita em aço carbono, pintada em azul, schedule 80, com a presença de uma válvula de segurança e dois joelhos de 90° em seu trajeto. A determinação da bitola desta tubulação vale-se das informações apresentadas no Anexo W, por Macintyre (2010).

Para o cálculo utilizando este Anexo, considerou-se que a dimensão A, que representa a metragem do tubo que está submersa além do nível dinâmico do poço, tem 30 m, enquanto a dimensão B, que é a altura do nível da água até a saída desta no reservatório, é de 60 m. Deste modo, obtendo-se a relação entre A e B de 50%, tem-se que a vazão de água fornecida é de 600 L/min, ou 36 m^3/h, suprindo a demanda de água, que é de em torno de 35 m^3/h.

Deste modo, o diâmetro interno do tubo de ar comprimido é de 30 mm, correspondendo a uma bitola comercial de 1 ¼ de polegada. Já o diâmetro interno da tubulação de água é de 100 mm, correspondendo a 4 polegadas.

8 CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO DO REATOR DE LIXIVIAÇÃO

A seguir é apresentado o controle e instrumentação do reator de lixiviação da cinza da casca de arroz R-101. A instrumentação realizada foi do tipo Diagrama de Processo e Instrumentação (P&ID), conforme a norma ANSI/ISA 5.1 (2009) - *Instrumentation Symbols and Identification*. Os instrumentos utilizados estão apresentados na Tabela 21 e a estratégia de controle está apresentada na Figura 30. O diagrama P&ID foi elaborado no software de uso educacional livre Visual Paradigm.

Tabela 21 - Instrumentos utilizados no reator de lixiviação.

Finalidade	Quantidade	Instrumentos
Sensor transmissor de temperatura	1	TIT-104
Controlador	4	FRC-101, FRC-102, FC-103 e TRC-104
Válvula com atuador pneumático	2	FV-103 e FV-104
Válvula com abertura manual	2	V-103 e V-104
Indicador transmissor de nível alto	1	LIT-103
Alarme de nível alto	1	LAH-103
Bomba	4	B-101, B-102, B-104 e B-105

Fonte: Autores, 2020.

Optou-se por realizar o controle do reator de lixiviação uma vez que a temperatura da mistura reacional possui grande relevância. A estratégia adotada é controlar a temperatura no interior do tanque conforme vazão de água quente na manta de aquecimento, garantindo que a temperatura dentro do reator permaneça 90 ºC.

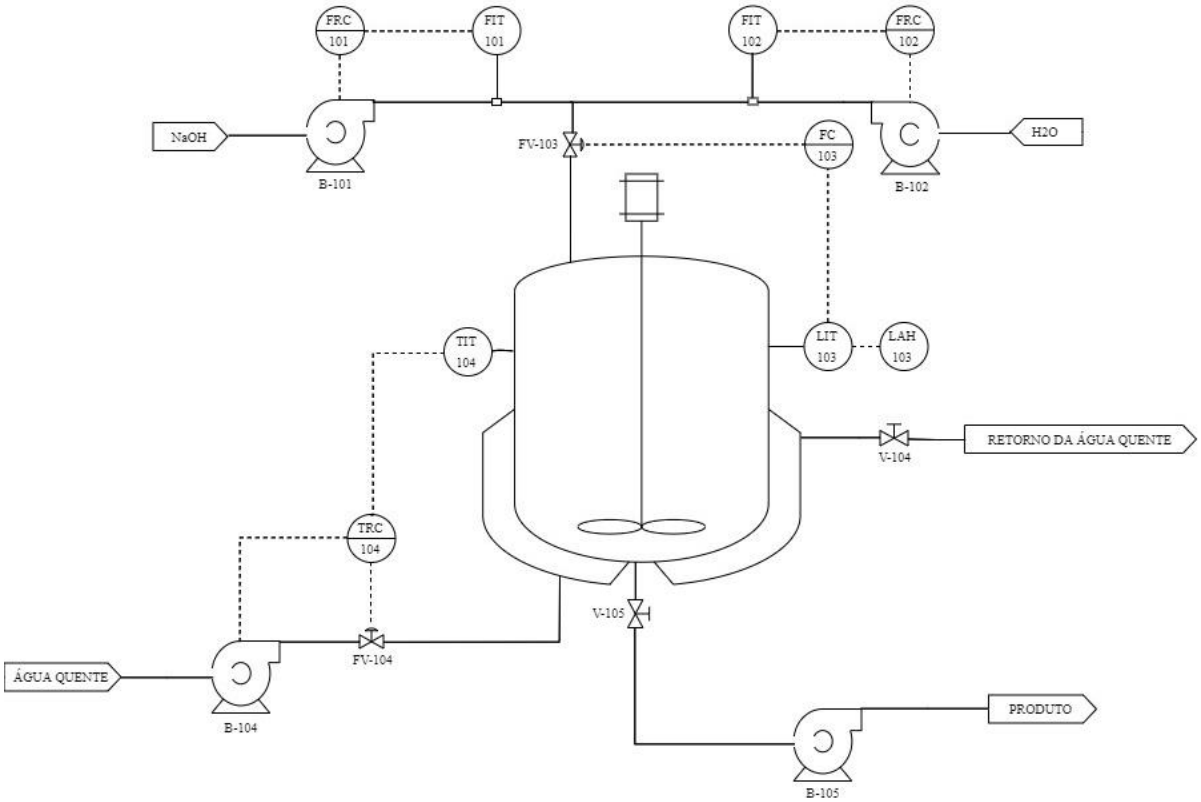
Para a alimentação do reator, o operador carrega manualmente determinada quantidade de cinza de casca de arroz e entra, no painel instalado na planta, com determinados valores de NaOH e água. A válvula pneumática FV-103 abre permitindo a alimentação de NaOH através da bomba B-101, a qual tem vazão controlada pelo controlador FRC-101, sendo que este recebe o sinal de vazão mássica do dispositivo FIT-101. O mesmo acontece para a alimentação de água na malha de controle 102.

A malha de controle 103 apresenta o sensor indicador e transmissor de nível LIT-103, o qual transmite o nível para os dispositivos LAH-103 e FC-103, sendo que o primeiro é responsável por tocar um alarme de nível alto e o segundo controlar a abertura da válvula FV-103, a fim de possibilitar a alimentação dos produtos e não ultrapassar determinado nível de conteúdo no reator.

A água quente é alimentada através da bomba B-104, de maneira que o indicador transmissor de temperatura TIT-104 transmite o sinal para o controlador TRC-104, o qual atuará ligando a bomba B-104 e controlando a vazão de água quente pela válvula pneumática FV-104. A água quente entra pelo nível mais baixo da manta e sairá pelo nível mais alto, de maneira que a válvula manual V-104 permanecerá sempre aberta. A saída de água quente permite que esta retorne ao sistema de aquecimento. Os controladores FRC-101, FRC-102 e TRC-104 possuem gravadores de sinal (*record*) de vazão e de temperatura.

Não menos importante, ao final do processo de lixiviação, o operador abre a válvula V-105 e liga a bomba B-105, para saída do produto silicato de sódio.

Figura 30 - Diagrama de processo e instrumento (P&ID) para o reator de lixiviação.



Fonte: Autores, 2020.

9 ANÁLISE ECONÔMICA

9.1 CLASSIFICAÇÃO DA EMPRESA

Com base no porte da empresa e da sua distribuição, a indústria será uma sociedade limitada, com firmação de contrato social para validação da atuação de cada sócio com relação à sua respectiva porcentagem. Todos poderão contribuir com investimentos na empresa.

Ainda, a empresa será classificada, de acordo com a sua receita bruta, a ser apresentada nas seções posteriores, como médio porte, com estimativa de faturamento entre 3,6 a 12 milhões de reais. Ainda, nesse âmbito, há a classificação perante ao regime tributário, definindo o sistema de contribuição às alíquotas necessárias, assim, a empresa se enquadrará no Lucro Presumido.

9.2 INVESTIMENTOS

9.2.1 Investimentos para abertura das instalações

Para realizar a abertura de um empreendimento, é necessário emitir uma série de documentações para a sua liberação, como já mencionados na Seção 3.2, referente às exigências legais da empresa. Para isso, realizou-se a consulta na tabela pública de preços da JUCIS-RS, a tabela de valores de serviços da FEPAM e consulta à Prefeitura de Pelotas – RS. Assim, a Tabela 22 indica os valores referentes aos documentos necessários para a abertura do empreendimento.

Tabela 22 - Investimentos para abertura das instalações.

(continua)

Documento	Preço total (R$)
Alvará de construção	300,00
Alvará de funcionamento e localização (Junta comercial)	500,00
Auto de vistoria dos bombeiros (AVCB)	4.025,00
Licença Sanitária	400,00
Custos com contabilidade e advocacia	2.000,00
Licença Ambiental – Instalação	1.833,07
Licença Ambiental – Operação	925,65
Licença Ambiental – Prévia	650,53
CNPJ	25,89
Contrato Social	3.000,00
Contrato Social – Registro	200,00
TOTAL	13.860,14

Fonte: Autores, 2020.

9.2.2 Investimentos em obra e instalações

Na construção e instalação da indústria em Pelotas, é necessário que se tenha um terreno adquirido, bem como investimentos planejados para a construção do galpão industrial, da área administrativa e das instalações elétricas previstas. Para o cálculo do custo do galpão industrial, considerou-se a média de R$ 190,00 investidos por m² para construção e, para a área administrativa, considerou-se a média atual de R$ 1.300,00 investidos por m² na construção. Ainda, para a avaliação da terraplanagem do terreno da área fabril, considerou-se o custo do serviço como R$32,00 por m². Assim, na presente análise econômica, esses investimentos previstos encontram-se na Tabela 23.

Tabela 23 - Investimentos em obra e instalações.

Instalação	**Área (m²)**	**Custo (R$)**
Terreno	480.800,00	1.050.000,00
Terraplanagem	29.503,00	944.096,00
Galpão Industrial	5.106,00	970.140,00
Área administrativa	450,00	508.801,00
Poço artesiano	-	80.000,00
Instalações elétricas	-	20.000,00
Mão de obra para instalações	5.556,00	194.460,00
TOTAL	-	3.767.497,50

Fonte: Autores, 2020.

9.2.3 Investimentos na planta industrial

Para a planta industrial, considerou-se os investimentos relacionados a aquisição dos equipamentos, acessórios, tubulações, controle e instrumentação do processo, já pré-selecionados na seção 6.1 e 7. Os equipamentos da área fabril estão dispostos nas Tabelas 24 a 26, incluindo seus respectivos custos.

Tabela 24- Investimento em equipamentos da Área 100.

Equipamento	Quantidade	Custo (R$)
TQ-101	1	6.200,00
TQ-102	1	6.200,00
TQ-103	1	8.200,00
TQ-104	1	35.000,00
TQ-105	1	35.000,00
TQ-106	1	5.000,00
TQ-107	1	35.000,00
R-101	1	250.000,00
TQ-108	1	9.190,00
F-101	1	152.310,00
TQ-109	1	27.385,00
TL-101	1	210.000,00
TL-102	1	210.000,00
CA-101	1	165.000,00

TOTAL	14	1.154.485,00

Fonte: Autores, 2020.

Tabela 25 - Investimento em equipamentos da Área 200.

Equipamento	Quantidade	Custo (R$)
TQ-201	1	22.975,00
R-201	1	250.000,00
R-202	1	250.000,00
F-201	1	39.900,00
SR-201	1	17.500,00
C-201	1	76.500,00
TOTAL	6	636.875,00

Fonte: Autores, 2020.

Tabela 26 - Investimento em equipamentos da Área 300.

Equipamento	Quantidade	Custo (R$)
TQ-301	1	18.380,00
R-301	1	250.000,00
R-302	1	250.000,00
F-301	1	39.900,00
SR-301	1	17.500,00
C-301	1	76.500,00
P-301	1	15.560,00
E-301	1	400.000,00
TOTAL	9	647.840,00

Fonte: Autores, 2020.

Nas Tabelas 27 e 28, encontram-se os equipamentos selecionados para a implementação da Estação de Tratamento de Efluentes e Estação de Água, que estão, respectivamente, nas Áreas 400 e 500.

Tabela 27 - Investimento em equipamentos da Área 400.

Equipamento	Quantidade	Custo (R$)
T-401	1	35.000,00
D-401	1	62.000,00
F-401	1	43.000,00

TOTAL	3	140.000,00

Fonte: Autores, 2020.

Tabela 28 - Investimento em equipamentos da Área 500.

Equipamento	Quantidade	Custo (R$)
T-501	1	105.000,00
D-501	1	11.500,00
TR-501	1	3.750,00
TOTAL	3	120.250,00

Fonte: Autores, 2020.

Ainda em relação aos equipamentos da área fabril, é necessário considerar os equipamentos relacionados diretamente às utilidades, como compressores, transporte de sólidos, bombas e trocadores de calor. Estes equipamentos e respectivos custos estão apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 - Investimento em equipamentos de utilidades.

Equipamento	Quantidade	Custo (R$)
TC-101	1	115.000,00
TC-102	1	115.000,00
TC-201	1	63.500,00
TC-202	1	63.500,00
TC-301	1	165.000,00
TC-302	1	165.000,00
Compressores	1	1.700,00
Transporte de sólidos	8	20.220,00
Bombas	15	18.600,00
Tanques GLP	1	25.000,00
TOTAL	31	727.520,00

Fonte: Autores, 2020.

Já em relação ao detalhamento de acessórios adquiridos, encontra-se disposto na Tabela 30.

Tabela 30 - Investimento em acessórios da planta industrial.

(continua)

Acessórios	Bitola (in)	Quantidade	Custo unitário (R$)	Custo total (R$)
Curva 90º	½	7	4,50	31,50
Filtro	½	6	95,00	570,00
Joelho 90º	6	2	320,00	640,00
Joelho 90º PVC	½	36	0,60	21,60
Joelho 90º	3	6	62,00	372,00
Joelho 90º	1 ½	6	15,90	95,40
Joelho 90º	¾	19	7,00	133,00
Joelho 90º	2	10	24,90	249,00
Joelho 90º	5	2	168,00	336,00
Joelho 90º	¼	4	2,00	8,00
Joelho 90°	1 ¼	4	11,00	44,00
Joelho 90°	1	5	9,00	45,00
Joelho 90°	½	6	4,50	27,00
Joelho 90°	2 ½	4	54,50	218,00
Joelho 90º	4	1	112,00	112,00
Purgador	½	6	50,00	300,00
Separador de condensado	2	2	3.200,00	6.400,00
Separador de condensado	1 ½	3	2.600,00	7.800,00
Separador de condensado	5	2	5.000,00	10.000,00
Válvula manual	2 ½	2	288,00	576,00
Válvula manual	¼	3	8,00	24,00
Válvula manual	2	3	130,00	390,00
Válvula manual	1 ¼	2	60,00	120,00
Válvula manual	1	5	38,00	190,00
Válvula manual	1 ½	2	85,00	170,00

Tabela 30 - Investimento em acessórios da planta industrial.

(conclusão)

Acessórios	Bitola (in)	Quantidade	Custo unitário (R$)	Custo total (R$)
Válvula manual	¾	8	23,00	184,00
Válvula manual	3	2	506,00	1.012,00
Válvula de segurança	1 ¼	1	408,00	408,00
Válvula pneumática	2	1	980,00	980,00
Manômetro	1 ¼	1	50,00	50,00
Purgador de vapor	6	1	400,00	400,00
Tê	½	5	20,00	100,00
Tê	1 ½	5	30,00	150,00
Tê	1	1	28,00	28,00
Tê PVC	½	43	1,30	55,90
Tê	¾	12	22,00	264,00
Tê	2	2	36,00	72,00
Tê	5	2	188,00	376,00
Tê	¼	1	15,00	15,00
TOTAL	-	233	-	33.036,40

Fonte: Autores, 2020.

Nas tubulações da planta industrial, há a subdivisão em tubulações utilizadas no processo, bem como tubulações utilizadas para utilidades, com base na demanda de vapor, água, ar comprimido e energia elétrica. Assim, a Tabela 31 indica os investimentos relacionados às tubulações do processo, da planta industrial e do prédio administrativo.

Tabela 31 - Investimento em tubulações da empresa.

(continua)

Material	Bitola (in)	Comprimento total (m)	Custo unitário (R$)	Custo total (R$)
Aço-carbono A-53 Schedule 40	1 ¼	29,79	19,23	572,96
Aço-carbono A-53 Schedule 40	1	29,9	8,80	263,12
Aço-carbono A-53 Schedule 40	¼	49,7	6,00	298,20
Aço-carbono A-53 Schedule 40	1 ½	51,76	24,93	1.290,55
Aço-carbono A-53 Schedule 40	4	69,97	75,67	5.294,40
Aço-carbono A-53 Schedule 40	2	95,01	31,40	2.983,31
Aço-carbono A-53 Schedule 40	½	98,32	7,82	768,53
Aço-carbono A-53 Schedule 40	¾	117,59	10,13	1.191,58
Aço-carbono A-53 Schedule 40	3	151,48	52,32	7.924,93
Aço-carbono A-53 Schedule 80	2 ½	12,28	42,00	515,76
Aço-carbono A-53 Schedule 80	3	15,2	56,50	858,80
Aço-carbono A-53 Schedule 80	5	21,5	133,00	2.859,50
Aço-carbono A-53 Schedule 80	1 ½	21,85	27,62	603,50
Aço-carbono A-53 Schedule 80	6	55,53	156,50	8.690,45

Tabela 31 - Investimento em tubulações da empresa.

(conclusão)

Material	Bitola (in)	Comprimento total (m)	Custo unitário (R$)	Custo total (R$)
Aço-carbono A-53 Schedule 80	2	73,43	38,50	2.827,06
Aço-carbono A-53 Schedule 80	1 ¼	126	25,60	3.225,60
PVC rígido	½	85,59	2,00	171,18
PVC rígido	¾	365,25	4,26	1.557,18
TOTAL	-	1.470,15	-	41.896,60

Fonte: Autores, 2020.

Assim, além da relação de custos dos equipamentos adquiridos para cada área da planta industrial, estima-se um custo fixo com instrumentação e controle do processo. Conforme Perry e Green, 2008, o custo de instrumentação e controle pode ser correlacionado à 8% do custo total dos equipamentos de um processo, desse modo, a Tabela 32 indica o custo total de equipamentos, bem como o investimento relacionado à instrumentação e controle dos processos e apresenta, também, a relação geral de investimentos dessa seção.

Tabela 32 - Investimento total de equipamentos, instrumentação e controle de processos.

Investimento	Custo total (R$)
Equipamentos	2.699.450,00
Controle e instrumentação	215.956,00
Equipamentos de utilidades	727.520,00
Acessórios	33.036,40
Tubulações	41.896,60
TOTAL	3.717.859,00

Fonte: Autores, 2020.

9.2.4 Investimentos em equipamentos para laboratório

O laboratório de qualidade da planta industrial será utilizado a fim de medir a qualidade da matéria-prima, a casca e a cinza de casca de arroz e dos produtos finais do processo, bem

como garantir a qualidade da água tratada na Estação de Tratamento de Efluentes e garantir que a água de todas as seções da planta esteja de acordo com as normas. Desse modo, para que o laboratório tenha os equipamentos necessários para realizar essas análises, ele conterá os equipamentos dispostos na Tabela 33, com seus respectivos custos.

Tabela 33 - Equipamentos do laboratório de qualidade.

Equipamentos e acessórios	**Preço unitário (R$)**	**Quantidade**	**Preço total (R$)**
Mufla	5.870,00	1	5.870,00
pHmetro	1.298,00	1	1.298,00
Agitador Magnético	1.600,00	1	1.600,00
Balança analítica	2.500,00	1	2.500,00
Centrífuga	1.400,00	1	1.400,00
Deionizador	1.150,00	1	1.150,00
Destilador de água	1.590,00	1	1.590,00
Chapa aquecedora	1.170,00	1	1.170,00
Escova para lavagem de tubos de ensaio	5,00	5	25,00
Porosímetro	1.000,00	1	1.000,00
Turbidímetro	3.190,00	1	3.190,00
Medidor de cloro	380,00	1	380,00
Termômetro digital	62,00	1	62,00
TOTAL		17	21.235,00

Fonte: Autores, 2020.

Além disso, o laboratório também contará com suporte de vidrarias necessárias para realizar as análises, que estão indicadas na Tabela 34.

Tabela 34 - Vidrarias do laboratório de qualidade.

(continua)

Vidraria	Preço unitário (R$)	Quantidade	Preço total (R$)
Balão volumétrico 100 mL	56,00	2	112,00
Balão volumétrico 250 mL	70,00	2	140,00
Balão volumétrico 10 mL	36,00	2	72,00
Balão volumétrico 25 mL	42,00	2	84,00
Becker 25 mL	6,00	3	18,00
Becker 50 mL	6,50	3	19,50
Becker 100 mL	8,00	3	24,00
Becker 250 mL	12,00	3	36,00
Erlenmeyer 50 mL	15,00	3	45,00
Erlenmeyer 250 mL	12,00	3	36,00
Bureta Digital 50 mL	5,500,00	1	5,500,00
Pipeta graduada 5 mL	10,00	2	20,00
Pipeta graduada 10 mL	10,00	3	30,00
Pipeta graduada 25 mL	16,00	3	48,00
Pipeta volumétrica 1 mL	28,00	2	56,00
Pipeta volumétrica 5 mL	32,00	2	64,00
Pipeta volumétrica 10 mL	34,00	2	68,00
Pipeta volumétrica 20 mL	25,00	2	50,00
Pipeta volumétrica 100 mL	90,00	2	180,00
Proveta 10 mL	4,00	3	12,00
Proveta 50 mL	7,00	3	21,00
Proveta 100 mL	9,00	3	27,00
Proveta 250 mL	11,00	3	33,00
Pisseta	8,00	10	80,00
Tubo de ensaio	0,21	100	21,00
Vidro relógio	4,00	20	80,00
Pipetadores	35,00	5	175,00

Tabela 34 - Vidrarias do laboratório de qualidade.

(conclusão)

Vidraria	Preço unitário (R$)	Quantidade	Preço total (R$)
Funil de separação	28,00	5	140,00
TOTAL		197	7.191,50

Fonte: Autores, 2020.

9.2.5 Investimentos em infraestrutura

O investimento com infraestrutura abrangerá os custos relativos ao prédio administrativo, aos banheiros da indústria e do prédio administrativo, ao vestiário da indústria e ao laboratório de qualidade. Para o prédio administrativo, a Tabela 35 apresenta os itens utilizados para mobiliar o prédio, em relação às salas administrativas, sala de reunião, cozinha e espaço de recepção.

Tabela 35 - Itens de infraestrutura do prédio administrativo.

Item	Preço unitário (R$)	Quantidade	Preço total (R$)
Mesas	200,00	21	4.200,00
Bancos refeitório	80,00	3	240,00
Bancada refeitório	270,00	2	540,00
Mesa para sala reunião	1.500,00	1	1.500,00
Mesas refeitório	400,00	6	2.400,00
Cadeiras	280,00	31	8.680,00
Armários para arquivos	500,00	5	2.500,00
Ar-condicionado	1.500,00	16	24.000,00
Computador	2.000,00	21	42.000,00
Cafeteira	580,00	1	580,00
Lixeiras	103,30	43	4.560,00
Poltronas	140,00	3	420,00
Micro-ondas	500,00	2	1.000,00
Sofá	1.500,00	2	3.000,00
Geladeira	1.500,00	1	1.500,00
Balcão cozinha completo	400,00	1	400,00
Torneira	50,00	1	50,00
Bebedouro simples	250,00	2	500,00
Bebedouro industrial	1.000,00	1	1.000,00
Televisão	1.400,00	1	1.400,00
Projetor	1.900,00	1	1.900,00
TOTAL		165	102.370,00

Fonte: Autores, 2020.

Além da infraestrutura do prédio administrativo, há também os custos referente aos banheiros da indústria e do prédio administrativo. Seus itens e custos estão dispostos na Tabela 36.

Tabela 36 - Itens de infraestrutura dos banheiros da indústria e do prédio administrativo.

Item	Preço unitário (R$)	Quantidade	Preço total (R$)
Lavatórios - Cuba completa	120,00	12	1.440,00
Mictórios	250,00	3	750,00
Vasos sanitários	180,00	12	2.160,00
Torneiras	20,00	12	240,00
Porta papel higiênico	50,00	16	800,00
Portas	100,00	12	1.200,00
TOTAL		67	6.590,00

Fonte: Autores, 2020.

Na planta industrial há o vestiário para os funcionários, em que seus custos e itens para infraestrutura estão dispostos na Tabela 37.

Tabela 37 - Itens de infraestrutura dos vestiários da indústria.

Item	Preço unitário (R$)	Quantidade	Preço total (R$)
Armários	680,00	4	2.720,00
Banco	300,00	4	1.200,00
TOTAL		8	3.920,00

Fonte: Autores, 2020.

Por fim, também na planta industrial, há os itens referentes à infraestrutura do laboratório de qualidade, que são apresentados com seus custos na Tabela 38.

Tabela 38 - Itens de infraestrutura do laboratório de qualidade.

Item	Preço unitário (R$)	Quantidade	Preço total (R$)
Ar-condicionado	2.100,00	1	2.100,00
Armários	600,00	2	1.200,00
Bancada	970,00	2	1.940,00
Banquetas	180,00	2	360,00
Computadores	2.000,00	1	2.000,00
Capela	1.500,00	1	1.500,00
Pia	1.500,00	1	1.500,00
TOTAL		10	10.600,00

Fonte: Autores, 2020.

