

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

AIRTON NAGAI OCAMOTO
BRUNO RAFAEL DEL RIO VIEIRA
MARIA ALICE ANTONIASSI
PAMELA MARIA PEREIRA LEMES

INDÚSTRIA DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

APUCARANA

2018

AIRTON NAGAI OCAMOTO
BRUNO RAFAEL DEL RIO VIEIRA
MARIA ALICE ANTONIASSI
PAMELA MARIA PEREIRA LEMES

INDÚSTRIA DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química

Orientadora: Profa. Dra. Caroline Casagrande Sipoli
Coorientadora: Profa. Dra. Maria Carolina Sérgio Gomes

APUCARANA
2018



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



TERMO DE APROVAÇÃO
INDÚSTRIA DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL
por

AIRTON NAGAI OCAMOTO
BRUNO RAFAEL DEL RIO VIEIRA
MARIA ALICE ANTONIASSI
PAMELA MARIA PEREIRA LEMES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 19 de Junho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Apucarana. Os candidatos foram arguidos pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof.^a Dr.^a Caroline Casagrande Sipoli
Orientadora

Prof.^a Dr.^a Juliana Guerra Sgorlon
Membro

Prof.^a Dr.^a Fernando Alves da Silva
Membro

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

Dedico este trabalho à minha mãe Renata, à minha avó Kimiko, ao meu avô Masami e às minhas irmãs que estiveram sempre ao meu lado ao longo de toda a minha jornada. Também dedico aos meus melhores amigos, por sempre me apoiarem nos momentos alegres e difíceis, e por acreditarem nesses laços que construímos durante todo esse tempo.

Dedico o presente trabalho aos meus pais Edson e Marlene, aos meus irmãos Débora e Rodrigo, por sempre estarem ao meu lado quando mais precisei. Também dedico à minha avó Clóris por sempre acreditar em mim e acima de tudo à Deus por me dar um conforto espiritual. Por fim, a todos aos meus amigos pelo qual passei durante a graduação.

Gostaria de dedicar este trabalho primeiramente a Deus e a Nossa Senhora que iluminaram todo o meu caminho até aqui. Aos meus pais José Eduardo Antoniassi e Lourdes Alice França Antoniassi por me ensinarem a importância de seguir o caminho do conhecimento, pelo amor e compreensão, e por todo o esforço que fizeram para que eu alcançasse meus sonhos. Aos meus irmãos Lúcia de Fátima e Eduardo Lourenço Antoniassi por todo o carinho e força que me passaram durante este período, e dedico, também, aos meus avós, tios, primos e amigos que sempre me apoiaram e torceram por mim quaisquer fossem os desafios.

Dedico este trabalho com todo o carinho aos meus pais Sidney dos Santos Lemes e Márcia Andreia Pereira Lemes, ao meu avô Manoel Corrêa Lemes, por me apoiarem e acreditarem nos meus sonhos mais do que eu mesma acreditei e pela força para que eu continue a trilhar por esta etapa importante da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos familiares por toda amparo, carinho, dedicação e paciência que tiveram por nós durante estes cinco anos de graduação, o que tornou o caminho muitas vezes mais fácil e prazeroso.

Agradecemos aos nossos professores de graduação pelos ensinamentos transmitidos durante este período, não apenas pelos quais nos auxiliaram na realização deste trabalho, mas, também, pelos ensinamentos de vida que nos acompanharão para sempre, pelos sermões necessários e os sem motivos, pois de fato sabemos que tudo o que fizeram foi para auxiliar o nosso crescimento como futuros engenheiros químicos.

Somos gratos, também, aos nossos amigos que nos ajudaram neste momento tão importante, tornando nossos momentos difíceis mais leves, e à equipe da Biblioteca da UTFPR de Apucarana que torceram por nós e acompanharam o crescimento deste projeto em todos os dias que ficávamos até quando possível no local escrevendo e realizando pesquisas.

Concedemos nossos agradecimentos especiais à nossa orientadora Caroline Casagrande Sipoli, à nossa coorientadora Maria Carolina Sérgi Gomes pelo apoio, instrução e colaboração para o desenvolvimento deste trabalho, e aos demais professores que colaboraram para a conclusão do presente trabalho.

“O uso de óleos vegetais, como combustíveis de motor, pode parecer insignificante nos dias atuais. Mas estes óleos podem vir a se tornar, ao longo do tempo, tão importantes como o petróleo e o carvão mineral”

(Rudolf Diesel)

RESUMO

O biodiesel é uma fonte renovável de energia em substituição do diesel mineral, visto que estes são utilizados para mover maquinários pesados. O mercado para este biocombustível vem crescendo continuamente devido ao aumento da obrigatoriedade de sua mistura ao diesel nas quantidades BXs, com o intuito de reduzir as emissões de gases poluentes em relação ao uso do diesel fóssil puro. Atualmente no Brasil, o teor de mistura de biodiesel em diesel é de 10% (B10). As matérias-primas utilizadas para a produção deste biocombustível são diversas, tais como óleos vegetais, sebos animais, gorduras e óleos residuais. O processo de síntese ocorre por meio de reações de transesterificação e/ou esterificação do tri-acilglicerídeo e dos ácidos graxos livres, respectivamente, com um álcool de cadeia curta, e são catalisados por meio de catalisadores homogêneos, heterogêneos, ambos utilizando ácidos ou bases, por catálise enzimática ou por fluidos supercríticos. A planta industrial para a produção do biodiesel realizada no presente trabalho utiliza como matéria-prima óleo de soja bruto, ácido fosfórico, etanol e hidróxido de sódio como catalisador. A fábrica localizar-se-á no Vale do Ivaí, na cidade de Apucarana-PR, por possuir indústrias fornecedoras de matéria-prima em sua proximidade. A capacidade produtiva da indústria será de 90 m³ de biodiesel diários, atingindo uma conversão de 98,9% do óleo de soja bruto, para a determinação da quantidade das matérias-primas utilizadas diariamente. A partir do balanço de massa e energia do processo, foi possível dimensionar os equipamentos a serem instalados para que o projeto da planta baixa da indústria se torne viável. Assim, foi realizada uma análise financeira da empresa com o objetivo de se obter uma previsão do lucro líquido e conseqüentemente da taxa de *payout* para estipular o prazo em que os custos de instalação serão quitados com a venda do biodiesel, da borra (sabão e lecitina) e da glicerina loira. Outra análise realizada neste trabalho, é a integração energética das correntes quentes e frias do processo, com a finalidade de aproveitar o calor carregado (carga térmica) pelas correntes quentes para aquecer ou pré-aquecer as correntes mais frias, e assim, reduzindo a quantidade de biomassa na caldeira para geração de vapor e a quantidade do fluido utilizado para diminuir a temperatura das correntes de óleo degomado e do biodiesel para ser armazenado.

Palavras-chave: Biodiesel. Transesterificação. Rota Eética. Catálise Básica. Análise Financeira.

ABSTRACT

Biodiesel is a renewable energy to substitute diesel oil, since these fuels are used to move heavy machinery. The market for this biofuel is growing steadily because of the increase in the obligation of the biodiesel's mixture with diesel oil in volume proportions BXs with the objective to reduce the emission of pollutant gases in relation to the use of pure fossil diesel. Actually, in Brazil, the volume proportion of mixture is 7% (B7). The raw materials used for biodiesel production are several, such as vegetable oil, animal fats and waste oils or fats. The process of synthesis occurs through transesterification or esterification reactions of the triacyl glyceride and free fatty acids (FFA), respectively, with a lower alcohol and is catalyzed by homogeneous, heterogeneous catalysis, both acids or bases, enzymatic catalysis or supercritical fluids. The industrial plant for the production of biodiesel made in this work, use as raw materials refined soybean oil, ethanol and sodium hydroxide as catalyst. The industry is located in Vale do Ivaí in the city of Apucarana, PR, for owning supplier industries nearby. The productive capacity of the industry will be $23,78 \cdot 10^3$ gallons, reaching a conversion of 98,9% of refined soybean for the determination of the quantity of raw materials used daily. From the mass and energy balance of the process, it was possible to size the equipments to be installed so that the blueprint design becomes viable. Therefore, a financial analysis of the company was realized with the objective of obtaining a prediction of the net earnings and consequently the payout rate to stipulate the prompt in which the installation costs will be settled with the sale of the biodiesel, the dreg (soda and lecithin) and the raw glycerin. Another analysis carried out in this work is the energy integration of hot and cold streams of the process, with the purpose to take advantage of the heat by the hot streams to exchange heat with the cold streams, reducing the amount of biomass used in the boiler for high pressure stream generation and the amount of the fluid used to decrease the temperature of degummed soybean oil and biodiesel streams to be stored.

Keywords: Biodiesel. Transesterification. Ethylic Route. Basic Catalysis. Financial Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – LOGO DA EMPRESA IVAÍBIO	22
FIGURA 2 – PRIMEIRO ÔNIBUS MOVIDO A BIODIESEL NO BRASIL.....	30
FIGURA 3 – USO DAS MATÉRIAS-PRIMAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL.....	33
FIGURA 4 – MODELO DA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO.....	41
FIGURA 5 – REAÇÃO DE ESTERIFICAÇÃO DE UM ÓLEO PARA OBTENÇÃO DE BIODIESEL	42
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DO VOLUME DO BIODIESEL PRODUZIDO DURANTE OS ANOS DE 2007 E 2016.....	50
FIGURA 7 – ESTIMATIVA DA PORCENTAGEM DA PRODUÇÃO DAS PRINCIPAIS MATÉRIAS-PRIMAS PARA 2030	53
FIGURA 8 – CAPACIDADE DE EXPANSÃO PARA A PRÓXIMA GERAÇÃO DE BICOMBUSTÍVEIS DE 2015 A 2018.....	54
FIGURA 9 – CAPACIDADE NOMINAL E PRODUÇÃO DE B100 EM MIL M ³ /ANO EM 2016	56
FIGURA 10 – MAPA DO VALE DO IVAÍ	57
FIGURA 11 – TERRENO DA INDÚSTRIA IVAÍBIO	59
FIGURA 12 – DIAGRAMA DE CEBOLA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL	60
FIGURA 13 – DIAGRAMA DE FLUXO DE BLOCOS DA INDÚSTRIA DO BIODIESEL	62
FIGURA 14 – REAÇÃO DE NEUTRALIZAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA BRUTO.....	64
FIGURA 15 – REAÇÃO DOS FOSFOLÍPÍDEOS COM ÁCIDO FOSFÓRICO	65
FIGURA 16 – SETOR 100 DA INDÚSTRIA IVAÍBIO.....	65
FIGURA 17 – BALANÇO DE MASSA E ENERGIA PARA A ETAPA DE MISTURA (M-101 E M-102).....	66
FIGURA 18 – BALANÇO DE MASSA E ENERGIA DA ETAPA DE SEPARAÇÃO DA BORRA (V-101).....	67
FIGURA 19 – BALANÇO DE MASSA E ENERGIA DA ETAPA DE EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DO ÓLEO DE SOJA DEGOMADO	68
FIGURA 20 – SETOR 200 DA INDÚSTRIA IVAÍBIO.....	69

FIGURA 21 – BALANÇOS DE MASSA E ENERGIA DO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO	71
FIGURA 22 – DESTILADOR FLASH DA SETOR 300 DA INDÚSTRIA IVAÍBIO	72
FIGURA 23 – BALANÇOS DE MASSA E ENERGIA PARA A ETAPA DE DESTILAÇÃO.....	73
FIGURA 24 – DECANTADOR DA SETOR 300 DA INDÚSTRIA IVAÍBIO.....	74
FIGURA 25 – BALANÇOS DE MASSA E ENERGIA PARA A ETAPA DE DECANTAÇÃO	74
FIGURA 26 – SETOR 400 DA INDÚSTRIA IVAÍBIO.....	75
FIGURA 27 – BALANÇO DE MASSA E ENERGIA PARA A ETAPA DE LAVAGEM	76
FIGURA 28 – SETOR 500 DA INDÚSTRIA IVAÍBIO.....	77
FIGURA 29 – BALANÇO DE MASSA E ENERGIA PARA A ETAPA DE SECAGEM	78
FIGURA 30 – DIAGRAMA DE BLOCOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTE	80
FIGURA 31 – CALDEIRA FLAMOTUBULAR REGULAR.....	81
FIGURA 32 – CURVA COMPOSTA DO PROCESSO	84
FIGURA 33 – GRANDE CURVA COMPOSTA (GCC)	84
FIGURA 34 – DIAGRAMA CASCATA.....	85
FIGURA 35 – TANQUE DE ÁCIDO FOSFÓRICO	88
FIGURA 36 – TANQUE DE ÁCIDO CLORÍDRICO	89
FIGURA 37 – TANQUE DE ETANOL.....	89
FIGURA 38 – TANQUE DE ÓLEO DE SOJA.....	90
FIGURA 39 – TANQUE DA GLICERINA.....	91
FIGURA 40 – TANQUE DA BORRA	92
FIGURA 41 – TANQUE DE BIODIESEL	92
FIGURA 42 – MISTURADOR ESTÁTICO	93
FIGURA 43 – MISTURADOR ESTÁTICO SMV - PARTE INTERNA	94
FIGURA 44 – MISTURADOR CENTRÍFUGO	94
FIGURA 45 – EVAPORADOR DE TUBOS LONGOS	95
FIGURA 46 – MODELO FIGURATIVO DOS REATORES EMPREGADOS NA IVAIBIO	96
FIGURA 47 – CENTRÍFUGA PARA DEGOMAGEM E NEUTRALIZAÇÃO.....	97
FIGURA 48 – VASO FLASH	98
FIGURA 49 – CONDENSADOR.....	99

FIGURA 50 – DECANTADOR.....	99
FIGURA 51 – TROCADOR DE CALOR	100
FIGURA 52 – VISÃO GERAL DA INDÚSTRIA IVAÍBIO.....	104
FIGURA 53 – GUARITA DE ACESSO À INDÚSTRIA.....	105
FIGURA 54 – ESTACIONAMENTO PRINCIPAL IVAÍBIO.....	105
FIGURA 55 – RECEPÇÃO IVAÍBIO	106
FIGURA 56 – VISÃO GERAL DO SETOR DE PRODUÇÃO.....	106
FIGURA 57 – TANQUES DE ARMAZENAMENTOS DAS MATÉRIAS-PRIMAS	107
FIGURA 58 – SALA DE REUNIÃO IVAÍBIO.....	107
FIGURA 59 – SALA DE CONTROLE	108
FIGURA 60 – AUDITÓRIO INTERNO IVAÍBIO	108
FIGURA 61 – DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO IVAÍBIO	109
FIGURA 62 – REFEITÓRIO	109
FIGURA 63 – PROJEÇÃO DOS GASTOS COM MATÉRIA-PRIMA.....	118
FIGURA 64 – ORGANOGRAMA DA IVAÍBIO	121
FIGURA 65 – FLUXO DE CAIXA	127
FIGURA 66 – REDE DE TROCADORES DE CALOR DA INDÚSTRIA DE BIODIESEL IVAÍBIO	183

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – ORIGEM E OBTENÇÃO DE ÓLEOS PARA CADA CATEGORIA	32
QUADRO 2 – ESPECIFICAÇÃO BRASILEIRA PARA BIODIESEL	46
QUADRO 3 – ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES NO SETOR 100: PARTE 1	145
QUADRO 4 – ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES NO SETOR 100: PARTE 2	146
QUADRO 5 – ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES NO SETOR 200	147
QUADRO 6 – ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES NO SETOR 300	148
QUADRO 7 – ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES NO SETOR 400: PARTE 1	149
QUADRO 8 – ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES NO SETOR 400: PARTE 2	149
QUADRO 9 – ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES NO SETOR 500	150

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE ÓLEOS	34
TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS DAS OLEAGINOSAS	35
TABELA 3 – RENDIMENTO EM UMA MISTURA DE NaOH, KOH E METILATO DE SÓDIO, RESPECTIVAMENTE, PELA ROTA METÍLICA	38
TABELA 4 – RENDIMENTO EM UMA MISTURA DE NaOH, KOH E METILATO DE SÓDIO, RESPECTIVAMENTE, PELA ROTA ETÍLICA	39
TABELA 5 – RELAÇÃO ENTRE O EXCESSO DE ETANOL, A TEMPERATURA E O RENDIMENTO DA REAÇÃO UTILIZANDO CATALISADOR NaOH	39
TABELA 6 – PROPRIEDADES DE FLUXO A FRIO PARA DIVERSOS TIPOS DE BIODIESEL	44
TABELA 7 – PROPRIEDADES DOS REAGENTES E PRODUTOS	69
TABELA 8 – COMPOSIÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM	78
TABELA 9 – CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE DA ÁGUA DE LAVAGEM	79
TABELA 10 – PADRÕES DO CONAMA 430/2011 PARA DESCARTE DE EFLUENTES	79
TABELA 11 – TABELA PROBLEMA	83
TABELA 12 – COMPARAÇÃO ENTRE UTILIDADES COM E SEM INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA E ECONOMIA ENTRE ELAS	86
TABELA 13 – PROJEÇÃO DO TEMPO DE ESTOCAGEM DE REAGENTES E PRODUTOS	87
TABELA 14 – COMPRIMENTO DOS MISTURADORES	93
TABELA 15 – ÁREA DE TROCA TÉRMICA	100
TABELA 16 – EMPRESAS E EQUIPAMENTOS PESQUISADOS	111
TABELA 17 – EMPRESAS E MATÉRIAS-PRIMAS	112
TABELA 18 – PREÇOS DOS EQUIPAMENTOS	112
TABELA 19 – ESTOQUE INICIAL DE MATÉRIA PRIMA	113
TABELA 20 – TEMPO MÉDIO DE RECEBIMENTO DAS VENDAS	113
TABELA 21 – TEMPO MÉDIO DE PAGAMENTO DAS COMPRAS	114
TABELA 22 – VALORES DOS INVESTIMENTOS PRÉ-OPERACIONAIS	114
TABELA 23 – INVESTIMENTO TOTAL	115
TABELA 24 – DEPRECIAÇÃO DOS ATIVOS	115
TABELA 25 – RELAÇÃO DE TRIBUTOS SOBRE A PRODUÇÃO	116

TABELA 26 – PREÇO DA MATÉRIA-PRIMA E FRAÇÃO UTILIZADA	117
TABELA 27 – COMPOSIÇÃO DO PREÇO DO BODIESEL (SEM OS IMPOSTOS)	118
TABELA 28 – FATURAMENTO PELA VENDA DOS PRODUTOS	119
TABELA 29 – CARGA HORÁRIA SEMANAL.....	120
TABELA 30 – CARGOS E SALÁRIOS DA DIREÇÃO E ÁREA ADMINISTRATIVA	121
TABELA 31 – CARGOS E SALÁRIOS DA ÁREA DE PRODUÇÃO.....	121
TABELA 32 – CUSTO MENSAL	125
TABELA 33 – TAXAS APLICADAS AO EMPRESTIMO BANCÁRIO DO BNDES ..	126
TABELA 34 – BALANÇO ECONÔMICO	127
TABELA 35 – CALOR ESPECÍFICO.....	151
TABELA 36 – CALOR DE FORMAÇÃO E CALOR DE COMBUSTÃO	151
TABELA 37 – COMPOSIÇÃO DE AGL NO ÓLEO DE SOJA	152
TABELA 38 – PROPRIEDADE TERMODINÂMICA DO VAPOR DE ÁGUA	153
TABELA 39 – MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DA GLICERINA E DA BORRA	184

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGL – Ácidos Graxos Livres
AGROLUSA – Agroindustrial Luiz Guimarães
 $Al_2(SO_3)_2$ – Sulfato de Alumínio III
ANP – Agência Nacional do Petróleo
APROBIO – Associação de Produtores de Biodiesel
APROSOJA – Associação dos Produtores de Soja E Milho
ASTM – *American Society of Testing and Materials*
BGA – Bilhões de Galões por Ano
BNDES – Banco Nacional Do Desenvolvimento
BX – Porcentagem de Biodiesel (X%) no Diesel Mineral
 $C_{16}H_{34}$ – Hexadecano
CC – Curva Composta
CEI – Comissão Executiva Interministerial
 C_f – Capital Fixo
CFPP – Ponto de Entupimento a Frio
CFPP – Ponto de Entupimento do Filtro a Frio
 CO_2 – Monóxido de Carbono
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONFINS – Contribuição para Financiamento da Seguridade Nacional
CONTEC – Comissão de Normalização Técnica
COP-21 – Vigésima Primeira Conferência das Partes na Comunicação
CSTR – *Continuous Stirred Tank Reactor*
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
EGR – Sistemas de Recirculação de Gases
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EN/ISO – International Organization for Standardization
ETE – Estação de Tratamento de Efluente
ETOH – Etanol
EUA – Estados Unidos da América

FOB – Free on Board

FOB – *Free On Board*

GCC – Grande Curva Composta

GEE – Gases do Efeito Estufa

GEE – Gases do Efeito Estufa

GTI – Grupo de Trabalho Interministerial

GTI – Grupo de Trabalho Interministerial

H₃PO₄ – Ácido Fosfórico

HCl – Ácido Clorídrico

HMN – Heptametilnonano

IA – Índice de Acidez

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços.

ICMS – Impostos Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

INDC – Contribuição Nacionalmente Determinada

IPCA - Índice nacional de Preços ao Consumidor Amplo

IPI – Imposto sobre Produtos Industriais.

IRPJ – Imposto de Renda sobre Pessoa Jurídica.

ISBL – Insite Battery Limits

KOH – Hidróxido de Potássio

LTFT – Teste de Fluxo a Baixa Temperatura

MDL – Mecanismos de Desenvolvimento Limpo

MP – Matéria Prima

Mton – Megatonelada

NaCl – Cloreto de Sódio

NAOH – Hidróxido de Sódio

NBR – Normas Brasileiras Reguladoras

NC – Número de Cetano

NDC – Contribuição Nacionalmente Determinada

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

O&G – Óleos e Graxos

OD – Oxigênio Dissolvido

OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo

OSBL – Offsite Battery Limits

OV – Óleos Vegetais
OVGE – Programa de Óleos Vegetais
PASEP – Programa de Formação de Patrimônio do Servidor Público
PC – Poder Calorífico
PF – Ponto de Fluidez
PFD – *Process Flow Diagram*
PFR – *Plug Flow Reactor*
PIS – Programa de Integração Social
PIS – Programa de Integração Social
PIS/PASEP – A Contribuição para os Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público.
PMR – Preço Máximo de Referência
PN – Ponto de Névoa
PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
PRÓ-ÁLCOOL – Programa Nacional do Alcool
PROBIODIESEL – Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel
PRÓ-ÓLEO – Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos
RTC – Rede de Trocadores de Calor
SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
TAG – Ácidos Triacilglicerídeos
TEP – Toneladas Equivalentes de Petróleo
TLP – taxa a longo prazo
TR – Tempo de Residência
UFC – Universidade Federal do Ceará
UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VC – Volume de Controle

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	22
2	INTRODUÇÃO	24
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
3.1	DEFINIÇÕES	26
3.2	HISTÓRIA MUNDIAL DO BIODIESEL.....	26
3.3	HISTÓRIA DO BIODIESEL NO BRASIL.....	29
3.4	MATÉRIA-PRIMA.....	32
3.4.1	Óleos e Gorduras Vegetais.....	33
3.4.2	Gordura Animal.....	36
3.4.3	Óleos Residuais de Fritura	36
3.5	ETANOL VERSUS METANOL.....	37
3.6	CATALISADORES	38
3.7	PROCESSOS DE OBTENÇÃO DO BIODIESEL	40
3.7.1	Transesterificação	40
3.7.2	Esterificação	42
3.8	PROPRIEDADES DO BIODIESEL	43
3.9	SUSTENTABILIDADE.....	47
4	ANÁLISE DE MERCADO	49
4.1	LEILÕES	49
4.2	MERCADO CRESCENTE.....	49
4.3	COTAÇÃO DE PREÇO.....	50
4.4	CONCORRÊNCIA ENTRE GRANDES E PEQUENAS INDÚSTRIAS DO SETOR DE BIODIESEL	51
4.5	PERSPECTIVAS FUTURAS.....	52
4.6	REGIÃO DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA	55
5	JUSTIFICATIVA.....	58
6	DIAGRAMA DE CEBOLA	60
7	DIAGRAMA DE FLUXO DE BLOCOS	62
8	FLUXOGRAMA, DESCRIÇÃO DO PROCESSO, BALANÇO DE MASSA E ENERGIA	64
8.1	FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL	64

8.2	TRATAMENTO DO ÓLEO DE SOJA.....	64
8.2.1	Armazenamento do Óleo de Soja.....	66
8.2.2	Fosforação e Neutralização Básica do Óleo de Soja Bruto	66
8.2.3	Centrifugação do Óleo de Soja Degomado	67
8.2.4	Secagem do Óleo de Soja Degomado	67
8.3	ETAPA DE TRANSESTERIFICAÇÃO	68
8.4	ETAPA DE REMOÇÃO DO ETANOL E DA GLICERINA.....	71
8.4.1	Remoção do Etanol	71
8.4.2	Remoção da Glicerina	73
8.5	ETAPA DE LAVAGEM.....	75
8.6	ETAPA DE EVAPORAÇÃO	77
8.7	TRATAMENTO DE EFLUENTES	78
8.8	CALDEIRA	81
8.9	INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA.....	82
9	DIMENSIONAMENTO E DETERMINAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	87
9.1	TANQUES DE ARMAZENAMENTO	87
9.1.1	Tanque de Ácido Fosfórico	88
9.1.2	Tanque de Ácido Clorídrico	88
9.1.3	Tanque de Etanol	89
9.2	Tanque de Óleo de Soja	90
9.2.1	Tanque de Glicerina	90
9.2.2	Tanque da Borra.....	91
9.2.3	Tanque de Biodiesel	92
9.3	MISTURADORES	93
9.3.1	M-101, M-102 e M-201	93
9.3.2	M-401, M-403 e M-405	94
9.4	EVAPORADORES	95
9.5	REATORES	95
9.6	CENTRÍFUGA.....	96
9.7	VASO FLASH	97
9.8	CONDENSADOR.....	98
9.9	DECANTADORES	99
9.10	TROCADORES DE CALOR.....	100

10 LAYOUT	101
10.1 PLANTA BAIXA E LAYOUT 2D	101
10.2 PLANTA 3D	104
11 BALANÇO ECONÔMICO	110
11.1 AVALIAÇÃO DE CUSTOS	110
11.2 CAPITAL FIXO	111
11.2.1 Estimativa dos Custos Fixos	111
11.3 CAPITAL DE GIRO	113
11.3.1 Estoque Inicial	113
11.3.2 Caixa Mínimo	113
11.4 Investimento Pré-Operacional	114
11.5 INVESTIMENTO TOTAL	114
11.6 CAPITAL TOTAL DEPRECIÁVEL	115
11.7 TAXA IMPOSTOS DE PRODUÇÃO	115
11.8 CUSTO UNITÁRIO	117
11.9 FATURAMENTO MENSAL	119
11.10 CUSTOS E DESCRIÇÃO DOS CARGOS	119
11.10.1 Diretor	122
11.10.2 Gerente Administrativo	122
11.10.3 Supervisor de RH	122
11.10.4 Recepcionista	123
11.10.5 Gerente de Produção	123
11.10.6 Engenheiro Químico	123
11.10.7 Supervisor de Produção	123
11.10.8 Operador de Produção	124
11.10.9 Técnico de Manutenção	124
11.10.10 Técnico de Laboratório	124
11.11 PREVISÃO DE CUSTOS E DESPESAS	124
11.12 FINANCIAMENTO	125
11.13 FLUXO DE CAIXA	126
12 CONCLUSÃO	128
REFERÊNCIAS	129

ANEXO A – DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSOS DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL E CORRENTES DE ESPECIFICAÇÕES.....	143
ANEXO A – DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSOS DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL E CORRENTES DE ESPECIFICAÇÕES.....	145
ANEXO B – PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS	151
ANEXO D – CÁLCULOS DO BALANÇO DE ENERGIA NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL	171
ANEXO E – REDE DE TROCADORES DE CALOR (RTC) – INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA.....	183
ANEXO F – CÁLCULO DO DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS	184

1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A IvaíBio é uma empresa brasileira direcionada à produção e comercialização nacional de biodiesel procedente de óleos vegetais. Sua sede encontra-se na cidade de Apucarana, situada no norte do estado do Paraná.

O nome IvaíBio faz alusão ao Vale do Ivaí, região em que se encontra a indústria. Já o seu logo referência a matéria-prima utilizada no processo, a soja, bem como o produto obtido através dela, o biodiesel.

FIGURA 1 – LOGO DA EMPRESA IVAÍBIO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018)

A necessidade da empresa surgiu em 2017 quando quatro engenheiros químicos se depararam com a exiguidade de iniciativas inovadoras e sustentáveis comprometidas com gerações futuras. Dessa forma, com capacidade de produção de 32,85 milhões de litros por ano, a IvaíBio já conta com políticas de produção que induzem a excelência e otimização do processo, além de uma forte gestão que evidencia suas responsabilidades sociais e ambientais.

A indústria integra uma equipe empresarial preparada para atingir metas e potencializar seus negócios no mercado nacional a médio e longo prazo, mantendo aplicado seus princípios morais e sustentáveis, tendo seus trabalhos pautados na sua identidade organizacional formada pela missão, visão e valores da IvaíBio.

MISSÃO: Produzir biodiesel e seus subprodutos para auxiliar na matriz energética nacional buscando reduzir a emissão de gases do efeito estufa na atmosfera, garantir a qualidade dos produtos através do desenvolvimento tecnológico e a fidelidade e rentabilidade de nossos colaboradores, crescendo de forma econômica e social.

VISÃO: Crescer e se tornar referência nacional e internacional na produção de biodiesel e produtos derivados, buscando sempre por novas tecnologias de processos, atuando progressivamente de forma sustentável, maximizando a produção e reduzindo os custos operacionais. Além disso, ser reconhecida pelos princípios éticos e participação ativa, propiciando aos nossos colaboradores a oportunidade de tomarem a iniciativa e exercitando o empreendedorismo e o trabalho em equipe.

VISÃO 2019: Conseguir o Selo Combustível Social.

VALORES:

- Trabalho em equipe;
- Respeito ao meio ambiente;
- Transparência;
- Ética;
- Satisfação dos clientes;
- Criatividade e ousadia;
- Perseverança;
- Qualidade e resultado;
- Comprometimento.

Venha você também fazer parte desta equipe!

2 INTRODUÇÃO

Durante décadas, a matriz energética de petróleo firmou-se como a matéria-prima elementar e o mais importante recurso estratégico do mundo moderno (PIMENTEL, 2011). Todavia, fatores determinantes, como a distribuição irregular do petróleo, interferiram em relações político-econômicas entre os países participantes da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) e as potências mundiais que detinham o capital. Como resultado dessa conturbada relação, ocorreram duas crises no mercado do petróleo durante a década de 70 – as crises energéticas de 1973 e 1979 (FURTADO, 2003).

Essas crises foram marcadas pelo aumento do preço do barril de petróleo e a criação de um embargo aos Estados Unidos e à Holanda, sendo necessário que os países ocidentais reformulassem sua trajetória em direção ao avanço industrial e tecnológico, ampliando a busca por combustíveis alternativos (PIMENTEL, 2011). Além disso, a preocupação com um âmbito mais sustentável, isento de emissões de dióxido de carbono (CO₂) e materiais particulados, intensificou a procura por matérias-primas renováveis, capazes de diminuir a dependência de combustíveis fósseis, surgindo, assim, o mercado dos biocombustíveis (LORA e VENTURINI, 2012).

Dentre os biocombustíveis presentes no mercado atual, há um destaque para o biodiesel quando o assunto é a substituição dos combustíveis de veículos e maquinários pesados, como navios, trens e caminhões, por exemplo, pois as misturas biodiesel-petrodiesel em volume percentual, ou seja, os BXs, apresentam reduções significativas de gases poluentes, assim, há uma contenção do aumento do efeito estufa e uma redução dos riscos voltados à saúde pública (PARENTE, 2003).

O biodiesel é obtido por meio de reações de transesterificação ou esterificação da biomassa, a qual abrange os óleos vegetais (soja, amendoim, girassol, entre outros), a gordura animal (sebo de origem bovina, suína e aves) e os óleos residuais de fritura. Visto que o Brasil possui o segundo maior rebanho de gado e uma extensa área de solo fértil utilizada para o cultivo da soja, há um estímulo para a produção do biodiesel a partir destas matérias-primas, contribuindo significativamente na economia nacional (SEBRAE, 2007).

Segundo as informações referentes aos benefícios do biodiesel em relação ao diesel mineral, é visível o impacto positivo da utilização desta fonte renovável nos aspectos ambientais e socioeconômicos. Dessa forma, a produção do biodiesel traz

consigo uma redução dos danos ambientais conciliado com o desenvolvimento econômico do país.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DEFINIÇÕES

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2017a), “Biocombustível é um derivado de biomassa renovável que pode substituir total ou parcialmente os combustíveis fósseis (petróleo e gás natural) em motores ou em outro tipo de fonte de energia”. Esse recurso renovável é obtido por meio de matérias orgânicas, podendo ser citados a cana-de-açúcar e plantas oleaginosas, insumos que produzem o etanol e o biodiesel, respectivamente, substituindo os combustíveis convencionais (LORA e VENTURI, 2012; ROCHA *et al.*, 2014).

O biodiesel, segundo a *American Society of Testing and Materials* (ASTM), é definido como combustível composto de mono-álquil-ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais. É uma fonte alternativa de energia renovável, obtido por meio de reações de transesterificação e/ou esterificação a partir de oleaginosas e sebo animal que reagem com um álcool de cadeia curta, em presença de catalisadores ácidos ou básicos (LORA e VENTURINI, 2012).

O uso do biodiesel no Brasil teve seu início por meio da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 que o define como “...biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil” (BRASIL, 2005).

3.2 HISTÓRIA MUNDIAL DO BIODIESEL

Estudos da transesterificação de óleos vegetais já eram conduzidos em 1853 pelos cientistas E. Duffy e Patrick. No entanto, o primeiro relato de um motor movido a óleos vegetais é datado no ano de 1900 durante a Exposição de Paris. No evento, a companhia francesa Otto apresentou um total de cinco motores que funcionavam com diesel, sendo que um deles operava com óleo de amendoim; seu desempenho foi tão satisfatório a ponto de poucas pessoas notarem as circunstâncias em que o mesmo havia sido conduzido (ENCARNAÇÃO, 2008). O fato surpreendeu a

sociedade científica da época, uma vez que esse motor era projetado para funcionar a partir do diesel, conquanto o aproveitamento do calor foi equivalente ao do combustível derivado de petróleo (KNOTHE *et al.*, 2006).

Em artigos escritos por Rudolf Christian Karl Diesel, tem-se o relato do interesse do Governo Francês em implantar o óleo de amendoim como uma alternativa de combustível, visto que essa oleaginosa era amplamente produzida nas colônias africanas. O intuito dessa ideia era fazer com que a França se tornasse autossuficiente em energia, desvinculando-se de qualquer importação de carvão ou combustível líquido. Diesel, apesar de ter criado um motor para combustíveis fósseis, acreditava que o futuro de seu invento estava direcionado para o uso de combustíveis obtidos através da biomassa. Entretanto, após mudanças governamentais, essa proposta não foi levada adiante (KNOTHE *et al.*, 2006).

Paralelamente a isso, em São Petersburgo, pesquisas foram realizadas utilizando óleo de mamona e gordura animal como óleos de locomotivas. Na década de 30, na Bélgica, também havia estudos relacionados a ésteres metílicos e etílicos de ácidos graxos, o atual biodiesel. Contudo, a disponibilidade de um combustível mais barato consagrou o petróleo como a principal fonte energética (PINHO e SUAREZ, 2016).

No ano de 1937, Charles G. Chavanne patenteou a reação de transesterificação e a partir de então iniciou-se o processo de retirada da glicerina da molécula de óleo vegetal, tornando o combustível mais adequado ao motor diesel. Em 1938, fez-se o primeiro teste do biodiesel, empregando-o em um ônibus urbano que fazia a rota Bruxelas – Louvain, apontando um resultado satisfatório. O óleo oriundo da palma, extraído das colônias tropicais pelos países europeus, também foi citado por Diesel em seus artigos, o que informa a vasta variedade de matéria-prima que poderia ser aplicada para a obtenção do produto (ENCARNAÇÃO, 2008).

O biocombustível teve grande importância durante a década de 40 devido à Segunda Guerra Mundial. Segundo Knothe *et al.* (2006), o temor de um possível desabastecimento de petróleo no decorrer da guerra fez com que incentivos à pesquisa e ao uso de bioenergia fossem intensificados. Na China, houve a implantação do processo de craqueamento para a produção do querosene, gasolina e óleos lubrificantes a partir de plantas oleaginosas e do óleo de tungue. No motor do navio japonês, denominado *Yamato*, empregou-se óleo de soja refinado como combustível. Já nos Estados Unidos, mais especificamente na Universidade Estadual

de Ohio, houve a elaboração de projetos para o uso da mistura binária de óleos, principalmente de milho e algodão, com o diesel mineral. Neste mesmo contexto, o Brasil proibiu a exportação de óleo de algodão, para reduzir a importação do diesel e concomitante a este fato, a Argentina passou a investir na exploração de matérias-primas renováveis após sofrer com a carência de diesel.

Entre os anos de 1960 e 1973, a produção e o consumo do petróleo elevaram-se em países industrializados, além de despertarem atenção nos países em desenvolvimento. Isso se deu pelo fato de que o petróleo era uma fonte energética barata devido à sua alta exportação pelo Oriente Médio (FURTADO, 2003). Todavia, no ano de 1973, com a estatização de companhias de petróleo em países que conquistaram sua independência após a Segunda Guerra Mundial e com a Guerra de Yom Kipur (confronto entre os países Síria, Egito e Israel), disputas políticas entre potências ocidentais e a OPEP se intensificaram. Os países do Oriente Médio detinham o domínio de dois terços das reservas mundiais de petróleo e se organizaram com o intuito de exigir uma maior porcentagem na venda deste bem, o que levou a um aumento do preço do barril de US\$2,90 para US\$5,00, desencadeando uma crise no setor. Este choque foi um marco para o avanço do uso dos biocombustíveis, uma vez que os países se depararam com a necessidade da autossuficiência energética (PIMENTEL, 2011).

A primeira menção, em literatura técnica, ao termo “biodiesel” foi constatada em um artigo chinês publicado no ano de 1988. Segundo Altin *et al.* (2000), a primeira planta de escala industrial de biodiesel foi instalada na cidade de Aschach, na Áustria, no ano de 1991, com capacidade de 10 mil m³ por ano. Nos Estados Unidos foram criados programas que se tornaram leis, como a *Energy Policy Act* de 1992 e 1998, que exigiam a utilização do biodiesel puro ou adicionado ao diesel mineral nas frotas de ônibus e caminhões (KNOTHE *et al.*, 2006).

A partir de 2000, o petróleo voltou a apresentar valores mais elevados, além disso, preocupações com as emissões de gases do efeito estufa (GEE) intensificaram a busca por recursos alternativos que possibilitassem a produção de combustíveis. A partir de então, o biodiesel ganhou maior visibilidade e vem trilhando um caminho consistente de fortalecimento de seus principais eixos: a contribuição para a sustentabilidade do meio ambiente e a viabilidade econômica (ENCARNAÇÃO, 2008; ABRAMOVAY, 2009).

3.3 HISTÓRIA DO BIODIESEL NO BRASIL

Apesar de terem sido realizados testes sobre o biodiesel na década de 1920, o incentivo à utilização deste biocombustível iniciou-se na década de 1970, quando foram criados programas que objetivavam a substituição do diesel por derivados de tri-acil-glicerídeos. A esse programa, deu-se o nome de Pró-Óleo (Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos), que visava o aumento da oferta de óleos vegetais e seus derivados para reduzir a um preço que competisse com o do petróleo e, combinado com o diesel, gerasse um combustível mais sustentável (COSTA, 2017).

Em 1977, o engenheiro químico e professor da Universidade Federal do Ceará (UFC), Expedito José de Sá Parente, desenvolveu estudos para obtenção de biodiesel, na época chamado de pró-diesel. Parente afirmava que o Pró-Álcool - Programa Nacional do Álcool, que tinha como objetivo produzir álcool combustível e introduzi-lo à matriz energética do país - não deveria ser o foco principal, dado que o diesel era o combustível empregado em caminhões e demais automóveis pesados, ou seja, mais poluentes. A partir dessa perspectiva e de teorias formuladas e descritas na literatura, o engenheiro patenteou um método de transesterificação de óleos vegetais para a produção do biodiesel (TEIXEIRA e TAOUIL, 2010).

Segundo Pinho e Suarez (2016), no ano de 1980, decorreu-se o teste do biodiesel produzido pela empresa PROERG, onde se empregou este biocombustível em um ônibus modelo O-364 da Mercedes Benz (Figura 2) que circulou pela cidade de Fortaleza. Essa empresa abasteceu uma frota de ônibus que percorreu mais de 2 milhões de quilômetros e consumiram cerca de 300 mil litros de biodiesel durante os períodos de 1981 e 1982. Apesar de satisfatórios os testes, o preço não era viável quando comparado ao uso do petróleo, dessa forma, o projeto foi abandonado. Um relato sobre este caso é feito por Parente (2003, p. 11):

Um fato curioso que merece destaque foi a produção de diesel vegetal a partir do óleo de semente de maracujá, por encomenda da AGROLUSA – Agroindustrial Luiz Guimarães AS, que produzia grandes quantidades de suco dessa fruta. Foi estabelecido um programa de produção de mil litros por semana durante seis meses. O biodiesel de maracujá movimentou a frota daquela empresa durante todo um semestre. Com o fim das experiências, foram identificados usos mais nobres para o óleo de maracujá, o qual foi sugerido o seu direcionamento para a indústria de cosméticos, cujos os preços eram muito mais compensadores. (PARENTE, 2003, p.11).