9.3 CUSTOS VARIÁVEIS

9.3.1 Custos com reagentes e matérias-primas

Os insumos principais para a produção das zeólitas são as matérias-primas: Casca de arroz, que será convertida em Cinza de Casca de Arroz mediante queima, será adquirida como subproduto das beneficiadoras de arroz, em que o custo de aquisição do produto, dessa forma, é relacionado apenas ao frete de transporte, adotado como R$120,00 por tonelada transportada, para 50 km percorridos; e o Hidróxido de Sódio, para a formação do Silicato de sódio. Dessa forma, o custo das matérias-primas do processo está disposto na Tabela 39.

Tabela 39 - Custos com matérias-primas.

Matéria-prima	Preço (R$/ton)	Quantidade (ton/dia)	Preço total (R$/ano)
Casca de arroz	120,00	41,05	1.650.210,00
Hidróxido de sódio	2.500,00	5,527	4.628.923,80
TOTAL	-	-	6.279.133,80

Fonte: Autores, 2020.

Assim como as matérias-primas, o processo conta com reagentes para a formação dos produtos, que estão dispostos na Tabela 40, com seus respectivos custos por tonelada e custo anual.

Tabela 40 - Custos com reagentes.

Reagente	**Preço (R$/ton)**	**Quantidade (ton/dia)**	**Preço total (R$/ano)**
Aluminato de sódio	2.000,00	8,87	5.944.702,30
Etanol	1.500,00	9,75	4.899.323,38
Ácido sulfúrico	700,00	0,16408	38.477,63
Caulinita	5.000,00	0,0276	46.234,42
Bentonita	12.000,00	0,0276	110.962,60
Sulfato de alumínio - ETE	500,00	0,454	76.045,00
TOTAL	-	-	11.115.745,33

Fonte: Autores, 2020.

9.3.2 Custos com utilidades

No processo, há utilidades necessárias para compor a demanda da produção, demanda energética e utilidades na empresa, que compreendem o vapor, a água, a energia elétrica, o GLP e o óleo mineral. Para o vapor, a caldeira suprirá toda a demanda industrial e, em relação à água, o poço artesiano supre a demanda também. Desse modo, essa seção aborda o custo com gastos energéticos, considerando que a energia elétrica equivale a R$ 0,452 por kWh consumido, com base na tabela de custos da RGE (Distribuidora de energia da CPFL Energia – Rio Grande do Sul), e os custos estão dispostos na Tabela 41.

Tabela 41 - Custos com utilidades do processo.

Utilidades	Preço (R$)	Quantidade	Preço total (R$/ano)
Óleo (TC-301 e 302)	16,00	23.552,9 kg	376.846,66
Energia elétrica	0,45	1.722.095,44 kWh	778.387,14
GLP	4,00	86.832 kg	347.328,00
TOTAL	-	-	1.502.561,80

Fonte: Autores, 2020.

9.3.3 Custos com depreciação de equipamentos

Em uma indústria é inevitável que, ao longo dos anos, os equipamentos da área fabril sofram depreciação, especialmente com corrosão e perda de rendimento útil. Isso também ocorre com a estrutura física da indústria, tanto no galpão industrial quanto na área administrativa. Desse modo, calcula-se uma taxa de depreciação sobre as construções e sobre os equipamentos da indústria, em que a taxa média de construções é 4% ao longo dos anos, e a dos equipamentos, é de, em média, 10%. Assim, parte do investimento anual pode ser resguardado para que haja recursos financeiros para possíveis reformas ou trocas de equipamentos obsoletos.

Para as construções, isso equivale a um recurso médio de R$ 140.000,00 e, para os equipamentos, um investimento médio de R$ 300.000,00. Esse recurso será adicionado ao custo anual como caixa de possível investimento em equipamentos e construção.

9.4 CUSTOS FIXOS

9.4.1 Custos Administrativos

Sabe-se que para a realização das atividades da empresa, em especial na área administrativa, alguns custos devem ser considerados, como: internet, telefone, energia elétrica e itens de escritório. Essa relação está disposta na Tabela 42.

Tabela 42 - Custos administrativos da empresa.

Item	Custo mensal (R$)	Custo anual (R$)
Internet/Telefone	800,00	9.600,00
Energia elétrica	800,00	9.600,00
Materiais de escritório	150,00	1.800,00
TOTAL		21.000,00

Fonte: Autores, 2020.

9.4.2 Custos empregatícios

A empresa contará com 93 funcionários, em que algumas áreas contarão com funcionários distribuídos entre 3 turnos de trabalhos, referente à vigilância, operadores de produção e analistas do laboratório de qualidade. Os demais, serão distribuídos entre 1 e 2 turnos de trabalhos. Além do salário mensal, baseado no piso de cada cargo, os funcionários receberão auxílio transporte, com base no valor do transporte público local; auxílio alimentação, com base no valor de alimentação para 8 horas de trabalho; e pagamento de 13º salário anual.

Já em relação aos encargos trabalhistas, contabilizará 20% de FGTS e 8% de INSS sobre o valor do salário. Na Tabela 43 está disposto os cargos e os custos empregatícios dos funcionários.

Tabela 43 - Custos empregatícios da empresa.

(continua)

Cargo	Funcionários	Salário bruto mensal (R$)	VT (R$)	Encargos anuais (R$)	Anual Total (R$)
Operários - Controle	6	1.101,76	173,80	1.840,47	116.869,70
Operários - Processo	24	1.101,76	173,80	7.361,87	467.478,81
Encarregado – Recebimento	4	1.193,6	158,00	1.274,20	80.911,44
Encarregado - Despache/Estoque	4	1.193,6	158,00	1.274,20	80.911,44
Técnico de Segurança do Trabalho	2	1.001,6	158,00	557,72	35.415,06
Analistas de Controle e Qualidade	6	2.035,53	173,80	2.996,69	190.289,64
Supervisor Laboratório	2	2.467,15	173,80	1.177,21	74.752,62
Gerente de RH	1	8.099,29	158,00	1.742,21	110.630,05
Analista de RH	2	3.504,12	158,00	1.589,00	100.901,21
Assistente administrativo	3	1.467,2	158,00	1.125,32	71.457,99
Diretor Geral	1	26.876,76	158,00	5.614,87	356.544,31
Gerente de Comunicação e Vendas	1	10.902,27	158,00	2.320,29	147.338,55
Assistentes Comerciais	2	1.808,4	158,00	891,28	56.596,34
Assistentes de Comunicação	2	3.572,45	158,00	1.620,61	102.908,72
Gerente de Supply Chain	1	7.448,86	158,00	1.608,06	102.111,87
Analistas Supply Chain	3	3.340,38	158,00	2.282,18	144.918,68

Tabela 43 - Custos empregatícios da empresa.

(conclusão)

Cargo	Funcionários	Salário bruto mensal (R$)	VT (R$)	Encargos anuais (R$)	Anual Total (R$)
Gerente de Produção (Industrial)	1	7.448,86	158,00	1.608,06	102.111,87
Assistentes de Produção	5	2.965,37	158,00	3.424,05	217.426,95
Gerente Administrativo	1	4.546,45	158,00	1.009,47	64.101,21
Auxiliares de limpeza	6	1.033,12	173,80	1.755,33	111.463,59
Vigilantes	9	1.299,60	173,80	3.128,78	198.677,47
Estagiários	2	1.200,00	158,00	639,74	40.623,74
Mecânico de equipamentos industriais	2	1.689,60	158,00	842,16	53.477,43
Operador de caldeira	3	1.439,68	173,80	1.129,80	71.742,20
TOTAL	93	98.737,41	3.902,60	48.813,56	3.099.660,89

Fonte: Autores, 2020.

9.4.3 Custos com segurança

Outro aspecto extremamente importante na área industrial é a garantia de segurança de todos os funcionários, para que possam executar suas funções de forma saudável e segura. Para isso, estimou-se custos com EPI’s, indicados na Tabela 44.

Tabela 44 - Custos com segurança.

Itens	Preço (R$)	Quantidade	Preço total (R$)
Bota de segurança	40,00	100	4.000,00
Capacete	35,90	50	1.795,00
Luva látex	35,00	40	1.400,00
Máscara de pó	2,50	500	1.250,00
Óculos de segurança	4,00	100	400,00
Protetor auricular	2,50	300	750,00
Uniforme	85,00	100	8.500,00
TOTAL	-	-	18.095,00

Fonte: Autores, 2020.

9.5 CUSTOS E INVESTIMENTOS TOTAIS

A Tabela 45 indica o resumo de todos os investimentos e custos da empresa, em que os investimentos indicam um valor total que será pago por meio de um empréstimo, indicado na seção 8.8, e os demais custos, são custos anuais, com base na capacidade de produção anual da empresa, que será descrita nas seções posteriores.

Tabela 45 Custos e investimentos totais.

Tipo	Categoria	Valor (R$)
Investimento	Abertura das Instalações	13.860,14
Investimento	Obras e Instalações	3.767.497,50
Investimento	Equipamentos	3.426.970,00
Investimento	Acessórios	33.036,40
Investimento	Tubulações	41.896,60
Investimento	Controle e instrumentação	215.956,00
Investimento	Laboratório	28.426,50
Investimento	Infraestrutura	123.480,00
Custos variáveis	Matérias-primas	6.279.133,80
Custos variáveis	Reagentes	11.115.745,33
Custos variáveis	Utilidades	1.502.561,80
Custos variáveis	Depreciação	440.000,00
Custos fixos	Administrativos	13.198,80
Custos fixos	Empregatícios	3.099.660,89
Custos fixos	Segurança	18.095,00
TOTAL	-	30.119.518,76

Fonte: Autores, 2020.

9.6 PROJEÇÃO DE RECEITAS

A capacidade de produção da empresa será de 3722,11 toneladas/ano de zeólita 4A e de 203,43 toneladas/ano de zeólita ZSM-5. Essa capacidade total será atingida e, consequentemente, vendida, no quarto ano de implementação da indústria, em que no primeiro ano, será utilizada 40% de sua capacidade, no segundo, 60% e no terceiro, 80%. Ainda, a projeção de receita bruta também contará com reajustes no valor de venda a partir do quarto até o sexto ano, com aumento de 2%, e do sexto ao décimo quinto ano, com aumento de 5% do valor de venda dos anos anteriores.

Ainda, o valor de venda de cada zeólita é de:

- Zeólita 4A – R$3,50/kg;
- Zeólita ZSM-5 – R$ 60,00/kg.

Assim, a Tabela 46 apresenta a projeção de receita da empresa em 15 anos, com seus respectivos reajustes de produção e venda das zeólitas.

Tabela 46 - Projeção de receita bruta da empresa.

Ano	% de produção	Zeólita 4A (R$)	Zeólita ZSM-5 (R$)	Total (R$/ano)
0	0	0	0	0
1	40	5.210.956,73	4.882.354,50	10.093.311,23
2	60	7.816.435,10	7.323.531,75	15.139.966,85
3	80	10.421.913,47	9.764.709,00	20.186.622,46
4	100	13.287.939,67	12.450.003,97	25.737.943,64
5	100	13.553.698,46	12.699.004,05	26.252.702,51
6	100	13.824.772,43	12.952.984,13	26.777.756,56
7	100	14.516.011,05	13.600.633,34	28.116.644,39
8	100	15.241.811,61	14.280.665,00	29.522.476,61
9	100	16.003.902,19	14.994.698,25	30.998.600,44
10	100	16.804.097,30	15.744.433,17	32.548.530,46
11	100	17.644.302,16	16.531.654,82	34.175.956,98
12	100	18.526.517,27	17.358.237,56	35.884.754,83
13	100	19.452.843,13	18.226.149,44	37.678.992,57
14	100	20.425.485,29	19.137.456,92	39.562.942,20
15	100	21.446.759,55	20.094.329,76	41.541.089,31

Fonte: Autores, 2020.

9.6.1 Alíquotas

O sistema de tributação aplicada para indústrias consta com alguns impostos que devem ser descontados, com base na receita bruta anual prevista da empresa. São elas: COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social), CSLL (Contribuição Social sobre o Lucro Líquido), PIS (Programa de Integração Social), IRPJ (Imposto de Renda de Pessoa Jurídica), ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços).

Como a empresa está enquadrada no regime tributário Lucro Presumido, as taxas corresponderão a esse sistema. Na Tabela 47 indica-se a taxa de tributação de cada alíquota. O valor de contribuição anual será incluído nas saídas totais do fluxo de caixa, nas seções posteriores.

Tabela 47 - Custos empresariais relacionados às alíquotas do sistema de tributação.

Tributo	**Taxa (%)**
CSLL	9
COFINS	12
IRPJ	15
PIS	2,6

Fonte: Adaptado de PORTAL TRIBUTÁRIO, 2020.

9.7 PROJEÇÃO DE FLUXO DE CAIXA

Tão importante quanto a previsão de receita da empresa, é a projeção do fluxo de caixa, em que viabiliza saber qual é o saldo final disponível a cada ano para giro da empresa, bem como analisar a situação anual entre a diferença entre as entradas e saídas anuais, ou seja, o lucro da empresa. Na Tabela 48, estão indicadas as entradas e as saídas da empresa ao longo dos anos, considerando a porcentagem de produção e venda e o lucro respectivo.

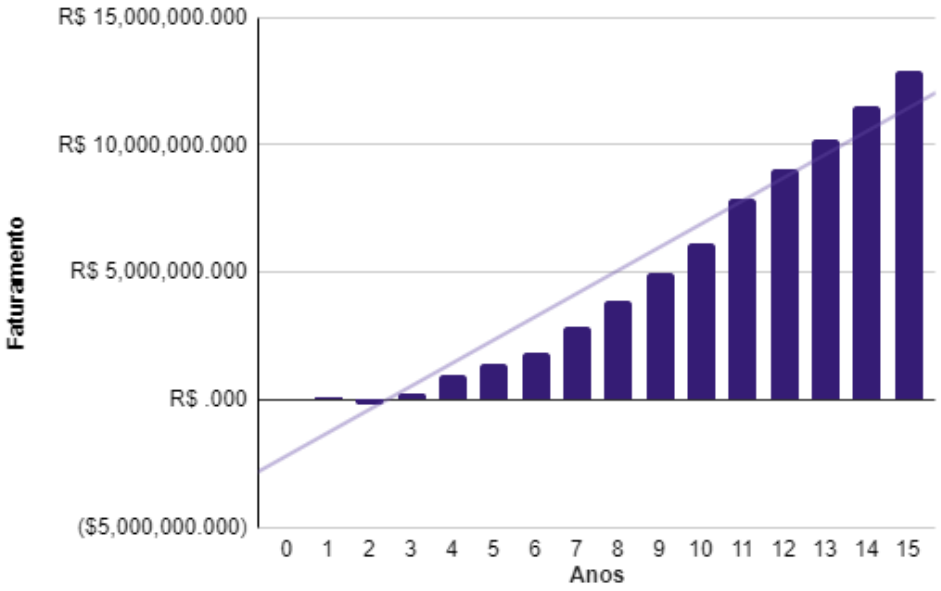
Tabela 48 - Fluxo de caixa da empresa.

ANO	% de venda	Entradas (R$)	Saídas (R$)	Lucro (R$)
0	0	0	13.860,14	-13.860,14
1	40	10.093.311,23	9.990.445,38	102.865,85
2	60	15.139.966,85	15.354.768,34	-214.801,50
3	80	20.186.622,46	19.946.392,64	240.229,83
4	100	25.737.943,64	24.768.525,36	969.418,28
5	100	26.252.702,51	24.835.750,00	1.416.952,51
6	100	26.777.756,56	24.913.901,98	1.863.854,58
7	100	28.116.644,39	25.255.326,01	2.861.318,38
8	100	29.522.476,61	25.622.350,45	3.900.126,15
9	100	30.998.600,44	26.014.832,66	4.983.767,78
10	100	32.548.530,46	26.433.001,84	6.115.528,62
11	100	34.175.956,98	26.319.425,07	7.856.531,92
12	100	35.884.754,83	26.859.589,31	9.025.165,52
13	100	37.678.992,57	27.426.761,77	10.252.230,80
14	100	39.562.942,20	28.022.292,86	11.540.649,35

Fonte: Autores, 2020.

Para visualizar o lucro obtido ao longo dos anos, a Figura 31 mostra o esquema gráfico do fluxo de caixa da empresa.

Figura 31 - Gráfico do fluxo de caixa em 15 anos.



Fonte: Autores, 2020.

9.8 CAPTAÇÃO DE RECURSOS

A empresa, para poder montar a sua estrutura física e adquirir todos os produtos relativos aos investimentos, necessitará de auxílio de recursos, que será feito mediante Financiamento pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Já, em relação aos custos variáveis e fixos, serão adquiridos por meio de investimento pelos sócios da empresa. Assim, a Tabela 49 indica a Tabela de Financiamento simulada pelo BNDES, em que a taxa de juros consiste em 12%, sendo uma média entre o fator de custo, a taxa do BNDES (1,5 a.a.) e a taxa do agente financeiro, visto que o sistema de financiamento será uma operação indireta, ou seja, interligada por outra entidade bancária.

Tabela 49 - Simulação do financiamento com o BNDES.

Parcela	**Saldo inicial (R$)**	**Juros (R$)**	**Amortização (R$)**	**Prestação (R$)**	**Saldo Final (R$)**
1	8.000.000,00	960.000,00	-	960.000,00	8.000.000,00
2	8.000.000,00	960.000,00	888.888,89	1.848.888,89	7.111.111,11
3	7.111.111,11	853.333,33	888.888,89	1.742.222,22	6.222.222,22
4	6.222.222,22	746.666,67	888.888,89	1.635.555,56	5.333.333,33
5	5.333.333,33	640.000,00	888.888,89	1.528.888,89	4.444.444,44
6	4.444.444,44	533.333,33	888.888,89	1.422.222,22	3.555.555,56
7	3.555.555,56	426.666,67	888.888,89	1.315.555,56	2.666.666,67
8	2.666.666,67	320.000,00	888.888,89	1.208.888,89	1.777.777,78
9	1.777.777,78	213.333,33	888.888,89	1.102.222,22	888.888,89
10	888.888,89	106.666,67	888.888,89	995.555,56	0,00
TOTAL	48.000.000,00	5.760.000,00	8.000.000,00	13.760.000,00	40.000.000,00

Fonte: Autores, 2020.

9.9 ANÁLISE DE INDICADORES ECONÔMICOS

Para corroborar com mais exatidão a análise econômica e o futuro financeiro do empreendimento, alguns indicadores econômicos são utilizados para analisar o investimento do projeto. Nessa seção, serão abordados a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback*.

9.9.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é uma taxa de juros que representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento, ou o máximo que uma pessoa se propõe a pagar quando faz um financiamento. Para o presente projeto, a TMA foi fixada em 10% ao ano.

9.9.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é calculado para sabermos qual o valor atual de um investimento, bem como a sua rentabilidade. O cálculo do VPL é feito atualizando todo o fluxo de caixa de um investimento para o valor de hoje, utilizando uma taxa de desconto no cálculo conhecida como Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Assim, ele viabiliza compreender se um projeto é viável economicamente.

Para a empresa, o VPL é de R$22.873.174,51, em que, no cenário positivo, tem grande potencial de investimento e retorno.

9.9.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma taxa usada como referência para quando um investimento pode ter retorno igual a zero. Desse modo, ela representa o quanto um investimento rendeu, considerando o fluxo de caixa e seu respectivo período. Nesse caso, a TIR do projeto foi de 474% ao ano, que é superior à TMA, indicando a rentabilidade, em que o projeto consegue pagar o investimento e gerar lucro.

9.9.4 Payback

Por fim, o Payback indica o período de retorno de todos os investimentos realizados, ou seja, a partir de quanto tempo o investimento sai do débito do fluxo de caixa e passa a gerar lucros. Aqui, utilizou-se a análise do Payback descontado, ou seja, em que utiliza a TMA para descontar os fluxos de caixa e revertê-los ao mesmo valor que foi investido no primeiro ano de investimento.

Com base nisso, o Payback descontado do projeto é de 2,49 anos, e que, como é positivo, indica que é um projeto viável e vantajoso economicamente.

10 PROPOSTAS DE MELHORIAS DO PROCESSO

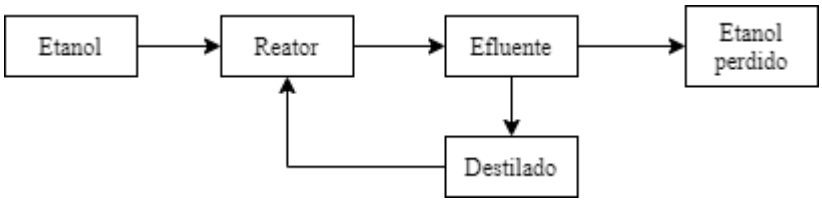
10.1 RECUPERAÇÃO DE ETANOL POR DESTILAÇÃO BATELADA

Ao passo em que é formado 35.374,57 kg/dia de efluente no reator de produção da zeólita ZSM-5, e que neste o etanol está presente na composição de 27,56% (m/m), pensou-se em alternativas para recuperá-lo, a fim de diminuir a necessidade de tratamento e disposição final, bem como, recuperação do produto, uma vez que seu custo está em torno de R$ 1,50 o litro. Uma vez que o etanol é utilizado apenas como orientador de direção para a zeólita, toda quantidade que entra no reator também sairá, por isso a alta concentração descrita acima, a qual também representa, aproximadamente, 13,4% molar de etanol.

Desta forma, a alternativa pensada, que seria mais viável, foi transferir o efluente do reator para um tanque de aquecimento, de maneira a condicioná-lo para uma destilação em batelada, uma vez que esta é um processo de separação mais barato que a destilação contínua. Todavia, sabendo que a mistura entre etanol e água forma um azeótropo com ponto de ebulição mínimo para a composição molar de 89,4% de etanol e 10,6% de água, a 78,2ºC e 1 atm, esta seria a concentração máxima de etanol que poderia obter-se no destilado. Ainda assim, mesmo sem chegar a concentrações maiores, já é uma boa porcentagem de recuperação do produto, diminuindo-se custos na compra de matéria-prima (MORAIS, 2014).

Também, a reutilização do etanol em concentrações menores é possível uma vez que a quantidade de água na mistura reacional pode ser ajustada. O efluente do reator contém basicamente água, etanol, uma pequena parcela de ácido sulfúrico e produto de silicato e aluminato de sódio que não reagiu, o destilado conteria, basicamente, etanol e água. Para fins de cálculo de comparação, considerou-se que a fração molar de etanol obtida no destilado seria de 80%, a qual corresponde a uma fração mássica de 91%, aproximadamente. Partindo da concentração mássica de etanol no efluente e no destilado calculou-se as vazões de destilado e de etanol recuperado, os cálculos estão apresentados no Apêndice D. A vazão de destilado obtida com concentração molar de 80% de etanol foi de 7.156,77 kg/dia, portanto, 6.512,66 kg/dia de etanol é recuperado. A Figura 32 apresenta um esquema sobre como funcionaria a recuperação de etanol.

Figura 32 - Esquema de recuperação do etanol



Fonte: Autores, 2020.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de zeólitas partindo de cinzas de casca de arroz mostra-se interessante, visto que os produtos obtidos apresentam grande aplicação industrial, vantajosa em diversos processos. Desse modo, os produtos a serem comercializados da presente empresa são as zeólitas 4A e ZSM-5, a partir da cinza da casca de arroz.

O presente projeto propôs a análise de três diferentes rotas, que compõem a indústria, de modo a otimizar e qualificar os produtos finais. Assim, a rota tecnológica da indústria consiste na obtenção da cinza da casca de arroz, para posterior lixiviação alcalina, obtendo o silicato de sódio, sendo este uma das principais matérias-primas para a produção das zeólitas. Após, a rota segue para a produção da zeólita 4A, que tem foco na formação de um gel reacional entre o aluminato e o silicato de sódio, e tratamento hidrotérmico. Já para a rota da zeólita ZSM-5, o foco será, também, na produção de um gel reacional, porém, com o uso de 0,3% de sementes de ZSM-5 e uso de etanol como direcionador de rede, seguindo da adição de silicato e aluminato de sódio, bem como de ácido sulfúrico, para posterior tratamento hidrotérmico.

Optou-se por implantar a indústria em Pelotas-RS, visto a proximidade de fornecedores e beneficiadoras da principal matéria-prima, a casca de arroz, bem como facilidade de rotas de transporte, tanto terrestres quanto fluviais e marítimos.

A partir do balanço de massa determinou-se que a produção diária de silicato de sódio será 6.350,34 kg. A partir deste, será destinado 90% para produção da zeólita A, obtendo 11.110,78 kg por dia, e os 10% restantes na síntese da ZSM-5, produzindo 607,26 kg diariamente. Os preços de venda foram estimados conforme o mercado mundial sendo R$ 2,00 o quilo da zeólita 4A e R$ 90,00 o quilo da zeólita ZSM-5.

Os resultados obtidos garantem uma indústria economicamente viável, na qual o *payback* obtido para o investimento inicial foi de 4,53 anos, o VPL foi de R$ 11.104.233,99 e a TIR de 34%. Também, buscou-se aproveitar a casca de arroz como combustível da caldeira, na produção de vapor, garantindo uma eficiência energética sem a necessidade da utilização de outros combustíveis.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. C. R. A. **Avaliação da disponibilidade de nitrogênio encapsulado em zeólita 4A na fertilização de substrato natural para cultivo de milho (*Zea mays L.*).** 2009. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

ANSI/ISA 5.1 - **Instrumentation Symbols and Identification**. 2009.