FIGURA 2 – PRIMEIRO ÔNIBUS MOVIDO A BIODIESEL NO BRASIL



FONTE: FORTALBUS (2011).

No ano de 1983, com o apoio da Secretaria de Tecnologia Industrial, indústrias automobilísticas e institutos de pesquisas, criou-se o Programa de Óleos Vegetais (OVGE), o qual incentivava estudos para a otimização da produção do biodiesel. No entanto, com a baixa cotação do petróleo em 1986, o Programa Nacional do Pró-Óleo teve um fim (COSTA, 2017).

A década de 1990 veio acompanhada de preocupações ambientais. Conferências foram realizadas entre diversas nações para debater sobre as mudanças climáticas, podendo destacar a agenda ECO 92 que ocorreu na cidade do Rio de Janeiro no ano de 1992 e o Protocolo de Kyoto de 1998, em que autoridades e cientistas estabeleceram princípios ecológicos a serem seguidos.

Neste contexto de conscientização ambiental, o biodiesel ganhou destaque por ser uma alternativa de combustível que emite uma menor taxa de gases do efeito estufa na atmosfera, ultrapassando 90% de redução. Isso pode ser observado quando feito um estudo com este composto puro (B100), produzido a partir do óleo de soja, que mostra uma diminuição de Monóxido de Carbono, Material Particulado, Óxido de Enxofre e Hidrocarbonetos Totais em 48, 47, 100 e 67%, respectivamente, quando comparado ao diesel comum (BIODIESELBR, 2006).

No ano de 2002, foi lançado o Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel (Probiobiodiesel), que tinha como objetivo retomar os estudos e avanços a respeito do combustível à base de óleos vegetais, o biodiesel (PINHO e SUAREZ, 2016).

A partir de 2003, um Grupo de Trabalho Interministerial (GTI), coordenado pela Casa Civil, se responsabilizou por realizar estudos para a utilização de óleo vegetal como parte da matriz energética nacional, capaz de garantir a diversidade de plantas oleaginosas do país vinculado à inclusão social da agricultura familiar, sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica. O projeto foi aceito e, por meio do Decreto Presidencial de 23 de dezembro de 2003, foi instituído pela Comissão Executiva Interministerial (CEI), que teve como função regulamentar e fiscalizar as estratégias estabelecidas (ABRAMOVAY, 2009).

Segundo Pinho e Suarez (2016), em meio a todas as mudanças realizadas, em setembro de 2004, o Governo Federal designou à ANP o dever de compreender e definir o termo biodiesel. No final deste mesmo ano, foi criado o PNPB (Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel); seu surgimento foi um marco na história desse biocombustível, visto que passou a ser obrigatório um teor de 2% de biodiesel misturado com o diesel (B2) entre os anos de 2008 a 2012 e em 5% (B5) a partir de 2013, segundo a Lei 11.097/05 (ABRAMOVAY, 2009).

Conforme relatado por Abramovay (2009), nos primeiros meses em que o biodiesel passou a contribuir com a matriz energética do país, algumas pessoas e organizações tiveram uma perspectiva negativa em relação a este combustível. As principais justificativas para explicar o descontentamento foram a preocupação em relação à segurança alimentar, uma vez que temiam a má distribuição do uso da matéria-prima, e pelo fato do biodiesel não ser economicamente viável.

No período de 2005 a 2008, com o objetivo de organizar a compra e venda e incentivar a produção do biodiesel, surgiram os leilões, os quais eram responsáveis por definir os preços do combustível. Neles, tinham prioridade as empresas que possuíam o Selo Combustível Social, o qual era outorgado para indústrias que prestavam assistência técnica aos pequenos agricultores, além de adquirir a matéria-prima dos mesmos. Como consequência desses programas de incentivo, a produção do biodiesel sofreu um aumento de 24,8% em 2008 (COSTA, 2017; PINHO e SUAREZ, 2016).

Em 2010, foi atingida a meta da implantação do B5, três anos antes do previsto. O Brasil já se destacava como um dos principais produtores de soja, matéria-prima de destaque para a obtenção do biodiesel. Dos 69 milhões de toneladas de soja cultivadas, 6,5 milhões foram destinadas para a produção do óleo e 26,1 milhões direcionadas para a indústria alimentícia, mostrando que, diferente do que foi

levantado inicialmente, a produção do biodiesel não interferiria no uso de matérias-primas para o setor alimentício (ROCHA *et al.*, 2014).

Em 2014, o B6 foi implantado, de acordo com a Lei número 13.033/14, e como a meta foi novamente alcançada, a obrigatoriedade do B7 foi antecipada para este mesmo ano. Observou-se um aumento de 23,5% em relação à produção do biodiesel referente ao ano anterior (2013), produzindo cerca de 16,7 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) (COSTA, 2017; PINHO e SUAREZ, 2016).

Em 2016, foi instituída a Lei 13.623/16, que ordenava a implantação do B8, B9 e B10 para os anos de 2017, 2018 e 2019, respectivamente. Dessa forma, percebe-se que ao longo dos anos, após muitas pesquisas e implementações de programas nacionais, o Brasil se firmou em uma posição de destaque em relação aos demais países na inserção do biodiesel como uma fonte alternativa de energia, e continua trilhando um caminho em busca da sustentabilidade e autossuficiência energética, visando a redução dos impactos ambientais (ANP, 2016).

3.4 MATÉRIA-PRIMA

O biodiesel pode ser obtido a partir de qualquer matéria-prima que contenha em sua composição ácidos graxos ou triglicerídeos, como em óleos vegetais, gorduras animais, matérias graxas de esgoto e óleos de gordura residuais, e são obtidos por meio da transesterificação ou esterificação. Assim, a matéria-prima está dividida em quatro categorias que variam de acordo com suas propriedades particulares, origem e obtenção, como apresentado no Quadro 1 (DEMIRBAS, 2010).

QUADRO 1 – ORIGEM E OBTENÇÃO DE ÓLEOS PARA CADA CATEGORIA

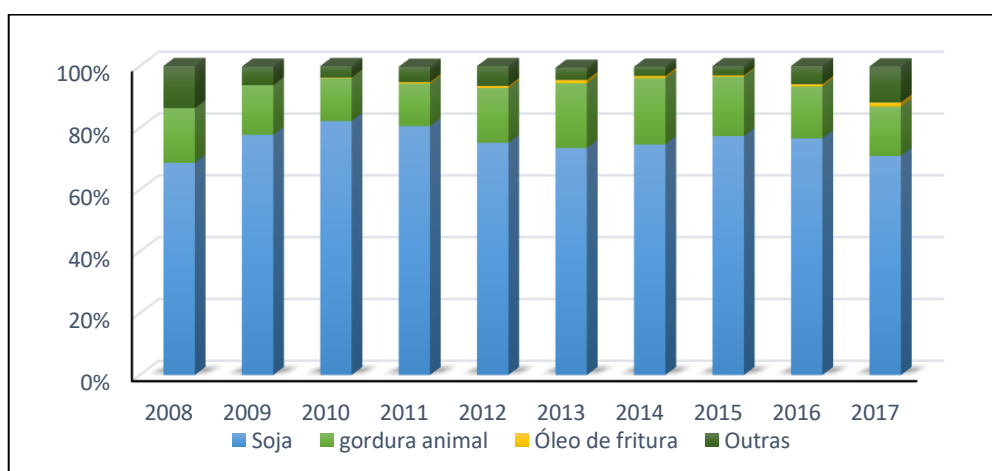
Categoria	Origem	Obtenção
Óleos e Gorduras de Vegetais	Agriculturas Temporárias e Permanentes	Extração Mecânica, Extração Solvente, Extração Mista
Óleos e Gorduras de Animais	Matadouros, Frigoríficos e Curtumes	Extração com Água e Vapor
Óleos Residuais de Frituras	Cocções Comerciais e Industriais	Acumulações e Coletas
Matérias Graxas de Esgotos	Águas Residuais das Cidades e de certas Indústrias	Processo em Fase de Pesquisa e Desenvolvimento

FONTE: ADAPTADO DA COORDENAÇÃO DE PUBLICAÇÕES DA CÂMARA DOS DEPUTADOS (2003).

Diante das inúmeras opções de matérias-primas para a produção do biocombustível, alguns tópicos devem ser considerados, como a logística, qualidade do produto final, oferta, demanda e viabilidade econômica. Além disso, índices de saponificação, iodados, ponto de fusão, também precisam ser ponderados para a escolha da matéria-prima (BIODIESELBR, 2009a).

Desta forma, observa-se, na Figura 3, o percentual da utilização de cada categoria, vide Quadro 1, entre os anos de 2008 a 2017.

FIGURA 3 – USO DAS MATÉRIAS-PRIMAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL



FONTE: ABIOVE (2017).

Através dos dados apresentados pela Figura 3, pode-se observar a hegemonia do uso de óleos vegetais no Brasil para a produção do biodiesel devido à ampla utilização da soja.

3.4.1 Óleos e Gorduras Vegetais

A priori, os óleos vegetais não eram bem aceitos por serem mais caros que os combustíveis fósseis. Todavia, com o preço do petróleo sofrendo flutuações, a falta de perspectivas futuras de novas reservas e o alto impacto ambiental, as matérias-primas oleaginosas renováveis tornaram-se alternativas cada vez mais atrativas (DEMIRBAS, 2010).

A vasta área geográfica, combinada com seus climas tropical e subtropical, permite ao Brasil a utilização de diversas plantas oleaginosas para a obtenção do biodiesel, destacando-se o algodão, mamona, dendê, girassol, amendoim e soja.

Conforme apresentado na Tabela 1, os óleos possuem propriedades físico-químicas distintas entre si, como viscosidade, índices de saponificação e iodo, além do ponto de fusão, que podem ser determinantes para a escolha da matéria-prima (SEBRAE, 2007).

A viscosidade relaciona-se diretamente com a eficiência do biodiesel no motor. Um elevado valor de viscosidade cinemática compromete o desempenho do combustível, visto que há formação de depósitos no equipamento. Já o ponto de fusão do componente determina e limita a área de distribuição que o produto poderá ser ofertado (KNOTHE *et al.*, 2006).

O índice de iodo é um indicativo de instauração total dentro de uma mistura de ácido graxo, que pode conduzir à formação de depósitos ou deterioração do óleo vegetal. Além disso, a instauração dos ácidos graxos tem efeitos diretos nos valores de massa específica e viscosidade do biodiesel, bem como na determinação da estabilidade oxidativa. Dessa forma, a quantificação do iodo em uma mistura se torna um parâmetro essencial para descrever a qualidade do produto (LORA e VENTURINI, 2012).

O índice de saponificação na mistura indica teores de umidade na mesma. A presença de sabão deve ser rigorosamente controlada e atender as especificações da ANP, uma vez que o mesmo atua como agente sequestrador de triglicerídeos, resultando na diminuição de rendimento do processo (ENCARNAÇÃO, 2008).

TABELA 1 – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE ÓLEOS

Oleaginosa	Viscosidade (cSt)	Índice de Saponificação	Índice de Iodo	Ponto de Fusão (°C)
Algodão	36,9	189 – 198	99 – 119	-1
Amendoim	70,7	187 – 196	83 – 107	0 – 3
Girassol	31,6	188 – 194	118 – 145	-9
Mamona	255,5	176 – 187	81 – 91	-10 a -18
Palma (Dendê)	37,8	190 – 209	49 – 55	30 – 40
Soja	37,8	189 – 195	118 – 139	-10 a -19

FONTE: ADAPTADO DE LORA E VENTURINI (2012).

De acordo com Lora e Venturini (2012), cada fonte deve ser analisada de acordo com sua produtividade, em toneladas, de óleo por hectare, o que impactará diretamente nos custos de produção e em assuntos ambientais decorrente da produção de cada litro de biodiesel.

Beltrão e Oliveira (2008) apontam que a soja contribui com 90% do óleo vegetal total, recebendo o título de única oleaginosa cultivada em escala suficiente para a produção comercial do biocombustível nacional. No ano de 2016, a produção de soja foi totalizada em 114 milhões de toneladas em uma extensão de área de 34 milhões de hectares, resultando em uma produtividade de 3352 quilos por hectare e dando ao Brasil o título de segundo maior produtor mundial deste grão (EMBRAPA, 2017).

As características da produtividade, teor de óleo de oleaginosa e colheita das principais matérias-primas vegetais são apresentadas pela Tabela 2 a seguir.

TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS DAS OLEAGINOSAS

Oleaginosa	Produtividade (ton óleo/ha)	Teor de Óleo Vegetal (%)	Colheita (meses)
Algodão	0,1 – 0,2	15	3
Amendoim	0,6 – 0,8	40	3
Girassol	0,5 – 1,9	40	3
Mamona	0,5 – 0,9	47	3
Palma (Dendê)	2 – 8	25	12
Soja	0,2 – 0,6	18	3

FONTE: ADAPTADO DE PRADO (2015).

Como pode ser observado nas Tabelas 1 e 2, embora as propriedades físico-químicas não sejam atrativas para a produção do biodiesel, a soja apresenta vantagens quando é escolhida como matéria-prima. Este grão é cultivado, primordialmente, para sanar a demanda de farelo proteico, constituinte principal para a produção de ração animal e, segundo a Aprosoja Brasil (2014), apenas 15% é destinado para a fabricação de óleo. Isso faz com que ele apresente uma cadeia produtiva bem estruturada e ligada a tecnologias de ponta, que asseguram uma alta qualidade do produto e rápido retorno de investimento. Além disso, o biodiesel produzido a partir do óleo de soja não apresenta qualquer restrição para o consumo em climas quentes ou frios, embora problemas como alto índice de iodo e instabilidade oxidativa limitem seu uso na Europa (BIODIESELBR, 2007).

Assim, apesar de uma oleaginosa com alto índice de extração de óleo oferecer maior produção de biodiesel por hectare de grão plantado e ser mais produtiva, a matéria-prima precisa estar disponível, garantindo estabilidade de preços e assegurando a qualidade do produto. Por essa razão a soja lidera a produção do biodiesel no Brasil (BIODIESELBR, 2009a).

3.4.2 Gordura Animal

Outro método de produção de biodiesel é a partir da gordura animal, que é proveniente do sebo bovino, óleos de peixes, banha de porco, gordura de galinha, entre outros. O fato do Brasil se destacar por possuir o segundo maior rebanho bovino do mundo, com 212,8 milhões de cabeças de gado, faz com que o sebo bovino seja uma das matérias-primas mais utilizadas para obtenção do biodiesel, ficando atrás apenas da soja (PRADO, 2015).

Segundo Krause (2008), o uso do sebo bovino em indústrias de biocombustíveis colabora com um destino mais nobre e sustentável desse resíduo, uma vez que impede a geração de danos ambientais, como a contaminação de lençóis freáticos, no despejo do material no meio ambiente. Todavia, a alta sensibilidade das gorduras animais a baixas temperaturas faz com que dificulte o armazenamento e limite a utilização dessa matéria-prima para locais onde a temperatura atinja menos de 4°C.

A utilização do sebo bovino nacional se deu a partir do ano de 2006, quando seu preço oscilava em torno de R\$400,00 por tonelada. A partir de 2014, programas nacionais que envolviam o Selo Combustível Social foram implantados, com intuito de incentivar a parceria entre as indústrias e agricultores familiares, fazendo com que a inclusão desta matéria-prima contribuísse cada vez mais com a formação da matriz energética nacional (BIODIESELBR, 2016a).

3.4.3 Óleos Residuais de Fritura

O óleo de fritura é produzido principalmente pelo uso de óleos vegetais e é definido como um resíduo sólido urbano e industrial. No Brasil, a informação para o destino correto para este resíduo é escassa, visto que, em grande parte o óleo de fritura é descartado em corpos hídricos e, principalmente, no esgoto urbano/industrial, causando impactos ambientais como o risco de contaminações de lençóis freáticos e danos à fauna aquática. Porém, existem alternativas para a reciclagem do óleo de fritura em outros produtos como: fabricação de tintas, sabão, biodiesel principalmente, entre outros (LAGO e ROCHA, 2017).

3.5 ETANOL VERSUS METANOL

Para a produção de biodiesel no Brasil há uma discussão entre o uso de metanol ou etanol como reagente. Embora a diferença estrutural seja basicamente em um único carbono e alguns hidrogênios a mais na molécula de etanol, essa distinção pode causar uma variação na produção de biodiesel em aspectos tanto econômicos quanto no impacto ambiental e no rendimento do processo. Todavia, ambos os álcoois, em presença de ácidos graxos e um catalisador, possuem a característica de produzir biodiesel por meio de uma reação de transesterificação ou esterificação (BIODIESELBR, 2008).

Segundo Pinho e Suarez (2016), o uso do metanol no Brasil é bem restrito devido ao seu alto grau de periculosidade e toxicidade, além disso, é um produto primordialmente importado. O método de obtenção do metanol é feito a partir de uma reação de pirolise do gás natural, um combustível fóssil. Entretanto, devido à baixa formação de sabões e a altas taxas de rendimento, o metanol se torna o reagente ideal para a reação de formação do biodiesel. Outra vantagem que pode ser evidenciada é que os equipamentos para a produção de biodiesel estão adaptados para trabalhar com o metanol, uma vez que esse é o mais utilizado mundialmente (BIODIESELBR, 2008).

Apesar de todos os aspectos positivos que fazem com que o metanol seja mais utilizado mundialmente no processo de obtenção do biodiesel, algumas premissas titulam o etanol como reagente propício a ser utilizado no âmbito nacional. Por ser uma matéria-prima de cultura tropical, o cultivo da cana-de-açúcar para a produção do etanol gera inclusão social, ofertando empregos às regiões até menos desenvolvidas, como é o caso do Nordeste, segunda maior potência nacional na indústria sucroalcooleira (DEPEC, 2017).

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de etanol, perdendo apenas para os Estados Unidos. Por ser uma das maiores potências na indústria sucroalcooleira, é referência internacional em tecnologia nessa área (UNICA, 2017). Além disso, o clima favorável combinado com a extensa área e solo fértil, reflete diretamente na elevada produtividade, tanto do açúcar como do álcool (DEPEC, 2017). Dados concedidos pela ANP (2017b) indicam que a produção do etanol atingiu seu ápice em 2015, alcançando um total de 30 bilhões de litros e apresentando projeções futuras positivas para o país.

Além de incentivar a economia brasileira, a utilização do etanol como reagente na produção de biodiesel também repercute no contexto sustentável, pois é uma matriz integralmente vegetal, tornando-o menos tóxico e mais limpo quando aplicado no processo. Por fim, seu preço, diferentemente do que ocorre com o metanol, não depende das variações de mercado oscilante do petróleo (NOVACANA, 2010; BIODIESELBR, 2008).

3.6 CATALISADORES

O Metilato de Sódio é o catalisador mais utilizado para as reações de transesterificação no Brasil, sendo empregado na concentração de 1,5% até 3% em relação à massa de óleo, dependendo se for pela rota etílica ou pela rota metílica. No ano de 2011, iniciou-se a produção de Metilato de Sódio em indústrias brasileiras, entretanto, nunca houve carência do mesmo para a produção do biodiesel (MELO, 2011).

Seu uso evita a etapa de mistura do catalisador com um álcool no início da produção do biodiesel, o que não acontece quando se emprega o hidróxido de sódio ou de potássio. Outra vantagem do uso do Metilato de Sódio é a não formação de água, o que ocorre quando se utiliza esses hidróxidos com o álcool, reduzindo o rendimento do processo por meio da reação de saponificação dos ácidos graxos livres (QUESSADA, 2007).

Borsato (2010) realizou uma pesquisa sobre o rendimento da transesterificação em diferentes porcentagens de Hidróxido de Sódio, Hidróxido de Potássio e Metilato de Sódio pelas rotas metílica e etílica, apresentando os resultados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

TABELA 3 – RENDIMENTO EM UMA MISTURA DE NaOH, KOH E METILATO DE SÓDIO, RESPECTIVAMENTE, PELA ROTA METÍLICA

Mistura	(1,0,0)	(0,1,0)	(0,0,1)	(1/2,1/2,0)	(1/2,0,1/2)	(0,1/2,1/2)	(1/3,1/3,1/3)
Rendimento (%)	96,78	96,14	97,30	96,70	97,58	96,89	97,07

FONTE: ADAPTADO DE BORSATO (2010).

TABELA 4 – RENDIMENTO EM UMA MISTURA DE NaOH, KOH E METILATO DE SÓDIO, RESPECTIVAMENTE, PELA ROTA ETÍLICA

Mistura	(1,0,0)	(0,1,0)	(0,0,1)	(1/2,1/2,0)	(1/2,0,1/2)	(0,1/2,1/2)	(1/3,1/3,1/3)
Rendimento (%)	81,01	84,76	89,32	80,17	85,60	83,94	86,83

FONTE: ADAPTADO DE BORSATO (2010).

Como observado, tem-se que a rota metílica apresenta rendimentos mais elevados. Isto é explicado pela facilidade da separação do óleo e metanol, o que não ocorre quando se utiliza o etanol, devido ao seu caráter mais apolar. Entretanto, como anteriormente citado, o uso do etanol se justifica pela grande produção deste composto no Brasil.

Quando se compara o rendimento em uma mesma rota das diferentes porcentagens dos catalisadores analisados, tem-se, para ambos os casos, altos valores de conversão ao aplicar apenas Metilato de Sódio. Isto confirma que há formação de água quando se utiliza os hidróxidos, o que reduz o rendimento do processo de transesterificação (BORSATO, 2010).

Segundo Gomes *et al.* (2011), em determinadas condições de temperatura e utilizando-se diferentes proporções de etanol, é possível alcançar valores de conversão mais próximos às obtidas pela rota metílica, como pode-se observar na Tabela 5.

TABELA 5 – RELAÇÃO ENTRE O EXCESSO DE ETANOL, A TEMPERATURA E O RENDIMENTO DA REAÇÃO UTILIZANDO CATALISADOR NaOH

Temperatura	Proporção molar de óleo de soja e etanol	Rendimento
30	1:6	88,3
30	1:6	89
30	1:9	94,6
30	1:9	98,7
60	1:6	68,5
60	1:6	69,8
60	1:9	89,7
60	1:9	92,9
45	1:7,5	92,5
45	1:7,5	91,3
45	1:7,5	90,4
45	1:7,5	91,9
45	1:7,5	93,6

FONTE: ADAPTADO DE GOMES *et al.* (2011).

Por meio da Tabela 5, observa-se que há uma variação significativa na conversão dependendo da temperatura de trabalho. Entretanto, destaca-se o rendimento na condição de 1:7,5 a 45°C, uma vez que apresentou altos valores de produção de biodiesel para quantidades não tão altas de etanol na alimentação.

Existem outros tipos de catalisadores que podem ser utilizados, são eles: os catalisadores ácidos e enzimáticos. Comparando ambos com os catalisadores básicos, o catalisador ácido possui a vantagem da fácil separação entre as fases biodiesel e glicerol; entretanto, o processo é mais lento e há risco de corrosão de equipamentos, tornando alto o custo de manutenção. Já os enzimáticos possuem um custo mais elevado e seu rendimento e tempo de retenção no reator dependem do tipo de enzima aplicada (SOETAERT e VANDAMME, 2009).

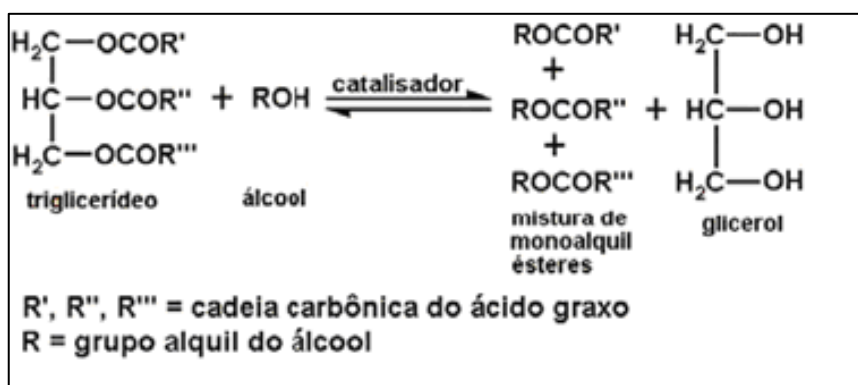
3.7 PROCESSOS DE OBTENÇÃO DO BODIESEL

3.7.1 Transesterificação

O processo de transesterificação foi introduzido e patenteado por Charles G. Chavanne, em 1937, no qual verificou a reação de um tri-acil-glicerídeo com um álcool de cadeia curta na presença de um catalisador ácido ou básico para se obter ésteres e glicerol como produtos principais da reação. O rendimento da reação varia de acordo com o tipo de matéria-prima, o álcool e o catalisador utilizado. Em relação aos catalisadores, a catálise homogênea ácida ou básica apresenta conversões semelhantes, diferenciando-se no tempo de retenção dos reagentes no reator (SOETAERT e VANDAMME, 2009).

A reação de transesterificação (Figura 4) possui caráter reversível, fazendo-se necessária a utilização de álcool em excesso durante a reação em uma proporção de 1:6, em base molar. Este excesso garante o aumento do rendimento e permite a formação de uma fase separada de glicerol (KNOTHE *et al.*, 2006).

FIGURA 4 – MODELO DA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO.



FONTE: RACACZESKI *et al.* (2006).

A catálise básica é comumente utilizada para a reação de transesterificação devido à maior velocidade da reação promovida por esta comparada com o uso de catalisadores ácidos. Além disso, o álcool anidro é também essencial para a síntese de biodiesel para a diminuição da formação de sabão, devido ao menor teor de água na mistura do álcool com óleo e catalisador (LORA e VENTURINI, 2012).

O uso de catalisadores básicos promove um maior nível de saponificação do processo, pois este reage com os ácidos graxos livres (AGL) do óleo e a água contida no álcool. Assim, para que o processo atinja melhor eficiência, os óleos devem conter valores inferiores a 3% de AGL (DERMIBAS, 2010).

O processo deve ser realizado em um reator com agitação, porém, uma agitação muito elevada pode estimular a formação de sabão, resultando em uma emulsão biodiesel-glicerol de difícil separação. A reação de transesterificação pode ser realizada a temperaturas desde a ambiente até 70°C, para que não ocorra perdas do etanol por evaporação. Estudos indicam que a temperatura ótima para a reação de transesterificação é em torno de 45°C (DERMIBAS, 2010). O processo entra em equilíbrio quando há um retorno da coloração original após o escurecimento da mistura (GARCIA, 2006).

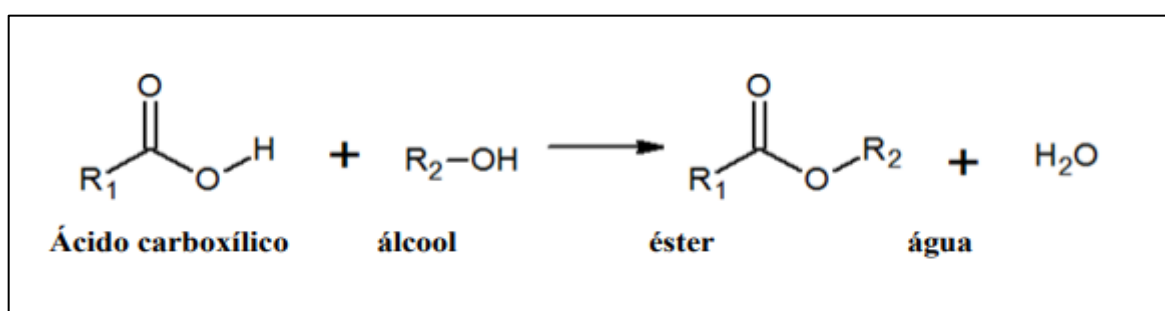
As vantagens da transesterificação por catálise básica homogênea são: a alta conversão, reação com baixa demanda energética e formação de produtos de alto valor agregado (biodiesel e glicerol). Porém, algumas desvantagens são apresentadas: na etapa lenta de separação do glicerol, os óleos e gorduras devem apresentar baixo teor de ácidos graxos livres, há um maior número de etapas de separação no processo, maior quantidade de resíduos produzidos na neutralização

do catalisador, na purificação do produto e na recuperação da glicerina (MARTINELLI, 2008).

3.7.2 Esterificação

O processo de produção de biodiesel por esterificação é utilizado para óleos com teores de acidez mais elevados que 3% de AGL e difere-se da transesterificação, pois reage com os ácidos graxos livres, formando biodiesel e água. A esterificação é um processo reversível (Figura 5) que utiliza catalisadores ácidos, básicos ou enzimáticos. Essa reação é facilitada pelo aumento da temperatura do meio reacional, sendo que a velocidade de reação depende diretamente da temperatura, do catalisador e o tipo de álcool utilizado (GARCIA, 2006).

FIGURA 5 – REAÇÃO DE ESTERIFICAÇÃO DE UM ÓLEO PARA OBTENÇÃO DE BIODIESEL



FONTE: LIMA (2015).

O processo de esterificação de ácidos graxos livres, pode ser operado em batelada, em reator contínuo ou em reatores de leito fixo, na qual, em cada um destes, é realizada uma variação nas condições de reação com o objetivo de elevar o rendimento final (MARTINELLI, 2008).

As vantagens do processo de esterificação por catálise ácida heterogênea devem-se ao fato de não ocorrer a reação de saponificação, o catalisador é reutilizável, a separação do biodiesel com os demais produtos é mais simples e a etapa de neutralização é descartada. Entretanto, a desvantagem está no fato dos riscos de corrosão dos equipamentos pelos ácidos utilizados como catalisadores, a necessidade de uma planta industrial mais sofisticada e exige um maior tempo de retenção e de temperaturas mais elevadas (MARTINELLI, 2008).

Apesar dos prós e contras dos processos de transesterificação e esterificação para a produção do biodiesel, o primeiro é o mais utilizado devido ao seu menor custo de instalação e do catalisador, maior velocidade de reação e baixa demanda energética para sua operação.

3.8 PROPRIEDADES DO BIODIESEL

As propriedades do biodiesel a serem analisadas para o seu comércio são: número de cetano, viscosidade, ponto de névoa, ponto de fluidez, ponto de fulgor, poder calorífico, índice de acidez, entre outros. Estas devem seguir as normas adotadas conforme cada país, como por exemplo a ABNT e a NBR no Brasil, a ASTM nos Estados Unidos e a EN/ISO na Europa, na qual ambas possuem o objetivo de padronizar e fiscalizar a qualidade do biodiesel produzido e comercializado (ANP, 2014).

Ponto de Névoa (PN) é definido como a temperatura necessária para formar uma turbidez no biodiesel. Essa é causada pela formação de núcleos de cristais parafínicos, cuja dimensão está na escala submicrométrica invisíveis a olho nu. Em temperaturas um pouco menores ao ponto de névoa, há o crescimento dos cristais, tornando-os visíveis. Estes cristais formados impedem o fluxo livre do combustível em tubulações e filtros, diminuindo a eficiência e desempenho do motor, avaliado pela ASTM D 2500. Já o Ponto de Fluidez (PF) é a menor temperatura em que a aglomeração de cristais, iniciada quando o combustível atinge o ponto de névoa, está disperso o suficiente para impedir o escoamento livre do fluido. PN e PF são características importantes do combustível como um parâmetro para países mais frios, medidos pela ASTM D 5773 (DEMIRBAS, 2010).

Ponto de Entupimento do Filtro a Frio (CFPP): propriedade medida por países que possuem um clima temperado. O CFPP é a menor temperatura em que 20 mL do óleo passa com segurança através do filtro em um intervalo de 60 segundos com 1,96 kPa de vácuo. É medido pela ASTM D 6371-99 (LORA e VENTURINI, 2012).

Teste de Fluxo a baixa Temperatura (LTFT): analogamente ao CFPP, a LTFT é a menor temperatura na qual 180 mL de óleo flui por um filtro de combustível em um intervalo de 60 segundos ou menos, com uma pressão de 20 kPa de vácuo. Este teste é realizado pela ASTM D 4539 (LORA e VENTURINI, 2012).

A Tabela 6 apresenta as propriedades descritas anteriormente para diversos tipos de biodiesel.

TABELA 6 – PROPRIEDADES DE FLUXO A FRIO PARA DIVERSOS TIPOS DE BIODIESEL

Óleo ou gordura de:	Grupo Alquila	PN (°C)	PF (°C)	CFPP (°C)	LTFT (°C)
Babaçu	Metil	4	-	-	-
Canola	Metil	1	-9	-	-
Canola	Etil	-1	-6	-	-
Coco	Etil	5	-3	-	-
Semente de algodão	Metil	-	-4	-	-
Linhaça	Metil	0	-9	-	-
Linhaça	Etil	-2	-6	-	-
Semente de mostarda	Etil	1	-15	-	-
Azeitona	Metil	-2	-3	-6	-
Palma	Metil	13	16	-	-
Palma	Etil	8	6	-	-
Amendoim	Metil	5	-	-	-
Colza	Metil	-2	-9	-8	-
Colza	Etil	-2	-15	-	-
Açafrão	Metil	-	-6	-	-
Açafrão	Etil	-6	-6	-	-
Soja	Metil	0	-2	-2	0
Soja	Etil	1	-4	-	-
Girassol	Metil	2	-3	-2	-
Girassol	Etil	-1	-5	-	-
Sebo	Metil	17	15	9	20
Sebo	Etil	15	12	8	13
Soja hidrogenada usado	Etil	7	6	-	-
Fritura usado	Metil	-	-	-1	-
Graxa de descarte	Etil	9	-3	0	9
Azeitona de descarte	Metil	-2	-6	-9	-

FONTE: ADAPTADO DE KNOTHE *et al.* (2006).

Número de Cetano (NC): é um indicativo adimensional que mede a qualidade de ignição de um combustível. O composto de referência para a escala do número de cetano é o hexadecano ($C_{16}H_{34}$) que é um composto linear, na qual foi atribuído a escala 100. Já para a menor escala 15, é determinado pelo 2,2,4,4,6,8,8-heptametilnonano (HMN, $C_{16}H_{34}$), um composto altamente ramificado com péssimas características de ignição em motores diesel. Desse modo, o comprimento da cadeia e o número de ramificações são os parâmetros de indicação do número de cetano que varia entre 15 a 100. Porém, NC muito elevado ou muito baixo ocasionam danos aos motores, pois, se NC for elevado, pode ocorrer uma combustão incompleta e, conseqüentemente, emissão de fuligem. Por outro lado, se NC for baixo, podem ocorrer falhas no motor por trepidação e aumento excessivo da temperatura do ar, pois a combustão é mais difícil de ser alcançada. Valores ótimos de NC como uso

para combustível está entre 40 e 60 conforme a ASTM D613 e ISO5165 (DEMIRBAS, 2010).

Viscosidade: por definição, a viscosidade é uma medida da resistência da vazão de um líquido associada à fricção ou atrito interno de uma parte do fluido que escoa sobre outra. Esta propriedade para o biodiesel como combustível afeta diretamente a atomização do mesmo no bico injetor do motor diesel e contribui com o depósito do combustível nas paredes do motor, ou seja, quanto maior a viscosidade, maior as chances de ocorrer tais problemas no motor. A medida da viscosidade do combustível é dada pela viscosidade cinemática determinada pela ASTM D 445 e ISSO 3104 (DERMIBAS, 2010).

Índice de Acidez (IA): a acidez do biodiesel é um indicativo da qualidade em relação à sua estabilidade à oxidação. A ANP e a ASTM estabelecem que o teor máximo de acidez do biodiesel deve ser de 9,80 mg_{KOH}/g de combustível (LORA e VENTURINI, 2012).

Ponto de Fulgor: é a temperatura na qual um líquido torna-se inflamável em presença de uma chama ou faísca. Este é um parâmetro importante do ponto de vista da segurança de armazenamento e transporte do combustível. O ponto de fulgor do biodiesel é em torno de 180°C; este é dependente da pressão de vapor, que é uma característica importante para a partida e aquecimento do motor durante seu funcionamento seguindo as normas da EN/ISSO e ASTM CD 3679 (LORA e VENTURINI, 2012).

Poder Calorífico (PC): indica a quantidade de energia desenvolvida pelo combustível por unidade de massa quando este é queimado. O poder calorífico do biodiesel é muito próximo ao do diesel mineral, apresentando uma diferença média inferior que varia entre 0 e 5%, para o mesmo volume de combustível utilizado (DEMIRBAS, 2010).

O Quadro 2 apresenta estas propriedades para diversos tipos de biodiesel e as normas que definem cada propriedade.

QUADRO 2 – ESPECIFICAÇÃO BRASILEIRA PARA BIODIESEL

(continua)

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISSO
Aspecto	-	Límpido	-	-	-
Massa específica a 20° C	kg/m ³	850 a 900	7148 14065	1298 4052	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm ² /s	3,0 a 6,0	10441	445	EN ISO 3104
Teor de água, máx.	mg/kg	200,0 (2)	-	6304	EN ISO 12937
Contaminação Total, máx.	mg/kg	24	-	-	EN ISO 12662 NBR 15995
Ponto de fulgor, mín. (3)	°C	100,0	14598	93	EN ISO 3679
Teor de éster, mín	% massa	96,5	15764	-	EN 14103
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,020	6294	874	EN ISO 3987
Enxofre total, máx.	mg/kg	10	15867	5453	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Sódio + Potássio, máx.	mg/kg	5	15554 15555 15553 15556	-	EN 14108 EN 14109 EN 14538
Cálcio + Magnésio, máx.	mg/kg	5	15553 15556	-	EN 14538
Fósforo, máx.	mg/kg	10	15553	4951	EN 14107 EN 16294
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx.	-	1	14359	130	EN ISO 2160
Número Cetano (4)	-	Anotar	-	613 6890 (5)	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	(6)	14747	6371	EN 116
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,50	14448 -	664 -	EN 14104 (7)
Glicerol livre, máx.	% massa	0,02	15341 (7) 15771 - -	6584 (7) - -	EN 14105 (8) EN 14106 (7)
Glicerol total, máx. (8)	% massa	0,25	15344 15908	6584 (7) -	EN 14105 (7)

(conclusão)

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISSO
Monoacilglicerol, máx.	% massa	0,7	15342 (7) 15344 15908	6584 (7)	EN 14105 (7)
Diacilglicerol, máx.	% massa	0,20	15342 (7) 15344 15908	6584 (7)	EN 14105 (7)
Triacilglicerol, máx.	% massa	0,20	15342 (7) 15344 15908	6584 (7)	EN 14105 (7)
Metanol e/ou Etanol, máx.	% massa	0,20	15343	-	EN 14110 (7)
Índice de Iodo	g/100g	Anotar	-	-	EN 14111 (7)
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín. (9)	H	6 (10)	-	-	EN 14112 EN 15751 (7)

FONTE: ADAPTADO DA ANP (2014).

3.9 SUSTENTABILIDADE

Os aspectos que determinam o biodiesel como um combustível renovável ou de sustentabilidade são: os fatores socioeconômicos e ambientais. Estes são importantes para que seja realizado um levantamento e comparação em relação à sustentabilidade do diesel mineral.

O fator socioeconômico dispõe-se de toda a cadeia produtiva do biodiesel, isto é, o plantio e a coleta da matéria-prima, a extração do óleo, a produção industrial do biodiesel e a logística da distribuição e comercialização do mesmo e de seus subprodutos no mercado. Desse modo, há uma grande necessidade de que sejam realizadas parcerias com pequenos e grandes proprietários de terras para a produção da matéria-prima, aumentando, também, a geração de empregos no campo e nas zonas industriais (MORET *et al.*, 2009).

Já o fator ambiental está diretamente interligado aos fatores socioeconômicos, visando a redução de emissão de poluentes e gases do efeito estufa, pois o biodiesel puro (B100), em relação ao diesel mineral, há uma redução de até 60% dos GEE, além de o biocombustível apresentar menor teor de enxofre que está diretamente

ligado com a formação de chuvas ácidas responsáveis por acelerar os fenômenos de erosão (MORET *et al.*, 2009).

Devido às reduções na emissão de gás carbônico e por possuir um poder calorífico praticamente equivalente ao diesel mineral, o biodiesel é visto como uma alternativa tanto energética quanto comercial de créditos de carbono por meio de mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), adotado pelo Protocolo de Kyoto em 1998 (FARIAS, 2010).

Porém, a queima do biodiesel apresenta um incremento na quantidade dos óxidos de nitrogênio liberados para a atmosfera, resultando em um elemento negativo quanto à sustentabilidade do biocombustível, pois os óxidos de nitrogênio são alguns dos principais agentes indicativos para problemas ao ozônio troposférico, ocasionando interferências para a qualidade do ar, principalmente em zonas urbanas (ENCARNAÇÃO, 2008).