BERNARDI, A. C. C. et al. **Potencial de uso de zeólitas na agropecuária.** Embrapa Pecuária Sudeste, São Paulo, 2008.

BERTOLINI, T. C. R., GHILHEN, S. N., FUNGARO, D. A. **Avaliação de Métodos de Peletização de Material Zeolítico de Cinzas de Carvão.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CENEN/SP), São Paulo, 2017.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). **Calendário de Plantio e Colheita de Grãos no Brasil.**2019. Disponível em <www.conab.gov.br>. Acesso em: 06 mai. 2020.

BRECK, D. W. **Zeolite Molecular Sieves.** Nova York: Wiley, 1974.

BLESA, J. M. S. et al. **Proceso de obtención de zeolita ZSM-5 a partir de cáscara de arroz.** Depositante: Universidade Nacional Autônoma do México. MX2008003003A. Depósito: 03 mar. 2008. Concessão: 03 set. 2009.

CALSAVARA, V. et al. **Estudo da metodologia de síntese de zeólitas ZSM-5.** Acta Scientiarum, v. 22, n. 5, p. 1179-1184, 2000.

CARVALHO, C. S. M.; **Tratamentos térmicos e químicos para a valorização da casca de arroz.**2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais) - Técnico Lisboa, Lisboa, 2015.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **A cultura do arroz.** Brasília: Conab, 2015.

DA SILVA FILHO, S. H.; BIESEKI, L.; MAIA, A. A. B.; PERGHER, S. B. C. **Síntese da zeólita A com elevado grau de ordem estrutural a partir de um rejeito de caulim da região do Jari.** Perspectiva. v. 39, n.147. Erechim, 2015.

DORNELAS, José. **Plano de Negócios:** seu guia definitivo: O passo a passo para você planejar e criar um negócio de sucesso. 2 ed. São Paulo: Empreende, 2016.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. **Levantamento da safra de arroz 2016/17.** Porto Alegre, 2018.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. **Ranking das indústrias de beneficiamento em 2018.** Porto Alegre, 2018.

FERREIRA, M. J. **Obtenção de silicato de sódio por lixívia alcalina a parte da cinza da casca de arroz (cinza da casca de arroz) para uso como defloculante.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), Florianópolis, 2013.

FERNANDES, L.; SABINO, M. G.; ROSSETTO, H. L. **Método de extração de sílica da casca de arroz.** Cerâmica. v. 60, p. 160-163, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v60n353/22.pdf> Acesso em 15 nov 2019.

FERNANDES, A. A. **Síntese de zeólitas e wolastonita a partir da cinza da casca de arroz.** 2006. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

FOLETTO, E. L. et al. **Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz**. Química nova, v. 28, n. 6, São Paulo, 2005.

FUNGARO, D. A. et al. **Processo de síntese de zeólita A de alta pureza utilizando diferentes tipos de cinzas de carvão mineral.** BR10218010397-0A2. Depositante: Comissão Nacional de Energia Nuclear. Depósito: 22 mai. 2018. Concessão: 10 dez. 2019.

GOMES, M. C. S.; FERREIRA, M. Z.; TONELLI, V. P.; BARROS, S. T. D.; PEREIRA, N. Z. **Aplicação de microfiltração com membranas cerâmicas no processo de separação de biodiesel e glicerina.** Acta Scientiarum. Technology. v. 33 n. 4. Maringá, 2011.

GRECCO, S. T. F.; RANGEL, M. C.; GONZÁLEZ, E. A. U. **Zeólitas hierarquicamente estruturadas.** Química Nova. v. 36. n. 1. São Paulo, 2013.

IBGE. **Panorama da cidade de Pelotas.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pelotas/panorama>. Acesso em: 25 nov 2019.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. **Boletim de resultados da lavoura de arroz. Safra 2017/18.** Porto Alegre, 2018.

IZIDORO, J. C. **Síntese e caracterização de zeólita pura obtida a partir de cinzas volantes de carvão.** 2013. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais) - Ipen (Autarquia associada à universidade de São Paulo), São Paulo, 2013.

INÁCIO, T. D. **Estudo sobre zeólitas 4A de liberação lenta de nutrientes.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

KALAPATHY, U.; PROCTOR, A.; SHULTZ, J.; **Production and Properties of Flexible Sodium Silicate Films From Rice Hull Ash Silica.** Bioresource Technology, 2000.

KORETSKY, M. D. **Termodinâmica para Engenharia Química.** Editora LTC: Rio de Janeiro, 2007.

LAU, L. Y. **Processo de preparação de zeólito tipo ZSM-5.** BR8506248A.Depositante: Petrobrás. Depósito: 30 dez. 1985. Concessão: 30 jun. 1987.

LUNA, F. J.; SCHUCHARDT, U. **Modificação de zeólitas para uso em catálise.** Química nova, v. 24, n. 6, p. 885-892, 2001.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas: prediais e industriais.**LTC, 2010.

MANSARAY, K. G.; GHALY, A. E. **Thermogravimetric Analysis of Rice Husks in an Air Atmosphere.** Energy Sources. Halifax, Canada, 1998.

MARKETS AND MARKETS. **Synthetic Zeolites Market.** 2018. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/synthetic-zeolite-market-74181103.html>. Acesso em: 25 out 2019.

MAX, D. **Saiba tudo sobre Alvará de Funcionamento.** 2019. Disponível em: <https://aberturasimples.com.br/alvara-de-funcionamento/>. Acesso em: 21 de novembro de 2019.

MARTÍN, J. M. G. **Síntesis, caracterización y aplicaciones catalíticas de zeolitas básicas.** 2001. Memoria (Doctorado en Ingeniería Química) - Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2001.

MAIA, A. A. B. **Síntese da zeólita A utilizando como precursor um rejeito de beneficiamento de caulim da Amazônia:** aplicação com adsorvente. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal do Pará. Belém, 2007.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções de longo prazo.** Brasília: MAPA/ACE, 2018.

MENDONÇA, T. R. D. **Síntese da ZSM-5 de alto teor de sílica com sementes na presença de etanol e aminas.** 2019. Tese (Doutorado em Materiais) - Universidade Federal de Alagoas, 2019.

MELO, C. R.; RIELLA, H. G. **Síntese de zeólita tipo NaA a partir de caulim para obtenção de zeólita 5A através de troca iônica.** Cerâmica, v. 56, p. 340-346, 2010.

MORAIS, A. S. **Avaliação experimental de destilação batelada em misturas etanol hidratado-cloreto de sódio por aquecimento com micro-ondas.** 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2014.

PARK, K. J. B. et al. **Seleção de secadores: fluxograma**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 179-202, 2007.

PLOTEGHER, F.; RIVEIRO, C. **Síntese e caracterização da zeólita ZSM-5 para uso em sistemas de adsorção química.** Comunicado Técnico, São Paulo, 2009.

PERRY, O. H. **Perry's chemical engineers' handbook.** 1997.

PORTAL TRIBUTÁRIO. **Lucro Real, Presumido ou simples?** Disponível em: <http://www.portaltributario.com.br/noticias/lucroreal_presumido.htm>; Acesso em 20 de julho de 2020.

SALBEGO, P. R. S. **Síntese e caracterização de zeólitas ZSM-5 por diferentes rotas e seu emprego na produção de oleofinas leves a partir de etanol.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SEBRAE. **Manual de Licenciamento ambiental: guia de procedimento passo a passo**. Rio de Janeiro: GMA, 2004.

SENA, R. S. F. **Estudo da síntese de zeólitas tipo A, X e sodalita empregando reatores vítreos: Análise dos métodos dinâmico e estático de síntese a partir de caulim residual da Região Amazônica.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

SILVA, E. D. **Formação de mesoporosidade em zeólitas ZSM-5 - Avaliação do método de preparação e do potencial como catalisador ácido através do craqueamento de cicloexano.** 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2012.

SILVA, J. F. **Influência do diâmetro de partícula da zeólita NaA na condensação catalítica de Knoevenagel.** 20º Congresso Brasileiro de Catálise, 2019.

SOUZA, M. J. B. **Beneficiamento da Fração C5+ do Pólo de Guamaré A partir de reações de Craqueamento Catalítico Sobre Zeólitas Ácidas.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.

SUTILI, F. K. et al. **Aplicação de zeólitas sintéticas como coadjuvante em formulação detergente.** Química nova, v. 32, n. 4, p. 879-883, 2009.

TRAJANO, G. **Detergente em Pó:** Produto com maior poder de lavagem e menor consumo de água é o desafio do mercado. 2011. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/detergente-em-po/4/>. Acesso em: 23 out 2019.

XIAOLI, P. et al. **Method for preparing high-purity alpha-layered sodium silicate by using rice husk ash.**Depositante: XIAOLI, P. et al. CN104591197A. Depósito: 23 jan. 2015. Concessão: 06 mai. 2015.

Silva Filho, S. H.; et al. **Síntese da zeólita A com elevado grau de ordem estrutural a partir de um rejeito de caulim da região do Jari.**PERSPECTIVA, Erechim, v. 39, n. 147, .67-72, 2015.

HOLMES, D. “Zeolites” **Industrial Minerals and Rocks**, p. 1129-1158. (1997)

MUZZI, I. et al. **Mineralogical Characterization and Evaluation of Adsorption Properties of Synthesis Zeolites from the Flint Kaolin from the Rio Capim Kaolin District, Brazil.** Apresentado no Congresso Internacional de Mineralogia Aplicada. Austrália, 2008.

ZHANG, D., WANG, R., YANG, X. **Application of fractional factorial design to ZSM-5**

synthesis using ethanol as template. Microporous and Mesoporous Materials, v. 126, p. 8-13, 2009.

UGUINA, M. A. et al. **Synthesis of ZSM-5 from Ethanol-Containing Systems. Influence of the Gel Composition.** Industrial and Engineering Chemistry Research, v. 34, p. 451-456, 1995.

YAMADA, H. et al. 2005. **Micro-cubic glass from pseudomorphism after thermal treatment of ammonium-exchanged zeolite A.** Science and Technology of Advanced Materials. v.6, p.394.

APÊNDICE A - BALANÇO DE MASSA PARA O SILICATO DE SÓDIO

A indústria processará 13.752 toneladas por ano de casca de arroz. Como a combustão da casca de arroz gera 18% em massa de cinzas, tem-se disponível 2475,36 toneladas de cinza de casca de arroz por ano. A casca do arroz é queimada na própria empresa a fim de gerar energia para a caldeira. O detalhamento das correntes do processo está apresentado na Figura 15, seção 6 do texto.

A cinza da casca de arroz apresenta aproximadamente 90% de óxido de silício disponível, portanto, a quantidade disponível para formar o silicato de sódio é 6650,22 kg/dia. Em vista da formulação industrial de Kalaphaty *et al.* (2000), calculou-se a demanda de água e NaOH, partindo da quantidade de cinza a ser processada, utilizando as Equações A.1 e A.2.

$$m_{água,i} = \frac{massa\ de\ água\ formulação}{massa\ de\ cinzas\ formulação} \cdot massa\ de\ cinzas \tag{A.1}$$

$$m_{água,i} = \frac{1350}{250} \cdot 7389{,}13 \ = \ 39.901{,}33\ kg/dia$$

$$m_{NaOH} = \frac{massa\ de\ NaOH\ formulação}{massa\ de\ cinzas\ formulação} \cdot massa\ de\ cinzas \tag{A.2}$$

$$M_{NaOH} = \frac{187}{250} \cdot 7389{,}13 \ = \ 5.527{,}07\ kg/dia$$

Partindo da reação apresentada no Item 5.1.1 e considerando “n” como sendo 2,5, calculou-se a quantidade obtida de silicato de sódio por um rendimento molar de 70%. O óxido de silício foi considerado o reagente limitante, uma vez que está “preso” às cinzas. Assim, calculou-se a quantidade de moles disponíveis de óxido de silício conforme Equação A.3.

$$n_{SiO_2} = \frac{massadeSiO2\ naCCA}{massamolarSiO2} \tag{A.3}$$

$$n_{SiO_2} = \frac{6650{,}22\ kg/dia}{68{,}08 kg/kgmol} = 97{,}68\ kmol/dia$$

Em vista que o silicato de sódio possui 2,5 moles de SiO_2 em sua estrutura, a porção calculada acima foi normalizada por 2,5 para trabalhar com a proporção estequiométrica 1:1, uma vez que o óxido de silício é o limitante, seguindo a Equação (A.4).

$$n_{SiO_2}{}' = \frac{nSiO2}{2{,}5} \tag{A.4}$$

$$n_{SiO_2}{}' = \frac{97{,}68\ mol/dia}{2{,}5} = 39{,}07\ kmol/dia$$

Portanto, considerando o rendimento de 70%, a quantidade formada de silicato de sódio é calculada pela Equação A.5.

$$n_{silicato}{}' = n_{SiO2}{}' \cdot 0{,}7 \qquad \text{(A.5)}$$

$$n_{silicato}{}' = 39{,}07 \cdot 0{,}7 = 27{,}35\ kmol/dia$$

Utilizando a massa molar do silicato de sódio considerando n igual a 2,5 chega-se à massa de silicato de sódio a seguir:

$$m_{silicato} = 27{,}35\ kmol/dia \cdot 232{,}18\ kg/kgmol = 6.350{,}34\ kg/dia$$

Como o silicato de sódio é um produto solúvel obtém-se uma solução de silicato de sódio. A quantidade apresentada acima considera a quantidade em massa, unicamente, referente ao silicato de sódio. Desta forma, considerou-se que aproximadamente 30% em massa da água calculada anteriormente permanecerá em uma corrente que apresenta os resíduos da cinza e o restante está relacionado à solução de silicato de sódio. Sendo assim, a corrente de resíduos é calculada pela Equação A.6.

$$m_{Resíduos} = mCCAi + mNaOHi + (mH2Oi \cdot 0{,}3) - (mNa2O \cdot 2{,}5SiO2) \qquad \text{(A.6)}$$

$$m_{Resíduos} = 7389{,}13 + 5527{,}05 + (39901{,}33 \cdot 0{,}3) - 6350{,}34 = 18.536{,}26\ kg/dia$$

Por fim, a corrente de solução de silicato de sódio é calculada pela equação A.7:

$$m_{Solução} = (m_{água,i} \cdot 0{,}7) + (m_{silicato}) = 16457{,}41\ kg/dia \qquad \text{(A.7)}$$

$$m_{Solução} = (39901{,}33 \cdot 0{,}7) + 6350{,}34 = 34281{,}28\ kg/dia$$

Uma vez conhecidas a quantidade de silicato de sódio formado e a corrente de solução de silicato de sódio é possível calcular a concentração da solução, a partir da equação A.8.

$$C = \frac{m_{silicato}}{m_{Solução}} \qquad \text{(A.8)}$$

$$C = \left(\frac{6350{,}34}{34281{,}28}\right) \cdot 100\% \ = 19\%$$

Portanto, a concentração de silicato de sódio na solução é de 19% (m/m).

APÊNDICE B - BALANÇO DE MASSA PARA A ZEÓLITA 4A

Para a produção da zeólita 4A utilizou-se 90% do silicato de sódio obtido anteriormente, totalizando cerca de 5715,31 kg/dia, sendo que este está em solução aquosa a 19%, aproximadamente. Assim, utilizando a razão molar de SiO_2/Al_2O_3 = 1,3, obtida no diagrama ternário (apresentado na Figura 11 da seção 5 do texto), obteve-se uma massa de 8867,31 kg/dia de aluminato de sódio. O esquema do processo, com a identificação das correntes, está apresentada na Figura 16, na seção 6 do texto.

Ainda, sabendo-se que a fórmula molecular da zeólita 4A produzida é de $Na_{12}Al_2Si_{16}O_{48}.27H_2O$, manteve-se a fração mássica correspondente de água à molécula. Assim, obteve-se a massa da mistura reacional gel, da forma apresentada na Equação B.1.

$$F_{gel} = m_{silicato} + m_{aluminato} + m_{H2O} \tag{B.1}$$

Sendo que mH2O é obtido por:

$$x_{H2O} = \frac{MM_{H2O\ na\ zeólita}}{MM_{totalzeólita\ 4A}} = \frac{27 \cdot 18{,}02}{2574{,}4} = 0{,}1728 = 17{,}28\% \tag{B.2}$$

Desse modo, a quantidade de água que comporá o gel reacional para a formação da zeólita 4A é correspondente à 17,28% da massa total de sólidos.

$$m_{H2O\ gel\ reacional} = (m_{silicato} + m_{aluminato}) \cdot x_{H2O} \tag{B.3}$$

Desta forma, a vazão mássica de gel ficará:

$$F_{gel} = 5.715{,}31\ kg/dia + 8.867{,}31\ kg/dia + 2.755{,}22\ kg/dia = 17.337{,}85\ kg/dia$$

Como o silicato de sódio do gel reacional estará em solução, a água da sua solução será utilizada para a fração mássica de água correspondente à massa de sólidos para a formação da zeólita 4A. O restante de água seguirá para posterior separação do efluente líquido do reator. Desse modo, a água restante é:

$$m_{H2O\ efluente} = m_{H2O\ total} - m_{H2O\ gel\ reacional} \tag{B.4}$$

$$m_{H2O\ efluente} = 35.911{,}20\ kg/dia - 2.755{,}22\ kg/dia = 33.155{,}97\ kg/dia$$

No tratamento hidrotérmico o rendimento de cristalização é de 68%. Assim, as vazões mássicas de zeólita e de efluente oriundo do reator serão:

$$F_{cristais} = F_{gel} \cdot 0{,}68 = 11.789{,}74\ kg/dia \quad \text{(B.5)}$$

$$F_{efluente} = F_{gel} \cdot (1 - 0{,}68) + m_{H2Oefluente} \quad \text{(B.6)}$$

$$F_{efluente} = 5.548{,}11 + 33.155{,}97\ kg/dia = 38.704{,}09 \text{ kg/dia}$$

Após, prosseguiu-se com a filtragem da suspensão formada no tratamento hidrotérmico, considerando-se que 99,4% dos sólidos ficam retidos no filtro utilizado. Assim, a corrente será:

$$F_{retidos} = 11.789{,}74\ kg/dia \cdot 0{,}994 = 11.719{,}00\ kg/dia \quad \text{(B.7)}$$

Em vista da rota tecnológica definida, ainda deve acontecer mais uma lavagem com água e outra filtragem, sendo que a massa de água será cerca de 30 vezes a massa do produto retido na primeira filtragem, e o teor de sólidos retidos na segunda filtração é 99,8%. Assim, a corrente de cristais retidos e a corrente de água de lavagem serão:

$$F_{retidos}' = F_{retidos} \cdot 0{,}998 = 11.695{,}56\ kg/dia \quad \text{(B.8)}$$

$$F_{lavagem} = 30 \cdot F_{retidos} = 351.569{,}94\ kg/dia \quad \text{(B.9)}$$

Para a secagem, considerou-se os sólidos apresentam 30% em massa de água de lavagem. Assim, esta deve ser removida por meio desta operação unitária. As correntes de entrada e saída do secador serão:

$$F_{entrada} = F_{retidos}' + 0{,}3 \cdot F_{retidos}' \quad \text{(B.10)}$$

$$F_{entrada} = 11695{,}56 + 0{,}3 \cdot 11696{,}56 = 15.204{,}23\ kg/dia$$

$$F_{saída} = 11.695{,}56\ kg/dia$$

$$F_{evaporado} = 0{,}3 \cdot 11.695{,}56\ kg/dia = 3508{,}67\ kg/dia \quad \text{(B.11)}$$

Por fim, ocorre a etapa de calcinação, onde considerou-se que 5% da massa de produto é perdida durante o processo. Assim, o produto final, será:

$$F_{produto} = F_{saída} \cdot 0{,}95 = 11.110{,}78\ kg/dia \quad \text{(B.12)}$$

A parcela de efluente destinada à ETE será:

$$Efluente\ final\ = F_{efluente}\ +\ F_{lavagem} - F_{evaporado} \qquad \text{(B.13)}$$
$$Efluente\ final\ = 38.704{,}09\ +\ 351.569{,}94\ - 3508{,}67\ = 386.765{,}36\ kg/dia$$

Como o reator da zeólita 4A foi dividido em 2, algumas vazões mássicas apresentadas acima podem ter sido apresentadas em seções anteriores com valores na divisão de 50% para cada reator. Bem como, a fim de obter-se números mais interessantes, as vazões foram convertidas para kg/h ou ton/ano. Para transformar de kg/dia para kg/h divide-se a corrente por 24, uma vez que a planta opera 24 horas por dia, e para transformar o mesmo em ton/ano multiplica-se o valor por 335 dias de operação da planta, também dividindo-o por 1000.

APÊNDICE C - BALANÇO DE MASSA PARA A ZEÓLITA ZSM-5

Haja vista que 10% em massa do silicato de sódio obtido é destinado para a produção da zeólita ZSM-5, tem-se 635,03 kg/dia de silicato de sódio disponível em uma corrente aquosa a 19%. As correntes do processo estão detalhadas na Figura 17, seção 6 do texto, onde a primeira etapa do processo é dispersar sementes da zeólita em água, esta porcentagem é na ordem de 0,3% em massa da quantidade de silicato, sendo assim:

$$m_{Sementes} = 0{,}003 \cdot m_{silicato} \tag{C.1}$$
$$m_{Sementes} = 0{,}003 \cdot 635{,}03 = 1{,}90\ kg/dia$$

Estas sementes são dispersas em uma quantidade de água 40 vezes maior que a massa de silicato, portanto, a massa de suspensão formada será

$$m_{Suspensão} = 40 \cdot m_{silicato} + m_{Sementes} \tag{C.2}$$
$$m_{Suspensão} = 40 \cdot 635{,}03 + 1{,}9 = 25403{,}29\ kg/dia$$

A suspensão formada será dividida em duas partes para, em uma (1), receber a massa de silicato de sódio, e outra (2), receber a massa de óxido de alumínio. Desta forma:

$$m_{Suspensão1} = \frac{m_{Suspensão}}{2} + m_{silicato} \tag{C.3}$$
$$m_{Suspensão1} = \frac{25403{,}29}{2} + 635{,}03 = 13.336{,}68\ kg/dia$$
$$m_{Suspensão2} = \frac{m_{Suspensão}}{2} + m_{Aluminato} \tag{C.4}$$

Para calcular a massa necessária de óxido de alumínio partiu-se da razão molar entre Si/Al igual a 60, relacionando com o número de moles e massa molar chega-se a 5,38 kg/dia.

$$m_{Suspensão2} = \frac{25403{,}29}{2} + 5{,}38 = 12.707{,}02\ kg/dia$$

A união das suspensões 1 e 2 é chamada de gel reacional, sendo que este compõe uma corrente de 26.043,7 kg/dia e, a este, será adicionado ácido sulfúrico (P.A.) e etanol nas proporções silicato/etanol = 3 e ácido sulfúrico, com proporção ácido sulfúrico/aluminato de sódio = 36,7.

$$m_{Ácido} = MM_{H2SO4} \cdot n_{Aluminato} \cdot 36{,}7 \quad (C.5)$$

$$m_{Ácido} = 98{,}079 \frac{kg}{kmol} \cdot 0{,}0456\ mols\ Aluminato \cdot 36{,}7\ = 164{,}08\ kg/dia$$

$$m_{etanol} = MM_{Etanol} \cdot m_{silicato} \cdot 0{,}333 \quad (C.6)$$

$$m_{etanol} =\ 46{,}06\ kg/kmol\ \cdot\ 635{,}03\ kg/diaSilicato \cdot 0{,}333\ = 9.749{,}9\ kg/dia$$

Desse modo, a quantidade presente de gel reacional no reator será:

$$m_{gel} = mSuspensão1\ + mSuspensão2\ + mEtanol\ + mÁcido \quad (C.7)$$

$$m_{gel} = 13.336{,}68 + 12.707{,}02 + 9.749{,}9 + 164{,}08 = 35.957{,}68\ kg/dia$$

O rendimento em sólidos é 88%, portanto, considera-se que a massa de sólidos presentes no reator é equivalente à soma do silicato, das sementes, do aluminato e da água, conforme indica a fórmula molecular da zeólita ZSM-5: $Na.Al.Si_{95}.O_{192}.16H_2O$. Assim, a vazão mássica de sólidos do gel reacional é:

$$m_{Sólidos} = msilicato + mSementes + maluminato\ +\ mH2O \quad (C.8)$$

Sendo que a massa de H2O da zeólita é formada pela fração mássica presente na fórmula molecular:

$$x_{H2O} = \frac{MM_{H2O}}{MM_{total\ zeólita\ 4A}} = \frac{16 \cdot 18{,}02}{9115{,}88} = 0{,}03162 = 3{,}162\% \quad (C.9)$$

Desse modo, a quantidade de água que comporá o gel reacional para a formação da zeólita 4A é correspondente à 3,162% da vazão mássica total de sólidos.

$$m_{H2O} = (m_{silicato} +\ m_{aluminato}\ +\ m_{Sementes})\ .\ x_{H2O} \quad (C.10)$$

Desta forma, a vazão mássica do que poderá formar o produto sólido no reator é:

$$m_{Sólidos} =\ 635{,}03kg/dia\ + 1{,}905kg/dia\ + 635{,}03\ kg/dia\ +\ 20{,}31\ kg/dia\ \ = 662{,}63kg/dia$$

Portanto, a formação de produto final, zeólita ZSM-5 será:

$$m_{zeólita} = 662{,}63 \cdot 0{,}88 \ = \ 583{,}11 \ kg/dia \qquad (C.11)$$

A quantidade de água utilizada para etapa de lavagem será de 30 vezes a massa de sólidos presente no autoclave, totalizando 17.493,41 kg/dia. Ainda, considerando que, após a filtração da zeólita, 30% em seu peso em água ficará adsorvido, sabe-se que a quantidade de água que deverá ser removida por secagem será:

$$m_{secagem} = 583{,}11 \cdot 0{,}3 \ = \ 174{,}93 \ kg/dia \qquad (C.12)$$

Por fim, o produto deve ser submetido à uma calcinação, considerou-se que, após este processo, o produto perde 5% em massa. Deste modo, a vazão mássica do produto final será

$$m_{zeólita\ ZSM-5} = 583{,}11 \cdot 0{,}95 \ = \ 552{,}05 \ \ kg/dia \qquad (C.13)$$

Ainda, após o processo de calcinação da zeólita ZSM-5, há a peletização do produto final, para posterior distribuição. A peletização consiste na adição de 90% em massa da zeólita formada, com 5% em massa do aglutinante bentonita e 5% em massa do aglutinante caulinita. Desse modo, a quantidade de cada composto, bem como a quantidade de produto final peletizado, será:

$$m_{bentonita} = 552{,}05 \ \cdot 0{,}05 \ = \ 27{,}6 \ \ kg/dia \qquad (C.14)$$
$$m_{caulinita} = 552{,}05 \ \cdot 0{,}05 \ = \ 27{,}6 \ \ kg/dia \qquad (C.15)$$
$$m_{ZSM-5\ peletizadora} = Bentonita \ + \ mCaulinita \ + (m_{zeólita\ ZSM-5} \cdot 0{,}9) \qquad (C.16)$$
$$m_{ZSM-5\ peletizadora} = 27{,}6 \ + \ 27{,}6 \ + \ 552{,}05 \ = 607{,}26 \ kg/dia$$

Quanto aos efluentes gerados, a quantidade gerada será:

$$Efluente\ final \ = \ Efluente\ reator \ + \ Efluente\ lavagem \qquad (C.17)$$
$$Efluente\ reator \ = \ m_{gel} \ - \ m_{Sólidos} \ = \ 35.374{,}57 \ kg/dia \qquad (C.18)$$

$$Efluente\ lavagem \ = \ 17.493{,}4 \ - \ 174{,}93 \ = \ 17.318{,}47 \ kg/dia \qquad (C.19)$$
$$Efluente\ final \ = \ 52.693{,}04 \ kg/dia$$

Como o reator da zeólita ZSM-5 foi dividido em 2, algumas vazões mássicas apresentadas acima podem ter sido apresentadas em seções anteriores com valores na divisão de 50% para cada reator. Bem como, a fim de obter-se números mais interessantes, as vazões foram convertidas para kg/h ou ton/ano. Para transformar de kg/dia para kg/h divide-se a corrente por 24, uma vez que a planta opera 24 horas por dia, e para transformar o mesmo em

ton/ano multiplica-se o valor por 335 dias de operação da planta, também dividindo-o por 1000.