A redução da emissão de NO_x pode ser realizada por meio de adaptações dos motores e/ou no combustível, realizando-se o controle dos gases da combustão paralelamente. Outro método utilizado é o sistema de recirculação de gases (EGR) em motores a biodiesel e diesel, pois a técnica consiste do reaproveitamento dos gases de combustão para a fase de admissão do motor (HOEKMAN e ROBBINS, 2012; TESFA *et al.*, 2012).

As vantagens de aspecto social são de fundamental importância para a sustentabilidade de qualquer programa, e para o biodiesel não seria diferente. O Governo Federal criou no ano de 2005 o Selo Combustível Social, o qual consiste em um conjunto de medidas específicas visando estimular a inclusão social dos pequenos agricultores na cadeia produtiva deste biocombustível. A indústria detentora deste selo tem o direito de preferência nos leilões de biodiesel, além da garantia de desoneração de alguns tributos. Entretanto, o produtor de biodiesel deve garantir a compra da matéria-prima a preços pré-estabelecidos, dando segurança econômica aos pequenos agricultores. Já estes, tem a possibilidade de participarem como acionistas das indústrias produtoras de biodiesel ou extratoras de óleo, além de terem direito a descontos em alguns impostos para a compra de maquinário, ferramenta e sementes. (Ministério de Minas e Energia, 2006).

4 ANÁLISE DE MERCADO

4.1 LEILÕES

Segundo a ANP (2017c), os leilões de biodiesel servem para a complementação mínima do biodiesel no diesel comum, mas para isso seguem algumas etapas:

- Etapa 1 – Os produtores precisam de uma habilitação cedida pela ANP;
- Etapa 2 – Apresentação dos lances para atender a mistura de biodiesel. Cada unidade deve apresentar em reais por metro cúbico, no máximo 3 preços diferentes, na condição de FOB, considerando PIS ou Pasep e Confins, e desconsiderando ICMS, não podendo exceder o preço máximo de referência (PMR);
- Etapa 3 – Nesta parte há uma seleção das plantas geradas com Selo Combustível Social, e os distribuidores disputam lotes de biodiesel ofertados pelos produtores que tem este selo;
- Etapa 4 – Nesta etapa há uma remanutenção do preço ofertado na Etapa 2, sendo igual ou menor ao apresentado, visando participação na próxima etapa;
- Etapa 5 – Seleção das demais ofertas independentes da posse do selo para a comercialização de biodiesel;
- Etapa 6 – Consolidação e divulgação do resultado do leilão.

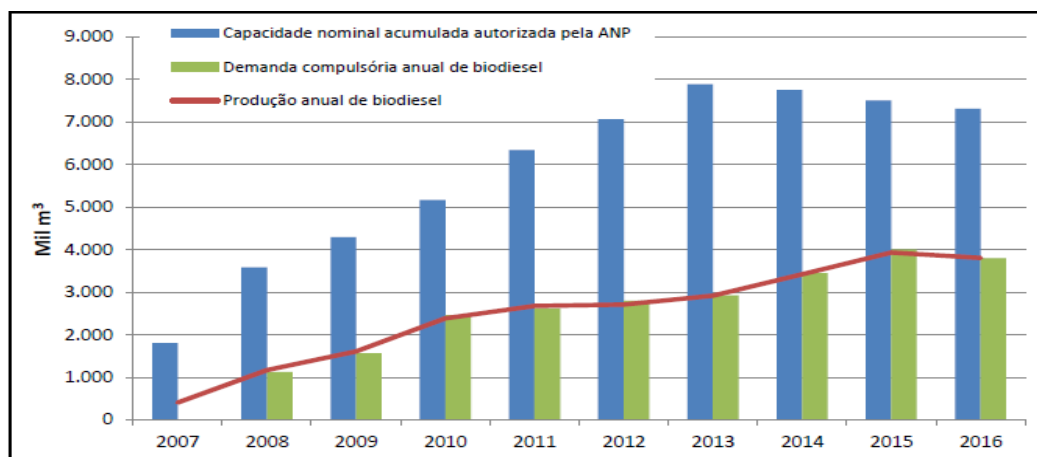
Além dos leilões bimestrais para atender as entregas de biodiesel referente ao próximo bimestre, a ANP realiza leilões complementares para atender o volume do biodiesel não entregue e aquisição de quantidades superiores à demanda necessária para o atendimento percentual mínimo obrigatório (ANP, 2017c).

4.2 MERCADO CRESCENTE

Com a supervisão da ANP para o consumo do biodiesel no Brasil e com o incremento do biodiesel no diesel comum, percebe-se que o mercado deste biocombustível se apresentava crescente desde 2005, com sua primeira queda em 2015. Esta foi causada pela crise do mercado nacional. A Figura 6 a seguir apresenta

dados da demanda, da produção anual e a capacidade total de biodiesel em um período de 2007 até o ano de 2016 (ANP, 2017b).

FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DO VOLUME DO BIODIESEL PRODUZIDO DURANTE OS ANOS DE 2007 E 2016



FONTE: ANP (2017b).

Segundo os dados apresentados acima, o nível de capacidade nominal do biodiesel está maior que o nível de demanda. Entretanto, devido aos aumentos da porcentagem do biodiesel na mistura com o diesel comum e as intensas preocupações com o meio ambiente, o mercado do biodiesel tende a crescer nos próximos anos.

4.3 COTAÇÃO DE PREÇO

O preço do diesel (B8) no estado do Paraná costuma variar entre R\$ 2,825 e R\$ 3,50 para o consumidor, já para o distribuidor pode chegar até R\$ 2,466. Na região norte do Paraná, a dependência por diesel mineral é grande, chegando a apresentar um dos preços mais altos no estado (ANP, 2017d).

Como a venda do Biodiesel é dada por leilões, para garantir os 8% da mistura não há um preço fixo no mercado, apenas um preço máximo estipulado pela ANP. Atualmente, o preço máximo é de R\$ 2,827 por litro de biodiesel. Segundo o resultado do 55º leilão, o preço médio do biodiesel chegou a ser de R\$ 2,255 por litro, alcançando uma alíquota total de R\$ 1,71 bilhão; esse valor foi referente a primeiro de julho até 31 de agosto de 2017. Com esses dados, nota-se o valor médio que o biodiesel pode chegar. Comparando o B100 com o B8, infere-se que o preço do B100

é menor em relação ao B8, viabilizando o aumento da porcentagem do biodiesel ao diesel comum (PLATONOW, 2017).

4.4 CONCORRÊNCIA ENTRE GRANDES E PEQUENAS INDÚSTRIAS DO SETOR DE BODIESEL

O cenário da produção de biodiesel no Brasil era restrito a pequenas produções sem nenhuma atração no mercado. Porém, em 2008 com a obrigatoriedade de se misturar o biocombustível ao diesel mineral, o mercado do biodiesel cresceu de forma acelerada, no qual deu-se início aos investimentos de grandes empresas para este setor energético. Dentre estas podem ser citadas: JBS, Petrobras, Cargill, Bunge, Noble, ADM, entre outras, que se instalaram inicialmente nos estados do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (FREITAS, 2011).

Este alto crescimento do setor do biodiesel traz consigo um risco às pequenas empresas, visto que a produtividade destas não é significativa quando comparadas à produção das grandes indústrias de biodiesel. Além das grandes companhias ofertarem o biocombustível a um valor menor nos leilões, dificultando a competitividade dos pequenos produtores (FRANCO, 2014).

Outro fator que impossibilita a competitividade justa entre os dois tipos de indústrias está no fato de que não há incentivos governamentais para auxiliar os pequenos produtores de biodiesel, pois como a venda do produto é realizado por meio de leilões, as grandes indústrias, por possuírem o Selo Combustível Social, detêm as vantagens sobre o mercado, além de existir uma cartelização dos preços nos leilões, na qual o governo relata que não é esperado problemas, já que o índice do cartel não é elevado, porém, mesmo em baixos níveis, há uma redução da competitividade (FREITAS, 2011).

A partir do 26º leilão de biodiesel, foi implantado um novo modelo, com o objetivo de favorecer as usinas de pequeno porte para adquirirem um maior papel no mercado do biocombustível. Este novo modelo quebrou a regra, na qual, as distribuidoras podiam comprar apenas o biodiesel localizado em sua região. Desse modo, com uma maior liberdade para a compra do biodiesel, o fator do preço passou a ter uma menor importância para as negociações realizadas no leilão, visando agora a qualidade do combustível (FRANCO, 2014).

4.5 PERSPECTIVAS FUTURAS

Na vigésima primeira Conferência das Partes na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática (COP-21), ocorrida no dia 30 de novembro de 2015, em Paris, o Brasil apresentou, no documento iNDC (Contribuição Nacionalmente Determinada), a meta de reduzir em 37% as emissões de gases do efeito estufa em 2025 e, como referência, expôs a redução de 43% em 2030, dados estes em comparação às emissões do ano de 2005 (Ministério do Meio Ambiente, 201-?).

Para se alcançar esta meta, fez-se necessário apresentar diretrizes que auxiliariam neste propósito. Entre as ações apontadas, o aumento da porcentagem de biodiesel no diesel comum está entre elas, apresentando-o como uma importante fonte na matriz energética brasileira. Pretende-se alcançar, segundo a Lei nº 13.263/2016, o B20 até o ano de 2030, no mínimo, o que implicará no aumento da produção deste biocombustível e, conseqüentemente, de suas matérias-primas.

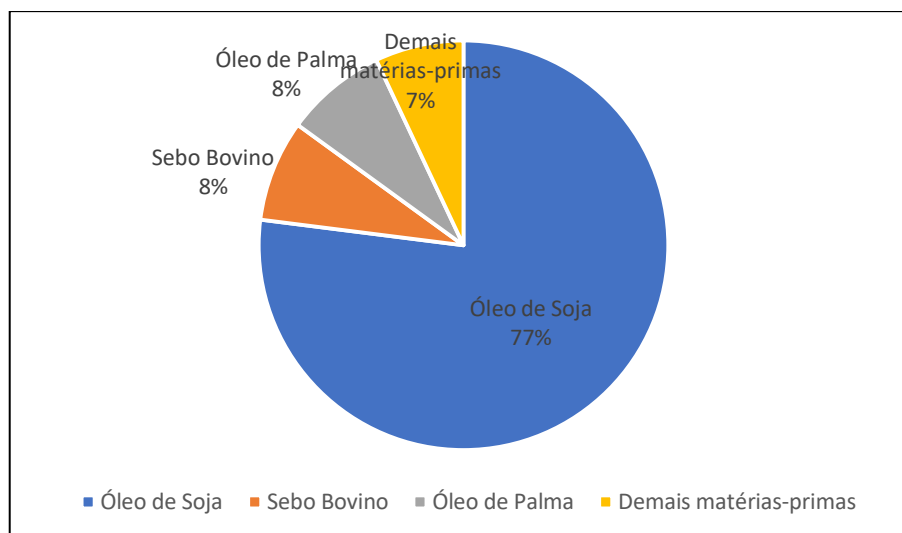
Devido à instabilidade do governo brasileiro, torna-se difícil realizar uma projeção acerca da produção e consumo do biodiesel, uma vez que este estudo exige considerar a capacidade de abertura de novas usinas e manutenção das mesmas para suprir o crescente mercado (BIODIESELBR, 2016b).

Em uma perspectiva para o ano de 2030, tem-se que a demanda de energia total será de 424 milhões de toneladas equivalente de petróleo e que o biodiesel fará parte de 3,31% desta necessidade. Espera-se que a sua produção alcance, em 2030, 18 bilhões de litros. Entretanto, segundo a projeção da ANP, caso não haja algum incentivo para a produção deste combustível e de suas matérias-primas, o Brasil terá que importar grandes quantidades de biodiesel para possuir demanda suficiente e assim atingir a meta de implantação do biocombustível (APROBIO, 2016 *apud* ANP, 2016).

Considerando as matérias-primas neste mesmo contexto, prevê-se uma utilização de 77% do óleo de soja, 8% do sebo bovino e do óleo de palma e das demais matérias, 7%. Isso representa a necessidade de produção de 12,2 milhões de toneladas de óleo de soja ou 66 milhões de tonelada de grãos, 1,3 milhão de tonelada de sebo animal ou 63 milhões de abates e 1,3 milhão de óleo de palma ou 250 mil hectares de palma (APROBIO, 2016). Na Figura 7 são apresentadas, de forma

ilustrativa, as projeções das porcentagens das principais matérias-primas necessárias para o ano de 2030.

FIGURA 7 – ESTIMATIVA DA PORCENTAGEM DA PRODUÇÃO DAS PRINCIPAIS MATÉRIAS-PRIMAS PARA 2030



FONTE: ELABORADO A PARTIR DOS DADOS DA APROBIO (2016) *apud* ANP (2016).

Segundo dados da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2017), nos dias atuais, a produção de soja alcançou, no mês de junho de 2017, 113,923 milhões de toneladas (Mton), colocando o Brasil como segundo maior produtor mundial, perdendo apenas para os Estados Unidos, com 117,208 milhões de toneladas. Esse cenário otimista também se projeta para o futuro.

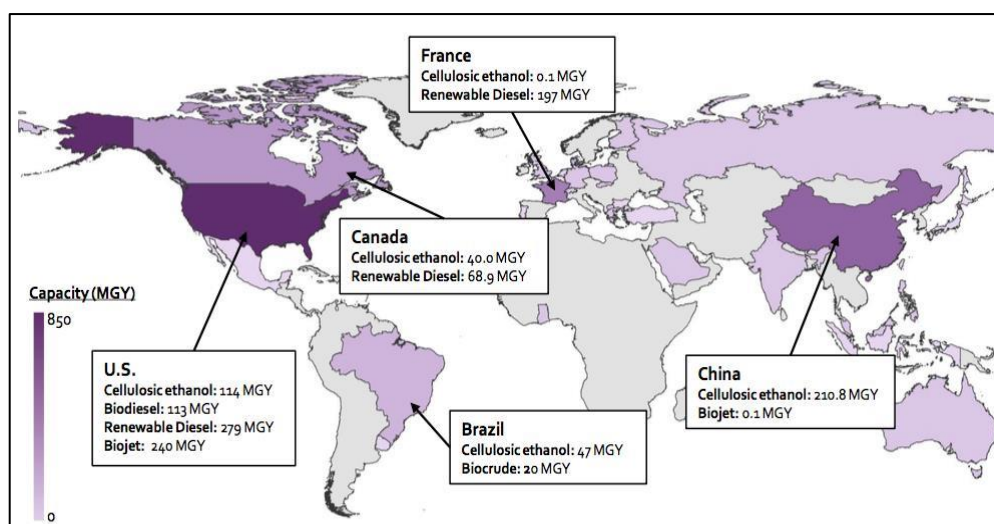
Tem-se que para o ano de 2024 haja um crescimento de 23% na área de oleaginosas plantadas, em especial, a soja, que deve ocupar metade desta nova área de cultivo. Desta forma, o Brasil pode ultrapassar os EUA, uma vez que possui maior capacidade de expansão (NOGUEIRA, 2016).

Ainda segundo Nogueira (2016), a produção do óleo de soja também sofrerá um crescimento de 2,5%, alcançando 10,2 Mton. Por causa do aumento da porcentagem de biodiesel no diesel comum, uma parte significativa desta produção deve ser destinado a este fim.

Devido aos acordos de meio ambiente, o biodiesel está ganhando cada vez mais espaço em um cenário mundial. Reino Unido e Alemanha anunciaram que irão banir a produção e vendas de carros movidos a gasolina e diesel até os anos de 2040 e 2030, respectivamente. Por consequência, o biodiesel sofrerá uma variação positiva em relação à sua produção e uso (G1, 2017; LEITE, 2016).

Observando por uma perspectiva mundial, segundo a LUX RESEARCH (2015), a capacidade global de biocombustíveis atingirá, até o final de 2018, a produção de 61 bilhões de galões por ano (BGA), tendo o etanol e o biodiesel como principais fontes, dominando 96% do total de produção. Neste estudo é apresentado que o biodiesel participará com 52% da demanda de biocombustíveis, destacando o crescimento do reaproveitamento de óleo usados. A Figura 8 apresenta uma estimativa da capacidade de produção de combustíveis alternativos, em alguns países, segundo a LUX RESEARCH (2015).

FIGURA 8 – CAPACIDADE DE EXPANSÃO PARA A PRÓXIMA GERAÇÃO DE BICOMBUSTÍVEIS DE 2015 A 2018



FONTE: LUX RESEARCH, INC (2015).

Outra estimativa acerca dos biocombustíveis apresenta que o petróleo permanecerá a crescer até o ano de 2030, entretanto, um forte crescimento dos biocombustíveis fará com que este assuma o domínio de dois terços da demanda de combustíveis líquidos no ano de 2060. A inserção obrigatória dos biocombustíveis em uma mistura com os combustíveis convencionais também influencia o crescimento desta fonte de energia, e os altos preços da extração do petróleo nos oceanos se dão como um incentivo para a produção do biodiesel (SHELL INTERNATIONAL BV, 2013).

4.6 REGIÃO DE IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA

Segundo o Sebrae Nacional (2015), o estudo de localização difere para o comércio e a indústria, visto que o comércio deve se localizar em um lugar de grande circulação, enquanto o parâmetro fundamental a ser analisado para a implantação de uma indústria é a proximidade com os fornecedores de matérias-primas.

Entre os principais aspectos, citados pelo Sebrae Nacional, que devem ser verificados para se iniciar um negócio, estão:

- Infraestrutura local;
- Incentivos econômicos e fiscais;
- Facilidade de acesso ao fornecedor da matéria-prima e mercado principal (redução no custo de transporte);
- Disponibilidade de mão de obra especializada;
- Condições ambientais favoráveis (clima, períodos de chuva e seca, entre outros);
- Legislação municipal sobre o uso do solo e recursos naturais no local de instalação.

De acordo com o anuário estatístico de 2017 publicado pela ANP em agosto daquele ano, tem-se que as duas regiões que possuem maior capacidade de produção de biodiesel são a Região Centro-Oeste e a Região Sul, apresentando uma produção de 1646,8 e 1556,7 mil m³/ano no ano de 2016, respectivamente. Estes dados podem ser observados na Figura 9.

FIGURA 9 – CAPACIDADE NOMINAL E PRODUÇÃO DE B100 EM MIL M³/ANO EM 2016

FONTE: ANP (2017e).

Apesar da Região Centro-Oeste apresentar maior produção, destaca-se, também, a região Sul, a segunda maior produtora. Além de apresentar melhor logística, devido à proximidade com o maior centro econômico do país, o estado de São Paulo, apresenta estradas em boas condições, facilitando o transporte do produto.

Entre os estados do Sul, o Paraná é o maior produtor de soja, sendo o segundo maior no Brasil (PORTAL BRASIL, 2017). Nos últimos tempos, o estado tem apresentado resultados cada vez mais positivos. No ano de 2017, a colheita de soja atingiu o recorde de obtenção, 19% maior que no ano de 2016, e produtores acreditam que o próximo ano será marcado por uma nova alta na produção. (GIMENES, 2017).

Considerando os quesitos apresentados pelo Sebrae Nacional, a indústria de biodiesel será implantada na Região Norte do Paraná que contempla o Vale do Ivaí. Esta região apresenta fácil acesso a duas importantes cidades para a economia do estado, Londrina e Maringá, além de se apresentar próximo ao estado de São Paulo e ter acesso facilitado à capital Curitiba e seu polo industrial, devido à duplicação da BR-376 que liga Curitiba a Apucarana. Outro ponto positivo desta região é o grande cultivo da soja e a presença de indústrias que realizam o seu refino, como a Coamo,

5 JUSTIFICATIVA

Para a escolha da indústria do biodiesel, considerou-se o crescente mercado deste setor, além da mudança da perspectiva nacional e mundial frente às questões da redução da emissão de gases poluentes, a preocupação com o aumento do Efeito Estufa e Aquecimento Global, entre outros problemas ambientais.

Em posse dos dados apresentados nesta revisão bibliográfica e no estudo da região de implantação da indústria, será utilizada como matéria-prima o óleo de soja bruto, que será tratado até que tenha características de óleo degomado. Ao se utilizar o óleo degomado alcança-se uma maior conversão, pois ele apresenta baixa quantidade de ácidos graxos livres, desta forma, a reação de saponificação será reduzida, logo a produção de sabão e água não interferirá de forma significativa no rendimento do processo.

O processo aplicado será o de transesterificação e devido à disponibilidade no mercado nacional e o baixo custo, empregar-se-á o etanol juntamente com o hidróxido de sódio como catalisador básico.

A venda do produto principal será destinada aos leilões, buscando crescer de forma a conseguir o Selo Combustível Social, para assim ter preferência na venda do combustível; a glicerina será comercializada para indústrias que a utilizam como matéria-prima, como a de produtos de limpeza.

Considerando a política de leilões adotada para a compra de biodiesel, além do aumento regular do teor do biocombustível no diesel, a capacidade de produção da IvaíBio foi definida como 90 m³/dia, havendo a possibilidade de expandir e implantar uma nova rota de matéria-prima, como óleos de fritura ou de girassol.

A partir da análise de mercado realizada, a região escolhida para a implantação da indústria produtora de biodiesel se situará no Vale do Ivaí, mais especificamente na cidade de Apucarana, visto que a cidade oferece incentivos para a instalação da indústria, como doação de terreno, e há grande oferta de mão-de-obra especializada. Analisando a Figura 11, tem-se que a localização exata da empresa situa-se na Avenida Contorno Sul, no bairro Vila Rural Nova Ukrania.

FIGURA 11 – TERRENO DA INDÚSTRIA IVAÍBIO

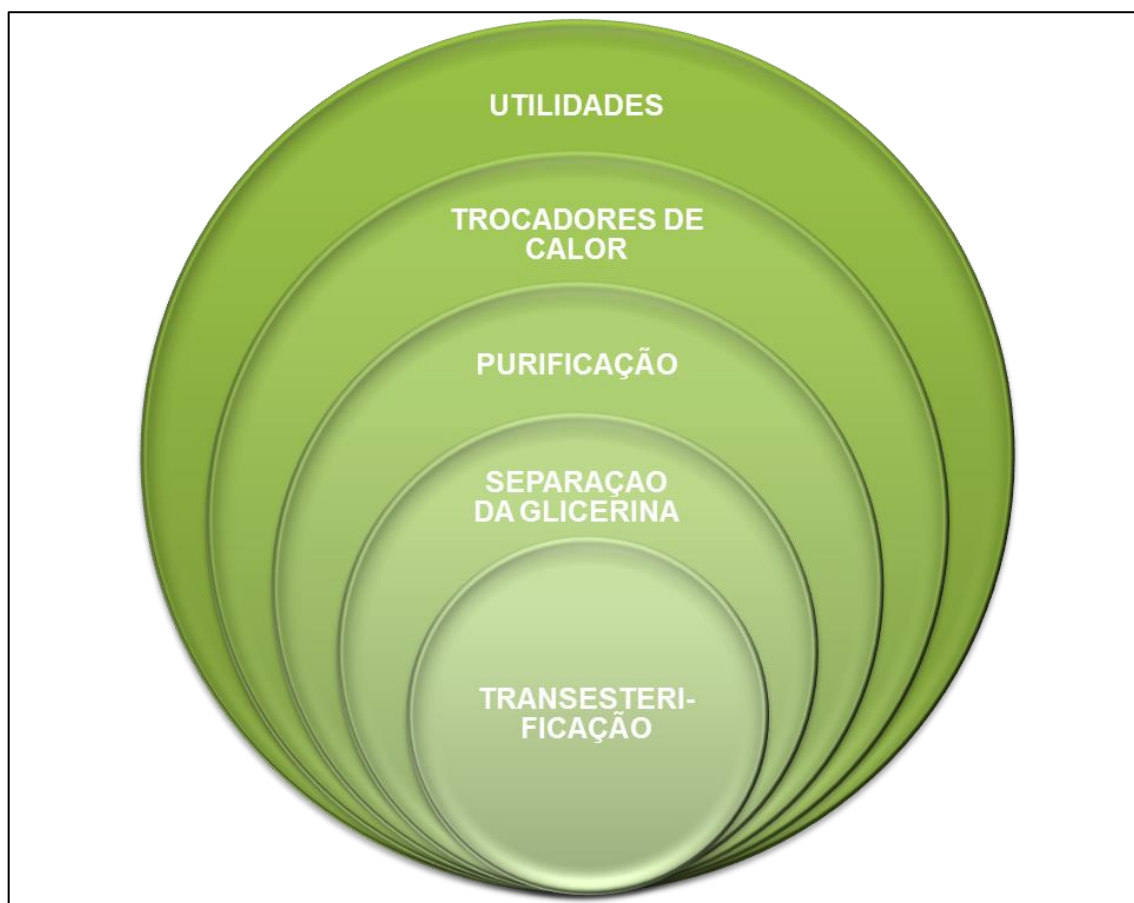


FONTE: GOOGLE MAPS (2018).

6 DIAGRAMA DE CEBOLA

Alguns métodos são utilizados para a síntese dos processos das indústrias, um deles é descrito como Diagrama da Cebola desenvolvido por Linnhoff (1985), onde os processos são colocados de modo hierárquico, propondo uma divisão da síntese em uma sequência de etapas. De acordo com Oliveira (2006), esta ferramenta estabelece a prioridade de atuação nos processos em função de sua importância na planta industrial. Assim, para a indústria de biodiesel, tem-se o Diagrama Cebola representado pela Figura 12.

FIGURA 12 – DIAGRAMA DE CEBOLA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

Na produção do biodiesel, o processo de transesterificação requer mais atenção, uma vez que a conversão da matéria-prima (óleo de soja) no produto final desejado, ocorre nos reatores. Após a reação, é necessário que ocorra a separação

do biocombustível e da glicerina, a fim de diferenciar produto de subproduto. Com o objetivo de atender as especificações concedidas pelas normas brasileiras e outros órgãos reguladores, como a ANP, as correntes passam por operações de purificação, como lavagem e evaporação, alcançando, dessa forma, uma composição desejada.

Por fim, os trocadores de calor seguidos da utilidade são peças fundamentais para a operação industrial, uma vez que são responsáveis pelo fornecimento de energia. Obtém-se, dessa forma, metas de consumo moderado de combustíveis, produção de cogeração, de redução da emissão de poluentes e de resfriamento (HIGA, 2003).

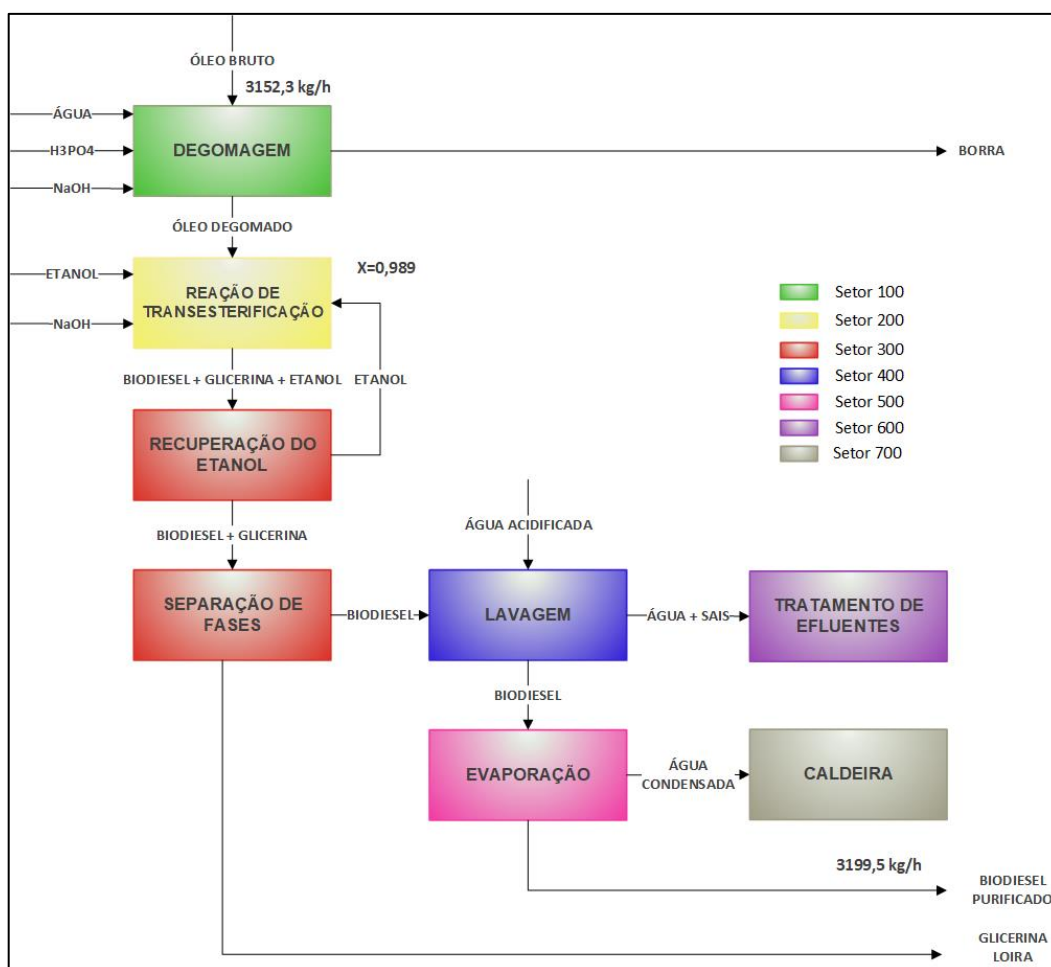
7 DIAGRAMA DE FLUXO DE BLOCOS

Consoante Turton (2009), o Diagrama de Fluxo de Blocos foi uma das primeiras representações a serem introduzidas na Engenharia Química com intuito de converter dados em um diagrama de blocos que simplifique os processos e melhore a visualização dos problemas.

Nesta representação há uma visão clara e simplificada da produção de uma substância ou apenas parte do processo, em que cada bloco no diagrama representa uma operação que, na realidade, pode ser constituído de diferentes e inúmeros equipamentos.

A Figura 13 traz consigo o Diagrama de Fluxo de Blocos da produção de 3199,5 kg/h de biodiesel pela indústria IvaíBio, com uma representação completa sobre o que planta faz e como os diferentes processos interagem entre si.

FIGURA 13 – DIAGRAMA DE FLUXO DE BLOCOS DA INDÚSTRIA DO BIODIESEL



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

Para obter especificações mais detalhadas do processo, como temperatura, pressão e frações mássicas e molares, faz-se o uso de um fluxograma mais específico, denominado Diagrama de Fluxo de Processos (PFD), que para o caso em estudo está representado no ANEXO A.

A produção do biodiesel será descrita detalhadamente na Seção 8.

8 FLUXOGRAMA, DESCRIÇÃO DO PROCESSO, BALANÇO DE MASSA E ENERGIA

8.1 FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

O fluxograma da produção do biodiesel, apresentado no ANEXO A como Diagrama de Fluxo de Processos, representa uma adaptação do processo de produção da *Crown Iron Company* (2009). Os volumes utilizados foram determinados por meio de uma quantidade pré-estabelecida de biodiesel produzido de 90 m³/dia, ou 76788 kg/dia, que será produzido em um período de 24 horas de produção da fábrica.

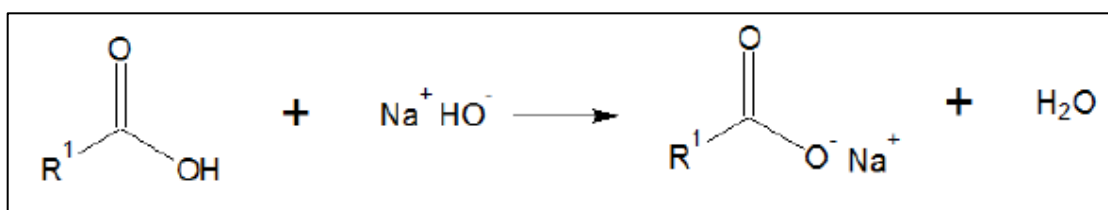
Os dados termodinâmicos, bem como os cálculos de balanços de massa e energia estão detalhados nos ANEXOS B, C e D, respectivamente.

8.2 TRATAMENTO DO ÓLEO DE SOJA

O óleo bruto de soja possui uma alta concentração de ácidos fosfatídicos que afetam diretamente no rendimento da reação de transesterificação, uma vez que esta deve ocorrer com uma matéria-prima de baixa acidez, visando atingir as especificações impostas pela ANP.

Para reduzir a concentração dos ácidos, o óleo passa pelo processo de degomagem que consiste em retirar a goma e a lecitina. A goma equivale ao sabão formado pela reação de neutralização entre o hidróxido de sódio e os ácidos fosfatídicos como representado pela Figura 14.

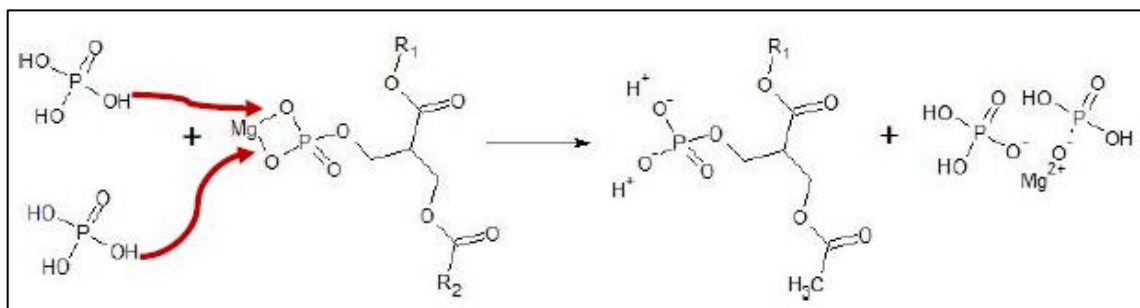
FIGURA 14 – REAÇÃO DE NEUTRALIZAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA BRUTO



FONTE: MAIONCHI (2017).

Já a lecitina é formada com a adição do ácido fosfórico que torna os fosfatídeos hidrofóbicos em moléculas solúveis em água. Este processo é representado pela Figura 15 abaixo.

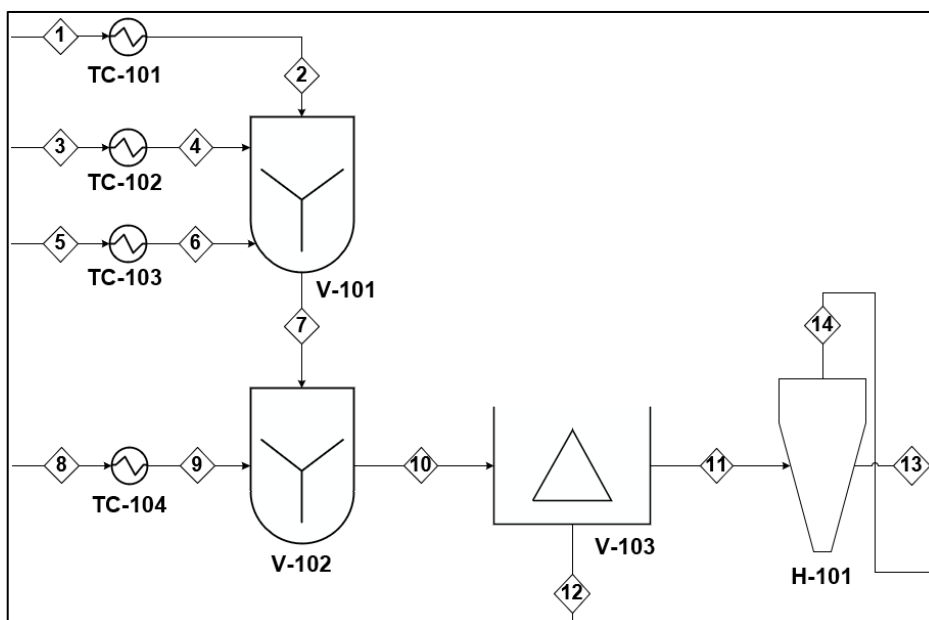
FIGURA 15 – REAÇÃO DOS FOSFOLIPÍDEOS COM ÁCIDO FOSFÓRICO



FONTE: MAIONCHI (2018).

A Figura 16 a seguir apresenta o Setor 100, que descreve o processo de tratamento do óleo bruto, descrito nos setores 8.2.2, 8.2.3 e 8.2.4 do presente trabalho.

FIGURA 16 – SETOR 100 DA INDÚSTRIA IVAÍBIO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

8.2.1 Armazenamento do Óleo de Soja

O óleo de soja bruto que chega à indústria, é armazenado em tanques de estocagem.

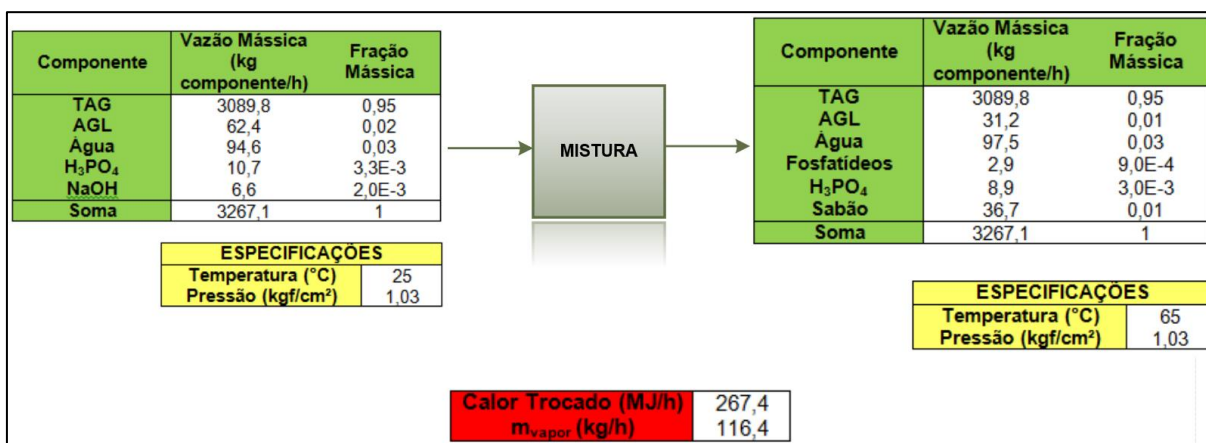
8.2.2 Fosforação e Neutralização Básica do Óleo de Soja Bruto

O óleo armazenado (1) é bombeado para um tanque de mistura V-101, em seguida é adicionado 0,4% (m/m) de ácido fosfórico (3), com concentração de 85% a uma temperatura de 65°C (4) para que ocorra a solubilização das moléculas fosfatídicas hidrofóbicas.

Após a adição do ácido fosfórico, é adicionada a soda cáustica (8) em um segundo misturador V-102 com o objetivo de homogeneizar a mistura e neutralizar os ácidos graxos livres e formar a borra. A Figura 17 apresenta os resultados do balanço de massa e energia para a formação da borra.

Para alcançar as temperaturas de operação do processo, utiliza-se, na planta, utilidade de vapor superaquecido de 300°C e 20 bar (20,4 kgf/cm²) e água de resfriamento a temperatura ambiente (25°C).

FIGURA 17 – BALANÇO DE MASSA E ENERGIA PARA A ETAPA DE MISTURA (M-101 E M-102)



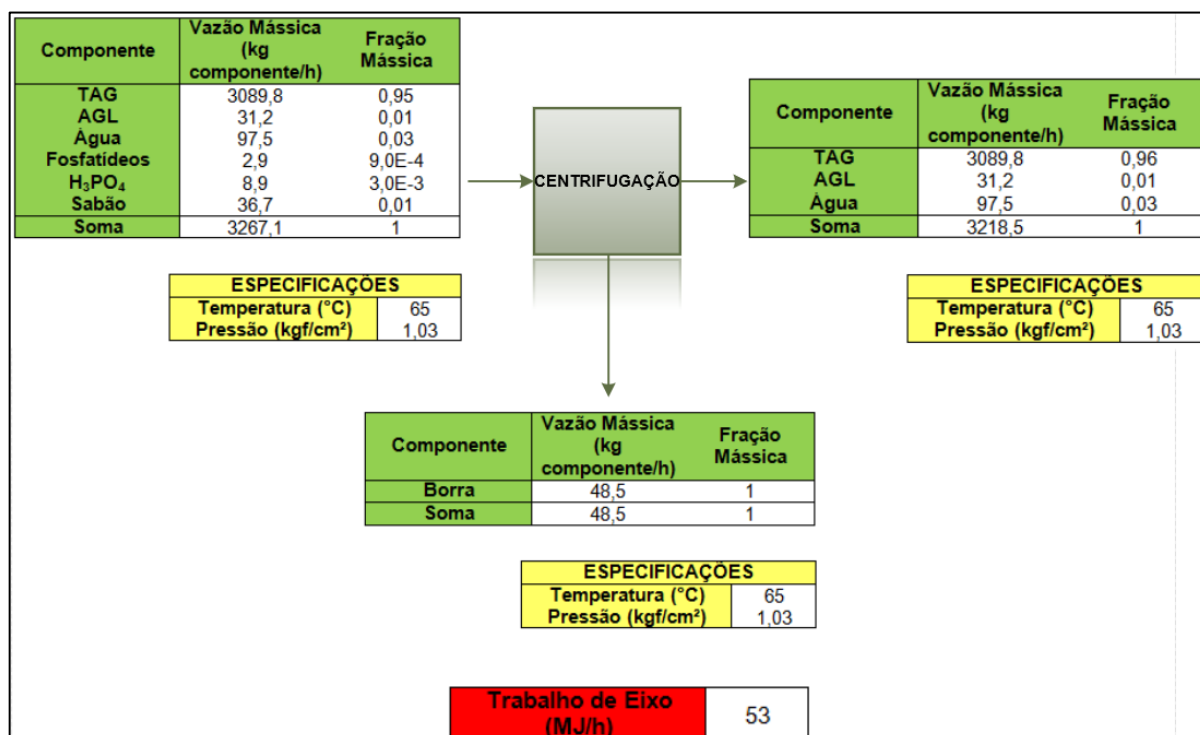
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

8.2.3 Centrifugação do Óleo de Soja Degomado

Nesta etapa, ocorre a centrifugação (V-103) da corrente 10 para que seja separada as impurezas presentes na fase pesada (12) e o óleo neutro na fase leve (11). Este processo ocorre à 65°C com uma rotação de 6000 rpm.