APÊNDICE D - RECUPERAÇÃO DE ETANOL

Ao passo em que a concentração de etanol presente no efluente é de 27,56% (m/m) e/ou 13,4 mol%, sua recuperação é muito interessante uma vez que a corrente de efluente do reator da zeólita ZSM-5 corresponde a 35.374,57 kg/dia. Dividindo esta corrente em seus constituintes é possível construir a Tabela 50.

Tabela 50 - Constituintes do efluente do reator da zeólita ZSM-5.

Constituinte	Vazão (kg/dia)	Vazão (kgmol/dia)
Etanol	9.749,9	211,95
Ácido Sulfúrico	164,08	1,67
Água	24.624,62	1368,03
Outros	79,52	0,01
Total	34.618,11	1581,67

Fonte: Autores, 2020.

A vazão de kg/dia foi convertida em kgmol/dia através da massa molar de cada substância. Para a parcela destinada a “outros”, considerou-se a massa molar da zeólita uma vez que esta quantidade corresponde a parcela que não cristalizou, como a porcentagem é pequena, é uma boa aproximação.

Assim, montou-se as equações de balanço apresentadas abaixo, nas quais as siglas presentes nas equações de balanço estão apresentadas na Tabela 51.

Tabela 51 - Simbologia utilizada no balanço de massa.

Sigla	Significado
E	Efluente
D	Destilado
R	Resíduo
$X_{etanol,E}$	Fração de etanol no efluente
$X_{etanol,D}$	Fração de etanol no destilado
$X_{etanol,R}$	Fração de etanol no resíduo
$X_{água,E}$	Fração de água no efluente
$X_{água,D}$	Fração de água no destilado
$X_{água,R}$	Fração de água no resíduo
n_E	Moles no efluente
n_D	Moles no destilado
n_R	Moles no resíduo
MM_{etanol}	Massa molar etanol
$MM_{água}$	Massa molar água

Fonte: Autores, 2020.

$$R = E - D \tag{D.1}$$

$$R = 35.374{,}57 - D \tag{D.2}$$

$$E \cdot X_{etanol,E} = D \cdot X_{etanol,D} + R \cdot X_{etanol,R} \tag{D.3}$$

$$35.374{,}57 \cdot 0{,}2756 = D \cdot 0{,}91 + R \cdot X_{etanol,R} \tag{D.4}$$

$$E \cdot X_{água,E} = D \cdot X_{etanol,D} + R \cdot X_{água,R} \tag{D.5}$$

$$35.374{,}57 \cdot 0{,}7175 = D \cdot 0{,}09 + R \cdot X_{água,R} \tag{D.6}$$

O objetivo do balanço era descobrir a vazão da corrente de destilado. Uma vez que o etanol e a água formam um azeótropo na concentração de 89,4 mol%, considerou-se que a destilação iria obter um destilado com concentração de 80 mol%, pois esta será dada em destilação batelada, por ser um processo mais simples. A transformação de fração molar para fração mássica desta corrente foi dada conforme equacionamento a seguir.

$$Xmolar \ = \ 0{,}8 \ = \frac{(m_{etanol}/MM_{etanol})}{(m_{etanol}/MM_{etanol}) + (m_{água}/MM_{água})} \tag{D.7}$$

Obteve-se, então:

$$m_{etanol} \ = \ 10{,}2222 \, m_{água} \tag{D.8}$$

Para um valor arbitrário de $m_{água}$ = 1 kg, tem-se 10,2222 kg de etanol, portanto, a fração mássica será

$$X \ (m/m) \ = \ \frac{10{,}2222}{10{,}2222 \ + \ 1} = \ 0{,}91$$

Pode-se escrever alguns balanços considerando vazões e frações molares, sendo eles

$$n_E = n_D + n_R \tag{D.9}$$

$$1581{,}68 \, kgmol \ = \ n_D \ + \ n_R \tag{D.10}$$

$$n_R = \ 1581{,}68 \ - \ n_D \tag{D.11}$$

$$n_E \cdot X_{etanol,E} \ = n_D \cdot X_{etanol,D} \ + \ n_R \cdot X_{etanol,R} \tag{D.12}$$

$$1581{,}68 \cdot 0{,}134 \ = \ n_D \cdot 0{,}8 \ + \ n_R \cdot X_{etanol,R} \tag{D.13}$$

Também considerando que a destilação diferencial será conduzida até que a fração molar de etanol no resíduo seja de 0,05, é possível utilizar a Equação D.11 na Equação D.13 e obter o número de moles presentes no destilado.

$$1581{,}68 \cdot 0{,}134 \ = \ n_D \cdot 0{,}8 \ + \ (1581{,}68 \ - \ n_D) \cdot 0{,}05$$
$$211{,}945 \ = \ 0{,}8n_D - 0{,}05n_D + \ 79{,}084$$
$$n_D = \ 177{,}148 \, kg$$

O destilado obtido é composto por 80 mol% de etanol e 20 mol% de água, assim, considerando as massas molares da água e do etanol, é possível calcular o valor de D necessário para a Equação D.2.

$$n_{etanol,D} = n_D \cdot 0{,}8 \ = \ 141{,}7185 \ kgmol \tag{D.14}$$
$$n_{água,D} = n_D \cdot 0{,}2 \ = \ 35{,}429 \ kgmol \tag{D.15}$$

$$D \ = \ MM_{água} \cdot 35{,}429 \ + \ MM_{etanol} \cdot 141{,}7185 \tag{D.16}$$
$$D \ = \ 18 \cdot 35{,}429 \ + \ 46 \cdot 141{,}7188$$
$$D \ = \ 7.156{,}77 \ kg$$

Também é possível calcular a corrente de resíduo e a fração de etanol, em massa, nela presente, aplicando na Equação D.2 o valor de D obtido pela Equação D.16.

$$R \ = \ 35.374{,}57 \ - \ 7.156{,}77$$
$$R \ = \ 28.217{,}797 \ kg$$

Aplicando Os valores de D e R na equação D.3 obtém-se:

$$35.374{,}57 \cdot 0{,}2756 \ = \ 7.156{,}77 \cdot 0{,}91 \ + \ 28.217{,}797 \cdot X_{etanol,R}$$
$$X_{etanol,R} = \ 0{,}1146 \ (m/m)$$

Portanto, as quantidades de etanol recuperado e perdido serão:

$$Etanol\ recuperado \ = \ D \cdot X_{etanol,D} = \ 7.156{,}77 \ kg \cdot 0{,}91 \ = \ 6512{,}66 \ kg/dia$$

$$Etanol\ perdido \ = \ Etanol\ total - Etanol\ recuperado \tag{D.17}$$
$$Etanol\ perdido = 9749{,}89 \ kg/dia \ - \ 6512{,}66 \ = \ 3.237{,}23 \ kg/dia$$

Assim, em reciclo, a quantidade de reposição de etanol por batelada passa a ser 3.237,23 kg/dia em vez de 9749,89 kg/dia. Este valor corresponde a uma economia de 2.181,74 toneladas por ano de etanol.

APÊNDICE E - BALANÇO ENERGÉTICO PARA A CALDEIRA

A fim de determinar a quantidade aproximada de casca de arroz que a caldeira irá queimar realizou-se o balanço energético para a mesma. Como o sistema é aberto, tem-se:

$$Q = \Delta H \tag{E.1}$$

$$Q = m \cdot (h_v - h_1) \tag{E.2}$$

Onde: Q é a quantidade de calor necessária para aquecer a água de um estado 1 para um estado 2; e m é a vazão mássica de vapor e h_v e h_1 são as entalpias da água nos estados de vapor saturado e 1, respectivamente.

Considerando a água como um fluido incompressível, calculou-se sua entalpia no estado 1 através de sua capacidade calorífica, utilizando um C_p conforme a Equação E.3:

$$h1 = Cp \cdot \Delta T = \frac{1\,Kcal}{Kg^{\circ}C} \cdot \frac{4{,}18\,KJ}{Kcal}[T1\,(°C) - 0{,}01\,°C] \tag{E.3}$$

Sabendo que, para um primeiro momento, a temperatura de entrada de água na caldeira (T_1) tem o valor de 25 ºC, aproximadamente, obtém-se que h_1 = 104,46 KJ/Kg pela Equação E.3. Todavia, após a caldeira passar a ser alimentada com condensado, a temperatura da água de alimentação passa a ser, aproximadamente, T_1' = 90 ºC, e portanto, h_1' = 376,52 KJ/Kg.

Sabendo, também, que a demanda de vapor saturado para indústria é de 9.508,92 Kg/h, sendo que este está a 205ºC e uma pressão de 1723 KPa, sua entalpia de vapor saturado, (hv), obtido pelas tabelas termodinâmicas da água (KORETSKY, 2007), é 2796,03 KJ/Kg. Desta forma, calcula-se, pela Equação E.2, a demanda energética para transformar 7510 Kg de água em 7510 Kg de vapor saturado a 205ºC e 1723 KPa, considerando T_1 e T_1'.

$$Q = 9508{,}92 \cdot (2796{,}03 - 104{,}46)$$
$$Q = 25.593.923{,}8\,KJ/h$$

$$Q' = 9508{,}92 \cdot (2796{,}03 - 376{,}52)$$
$$Q' = 23.006.927{,}03\,KJ/h$$

Para calcular, então, a quantidade de casca de arroz necessária a ser queimada para

atender a demanda de vapor considerou-se que esta, com uma umidade de 12%, apresenta poder calorífico inferior (Pci) de 3200 cal/Kg. A quantidade de energia liberada na queima de casca de arroz é dada pela Equação E.4. Sendo que m_c é a quantidade de casca queimada e q é o Pci da casca de arroz.

$$E = q \cdot m_c \tag{E.4}$$

Sabendo que a quantidade de energia transferida para o vapor não será igual a liberada, considerou-se um fator de eficiência de 70%, como apresentado na Equação E.5.

$$Q = 0{,}7 \cdot E \tag{E.5}$$

Desta forma, calcula-se a massa de casca de arroz necessária para elevar a temperatura da água até 205ºC, para as duas temperaturas de alimentação, utilizando as equações E.4 e E.5, conforme:

$$Q = 0{,}7 \cdot q \cdot m_c$$

$$mc = \frac{Q}{0{,}7 \cdot q}$$

$$mc = \frac{Q}{0{,}7 \cdot 3200\ Kcal/Kg \cdot 4{,}184 KJ/Kcal}$$

$$mc = \left(\frac{25.593.923{,}8\ KJ/h}{0{,}7 \cdot 3200\ Kcal/Kg \cdot 4{,}184 KJ/Kcal}\right)/1000$$

$$mc = 2{,}73\ toneladas/h$$

$$mc' = \left(\frac{23.006.927{,}03\ \ KJ/h}{0{,}7 \cdot 3200\ Kcal/Kg \cdot 4{,}184 KJ/Kcal}\right)/1000$$

$$mc' = 2{,}45\ toneladas/h$$

Desta forma, a alimentação média da caldeira é na ordem de 2,59 toneladas de casca de arroz por hora. Da mesma forma, só para o processo é necessário a queima de 1,71 tonelada de

casca de arroz por hora, tornando viável fazer o uso deste combustível, exclusivamente, para a caldeira uma vez que está disponível em grande quantidade, não sendo necessário levar em conta a compra de madeira, óleo, gás, entre outros, para geração de energia. É interessante notar que a caldeira foi especialmente selecionada para a queima de biomassa.

APÊNDICE F- PROJETO DOS TROCADORES DE CALOR

Os trocadores utilizados no projeto industrial serão tubulares, do tipo casco e tubo. Desse modo, o projeto de trocadores de calor visa atender a demanda de troca de calor para os cinco reatores da planta, R-101, R-201, R-202, R-301, R-302, em que serão alocados seis trocadores de calor, com objetivos e tempo de operação demonstrados na Tabela 52. As nomenclaturas dos equipamentos estão apresentadas no Apêndice H.

Tabela 52 - Objetivos e tempo de operação dos trocadores de calor do processo.

Trocador de calor	Objetivo	Tempo de operação (horas/dia)
TQ-101	Aquecimento da água de entrada no reator R-101 a 60ºC	8
TQ-102	Aquecimento do fluido de troca térmica da camisa de aquecimento do reator R-101	12
TQ-201	Aquecimento do fluido de troca térmica da camisa de aquecimento do reator R-201	12
TQ-202	Aquecimento do fluido de troca térmica da camisa de aquecimento do reator R-202	12
TQ-301	Aquecimento do fluido de troca térmica da camisa de aquecimento do reator R-301	21
TQ-302	Aquecimento do fluido de troca térmica da camisa de aquecimento do reator R-302	21

Fonte: Autores, 2020.

Assim, a demanda de calor trocado para cada trocador de calor, foi calculada por meio da vazão mássica de entrada de cada reator, bem como a capacidade calorífica de cada gel reacional (Cp), para avaliar a demanda energética do processo, nas condições de temperatura desejadas. Dessa forma, utilizou-se as Equações F.1 e F.2.

$$Cp_{médio} = \frac{x_1 \cdot Cp_1 + x_2 \cdot Cp_2 + x_3 \cdot Cp_3}{x_t} \quad \text{(F.1)}$$

$$Q = m \cdot Cp_{médio} \cdot \Delta T \quad \text{(F.2)}$$

Em que:

$Cp_{médio}$ = capacidade calorífica média dos géis reacionais de cada reator (kJ/kg.K)

x_1, x_2, x_3 = frações mássicas dos componentes de cada gel reacional

x_t = fração mássica total de cada gel reacional

Q = calor requerido (kJ/h)

ΔT = variação de temperatura de entrada e saída de cada reator (K)

Desse modo, as capacidades caloríficas dos compostos encontram-se dispostas na Tabela 53 e, na Tabela 54, encontram-se dispostos os dados das condições de operação de cada reator, bem como o resultado dos equacionamentos de calor demandado por cada reator, na respectiva condição de aquecimento.

Tabela 53 - Capacidade calorífica dos compostos do processo.

Substâncias	**Cp (KJ/Kg.°C)**
Hidróxido de sódio	1,48
Água	4,18
Cinza de casca de arroz	0,68
Silicato de sódio	0,92
Aluminato de sódio	0,62
Etanol	2,46
Ácido sulfúrico	1,34

Fonte: Autores, 2020.

Tabela 54 - Dados sobre vazão, temperaturas, capacidade calorífica e demanda de calor dos reatores.

Reator	Vazão mássica m (kg/h)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de saída (°C)	$Cp_{médio}$ (Kg/KJ°C)	Q (MJ/h)
R-101 – água	4987,666322	50	90	4,18	834,772
R-102 – gel reacional	4401,461588	50	90	3,39	897,749
R-201	1804,649252	20	100	3,02	408,985
R-202	1804,649252	20	100	3,02	408,985
R-301	914,1269395	20	180	3,68	487,307
R-302	914,1269395	20	180	3,68	487,307

Fonte: Autores, 2020.

Após a demanda de calor definida, determinou-se a área de troca térmica de cada trocador de calor do projeto, em que os coeficientes globais de troca de calor (U) dos seus fluidos foi obtido a partir da referência Perry e Green, 2008. Ainda, as equações utilizadas para o cálculo, estão dispostas nas Equações F.3, F.4, F.5 e F.6.

$$ma = Q \cdot Cp, a \cdot \Delta T \quad \text{(F.3)}$$

$$mv = \frac{m \cdot Cp \cdot \Delta T}{hfg \cdot t} \quad \text{(F.4)}$$

$$A = Q \cdot U \cdot \Delta TML \quad \text{(F.5)}$$

$$\Delta T_{ML} = \frac{T_{max} - T_{min}}{ln(T_{max}\ T_{min})} \quad \text{(F.6)}$$

Em que:

m_a = vazão mássica de água requerida (kg/h)

m_v = vazão mássica de vapor requerido (kg/h)

$C_{p,a}$ = calor específico da água (kJ/Kg.°C)

hfg = entalpia de evaporação do vapor (kJ/kg)

h = tempo de operação (horas)

ΔT = Diferença de temperatura da água na entrada e na saída do trocador (°C)

ΔT_{ML} = Média logarítmica da diferença de temperatura (°C)

$\Delta T_{máx}$ = Diferença entre a temperatura de entrada do fluido quente e a temperatura de saída do fluido frio (°C)

$\Delta T_{mín}$ = Diferença entre a temperatura de saída do fluido quente e a temperatura de entrada do fluido frio (°C)

Com base nesses equacionamentos, a Tabela 55 indica os fluidos utilizados nos trocadores de calor, com seus respectivos coeficientes globais de transferência de calor. Já os resultados da aplicação das equações para projeto de trocadores de calor, estão dispostos na Tabela 56.

Tabela 55 - Fluidos e seus coeficientes globais de transferência de calor dos trocadores.

Trocador de calor	Fluido quente	Fluido frio	U (J/h.m².ºC)
TQ-101	Vapor saturado	Água fria	1419,56
TQ-102	Vapor saturado	Água fria	1419,56
TQ-201	Vapor saturado	Água fria	1419,56
TQ-202	Vapor saturado	Água fria	1419,56
TQ-301	Vapor saturado	Óleo mineral	750
TQ-302	Vapor saturado	Óleo mineral	750

Fonte: Autores, 2020.

Tabela 56 - Temperaturas e área de troca térmica dos trocadores de calor.

Trocador de calor	TQ1 (ºC)	TQ2 (ºC)	TF1 (ºC)	TF2 (ºC)	ΔT_{ML} (ºC)	Área de troca térmica (m²)
TQ-101	205	80	60	20	74,6	7,88
TQ-102	205	120	100	20	82,5	7,67
TQ-201	205	120	110	20	87,5	3,3
TQ-202	205	120	110	20	87,5	3,3
TQ-301	205	190	180	20	61,25	10,6
TQ-302	205	190	180	20	61,25	10,6

Fonte: Autores, 2020.

Por fim, para essas condições, determinou-se a vazão de vapor, de água e de óleo para cada trocador de calor, que estão demonstrados na Tabela 57.

Tabela 57 - Vazões de vapor, água e óleo dos trocadores de calor.

Trocador de calor	ma (kg/h)	móleo (kg/h)	hfg (KJ/kg)	mvapor (kg/h)
TQ-101	10843,23	-	2.257,00	803,27
TQ-102	2682,1	-	2.114,00	424,26
TQ-201	1086,11	-	2.110,00	193,28
TQ-202	1086,11	-	2.110,00	193,28
TQ-301	-	10127,75	1.716,00	3947,22
TQ-302	-	10127,75	1.716,00	3947,22

Fonte: Autores, 2020.

APÊNDICE G - MEMORIAL DE CÁLCULO PARA INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

G.1 TUBULAÇÕES DE ÁGUA FRIA PARA PROCESSO

Para o dimensionamento das tubulações de água fria, parte-se do cálculo do diâmetro a partir da velocidade máxima indicada. Neste caso, esta velocidade é 2,5 m/s pois as vazões são elevadas e esperam-se bitolas maiores de 1 polegada (MACINTYRE, 2010). A Equação G.1 é a utilizada para este cálculo.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_R}} \tag{G.1}$$

Onde Q é a vazão volumétrica e v_R é a velocidade máxima indicada.

Os valores utilizados e o diâmetro calculado estão apresentados na Tabela 58.

Tabela 58 - Diâmetros calculados para velocidade de 2,5 m/s.

Trecho	m (kg/h)	Q (m^3/s)	D calculado (m)
1 - 2	31932,76	0,0089	0,0673
2 - 3	2682,09	0,0007	0,0195
2 - 4	29250,67	0,0081	0,0644
4 - 5	428,79	0,0001	0,0078
4 - 6	28821,88	0,0080	0,0639
6 - 7	428,79	0,0001	0,0078
6 - 8	28393,09	0,0079	0,0634
8 - 9	10843,23	0,0030	0,0392
8 - 10	17549,86	0,0049	0,0499
10 - 11	728,89	0,0002	0,0102
10 - 12	16820,97	0,0047	0,0488
12 - 13	1086,11	0,0003	0,0124
12 - 14	15734,86	0,0044	0,0472
14 - 15	14648,75	0,0041	0,0456
14 - 16	1086,11	0,0003	0,0124

Fonte: Autores, 2020.

A partir do diâmetro calculado para a vazão máxima, escolhem-se bitolas existentes comercialmente e faz-se a comparação destas com relação à velocidade do fluido, calculada pela Equação G.2. Esta velocidade não deve ser superior à velocidade máxima. Assim, é possível realizar a seleção da bitola adequada à canalização. Estes valores estão apresentados na Tabela 59.

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \tag{G.2}$$

Tabela 59 - Cálculo das bitolas e seleção destas.

Trecho	Menor diâmetro			Maior diâmetro			Bitola escolhida
	D interno comercial (m)	Bitola (in)	v (m/s)	D interno comercial (m)	Bitola (in)	v (m/s)	
1 - 2	0,06268	2,5"	2,8798	0,07792	3"	1,8635	3"
2 - 3	0,01576	1/2"	3,8260	0,02096	3/4 "	2,1631	¾"
2 - 4	0,06268	2,5"	2,6379	0,07792	3"	1,7070	3"
4 - 5	0,01576	1/2"	0,6117	0,02096	3/4 "	0,3458	¾ "
4 - 6	0,06268	2,5"	2,5993	0,07792	3"	1,6819	3"
6 - 7	0,01576	1/2"	0,6117	0,02096	3/4 "	0,3458	¾"
6 - 8	0,06268	2,5"	2,5606	0,07792	3"	1,6569	3"
8 - 9	0,03508	1 1/4"	3,1219	0,04094	1 1/2"	2,2922	1 ½ "
8 - 10	0,04094	1 1/2"	3,7099	0,05248	2"	2,2577	2"
10 - 11	0,01576	1/2"	1,0398	0,02096	3/4 "	0,5878	¾ "
10 - 12	0,04094	1 1/2"	3,5558	0,05248	2"	2,1640	2"
12 - 13	0,01576	1/2"	1,5493	0,02096	3/4 "	0,8759	¾"
12 - 14	0,04094	1 1/2"	3,3262	0,05248	2"	2,0242	2"
14 - 15	0,04094	1 1/2"	3,0966	0,05248	2"	1,8845	2"
14 - 16	0,01576	1/2"	1,5493	0,02096	3/4 "	0,8759	¾"

Fonte: Autores, 2020.

Para o dimensionamento da tubulação de água para a caldeira e abastecimento dos reservatórios, utilizou-se as mesmas equações G.1 e G.2. Seus resultados estão apresentados nas Tabelas 60 e 61. Para o trecho 1 - 2, o diâmetro da bitola depende do sistema de *air-lift*, determinado na seção 7.6 do texto, seguindo Anexo W, sendo este diâmetro de 4 polegadas.

Tabela 60 - Diâmetros calculados para velocidade de 2,5 m/s.

Trecho	m (kg/h)	Q (m^3/s)	D calculado (m)
1 - 2	-	-	-
2 - 3	2000	0,0006	0,0168
2 - 4	31932,76	0,0089	0,0673
5 - 6	4991,05	0,0014	0,0266
7 - 8	4991,05	0,0014	0,0266
9 - 10	14973,15	0,0042	0,0461

Fonte: Autores, 2020.

Tabela 61 - Dimensões comerciais e escolha da bitola.

Trecho	Menor diâmetro			Maior diâmetro			Bitola escolhida
	D interno comercial (m)	Bitola (in)	v (m/s)	D interno comercial (m)	Bitola (in)	v (m/s)	
1 - 2	-	-	-	-	-	-	4"
2 - 3	0,01576	1/2"	3,8260	0,02096	3/4 "	2,1631	¾"
2 - 4	0,06268	2,5"	2,6379	0,07792	3"	1,7070	3"
4 - 5	0,01576	1/2"	0,6117	0,02096	3/4 "	0,3458	¾"
4 - 6	0,06268	2,5"	2,5993	0,07792	3"	1,6819	3"
6 - 7	0,01576	1/2"	0,6117	0,02096	3/4 "	0,3458	¾"

Fonte: Autores, 2020.

G.2 TUBULAÇÕES DE ÁGUA FRIA

Para o cálculo da água fria, adotou-se a velocidade arbitrária de 2 m/s para a estimativa do diâmetro, também utilizando a Equação G.1. Na Tabela 62 são apresentados a massa e vazão em cada trecho do sistema de distribuição de tubulação, assim como o diâmetro, em metros, obtido através da área do tubo naquele trecho.

Tabela 62 - Diâmetros calculados para velocidade de 2 m/s.

(continua)

Trecho	m (kg/h)	Q (m^3/s)	D calculado (m)
1 - 2	0.084156335	8.43056E-05	0.007326021
2 - 3	0.001091172	1.09311E-06	0.000834202
2 - 4	0.083065163	8.32124E-05	0.007278371
4 - 5	0.001091172	1.09311E-06	0.000834202
4 - 6	0.08197399	8.21193E-05	0.007230408
6 - 7	0.001091172	1.09311E-06	0.000834202
6 - 8	0.080882818	8.10262E-05	0.007182124
8 - 9	0.001091172	1.09311E-06	0.000834202
8 - 10	0.079791646	7.99331E-05	0.007133513
10 - 11	0.001091172	1.09311E-06	0.000834202
10 - 12	0.078700474	7.884E-05	0.007084569
12 - 13	0.001091172	1.09311E-06	0.000834202
12 - 14	0.077609302	7.77469E-05	0.007035284
14 - 15	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
14 - 16	0.077150556	7.72874E-05	0.007014461
16 - 17	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
16 - 18	0.076691811	7.68278E-05	0.006993575
18 - 19	0.015510167	1.55377E-05	0.003145089
19 - 20	0.000722099	7.2338E-07	0.000678615
19 - 21	0.014788067	1.48143E-05	0.003071005
21 - 22	0.000722099	7.2338E-07	0.000678615
21 - 23	0.014065968	1.40909E-05	0.002995088
23 - 24	0.004688656	4.69697E-06	0.001729215
23 - 25	0.009377312	9.39394E-06	0.002445479
25 - 26	0.004688656	4.69697E-06	0.001729215
25 - 27	0.004688656	4.69697E-06	0.001729215

Tabela 62 - Diâmetros calculados para velocidade de 2 m/s.

(continuação)

Trecho	m (kg/h)	Q (m^3/s)	D calculado (m)
18 - 28	0.061181644	6.12901E-05	0.00624648
28 - 29	0.016886403	1.69163E-05	0.003281658
29 - 30	0.000722099	7.2338E-07	0.000678615
29 - 31	0.016164304	1.6193E-05	0.003210726
31 - 32	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
31 - 33	0.015705558	1.57334E-05	0.003164838
33 - 34	0.000722099	7.2338E-07	0.000678615
33 - 35	0.014983459	1.501E-05	0.003091226
35 - 36	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
35 - 37	0.014524714	1.45505E-05	0.003043537
37 - 38	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
37 - 39	0.014065968	1.40909E-05	0.002995088
39 - 40	0.004688656	4.69697E-06	0.001729215
39 - 41	0.009377312	9.39394E-06	0.002445479
41 - 42	0.004688656	4.69697E-06	0.001729215
41 - 43	0.004688656	4.69697E-06	0.001729215
28 - 44	0.044295241	4.43738E-05	0.005315
44 - 45	0.01203763	1.2059E-05	0.002770737
45 - 46	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
45 - 47	0.011578885	1.15994E-05	0.002717428
47 - 48	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
47 - 49	0.01112014	1.11399E-05	0.002663053
49 - 50	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
49 - 51	0.010661394	1.06803E-05	0.002607545
51 - 52	0.001444198	1.44676E-06	0.000959706
51 - 53	0.009217196	9.23354E-06	0.002424511

Tabela 62 - Diâmetros calculados para velocidade de 2 m/s.

(continuação)

Trecho	m (kg/h)	Q (m^3/s)	D calculado (m)
53 - 54	0.001444198	1.44676E-06	0.000959706
53 - 55	0.007772997	7.78678E-06	0.002226481
55 - 56	0.001444198	1.44676E-06	0.000959706
55 - 57	0.006328799	6.34002E-06	0.002009025
57 - 58	0.001444198	1.44676E-06	0.000959706
57 - 59	0.0048846	4.89326E-06	0.001764978
59 - 60	0.000519911	5.20833E-07	0.000575824
59 - 61	0.004364689	4.37243E-06	0.001668405
61 - 62	0.001091172	1.09311E-06	0.000834202
61 - 63	0.003273517	3.27932E-06	0.001444881
63 - 64	0.001091172	1.09311E-06	0.000834202
63 - 65	0.002182344	2.18621E-06	0.00117974
65 - 66	0.001091172	1.09311E-06	0.000834202
65 - 67	0.001091172	1.09311E-06	0.000834202
44 - 68	0.032257611	3.23148E-05	0.004535664
68 - 69	0.030813412	3.0868E-05	0.004432969
69 - 70	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
69 - 71	0.030354667	3.04085E-05	0.004399846
71 - 72	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
71 - 73	0.029895921	2.99489E-05	0.004366472
73 - 74	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
73 - 75	0.029437176	2.94894E-05	0.004332842
75 - 76	0.001376236	1.37868E-06	0.000936853
76 - 77	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
76 - 78	0.000917491	9.19118E-07	0.000764937
78 - 79	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892

Tabela 62 - Diâmetros calculados para velocidade de 2 m/s.

(conclusão)

Trecho	m (kg/h)	Q (m^3/s)	D calculado (m)
78 - 80	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
75 - 81	0.02806094	2.81107E-05	0.004230346
81 - 82	0.013641945	1.36661E-05	0.002949599
82 - 83	0.004688656	4.69697E-06	0.001729215
82 - 84	0.008953289	8.96916E-06	0.00238955
84 - 85	0.004688656	4.69697E-06	0.001729215
84 - 86	0.004264633	4.27219E-06	0.001649171
86 - 87	0.001444198	1.44676E-06	0.000959706
86 - 88	0.002820435	2.82544E-06	0.001341167
88 - 89	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
88 - 90	0.002361689	2.36588E-06	0.001227259
90 - 91	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
90 - 92	0.001902944	1.90632E-06	0.001101635
92 - 93	0.001444198	1.44676E-06	0.000959706
92 - 94	0.000458745	4.59559E-07	0.000540892
81 - 95	0.014418994	1.44446E-05	0.00303244
95 - 96	0.004688656	4.69697E-06	0.001729215
95 - 97	0.009730338	9.74759E-06	0.002491086
97 - 98	0.004688656	4.69697E-06	0.001729215
97 - 99	0.005041682	5.05062E-06	0.001793133
68 - 100	0.001444198	1.44676E-06	0.000959706

Fonte: Autores, 2020.

Para a determinação da bitola a ser utilizada, analisou-se o diâmetro imediatamente superior e inferior ao calculado em cada trecho. Uma nova velocidade (v) foi calculada pela Equação G.2, e a escolha foi feita pela proximidade da velocidade arbitrária de 2 m/s. Percebe-se que, pela baixa demanda de água, o volume em cada trecho do sistema de tubulações é pequeno, fazendo com que a bitola mais apropriada fosse a de ½”. Porém, definiu-se que para

o sistema central de tubulação a bitola de ¾” fosse utilizada, e para as ramificações, a bitola de ½”. Os cálculos de velocidade e escolha da bitola estão dispostos na Tabela 63.

Tabela 63 - Cálculo das bitolas a partir da velocidade de 2 m/s.

(continua)

Trecho	Menor diâmetro			Maior diâmetro			Bitola escolhida
	D comercial (m)	Bitola (in)	U (m/s)	D comercial (m)	Bitola (in)	U (m/s)	
1 - 2	0.017	½	0.371422724	0.0214	¾	0.234389831	¾
2 - 3	0.017	½	0.004815872	0.0214	¾	0.003039102	½
2 - 4	0.017	½	0.366606852	0.0214	¾	0.23135073	¾
4 - 5	0.017	½	0.004815872	0.0214	¾	0.003039102	½
4 - 6	0.017	½	0.361790979	0.0214	¾	0.228311628	¾
6 - 7	0.017	½	0.004815872	0.0214	¾	0.003039102	½
6 - 8	0.017	½	0.356975107	0.0214	¾	0.225272526	¾
8 - 9	0.017	½	0.004815872	0.0214	¾	0.003039102	½
8 - 10	0.017	½	0.352159235	0.0214	¾	0.222233424	¾
10 - 11	0.017	½	0.004815872	0.0214	¾	0.003039102	½
10 - 12	0.017	½	0.347343363	0.0214	¾	0.219194322	¾
12 - 13	0.017	½	0.004815872	0.0214	¾	0.003039102	½
12 - 14	0.017	½	0.342527491	0.0214	¾	0.216155221	¾
14 - 15	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½
14 - 16	0.017	½	0.340502825	0.0214	¾	0.214877536	¾
16 - 17	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½
16 - 18	0.017	½	0.338478159	0.0214	¾	0.213599851	¾
18 - 19	0.017	½	0.068453888	0.0214	¾	0.043198475	¾
19 - 20	0.017	½	0.003186974	0.0214	¾	0.00201117	½
19 - 21	0.017	½	0.065266914	0.0214	¾	0.041187305	¾
21 - 22	0.017	½	0.003186974	0.0214	¾	0.00201117	½
21 - 23	0.017	½	0.06207994	0.0214	¾	0.039176135	¾

Tabela 63 - Cálculo das bitolas a partir da velocidade de 2 m/s.

(continuação)

Trecho	Menor diâmetro			Maior diâmetro			Bitola escolhida
	D comercial (m)	Bitola (in)	U (m/s)	D comercial (m)	Bitola (in)	U (m/s)	
23 - 24	0.017	½	0.020693313	0.0214	¾	0.013058712	½
23 - 25	0.017	½	0.041386627	0.0214	¾	0.026117423	¾
25 - 26	0.017	½	0.020693313	0.0214	¾	0.013058712	½
25 - 27	0.017	½	0.020693313	0.0214	¾	0.013058712	½
18 - 28	0.017	½	0.27002427	0.0214	¾	0.170401376	¾
28 - 29	0.017	½	0.074527886	0.0214	¾	0.047031529	¾
29 - 30	0.017	½	0.003186974	0.0214	¾	0.00201117	½
29 - 31	0.017	½	0.071340912	0.0214	¾	0.045020359	¾
31 - 32	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½
31 - 33	0.017	½	0.069316246	0.0214	¾	0.043742674	¾
33 - 34	0.017	½	0.003186974	0.0214	¾	0.00201117	½
33 - 35	0.017	½	0.066129272	0.0214	¾	0.041731504	¾
35 - 36	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½
35 - 37	0.017	½	0.064104606	0.0214	¾	0.040453819	¾
37 - 38	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½
37 - 39	0.017	½	0.06207994	0.0214	¾	0.039176135	¾
39 - 40	0.017	½	0.020693313	0.0214	¾	0.013058712	½
39 - 41	0.017	½	0.041386627	0.0214	¾	0.026117423	¾
41 - 42	0.017	½	0.020693313	0.0214	¾	0.013058712	½
41 - 43	0.017	½	0.020693313	0.0214	¾	0.013058712	½
28 - 44	0.017	½	0.195496384	0.0214	¾	0.123369847	¾
44 - 45	0.017	½	0.053127902	0.0214	¾	0.033526866	¾
45 - 46	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½

Tabela 63 - Cálculo das bitolas a partir da velocidade de 2 m/s

(continuação)

Trecho	Menor diâmetro			Maior diâmetro			Bitola escolhida
	D comercial (m)	Bitola (in)	U (m/s)	D comercial (m)	Bitola (in)	U (m/s)	
45 - 47	0.017	½	0.051103236	0.0214	¾	0.032249181	¾
47 - 48	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½
47 - 49	0.017	½	0.04907857	0.0214	¾	0.030971497	¾
49 - 50	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½
49 - 51	0.017	½	0.047053904	0.0214	¾	0.029693812	¾
51 - 52	0.017	½	0.006373948	0.0214	¾	0.004022341	½
51 - 53	0.017	½	0.040679955	0.0214	¾	0.025671472	¾
53 - 54	0.017	½	0.006373948	0.0214	¾	0.004022341	½
53 - 55	0.017	½	0.034306007	0.0214	¾	0.021649131	¾
55 - 56	0.017	½	0.006373948	0.0214	¾	0.004022341	½
55 - 57	0.017	½	0.027932059	0.0214	¾	0.01762679	¾
57 - 58	0.017	½	0.006373948	0.0214	¾	0.004022341	½
57 - 59	0.017	½	0.02155811	0.0214	¾	0.01360445	¾
59 - 60	0.017	½	0.002294621	0.0214	¾	0.001448043	½
59 - 61	0.017	½	0.019263489	0.0214	¾	0.012156407	¾
61 - 62	0.017	½	0.004815872	0.0214	¾	0.003039102	½
61 - 63	0.017	½	0.014447616	0.0214	¾	0.009117305	¾
63 - 64	0.017	½	0.004815872	0.0214	¾	0.003039102	½
63 - 65	0.017	½	0.009631744	0.0214	¾	0.006078204	¾
65 - 66	0.017	½	0.004815872	0.0214	¾	0.003039102	½
65 - 67	0.017	½	0.004815872	0.0214	¾	0.003039102	½
44 - 68	0.017	½	0.142368482	0.0214	¾	0.08984298	¾
68 - 69	0.017	½	0.135994534	0.0214	¾	0.08582064	¾
69 - 70	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½

Tabela 63 - Cálculo das bitolas a partir da velocidade de 2 m/s

(continuação)

Trecho	Menor diâmetro			Maior diâmetro			Bitola escolhida
	D comercial (m)	Bitola (in)	U (m/s)	D comercial (m)	Bitola (in)	U (m/s)	
69 - 71	0.017	½	0.133969868	0.0214	¾	0.084542955	¾
71 - 72	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½
71 - 73	0.017	½	0.131945202	0.0214	¾	0.083265271	¾
73 - 74	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½
73 - 75	0.017	½	0.129920536	0.0214	¾	0.081987586	¾
75 - 76	0.017	½	0.006073998	0.0214	¾	0.003833054	¾
76 - 77	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½
76 - 78	0.017	½	0.004049332	0.0214	¾	0.002555369	¾
78 - 79	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½
78 - 80	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	¾
75 - 81	0.017	½	0.123846538	0.0214	¾	0.078154532	¾
81 - 82	0.017	½	0.060208522	0.0214	¾	0.037995158	¾
82 - 83	0.017	½	0.020693313	0.0214	¾	0.013058712	½
82 - 84	0.017	½	0.039515208	0.0214	¾	0.024936447	¾
84 - 85	0.017	½	0.020693313	0.0214	¾	0.013058712	½
84 - 86	0.017	½	0.018821895	0.0214	¾	0.011877735	¾
86 - 87	0.017	½	0.006373948	0.0214	¾	0.004022341	½
86 - 88	0.017	½	0.012447946	0.0214	¾	0.007855395	¾
88 - 89	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½
88 - 90	0.017	½	0.01042328	0.0214	¾	0.00657771	¾
90 - 91	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	½
90 - 92	0.017	½	0.008398614	0.0214	¾	0.005300025	¾
92 - 93	0.017	½	0.006373948	0.0214	¾	0.004022341	½
92 - 94	0.017	½	0.002024666	0.0214	¾	0.001277685	¾

Tabela 63 - Cálculo das bitolas a partir da velocidade de 2 m/s

(conclusão)

Trecho	Menor diâmetro			Maior diâmetro			Bitola escolhida
	D comercial (m)	Bitola (in)	U (m/s)	D comercial (m)	Bitola (in)	U (m/s)	
81 - 95	0.017	½	0.063638016	0.0214	¾	0.040159374	¾
95 - 96	0.017	½	0.020693313	0.0214	¾	0.013058712	½
95 - 97	0.017	½	0.042944703	0.0214	¾	0.027100662	¾
97 - 98	0.017	½	0.020693313	0.0214	¾	0.013058712	½
97 - 99	0.017	½	0.02225139	0.0214	¾	0.01404195	¾
68 - 100	0.017	½	0.006373948	0.0214	¾	0.004022341	¾

Fonte: Autores, 2020.

G.3 TUBULAÇÕES DE ÁGUA QUENTE

A velocidade máxima da água quente nos encanamentos é calculada através da Equação G.3 (Macintyre, 2010).

$$v = 14\sqrt{D} \tag{G.3}$$

v = velocidade (m/s)
D = diâmetro (m)

Para cálculos preliminares é possível considerar que as perdas de carga correspondem a um acréscimo virtual da ordem de 30% no comprimento equivalente da tubulação. Da mesma forma, segundo a NBR 7198, a velocidade da água quente nas tubulações não deve ser superior a 3 m/s, desta forma, calculou-se a bitola das tubulações considerando, primeiramente para uma velocidade de 2 m/s, ajustando a velocidade para tubulações comerciais e respeitando a velocidade máxima conforme a Equação G.3. Os resultados obtidos estão presentes na Tabela 64.

Tabela 64 - Diâmetro calculado para a velocidade de 2 m/s.

Trecho	m (kg/h)	Q (m^3/s)	D calculado (m)
1 - 2	10843,23	0,00309877	0,044416
3 - 4	10843,23	0,00309877	0,044416
5 - 6	2682,09	0,00076649	0,02209
6 - 7	4854,31	0,00138726	0,029718
6 - 8	2172,22	0,00062078	0,01988
8 - 9	1086,11	0,00031039	0,014057
8 - 10	1086,11	0,00031039	0,014057
11 - 12	1086,11	0,00031039	0,014057
13 - 14	1086,11	0,00031039	0,014057
15 - 16	2682,09	0,00076649	0,02209

Fonte: Autores, 2020.

Partindo do diâmetro calculado para a velocidade arbitrária de 2 m/s escolheu-se bitolas comerciais de maneira que respeitassem a velocidade máxima conforme MacIntyre (2010), desta forma, selecionou-se as bitolas presentes na Tabela 65.

Tabela 65 - Cálculo da velocidade máxima conforme a bitola.

Trecho	D comercial (m)	D (in)	v máx (m/s)	v calculada (m/s)
1 - 2	0,05251	2	3,21	1,43
3 - 4	0,05251	2	3,21	1,43
5 - 6	0,02276	1 ¼	2,11	1,88
6 - 7	0,03398	1 ½	2,58	1,53
6 - 8	0,02276	1 ¼	2,11	1,53
8 - 9	0,01522	1	1,73	1,71
8 - 10	0,01522	1	1,73	1,71
11 - 12	0,01522	1	1,73	1,71
13 - 14	0,01522	1	1,73	1,71
15 - 16	0,02276	1 ¼	2,11	1,88

Fonte: Autores, 2020.

G.4 TUBULAÇÕES DE VAPOR E RETORNO DE CONDENSADO

Vapor

Uma instalação de vapor corretamente dimensionada deve considerar, principalmente, o escoamento correto do vapor com perda de carga e velocidade aceitáveis. Como a temperatura do vapor será de, aproximadamente, 200 ºC, o material da tubulação será de aço-carbono A-53.

Segundo Macintyre (2010), as velocidades das tubulações devem respeitar 10 a 15 m/s para ramais secundários e linhas curtas e 15 a 30 m/s para linhas alimentadoras. Para linhas secundárias utiliza-se o critério da velocidade, Equação G.4, e para a linha principal o critério da perda de carga, a Equação G.5.

$$D = \sqrt{\frac{4mV}{\pi v}}$$

m = vazão mássica (kg/s)
V = volume específico (m^3/kg)
v = velocidade (m/s)
D = diâmetro (m)

(G.4)

$$D = \sqrt[5,1]{\frac{0,029 \cdot m^{1,95} \cdot v \cdot 0,95}{J}}$$

m = kg/h
v = m^3/kg
J = bar/100m
D = diâmetro (cm)

(G.5)

Como não é sabido o diâmetro das tubulações para achar a perda de carga equivalente aos acessórios e tubulações, considerou-se um acréscimo de 35% ao comprimento real da tubulação, a fim de determinar a perda de carga J. O comprimento total da linha principal é de 70,73 m e considerou-se uma queda de pressão de 0,5 bar.

$$J = \frac{0,5 \cdot 100}{70,73 + (0,35 \cdot 70,73)} = 0,52\ bar/100m$$

Desta forma, calculou-se o diâmetro da tubulação de vapor para então escolher uma bitola comercial correspondente, de maneira a recalcular, por fim, a velocidade do vapor na

tubulação a fim de respeitar a faixa estabelecida. Os diâmetros das tubulações estão apresentados na Tabela 66 e os cálculos realizados estão apresentados na Tabela 66 a seguir.

Tabela 66 - Diâmetro calculado para as tubulações.

Trecho	Ramal	Vazão (kg/s)	Velocidade recomendada (m/s)	D calculado (cm)
1 - 2	Principal	2,84	15 a 30	1,63
2 - 3	Secundário	0,22	10 a 15	4,67
2 - 4	Principal	2,62	15 a 30	1,63
4 - 5	Secundário	0,12	10 a 15	3,4
4 - 6	Principal	2,5	15 a 30	1,63
6 - 7	Secundário	1,1	10 a 15	10,35
6 - 8	Principal	1,4	15 a 30	1,63
8 - 9	Secundário	1,1	10 a 15	10,35
8 - 10	Principal	0,31	15 a 30	1,63
10 - 11	Secundário	0,05	10 a 15	2,29
10 - 12	Principal	0,25	15 a 30	1,63
12 - 13	Secundário	0,05	10 a 15	2,29
12 - 14	Secundário	0,2	10 a 15	4,42

Fonte: Autores, 2020.

Todavia, para respeitar a faixa de velocidade do vapor recomendada recalculou-se a velocidade através da Equação G.6 para cada trecho partindo de bitolas comerciais próximas ao diâmetro calculado. Como o diâmetro do ramal principal ficou muito baixo, este foi substituído por um de 5 polegadas a fim de respeitar o critério da velocidade, a Tabela 67 apresenta os cálculos realizados para definir a bitola de cada trecho, a velocidade em cada trecho foi calculada utilizando a Equação 20.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4 \cdot V \cdot m}{\pi \cdot D^2} \qquad \text{(G.6)}$$

Tabela 67 - Velocidade para cada trecho e bitola selecionada.

Trecho	D comercial (m)	Bitola (in)	Velocidade (m/s)
1 - 2	0,13176	6	24
2 - 3	0,0521	2	11,87
2 - 4	0,13176	6	22,12
4 - 5	0,0381	1 ½	11,91
4 - 6	0,13176	6	21,12
6 - 7	0,10954	5	13,4
6 - 8	0,13176	6	11,86
8 - 9	0,10954	5	13,4
8 - 10	0,05842	3	13,21
10 - 11	0,02794	1 ½	10,09
10 - 12	0,05842	3	10,90
12 - 13	0,02794	1 ½	10,09
12 - 14	0,05251	2	10,64

Fonte: Autores, 2020.

Retorno de condensado

Como a previsão de produção de vapor pela caldeira é de 9.508,92 kg/h, o trecho de maior vazão para o retorno de condensado deve comportar uma vazão de 19.017,84 kg/h, pois, no começo da operação a tubulação pode estar fria, desta forma, a quantidade de condensado formado pode chegar a ser o dobro, ou até mesmo o triplo, da prevista (Macintyre, 2010). Desta forma, considerando uma declividade de 2%, 2 cm/m, obtém-se para a vazão de 19.017,84 kg/hm, uma bitola de 3 polegadas para o ramal principal, através do Anexo V.

Todavia, para os ramais secundários é necessário realizar a elevação do condensado, sendo que existem duas soluções básicas para este problema:

1. O condensado pode estar submetido a uma pressão de vapor suficientemente elevada, a qual pode causar sua elevação até de 5 m para cada bar de diferença de pressão;
2. Recolher o condensado a um tanque ventilado para então bombeá-lo para a linha de retorno de condensado.