A Figura 18 apresenta os dados dos balanços de massa e energia da centrífuga para a separação da borra do óleo de soja degomado.

FIGURA 18 – BALANÇO DE MASSA E ENERGIA DA ETAPA DE SEPARAÇÃO DA BORRA (V-101)

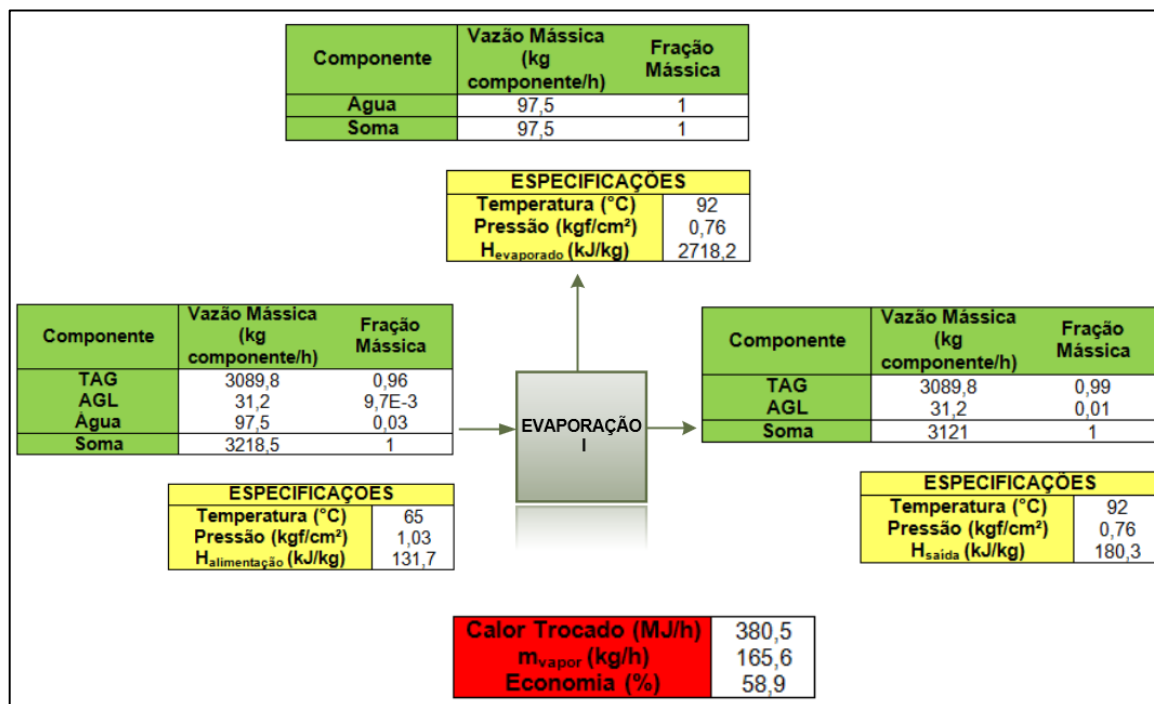


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

8.2.4 Secagem do Óleo de Soja Degomado

Nesta etapa, o óleo úmido (11) passa por um evaporador (H-101) que opera a 92°C e 100 mmHg (0,14 Kgf/cm²), em que se considera que toda a água é evaporada neste processo (14). Assim, o óleo de soja degomado (13) está dentro das especificações para prosseguir para as demais etapas. As condições de alimentação do evaporador ocorrem à pressão atmosférica de 760mmHg (1,03 kgf/cm²). A Figura 19 traz consigo os balanços de massa e energia para esta operação.

FIGURA 19 – BALANÇO DE MASSA E ENERGIA DA ETAPA DE EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DO ÓLEO DE SOJA DEGOMADO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

A economia mostrada na Figura 19 acima representa a razão da massa de água vaporizada pela massa de vapor consumido.

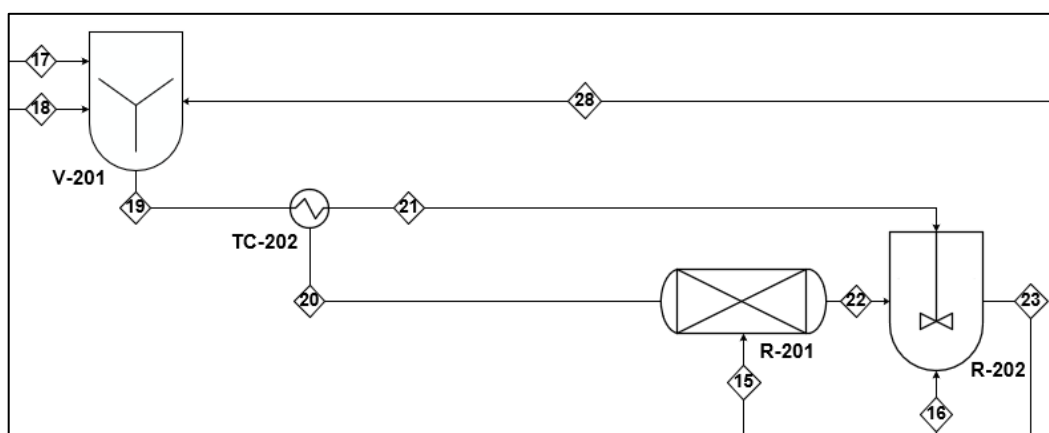
8.3 ETAPA DE TRANSESTERIFICAÇÃO

Do fluxograma completo (ANEXO A), foi realizado um volume de controle – Setor 200 – no misturador M-201 juntamente com os reatores R-201 e R-202, resultando em três entradas e uma saída de componentes – vide Figura 20.

O processo de produção do biodiesel é realizado utilizando um reator PFR (R-201) e um CSTR (R-202) em série e encamisados, nos quais, ocorre a reação de transesterificação; a proporção do volume adicionado de reagentes e catalisador são: 70% no primeiro reator e 30% no segundo mais a corrente provinda do primeiro. Essa divisão de vazão é realizada com intuito de atingir uma alta conversão.

A conversão da reação é de 98,9%, pois considera que o óleo de soja tratado possui baixo teor de AGL (1% m/m), em uma temperatura relativamente baixa, 45°C, e com agitação lenta para que a reação paralela de saponificação seja minimizada. (GOMES *et al.*, 2011).

FIGURA 20 – SETOR 200 DA INDÚSTRIA IVAÍBIO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

O óleo de soja degomado (13), passa pelo Trocador de Calor, TC-102, onde é resfriado a temperatura ótima de trabalho (45°C) e é dividido entre as correntes 15 e 16. Paralelamente a este procedimento, no Misturador M-201 são adicionados Hidróxido de Sódio e Etanol (correntes 17 e 18, respectivamente), os quais são homogeneizados para preparar o catalisador (etilato de sódio) e, assim, reduzir a possibilidade da reação de saponificação nas etapas posteriores. Em seguida, estes são aquecidos no trocador TC-202 e divididos entre as correntes 20 e 21. Os reagentes, em conjunto com o catalisador, são direcionados aos Reatores R-201 e R-202.

A Tabela 7, a seguir, apresenta as massas moleculares e específicas de cada componente utilizado e formado na produção do biodiesel. Observa-se que, para o óleo de soja, os dados representam valores médios, pois estes podem variar dependendo da porcentagem dos diferentes tipos de ácidos graxos presentes no mesmo.

TABELA 7 – PROPRIEDADES DOS REAGENTES E PRODUTOS

(continua)

Componente	Massa Molecular (kg/kmol)	Referências	Massa Específica (kg/L)	Referências
Óleo de soja	837,36	ALVES E PACHECO (2014)	0,9260	DIB (2010)
Etanol	46,07	LABSYNTH (2009)	0,7910	PERRY (2007)
Hidróxido de Sódio	39,997	PERRY (2007)	2,3000	SIGMA ALDRICH (2010)

(conclusão)

Componente	Massa Molecular (kg/kmol)	Referências	Massa Específica (kg/L)	Referências
AGL	283,00	MERCK (2017)	-	-
Sabão	305,00	PERRY (2007)	-	-
Glicerina	98,85	FISPQ ISOFAR	-	-
Biodiesel	292,24	CAVALCANTE (2010)	0,8532	CAVALCANTE (2010)
Água	18,02	PERRY (2007)	0,9900	FOX (2014)

Os reatores operam de modo contínuo e a agitação do misturador V-201 é de 400 RPM (PAIVA, 2010). A proporção molar de etanol utilizada em relação ao óleo é de 7,5:1 (GOMES *et al.*, 2011). As vazões e frações percentuais mássicas de entrada e saída para cada composto foram calculadas por meio das Equações 1, 2 e 3, a seguir, que serão utilizadas nas demais etapas do balanço de massa.

$$n^{\circ} \text{ mols} = \frac{\text{massa}}{MM} \quad (1)$$

$$\text{Volume} = \frac{\text{massa}}{\rho} \quad (2)$$

$$\% \text{mássica} = \frac{\text{massa}}{\text{massa}_{\text{total}}} * 100\% \quad (1)$$

Para calcular a energia necessária para aquecer as matérias-primas de 25 °C para 45 °C (19) e a energia liberada pela reação, os dados termodinâmicos dos componentes estão dispostos no ANEXO B.

A partir dos dados das Tabela 7 e das vazões mássicas de cada corrente (15, 16, 19 e 23), calculou-se o balanço energético do conjunto de reatores e do trocador de calor (TC-202), que os antecede por meio das Equações 4 e 5 respectivamente.

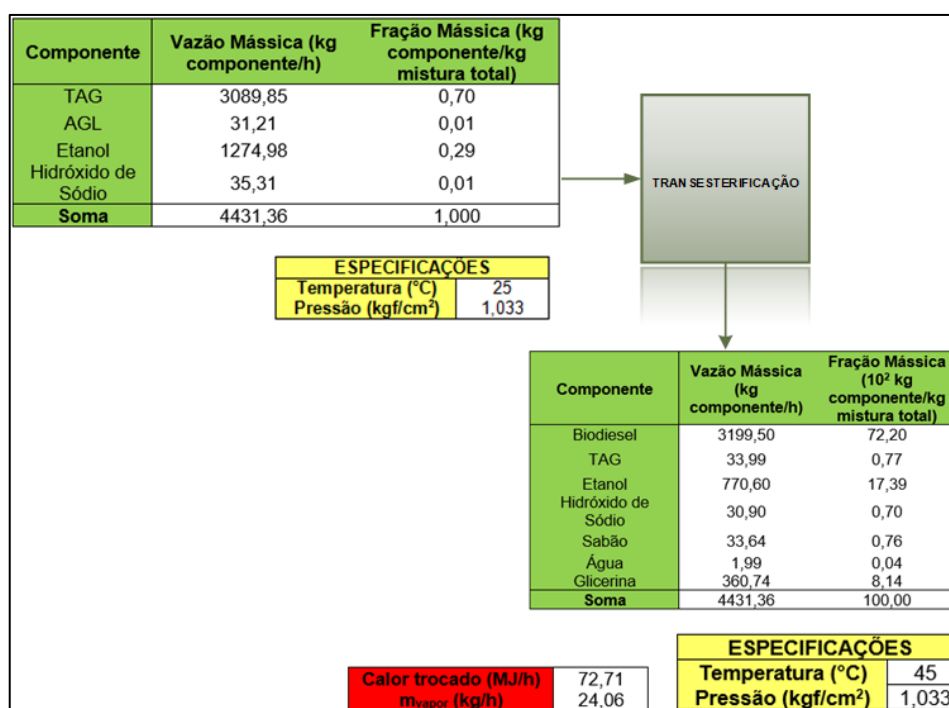
$$\dot{Q} = Fa_0 * X * \Delta H_{rx}(T_R) \quad (4)$$

$$\dot{Q} = Fa_0 * \left(\sum \Theta_i * Cp_i \right) * (T - T_0) \quad (5)$$

Onde, X é a conversão global dos reatores, Fa_0 é a vazão molar de óleo de soja na entrada, $\Delta H_{rx}(T_R)$ é a variação de entalpia da reação, Θ_i é a proporção de cada componente na corrente de entrada, Cp é o calor específico de cada espécie, T

a temperatura do reator e T_0 a temperatura inicial da alimentação. Desse modo, obtém-se a energia liberada pela reação e a taxa de calor necessária no trocador de calor para aquecer a alimentação são respectivamente: 2300,797 kJ/h e 198,043 kJ/h. Os dados estão apresentados na Figura 21 a seguir.

FIGURA 21 – BALANÇOS DE MASSA E ENERGIA DO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO



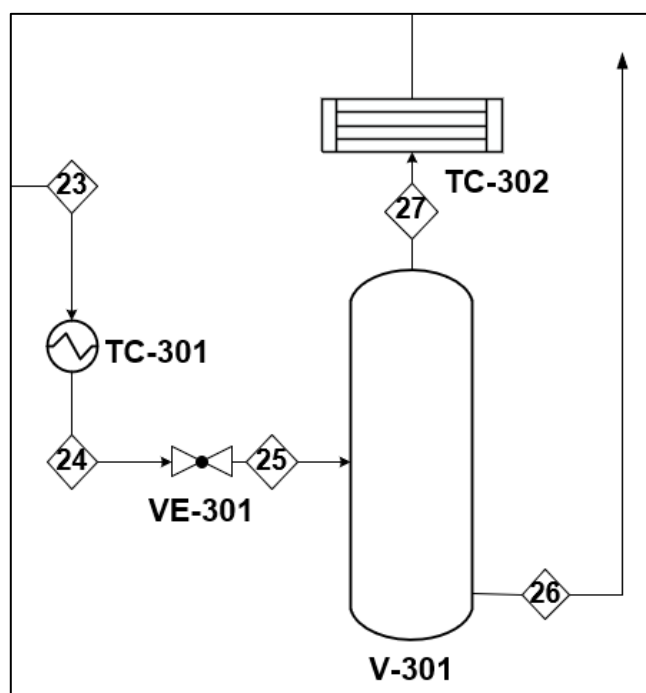
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

8.4 ETAPA DE REMOÇÃO DO ETANOL E DA GLICERINA

8.4.1 Remoção do Etanol

A remoção do etanol acontece posteriormente ao processo de transesterificação, num destilador flash, como demonstrado na Figura 22.

FIGURA 22 – DESTILADOR FLASH DA SETOR 300 DA INDÚSTRIA IVAÍBIO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

Nesta etapa, a solução – biodiesel, glicerina, etanol e catalisador (23) – sai do reator R-202, pela corrente 23, e passa pelo Trocador de Calor TC-301, onde é aquecida a 65°C (24), e então passa por uma válvula de expansão (VE-301) para reduzir a pressão antes de entrar no Destilador Flash (V-301) que é operado a uma pressão de vácuo de 410 mmHg (0,56 kgf/cm²). No destilador, elimina-se o etanol da mistura (27), o qual é recuperado através do Condensador TC-302 e reaproveitado no início do processo (28). Nas condições de trabalho de pressão e temperatura deste equipamento é possível deslocar o ponto de azeotropia da mistura etanol-água-biodiesel, considerando que todo o etanol é recuperado nesta etapa (NUNES, 2014).

Com os dados de saída do Reator R-202 apresentado na Figura 19, calculou-se a taxa de calor adicionada pelo trocador de calor (TC-301) para aquecer a corrente de alimentação de 45 a 65°C e a taxa removida pelo condensador para a recuperação do etanol. Para esses cálculos foram utilizados as Equações 6 e 7 respectivamente.

$$\dot{Q}_{TC} = \dot{m}_{TC} * C_p * \Delta T \quad (6)$$

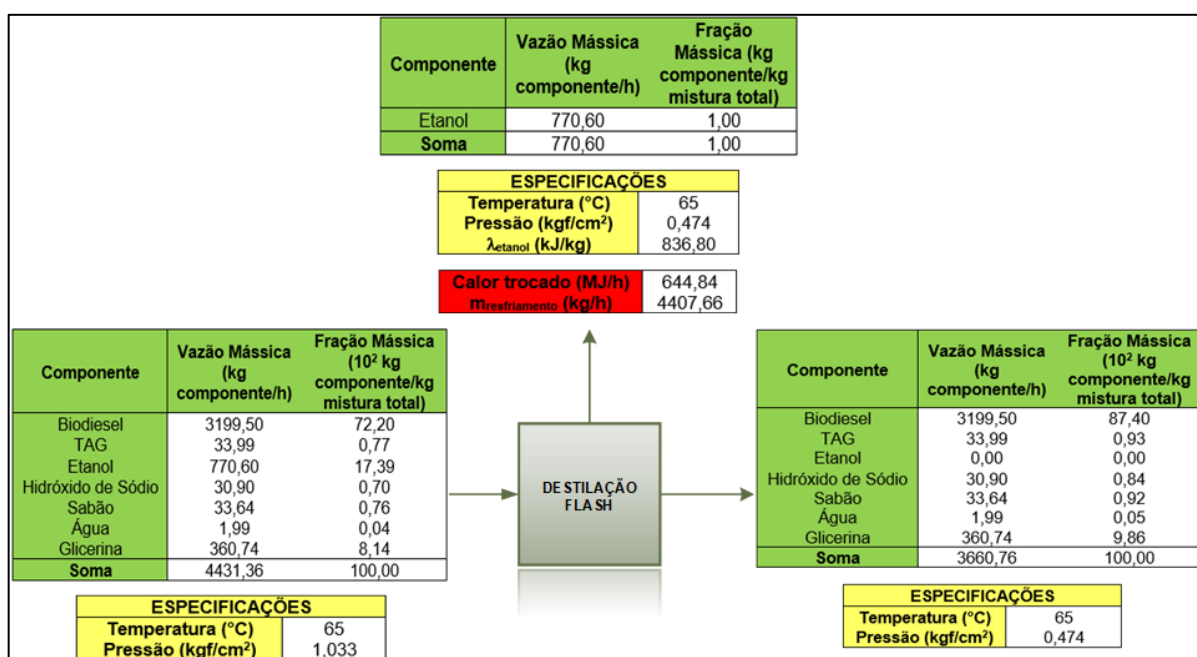
$$\dot{Q}_{condensador} = \dot{m}_{condensador} * \lambda \quad (7)$$

Onde, \dot{m}_{TC} é a vazão mássica da alimentação, λ o calor latente do etanol, $\dot{m}_{condensador}$ é a vazão mássica do etanol e ΔT a variação de temperatura. O calor latente do etanol encontrado na literatura possui valor de 836,8 kJ/kg. Desse modo, as taxas de calor do trocador e do condensador são respectivamente: 181,027 MJ/h e 644,838 MJ/h.

Com os valores de calor e a variação de entalpia sendo de 223,45 kJ/kg segundo as tabelas de propriedades termodinâmicas para o vapor de água (ANEXO B), tem-se que as vazões de vapor superaquecido e água de resfriamento necessárias para suprir a energia no trocador e no condensador são: 810,144 kg/h e 2885,827 kg/h, respectivamente.

Os valores calculados para o balanço de massa e energia foram representados na Figura 23.

FIGURA 23 – BALANÇOS DE MASSA E ENERGIA PARA A ETAPA DE DESTILAÇÃO

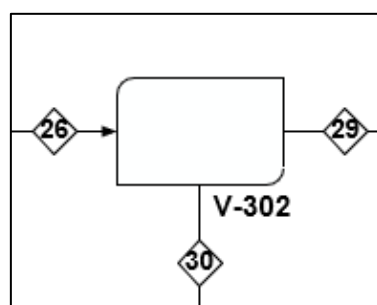


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

8.4.2 Remoção da Glicerina

Na Figura 24 está representado o processo de separação da glicerina contida no biodiesel por meio da decantação.

FIGURA 24 – DECANTADOR DA SETOR 300 DA INDÚSTRIA IVAÍBIO

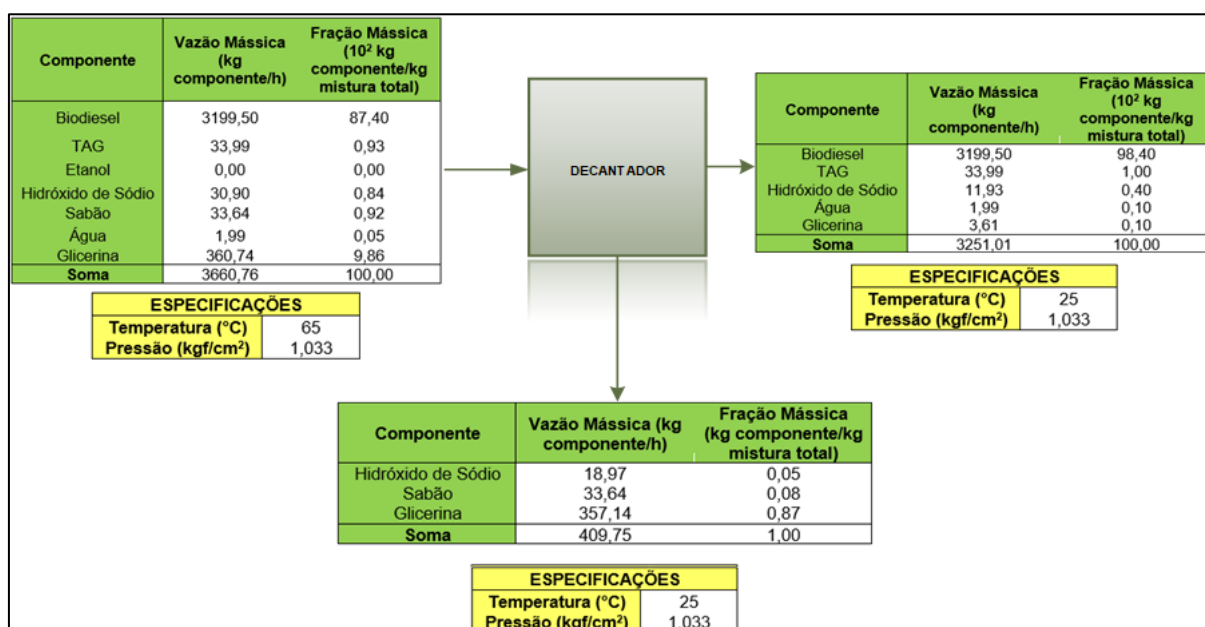


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

Toda a massa de fundo do vaso flash (26) entra no terceiro volume de controle, que se situa no Decantador V-302 (Figura 22), no qual, 38,6% (m/m) do catalisador é retido na fase leve, assim como 1% em massa da glicerina e o restante fica na fase pesada (GOMES *et al.*, 2011).

A glicerina bruta – loira –, retirada no decantador, é estocada e vendida para empresas que realizam sua purificação. Os resultados das massas de saída, fase leve (29) e pesada (30), do decantador são apresentados na Figura 25.

FIGURA 25 – BALANÇOS DE MASSA E ENERGIA PARA A ETAPA DE DECANTAÇÃO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

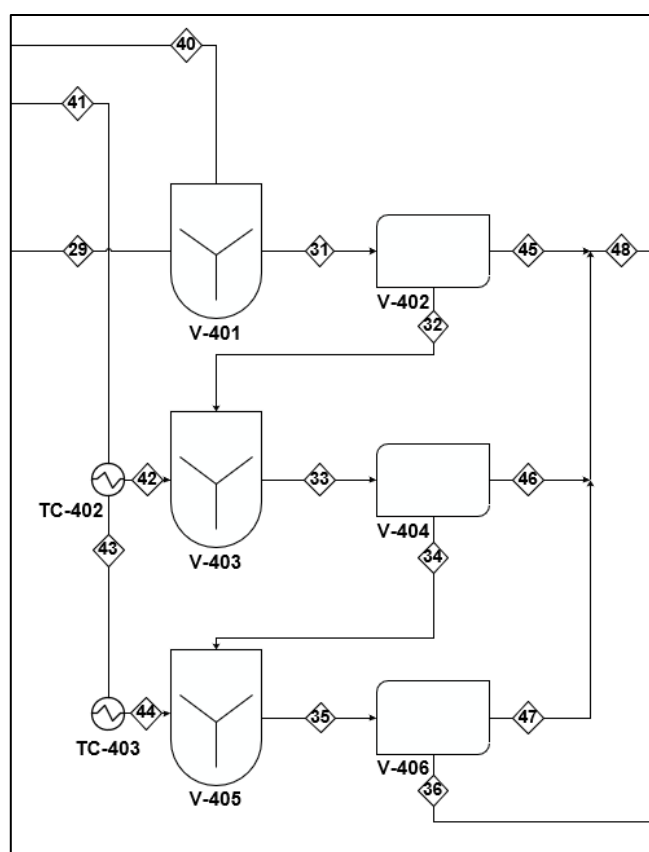
Analisando a Figura 25, nota-se que não é contabilizado a energia necessária para resfriar as correntes de fases leve e pesada. Isso é justificado pois o tempo de

decantação é de 1 hora, garantindo que haverá convecção natural capaz de reduzir a temperatura para 25°C.

8.5 ETAPA DE LAVAGEM

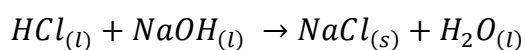
Com o intuito de eliminar as impurezas presentes no biodiesel, a fase leve que sai do Decantador V-302 a uma temperatura de 25°C, sofre o processo de três lavagens, com a proporção mássica, em cada lavagem, de 50% de água em relação à mistura, como apresentado na Figura 26.

FIGURA 26 – SETOR 400 DA INDÚSTRIA IVAÍBIO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

A primeira lavagem ocorre no Misturador V-401 e é feita com água acidificada (40) a 1,5% em volume de ácido clorídrico (HCl) na temperatura de 25°C. O ácido é utilizado com o intuito de neutralizar o catalisador (NaOH), como descrito na Reação 1, e, assim, removê-lo do biodiesel.



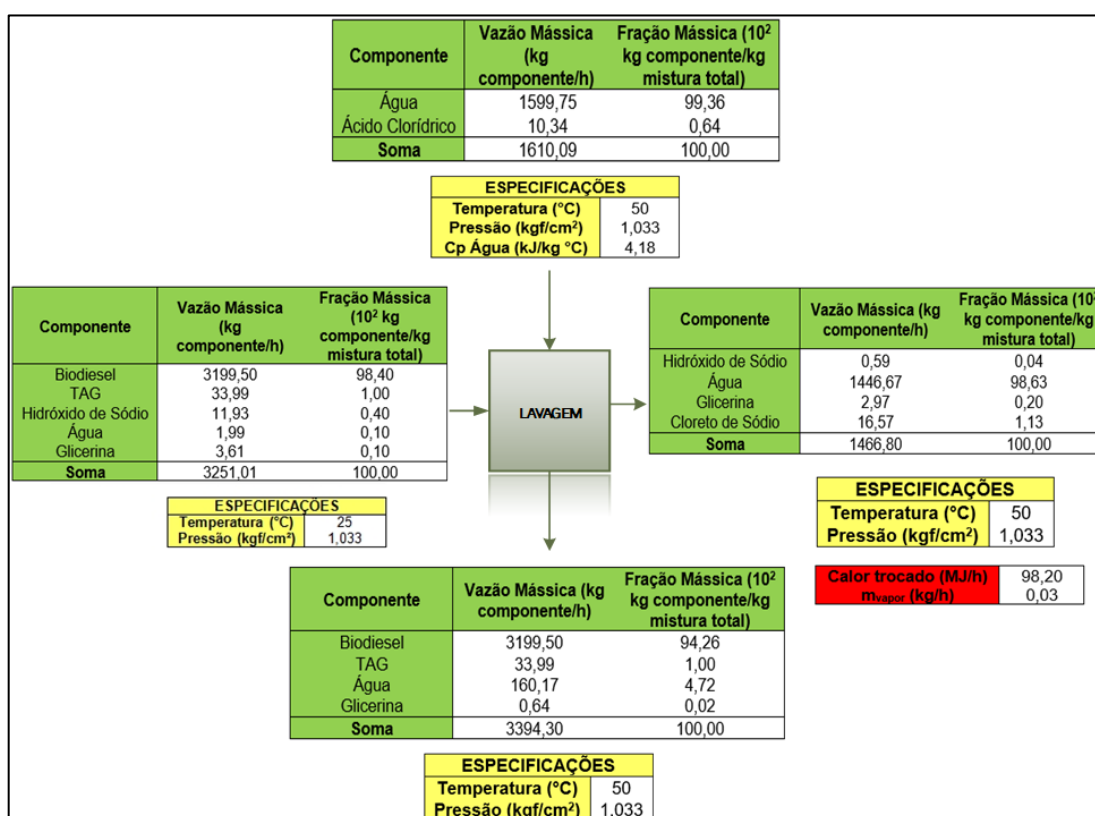
Reação 1

Após a primeira lavagem, a mistura (31) é enviada ao Decantador V-402, onde há a separação das fases, decantando a água e o sal formado (45) e permanecendo na fase leve a solução de biodiesel (32). A fase leve sofre mais duas lavagens com água abrandada, uma a 40°C (42) e outra a 50°C (44), respectivamente nos Misturadores V-403 e V-405 e, após cada lavagem, a solução (33) é direcionada aos Decantador V-404 e Decantador V-406. Em ambos os decantadores, a fase pesada – água, sal, resquícios de catalisador e sabão – são encaminhados para o processo de tratamento da água residual (48).

Segundo Regiane (2009), o biodiesel, que compõe a fase leve da decantação (36), sai do Decantador V-406 com 10% em massa de água e temperatura de 50°C, e é encaminhado para a etapa de evaporação, representada pela Figura 25.

Os dados de balanços de massa e energia para o volume de controle do processo de lavagem estão representados pela Figura 27.

FIGURA 27 – BALANÇO DE MASSA E ENERGIA PARA A ETAPA DE LAVAGEM

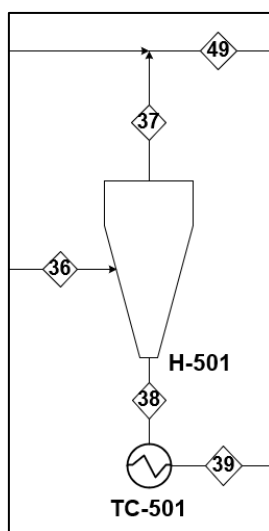


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

8.6 ETAPA DE EVAPORAÇÃO

A fim de retirar o excesso de água que sai da lavagem, a mistura, a 50°C, segue para um evaporador de simples efeito (H-501), como mostrado na Figura 28.

FIGURA 28 – SETOR 500 DA INDÚSTRIA IVAÍBIO

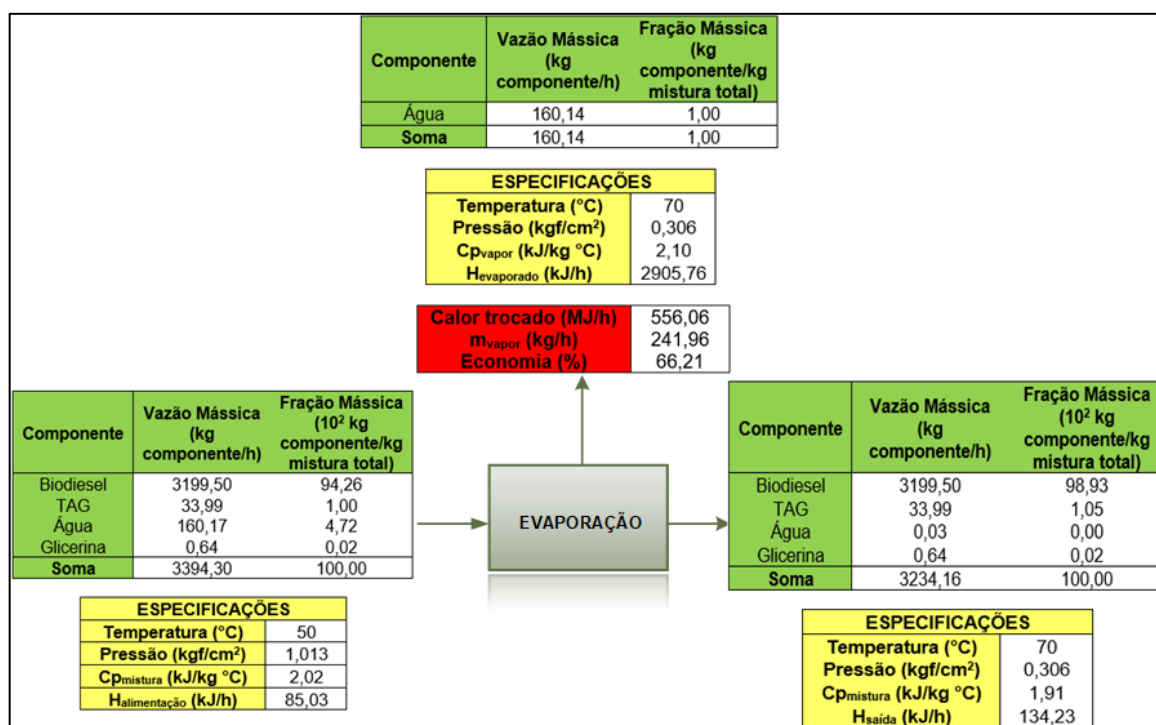


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

O H-501 é operado a uma pressão de vácuo de 535 mmHg (0,73 kgf/cm²) e, para a retirada da água, são introduzidos 241,96 kg/h de vapor superaquecido, à 300°C e 20,4 kgf/cm². Nesta operação, 98% em massa, de água contida inicialmente na solução de biodiesel é removido no topo do evaporador como vapor superaquecido (37) e é reciclado para a utilidade quente, a 70°C e 0,31 kgf/cm², enquanto que o biodiesel é retirado no fundo do equipamento (39). Para fins de estoque, o biocombustível é resfriado a 25°C e ao fim do processo este já atende as normas da ANP.

As massas e frações mássicas de cada componente, bem como o calor trocado, são apresentados pela Figura 29.

FIGURA 29 – BALANÇO DE MASSA E ENERGIA PARA A ETAPA DE SECAGEM



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

8.7 TRATAMENTO DE EFLUENTES

Com o balanço de massa do processo, pode-se determinar a composição da corrente 48 e assim realizar o tratamento do efluente obtido pela lavagem do biodiesel. Através dos dados do efluente fornecidos pela Tabela 8, é realizado os cálculos para reduzir os componentes indesejados e deixar a água nas especificações impostas pelo CONAMA, sendo possível a distribuição nos corpos hídricos próximos à indústria.

TABELA 8 – COMPOSIÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM

Componente	Vazão Mássica (kg/h)	Substrato de entrada (mg/L)
Biodiesel	0	0
Glicerina	2,97	2056,12
Óleo de Soja	0	0
Etanol	0	0
Catalisador	11,93	8263,77
Água	1443,27	1
HCl	0	0
NaCl	5,52	3826,77

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

A partir das informações contidas na tabela acima, infere-se que a quantidade de Óleos Vegetais (OV) é de aproximadamente 2056 mg/L. Segundo Gonçalves (2015), o efluente da lavagem do biodiesel derivado pela matéria prima do óleo de soja tem, em média, as características apresentadas pela Tabela 9 abaixo:

TABELA 9 – CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE DA ÁGUA DE LAVAGEM

Matéria-prima	pH	DBO	O&G
Óleo de soja	5,5 e 9	≤1000	≤1000

FONTE: GONÇALVES (2015).

Segundo os padrões estabelecidos, o Resolução CONAMA 430/2011 refere-se às características que um efluente deve ser devolvido ao meio ambiente. A Tabela 10 abaixo indica as propriedades de Demanda Química de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD) e OV, além da faixa de temperatura de operação.

TABELA 10 – PADRÕES DO CONAMA 430/2011 PARA DESCARTE DE EFLUENTES

Propriedade	Característica
DBO	120 mg/L ou redução de 60%
OV	50 mg/L
pH	De 5 a 9
Temperatura	40 °C até 43°C
OD	4 mg/L
Sais dissolvidos	Mesma concentração do meio de descarte

FONTE: CONAMA (2005).

De acordo com GONÇALVES (2015), a temperatura utilizada no processo de lavagem atende as normas da Resolução CONAMA 430/2011. Assim, o tratamento ocorre em lagoas de lodo ativado contendo microrganismos capazes de quebrar moléculas de glicerina presentes no efluente, visto que é uma matéria orgânica. Sabendo que a concentração inicial de glicerina no efluente é de 2056 mg/L, ela será reduzida para uma quantidade de 50 mg/L após 12 horas em lagoa (CONAMA, 2005).

A estação de tratamento de efluentes (ETE) se divide nas etapas detalhadas abaixo e representadas pela Figura 30:

- Decantador: separa quaisquer possíveis resquícios de óleo de soja provenientes da lavagem, garantindo quantidades desprezíveis para descarte;
- Coagulador e floculador: diminui a turbidez do efluente;
- Lagoa de lodo ativado: projetada para a planta e com capacidade de expansão para o tratamento bioquímico.

FIGURA 30 – DIAGRAMA DE BLOCOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTE



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

Para testes da água tratada e do rio, é necessário um laboratório que garanta um controle de qualidade para o processo de. Ao final da lagoa, há uma estação de eletro-floculação para retirar o sal presente na água, uma vez que este pode conter níveis de sal superior ao recomendado pela CONAMA.

Para o tratamento da água de lavagem, é utilizado como floculador químico o Sulfato de Alumínio III ($Al_2(SO_4)_3$) a 0,1 mg por litro de água de lavagem. A floculação ocorre para retirar particulados que decantam ou ficam sobrenadantes, para atender as especificações da CONAMA (BITTENCOURT, 2015).

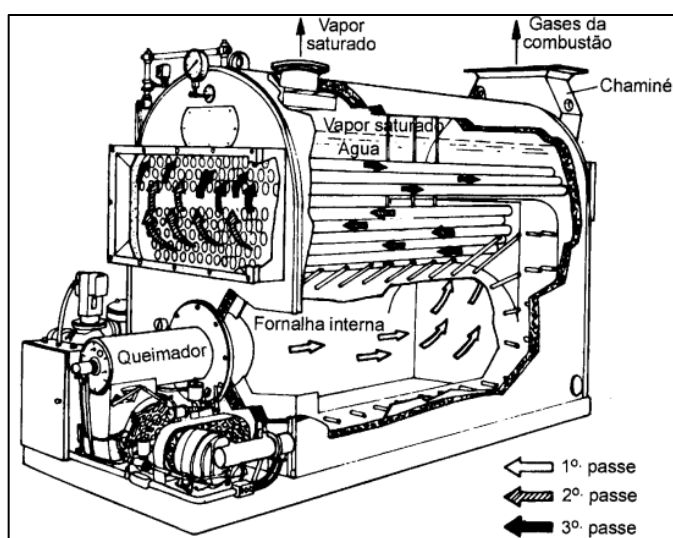
No processo em questão, utiliza-se 144,33 mg/h de $Al_2(SO_4)_3$ para tratar 1443,27 litros de água por hora utilizada no processo. Neste caso a quantidade de água que entra no processo é a mesma que sai, uma vez que ela não sofre reação durante o processo. O tempo de residência da lagoa é equivalente a 24 horas, para que seja obtida as especificações do efluente tratado. Por fim, o volume da lagoa é de cerca de 35 m³, para uma vazão de 1443,27 L/h de efluente do processo de lavagem (GONÇALVES, 2005).

As características microbiológicas e os dados para o dimensionamento da lagoa estão dispostos no ANEXO C.

8.8 CALDEIRA

O vapor utilizado para aquecer as correntes frias do processo de produção do biodiesel, será gerado em uma caldeira flamotubular que atende às especificações do vapor superaquecido, ou seja, de temperatura de 300°C e pressão de 20 bar (20,32 kgf/cm²). Esta caldeira possui uma geração de vapor de 2 até 20 t/h até uma pressão de 21 bar, e possui como combustível lenha, tora, cavaco ou casca de madeira (sustentáveis). A Figura 31 representa uma caldeira flamotubular típica para ilustrar a operação da mesma.

FIGURA 31 – CALDEIRA FLAMOTUBULAR REGULAR



FONTE: BEGA (2003).

Os combustíveis para a geração de calor para a caldeira são diversos como citado anteriormente, porém, com o objetivo de reduzir o espaço ocupado pelo armazenamento do combustível, será utilizado cavaco de eucalipto (20% de umidade) com poder calorífico de 3745,86 kcal/kg e massa específica de 350 kg/m³ e eficiência de combustão de 80% (NASCIMENTO, 2007).

Assim, com os dados calorimétricos do cavaco (ANEXO B) e os valores do calor necessário em todo o processo (ANEXO D), é possível determinar a quantidade de vapor requerida em todas as etapas de produção do biodiesel para que seja obtido a vazão mássica de cavaco a ser queimado na caldeira. Desse modo, a vazão mássica de vapor, de cavaco e o calor total transferido são respectivamente: 614,04 kg/h; 143,24 kg/h e 1794258,97 kJ/h.

Uma observação a ser realizada é de que, parte da água retorna para a caldeira como líquido saturado e a outra como vapor ainda superaquecido, que reduzem a quantidade de cavaco queimado pelo aproveitamento desta energia disponível para pré-aquecer a corrente de água na entrada da caldeira.

8.9 INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA

Perlingeiro (2005) diz que a integração energética consiste no aproveitamento de calor de correntes quentes para aquecer correntes frias com o concomitante resfriamento das correntes quentes, resultando na redução do consumo de energia proveniente de utilidades – vapor e água de resfriamento ou fluido refrigerante.

Além da economia de energia e dos custos atrelados a esta, a integração energética traz consigo a possibilidade de minimizar a emissão de gases percursoros do efeito estufa gerados em caldeiras, apresentando à empresa uma identidade mais sustentável e alternativa, condizentes com os princípios de uma indústria de biocombustíveis (LAZARINI *et al.*, 2016).

Para alcançar um resultado satisfatório no sistema de troca térmica, além da rede de trocadores de calor (RTC) ser requerida, identifica-se a necessidade de determinar uma mínima diferença de temperatura entre correntes quente e fria, denominado *approach* mínimo ou ΔT_{\min} . Recomenda-se que o valor do ΔT_{\min} esteja inserido numa faixa de 10 a 30°C, em que quanto menor o valor da diferença, maior será o aumento da área de troca térmica e, conseqüentemente, mais elevado o custo de capital. Assim, atentando-se aos custos e eficiência do processo, aplicou-se ΔT_{\min} de 20°C à metodologia de integração energética na IvaíBio (PERLINGEIRO, 2005).

A integração energética parte da ideia inicial de que todas as operações unitárias são abolidas, levando em consideração apenas as correntes de processos que as interligam e suas temperaturas iniciais e finais. Também, deve-se considerar a quantidade de energia carregada por cada corrente (carga térmica), que é dada pelo produto da vazão mássica pelo calor específico e o calor disponível. O conjunto dessas informações constrói a denominada Tabela do Problema (BENINCA, 2008).

O cálculo de calor disponível em cada corrente é efetuado de acordo com a Equação 6, já apresentada na seção anterior. Analisando o Fluxograma PFD, disponível no ANEXO A do trabalho, bem como suas especificações, foi possível

determinar as correntes presentes na integração energética da indústria e construir a Tabela Problema, representada pela Tabela 11 a seguir

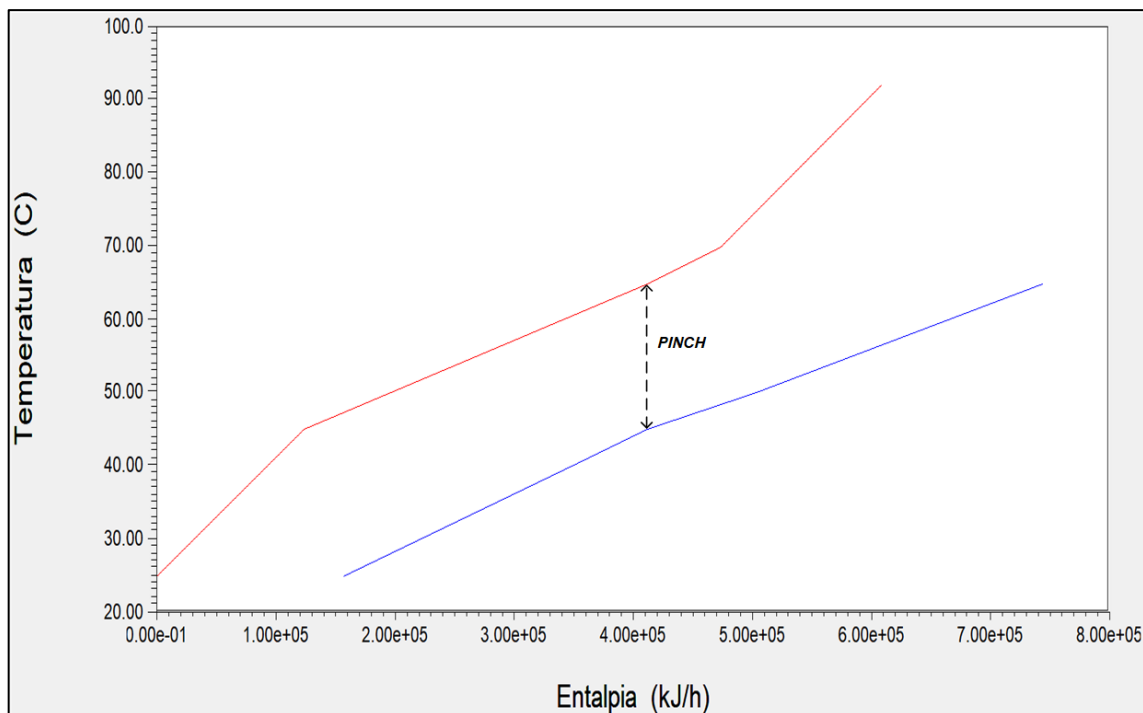
TABELA 11 – TABELA PROBLEMA

Corrente	Especificação	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Carga Térmica (kJ/h °C)	Entalpia Líquida (kJ/h)
1	Fria	25	65	6178,5	247140
3	Fria	25	65	44,8	1792
5	Fria	25	65	435,0	17400
8	Fria	25	65	26,9	1076
19	Fria	25	45	3636,8	72736
23	Fria	45	65	9296,6	185932
41	Fria	25	40	2456,0	3840
43	Fria	40	50	2456,0	24560
13	Quente	92	45	6117,3	287513,1
27	Quente	65	45	6203,1	124062
38	Quente	70	25	2111,4	95013

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

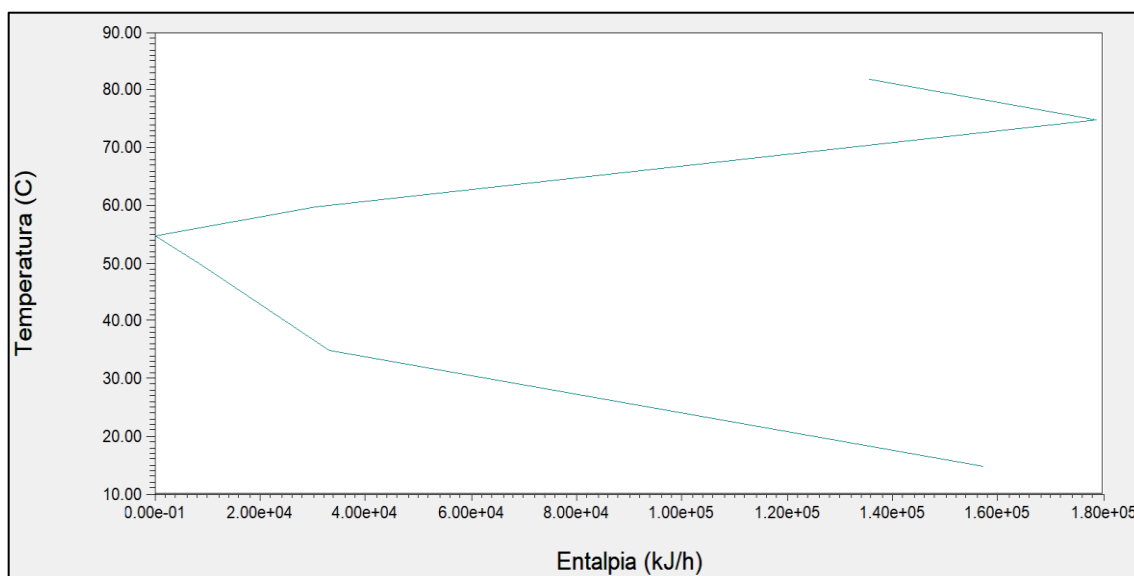
A partir das especificações apresentadas em cada corrente, vide Tabela 11, geram-se apenas duas curvas, uma representando todas as correntes frias e a outra, as quentes, que são posicionadas num diagrama de Temperatura *versus* Entalpia de tal forma que o ponto de máxima aproximação entre as curvas seja igual ao ΔT_{\min} determinado e a região em que ocorre o estrangulamento, ou chamado ponto *Pinch*. O Diagrama de Curva Composta (CC) apresenta o ponto *Pinch* na menor distância entre as curvas das correntes quentes e frias pela entalpia acumulada (Figura 32). Já a Grande Curva Composta (GCC) ilustra o ponto de estrangulamento quando a curva atinge o eixo das coordenadas (Figura 33).

FIGURA 32 – CURVA COMPOSTA DO PROCESSO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

FIGURA 33 – GRANDE CURVA COMPOSTA (GCC)

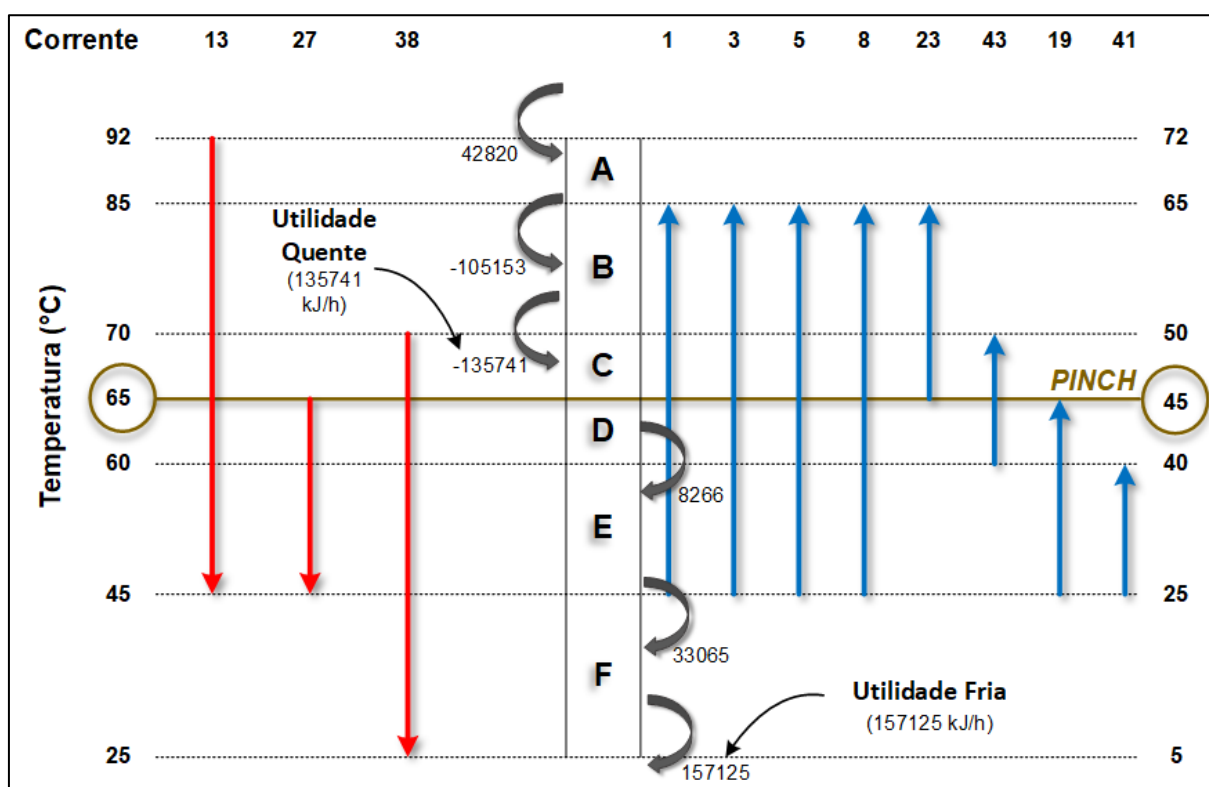


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

Consoante Resende (2013), a partir do ponto *Pinch*, é possível dividir o processo em duas seções: acima e abaixo do ponto, em termos de temperatura. Acima do *Pinch* há apenas calor a ser recebido, ou seja, é necessária utilidade quente. Em contrapartida, abaixo do *Pinch*, o sistema funciona com excesso de calor, que é transferido a uma utilidade fria. No caso em estudo e com auxílio de Softwares

Computacionais, foi possível determinar a faixa de temperatura onde se localiza o ponto *Pinch* da integração energética da indústria, que foi 45 a 65°C. Para melhor compreensão e visualização, construiu-se a Figura 34, apresentada abaixo como Diagrama Cascata.

FIGURA 34 – DIAGRAMA CASCATA



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

Como observado pelas Figuras expostas anteriormente, pode-se perceber que os valores de utilidades quentes e frias necessárias para deixar as correntes nas especificações do processo são de 135741 e 157124 kJ/h, respectivamente.

A partir do número de correntes e dos dados apresentados na Tabela 11, também é possível determinar o número de trocadores de calor necessários na metodologia, além de mostrar de uma maneira organizada a RTC que irá realizar alterações no layout produtivo que permita a integração energética sem afetar os parâmetros quantitativos de produção do biodiesel.

Para o projeto eficiente de rede de trocadores de calor, algumas regras básicas devem ser seguidas. São elas:

1. Fornecer calor externo apenas acima do *Pinch* e resfriamento externo apenas abaixo;

2. Maximizar as cargas de troca térmica;
3. Resolver separadamente a RTC acima e abaixo do *Pinch*, levando em consideração que:
 - Acima do *Pinch*: $mcp_{\text{quente}} \leq mcp_{\text{frio}}$;
 - Abaixo do *Pinch*: $mcp_{\text{quente}} \geq mcp_{\text{frio}}$ (KEMP, 2007).

Apesar das ordens acima a serem seguidas, em muitos casos, para se obter uma máxima eficiência de recuperação da energia, é necessário acatar alternativas extras, como a divisão de correntes.

A proposta de RTC para a planta de biodiesel da IvaíBio obedeceu a todas as regras descritas, além de utilizar da metodologia de divisão de correntes. Apontou-se a melhor combinação de trocadores de calor, respeitando o ΔT_{min} de 20°C. Para melhor visualização, a RTC proposta à planta da indústria, está representada no ANEXO E.

Analisando a seção referente ao balanço de energia (8), percebe-se que o consumo de utilidades é contabilizado em valores de 1560,8 e 929,5 MJ/h. Em contrapartida, com a Integração Energética, tem-se que o valor requerido resulta em um total de 135,7 e 157,1 kJ/h de utilidades quente e fria, respectivamente. Dessa maneira, a economia energética atinge valores de 79,3% e 74,2%, como apresentado na Tabela 12.

TABELA 12 – COMPARAÇÃO ENTRE UTILIDADES COM E SEM INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA E ECONOMIA ENTRE ELAS

	Sem Integração Energética	Com Integração Energética	Economia (%)
Utilidade_{Quente} (MJ/h)	1560,8	157,1	79,3
Utilidade_{Fria} (MJ/h)	929,5	135,7	74,2

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

De acordo com a Tabela 12, observar-se uma diminuição na demanda energética para os trocadores de calor. Dessa forma, a Integração Energética vem com uma alternativa para a IvaíBio de reduzir energia e minimizar custos operacionais, além de atingir um objetivo socioambiental, visto que haverá um menor consumo de água de resfriamento e vapor e redução de emissão de gases poluentes.

9 DIMENSIONAMENTO E DETERMINAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Segundo Perlingeiro (2005), a metodologia do dimensionamento de equipamentos é composta por dois subconjuntos, o primeiro é composto pelas condições já conhecidas e o segundo pelas metas que se deseja alcançar, de modo que quando são analisadas concomitantemente, apresentem um grau de liberdade igual a zero para que seja fornecida uma solução única ao seu problema.

Para calcular as dimensões dos equipamentos, faz-se necessário utilizar informações referentes às vazões de alimentação e das correntes auxiliares, bem como suas condições operacionais, obtidas por cálculos ou pré-estabelecidas. Assim, empregando alguns dados, calculados no balanço de massa e energia, aplicando o conhecimento teórico aprendido durante a graduação e realizando pesquisas referentes aos equipamentos, dimensionou-se os parâmetros de interesse de cada um deles para o presente trabalho. As projeções foram desenhadas utilizando o software Microsoft Visio®.

9.1 TANQUES DE ARMAZENAMENTO

Para os tanques de armazenamento estipulou-se um tempo médio de armazenamento de cada matéria-prima ou produto, de forma a evitar grandes estoques.

A Tabela 13, a seguir, apresenta os tempos estimados de estocagem dos reagentes e produtos para estipular os volumes e quantidades dos tanques de armazenamento.

TABELA 13 – PROJEÇÃO DO TEMPO DE ESTOCAGEM DE REAGENTES E PRODUTOS

Reagente/Produto	Tempo médio (dias)
Ácido Fosfórico	20
Ácido Clorídrico	20
Hidróxido de Sódio	20
Etanol	9
Óleo de Soja	9
Borra	8
Glicerina	7
Biodiesel	8

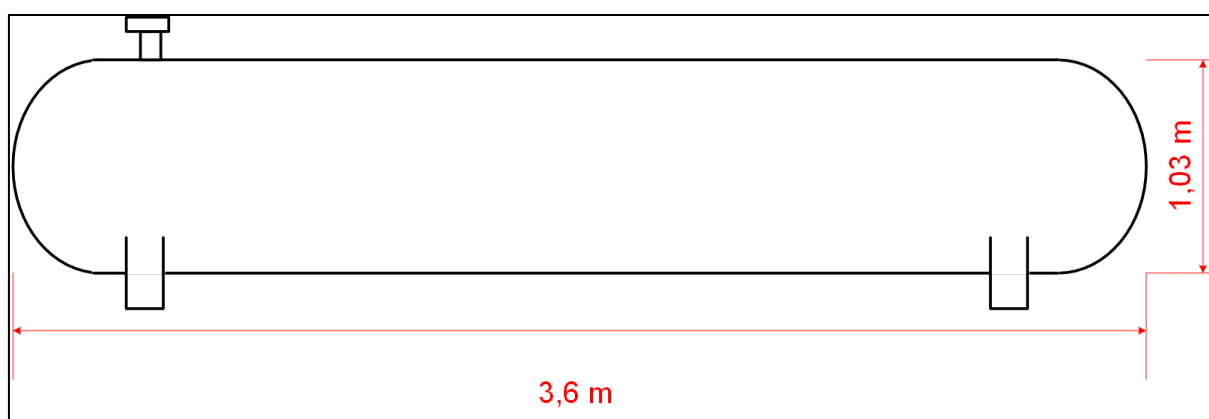
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

Considerou uma proporção média comprimento/diâmetro de 3,5 para os tanques verticais e altura/diâmetro de 1,2 para os tanques horizontais.

9.1.1 Tanque de Ácido Fosfórico

A partir da vazão volumétrica utilizada de ácido fosfórico em 20 dias, obteve-se um volume de 2,74 m³. Assim empregar-se-á um tanque horizontal de 3 m³, com 1,03 m de diâmetro e 3,6 m de comprimento. A Figura 35, abaixo, apresenta de forma ilustrativa o tanque com suas dimensões.

FIGURA 35 – TANQUE DE ÁCIDO FOSFÓRICO

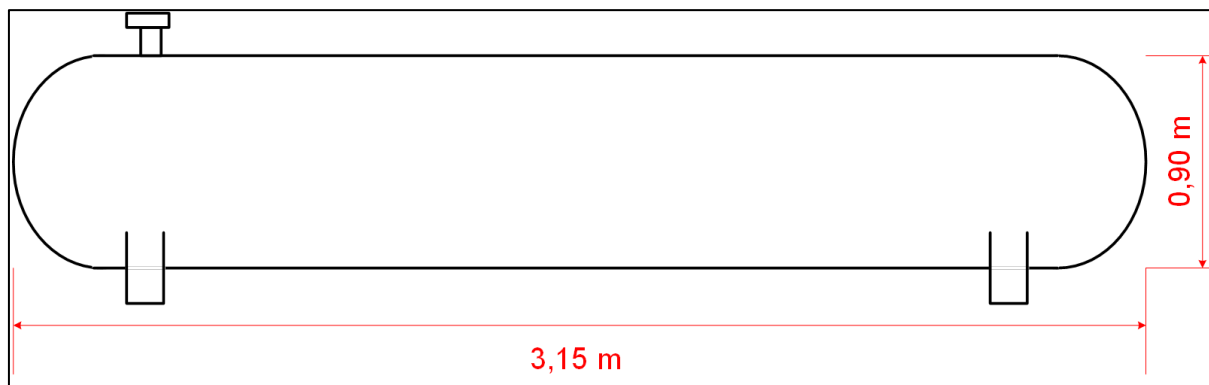


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

9.1.2 Tanque de Ácido Clorídrico

Tendo, a partir da vazão volumétrica de ácido clorídrico, um volume igual a 1,42 m³ em 20 dias, será utilizado um tanque de 2 m³, com diâmetro de 0,9 m e comprimento de 3,15 m. A seguir, está representada a imagem do tanque de ácido clorídrico com as devidas dimensões (Figura 36).

FIGURA 36 – TANQUE DE ÁCIDO CLORÍDRICO

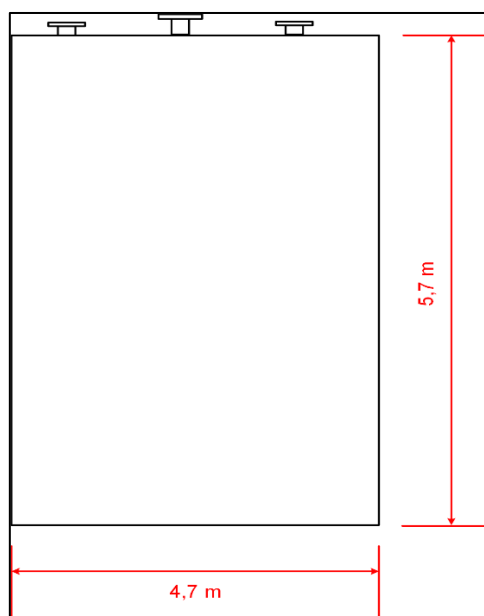


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

9.1.3 Tanque de Etanol

Tendo o tempo de armazenamento do etanol de 9 dias, o volume requerido no processo durante este período equivale a 138,24 m³. Seguindo a Norma 270 (N-270) da Comissão de Normalização Técnica (CONTEC) da PETROBRAS, serão aplicados dois tanques verticais de 100 m³, com diâmetro de 4,7 m e altura de 5,7 m, do modelo de teto fixo com teto flutuante interno (Figura 37).

FIGURA 37 – TANQUE DE ETANOL



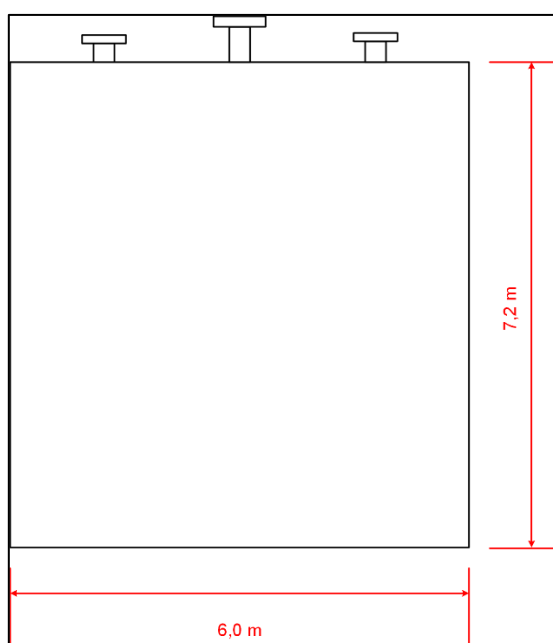
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

9.2 Tanque de Óleo de Soja

Por meio da vazão volumétrica utilizada de óleo de soja em 9 dias, obtém-se um volume útil necessário de 734,4 m³.

Segundo a N-270 da CONTEC, deve-se aplicar um tanque de teto fixo com teto flutuante interno, desta forma, será empregado quatro tanques verticais de 200 m³, com 6,0 m de diâmetro e 7,2 m de comprimento. A Figura 38 abaixo apresenta o tanque com suas dimensões.

FIGURA 38 – TANQUE DE ÓLEO DE SOJA

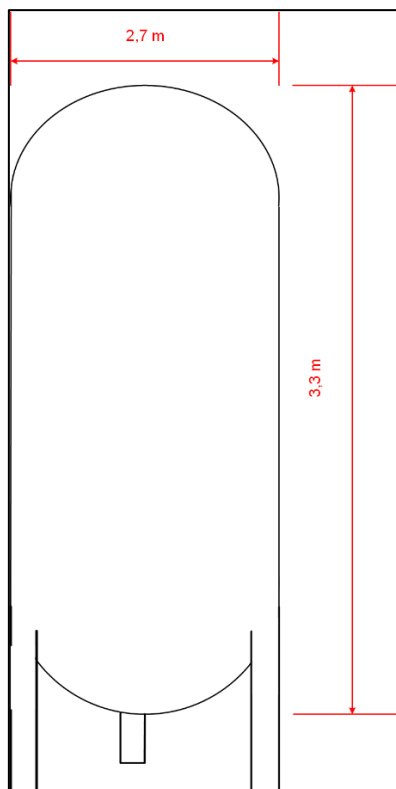


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

9.2.1 Tanque de Glicerina

A partir da vazão volumétrica de glicerina referente a 7 dias, obteve-se um volume mínimo requerido de 54,6 m³. Deste modo, para a armazenagem da glicerina, três tanques verticais de 20 m³, com 2,7 m de diâmetro e 3,3 m de comprimento, serão empregados. A Figura 39, a seguir, apresenta de forma ilustrativa o tanque com suas dimensões.

FIGURA 39 – TANQUE DA GLICERINA

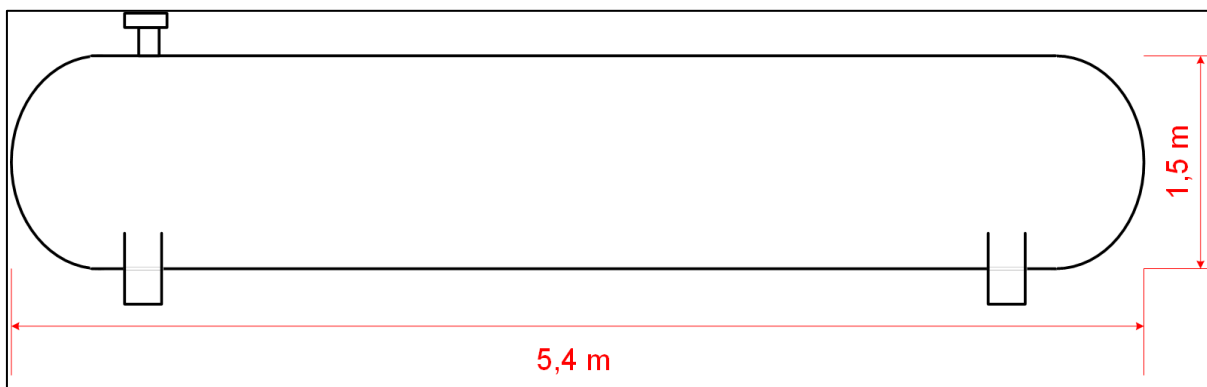


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

9.2.2 Tanque da Borra

A partir da vazão volumétrica utilizada de óleo de soja em 8 dias, obteve-se um volume de $9,8 \text{ m}^3$, assim empregar-se-á um tanque horizontal de 10 m^3 , com $1,5 \text{ m}$ de diâmetro e $5,4 \text{ m}$ de comprimento. A Figura 40 apresenta o tanque com suas dimensões.

FIGURA 40 – TANQUE DA BORRA

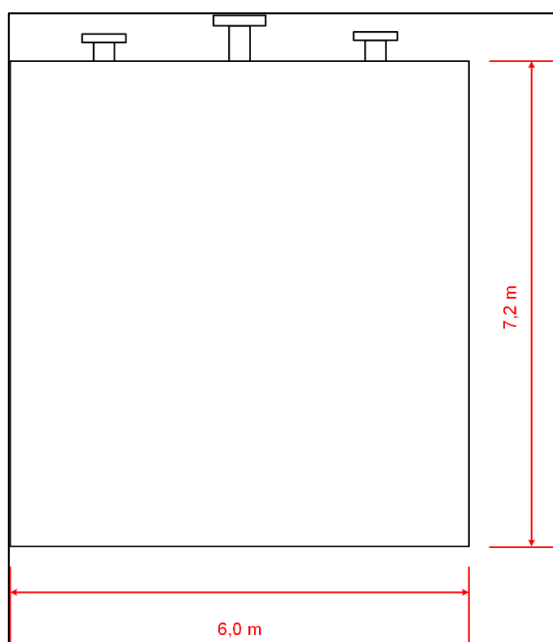


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

9.2.3 Tanque de Biodiesel

Segundo a N-270 da CONTEC, para a armazenagem do biodiesel, deve-se utilizar um tanque atmosférico de teto fixo com teto flutuante interno. A partir desta informação e da vazão volumétrica produzida em 9 dias, obteve-se um volume de 720 m³, assim, será empregado quatro tanques verticais de 200 m³, com 6 m de diâmetro e 7 m de comprimento. A Figura 41 ilustra o tanque com suas dimensões.

FIGURA 41 – TANQUE DE BIODIESEL



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

9.3 MISTURADORES

9.3.1 M-101, M-102 e M-201

Para os primeiros misturadores do processo, optou-se em aplicar o modelo de misturadores estáticos do tipo SMV, os quais, segundo Macintyre (2014) são utilizados para líquidos de baixa viscosidade, como misturas de aditivos com óleos e neutralização do óleo de soja.

Utilizando os valores das vazões volumétricas da corrente de entrada de cada misturador e relacionando com os dados do folheto técnico da SNatural Ambiente, obteve-se o comprimento aproximado de cada misturador. A Tabela 14 abaixo apresenta a vazão e o comprimento de cada misturador.

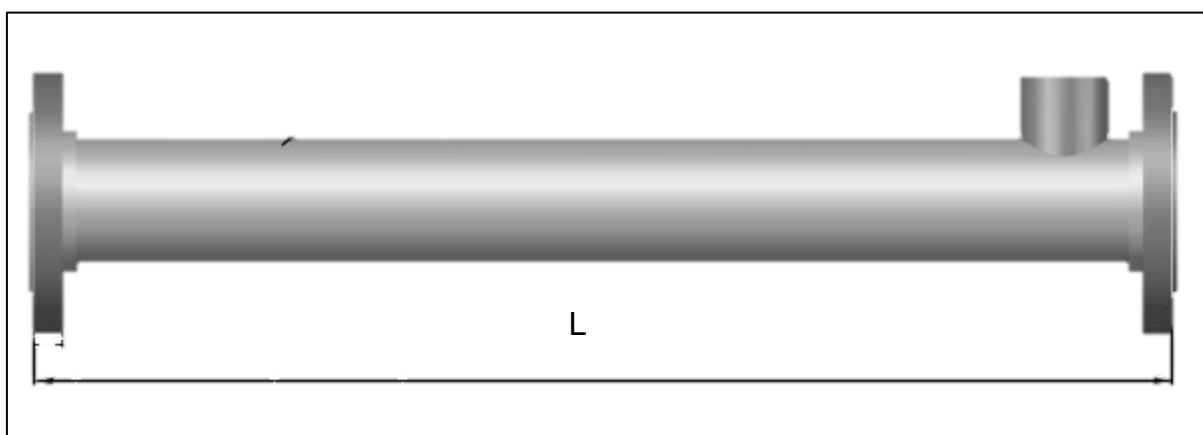
TABELA 14 – COMPRIMENTO DOS MISTURADORES

Misturador	Vazão Volumétrica (m ³ /h)	Comprimento (cm)
M-101	3,5	17,5
M-102	3,5	17,5
M-201	1,6	16,3

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

As Figuras 42 e 43, subsequente, apresentam o modelo do misturador que será aplicado à indústria.

FIGURA 42 – MISTURADOR ESTÁTICO



FONTE: SNATURAL AMBIENTAL (20-?).

FIGURA 43 – MISTURADOR ESTÁTICO SMV - PARTE INTERNA



FONTE: SNATURAL AMBIENTE (20-?).

9.3.2 M-401, M-403 e M-405

Como apresentado no balanço de massa, a vazão mássica para a lavagem será de 4,8 t/h. Deste modo, será aplicado o modelo de misturador de operação em processo contínuo com capacidade de mistura de 12 t/h da empresa HIPER CENTRIFUGATION, visando um futuro aumento na produção. Abaixo está apresentado o modelo do misturador (Figura 44).

FIGURA 44 – MISTURADOR CENTRÍFUGO



FONTE: ALVARENGA (2018).

9.4 EVAPORADORES

Para calcular a área de troca térmica dos evaporadores, aplicou-se a metodologia apresentada por Geankoplis (2009) para um evaporador de simples efeito. Os valores de coeficiente global de troca térmica foram estimados a partir dos dados oferecidos por Lazarini *et al.* (2016), e a quantidade de calor foi previamente calculada no balanço de energia, alcançando-se uma área de troca térmica equivalente a 4,98 m² para o H-101 e 26 m² para o H-501.

Será utilizado um evaporador de tubo vertical longo de filme ascendente, o qual está representado na Figura 44.

FIGURA 45 – EVAPORADOR DE TUBOS LONGOS



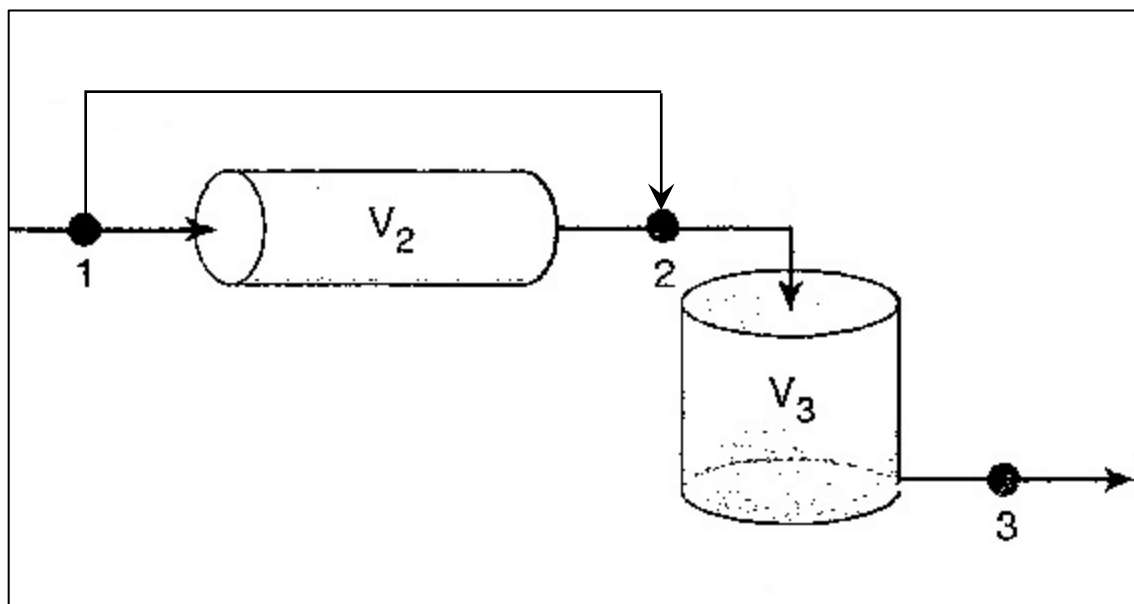
FONTE: ALIBABA (2018a).

9.5 REATORES

Para o dimensionamento dos reatores, adotou-se um volume para o reator PFR, equivalente a 1,2 m³. A partir deste, considerando as vazões de entrada nesses equipamentos e os valores de tempo de residência, calculados em anexo, obteve-se

um reator CSTR de volume equivalente a $3,29 \text{ m}^3$. A Figura 45 apresenta, de forma ilustrativa, o tipo e arranjo que reatores que serão empregados na indústria.

FIGURA 46 – MODELO FIGURATIVO DOS REATORES EMPREGADOS NA IVAIBIO



FONTE: ADAPTADO DE FOGLER (2002).

9.6 CENTRÍFUGA

A partir da vazão mássica da corrente de entrada para o processo de degomagem do óleo de soja, $3,3 \text{ t/h}$, calculado no balanço de massa, será empregada uma centrífuga com capacidade de 10 t/h , visando a expansão da produção. A Figura 47 ilustra modelo aplicado no processo.

FIGURA 47 – CENTRÍFUGA PARA DEGOMAGEM E NEUTRALIZAÇÃO



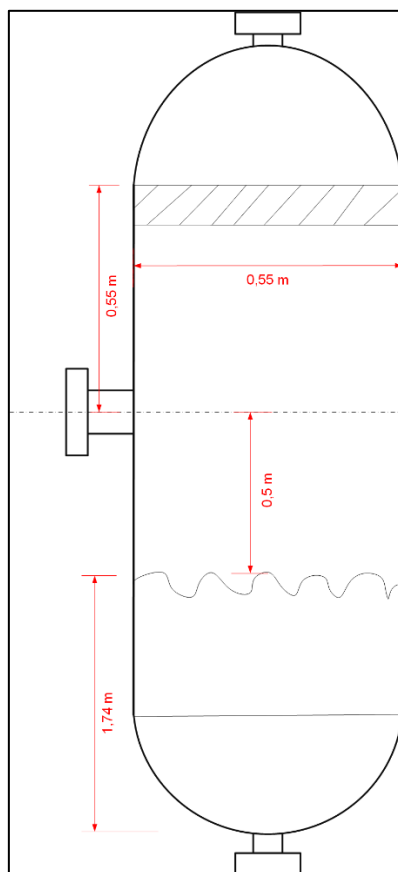
FONTE: HIPER CENTRIFUGATION (2018).

9.7 VASO FLASH

Dimensionou-se o vaso flash, considerando que o mesmo possuía o demister, e então, calculou-se o valor do diâmetro, altura da linha de carga até o demister, altura do nível líquido até a linha de carga, altura do volume do líquido até a linha de carga, aplicando a metodologia exposta por Telles (2012).

O valor calculado do volume do destilador foi de 0,409 m³. Na Figura 48 estão representadas as dimensões do vaso flash.

FIGURA 48 – VASO FLASH



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

9.8 CONDENSADOR

Tendo o calor de troca térmica do etanol no TC-302 calculado pelo balanço de energia e adotando o valor do coeficiente global de troca térmica, segundo o apresentado por Lazarini *et al.* (2016), encontrou-se uma área de troca térmica equivalente a 3,3 m². Para fins de projeto, optou-se por empregar um condensador do tipo casco e tubo, o qual tem a capacidade de troca térmica de 18 kW, atendendo às necessidades da indústria. A Figura 49 ilustra um condensador do tipo casco tubo.

FIGURA 49 – COMDENSAADOR

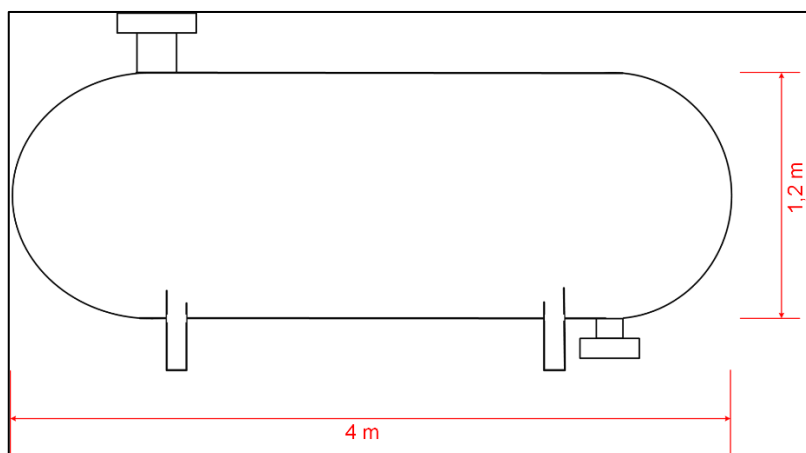


FONTE: ALIBABA (2018b).

9.9 DECANTADORES

Como apresentado anteriormente, o tempo de decantação é de 1h, deste modo, obtendo a vazão volumétrica da corrente de entrada da lavagem, tem-se um volume útil necessário de $4,13 \text{ m}^3$. Utilizando uma proporção comprimento/diâmetro, previamente estimada, de aproximadamente 3,5, o decantador apresentará um diâmetro de 1,2 m e comprimento de 4 m. A Figura 50 a seguir apresenta as dimensões dos decantadores.

FIGURA 50 – DECANTADOR



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018)

9.10 TROCADORES DE CALOR

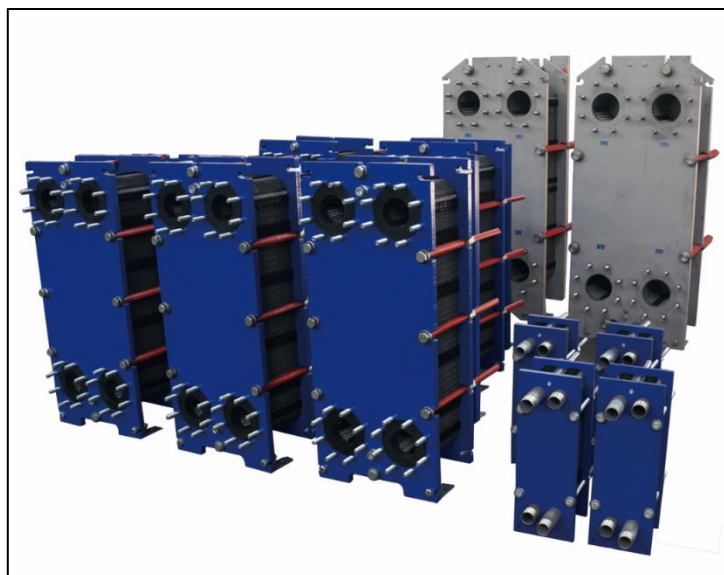
As áreas de troca térmica dos trocadores de calor (Figura 51) foram obtidas de maneira análoga ao condensador. A Tabela 15 apresenta a área de troca térmica requerida de cada trocador no processo.