Como a pressão do vapor é suficientemente elevada e a altura da linha de retorno de condensado é de 5 m, é possível utilizar a própria pressão do vapor para elevar o condensado. Assim, estes ramais devem ser de pequeno diâmetro (½”) e apresentar uma curva, um filtro e um purgador. As especificações das tubulações estão apresentadas na Tabela 22.

Para estimar a quantidade de condensado formado utiliza-se a Equação G.7.

$$Q = \frac{C \cdot P \cdot (T_f - T_a)}{L} \quad \text{(G.7)}$$

C = calor específico do aço (0,49 kJ/kgºC)

P = peso da tubulação de vapor (Kg)

T_f = temperatura final do vapor (ºC)

T_a = temperatura do ambiente (ºC)

L = calor latente da água (2002,55 KJ/Kg)

Desta forma, calculando o peso da tubulação para cada trecho chega-se a um valor de P igual a 6245,536 kg, também considerando a temperatura ambiente como 25ºC tem-se:

$$Q = \frac{0{,}49 \cdot 6245{,}536 \cdot (205 - 25)}{2002{,}55}$$

Q = 275,08 kg

Ao passo que esta formação de condensado é dada no período considerado mais crítico - fase de aquecimento -, e que este ocorre por cerca de 5 minutos, chega-se a vazão de formação de condensado R.

$$R = \frac{275{,}08\ kg}{5\ minutos} \cdot \frac{60\ minutos}{1\ hora} = 3.300{,}93\ kg/h$$

G.5 TUBULAÇÕES DE GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO (GLP)

A demanda total de gás liquefeito de petróleo (GLP) por parte do secador é de 10,8 kg/h. Utilizando a densidade média do GLP ($\rho_{\text{média}}$) de 2,50 kg/m³, estimou-se a vazão volumétrica total de gás, pela Equação G.8, de 4,32 m³/h.

$$Q = \frac{consumo\ mássico\ de\ gás}{\rho média\ gás} \quad \text{(G.8)}$$

Assim, estimou-se as vazões volumétricas em cada trecho da tubulação, assim como a área de cada trecho, pela Equação G.9, considerando uma velocidade econômica do gás natural, de 30 m/s, pela similaridade dos gases. Após, calculou-se os diâmetros, pela Equação G.10. Os diâmetros calculados estão demonstrados na Tabela 68.

$$A = \frac{Q}{v} \tag{G.9}$$

$$D = \sqrt{\frac{A * \pi}{4}} \tag{G.10}$$

Tabela 68 - Cálculo do diâmetro para tubulações de gás.

Trecho	m (kg/h)	Q (m³/s)	D calculado (m)
1 - 2	10,8	0.0012	0.005604991
2 - 3	5,4	0.0006	0.003963327
2 - 4	5,4	0.0006	0.003963327

Fonte: Autores, 2020.

Para a determinação das bitolas, selecionou-se os diâmetros imediatamente superior e inferior, obtidos na NBR 5590. Calculou-se a velocidade no trecho com os diâmetros, assim como a perda de carga para cada bitola. A perda de carga foi estimada pela Equação G.11 e a Tabela 69 demonstra os resultados de velocidade, de acordo com os dois diâmetros selecionados. A Tabela 70 traz os resultados da perda de carga calculada e a bitola escolhida, levando em consideração os menores valores de perda de carga estimados.

$$PA - PB = \frac{2273 * Q^{1,82} * L * d_g}{D^{4,82}} \tag{G.11}$$

PA: pressão inicial na saída do regulador, em kPa;

PB: pressão na entrada do aparelho utilizado, em kPa;

D_g: densidade relativa do gás (fase vapor em relação ao ar), de 1,76;

Q: vazão de gás, em m³/h;

D: diâmetro interno, em mm.

Tabela 69 - Cálculo das velocidades segundo diâmetro das bitolas.

	Menor diâmetro			Maior diâmetro		
Trecho	**D (in)**	**D comercial (m)**	**U (m/s)**	**D (in)**	**D comercial (m)**	**U (m/s)**
1 - 2	⅛	0.00857	12.83244713	¼	0.01146	7.176321587
2 - 3	⅛	0.00857	6.416223564	¼	0.01146	3.588160793
2 - 4	⅛	0.00857	6.416223564	¼	0.01146	3.588160793

Fonte: Autores, 2020.

Tabela 70 - Perda de carga e escolha das bitolas.

	Bitola ⅛”	Bitola ¼”	
Trecho	**Perda de carga (kPa)**	**Perda de carga (kPa)**	**Bitola escolhida**
1 - 2	9.51005E-06	2.34358E-06	¼
2 - 3	9.03045E-07	2.2254E-07	¼
2 - 4	5.06786E-06	1.24889E-06	¼

Fonte: Autores, 2020.

Central de gás

A reserva de gás foi calculada levando em consideração a demanda de 10,8 kg/h de GLP, em funcionamento por 24h, totalizando 1814,4 kg/semana. Foi selecionado um tanque vertical da marca EGSA, modelo P2000V, com capacidade de 2000 kg, sendo reabastecido semanalmente. As especificações técnicas do tanque de gás estão demonstradas no Anexo Y.

APÊNDICE H – FLUXOGRAMA DO PROCESSO

APÊNDICE I – PROJETO DAS INSTALAÇÕES

APÊNDICE J – PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

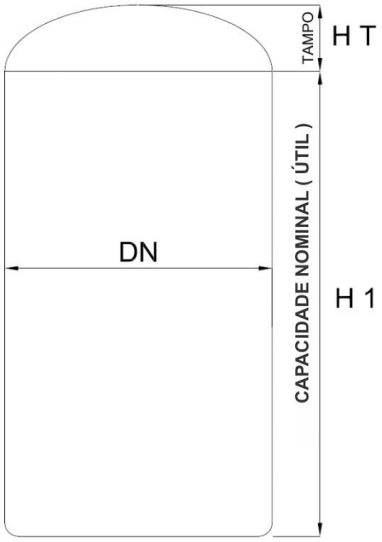
APÊNDICE K – PLANTA INDUSTRIAL

APÊNDICE L – PLANTA ADMINISTRATIVA

ANEXO A - CATÁLOGO TANQUES DE FUNDO RETO

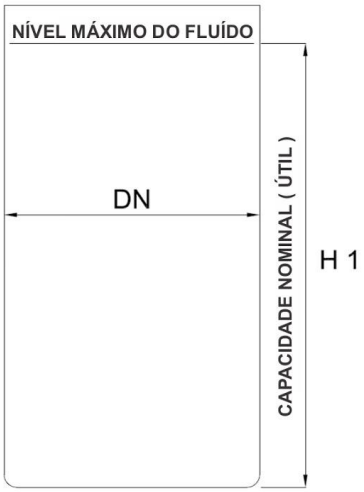
tecniplas

TABELA DE MEDIDAS - TANQUE VERTICAL COM FUNDO PLANO					
CAPACIDADE NOMINAL (ÚTIL)	DIÂMETRO	VOLUME (Litros)		DIMENSÕES PRINCIPAIS (mm)	
(Litros)	DN (mm)	TAMPO	ÚTIL + TAMPO	H1	HT
800	1.000	131	931	1.020	250
1.000			1.131	1.275	
1.200			1.331	1.530	
1.500			1.631	1.910	
2.000			2.131	2.550	
2.500			2.631	3.183	
1.800	1.500	442	2.242	1.020	375
2.000			2.442	1.135	
2.500			2.942	1.415	
3.000			3.442	1.700	
3.500			3.942	1.985	
4.000			4.442	2.265	
5.000			5.442	2.830	
6.000			6.442	3.400	
8.000			8.442	4.530	
5.000	2.000	1.047	6.042	1.595	500
6.000			7.047	1.910	
7.000			8.047	2.230	
8.000			9.047	2.550	
10.000			11.047	3.185	
12.000			13.047	3.820	
15.000			16.047	4.775	
18.000			19.047	5.730	
20.000			21.047	6.370	
12.000	2.500	2.045	14.045	2.445	625
15.000			17.045	3.060	
18.000			20.045	3.670	
20.000			22.045	4.075	
25.000			27.045	5.095	
30.000			32.045	6.115	
35.000			37.045	7.130	
40.000			42.045	8.150	
20.000	3.000	3.534	23.534	2.830	750
25.000			28.534	3.540	
30.000			33.534	4.245	
35.000			38.534	4.955	
40.000			43.534	5.660	
50.000			53.534	7.075	
60.000			63.534	8.490	
80.000			83.534	11.320	
30.000	3.500	5.612	35.612	3.120	875
40.000			45.612	4.160	
50.000			55.612	5.200	
60.000			65.612	6.240	
70.000			75.612	7.280	
80.000			85.612	8.315	
100.000			105.612	10.395	
120.000			125.612	12.475	
60.000	3.800	7.183	67.183	5.295	950
70.000			77.183	6.175	
80.000			87.183	7.055	
90.000			97.183	7.940	
100.000			107.183	8.820	
120.000			127.183	10.585	
150.000			157.183	13.230	
170.000			177.183	14.990	
70.000	4.000	6.400	76.400	5.575	820
80.000			86.400	6.370	
90.000			96.400	7.165	
100.000			106.400	7.960	
120.000			126.400	9.550	
150.000			156.400	11.940	
180.000			186.400	14.325	
200.000			206.400	15.920	
100.000	4.500	11.928	111.928	6.290	1.125
120.000			131.928	7.545	
150.000			161.928	9.435	
170.000			181.928	10.690	
200.000			211.928	12.580	
250.000			261.928	15.720	
270.000			281.928	16.980	
150.000	5.000	16.365	166.365	7.640	1.250
160.000			176.365	8.150	
170.000			186.365	8.660	
180.000			196.365	9.170	
190.000			206.365	9.680	
200.000			216.365	10.190	
250.000			266.365	12.735	
300.000			316.365	15.280	
350.000			366.365	17.830	



TAMPO ABAULADO

FUNDO: PLANO



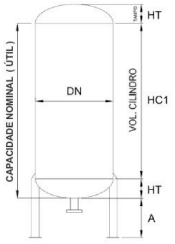
TAMPO: PLANO FIXO
ARTICULADO
REMOVÍVEL
SEM TAMPO

FUNDO: PLANO

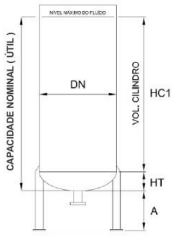
ANEXO B - CATÁLOGO TANQUES DE FUNDO CÔNICO E ABAULADO

tecniplas

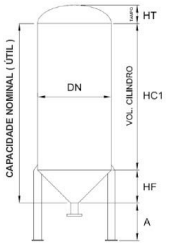
TABELA DE MEDIDAS - TANQUE VERTICAL COM FUNDO CÔNICO / ABAULADO									
CAPACIDADE NOMINAL (ÚTIL)	DIÂMETRO	VOLUME (Litros)			DIMENSÕES PRINCIPAIS (mm)				Nº de Pés
(Litros)	DN (mm)	FUNDO ABAULADO / CÔNICO	CILINDRO	ÚTIL + TAMPO	HT	HF	A	HC1	
800	1.000	131	669	931	250	500	500	855	3
1.000			869	1.131				1.110	
1.200			1.069	1.331				1.365	
1.500			1.369	1.631				1.745	
1.700			1.569	1.831				2.000	
2.000			1.869	2.131				2.380	
2.500			2.369	2.631				3.020	
1.800	1.500	442	1.358	2.242	375	750	500	770	4
2.000			1.558	2.442				885	
2.500			2.058	2.942				1.165	
3.000			2.558	3.442				1.450	
3.500			3.058	3.942				1.730	
4.000			3.558	4.442				2.015	
5.000			4.558	5.442				2.580	
6.000			5.558	6.442				3.145	
7.000			6.558	7.442				3.715	
8.000			7.558	8.442				4.280	
5.000	2.000	1.047	3.953	6.047	500	1.000	500	1.260	4
6.000			4.953	7.047				1.580	
7.000			5.953	8.047				1.895	
8.000			6.953	9.047				2.215	
10.000			8.953	11.047				2.850	
12.000			10.953	13.047				3.490	
15.000			13.953	16.047				4.445	
18.000			16.953	19.047				5.400	
20.000			18.953	21.047				6.035	
12.000	2.500	2.045	9.955	14.045	625	1.250	500	2.030	6
15.000			12.955	17.045				2.640	
18.000			15.955	20.045				3.250	
20.000			17.955	22.045				3.660	
25.000			22.955	27.045				4.680	
30.000			27.955	32.045				5.695	
40.000			37.955	42.045				7.735	
20.000	3.000	3.534	16.466	23.534	750	1.500	500	2.330	6
25.000			21.466	28.534				3.040	
30.000			26.466	33.534				3.745	
35.000			31.466	38.534				4.455	
40.000			36.466	43.534				5.160	
45.000			41.466	48.534				5.870	
50.000			46.466	53.534				6.575	
30.000	3.500	5.612	24.388	35.612	875	1.750	500	2.535	8
40.000			34.388	45.612				3.575	
50.000			44.388	55.612				4.615	
60.000			54.388	65.612				5.655	
80.000			74.388	85.612				7.735	
50.000	3.800	7.183	42.817	57.183	950	1.900	500	3.780	8
60.000			52.817	67.183				4.660	
70.000			62.817	77.183				5.540	
80.000			72.817	87.183				6.425	
100.000			92.817	107.183				8.185	
70.000	4.000	8.378	63.600	78.378	820	2.000	500	5.065	8
80.000			73.600	88.378				5.860	
100.000			93.600	108.378				7.450	
120.000			113.600	128.378				9.040	
100.000	4.500	11.928	88.072	111.928	1.125	2.250	500	5.540	12
130.000			118.072	141.928				7.425	
150.000			138.072	161.928				8.685	
150.000	5.000	16.365	133.635	166.365	1.250	2.500	500	6.810	12
170.000			153.635	186.365				7.825	
200.000			183.635	216.365				9.355	



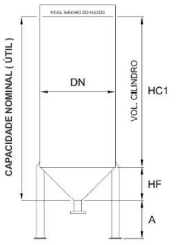
TAMPO: ABAULADO
FUNDO: ABAULADO



TAMPO: PLANO FIXO ARTICULADO REMOVÍVEL SEM TAMPO
FUNDO: ABAULADO



TAMPO: ABAULADO
FUNDO: CÔNICO

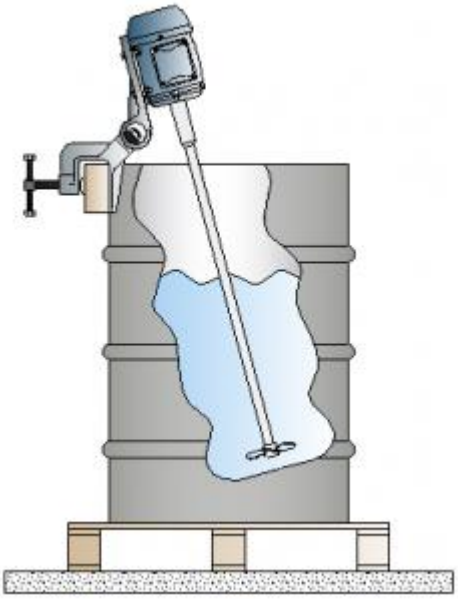


TAMPO: PLANO FIXO ARTICULADO REMOVÍVEL SEM TAMPO
FUNDO: CÔNICO

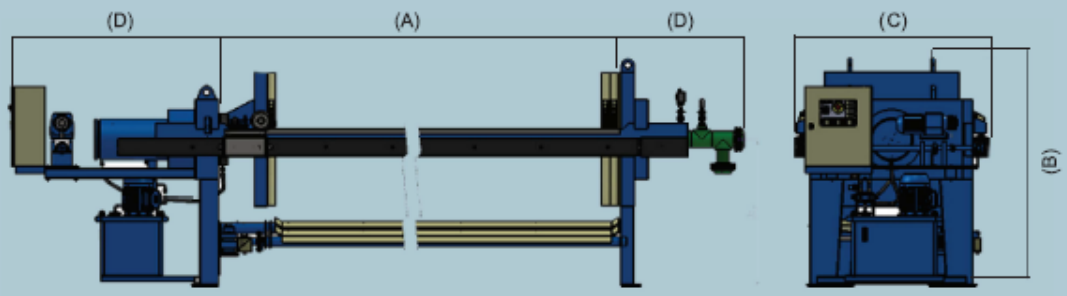
ANEXO C - AGITADORES E MISTURADORES

Agitadores e Misturadores - Agitec Equipamentos Industriais

Nossos agitadores e misturadores são de fabricação própria, atendendo potências de até 100 cv e tanques de até 1.000.000 L. Os equipamentos podem ser produzidos utilizando-se das mais diversas matérias-primas, motores, redutores e vedações, de acordo com a necessidade de cada cliente e de cada mistura.



ANEXO D - CATÁLOGO E DADOS DO FILTRO PRENSA



MODELOS AUTOMÁTICOS

MODELO	TAMANHO PLACA (mm)	ESPESSURA TORTA (mm)	VOLUME CÂMARA (L/cam)	ÁREA FILTRANTE (m^2/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	7185	1915	2000	2250
TTI-FP2	1200X1200	30	31,92	2,076	-	-	-	-	-	5090	5770	6450	7130	7810	2300	2100	2200
TTI-FP7	1500X1500	30	51,78	3,370	-	-	-	-	-	-	6175	6905	7635	8365	2800	2600	2400

REPRESENTANTE AUTORIZADO

tecitec
ALTA TECNOLOGIA E QUALIDADE EM FILTRAÇÃO E TRATAMENTO DE EFLUENTES

Al. Araguaia, 4001 - Tamboré - Barueri
Cep: 06455 - 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 E - CATÁLOGO SECADOR ROTATIVO

SRCZ-1

Secador Rotativo Contínuo SRCZ-1

O Secador Rotativo Contínuo, modelo SRCZ-1, é utilizado para secagem do gérmen de milho no processo de degerminação semi-úmido.
O processo de secagem baseia-se na passagem de ar quente em contra fluxo com o produto. Para que isto ocorra, o gérmen entra na câmara rotativa, permanecendo em processo de agitação por alguns minutos, tempo necessário para a perda excessiva da umidade.

Modelo:
SRCZ-1

Potência / Pólos:
Ventilador do queimador
0,75 kW / II
1,0 cv / II

Ventilador Ciclone
3 kW / II
4 cv / II

Válvula rotativa
0,55 kW / IV
0,75 cv / IV

Secador
1,5 kW / IV
2 cv / IV

Capacidade de secagem do gérmen (kg/h):
500 a 1500

Pressão de gás necessária para o queimador (kgf/cm²):
1,5

Consumo médio de gás para secagem de gérmen (kg/h):
5,4

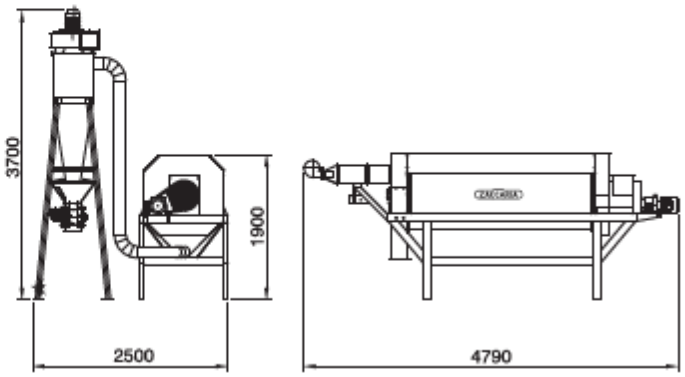
Volume aproximado embalado (m³):
16,5

Peso aproximado embalado (kg):
1050

Painel de comando

CARACTERÍSTICAS

- Acionamento com moto-redutor;
- Ventilador do queimador com regulagem de fluxo de ar;
- Ciclone para precipitar o material arrastado pelo fluxo de ar;
- Queimador tubular a gás, com baixo consumo de gás;
- Janela de inspeção/limpeza do cilindro;
- Regulador de temperatura;
- Sistema de regulagem da inclinação do secador;
- Segue com painel de comando;
- Sistema contínuo;
- Excelente homogeneização do gérmen;
- Alta eficiência na secagem;
- Fácil operação e baixa manutenção;
- Fornecido originalmente para queima de GLP. Para outros gases sob consulta.



Dimensões em mm

ANEXO F - CATÁLOGO FORNO CALCINADOR

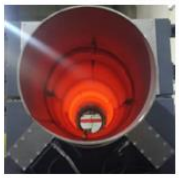
INDUSTRIAL SCALE FURNACES

ROTARY TUBE FURNACE

Rotary tube furnaces are specially designed for the dynamic drying, sorting, sintering, calcining, reduction, calcination and other heat treatment of powders and granules. The kinetic energy during the heat treatment ensures the product to be more homogeneous and in a shorter time. The residence time of the product in the furnace can be adjusted with both the rotational speed and the tilt angle. The grains fed into the pipe with a feeder are subjected to heat treatment by mixing the length of the pipe with the effect of rotation and slope. The finished product flows from the other end. A cooling system can be added to the back of the furnace and a feeder to the front of the furnace. There are also products that provide oxygen-free environment or reducing atmosphere. Rotary tube furnaces are produced according to customer request according to product and capacity.

Designed for calcination of chemical and metal powders.

- Pilot-Scale usage
- Sample mixing via rotating featured special design tube
- Adjustable temperature up to 850°C
- Heat Treatment Length: 2500 mm
- Pipe Diameter : 300 mm
- Rotate speed : 0-10 rpm
- Tilt Angle : 0-10°
- Adjustable rotation speed and tilt angl
- Controllable 5 heating zones



MSE Furnace
"engineered high quality furnaces"

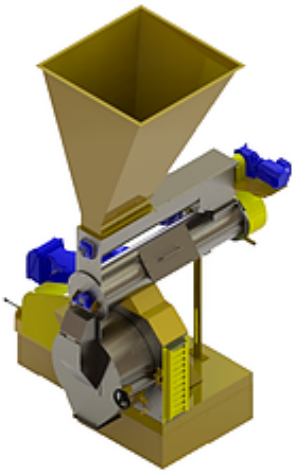
ANEXO G - CATÁLOGO PELETIZADORA

Peletizadora Chavantes Modelo de 50CV

(12V X 144CH X 50CV)

Produção de até 1200 kg/hora, sem utilização de vapor, e até 4000 kg/hora com a utilização de vapor. Varia de acordo com o produto que está sendo peletizado e o diâmetro dos pellets.

Equipamentos com estrutura robusta, base lateral para o motor de acionamento, sistema de alimentação, tampa frontal e câmara de peletização. Fabricados em AÇO INOXIDÁVEL.



ANEXO H - CATÁLOGO ENSACADEIRA

Informações sobre o equipamento:

- Marca: KN WAAGEN
- Modelo: 28000b
- Ensacadeira vertical bobinada automática;
- Indicada para alta produção e baixo custo operacional;
- Forma o pacote e realiza a selagem do produto;
- Dosadores precisos e eficazes, desenvolvidos para cada tipo de produto;
- Facilidade para trabalhar com vários tipos de embalagem: PE, PEBD, embalagens extrusadas e outras;
- Troca rápida de formato;
- Capacidade de 5 a 50 kg configuráveis;
- Produção de 10 a 30 sacos por minuto (dependendo do produto e capacidade);
- Precisão de 1% de variação no peso;
- Comando eletrônico com PLC, IHM Touch Screen, inversores de frequência e fotocélula;
- Estrutura em aço carbono ou inox;
- Equipamento projetado e preparado para trabalhar em ambientes rudes;
- Baixo custo de manutenção.

ANEXO I - CATÁLOGO FILTRO DE TAMBOR ROTATIVO

CARACTERÍSTICAS

Elemento filtrado	de água
Elemento filtrante	em fio metálico, de tambor
Outras características	de alta eficiência, automático, anticorrosão, de tambor rotativo, de limpeza automática, com lavagem contra-corrente, de alta pressão
Tamanho de filtragem	MÁX: 300 µm MÍN: 40 µm 70 µm
Pressão de funcionamento	MÁX: 0 bar (0 psi) MÍN: 0 bar (0 psi) 0 bar (0 psi)
Fluxo	MÁX: 150 m³/h (5.297,2 ft³/h) MÍN: 5 m³/h (176,573 ft³/h) 50 m³/h (1.765,733 ft³/h)

ANEXO J - CATALÁGO SECAMAQ

CALDEIRA FLAMOTUBULAR GRELHA MÓVEL

Totalmente automatizada e de menor custo para a instalação civil.

CAPACIDADE
3.000 kgv/h até 30.000 kgv/h

PRESSÃO DE OPERAÇÃO
Até 30kgf/cm²

ALIMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEL
Automático

COMBUSTÍVEIS
Cavaco de madeira, serragem, casca de arroz, resíduos agrícolas, bagaço de cana e outros

APLICAÇÕES
Geração de vapor saturado e superaquecido

QUAIS AS VANTAGENS?

I A injeção do combustível é feita através de alimentadores que dosam o material sobre a grelha, a qual se move de forma oscilante, fazendo com que o combustível se mova sobre a grelha em três seções distintas;

II A primeira seção promove a secagem do combustível, a segunda a queima do combustível e a terceira, a queima do carbono fixo;

III A dosagem do ar primário e secundário é efetuada por meio de ventiladores e regulada através de inversor de frequência, controlado pelos sinais enviados pelo transmissor de pressão, promovendo assim uma completa queima de sólidos e gases;

IV Ajuste automático às condições de operação;

V Facilidade na inspeção e manutenção.