TABELA 15 – ÁREA DE TROCA TÉRMICA

Trocador	Área de Troca Térmica (m ²)
TC – 101	2,2
TC – 102	0,15
TC – 103	0,005
TC – 104	0,009
TC – 201	1,3
TC – 202	2,15
TC – 301	3,3
TC – 402	0,25
TC – 403	0,25
TC – 501	7,4

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA, 2018.

FIGURA 51 – TROCADOR DE CALOR



FONTE: ALIBABA (2018c).

10 LAYOUT

Um bom planejamento do layout industrial pode trazer vários benefícios à produção, como, reduzir custos, facilitar o controle de estoque, utilizar racionalmente o espaço disponível e viabilizar a supervisão da qualidade do produto final.

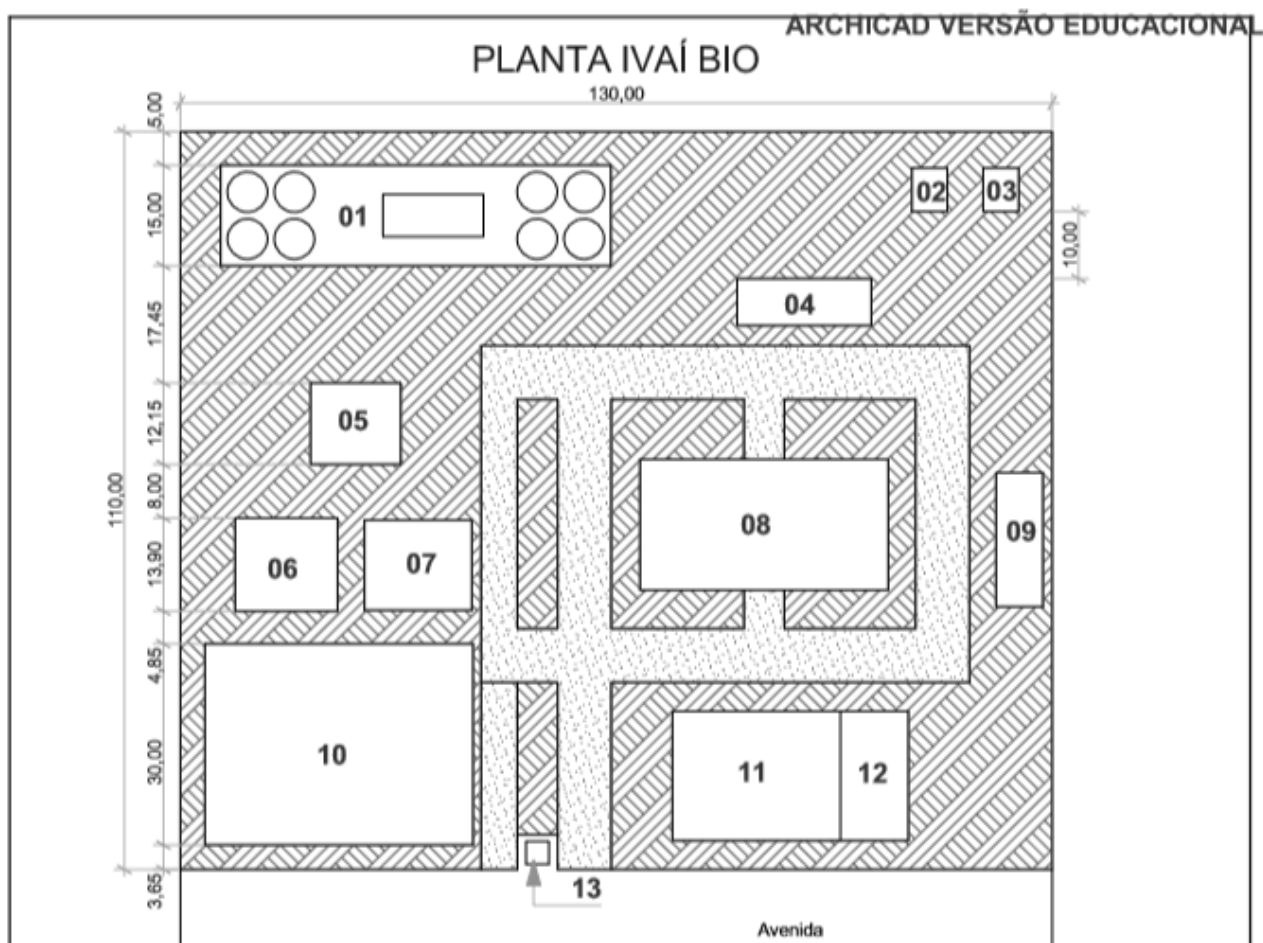
Existem normas que devem ser seguidas para o projeto do layout de uma indústria, entre elas está a NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos – (2010). Nelas são estabelecidos os requisitos mínimos de segurança de trabalho em máquinas e equipamentos de todos os tipos, ponderando, aspectos que vão desde as fases de fabricação à comercialização do produto (ABRAMEQ, 2018).

É exigido pela NR 12: uma distância mínima, entre máquinas e equipamentos, que varie de 0,6 m a 0,8 m, entre partes móveis de máquinas e equipamentos é ordenada uma faixa livre variável de 0,7 m e para as vias principais de circulação a largura mínima deve ser de 1,2 m.

O seguinte layout foi elaborado pelo software ARCHICAD, versão estudantil, respeitando as normas exigidas pela NR 12.

10.1 PLANTA BAIXA E LAYOUT 2D

O Layout da planta de biodiesel, foi definido de maneira a utilizar um menor espaço do terreno e reduzir custos com bombeamento de correntes e, principalmente, produtos e matérias-primas. A imagem, subsequente, apresenta, em um plano 2D, a planta baixa do prédio principal de operações da IvaíBio.



ID	Pavimento	Área
01	Prédio Principal + Tanques de Armazenamento	436,50 m ²
02	Lagoa de Tratamento	34,50 m ²
03	Lagoa de Tratamento	34,50 m ²
04	Posto de Carga	140,00 m ²
05	Laboratório + Controle	163,50 m ²
06	Auditório (150 lugares)	212,70 m ²
07	Administrativo	212,70 m ²
08	Estacionamento Caminhões (10 vagas)	721,50 m ²
09	Posto de Descarga	140,00 m ²
10	Estacionamento Automóveis (55 vagas)	1200,00 m ²
11	Refeitório (180 lugares)	483,50 m ²
12	Cozinha	196,00 m ²
13	Guarita	11,50 m ²

PROJETO

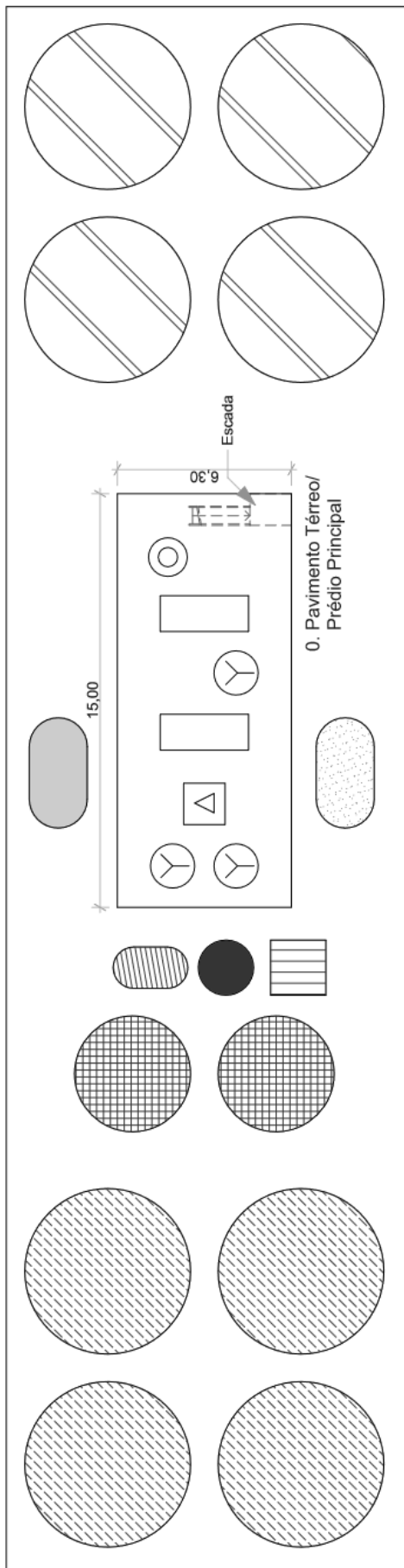
IVAÍ BIO

FASE PROJETO
Planta BaixaESCALA
1:1000

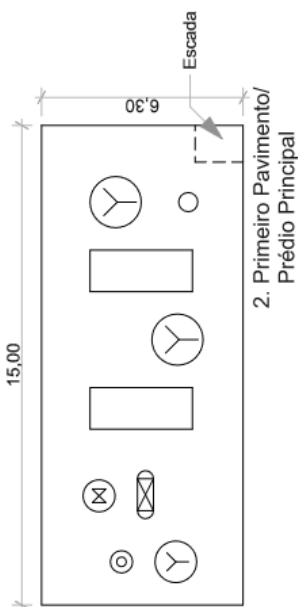
CONTEÚDO

Planta Baixa Ivaí Bio

PRÉDIO PRINCIPAL IVAÍ BIO



1. Pavimento Térreo



LEGENDA	
Tanque de Armazenamento	
	ÓLEO DE SOJA
	ETANOL
	ÁCIDO CLORÍDRICO
	BIODIESEL
	ÁCIDO FOSFÓRICO
	BORRA
	GLICERINA
Equipamentos	
	MISTURADOR
	REATOR PFR
	EVAPORADOR
	REATOR CSTR
	DECANTADOR
	FLASH
	CENTRÍFUGA
	CALDEIRA

PROJETO

IVAÍ BIO

FASE PROJETO
Planta Baixa
CONTEÚDO

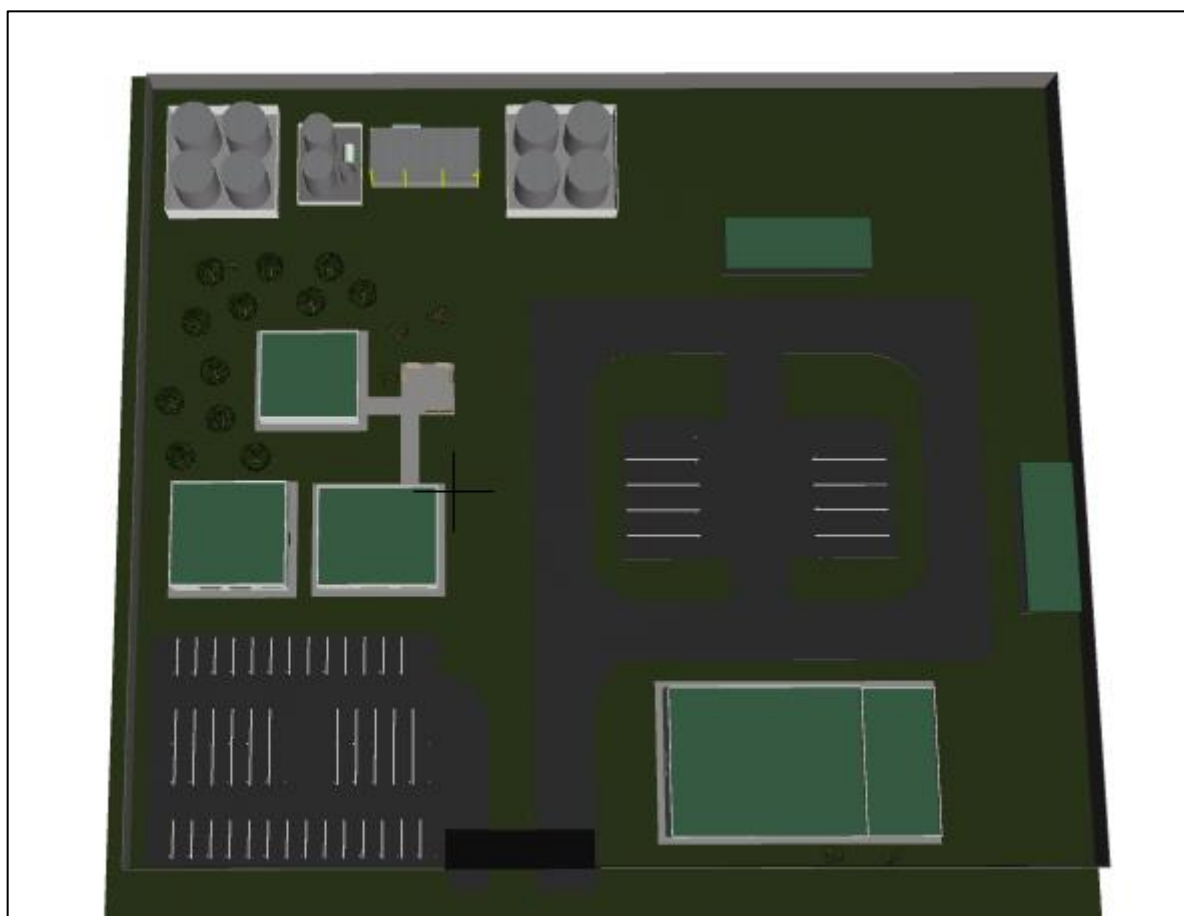
ESCALA
1:200

Prédio Principal + Tanques de Armazenamento

10.2 PLANTA 3D

Para melhor visualizar a indústria, optou-se pela realização da planta 3D da indústria de biodiesel, IvaíBio. Abaixo estarão apresentadas as imagens, de forma ilustrativa, de como a empresa será estruturalmente.

FIGURA 52 – VISÃO GERAL DA INDÚSTRIA IVAÍBIO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

FIGURA 53 – GUARITA DE ACESSO À INDÚSTRIA



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

FIGURA 54 – ESTACIONAMENTO PRINCIPAL IVAÍBIO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

FIGURA 55 – RECEPÇÃO IVAÍBIO



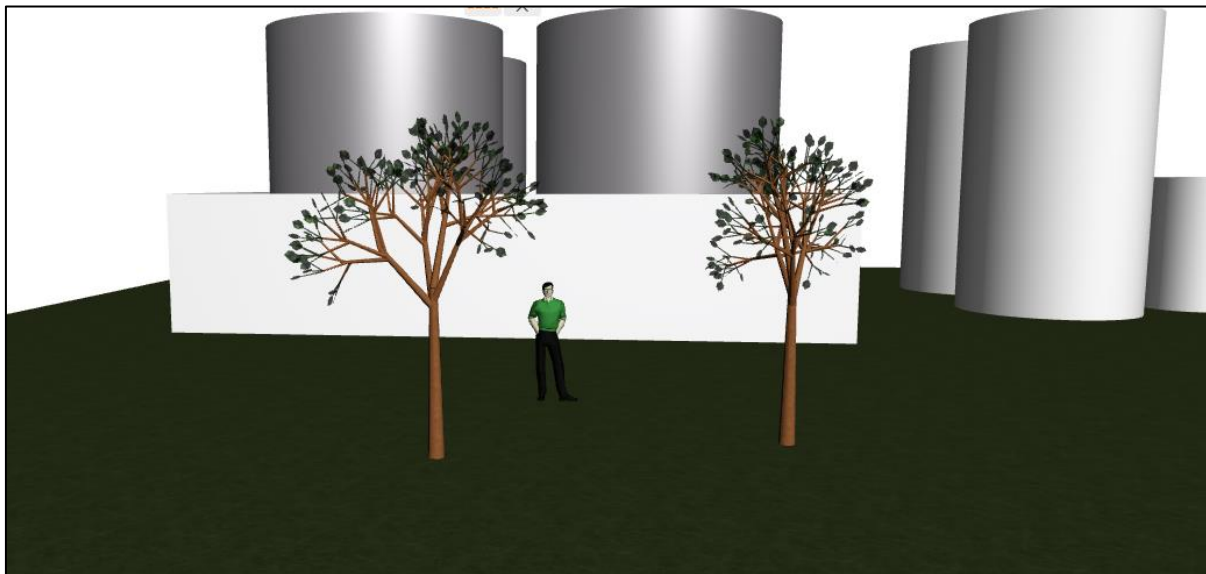
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

FIGURA 56 – VISÃO GERAL DO SETOR DE PRODUÇÃO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

FIGURA 57 – TANQUES DE ARMAZENAMENTOS DAS MATÉRIAS-PRIMAS



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

FIGURA 58 – SALA DE REUNIÃO IVAÍBIO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

FIGURA 59 – SALA DE CONTROLE



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

FIGURA 60 – AUDITÓRIO INTERNO IVAÍBIO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

FIGURA 61 – DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO IVAÍBIO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

FIGURA 62 – REFEITÓRIO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

11 BALANÇO ECONÔMICO

Desde a Revolução Industrial do século XVIII, a viabilidade econômica de um empreendimento se tornou uma análise de suma importância quando se trata de iniciar um projeto. O estudo prévio de gastos e controle com o estoque começa, então, a ganhar espaço na contabilidade empresarial (Martins, 2003).

A análise econômica de um projeto industrial estuda qual o capital de investimento necessário para o empreendimento, apresentando como resultado a taxa de lucratividade, o tempo de retorno do capital investido e se o projeto é ou não viável economicamente. Esta análise para a indústria química é o fator determinante para a certificação da viabilidade de uma rota, uma vez que esta indústria pode ser dividida em duas grandes áreas, a Área de Processo (ISBL – *Insite battery limits*), que abrange os equipamentos de processos e de troca térmica, e a Área de Utilidades (OSBL – *Offsite battery limits*), a qual agrupa as operações de tratamento de efluentes, geração de vapor e qualquer outra que venha a dar suporte à Área de Processos. Representado, em via disto, uma análise mais robusta à luz da contabilidade (YAMAMOTO *et al.*, 2012).

Para a realização desta análise econômica, fez-se o uso do programa financeiro disponibilizado pelo Sebrae MG: “PLANO DE NEGÓCIOS”.

11.1 AVALIAÇÃO DE CUSTOS

O seguinte orçamento foi realizado aplicando a cotação do dólar do mês de maio de 2018, pelo site UOL economia, a qual foi de R\$3,76.

Para avaliar os custos do projeto da planta da IvaíBio, fez-se o estudo seguindo os seguintes processos:

1. Capital Fixo:
 - a. Custo de equipamentos de processo e utilidades;
 - b. Custo com moveis e veículos;
 - c. Construções em geral.
2. Capital de Giro:
 - a. Necessidades financeiras ao longo do tempo.
3. Capital Total Depreciável:
 - a. Custo total do módulo;

- b. Custo de utilidades e instalações
- c. Custos indiretos.

11.2 CAPITAL FIXO

No Capital Fixo (C_f) é contabilizado todo o capital físico que não varia apesar das flutuações no volume de produção durante um ciclo de fabricação. Para a construção de uma nova planta industrial ele compreende o capital despendido para aquisição, preparação, instalação e manutenção do terreno e equipamentos, custo do projeto, pagamento de licenças (YAMAMOTO *et al.*, 2012).

11.2.1 Estimativa dos Custos Fixos

Com a finalidade de levantar preços de equipamentos a serem utilizados na montagem do processo industrial, realizou-se uma pesquisa de campo. Nas tabelas abaixo encontram-se os dados dos fornecedores que disponibilizaram o orçamento de seus equipamentos, todos fornecem seus dados em acesso público. Fez-se estimativas de acordo com os preços obtidos e para evitar danos por ataques de reagentes, a melhor liga metálica para se aplicar na tubulação e nos equipamentos é o aço 316L (ARINOX, 2018).

TABELA 16 – EMPRESAS E EQUIPAMENTOS PESQUISADOS

Empresas	Equipamentos
MFrural	Tanques, reator, misturadores
Chipart	Computadores de alta performance
Epibrasil	EPI
Alibaba	Reator CSTR, misturadores, evaporadores, condensadores
Lubmix	Bombas
HYT International Trade Co	Tubulação
Hiper Centrifugation	Misturadores, centrífuga

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

A Tabela 17 apresenta a relação entre os fornecedores e matéria-prima, utilizando-se, também, páginas de domínio público para a cotação de matéria-prima, e na Tabela 18 é apresentada a cotação dos equipamentos.

TABELA 17 – EMPRESAS E MATÉRIAS-PRIMAS

Empresa	Matéria Prima
Mfrural	Óleo de Soja Bruto
Kemcore	Ácido Fosfórico, Ácido Clorídrico, NaOH
Sanepar	Água
Notícias Agrícolas	Etanol

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

TABELA 18 – PREÇOS DOS EQUIPAMENTOS

Equipamento	R\$ / Unidade	Preço R\$	Especificação	Quantidade
Bomba (Água)	7.550	22.651	35 lpm - 3/4 pol	3
Bomba (Óleo)	17.472	69.888	140 lpm - 1.1/2 pol	4
Caldeira	1.500.000	1.500.000	700 kg de Vapor e 20 bar	1
Carro	40.000	80.000	Compacto Popular	2
Centrífuga	380.000	380.000	7,5 CV 220/380V	1
Computador	3.500	10.500	Computador de Alta Performance	3
Condensador	1.880	1.880	Refrigerado a Água.	1
Decantador	65.000	260.000	65 m ³	4
Destilador	17.846	17.847	Vaso Flash	1
Evaporador (H - 101)	131.000	131.600	Simple Efeito	1
Evaporador (H - 501)	90.582	90.581,82	Simple Efeito	1
Mesas	200	5.000	Para Refeitório	25
Misturador	58.000	348.000	20 CV 220/380 V	6
Ônibus	400.000	400.000	Marcopolo	1
Reator (R - 201)	150.000	150.000	Mistura Perfeita	1
Reator (R - 202)	200.000	200.000	Pistonado	1
Tanque de Ácido Fosfórico	65.000	65.000	65 m ³	1
Tanque de Biodiesel	200.000	800.000	200 m ³	4
Tanque de Etanol	200.000	400.000	200 m ³	2
Tanque de Ácido Clorídrico	65.000	65.000	65 m ³	1
Tanque de Óleo de Soja	200.000	800.000	200 m ³	4
Trocador de Calor	5.000	50.000	Tipo Placa, 25 bar	10
Tubulação	19.459	29.1878	Aço 316 L, Sch 10s, com 1,5 Pol.	1,5 t
Total	-	6.086.338	-	-

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

11.3 CAPITAL DE GIRO

11.3.1 Estoque Inicial

O estoque inicial deve ser feito com uma quantidade mínima de matéria-prima para começar a produção. Para fins de projeto, determinou-se o estoque inicial conforme a Tabela 19 abaixo.

TABELA 19 – ESTOQUE INICIAL DE MATÉRIA PRIMA

Matéria-Prima	Estoque	R\$/Kg	Total (R\$)
Óleo De Soja	1000000	0,57	570000,00
Etanol	500000	2,33	1150000,00
Ácido Fosfórico 85%	10000	3,35	33500,00
Soda Cáustica 99%	10000	2,83	28300,00
Ácido Clorídrico 35%	10000	0,62	6200,00
Água	10000	0,01	100,00
Total	1540000	-	1788100,00

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

11.3.2 Caixa Mínimo

O caixa mínimo é referente à soma do tempo mínimo retido para pagamentos de compra e recebimento das vendas. Para determiná-lo, deve-se estimar um tempo médio do prazo de recebimento e o tempo de estoque da matéria prima. Assim é possível ter conhecimento de quanto deve ficar retido em caixa, para que a indústria não sofra com imprevistos. O prazo de venda é descrito pela Tabela 20.

TABELA 20 – TEMPO MÉDIO DE RECEBIMENTO DAS VENDAS

Produto	Porcentagem da Produção (%)	Dias de Saída	Média em Dias
Biodiesel	88,75	1	0,89
Glicerina	9,91	2	0,20
Borra	1,34	10	0,13
Total	100	-	1,22

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

Segundo a Tabela 20, necessita-se de mais de 1,22 dias de caixa, desta forma, para a venda de produtos o caixa mínimo é de 2 dias.

A Tabela 21 apresenta o prazo médio de compra de matérias-primas.

TABELA 21 – TEMPO MÉDIO DE PAGAMENTO DAS COMPRAS

Produtos para Venda	Fração de Componente	Dias	Médias Ponderada em Dias
Óleo de Soja	0,676	1	0,676
Etanol	0,273	1	0,273
Soda Cáustica	0,009	10	0,089
Ácido Clorídrico 35%	0,001	10	0,007
Ácido Fosfórico 85%	0,005	10	0,045
Água	0,036	1	0,036
Total	100	-	1,12

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

Pela Tabela 21, o tempo de pagamento das matérias-primas é de 1,12 dias, ou seja, 2 dias. Assim, tem-se que o caixa móvel é de 4 dias.

11.4 Investimento Pré-Operacional

Refere-se ao investimento do capital necessário para iniciar uma atividade. Ele compreende todos os gastos requeridos antes de iniciar um negócio, sendo eles, gastos com terrenos, obras e legalizações, entre outras despesas.

Para o projeto deste trabalho considerou-se os parâmetros apresentados na Tabela 22.

TABELA 22 – VALORES DOS INVESTIMENTOS PRÉ-OPERACIONAIS

Tipo De Investimento	Valor (R\$)
Despesas Com Legalização	100000,00
Obras Civas E Ou Reformas	46000,00
Cursos E Treinamento	28500,00
Outras Despesas	191000,00
Total	365500,00

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

11.5 INVESTIMENTO TOTAL

O investimento total compreende a soma dos parâmetros citados anteriormente, custo fixo, capital de giro e investimentos pré-operacionais.

Na Tabela 23 estão dispostos os valores referentes a cada parâmetro e a porcentagem representativa de cada um deles em relação ao custo do investimento total.

TABELA 23 – INVESTIMENTO TOTAL

Investimento	Valor (R\$)	(%)
Investimentos Fixos	6086337,85	69,55
Capital de Giro (Estoque Inicial + Caixa Mínimo)	2260414,29	26,28
Investimentos Pré-Operacionais	365500,00	5,85
Total	8712252,14	100

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

Como é apresentado, tem-se que o investimento inicial para abrir a IVAÍBio é de R\$ 8712252,14.

11.6 CAPITAL TOTAL DEPRECIÁVEL

Com o uso dos equipamentos, estes vão se desgastando, assim há uma despesa com manutenção e vida útil, este gasto é chamado de capital depreciável (SEBRAE, 2018). O tempo de vida útil e o total de depreciação estão apresentados na Tabela 24.

TABELA 24 – DEPRECIAÇÃO DOS ATIVOS

Ativos Fixos	Valor do Bem (R\$)	Vida Útil (anos)	Depreciação Anual (R\$)	Depreciação Mensal (R\$)
Máquinas e Equipamentos	5.590.837,85	10	559.083,78	46.590,32
Móveis e Utensílios	5.000,00	10	500,00	41,67
Veículos	480.000,00	5	96.000,00	8.000,00
Computadores	10.500,00	10	1.050,00	87,5
Total	-	-	656.633,78	54.719,49

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

11.7 TAXA IMPOSTOS DE PRODUÇÃO

Em uma empresa são cobrados impostos que dependendo da natureza desta, envolvem impostos de cunho federal, estadual e municipal. Para uma empresa de

biodiesel são cobrados os impostos referentes à produção conforme a Tabela 25, na qual está apresentado o valor da taxa sobre a produção de cada imposto (PORTALTRIBUTARIO, 2018; VALOR TRIBUTARIO, 2018; SAGE BLOG, 2017).

TABELA 25 – RELAÇÃO DE TRIBUTOS SOBRE A PRODUÇÃO.

Tributo	Taxa (%)
IRPJ (Federal)	15
PIS (Federal)	1,6
CONFINS (Federal)	7,6
IPI (Federal)	Isento
CSLL (Federal)	12
ICMS(Estadual)	18

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

CONFINS – Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social. É um encargo federal que incide sobre a receita bruta das empresas, direcionado à receita da previdência (LIMA, 2016).

CSLL – Contribuição Social sobre o Lucro Líquido. É o imposto que prevê a manutenção da seguridade social (QUICKBOOKS, 2018).

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços. É o imposto referente à circulação de mercadorias, à prestação de serviços de transporte e comunicação. A taxa é estabelecida pelos governos estaduais, relativa segundo o tipo de produto e o senado tem a responsabilidade de emitir as alíquotas máximas aplicada nas operações. A receita recolhe, apenas, o imposto aplicado ao óleo diesel (LIMA, 2016).

IPI – Imposto sobre Produtos Industriais. Incide sobre produtos industrializados, nacionais e estrangeiros. (PORTAL TRIBUTARIO, 2017).

IRPJ – Imposto de Renda sobre Pessoa Jurídica. Aplicado a empresas individuais e pessoas jurídicas, é um imposto federal sobre o lucro (DICIONARIO FINANCEIRO, 2018).

PIS/PASEP – A Contribuição para os Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público. Assim como CONFINS é um encargo direcionado à receita da previdência.

11.8 CUSTO UNITÁRIO

É o custo referente à produção de uma unidade de um determinado produto, no caso em estudo, do biodiesel.

Relacionando a quantidade de massa produzida em uma hora e a quantidade de matéria prima (MP) utilizada no processo, é possível inferir o preço do quilograma do biodiesel. Na Tabela 26 está apresentado o gasto com cada matéria prima para a produção de 90 m³ de biodiesel.

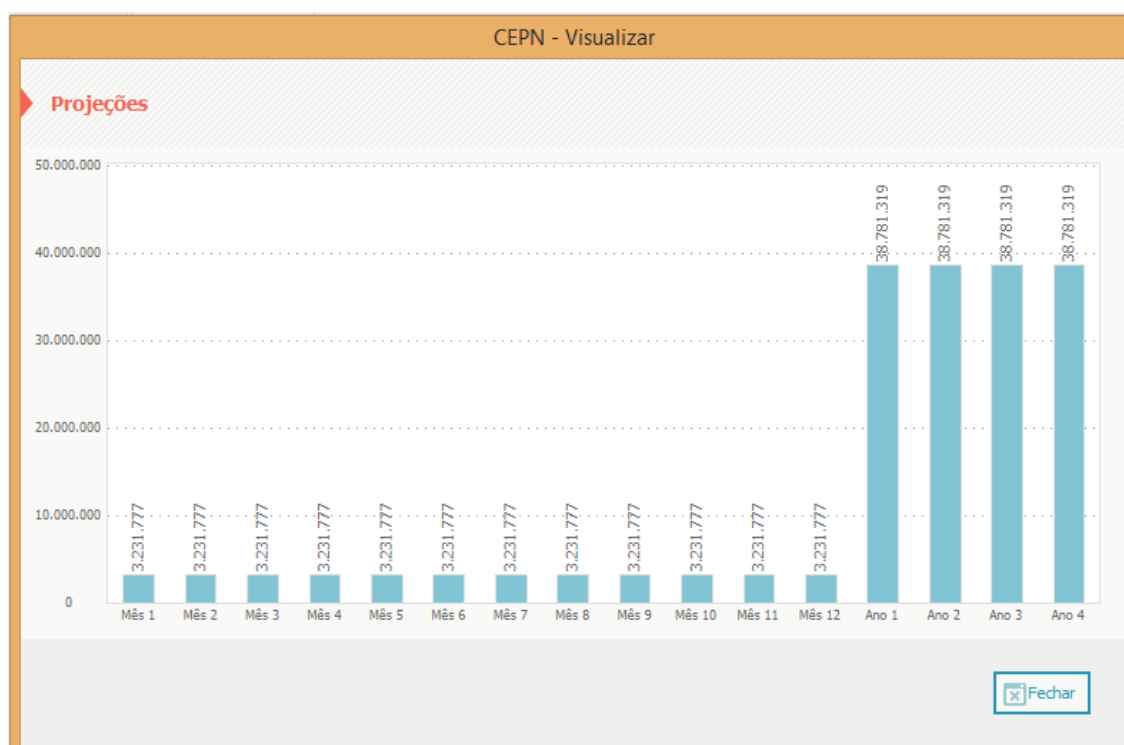
TABELA 26 – PREÇO DA MATÉRIA-PRIMA E FRAÇÃO UTILIZADA

Matéria-Prima	R\$ / kg de MP	Fração de MP
Óleo de Soja Bruto	0,57	0,68
Etanol	2,33	0,27
NaOH	2,83	0,0089
HCl 35%	0,62	0,0007
H ₃ PO ₄ 85%	3,35	0,0045
Água	0,01	0,04
Total	-	1,00

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

Utilizando as informações apresentadas na tabela acima, o aplicativo realiza a projeção dos gastos com matéria-prima, mensal e anual, tendo uma despesa mensal equivalente a R\$ 3.231.777, 00 e anual de R\$ 38.781.319,00. O gráfico com estas informações está apresentado na Figura 63 a seguir.

FIGURA 63 – PROJEÇÃO DOS GASTOS COM MATÉRIA-PRIMA



FONTE: RECORTE DO APLICATIVO SEBRAE (2018)

Com as informações de consumo de matéria-prima para a produção do biodiesel, é possível obter o preço de sua produção, neste caso, ainda sem considerar os impostos sobre o preço do produto. Estas informações são expostas na Tabela 27.

TABELA 27 – COMPOSIÇÃO DO PREÇO DO BIODIESEL (SEM OS IMPOSTOS)

Matéria Prima (MP)	R\$ / kg de MP	kg de MP / kg biodiesel	Total (R\$)
Óleo de Soja Bruto	0,57	0,91	0,52
Etanol	2,30	0,37	0,85
NaOH	2,83	0,01	0,03
HCl 35%	0,62	0,001	0,00
H ₃ PO ₄ 85%	3,35	0,003	0,00
Água	0,01	0,49	0,00
Total	-	-	1,40

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

O biodiesel, neste processo, custa cerca de R\$ 1,40 por quilograma ou R\$ 1,19 por litro, sem considerar os impostos. Considerando os impostos, PIS/PASEP e CONFINS, cerca de R\$ 0,15 são adicionados ao preço do litro do biodiesel, então, o

valor de produção passa de R\$ 1,19 para R\$ 1,34 considerando os impostos (LIMA, 2016).

11.9 FATURAMENTO MENSAL

O faturamento mensal é medido pela quantidade de produtos vendidos ao longo de um mês. Por uma longa pesquisa de mercado, tem-se que os preços de venda da glicerina e da borra são respectivamente, R\$ 1,40 e R\$ 0,41, por quilo, produtos estes gerados durante a etapa de produção do biodiesel. Devido as grandes flutuações de mercado, o biodiesel possui a maior variação de preço, mas este deve possuir um preço inferior ao seu concorrente, diesel mineral, no caso para o Paraná, deve estar abaixo dos 3 reais o litro (BIOMERCADO, 2018; HAAS, 2005; ANP, 2018).

Como os gastos são feitos de acordo com a quantidade em quilograma, a venda do biodiesel deve ser calculada também nesta grandeza. Visando uma produção diária de 90 m³ de biodiesel, estipula-se um valor de venda de R\$ 2,74 o litro, ou seja, R\$ 3,21 o quilograma. A Tabela 28, abaixo, mostra o faturamento mensal.

TABELA 28 – FATURAMENTO PELA VENDA DOS PRODUTOS

Produto	kg por Mês	R\$ / kg Produto	Faturamento Mensal
Biodiesel	2.303.640	3,21	7.394.684,40
Borra	3.4920	0,41	14.317,20
Glicerina Loira	257.138	1,40	359.993,20
Total	2.595.698	-	7.768.994,80

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

11.10 CUSTOS E DESCRIÇÃO DOS CARGOS

Segundo o artigo 7º da Constituição da República Federativa do Brasil, o período estabelecido em contrato pela empresa, que deve ser cumprido pelo empregado, compreende a jornada de trabalho. Salvo em casos especiais, a legislação trabalhista estabelece 8 horas diárias e 44 horas semanais como a jornada normal de trabalho, sendo facultativo a compensação ou redução da jornada através de acordos ou convenções. É exigido, também, segundo este mesmo artigo, repouso semanal remunerado, preferencialmente aos domingos (BRASIL, 1943).

Deste modo, o organograma da empresa foi dividido em duas grandes áreas, administrativa e de produção, tendo a atuação do administrativo de segunda a sexta no horário comercial e da produção de segunda a domingo intercalado em 4 períodos, das 00 horas às 6 horas, das 6 horas às 12 horas, das 12 horas às 18 horas e das 18 horas às 24 horas. A Tabela 29, abaixo, apresenta a divisão da carga horária de trabalho semanal, admitindo uma hora e meia de intervalo para turnos de mais de 6 horas diárias e de 20 minutos para o turno de 4 a 6 horas diárias.

TABELA 29 – CARGA HORÁRIA SEMANAL

Turno	Administrativo	1º Horário	2º Horário	3º Horário	4º Horário
2ª feira	8:00 às 18:00	00:00 às 6:00	6:00 às 12:00	12:00 às 18:00	18:00 às 24:00
3ª feira	8:00 às 18:00	00:00 às 6:00	00:00 às 6:00	12:00 às 18:00	18:00 às 24:00
4ª feira	8:00 às 18:00	00:00 às 6:00	00:00 às 6:00	12:00 às 18:00	18:00 às 24:00
5ª feira	8:00 às 18:00	00:00 às 6:00	00:00 às 6:00	12:00 às 18:00	18:00 às 24:00
6ª feira	8:00 às 18:00	00:00 às 6:00	00:00 às 6:00	12:00 às 18:00	18:00 às 24:00
Sábado	-	00:00 às 6:00	00:00 às 6:00	12:00 às 18:00	18:00 às 24:00
Domingo	-	00:00 às 6:00	00:00 às 6:00	12:00 às 18:00	18:00 às 24:00
Total de horas	42,5	40,4	40,4	40,4	40,4

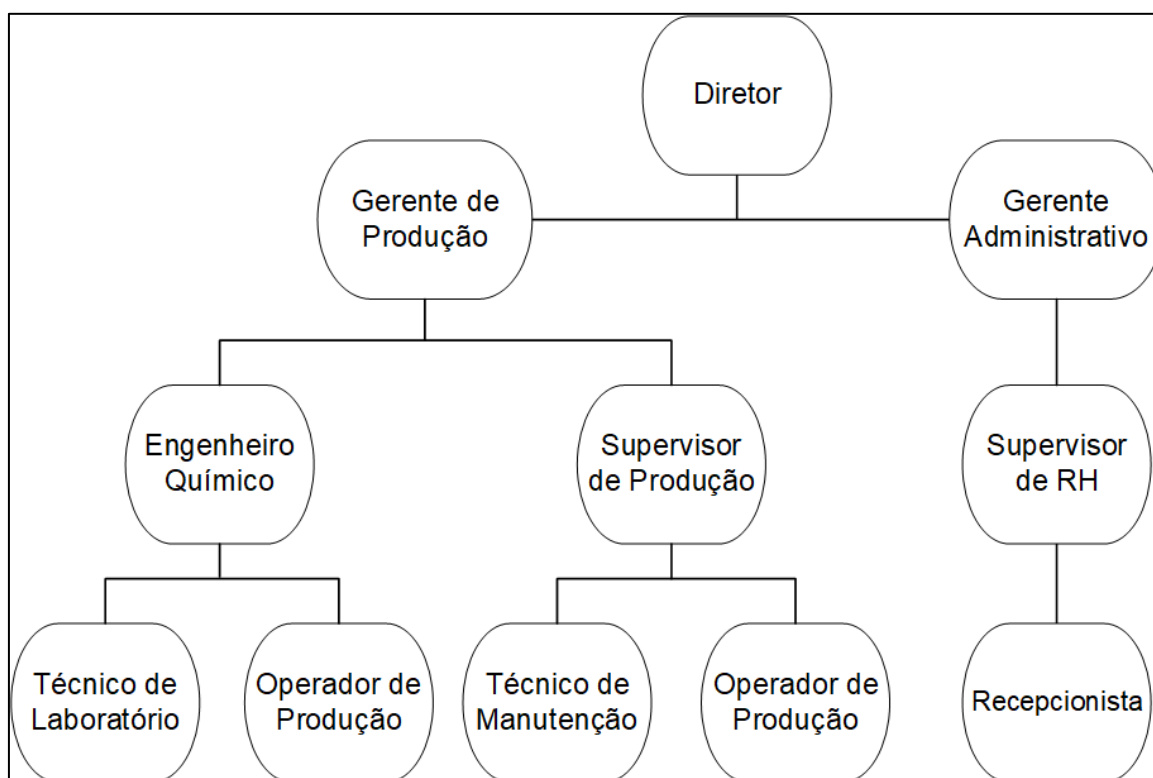
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018)

Estipulou-se que haverá 24 operadores de produção, divididos entre os turnos, sendo dez desses colaboradores trabalhando no período noturno, cinco no 1º horário e cinco no 4º horário, e os demais no período diurno, sete em cada turno. Definiu-se, também, que durante o funcionamento da indústria deve haver, no mínimo, um técnico de manutenção por turno, desta forma dois estarão trabalhando nos períodos diurnos e dois nos períodos noturnos.