SAIBA MAIS

QUALIDADE SECAMAQ INDÚSTRIA DE CALDEIRAS

ANEXO K - SILO FUNDO PLANO DE ARMAZENAMENTO

Desenvolvidos para garantir uma armazenagem eficiente e segura, os silos Kepler Weber são fabricados através dos mais modernos processos produtivos, com alto índice de padronização e garantia de qualidade total. Dimensionados de acordo com normas nacionais e internacionais, são padronizados para produtos com peso específico de 0,83 t/m³. Resistem a velocidades de ventos de até 120 km/h, além de suportar as cargas impostas por seus acessórios, como passarelas e cabos de termometria.

SILOS METÁLICOS

Silo Fundo Plano

A linha de silos fundo plano possui como característica baixo custo/tonelada armazenada, sendo a melhor opção para armazenagens de longo período, com preservação da qualidade e integridade dos grãos. Seu projeto possibilita ampliações verticais, otimizando o espaço físico das instalações.

Detalhes Técnicos

Estrutura do Telhado
É constituída de longarinas estruturais galvanizadas ligadas a partir do colar central aos montantes, garantindo maior rigidez e transferindo uniformemente cargas, como vento, cabos de termometria, passarela e transportadores de carga. Os silos, até o modelo 36', possuem chapas de cobertura autoportantes, dispensando a utilização de estrutura.

ANEXO K - SILO FUNDO PLANO DE ARMAZENAMENTO (CONTINUAÇÃO)

MODELO	Diâmetro nominal (m)	Dimensões (m)		Volume total (m^3)	Toneladas soja ($0,75t/m^3$)	Toneladas arroz ($0,60t/m^3$)
		Alt. Total	Alt. do corpo			
4808	14,55	11,74	7,42	1.443,7	1.079,9	863,9
4809		12,65	8,34	1.595,8	1.193,9	955,2
4810		13,57	9,25	1.747,9	1.308,0	1.046,4
4811		14,48	10,17	1.900,0	1.422,1	1.137,6
4812		15,40	11,08	2.052,0	1.536,1	1.228,9
4813		16,31	11,99	2.204,1	1.650,2	1.320,1
4814		17,23	12,91	2.356,2	1.764,2	1.411,4
4815		18,14	13,82	2.508,3	1.878,3	1.502,6
4816		19,06	14,74	2.660,4	1.992,3	1.593,9
4817		19,97	15,65	2.812,4	2.106,4	1.685,1
4818		20,88	16,57	2.964,5	2.220,4	1.776,3
4819		21,80	17,48	3.116,6	2.334,5	1.867,6
4820		22,71	18,39	3.268,7	2.448,5	1.958,8
4821		23,63	19,31	3.420,8	2.532,6	2.050,1
4822		24,54	20,22	3.572,8	2.676,6	2.141,3
5410	16,37	14,09	9,25	2.246,3	1.684,7	1.347,8
5411		15,00	10,17	2.438,8	1.829,1	1.463,3
5412		15,91	11,08	2.631,2	1.973,4	1.578,7
5413		16,83	11,99	2.823,7	2.117,8	1.694,2
5414		17,74	12,91	3.016,2	2.262,1	1.809,7
5415		18,66	13,82	3.208,6	2.406,5	1.925,2
5416		19,57	14,74	3.401,1	2.550,8	2.040,7
5417		20,49	15,65	3.593,6	2.695,2	2.156,1
5418		21,40	16,57	3.786,0	2.839,5	2.271,6
5419		22,32	17,48	3.978,5	2.983,9	2.387,1
5420		23,23	18,39	4.171,0	3.128,2	2.502,6
5421		24,14	19,31	4.363,4	3.272,6	2.618,1
5422		25,06	20,22	4.555,9	3.416,9	2.733,5
6010	18,19	14,62	9,25	2.811,4	2.104,0	1.683,2
6011		15,53	10,17	3.049,0	2.282,2	1.825,7
6012		16,45	11,08	3.286,6	2.460,4	1.968,3
6013		17,36	11,99	3.524,2	2.638,6	2.110,9
6014		18,28	12,91	3.761,9	2.816,8	2.253,4
6015		19,19	13,82	3.999,5	2.995,0	2.396,0
6016		20,11	14,74	4.237,1	3.173,2	2.538,6
6017		21,02	15,65	4.474,7	3.351,4	2.681,1
6018		21,93	16,57	4.712,4	3.529,6	2.823,7
6019		22,85	17,48	4.950,0	3.707,8	2.966,3
6020		23,76	18,39	5.187,6	3.886,0	3.108,8
6021		24,68	19,31	5.425,2	4.064,3	3.251,4
6022		25,59	20,22	5.662,8	4.242,5	3.394,0
7210	21,83	15,77	9,25	4.164,0	3.116,4	2.493,1
7211		16,68	10,17	4.506,1	3.373,0	2.698,4
7212		17,60	11,08	4.848,3	3.629,6	2.903,7
7213		18,51	11,99	5.190,5	3.886,3	3.109,0
7214		19,42	12,91	5.532,7	4.142,9	3.314,3
7215		20,34	13,82	5.874,9	4.399,5	3.519,6
7216		21,25	14,74	6.217,0	4.656,1	3.724,9
7217		22,17	15,65	6.559,2	4.912,8	3.930,2
7218		23,08	16,57	6.901,4	5.169,4	4.135,5
7219		24,00	17,48	7.243,6	5.426,0	4.340,8
7220		24,91	18,39	7.585,8	5.682,6	4.546,1
7221		25,83	19,31	7.927,9	5.939,2	4.751,4
7222		26,74	20,22	8.270,1	6.195,9	4.956,7
9016	27,28	22,79	14,74	9.985,1	7.478,4	5.982,7
9017		23,70	15,65	10.519,7	7.879,4	6.303,5
9018		24,62	16,57	11.054,4	8.280,3	6.624,3
9019		25,53	17,48	11.589,0	8.681,3	6.945,1
9020		26,44	18,39	12.123,7	9.082,3	7.265,8
9021		27,36	19,31	12.658,4	9.483,3	7.586,6
9022		28,27	20,22	13.193,0	9.884,2	7.907,4
10516	31,83	24,15	14,74	13.898,1	10.409,4	8.327,5
10517		25,06	15,65	14.625,9	10.955,2	8.764,2
10518		25,98	16,57	15.353,6	11.501,0	9.200,8
10519		26,89	17,48	16.081,3	12.046,7	9.637,4
10520		27,80	18,39	16.809,0	12.592,5	10.074,0
10521		28,72	19,31	17.540,3	13.155,2	10.524,2
10522		29,63	20,22	18.268,0	13.701,0	10.960,8

ANEXO L - SILO ELEVADO DE ARMAZENAMENTO

Silos Elevados

A linha de silos elevados atende pequenas e médias capacidades, possuindo como característica a facilidade na descarga em virtude de seu funil cônico elevado por pilares metálicos. Podem ser utilizados como armazenagem temporária na recepção ou secagem, regulando o fluxo do produto e otimizando o rendimento dos equipamentos. Também são utilizados para expedição rodoviária/ferroviária.

Detalhes Técnicos

Pilares de Sustentação
De seção retangular, produzida pela união de dois perfis "C", e soldados com arco submerso, garantindo uma união perfeita e maior resistência. Disponíveis com acabamento pintado ou galvanizado.

Funil
Os funis de descarga dos silos são fabricados em aço galvanizado de alta resistência, com a possibilidade de inclinação de 45° e 60°. O conjunto de fácil montagem é vedado nas suas uniões, possuindo também a opção de receber as canaletas do sistema de aeração.

ANEXO L - SILO ELEVADO DE ARMAZENAMENTO (CONTINUAÇÃO)

MODELO	Diâmetro nominal (m)	Dimensões dos silos funil 30º (m)			Volume total (m^3)	Toneladas soja (0,75 t/m^3)	Toneladas arroz (0,60 t/m^3)
		Altura total	Altura corpo	Altura estrutura de sustentação			
0902-E	2,73	5,08	1,83	2,55	14,7	11,0	8,8
0903-E		6,00	2,74		20,1	15,1	12,0
0904-E		6,91	3,66		25,4	19,1	15,3
0905-E		7,83	4,57		30,7	23,1	18,5
1202-E	3,63	5,85	1,86	2,94	28,5	21,9	17,1
1203-E		6,76	2,77		38,0	28,5	22,8
1204-E		7,67	3,69		47,5	35,7	28,5
1205-E		8,59	4,60		57,0	42,8	34,2
1206-E		9,50	5,52		66,5	49,9	39,9
1502-E	4,55	6,56	1,86	3,39	48,3	36,6	29,3
1503-E		7,48	2,77		63,1	47,8	38,2
1504-E		8,39	3,69		78,0	58,9	47,1
1505-E		9,31	4,60		92,8	70,0	56,0
1506-E		10,22	5,52		107,7	81,2	64,9
1507-E		11,13	6,43		122,5	92,3	73,8
1802-E	5,46	7,29	1,86	3,84	74,9	56,7	45,4
1803-E		8,20	2,77		96,2	72,8	58,2
1804-E		9,11	3,69		117,6	88,8	71,1
1805-E		10,03	4,60		139,0	104,9	83,9
1806-E		10,94	5,52		160,4	120,9	96,7
1807-E		11,86	6,43		181,8	136,9	109,6
1808-E		12,77	7,34		203,1	153,0	122,4
1809-E		13,69	8,26		224,5	169,0	135,2
2104-E	6,36	9,79	3,69	4,29	167,4	125,6	100,5
2105-E		10,70	4,60		196,5	147,4	117,9
2106-E		11,61	5,52		225,6	169,2	135,4
2107-E		12,53	6,43		254,7	191,1	152,8
2108-E		13,44	7,34		283,8	212,9	170,3
2109-E		14,36	8,26		313,0	234,7	187,8
2110-E		15,27	9,17		342,1	256,5	205,2
2404-E	7,28	10,55	3,69	4,78	228,1	172,2	137,7
2405-E		11,46	4,60		266,1	200,7	160,6
2406-E		12,38	5,52		304,1	229,2	183,4
2407-E		13,29	6,43		342,1	257,7	206,2
2408-E		14,21	7,34		380,1	286,2	229,0
2409-E		15,12	8,26		418,1	314,7	251,8
2410-E		16,03	9,17		456,2	343,3	274,6
2411-E		16,95	10,09		494,2	371,8	297,4
2412-E		17,86	11,00		532,2	400,3	320,2
3010-E	9,10	17,52	9,17	5,72	742,5	556,1	444,8
3011-E		18,43	10,09		801,8	600,4	480,3
3012-E		19,35	11,00		861,2	645,2	516,1
3013-E		20,26	11,92		920,6	689,6	551,6
3014-E		21,18	12,83		980,0	734,3	587,5
3015-E		22,09	13,75		1.039,4	778,7	623,0

ANEXO M - BOMBAS

Bombas - Vazões Médias de Saída

Especificações do Desempenho

As especificações de desempenho mostradas são referenciais, pois representam as médias dos resultados de uma série de testes laboratoriais desenvolvidos em bombas de produção. Não representam necessariamente os resultados de uma bomba específica. Esses testes foram desenvolvidos com temperatura no reservatório hidráulico de 49°C e com óleo hidráulico de 32cSt @ 40°C. Solicitações de dados específicos devem ser encaminhadas ao nosso Departamento de Suporte ao Produto, através de nossos representantes de vendas.

PGP075/076

Especificações de vazões @172 bar (2500 psi), exceto observações em contrário

Rotação rpm	Largura da Engrenagem Saída (gpm / lpm)								
	1"	1 1/4"	1 1/2"	1 3/4"	2"	2 1/4"	2 1/2"	2 3/4" *	3" *
900	**11.5**	**15.5**	**19.5**	**23**	**27**	**30.5**	**34.5**	**38**	**42**
	43.5	58.5	74	87	102	115.5	130.5	144	159
1200	**17**	**22**	**27**	**32**	**37.5**	**42**	**48**	**52.5**	**58**
	64.5	83.5	102	121	142	159	182	199	220
1500	**22**	**29**	**35.5**	**41.5**	**48**	**54.5**	**61**	**67**	**74**
	83.5	110	134	157	182	206	231	254	280
1800	**27.5**	**35.5**	**43.5**	**51**	**59**	**66**	**74**	**81.5**	**90**
	104	134	165	193	223	250	280	308	341
2100	**33**	**42**	**51.5**	**60**	**69.5**	**78**	**87**	**96.5**	**106**
	125	159	195	227	263	295	329	365	401
2400	**38**	**49**	**59.5**	**70**	**80**	**90**	**101**	**111**	**122**
	144	185	225	265	303	341	382	420	462

* Especificações de vazão à pressão nominal de 138 bar (2000 psi).

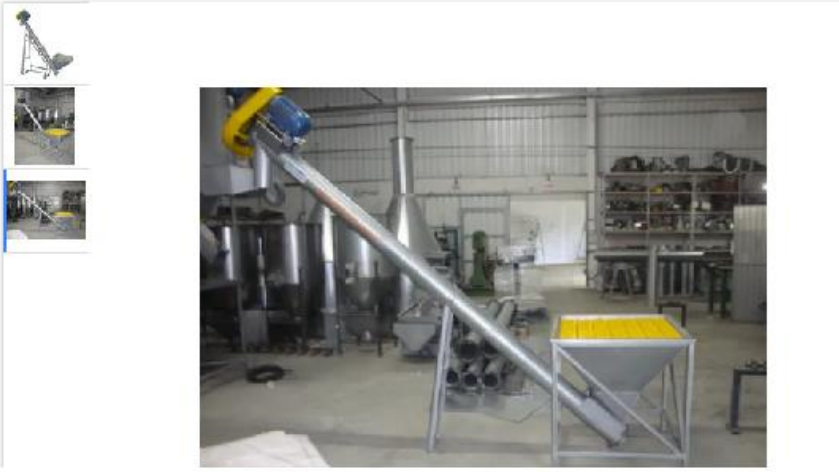
PGP075/076

Especificações de potência @ 172 bar (2500 psi), exceto observações em contrário

Rotação rpm	Largura de Engrenagem x Potência Consumida (HP / kW)								
	1"	1 1/4"	1 1/2"	1 3/4"	2"	2 1/4"	2 1/2"	2 3/4"*	3" *
900	**26**	**32**	**39**	**45**	**51**	**58**	**64**	**57**	**62**
	19	24	29	34	38	43	48	42	46
1200	**35**	**43**	**52**	**60**	**69**	**78**	**86**	**76**	**83**
	26	32	39	45	51	58	64	57	62
1500	**44**	**55**	**65**	**76**	**87**	**98**	**109**	**96**	**105**
	33	41	49	57	65	73	81	72	78
1800	**53**	**66**	**79**	**93**	**106**	**119**	**132**	**116**	**127**
	39	49	59	69	79	89	99	87	95
2100	**62**	**77**	**93**	**108**	**124**	**139**	**154**	**136**	**148**
	46	58	69	81	92	104	115	101	111
2400	**71**	**88**	**106**	**124**	**141**	**159**	**176**	**155**	**169**
	53	66	79	92	105	118	132	116	126

* Especificações de potência à pressão nominal de 138 bar (2000 psi).

ANEXO N - ALIMENTADOR TRANSPORTADOR



Marca:
Branorte

Modelo:
Alimentador Transportadora

Descrição

EQUIPAMENTO: Alimentador
Somos fabricantes de toda linha de fábricas para produção de ração farelada e atendemos a indústria de plástico, equipamentos construídos em aço carbono em chapa galvanizada a nível industrial. Mande uma mensagem e tiramos suas dúvidas enviamos imagens dos produtos e podemos fazer um orçamento.

DESCRIÇÃO:
A linha de Alimentador da empresa BRANORTE. Cada equipamento foi desenvolvido e testado para transportar capacidade de produtos diferentes. Fabricados em aço carbono, galvanizado ou inox, e esses transportadores atendem diversas aplicações, de vários setores. - Motores não incluso

CARACTERISTICAS:
- Equipamentos Industrial
- Equipamentos que Atende Toda Linha de Ração Farelada
- Durabilidade Incrível
- Chapa galvanizada
- Não produz poeira

GARANTIA:
- Tempo: 12 meses

Atendemos todo território brasileiro
Fabricante: BRANORTE METALÚRGICA LTDA

ANEXO O - ROSCA TRANSPORTADORA

Novo

Rosca Transportadora

Marca:
Branorte

Modelo:
Rosca transportadora

Descrição

EQUIPAMENTO: Transportador Helicoidal
Somos fabricantes de toda linha de fábricas para produção de ração farelada e atendemos a indústria de plástico, equipamentos construídos em aço carbono em chapa galvanizada a nível industrial. Mande uma mensagem e tiramos suas dúvidas enviamos imagens dos produtos e podemos fazer um orçamento.

DESCRIÇÃO:
A linha de transportadores BRANORTE composta de rosca transportadora. Cada equipamento foi desenvolvido e testado para transportar capacidade de produtos diferentes. Fabricados em aço carbono, galvanizado ou inox, e esses transportadores atendem diversas aplicações, de vários setores. - Motores não incluso

CARACTERÍSTICAS:
- Equipamentos Industrial
- Equipamentos que Atende Toda Linha de Ração Farelada
- Durabilidade Incrível
- Chapa galvanizada

GARANTIA:
- Tempo: 12 meses

Atendemos todo território brasileiro
Fabricante: BRANORTE METALÚRGICA LTDA

ANEXO P - CALHA TRANSPORTADORA

Marca:
Branorte

Modelo:
Calha Th

Descrição

EQUIPAMENTO: Calha TH Transportadora
Somos fabricantes de toda linha de fábricas para produção de ração farelada e atendemos a indústria de plástico, equipamentos construídos em aço carbono em chapa galvanizada a nível industrial. Mande uma mensagem e tiramos suas dúvidas enviamos imagens dos produtos e podemos fazer um orçamento.

DESCRIÇÃO:
A linha de transportadores Composta da Calha TH Transportadora da empresa BRANORTE. Cada equipamento foi desenvolvido e testado para transportar capacidade de produtos diferentes. Fabricados em aço carbono, galvanizado ou inox, e esses transportadores atendem diversas aplicações, de vários setores. - Motores não incluso

CARACTERISTICAS:
- Equipamentos Industrial
- Equipamentos que Atende Toda Linha de Ração Farelada
- Durabilidade Incrível
- Chapa galvanizada

GARANTIA:
- Tempo: 12 meses

Atendemos todo território brasileiro
Fabricante: BRANORTE METALÚRGICA LTDA

ANEXO Q - TORRE DE RESFRIAMENTO

VETTOR

torres de resfriamento de água

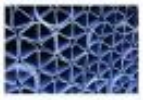
VTF 8 a VTF 18

CARACTERÍSTICAS:

Aplicação :	Pequeno porte.
Tamanho :	Modulares de 0,8 a 1,8 m² por célula.
Estrutura :	Auto Portante em
Bacia :	Fibra de Vidro.
Ventilação:	Forçada
Distribuição:	Pressão/Gravidade.
Enchimento:	Grade/Filme/Respingo.
Eliminador:	Polipropileno/PVC.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

- Enchimento tipo Grade, fabricado em Polipropileno PP, com alta resistência mecânica, permite lavagem com água sob pressão;
- Enchimento tipo Filme, fabricado por lâminas de PVC auto extinguível termoformadas, utilizado para água limpa.



- Enchimento de respingo tipo BT – Barra Triangular e Enchimento de respingo tipo BR – Barra Retangular, fabricados em PVC auto extinguível suportados por telas de fibra de vidro, utilizados para águas sujas ou sem de tratamento.

- Eliminador de Gotas tipo EG-35 fabricando em PP, e Eliminador de Gotas EG-36 fabricado em PVC auto extinguível, ambos com tecnologia exclusiva, possuem alta resistência mecânica e eficiência, minimizando as perdas de água por arraste, permitem lavagem com água sob pressão.

- Ventilador fabricado com pás de poliamida injetado ou fibra de vidro;
- Acionamento mecânico com acoplamento direto do motor elétrico;
- Chassi fabricado em aço carbono com pintura epóxi ou inox;
- Tela de proteção fabricada em aço carbono com pintura epóxi ou inox.

- Bico de distribuição tipo TP1 fabricado em ABS, tecnologia exclusiva, possui dispositivo turbulenciador e base piramidal, com jato cheio de água;
- Bico de distribuição tipo GNV fabricado em PP, tecnologia exclusiva, distribui a água uniformemente sobre a superfície.

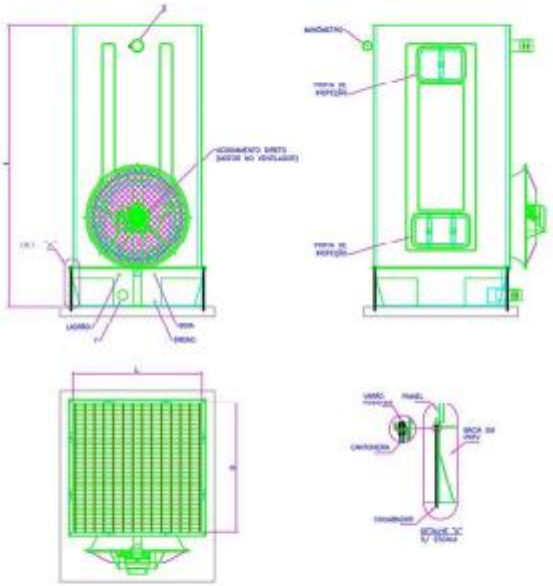
www.vettor.com.br | vettor@vettor.com.br | +55 11 4409-0310

ANEXO Q - TORRE DE RESFRIAMENTO (CONTINUAÇÃO)

VETTOR

VTF 8 a VTF 18

DESENHO DIMENSIONAL

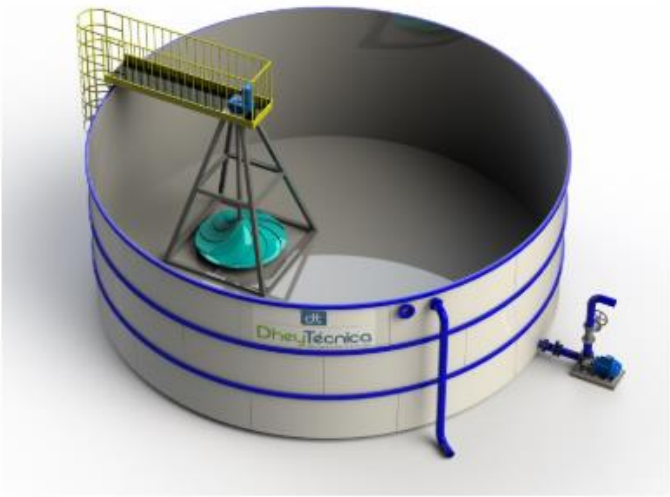


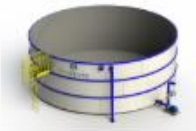
Torre Modelo	Diâmetro do ventilador (mm)	Vazão Média (m^3/h)	Dimensões Básicas (mm)			Conexões (pol.)		Peso em Operação (kg)	Volume da bacia (m^3)
			L	C	H	X	Y		
VTF 8	582	15	900	900	2635	3	3	333	0,22
VTF 10	784	20	1060	1060	2933	3	3	503	0,32
VTF 14	784	25	1200	1200	2931	3	3	658	0,47
VTF 18	784	30	1350	1350	2941	3	3	836	0,59

Nota: Os valores informados nesta tabela são orientativos, sendo que cada projeto deve ser dimensionado pela Vettor.

www.vettor.com.br | vettor@vettor.com.br | +55 11 4409-0310

ANEXO R - TANQUE DE EQUALIZAÇÃO





Tanques para armazenagem e equalização de líquidos, fabricados em formato cilíndrico de fundo plano, com parte superior aberta ou fechada. Fabricados em aço inox ou aço carbono conforme a necessidade do projeto.

O tanque tem a finalidade de absorver picos de vazão e manter o liquido sempre homogêneo através de misturador interno, garantindo assim sempre a mesma característica, facilitando o tratamento posterior.

A capacidade volumétrica pode variar de 5.000 a 1.000.000 de litros de acordo com a necessidade do projeto.