Para funcionários que trabalham no período noturno, segundo o artigo 73 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), é garantido por lei um acréscimo de 20% na remuneração normal (BRASIL, 1946), e segundo Zanluca (2018), o total de encargos sociais no salário mensal de um funcionário é de 68,17%. Para reduzir os gastos com salários e encargos, optou-se por empregar um engenheiro químico cuja a formação também possua uma especialização em engenharia de segurança do trabalho, oferecendo um salário de R\$ 8.849,00, incremento de 3 mil reais ao valor de mercado.

O organograma da IvaíBio está apresentado na Figura 64 e os salários e quantidade total de funcionários estão expostos nas Tabelas 30 e 31.

FIGURA 64 – ORGANOGRAMA DA IVAÍBIO



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

TABELA 30 – CARGOS E SALÁRIOS DA DIREÇÃO E ÁREA ADMINISTRATIVA

Cargo	Funcionários	Salário Mensal (R\$)	Salário Total + Encargos (R\$)
Diretor Executivo	1	17345,00	29169,25
Gerente Administrativo	1	3269,00	5497,48
Supervisor de RH	1	3599,00	6052,44
Recepcionista	1	1076,00	1809,51
Total	4	25292,00	42528,68

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

TABELA 31 – CARGOS E SALÁRIOS DA ÁREA DE PRODUÇÃO

Cargo	Funcionários	Salário s/ Encargos (R\$/mês)	Salário Total c/ Encargos (R\$/mês)
Gerente de Produção	1	7369,00	12392,45
Engenheiro Químico	1	8849,00	14881,36
Supervisor de Produção	1	4602,00	7741,23
Técnico de Laboratório	3	1217,00	6139,89

(continua)

(conclusão)

Cargo	Funcionários	Salário s/ Encargos (R\$/mês)	Salário Total c/ Encargos (R\$/mês)
Técnico de Manutenção	2	1942,00	6531,72
Técnico de Manutenção Noturno	2	2332,40	7844,79
Operador de Produção	14	1154,00	27169,54
Operador de Produção Noturno	10	1384,80	23288,18
Total	34	28850,20	105989,16

FONTES: AUTORIA PRÓPRIA (2018)

Deste modo, o gasto salarial com os funcionários será de R\$ 148517,84 com um total de 38 empregados. As descrições dos cargos estão apresentadas nas sessões a seguir.

11.10.1 Diretor

Dentro de uma indústria o Diretor é responsável por organizar, planejar e orientar as atividades dos demais setores, buscando soluções e estratégias para melhorar o seu negócio. Ele também desenvolve e identifica oportunidades e viabilidade de novos investimentos (INFOJOBS, 2018).

11.10.2 Gerente Administrativo

O Gerente Administrativo é o responsável pela supervisão do andamento da empresa. Atua na gestão de equipe supervisionando o setor financeiro de compras e vendas, o departamento pessoal, representado pelos recursos humanos, o setor de marketing e auxilia o diretor na administração da empresa em questões jurídicas. Ele deve prestar relatórios ao diretor geral e trabalhar o perfeito funcionamento dos setores administrativo, uma vez que a indústria é altamente dependente do seu bom funcionamento (INFOJOBS, 2018).

11.10.3 Supervisor de RH

É o profissional responsável por dirigir a área de recursos humanos (RH), a qual engloba o recrutamento, seleção e treinamento dos novos membros, bem como benefícios e registros. Ele atua na política de cargos e salários, avaliação de desempenho, clima organizacional, segurança e medicina operacional, coordenação,

elaboração e manutenção de cargos e salários e supervisiona as atividades terceirizadas (INFOJOBS, 2018).

11.10.4 Recepcionista

Este profissional é responsável pelo atendimento ao público nas recepções, atender ligações e anotar recados, bem como encaminhar para funcionários qualificados em responder, receber visitas, realizar o controle e requerimento de compra de materiais de escritório, higiene e copa, gerir a agenda da diretoria, arquivar documentos e marcar reuniões dos diversos setores (INFOJOBS, 2018).

11.10.5 Gerente de Produção

O Gerente de Produção deve assegurar o cumprimento das metas de produção, garantindo os padrões de qualidade, quantidade, custo e prazos. Ele busca a melhor forma de empregar a Gestão de Qualidade para melhorar os seus produtos, gerencia diretamente os supervisores responsáveis pela produção e os operadores de máquinas, coordena o departamento de materiais para programar a produção diária, supervisiona e planeja as manutenções, bem como a necessidade de produtos e mão-de-obra (INFOJOBS, 2018).

11.10.6 Engenheiro Químico

O Engenheiro Químico atua na criação e aprimoramento dos produtos da empresa, é responsável por introduzir novas tecnologias que objetivem melhorias nos processos de fabricação e administra equipes das diversas etapas de produção, supervisionando e planejando as operações industriais (CATHO, 2018).

11.10.7 Supervisor de Produção

Acompanha e supervisiona a execução dos programas de produção, analisando criticamente o desempenho desta área e recomendando ações, dispositivos e equipamentos que visem o melhor desempenho, custo e qualidade do produto fabricado. Este profissional deve garantir que não falte ou sobre matéria-

prima, deste modo, é incumbido de controlar o volume correto de estoque, participa de reuniões referentes ao andamento dos trabalhos e metas elaborando um plano de ações para corrigir possíveis falhas ou alterações no cronograma da empresa, elabora relatórios do sistema de qualidade e acompanha os treinamentos dos subordinados (INFOJOBS, 2018).

11.10.8 Operador de Produção

O Operador de Produção trabalha na linha de produção, podendo atuar desde o cuidado com a entrada de matéria-prima, passando pelo comando máquinas, válvulas e demais equipamentos, até a retirada do produto final, seguindo sempre orientações dos superiores da área (INFOJOBS, 2018).

11.10.9 Técnico de Manutenção

Este profissional realiza as manutenções preventivas e corretivas das máquinas e equipamentos, efetua diagnósticos e instalações de sistemas, acompanhando o cronograma de execução de serviços (CATHO, 2018).

11.10.10 Técnico de Laboratório

Dentro da indústria, o Técnico de Laboratório é responsável encarregado das análises físico-químicas laboratoriais que visem certificar que o produto fabricado está dentro das normas técnicas exigidas (CATHO, 2018).

11.11 PREVISÃO DE CUSTOS E DESPESAS

Para a previsão dos custos e despesas do projeto, considerou-se a depreciação dos ativos fixos, salários e despesas mensais com internet, energia elétrica, serviços terceirizados, IPTU, etc. Os dados estão apresentados na Tabela 32, a seguir.

TABELA 32 – CUSTO MENSAL

Descrição	Custo
IPTU	2.000,01
Energia Elétrica	10.000,00
Telefone+ Internet	200,00
Manutenção dos Equipamentos	5.000,00
Salários + Encargos	148.508,66
Material de Limpeza	100,00
Serviços Terceirizados	3.000,00
Cavaco para Caldeira	811,20
Depreciação	54.719,49
EPI	8.478,40
Total	232.817,76

FONTES: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

Como apresentado acima, tem-se que o custo médio mensal da IVAÍBio é de R\$ 232817,76.

11.12 FINANCIAMENTO

Analisando todo o balanço financeiro da indústria, definiu-se que o financiamento será pago com a proposta do BNDES, visando atender uma empresa de médio porte (de 4,8 milhões até 300 milhões de reais de lucro bruto por ano).

Para empresas produtoras de biodiesel o investimento a Taxa Longo Prazo (TLP) é a que melhor se aplica. No caso da indústria projetada, o tipo de investimento será este, o qual é disposto em duas partes, a parte fixa, que se mantém desde a contratação do financiamento até a parcela final, e a parte móvel que se ajusta conforme a inflação. A utilização da TLP se justifica, pois possui uma taxa de juros fixa do começo ao fim, facilitando o investimento, por causa da sua estabilidade (BNDES, 2018).

Na própria página da rede do BNDES está disponível uma planilha na qual é possível simular o investimento da TLP. Definiu-se que o investimento inicial será de R\$ 875.163,05 de capital obtido por investidores e de R\$ 10.000.000,00 de capital bancário do BNDES, valor um pouco superior ao necessário para iniciar a indústria, mas que procura prever imprevistos com oscilações do mercado. Propôs-se uma carência de 2 anos, um pagamento das amortizações a cada mês e pagamento mensal dos juros, diminuindo os juros acumulados. Todo o financiamento será pago

em 10 anos a partir das taxas atuais do BNDES, que estão apontadas conforme na tabela a baixo (BNDES,2018).

TABELA 33 – TAXAS APLICADAS AO EMPRESTIMO BANCÁRIO DO BNDES

Nome da taxa	Taxa (%)
IPCA ajustado à periodicidade de pgto	2,23
Fator Anual = Alfa x Juro Real x Spread	4,75
Fator ajustado à periodicidade de pgto de juros	2,35

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

IPCA – Índice nacional de Preços ao Consumidor Amplo. Índice usado para corrigir as variações do mercado causadas pela inflação.

Alfa – Fator de redução da taxa de juro real; este fator serve para ajustar melhor à idealidade mesmo com a variação proposta pela inflação do mercado.

Juro Real – taxa de juros bancária determinado pelo Banco Central.

Spread – soma dos juros finais mais a remuneração.

Fator anual – a taxa de juros empregada pelo alfa, juros real e spread para facilitar os cálculos.

Fator Ajustado – fator aplicado sobre o fator anual que prevê o pagamento dos juros, pode ser feita de maneira mensal, bimestral ou semestral, variando de acordo com o financiamento, para o presente estudo será mensal.

Conforme o calculado pela simulação fornecida do BNDES, o valor dos juros mensal é de R\$ 75.669,00, no período de carência, e diminui de acordo com o pagamento do financiamento, e o valor das amortizações é de R\$ 104.167,00, sendo constante do término do período de carência ao término do período de financiamento.

11.13 FLUXO DE CAIXA

Considerando as despesas e os ganhos inseridos durante toda esta análise financeira é possível estimar o lucro da empresa. Este lucro é obtido pela diferença entre a margem de contribuição e os custos fixos, a margem de contribuição, por sua vez, é calculada pela diferença entre a receita total e o total de custos variáveis. Este balanço está apresentado na tabela subsequente.

TABELA 34 – BALANÇO ECONÔMICO

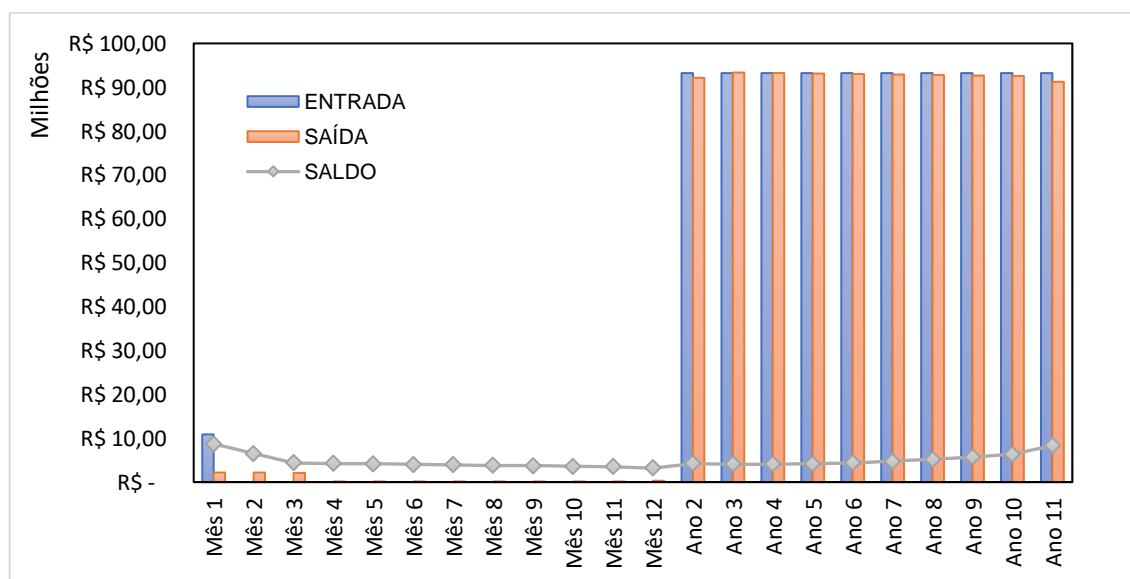
Descrição	Valor Mensal (R\$)	Valor Anual (R\$)	(%)
Receita Total	7.768.994,80	93.227.937,60	100
Total de Custos Variáveis	7.442.571,74	89.310.860,88	95,80
Margem de Contribuição	326.423,06	3.917.076,72	4,20
Custos Fixos Totais	232.817,76	2.793.813,12	3,00
Lucro	93.605,30	1.011.365,88	1,20

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

Após a análise observa-se que a indústria possui uma lucratividade de 1,2%. Por meio do aplicativo, tem-se, também, que a empresa apresenta rentabilidade de 12,83 % e um prazo de retorno dos investimentos de 7 anos e 10 meses, com ponto de equilíbrio de R\$ 66.493.830,43.

A imagem abaixo, apresenta o gráfico do fluxo de caixa da IVAiBio.

FIGURA 65 – FLUXO DE CAIXA



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

12 CONCLUSÃO

A IvaíBio, por fortalecer fatores que facilitam a logística da indústria, como local de implantação, escolha da matéria-prima e capacidade produtiva, terá um retorno econômico positivo após sete anos desde o investimento.

Embora a alta carga tributária seja um empecilho na dinamicidade do projeto, devido à flutuação do preço da matéria-prima, existem meios de retomar o destaque e a excelência de um processo inviabilizado, através de planejamentos futuros e estratégias de produção bem estruturadas.

Com base nos resultados obtidos pelos balanços de massa e energia do processo de produção do biodiesel, verifica-se que além do comércio deste, ainda há dois subprodutos que possuem grande valor comercial e que podem ser vendidos devido à quantidade significativa produzida diariamente e impactar diretamente no lucro da empresa, são estes: a borra do processo de degomagem do óleo bruto e a glicerina loira obtida pelo processo de purificação do produto.

Ademais, com o objetivo de reduzir custos operacionais e emissão de GEE, a integração energética surge como uma alternativa. Os aproveitamentos das correntes quentes e frias do processo resultam em economias de 79,3 e 74,2%, respectivamente, evidenciando, dessa forma, a importância do planejamento dessa metodologia.

O dimensionamento e a determinação dos equipamentos da IvaíBio foram realizados levando em consideração fatores de segurança e visando o aumento de sua capacidade produtiva ao decorrer dos anos, em consequência do mercado crescente dos biocombustíveis que, como uma das mais conjecturadas perspectivas futuras, tendem a substituir cada vez mais combustíveis fósseis e se tornar a matriz energética nacional.

Por fim, a IvaíBio visa por excelências de produção, tornando suas políticas sociais e ambientais transparentes. O presente trabalho foi integralmente desenvolvido tomando como base a sustentabilidade comprometida com gerações futuras e iniciativas inovadoras, seguindo valores, missões e visões propostas pela empresa.

REFERÊNCIAS

ABIOVE. **Produção de Biodiesel por matéria-prima**. 2017. Disponível em <<http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=>>. Acesso em 10 set. 2017.

ABRAMEQ. **NR 12 – O que é**. 2018. Disponível em: <<http://www.abrameq.com.br/pt/nr12-o-que-e>>. Acesso em: 9 jun. 2018.

ABRAMOVAY, Ricardo (Org). **Biocombustíveis: a energia da controvérsia**. São Paulo, SP: SENAC São Paulo, 2009. 184 p.

ALIBABA. **China Sondex Plate Heat Exchanger Price With Model S86**. 2018c. Disponível em: <https://www.alibaba.com/product-detail/China-Sondex-Plate-Heat-Exchanger-Price_60244799013.html?spm=a2700.8443308.0.0.16752568uG1sX7>. Acesso em: 9 jun. 2018.

ALIBABA. **China Sondex Plate Heat Exchanger Price With Model S86**. 2018c. Disponível em: <https://www.alibaba.com/product-detail/China-Sondex-Plate-Heat-Exchanger-Price_60244799013.html?spm=a2700.8443308.0.0.16752568uG1sX7>. Acesso em: 9 jun. 2018.

ALIBABA. **High Quality Industrial Wiped Thin Film Evaporator**. 2018a. Disponível em: <<https://portuguese.alibaba.com/product-detail/high-quality-industrial-wiped-thin-film-evaporator-60706030484.html?s=p>>. Acesso em: 9 jun. 2018.

ALIBABA. **Shell and Tube Type Heat Exchanger Industrial Condenser Price for Water Chiller**. 2018b. Disponível em: <<https://portuguese.alibaba.com/product-detail/shell-and-tube-type-heat-exchanger-industrial-condenser-price-for-water-chiller-60671254521.html>>. Acesso em: 9 jun. 2018.

ALTIN, R.; ÇENTIKAYA, S.; YUCESU, H. S.; **Energy Conversion and Management**. 2000.

ALVARENGA, Carlos E. Fichas Catalográficas Hiper Centrifugation. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <bruno_del_rio@hotmail.com> em 8 jun. 2018.

ALVES, Andressa Aparecida; PACHECO, Barbara Talita Galotto. **Síntese do Biodiesel a partir da Esterificação Homogênea dos Ácidos graxos livres e Transesterificação Alcalina**. 2014. UNIFAL. Disponível em: <http://www.unifal-mg.edu.br/engenhariaquimica/system/files/imce/TCC_2014_1/Andressa%20e%20Barbara.pdf> Acesso em: 22 out 2017.

ANP, **Biodiesel**. 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/biodiesel>>. Acessado em 10 set. 2017.

ANP, **BIODIESEL**. 2017a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/perguntas/283-produtos-regulados-faq/biodiesel>>. Acessado em 10 set. 2017.

ANP, **DADOS ESTATÍSTICOS**. 2017b. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/dados-estatisticos>>. Acessado em 19 set.

ANP, **LEILÕES DE BIODIESEL**. 2017c. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/distribuicao-e-revenda/leiloes-de-biodiesel>>. Acessado em 19 set. 2017.

ANP, **SLP - SISTEMA DE LEVANTAMENTO DE PREÇOS**, 2017d. Disponível em <http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Por_Estado_Index.asp>. Acessado em 26 de set. de 2017.

ANP. **ANUÁRIO ESTATÍSTICO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS de 2017**. 2017e. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/3819-anuario-estatistico-2017#Seção 4](http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/anuario-estatistico/3819-anuario-estatistico-2017#Seção%204)>. Acesso em: 25 set. 2017.

ANP. **Resolução ANP Nº 45, de 25.08.2014**. 2014. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2014/agosto/ranp%2045%20-%202014.xml?f=templates&fn=document-frameset.htm&q=&uq=&x=&up=1&force=4562>. Acesso em 19 de setembro de 2017.

APROBIO. **Biodiesel: oportunidades e desafios no longo prazo. 2016**, Brasília, p. 1 – 12, 2016

APROSOJA Brasil. **Uso da Soja**. 2014. Disponível em: <<http://aprosojabrasil.com.br/2014/sobre-a-soja/uso-da-soja/>>. Acesso em 22 set 2017.

APUCARANA. **Plano Diretor do Município de Apucarana**. 2015. Disponível em: <http://apucarana.pr.gov.br/transparencia/?page_id=156>. Acessado em 22 set. 2017.

ARINOX; **Os Tipos de Aço Inox**. Disponível em: <<http://arinox.com.br/blog/os-tipos-de-aco-inox/>>. Acesso em: 11 de junho 2018.

BEGA, E. A. **Instrumentação aplicada ao controle de caldeiras**. 3ª ed., Editora Interciência, 180 p., Rio de Janeiro, RJ, 2003.

BELTRÃO, Napoleão Esberard de Macêdo; OLIVEIRA, Maria Isaura Pereira. **Oleaginosas e seus Óleos: Vantagens e Desvantagens para Produção de Biodiesel**. Campina Grande, PB. Embrapa. 2008.

BENINCA, Marcelo. **Integração Energética de uma planta de Eteno com Aspectos de Flexibilidade: Aplicação da Análise Pinch em Conjunto com a Otimização Matemática**. 2008. 113 f. Tese (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

BIODIESELBR. **Etanol x Metanol: Disputa Inflamável**. 2008. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/revista/003/etanol-metanol.htm>>. Acesso em 26 set. 2017.

BIODIESELBR. **O peso da matéria-prima.** 2009a. Disponível em <<https://www.biodieselbr.com/revista/009/o-peso-da-materia-prima.htm>>. Acesso em 10 set. 2017.

BIODIESELBR. **O tamanho do mercado de biodiesel do Brasil até 2020.** 2016b. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/usinas/producao/tamanho-mercado-biodiesel-brasil-ate-2020-290316.htm>>. Acesso em: 21 de setembro de 2017.

BIODIESELBR. **Por que fazemos biodiesel de soja?** 2007. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/convidado/porque-fazemos-biodiesel-de-soja.htm>>. Acesso em 22 set. 2017.

BIODIESELBR. **Por que usar o biodiesel?** 2006. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/biodiesel/vantagens/vantagens-biodiesel.htm>>. Acesso em 19 set. 2017.

BIODIESELBR. **Selo social incentiva agricultores familiares dar destino para o sebo.** 2016a. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/https://www.biodieselbr.com/noticias/materia-prima/sebo/selo-social-incentiva-agricultores-familiares-dar-destino-sebo-130916.htm>>. Acesso em 22 set. 2017.

BIOMERCADO; **Indicadores de Preços Médios - Glicerina Loira**, Disponível em: <<http://www.biomercado.com.br/indicadoresPorProduto.php?produto=44>>. Acesso em: 02 de junho de 2018.

BITTENCOURT, Lucas Aparecido, SANTOS, Mara Eliza dos. **Tratamento da água residual da produção do biodiesel utilizando eletrofloculação.** 2015. PPGB. Disponível em: <http://ult.edu.br/revista/wp-content/uploads/2016/05/TRATAMENTO-DA-_GUA-RESIDUAL-DA-....pdf> Acesso em: 18 out 2017.

BNDES; **Taxa de Longo Prazo – TLP.** Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/guia/custos-financeiros/tlp-taxa-de-longo-prazo/>>. Acesso em: 22 de junho de 2018.

BORSATO, Dionísio et al; **Otimização das condições de obtenção de biodiesel de óleo de soja utilizando o delineamento experimental de mistura**; Semana: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 31, n. 1, p. 3-13, jan./jun. 2010.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2005/lei-11097-13-janeiro-2005-535383-norma-actualizada-pl.html>>. Acesso em 25 de setembro de 2017.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2010. Disponível em: <<http://www.trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR12/NR-12.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2018.

BRASIL. Decreto n. 5452, de 1943. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 10

jun. 2018.

BRASIL. Decreto n. 9666, de 1946. **Consolidação das Leis do Trabalho**, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del5452.htm >. Acesso em: 10 jun.

C&M REPRESENTAÇÕES. **Ácido Graxo de Soja**. 2018. Disponível em < <http://www.cmrepresentacoes.com.br/index.php/nossos-produtos/oleo/acido-graxo-de-soja>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

CATHO; **Analista de Faturamento**. Disponível em: <<https://www.catho.com.br/profissoes/analista-de-faturamento/>>. Acesso em: 11 de junho 2018.

CATHO; **Engenheiro Químico**. Disponível em: <<https://www.catho.com.br/profissoes/engenheiro-quimico/>>. Acesso em: 11 de junho 2018.

CATHO; **Supervisor de Faturamento**, disponível em: <<https://www.catho.com.br/profissoes/supervisor-de-faturamento/>>. Acesso em: 11 de junho 2018.

CATHO; **Técnico de Laboratório**. Disponível em: <<https://www.catho.com.br/profissoes/tecnico-de-laboratorio/>>. Acesso em: 11 de junho 2018.

CATHO; **Técnico em Manutenção**. Disponível em: <<https://www.catho.com.br/profissoes/tecnico-em-manutencao/>>. Acesso em: 11 de junho 2018.

CAVALCANTE, Raquel Massad. **Predição da Densidade de Biodiesel Provenientes de Diferentes Matérias-primas**. 2010. Dissertação de Mestrado. UFRJ, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwiiiovagvpLXAhWEIZAKHQ3DDN0QFggwMAI&url=http%3A%2F%2Fwww.eq.ufrj.br%2Fprh13%2Fdownload%2F%3Fprh13-predicao-da-densidade-de-biodiesel.pdf&usg=AOvVaw0dxwmkHJTQVxK9S48Yga_n> Acesso em: 23 out 2017.

CHIPART; **Monte seu Computador**, Disponível em: <<https://www.chipart.com.br/monte-seu-computador>>. Acesso em: 22 de maio 2018

CONAMA, Resolução, 430 de 13 de maio de 2011. Complementa a resolução 357 / 2005.

COORDENAÇÃO DE PUBLICAÇÕES DA CÂMARA DOS DEPUTADOS. **O BIODIESEL E A INCLUSÃO SOCIAL**. 2003. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/internet/diretoria/caeat/conteudo/07020.pdf>>. Acesso em 22 set 2017.

COSTA, Naiara Lima. **Biocombustíveis: produção, transporte, uso final e emissões de gases de efeito estufa na região centro-oeste**. 118 f. Curso de

Engenharia De Energia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados (Mg), 2017.

CROWN IRON TECNOLOGIAS LTDA, **Biodiesel**, Crown Iron Works Company, São Paulo, 2009.

DEMIRBAS, Ayhan. **Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines**. New York, US: Springer, 2010. vi, 208 p.

DEMIRBAS, Ayhan. **Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels**. Trabzon, Turkey: Sila Science, 2007, 6 p.

DEPEC. **AÇÚCAR E ETANOL**. 2017. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_acucar_etanol.pdf> . Acesso em: 26 set. 2017.

DIAS, Junior. **Municípios de Vale do Ivaí perdem habitantes**. Borrazópolis Oline, 2011. Disponível em: <<http://www.borrazopolis.com/2011/09/municipios-do-vale-do-ivai-perdem.html>>. Acesso em: 26 set. 2017.

DIB, Fernando Henrique. **PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO RESIDUAL RECICLADO E REALIZAÇÃO DE TESTES COMPARATIVOS COM OUTROS TIPOS DE BIODIESEL E PROPORÇÕES DE MISTURA EM UM MOTO-GERADOR**. 2010. Disponível em: <<https://repositorio.une.sp.br/handle/11449/88869>> Acesso em: 18 out 2017.

DICIONARIO FINANCEIRO; **IRPJ**. Disponível em: <<https://www.dicionariofinanceiro.com/irpj/>>. Acesso em: 22 de junho de 2018.

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2016/2017)**. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 21 de setembro de 2017.

EMBRAPA. **Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos**. 2001 40 p., Londrina, PR.

ENCARNAÇÃO, Ana Paula Gama. **Geração De Biodiesel Pelos Processos De Transesterificação E Hidroesterificação, Uma Avaliação Econômica** . 2008. 164 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos)-Faculdade em Ciências, UFRJ, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.tpqb.eq.ufrj.br/download/biodiesel-via-trans-e-hidroesterificacao.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2017.

EPIBRASIL; **PEÇA SEU EPI**. Disponível em: <<https://www.epibrasil.com.br/>> Acesso em: 22 de maio 2018.

FARIAS, Robson Fernandes de. **Introdução aos biocombustíveis**. Rio de Janeiro, RJ: Ciência Moderna. 76 p. 2010.

FOGLER, H. Scott. **Elementos de Engenharia das Reações Químicas**. 4. ed. Rio

de Janeiro, RJ: LTC, c2009. 853 p.

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2014. 871 p. ISBN 9788521623021.

FRANCO, Paula. F. **Glicerina como matéria-prima para microorganismos**, BiodieselBR, dezembro de 2014 disponível em <<https://www.biodieselbr.com/noticias/usinas/glicerina/glicerina-materia-prima-microorganismos-061211.htm>> acessado em 17 de maio de 2018.

FREITAS, Rosiane Correia de. A sombra dos gigantes: ADM, Bunge, Cargill, Noble... **Biodieselbr**, Curitiba, PR, dez. 2011. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/revista/026/a-sombra-dos-gigantes.htm>>. Acesso em: 20 set. 2017.

FURTADO, André. **Crise Energética e Trajetórias de Desenvolvimento Tecnológico**. Seminário Brasil em Desenvolvimento. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2003. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/7162/7162_7.PDF>. Acesso em 28 set. 2017.

G1 – JORNAL NACIONAL. **Reino Unido vai banir carros movidos a gasolina e diesel até 2040**. 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2017/07/reino-unido-vai-banir-carros-movidos-gasolina-e-diesel-ate-2040.html>>. Acesso em: 22 de setembro de 2017.

GARCIA, C. M. **Transesterificação de óleos vegetais**, 2006. Disponível em: <<http://biq.iqm.unicamp.br/arquivos/teses/vtIs000386845.pdf>>. Acesso em 16 de setembro de 2017.

GEANKOPLIS, Christie J. **TRansport Processand Separation Process Principles: includes unit operation**. 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall PTR, 2009. Personal Education, 1026 p.

GIMENES, Erick; G1 GLOBO. **Colheita de soja bate recorde no Paraná, mas grande oferta trava vendas**. 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/norte-noroeste/noticia/colheita-de-soja-bate-recorde-no-parana-mas-grande-oferta-trava-vendas.ghtml>>. Acessado em 23 set. 2017.

GOMES, Maria Carolina Sergi; ARROYO, Pedro Augusto; PEREIRA, Nehemias Curvelo. **Biodiesel production from degummed soybean oil and glycerol removal using ceramic membrane**. 2011. Elsevier. Maringá, Brazil. P. 453-461. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738811003723>> Acesso em: 17 out 2017.

GOOGLE MAPS. 2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Av.+Cont%C3%B4rno+Sul,+Apucarana+-+PR/@-23.5839778,-51.4669883,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x94ec9bc9405b1973:0xe1941296efd1e46e18m2!3d-23.5839778!4d-51.4647996>>. Acesso em: 30 abr 2017.

GONÇALVES, Luciano de O. **Tratamento de efluentes da produção de biodiesel pela combinação de processos biológicos e oxidativos avançados**, tese de pós-Graduação, Belo horizonte, 2015.

HAAS. J Michel; **Improving the economics of biodiesel production through the use of low value lipids as feedstocks: vegetable oil soapstock**, U.S. Department of Agriculture Research Service, Wyndmoor, PA, Estados Unidos, 2005

HIGA, Márcio. **Cogeração e Integração Térmica em Usinas de Açúcar e Álcool**. 2003. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

HIMMELBLAU, David Mautner; RIGGS, James L. **Engenharia química: princípios e cálculos**. 7. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2006. xxii, 846 p.

HOEKMAN S.K. & ROBBINS C. **Review of the effects of biodiesel on NOx emissions**. Fuel Processing Technology, v. 96, p. 237-249. 2012.

INFOJOBS; **Diretor Administrativo.** Disponível em: https://www.infojobs.com.br/artigos/Diretor_Administrativo__2064.aspx Acesso em: 09 de jun. de 2018.

INFOJOBS; **Gerente Administrativo.** Disponível em: https://www.infojobs.com.br/artigos/Gerente_Administrativo__2070.aspx Acesso em: 09 de jun. de 2018.

INFOJOBS; **Gerente de Produção.** Disponível em: https://www.infojobs.com.br/artigos/Gerente_de_Produ%C3%A7%C3%A3o__2143.aspx Acesso em: 09 de jun. de 2018.

INFOJOBS; **Operador de Produção.** Disponível em: https://www.infojobs.com.br/artigos/Operador_de_Produ%C3%A7%C3%A3o__2149.aspx Acesso em: 09 de jun. de 2018.

INFOJOBS; **Recepcionista.** Disponível em: https://www.infojobs.com.br/artigos/Recepcionista__2674.aspx Acesso em: 09 de jun. de 2018.

INFOJOBS; **Supervisor de Produção.** Disponível em: https://www.infojobs.com.br/artigos/Supervisor_de_Produ%C3%A7%C3%A3o__2145.aspx Acesso em: 09 de jun. de 2018.

INFOJOBS; **Supervisor de Recursos Humanos.** Disponível em: https://www.infojobs.com.br/artigos/Supervisor_de_Recursos_Humanos__2256.aspx Acesso em: 09 de jun. de 2018.

ISO FAR. **Ficha de Informações de Segurança Produtos Químicos – FISPQ: Glicerina Branca Bidestilada**. Duque de Caxias. 2013.

ISO FAR. **Ficha de Informações de Segurança Produtos Químicos – FISPQ: Glicerina Branca Bidestilada**. Duque de Caxias. 2013.

ISO FAR. **Ficha de Informações de Segurança**. 2013. Disponível em: <<http://isofar.com.br/material/FISPQ%20Glicerina,%20PA%20ACS%20Ref%200220.pdf>> Acesso em: 23 out 2017.

KEMP, Ian C. **Pinch Analysis and Process Integration: A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy**. Elsevier LTD, 2007. 2 ed. 396 p.

KENCORE; **Phosphoric Acid 85%**. Disponível em: <<https://www.kemcore.com/phosphoric-acid-150.html>>. acesso em: 18 de maio de 2018.

KENCORE; **Caustic Soda/Sodium Hydroxide 99% (Flakes)**. Disponível em: <<https://www.kemcore.com/caustic-soda-sodium-hydroxide-99-flakes.html>>. Acesso em: 18 de maio de 2018.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual de Biodiesel**. São Paulo, SP: E. Blücher, 2006. 340 p.

KRAUSE, Laíza Canielas. **Desenvolvimento do Processo de Produção de Biodiesel de Origem Animal**. Porto Alegre, RS.2008.

LABSYNTH. **Ficha de informações de Segurança de Produtos Químicos**. 2009. Disponível em: <<https://www.fca.unicamp.br/portal/images/Documentos/FISPQs/FISPQ-%20Alcool%20Etílico%20Absoluto.pdf>> Acesso em 20 out 2017.

LAGO, S. M. S.; ROCHA, W. F. da. **O óleo de fritura residual como matéria-prima para a produção de biodiesel, tendo como pontos de coleta estabelecimentos de ensino**. 2017. Disponível em: <http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/3904/3082>. Acesso em 25 de setembro de 2017.

LAZARINI, Caroline A.; TAVARES, Fabricio H.; OLIVEIRA, Henrique S. de C.; RCELLOS, Vinícius A.. **Aplicação de Técnica de Integração Energética no Sistema de Pré-Tatamento de Matéria-Prima para a Produção de Biodiesel**. 2016. 53 p. Tese (Graduação em Engenharia Química) - Universidade de São Francisco, Campinas.

LEITE, Joel. **Alemanha vai proibir carro à combustão**. 2016. UOL – O Mundo em Movimento. Disponível em: <<https://omundoemmovimento.blogosfera.uol.com.br/2016/10/13/alemanha-vai-proibir-carro-a-combustao/>>. Acesso em: 22 de setembro de 2017.

LIMA, C.R. PAULO; **PREÇOS DOS COMBUSTÍVEIS NO BRASIL**, Consultor Legislativo da Área XII, Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos, Distrito Federal, 2016. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/a-camara/documentos-e-pesquisa/estudos-e-notas-tecnicas/areas-da-conle/tema16/2015_24474_precos-combustiveis-brasil_paulo-cesar>. Acesso em: 06 de junho de 2018.

LIMA, L. **Óleo de Fritura para Esterificação e Transformação em Biodiesel**. Disponível em: <<http://www.scielo.br/img/revistas/qn/v32n3/a20fig02.gif>>. Acesso em 16 de setembro de 2017, 16:33.

LORA, Electo Eduardo Silva; VENTURINI, Osvaldo José. **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro, RJ: Interciência. 2012. v.1.

LUBMIX; **Bomba de Rotor Flexível Com Motor Zuwa 9243 3-4 Polegadas 35Lpm 5Bar Rotor NBR**. Disponível em: <<https://www.lubmix.com.br/bomba-de-rotor-flexivel-com-motor-zuwa-9243-3-4-polegadas-35lpm-5bar-rotor-nbr.html>>. Acesso em: 01 de junho de 2018.

LUX RESEARCH CONSULTORIA. **Biofuels Capacity to Grow to 61 BGY in 2018**. 2015. Disponível em: <<http://www.luxresearchinc.com/news-and-events/pressreleases/read/biofuels-capacity-grow-61-bgy-2018>>. Acesso em: 22 de setembro de 2017.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Equipamentos Industriais e de Processo**. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 1997. xi, 227 p.

MAIONCHI, Isadora Aredes. **Processo cavitation – Inovação em refino de óleo de soja**. 2017 28 p. Tese (bacharel em Engenharia Química) do programa de graduação. UFU, Uberlândia, 2017.

MARTINELLI, Lígia. **Produção do Biodiesel Etílico a partir da Esterificação de Ácidos Graxos Livres**, 2008. Disponível em: <http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/6405/arquivo2527_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 17 de set. de 2017.

MARTINS. Eliseu. **Contabilidade de custos**. 9. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

MELO, M.C.L. Susana - **Análise Multivariada no diagnóstico da Produção de Biodiesel** – Tese (mestrado em química) do departamento de química. 2011.

MERCADOLIVRE; **Reator Em Aço Inox 316 Sanitário Cap.1000 Litros**, Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-725921387-reator-em-aco-inox-316-sanitario-cap1000-litros-_JM>. Acesso em 28 de maio 2018.

MERCK. **Linoleic acid for synthesis**. 2017. Disponível em: <http://www.merckmillipore.com/BR/pt/product/Linoleic-acid,MDA_CHEM-843483> Acesso em: 25 out 2017.

MFRURAL; **Tanque De 150 Mil Litros (Cód. 197861)**. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/detalhe/tanque-de-150-mil-litros-197861.aspx>>. Acesso em: 29 de maio 2018.

MFRURAL; **TANQUE DE INOX NOVO (Cód. 106921)**. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/detalhe/tanque-de-inox-novo-106921.aspx>>. Acesso em: 29 de maio 2018.

MFRURAL; **Tanque em aço carbono 1.600.000 litros (Cód. 256006)**. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/detalhe/tanque-em-aco-carbono-1.600.000-litros-256006.aspx>>. Acesso em: 29 de maio 2018

MFRURAL; **TANQUES 1 MILHÃO - 1,5 MILHÕES - 5 MILHÕES DE LITROS AÇO CARBONO (Cód. 238823)**. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/detalhe/tanques-1-milhao-1-5-milhoes-5-milhoes-de-litros-aco-carbono-238823.aspx>>. Acesso em: 30 de maio 2018.

MFRURAL; **Tanques 50000L**. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/detalhe/tanques-50000l-269145.aspx>>. Acesso em: 30 de maio 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. 2006. **Selo Combustível Social**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/selo_combustivel_social.html>. Acessado em 18 set. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **iNDC (Contribuição Nacionalmente Determinada)**. 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/comunicacao/item/10570-indc-contribui%C3%A7%C3%A3o-nacionalmente-determinada>>. Acessado em 22 de set. de 2018.

MORET, A. S.; SGANDERLA, G. C. S.; GUERRA, S. M. G.; MARTA, J. M. C. **Análise da sustentabilidade do biodiesel com uso da Análise de Custos Completos**, 2009. Disponível em: <http://www.espacoenergia.com.br/edições/11/EE_011-03.pdf>. Acesso em 17 de setembro de 2017.

NASCIMENTO, Mário D. do. **Otimização do uso de lenha e cavaco de madeira para produção de energia em agroindústria Seropédica**. Dissertação de Mestrado na área de Agronomia. 103 p. Botucatu, SP, 2007.

NOGUEIRA, Antonio C. L.. Agricultura: As Perspectivas do Agronegócio Brasileiro até 2024. **Análise de conjuntura**. p.3 – 6, 2016.

NOVACANA. **Benefícios em usar o etanol**. 2010. Disponível em: <<https://www.novacana.com/etanol/beneficios/#reducao-poluentes>>. Acesso em 26 set. 2017.

NOTÍCIAS AGRÍCOLAS; **Cotações de Sucroenergético**. Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br/cotacoes/sucroenergetico>>. Acesso em: 18 de maio de 2018.

NUNES, A. C. S.; AMORIM, T. M.; SGORLON, J. G.; GOMES, M. C. S. **Avaliação da redução de água utilizada na purificação de biodiesel**. 2014. UTFPR. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringsproceedings/cobeq2014/0780-24014-156311.pdf>> Acesso em 17 out 2017.

OLIVEIRA, José Augusto. **OTIMIZAÇÃO AMBIENTAL DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE PETRÓLEO ASEADA EM CRITÉRIOS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA—ESTUDO DE CASO**. 222 f. Tese (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias

Ambientais no Processo Produtivo). Universidade Federal da Bahia, Salvador – BH. 2006.

PAIVA, Eduardo Jose Mendes. **Estudo da produção de Biodiesel a partir de Óleo de Babaçu e Etanol utilizando a Transesterificação Alcalina Tradicional com Agitação Mecânica e Assistida por Ultrassons**. 2010. 173 p. Dissertação (Mestrado Engenharia Química), USP, Lorena, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97137/tde-26092012-171745/en.php>> Acesso em: 19 out. 2017.

PARENTE, Expedito José de Sá. **BIODIESEL: Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado**. Fortaleza, CE: Tecbio, 2003.