ANEXO S - DECANTADOR DE LAMELAS

DECANTADOR DE LAMELAS

Filtros-Prensa
Filtros de Areia
Filtros de Carvão
Filtros Zeólitos
Tratamento de Efluentes
Tratamento de Água
Desmineralizadores
Decantadores de Lamelas
Abrandadores
Rotadores
Separadores de Óleo
Bombas Pneumáticas
Elementos Filtrantes
Medidores de pH e Redox
Eletrodos de pH e Redox
Lavador de Gases
Tanques
Laboratório
Produtos Químicos
Locação de Equipamentos
Unidades Piloto

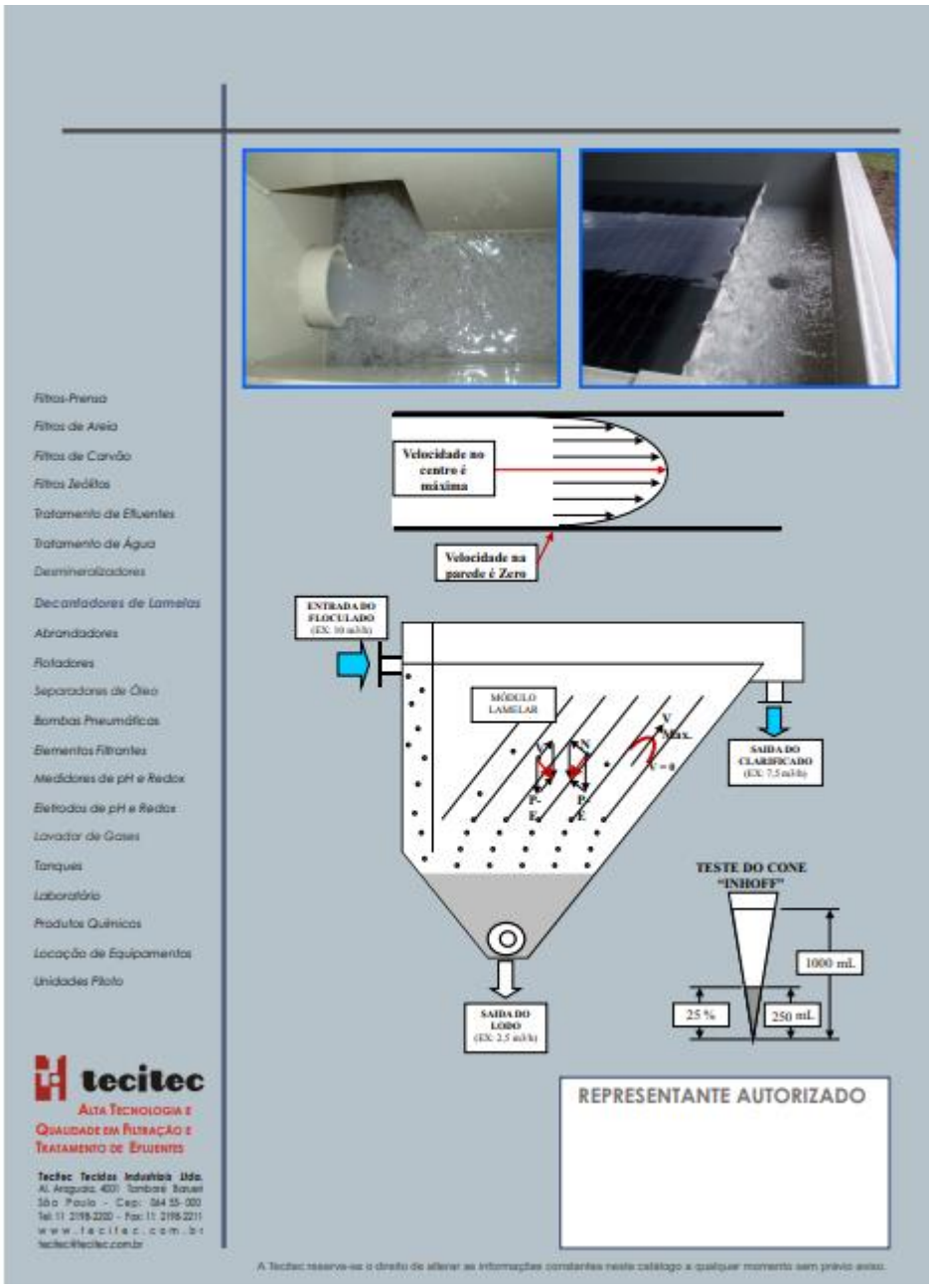
Os decantadores lamelares da Tecitec, são fabricados em polipropileno reforçado com vigas de aço estrutural revestidas em polipropileno para vazões até 15,0 m3/h. Acima de 15,0 m3/h, são fabricados em PRFV. Opcionalmente podem ser fabricados em aço carbono revestidos com pintura a base de epóxi bi-componente ou aço inox. Todos são dotados de módulo lamelar especial em PVC, flanges de entrada e saída, tendo incluso uma câmara de floculação nos modelos TTIFDL. Podem ser aplicados na decantação contínua de efluentes floculados provenientes de Estações de Tratamento de Efluentes físico-químicos ou biológicos, circuito fechado para decantação da borra dos banhos de fosfatização e águas de processos de mineração. Proporciona um rendimento mínimo de 97% na decantação. Nos decantadores feitos de PP a temperatura máxima chega a 70°C.

Vazões dos principais modelos:

TTIDL-03: 3000 L/h
TTIDL-06: 6000L/h
TTIDL-09: 9000L/h
TTIDL-12: 12000L/h
TTIDL-15: 15000L/h
TTIDL-20: 20000L/h
TTIDL-25: 25000L/h
TTIDL-30: 30000L/h

tecitec
Alta Tecnologia e Qualidade em Filtração e Tratamento de Efluentes

ANEXO S - DECANTADOR DE LAMELAS (CONTINUAÇÃO)



ANEXO T - FILTRO DE AREIA

NaturalTec

Home Produtos Tratamento ETA / ETE Aeração Filtração Desinfecção Contato

Parâmetros do filtro

- Taxa de filtração: 10 a 12 m³/m²/h
- Pressão máxima de operação: 6 kgf/cm² (60 mca)
- Pressão mínima de operação: 2 kgf/cm² (20 mca)
- Pressão ideal de operação: 3 a 4 kgf/cm² (30 a 40 mca)
- Temperatura máxima: 50°C
- Temperatura Mínima: 5°C

Tabela para escolha do filtro

Modelo	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Vazão (l/h)	Carga areia (kg)	Pressão trabalho kgf/cm²	Tubulação diâmetro
25A	250	650	570	25	3,5	¾"
30A	300	1150	1150	75	3,5	¾"
40A	400	1160	3300	150	3,5	1"
50A	500	1200	5000	250	3,5	1 ½"
60A	600	1260	6500	350	3,5	1 ½"
75A	750	1290	13000	550	3,5	1 ½"
90A	900	1450	20000	750	3,5	2"
100A	1000	1500	30000	1050	3,5	2"

NaturalTec

Home Produtos Tratamento ETA / ETE Aeração Filtração Desinfecção Contato

Filtros Aço Carbono:

Modelo	Dimensões		Vazão	Conexões	Peso Vazio	Área Filtrante	Volume Total
	Ø (mm)	Altura (mm)	L/h		Kg	m²	Litros
SN-AC 25/6	250	610	670	3/4"	10,9	0,049	30
SN-AC 30/6 (SN 28)	300	610	1120	3/4"	-	0,071	43
SN-AC 30	300	1010	1950	3/4"	18,6	0,071	71
SN-AC 40	400	1030	3500	1"	23,6	0,126	129
SN-AC 50	500	1070	6000	1 1/2"	31,1	0,196	210
SN-AC 60	600	1130	9000	1 1/2"	45	0,283	319
SN-AC 75	750	1200	14000	1 1/2"	70	0,442	530
SN-AC 90	900	1350	24000	2"	110	0,636	859
SN-AC 100	1000	1400	35000	2"	80	0,785	1100

ANEXO U - DEIONIZADOR

Deionizadores Industriais

Para aplicações onde se faz necessário o uso de água de elevada pureza iônica. Trabalha com resinas de troca iônica (catiônica e aniônica) que estão na mesma coluna. De fácil instalação e manuseio, além de prático e econômico.

Possui sensor condutivímetro com alarme ótico. O sistema é programado para produzir água com a condutividade menor que 1 µS/cm ao ultrapassar essa condutividade emitirá um alarme ótico indicando a necessidade da troca da resina. Manutenção simples e rápida basta trocar a coluna saturada por outra ativada. Garantia de 2 anos.

Vazão:

- 100 L/h até 200 L/h, ciclo de 2.500 litros;
- 500 L/h, ciclo de 6.000 litros
- 1 m³/h, ciclo de 12 m³
- 2 m³/h, ciclo de 24 m³
- 5 m³/h, ciclo de 48 m³

Características

Deionização-Desmineralização é processada por dois leitos de resinas catiônicas e aniônicas que trocam os cátions e os ânions (metais e radicais halogênicos) por íons H^+ e oxidrilo OH, resultando em água quimicamente pura.

- Design moderno e agradável;
- Operação simples;
- Atende as mais rigorosas portarias de qualidade de água;
- Requer baixa pressão de alimentação;
- Regeneração da coluna a base de troca.

ANEXO V - TUBULAÇÃO DE CONDENSADO

TABELA 9.3 Tubulação de condensado

Perda de carga J (mm/m)	Declividade (cm/m)	Diâmetro da tubulação de condensado										
		1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
		kg/h de Condensado										
0,5	0,05	22	60	130	300	450	910	1.800	3.000	6.000	11.000	15.500
1	0,1	38	100	200	450	680	1.330	2.700	4.380	9.000	12.600	19.000
2	0,2	55	145	290	640	980	1.940	3.900	6.380	13.000	16.000	25.500
3	0,3	75	180	360	780	1.220	2.400	4.900	7.900	16.250	27.000	45.000
4	0,4	85	210	420	910	1.430	2.800	5.700	9.200	18.950	31.500	51.000
5	0,5	95	240	470	1.000	1.600	3.150	6.400	10.400	21.300	35.500	58.000
6	0,6	101	260	520	1.140	1.750	3.500	7.100	11.450	23.500	41.000	64.000
7	0,7	108	290	570	1.245	2.000	3.800	7.750	12.500	25.800	44.000	70.000
8	0,8	112	310	610	1.300	2.080	4.050	8.250	13.400	27.500	46.000	75.000
9	0,9	118	330	650	1.450	2.210	4.350	8.800	14.250	29.300	49.000	80.000
10	1,0	122	350	690	1.550	2.300	4.600	9.350	15.100	31.000	52.000	84.000
15	1,5	148	430	850	1.780	2.900	5.700	11.600	18.750	38.550	61.000	98.500
20	2,0	175	500	1.000	2.100	3.400	6.690	13.550	21.950	45.000	70.000	115.000
25	2,5	200	570	1.130	2.400	3.800	7.500	15.300	24.500	50.800	79.000	130.000
30	3,0	228	630	1.250	2.670	4.200	8.300	16.950	27.300	56.000	90.000	135.000
35	3,5	256	680	1.300	2.900	4.600	9.000	18.400	29.800	61.000	98.000	154.000
40	4,0	300	720	1.400	3.020	4.900	9.700	19.500	31.000	65.000	105.000	164.000

Fonte: Macintyre, 2010.

ANEXO W - DETERMINAÇÃO DA BITOLA DO SISTEMA *AIR-LIFT*

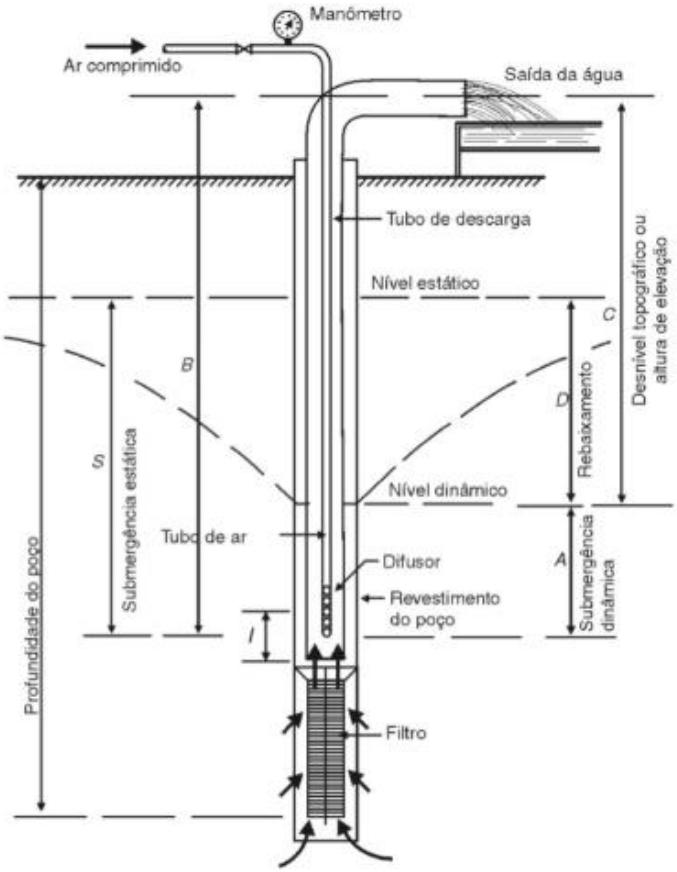


FIG. 1.61 Instalação típica de elevação da água pelo sistema *air-lift*.

TABELA 1.14

Diâmetro dos tubos (mm)		Submergência $\frac{A}{B}$					
		33%	43%	50%	55%	60%	66%
Água	Ar	Descarga elevada (l/min)					
38	13	40	52	58	60	68	71
50	19	65	95	113	140	150	162
63	25	120	160	200	210	225	243
75	25	230	350	380	390	396	404
88	25	320	425	490	500	512	530
100	30	430	550	600	650	655	662
125	38	720	900	1.100	1.140	1.170	1.205
150	38	940	1.300	1.500	1.550	1.600	1.670

Fonte: MacIntyre, 2010

ANEXO X - COMPRESSOR

Oil Free Scroll Air Compressor

100% Oil Free

Maintenance-free compressor

Reliable operation

Small energy consumption

Longest service life

Model	Rated power (KW)	Working pressure (bar)	Air delivery (m3/min)	Air end Qty	Discharge pipe size	Dimensions (mm)	Noise ±3db(A)
KUW2.2-8	2.2	8	0.25	1	G1/2	800*700*1250	46
KUW2.2-10	2.2	10	0.2	1	G1/2	800*700*1250	46
KUW3.7-8	3.7	8	0.4	1	G1/2	800*700*1250	48
KUW5.5-8	5.5	8	0.6	1	G1/2	800*700*1250	50
KUW5.5-10	5.5	10	0.5	1	G1/2	800*700*1250	50
KUW7.7-8	7.7	8	0.88	2	G1	1350*850*1320	53
KUW7.7-10	7.7	10	0.7	2	G1	1350*850*1320	53
KUW11-8	11	8	1.2	2	G1	1350*850*1320	56
KUW11-10	11	10	1	2	G1	1350*850*1320	56
KUW16.5-8	16.5	8	1.8	3	G1	1350*850*1800	58
KUW16.5-10	16.5	10	1.5	3	G1	1350*850*1800	58
KUW18.7-8	18.7	8	2	4	G1-1/4	1450*1700*1780	60
KUW18.7-10	18.7	10	1.8	4	G1-1/4	1450*1700*1780	60
KUW22-8	22	8	2.5	4	G1-1/4	1450*1700*1780	61
KUW22-10	22	10	2.2	4	G1-1/4	1450*1700*1780	61

ANEXO Y - TANQUE PARA GÁS GLP

Novo

Tanque Para Gás Glp - P2000v - Pronta Entrega - Novo

Características

Marca:	Modelo:
EGSA	P2000V

Descrição

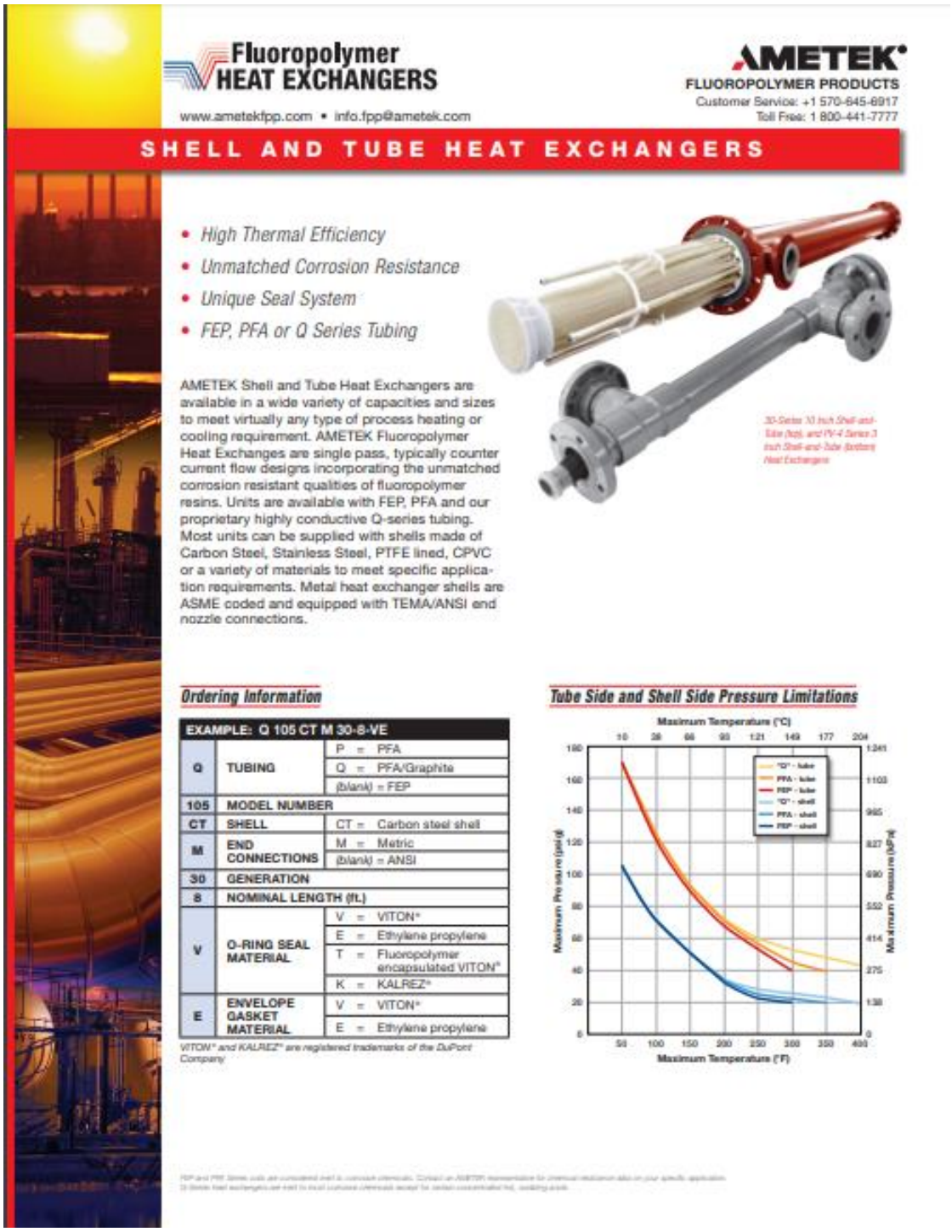
Tanque de GLP novo, fabricado pela EGSA.

Tanque de 2000kg vertical

4m3

retirada direto na fabrica

ANEXO Z - CATÁLOGO TROCADORES DE CALOR



Fluoropolymer HEAT EXCHANGERS

www.ametekfpp.com • info.fpp@ametek.com

AMETEK
FLUOROPOLYMER PRODUCTS
Customer Service: +1 570-645-6917
Toll Free: 1 800-441-7777

SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGERS

- *High Thermal Efficiency*
- *Unmatched Corrosion Resistance*
- *Unique Seal System*
- *FEP, PFA or Q Series Tubing*

AMETEK Shell and Tube Heat Exchangers are available in a wide variety of capacities and sizes to meet virtually any type of process heating or cooling requirement. AMETEK Fluoropolymer Heat Exchanges are single pass, typically counter current flow designs incorporating the unmatched corrosion resistant qualities of fluoropolymer resins. Units are available with FEP, PFA and our proprietary highly conductive Q-series tubing. Most units can be supplied with shells made of Carbon Steel, Stainless Steel, PTFE lined, CPVC or a variety of materials to meet specific application requirements. Metal heat exchanger shells are ASME coded and equipped with TEMA/ANSI end nozzle connections.

Ordering Information

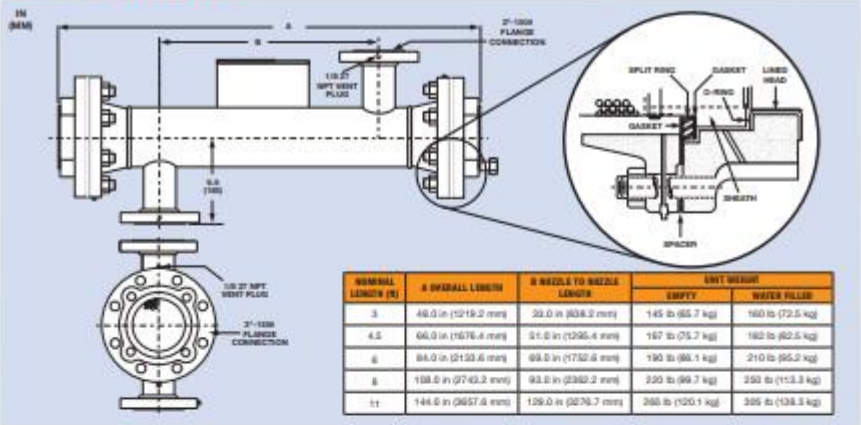
EXAMPLE: Q 105 CT M 30-8-VE		
Q	TUBING	P = PFA
		Q = PFA/Graphite
		(blank) = FEP
105	MODEL NUMBER	
CT	SHELL	CT = Carbon steel shell
M	END CONNECTIONS	M = Metric
		(blank) = ANSI
30	GENERATION	
8	NOMINAL LENGTH (ft.)	
V	O-RING SEAL MATERIAL	V = VITON®
		E = Ethylene propylene
		T = Fluoropolymer encapsulated VITON®
		K = KALREZ®
E	ENVELOPE GASKET MATERIAL	V = VITON®
		E = Ethylene propylene

VITON® and KALREZ® are registered trademarks of the DuPont Company

Tube Side and Shell Side Pressure Limitations

ANEXO Z - CATÁLOGO TROCADORES DE CALOR (continuação)

Dimensions – 30 Series – 4" Shell



NOMINAL LENGTH (ft)	A OVERALL LENGTH	B NOZZLE TO NOZZLE LENGTH	UNIT WEIGHT	
			EMPTY	WATER FILLED
3	48.0 in (1219.2 mm)	32.0 in (813.2 mm)	145 lb (65.7 kg)	160 lb (72.5 kg)
4.5	66.0 in (1676.4 mm)	51.0 in (1295.4 mm)	167 lb (75.7 kg)	182 lb (82.5 kg)
6	84.0 in (2133.6 mm)	69.0 in (1752.6 mm)	190 lb (86.1 kg)	210 lb (95.2 kg)
8	108.0 in (2743.2 mm)	93.0 in (2362.2 mm)	220 lb (99.7 kg)	250 lb (113.3 kg)
11	144.0 in (3657.6 mm)	129.0 in (3276.7 mm)	265 lb (120.1 kg)	305 lb (138.3 kg)

Heat Transfer Area– 30 Series – 4" Shell

NOMINAL LENGTH (ft.)	MODEL 105	MODEL 220	MODEL 440
3	19.4 ft² (1.8 m²)	30.2 ft² (2.8 m²)	43.0 ft² (4.0 m²)
4.5	29.0 ft² (2.7 m²)	45.3 ft² (4.2 m²)	64.8 ft² (6.0 m²)
6	38.7 ft² (3.6 m²)	60.5 ft² (5.6 m²)	86.4 ft² (8.0 m²)
8	51.6 ft² (4.8 m²)	80.6 ft² (7.5 m²)	115.2 ft² (10.7 m²)
11	71.0 ft² (6.6 m²)	110.8 ft² (10.3 m²)	158.3 ft² (14.7 m²)

Heat Transfer Area – 30 Series – 10" and 14" Shell

NOMINAL LENGTH (ft.)	10" SHELL			14" SHELL
	MODEL 218	MODEL 525	MODEL 1000	MODEL 950
2	36 ft² (3.3 m²)	57 ft² (5.2 m²)	80 ft² (7.4 m²)	102 ft² (9.5 m²)
4	64 ft² (5.9 m²)	102 ft² (9.4 m²)	144 ft² (13.4 m²)	183 ft² (17.0 m²)
5	93 ft² (8.6 m²)	147 ft² (13.6 m²)	208 ft² (19.3 m²)	264 ft² (24.5 m²)
6	121 ft² (11.2 m²)	192 ft² (17.8 m²)	272 ft² (25.3 m²)	345 ft² (32.0 m²)
8	150 ft² (13.9 m²)	237 ft² (22.0 m²)	336 ft² (31.2 m²)	425 ft² (39.5 m²)
9	178 ft² (16.5 m²)	283 ft² (26.2 m²)	400 ft² (37.2 m²)	508 ft² (47.2 m²)
10	207 ft² (19.2 m²)	328 ft² (30.4 m²)	464 ft² (43.1 m²)	589 ft² (54.7 m²)
12	235 ft² (21.8 m²)	373 ft² (34.6 m²)	528 ft² (49.1 m²)	670 ft² (62.2 m²)
13	264 ft² (24.5 m²)	418 ft² (38.8 m²)	592 ft² (55.0 m²)	750 ft² (69.7 m²)
14	293 ft² (27.1 m²)	463 ft² (43.0 m²)	656 ft² (52.5 m²)	831 ft² (77.2 m²)
16	321 ft² (29.8 m²)	509 ft² (47.2 m²)	720 ft² (66.9 m²)	914 ft² (84.9 m²)
17	350 ft² (32.4 m²)	554 ft² (51.4 m²)	784 ft² (72.9 m²)	995 ft² (92.4 m²)
18	378 ft² (35.1 m²)	599 ft² (55.6 m²)	848 ft² (78.8 m²)	1075 ft² (99.9 m²)
21	435 ft² (40.4 m²)	689 ft² (64.0 m²)	976 ft² (90.7 m²)	1237 ft² (114.9 m²)
24	492 ft² (45.7 m²)	780 ft² (72.4 m²)	1104 ft² (102.6 m²)	1400 ft² (130.1 m²)