PERLINGEIRO, Carlos Augusto. **Engenharia de Processos: análise, simulação, otimização e síntese de processos químicos**. São Paulo, SP: Blucher, c2005. x,198 p.

PERRY'S **Chemical Engineers' Handbook**. 8th ed. New York, NY: McGraw-Hill Companies, 2007. p. irreg. ISBN 9780071422949.

PETROBRAS. **Norma Petrobras N-270**. Revisão F. Projeto de Tanque de Armazenamento Atmosférico. Rio de Janeiro, Petrobras, 2014.

PIMENTEL, Fernando. **O fim da era do petróleo e a mudança do paradigma energético mundial: perspectivas e desafios para a atuação diplomática brasileira**. Brasília, DF: Fundação Alexandre de Gusmão, 2011.

PINHO, D. M. M.; SUAREZ, P. A. Z. **Do Óleo de Amendoim ao Biodiesel- Histórico e Política Brasileira para o Uso Energético de Óleos e Gorduras**. *Virtual Quim*, Brasília, v. 9, n. 1, p.0-13, nov. 2016.

PLATONOW, Vladimir; EBC AGÊNCIA BRASIL. **ANP leiloa 760 milhões de litros de biodiesel para garantir mistura obrigatória**. 2017. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-06/anp-leiloa-760-milhoes-de-litros-de-biodiesel-para-garantir-mistura>>. Acessado em 21 set. 2017f.

Portal Brasil. **Mais da metade da safra nacional de grão é produzida em quatro estados**. 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/05/mais-da-metade-da-safra-nacional-de-graos-e-produzida-em-quatro-estados>>. Acesso em: 26 set. 2017.

PORTAL TRIBUTARIO; **IMPOSTO SOBRE SERVIÇOS DE QUALQUER NATUREZA – ISS**. Disponível em: <<http://www.portaltributario.com.br/tributos/iss.html>>. Acesso em: 10 de junho de 2018.

PORTAL TRIBUTARIO; **IPI - IMPOSTO SOBRE PRODUTOS INDUSTRIALIZADOS**. Disponível em: <<http://www.portaltributario.com.br/tributos/ipi.html>>. Acesso em: 10 de junho de 2018.

PORTAL TRIBUTARIO; **IRPJ e CSLL**. Disponível em: <http://www.portaltributario.com.br/tributario/irpf_irpj_csll.htm>. Acessado em 10 de junho de 2018.

PORTALTRIBUTARIO; **LUCRO PRESUMIDO – CÁLCULO DA CSLL**. Disponível em: <http://www.portaltributario.com.br/guia/lucro_presumido_csl.html>. Acesso em: 10 de junho de 2018.

PRADO, Jefferson Nery de. **Estudo sobre o programa nacional de produção e uso do biodiesel (PNPB). Uma análise sobre os municípios produtores de soja e as cooperativas de agricultura familiar**. Juiz de Fora, MG. 2015.

QUESSADA., T. P.. **Obtenção de Biodiesel a partir de óleo de Soja e Milho Utilizando Catalisadores Básicos e Ácido**. Londrina-PR. 2007.

QUICKBOOKS; **ISS: entenda o que é e para o que serve esse imposto**. Disponível em: <<https://quickbooks.intuit.com/br/blog/impostos/iss-o-que-e-para-o-que-serve/>>. Acesso em: 11 de junho 2018.

QUICKBOOKS; **O que é CSLL e como calcular a contribuição**. Disponível em: <<https://quickbooks.intuit.com/br/blog/impostos/csll-tudo-sobre-contribuicao>>. Acesso em: 11 de junho 2018.

RACACZESKI, C. C.; ZANCANARO, D.; ALZANI, A.; FERREIRA, E. A. **Biodiesel, em combustível em expansão**. Synergismus scyentifica UTFPR, Pato Branco, v. 1, n. 1-4, p. 324-330, 2006.

RESENDE, Marina Garcia. **Desenvolvimento de um programa computacional em Scilab baseado baseado no método *Pinch* de integração energética**. 2013. 81 f. Tese (Mestrado em Engenharia Química). Universidade de São Francisco, São Carlos – SP.

ROCHA, Mateus Henrique; *et al.* **Life cycle assessment(LCA) for biofuels in Brazilian conditions: Ameta-analysis**. 25 f. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.

SAGE BLOG; **Tabela ICMS 2018 Atualizada com as Alíquotas dos Estados**. Disponível em: <<https://blog.sage.com.br/tabela-icms-2018-atualizada/>>. Acesso em: 10 de junho de 2018.

SANEPAR; **Simulador de tarifas**. Disponível em: <<http://atvn.sanepar.com.br/simuladorconta>>. Acesso em: 18 de maio 2018.

Sebrae Nacional. **Como escolher um bom ponto para comércio ou indústria**. 2015. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/como-escolher-um-bom-ponto-para-comercio-ou-industria,e1d89e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>>. Acesso em: 25 set. 2017.

SEBRAE, **Software Plano de Negócio 3.0**. Disponível em: <https://m.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/solucoes_online/software-plano-de-negocio-30,2bc0fec6ffae5510VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso em: 11 de junho de 2018.

SEBRAE. **Cartilha do Biodiesel**. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/NT00035116_000gihb7tn102wx5ok05vadr1szzvy3n.pdf>. Acesso em 28 set. 2017.

SHELL INTERNATIONAL BV. **Cenários sob Novas Lentes – Mudança de Perspectiva para um novo em Transição**. 2013. Disponível em: <http://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/new-lenses-on-the-future/_jcr_content/par/textimage_1451381393.stream/1448476981698/231261a278333ce3cc28441784ebd6e4bba02579c919bda642ad38632e41def8/nls-web-brazilian-brochure.pdf>. Acesso em: 25 de set. 2015.

SIGMA ALDRICH. **Ficha de dados de Segurança**. 2010. Disponível em: <<http://sites.ffclrp.usp.br/cipa/fispq/Hidroxido%20de%20sodio.pdf>> Acesso em: 20 out 2017.

SNATURAL AMBIENTE. **Misturadores Estáticos**. Folheto Técnico. São Paulo. 2 p.

SNATURAL AMBIENTE. **Misturadores Estáticos**. Disponível em: <<http://www.snatural.com.br/misturadores-estaticos-misturas-liquidos-gases/>>. Acesso em: 9 jun. 2018.

SOETAERT, Wim; VANDAMME, Erick J. (Ed.). **Biofuels**. United Kingdom, UK: John Wiley & Sons, 2009. xiv, 242p. (Wiley series in renewable resource) ISBN 9780470026748.

SUCRANA. **Densidade relativa e calor específico para diversos líquidos**. 2009. Disponível em: <<http://www.sucrana.com.br/tabelas/densidade-relativa.pdf>> Acesso em: 11 abr. 2018.

TEIXEIRA, M. C.; TAOUIL, D. S. G. **Biodiesel: uma energia alternativa e verde**. Vértices, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 12, n. 3, p. 17-40, 2010.

TELLES, Pedro Silva. **Vasos de Pressão**. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012, 302 p.

TESFA, B.; MISHRA, R.; GU, F.; BALL, A.D. **Water injection effects on the performance and emission characteristics of a CI engine operating with biodiesel**. Renewable Energy, v. 37, n. 1, p. 333-344. 2012.

TURTON, Richard et al. **Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes**. 3.ed. New Jersey: Prentice Hall PTR, 2009.

UNICA. **Setor Sucroenergético**. 2017. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/faq/>>. Acesso em: 26 set. 2017.

UOL; **Economia Cotações**. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/cotacoes/>>. Acesso em: 2 de junho 2018.

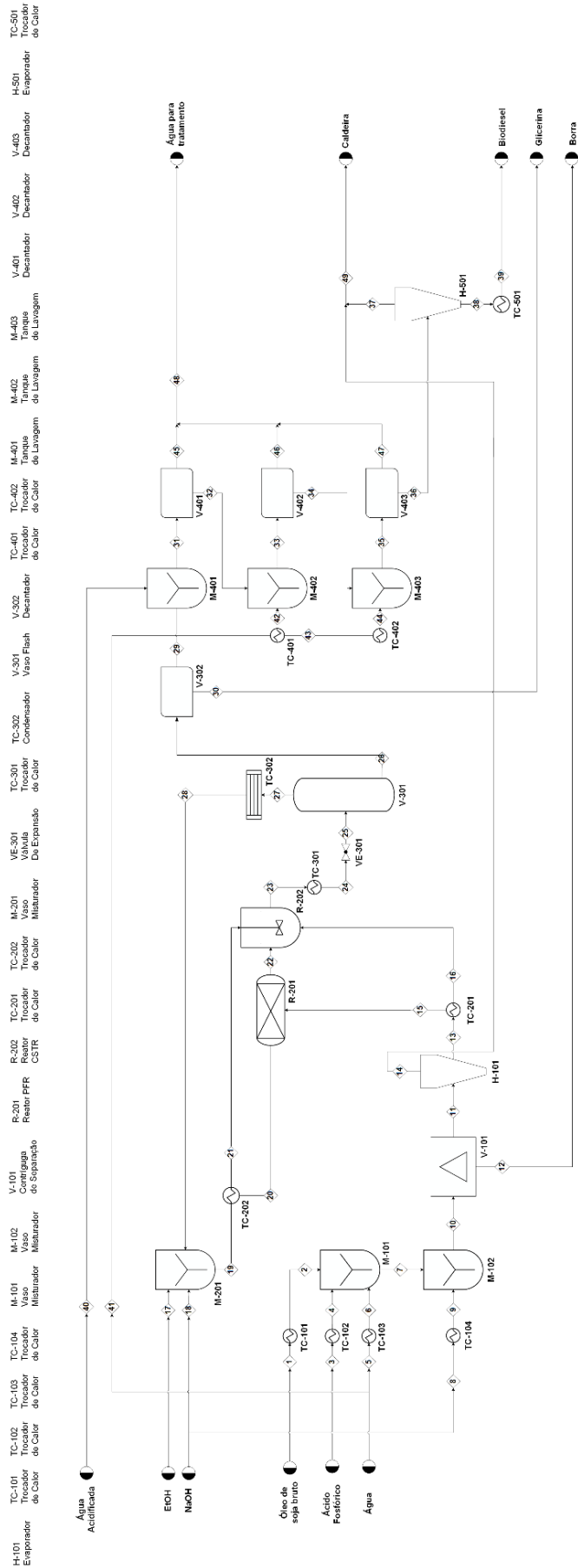
VALOR TRIBUTARIO; **PIS e CONFINS.** Disponível em: <<https://www.valortributario.com.br/tributos/piscofins/>>. Acesso em 10 de junho de 2018.

YAMAMOTO, Carlos Itsuo; KAMINSKI, Moacir. **Análise Econômica de Projetos na Engenharia Química.** Apostila. Curitiba, PR, 2012.

Zhang, David; Pricelist-Quotation. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <bruno_del_rio@hotmail.com> em 5 jun. 2018.

ZANLUCA, C. Júlio; **CÁLCULOS DE ENCARGOS SOCIAIS E TRABALHISTAS.** Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/tematicas/custostrabalhistas.htm>>. Acesso em: 10 de junho de 2018.

ANEXO A – DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSOS DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL E CORRENTES DE ESPECIFICAÇÕES



- TC-101 Trocador de Calor de Calor
- TC-102 Trocador de Calor de Calor
- TC-103 Trocador de Calor de Calor
- TC-104 Trocador de Calor
- M-101 Misturador
- M-102 Misturador
- V-101 Contingua de Separação
- R-201 Reator PFR
- R-301 Reator CSTR
- TC-201 Trocador de Calor
- TC-202 Trocador de Calor
- TC-301 Trocador de Calor
- TC-302 Trocador de Calor
- VE-301 Vahado De Expansão
- V-301 Vaso Flash
- TC-401 Trocador de Calor
- TC-402 Trocador de Calor
- TC-403 Trocador de Calor
- M-401 Misturador de Lavagem
- M-402 Misturador de Lavagem
- M-403 Misturador de Lavagem
- V-401 Decantador
- V-402 Decantador
- V-403 Decantador
- H-501 Evaporador
- TC-501 Trocador de Calor

ANEXO A – DIAGRAMA DE FLUXO DE PROCESSOS DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL E CORRENTES DE ESPECIFICAÇÕES

- SETOR 100

QUADRO 3 - ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES NO SETOR 100: PARTE 1

Corrente	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatura (°C)	25	65	25	65	45	65	65	25	65
Pressão (kgf/cm ²)	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
Taxa Mássica de Vapor (kg/h)	81,75	81,75	0,59	0,59	5,75	5,75	0,00	0,36	0,36
Taxa Mássica (kg/h)	3152,16	3155,16	10,72	10,72	94,57	94,57	3260,45	6,62	6,62
Taxa Molar Total (kmol/h)	3,92	3,92	0,11	0,11	5,25	5,25	9,28	0,17	0,17
Ácido Fosfórico	0,00	0,0	0,11	0,11	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00
Água	0,00	0,0	0,00	0,00	5,25	5,25	5,25	0,00	0,00
Fosfatídeos	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Hidróxido de Sódio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17
Óleo de Soja	3,91	3,91	0,00	0,00	0,00	0,00	3,91	0,00	0,00
Sabão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

QUADRO 4 - ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES NO SETOR 100: PARTE 2

Corrente	10	11	12	13	14
Temperatura (°C)	65	65	65	92	92
Pressão (kgf/cm²)	1,03	1,03	1,03	0,77	0,77
Taxa Mássica de Vapor (kg/h)	0,00	165,57	0,00	56,14	109,43
Taxa Mássica (kg/h)	3267,07	3218,53	48,54	3121,06	97,48
Taxa Molar Total (kmol/h)	9,45	9,22	0,23	0,11	5,42
Ácido Fosfórico	0,09	0,00	0,09	0,00	0,00
Água	5,42	5,42	0,00	0,00	5,42
Fosfatídeos	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Hidróxido de Sódio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Óleo de Soja	3,91	3,91	0,00	3,91	0,00
Sabão	0,13	0,00	0,13	0,00	0,00

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

- SETOR 200

QUADRO 5 - ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES NO SETOR 200

Corrente	13	15	16	17	18	19	20	21	23
Temperatura (°C)	92	45	45	25	25	25	45	45	45
Pressão (kgf/cm ²)	0,77	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
Taxa mássica de vapor (kg/h)	56,14	0,00	0,00	0,00	0,00	24,05	23,10	0,95	61,52
Vazão Mássica (kg/h)	3121,06	2184,74	936,32	1274,98	35,31	1310,30	917,21	393,09	4431,36
Taxa Molar Total (kmol/h)	3,80	2,66	1,14	27,67	0,88	28,56	19,43	8,33	32,36
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11
Biodiesel	3,69	2,66	1,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,95
Óleo de Soja	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Etanol	0,00	0,00	0,00	27,67	0,00	27,67	19,37	8,30	16,73
Glicerol	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,65
Hidróxido de Sódio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,88	0,06	0,03	0,77
Sabão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

- SETOR 300

QUADRO 6 - ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES NO SETOR 300

Corrente	23	24	25	26	27	28	29	30
Temperatura (°C)	45	65	45	65	65	45	65	65
Pressão (kgf/cm²)	1,03	1,03	0,22	0,22	0,22	1,03	1,03	1,03
Taxa mássica de vapor (kg/h)	61,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vazão Mássica (kg/h)	4431,36	4431,36	4431,36	3660,76	770,60	770,60	3251,01	409,75
Taxa Molar Total (kmol/h)	32,36	32,36	32,36	15,63	16,73	16,73	11,44	4,19
Água	0,11	0,11	0,11	0,11	0,00	0,00	0,11	0,00
Biodiesel	10,95	10,95	10,95	10,95	0,00	0,00	10,95	0,00
Óleo de Soja	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00
Etanol	16,73	16,73	16,73	0,00	16,73	16,73	0,00	0,00
Glicerol	3,65	3,65	3,65	3,65	0,00	0,00	0,04	3,61
Hidróxido de Sódio	0,77	0,77	0,77	0,77	0,00	0,00	0,30	0,47
Sabão	0,11	0,11	0,11	0,11	0,00	0,00	0,00	0,11

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

- SETOR 400

QUADRO 7 - ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES NO SETOR 400: PARTE 1

Corrente	29	31	32	33	34	35	36	40
Temperatura (°C)	65	50	50	50	50	50	50	25
Pressão (kgf/cm²)	1,03	1,03	0,22	0,22	0,22	1,03	1,03	1,03
Taxa mássica de vapor (kg/h)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vazão Mássica (kg/h)	3251,01	3784,68	3298	3831,96	3345,32	3879,23	3394,30	537,36
Taxa Molar Total (kmol/h)	11,44	40,99	14,15	43,81	16,97	46,64	19,89	29,76
Água	0,11	29,66	2,93	32,60	5,87	35,53	8,90	29,66
Biodiesel	10,95	10,95	10,95	10,95	10,95	10,95	10,95	0,00
Óleo de Soja	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00
Glicerol	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00
Hidróxido de Sódio	0,30	0,20	0,14	0,14	0,07	0,07	0,00	0,03
Cloreto de Sódio	0,00	0,10	0,07	0,07	0,03	0,03	0,00	0,00
Ácido Clorídrico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

QUADRO 8 - ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES NO SETOR 400: PARTE 2

Corrente	41	42	43	44	45	46	47	48
Temperatura (°C)	25	40	40	50	50	50	50	50
Pressão (kgf/cm²)	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
Taxa mássica de vapor (kg/h)	0,00	12,18	12,18	20,30	0,00	0,00	0,00	0,00
Vazão Mássica (kg/h)	1067,82	533,91	533,91	533,91	486,63	486,63	486,63	1463,68
Taxa Molar Total (kmol/h)	59,32	59,32	59,32	59,32	26,84	26,84	26,84	80,61
Água	59,32	59,32	59,32	59,32	26,73	26,73	26,73	80,18
Glicerol	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03
Hidróxido de Sódio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,07	0,30
Cloreto de Sódio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,10

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

- SETOR 500

QUADRO 9 - ESPECIFICAÇÕES DAS CORRENTES NO SETOR 500

Corrente	36	37	38	39	49
Temperatura (°C)	50	65	45	65	65
Pressão (kgf/cm²)	1,03	1,03	0,22	0,22	0,22
Taxa mássica de vapor (kg/h)	241,96	187,99	53,97	0,00	0,00
Vazão Mássica (kg/h)	3394,30	160,14	3234,16	3234,16	269,63
Taxa Molar Total (kmol/h)	19,89	8,90	11,00	11,00	9,20
Água	8,90	8,90	0,00	0,00	9,20
Biodiesel	10,95	0,00	10,95	10,95	0,00
Óleo de Soja	0,04	0,00	0,04	0,04	0,00
Etanol	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Glicerol	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2018).

ANEXO B – PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS

Os dados termodinâmicos utilizados para realizar os cálculos do balanço de energia do processo de produção do biodiesel, estão dispostos nas Tabelas 35 e 36 abaixo.

TABELA 35 – CALOR ESPECÍFICO

Componente	Calor específico (kJ/kmol.K)
Água	82,77
Etanol	126,18
Glicerol	233,66
Hidróxido de Sódio	162,34
Óleo de Soja	1737,13
Biodiesel	591,49

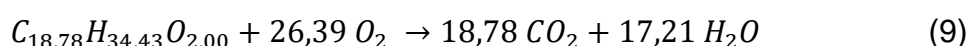
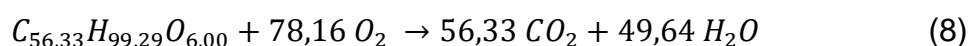
FONTE: PERRY (2007).

TABELA 36 – CALOR DE FORMAÇÃO E CALOR DE COMBUSTÃO

Componente	Calor de formação (MJ/kmol)	Calor de combustão (MJ/kmol)
Água	-285,84 ^a	-
CO ₂	-393,51 ^b	-
O ₂	0 ^b	-
Glicerina	-667,80 ^c	-
Óleo de Soja	-1401,67 ^d	-39,44 ^e
Biodiesel	-689,01 ^d	-41,28 ^e

FONTE: a – HIMMELBLAU (2006); b – PERRY (2007); c – MORRISON (1994); d – AUTORIA PRÓPRIA (2018); e – DEMIRBAS (2008).

O calor de formação do óleo de soja e do biodiesel foram calculados por meio da reação de combustão dos dois componentes, de acordo com as Equações 8 e 9, respectivamente.



As estequiometrias das reações de combustão foram determinadas a partir das fórmulas químicas do óleo de soja e do biodiesel. Estas foram obtidas de acordo com o percentual de AGL disponível na matéria-prima. Segundo Ferrari (2004). A

Tabela 37 apresenta a fração da massa molecular dos ácidos que compõe o óleo de soja, considera-se que a mesma proporção é mantida para a molécula de biodiesel.

TABELA 37 – COMPOSIÇÃO DE AGL NO ÓLEO DE SOJA

Ácido	Fração	Fórmula Química
Palmítico	11,29	C ₁₆ H ₃₂ O ₂
Esteárico	3,54	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
Oleico	22,45	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
Linoleico	54,62	C ₁₈ H ₃₂ O ₂
Linolênico	8,11	C ₁₈ H ₃₀ O ₂

FONTE: FERRARI (2004).

Para a determinação da massa de carbono, hidrogênio e oxigênio, utilizou-se as Equações 10, 11 e 12 a seguir:

$$n^{\circ}_{carbono} = \frac{Massa_{carbono}}{MM_C} = \frac{(3 * \sum x_i * MM_C) + 3 * MM_C}{MM_C} \quad (10)$$

$$n^{\circ}_{hidrogênio} = \frac{Massa_{hidrogênio}}{MM_H} = \frac{(3 * \sum x_i * MM_H) + 2 * MM_H}{MM_H} \quad (11)$$

$$n^{\circ}_{oxigênio} = \frac{Massa_{oxigênio}}{MM_O} = \frac{(3 * \sum x_i * MM_O)}{MM_O} \quad (12)$$

Para o biodiesel as Equações 13, 14 e 15

$$n^{\circ}_{carbono} = \frac{Massa_{carbono}}{MM_C} = \frac{\sum(x_i * MM_C) + MM_C}{MM_C} \quad (13)$$

$$n^{\circ}_{hidrogênio} = \frac{Massa_{hidrogênio}}{MM_H} = \frac{\sum(x_i * MM_H) + 2 * MM_H}{MM_H} \quad (14)$$

$$n^{\circ}_{oxigênio} = \frac{Massa_{oxigênio}}{MM_O} = \frac{\sum(x_i * MM_O)}{MM_O} \quad (15)$$

Para o cálculo da caldeira, os dados termodinâmicos do vapor superaquecido estão apresentados na Tabela 38 a seguir

TABELA 38 – PROPRIEDADE TERMODINÂMICA DO VAPOR DE ÁGUA

Componente	Pressão (bar)	Temperatura (°C)	Temperatura de saturação (°C)	Cp_{líquido}	Cp_{vapor}
Água	20	300	212,40	4,57	2,01

FONTE: PERRY (2007).

ANEXO C – CÁLCULOS DO BALANÇO DE MASSA NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

1. BALANÇO DE MASSA TRATAMENTO DO ÓLEO DE SOJA BRUTO

Para os misturadores M-102 e M-103: considerando que não há acúmulo, temos:

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_{saída}$$

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_1 + \dot{m}_3 + \dot{m}_5 + \dot{m}_8 = \dot{m}_{TAG} + \dot{m}_{AGL} + \dot{m}_{água} + \dot{m}_{ác.fosfórico} + \dot{m}_{NaOH}$$

A massa de AGL equivale a 2% da massa de óleo, então

$$\dot{m}_{AGL} = \frac{3089,85 \text{ kg}}{98} \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 62,42 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{TAG} = 3089,85 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{TAG} + \dot{m}_{AGL}$$

Água e ácido fosfórico são adicionados nas respectivas percentagens mássicas: 3% e 0,4%.

$$\dot{m}_{água} = 0,03 * 3152,27 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 94,67 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = \dot{m}_3$$

$$\dot{m}_{ác.fosfórico} = 0,004 * 3152,27 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,85 = 10,72 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = \dot{m}_5$$

O NaOH possui uma proporção de 50% em excesso em base molar em relação ao AGL que será neutralizado

$$n_{AGL} = \frac{31,21 \frac{kg}{h}}{282,71 \frac{kg}{kmol}} = 0,11 \frac{kmol}{h}$$

$$n_{NaOH} = 1,5 * 0,11 \frac{kmol}{h} = 0,17 \frac{kmol}{h}$$

$$\dot{m}_{NaOH} = 0,17 \frac{kmol}{h} * 40 \frac{kg}{kmol} = 6,62 \frac{kg}{h} = \dot{m}_8$$

Assim:

$$\dot{m}_{entrada} = (3089,85 + 62,4 + 94,57 + 10,72 + 6,62) \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{entrada} = 3267,07 \text{ kg/h}$$

Para a saída

$$\dot{m}_{saída} = \dot{m}_{TAG} + \dot{m}_{AGL} + \dot{m}_{fosfatídeos} + \dot{m}_{sabão} + \dot{m}_{ácfosfórico} + \dot{m}_{água} = \dot{m}_{10}$$

Vazão de TAG:

$$\dot{m}_{TAG} = 3089,85 \frac{kg}{h}$$

Para o fosfatídeos:

$$\dot{m}_{fosfatídeos} = 850 \frac{mg}{L} * \frac{3152,27 \frac{kg \text{ de óleo}}{h}}{0,93 \frac{kg \text{ de óleo}}{L}} * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}}$$

$$\dot{m}_{fosfatídeos} = 2,89 \frac{kg}{h}$$

Para a água

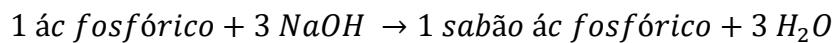
$$\dot{m}_{\text{água formada}} = 0,1656 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} * 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 2,98 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{água}} = (94,57 + 2,98) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 97,55 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para o sabão

$$\dot{m}_{\text{sabão}} = 0,11 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} * 304,71 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 33,64 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para o sabão da neutralização do ácido fosfórico, temos:



$$\dot{m}_{\text{sabão ác fosfórico}} = \frac{n_{\text{NaOH sobra}}}{3} * MM_{\text{sabão ác fosfórico}}$$

$$\dot{m}_{\text{sabão ác fosfórico}} = \frac{0,06 \text{ kmol}}{3} \frac{\text{kmol}}{\text{h}} * 163,99 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 3,02 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para ácido fosfórico que sobra;

$$\dot{m}_{\text{ác fosfórico}} = (n_{\text{ác fosfórico}} - n_{\text{reage}}) * MM_{\text{ác fosfórico}}$$

$$\dot{m}_{\text{ác fosfórico}} = \left(0,11 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} - 0,02 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \right) * 97,99 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 8,91 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Assim,

$$\dot{m}_{\text{saída}} = (3089,85 + 31,21 + 2,89 + 36,66 + 8,91 + 97,55) \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{saída}} = \dot{m}_{11} = 3267,07 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Então, de acordo com a Equação do balanço de massa sem acúmulo, demonstra-se verdadeira, pois:

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_{saida} = 3267,07 \frac{kg}{h}$$

2. BALANÇO DE MASSA CENTRÍFUGA V-103

A corrente 10 de entrada da centrífuga, possui as proporções apresentadas no balanço de massa do misturador V-102. Já as correntes de saída 11 e 12, temos:

Para a corrente 12: há a saída apenas da borra, na qual, é constituída por fosfatídeos, ácido fosfórico em excesso e sabão, então

$$\dot{m}_{12} = \dot{m}_{fosfatídeos} + \dot{m}_{ácfosfórico} + \dot{m}_{sabão} + \dot{m}_{água}$$

$$\dot{m}_{12} = (2,89 + 8,91 + 36,66 + 0,07) \frac{kg}{h} = 48,53 \frac{kg}{h}$$

Corrente 11:

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{TAG} + \dot{m}_{AGL} + \dot{m}_{água}$$

$$\dot{m}_{11} = (3089,85 + 31,21 + 97,48) \frac{kg}{h} = 3218,53 \frac{kg}{h}$$

Para o evaporador H-101 considera-se que toda a água é evaporada. Assim, as correntes 13 e 14 são:

$$\dot{m}_{14} = \dot{m}_{água} = 97,48 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{13} = \dot{m}_{TAG} + \dot{m}_{AGL} = (3089,85 + 31,21) \frac{kg}{h} = 3121,06 \frac{kg}{h}$$

ESTEQUIOMETRIA DA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO:



3. BALANÇO DE MASSA NO MISTURADOR V-101 E NOS REATORES R-201 e R202

Produção de biodiesel: 90m³/d

-Massa de biodiesel:

$$\dot{m}_{bio} = \frac{90m^3}{d} * \frac{1000L}{m^3} * \frac{0,8532kg}{L} = 76788 \frac{kg_{biodiesel}}{d} * \frac{1d}{24h} = 3199,5 \frac{kg_{biodiesel}}{h}$$

Número de mols de biodiesel: $MM_{bio} = 292,24 \text{ kg/kmol}$

$$n_{bio} = \frac{3199,50 \frac{kg_{biodiesel}}{h}}{292,24 \frac{kg}{kmol}} = 10,948 \frac{kmol \text{ biodiesel}}{h}$$

Número de mols equivalente de óleo de soja refinado:

$$n_{\acute{o}leo} = \frac{n_{bio}}{3 * 0,989} = 3,690 \frac{kmol \text{ de } \acute{o}leo \text{ de soja refinado}}{h}$$

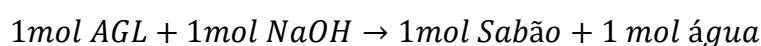
Massa de óleo de soja refinado equivalente:

$$\dot{m}_{\acute{o}leo} = n_{\acute{o}leo} * MM_{\acute{o}leo} = 3,690 \frac{kmol}{h} * 837,36 \frac{kg}{kmol} = 3089,848 \frac{kg}{h} \text{ de } \acute{o}leo$$

Porém, 1% da massa de óleo de entrada é AGL que sofrerá reação de saponificação. E é utilizado a mesma quantidade de NaOH como catalisador. Então a massa de AGL e NaOH de entrada será:

$$\dot{m}_{AGL} = \dot{m}_{NaOH} = 0,01 * \dot{m}_{\acute{o}leo} = 31,211 \frac{kg}{h}$$

Na reação de saponificação:



$MM_{AGL}=283,0\text{kg/ kmol}$; $MM_{NaOH}=39,997\text{ kg/kmol}$; $MM_{sab\tilde{a}o}=305,0\text{ kg/kmol}$;
 $MM_{\tilde{a}gua}=18\text{ kg/kmol}$.

Número de mols de NaOH e de AGL:

$$n_{AGL} = \frac{31,211 \frac{kg}{h}}{283,000 \frac{kg}{kmol}} = 0,110 \frac{kmol}{h}$$

$$n_{NaOH} = \frac{35,314 \frac{kg}{bat}}{39,997 \frac{kg}{kmol}} = 0,883 \frac{kmol}{h}$$

Sobra de NaOH e formação de sabão e água:

Consumido:

$$n_{AGL_{sobra}} = 0$$

$$m_{AGL_{sobra}} = 0$$

$$n_{NaOH_{sobra}} = \frac{(0,883 - 0,110)kmol}{h} = 0,773 \frac{kmol}{h}$$

$$\dot{m}_{NaOH_{sobra}} = 0,773 \frac{kmol}{h} * 39,997 \frac{kg}{kmol} = 30,898 \frac{kg}{h}$$

Gerado:

$$\dot{m}_{\tilde{a}gua_{formada}} = 0,1104 \frac{kmol}{h} * 18 \frac{kg}{kmol} = 1,987 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{sab\tilde{a}o} = 0,1104 \frac{kmol}{h} * 305,00 \frac{kg}{kmol} = 33,639 \frac{kg}{h}$$

Para Etanol: 1mol de óleo: 7,5 mols de Etanol: $MM_{\text{óleo}} = 837,36 \text{ kg/kmol}$;
 $MM_{\text{etanol}} = 46,07 \text{ kg/kmol}$.

$$n_{\text{óleo}_{reage}} = \frac{3055,860 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{837,36 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 3,650 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$n_{\text{etanol}} = 7,5 * n_{\text{óleo}} = 27,675 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{etanol}} = 27,675 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} * 46,07 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 1274,983 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Massa de biodiesel por hora:

$$\dot{m}_{\text{biodiesel}} = \frac{76788 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{24 \frac{\text{h}}{\text{d}}} = 3199,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$n_{\text{biodiesel}} = \frac{3199,50 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{292,24 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 10,948 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

Número de mols de etanol que reage e mols de óleo que sobra:

$$n_{\text{etanol}_{reage}} = n_{\text{bio}} = 10,948 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$n_{\text{óleo}_{sobra}} = \frac{3089,848 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{837,36 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} - 3,650 \text{ kmol} = 0,0406 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

Massa de óleo que sobra e etanol que sobra:

$$\dot{m}_{\text{óleo}_{sobra}} = 0,0406 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} * 837,36 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 33,988 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{etanol}_{\text{sobra}}} = (27,675 - 10,948) \frac{\text{kmol}}{\text{h}} * 46,07 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} = 770,600 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para a glicerina: $MM_{\text{glicerina}} = 98,85 \text{ kg/kmol}$.

$$\dot{m}_{\text{glicerina}} = \frac{MM_{\text{glicerina}} * \dot{m}_{\text{óleo}_{\text{reage}}}}{MM_{\text{óleo}}} = \frac{98,85 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} * 3055,860 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{837,36 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 360,743 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Balanço de Massa no reator, considerando que não haja acúmulo de componentes no reator, ou seja, $dm/dt = 0$, então, $m_{\text{entrada}} = m_{\text{saída}}$:

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{15} + \dot{m}_{16} + \dot{m}_{20} + \dot{m}_{21} - \dot{m}_{23}$$

$$0 = (\dot{m}_{\text{óleo}_{\text{reage}}} + \dot{m}_{\text{NaOH}} + \dot{m}_{\text{etanol}} + \dot{m}_{\text{AGL}}) - (\dot{m}_{\text{óleo}_{\text{sobra}}} + \dot{m}_{\text{etanol}_{\text{sobra}}} + \dot{m}_{\text{NaOH}_{\text{sobra}}} + \dot{m}_{\text{bio}} + \dot{m}_{\text{glicerina}} + \dot{m}_{\text{sabão}} + \dot{m}_{\text{água}})$$

$$0 = [(3089,848 + 1274,983 + 35,3144 + 31,211) - (3199,500 + 33,988 + 770,600 + 360,743 + 30,898 + 33,639 + 1,987)] \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$0 = 0 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

4. BALANÇO DE MASSA DO DESTILADOR FLASH

$$\dot{m}_{\text{acumulo}} = \dot{m}_{\text{entrada}} - \dot{m}_{\text{saida}}$$

$$0 = \dot{m}_{25} - \dot{m}_{26} - \dot{m}_{27}$$

$$\dot{m}_{25} = \dot{m}_{26} + \dot{m}_{27}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{25} = & \dot{m}_{\text{biodiesel}} + \dot{m}_{\text{glicerina}} + \dot{m}_{\text{óleo de soja}} + \dot{m}_{\text{etanol}} + \dot{m}_{\text{catalisador}} + \\ & + \dot{m}_{\text{água}} + \dot{m}_{\text{sabão}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{25} = & 3199,50 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 360,743 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 33,988 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 770,600 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 30,898 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 1,987 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \\ & + 33,639 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \end{aligned}$$

$$\dot{m}_{25} = 4431,356 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{26} = \dot{m}_{25} - \dot{m}_{27}$$

$$\dot{m}_{27} = \dot{m}_{\text{etanol}}$$

$$\dot{m}_{27} = 770,600 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{26} = 4431,356 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 770,600 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{26} = 3660,756 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

5. BALANÇO DE MASSA DO DECANTADOR V-302

$$\dot{m}_{acumulada} = \dot{m}_{26} - \dot{m}_{30} - \dot{m}_{29}$$

Onde \dot{m}_{17} e \dot{m}_{18} são as vazões da fase pesada e leve, respectivamente

$$0 = \dot{m}_{26} - \dot{m}_{30} - \dot{m}_{29}$$

$$\dot{m}_{26} = \dot{m}_{29} + \dot{m}_{30}$$

$$\dot{m}_{26} = 3660,756 \frac{kg}{h}$$

$$3660,756 \frac{kg}{h} = \dot{m}_{29} + \dot{m}_{30}$$

$$\dot{m}_{30} = \dot{m}_{glicerina} + \dot{m}_{catalisador} + \dot{m}_{sabão}$$

$$\dot{m}_{30} = 357,136 \frac{kg}{h} + 18,972 \frac{kg}{h} + 33,639 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{30} = 409,747 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{29} = \dot{m}_{biodiesel} + \dot{m}_{glicerina} + \dot{m}_{óleo\ de\ soja} + \dot{m}_{catalisador} + \dot{m}_{água}$$

$$\dot{m}_{29} = 3199,500 \frac{kg}{h} + 3,607 \frac{kg}{h} + 33,988 \frac{kg}{h} + 11,927 \frac{kg}{h} + 1,987 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{29} = 3251,010 \frac{kg}{h}$$

6. BALANÇO DE MASSA NAS LAVAGENS

Em geral para as três etapas de lavagem, temos:

$$\dot{m}_{acumulo} = \dot{m}_{entrada} - \dot{m}_{saída} + \dot{m}_{gerada}$$

$$0 = \dot{m}_{29} + \dot{m}_{40} - \dot{m}_{36} - \dot{m}_{48} + \dot{m}_{reação}$$

$$\dot{m}_{36} + \dot{m}_{48} = \dot{m}_{29} + \dot{m}_{40}$$

$$\dot{m}_{29} + \dot{m}_{40} = \dot{m}_{leve} + \dot{m}_{água}$$

$$\dot{m}_{água\ acidificada} = \dot{m}_{água} + \dot{m}_{ácido}$$

$$\dot{m}_{água\ acidificada} = \dot{m}_{40} = 1599,750 \frac{kg}{h} + 1,987 \frac{kg}{h} + 10,338 \frac{kg}{h} = 1612,075 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{29} + \dot{m}_{40} = 3251,010 \frac{kg}{h} + 1612,075 \frac{kg}{h} = 4861,097 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{36} + \dot{m}_{48} = \dot{m}_{29} + \dot{m}_{40}$$

$$\dot{m}_{36} = \dot{m}_{biodiesel} + \dot{m}_{glicerina\ residual} + \dot{m}_{óleo\ de\ soja} + \dot{m}_{água\ residual}$$

$$\dot{m}_{água\ residual} = 0,1 \cdot \dot{m}_{água}$$

$$\dot{m}_{água\ residual} = 0,1 \cdot 1601,737 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{água\ residual} = 160,174 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{glicerina\ residual} = 0,0002 \cdot \dot{m}_{glicerina}$$

$$\dot{m}_{\text{glicerina residual}} = 0,640 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{36} = 3199,500 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 0,640 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 33,988 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 160,174 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{32} = 3394,302 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{48} = \dot{m}_{\text{sal}} + \dot{m}_{\text{água do sal}}$$

Considerando o dado experimental de 1% da massa de óleo ser a conversão para água residual, a água de formação do sal está presente nesta parte.

$$\dot{m}_{\text{ácido}} = 10,338 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{M}_{\text{ácido}} = \frac{\dot{m}_{\text{ácido}}}{MM_{\text{ácido}}}$$

$$\dot{m}_{\text{sal}} = \dot{M}_{\text{sal}} \cdot MM_{\text{sal}}$$

$$\dot{m}_{\text{sal}} = 16,569 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{água gerada}} = \text{mols de HCl} * MM_{\text{água}} = 50,1078 \frac{\text{k}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{48} = \dot{m}_{\text{glicerina}} + \dot{m}_{\text{catalisador sobra}} + \dot{m}_{\text{água sobra}} + \dot{m}_{\text{sal}}$$

$$\dot{m}_{48} = 2,968 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 0,587 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 1446,671 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 16,569 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{48} = 1466,795 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

7. BALANÇO DE MASSA NO EVAPORADOR

Entrada do evaporador:

$$\dot{m}_{bio} = \dot{m}_{36} * x_{bio_{36}} = 3199,500 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{glicerina} = \dot{m}_{36} * x_{glicerina_{36}} = 0,640 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{óleo} = \dot{m}_{28} * x_{óleo_{28}} = 33,988 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{água} = \dot{m}_{36} * x_{água_{36}} = 160,174 \frac{kg}{h}$$

Saída do evaporador, somente água (99,98% em massa):

$$\dot{m}_{água_{49}} = 0,9998 * 160,174 \frac{kg}{h} = 160,142 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{água_{38}} = 160,174 - 160,142 = 0,032 \frac{kg}{h}$$

Balanço de massa. Considerando que não há acúmulo no evaporador ($dm/dt = 0$) e não há reação química ($m_{gerado} = m_{consumido} = 0$):

$$\dot{m}_{36} = (3199,500 + 0,640 + 33,988 + 160,174) \frac{kg}{h} = 3394,302 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{38} = (3199,500 + 0,634 + 33,988 + 0,032) \frac{kg}{h} = 3234,160 \frac{kg}{h}$$

Para a fração mássica do biodiesel na saída:

$$\dot{m}_{38} = 3234,160 \frac{kg}{h}$$

$$\%w_{bio} = \frac{3199,500 \frac{kg}{h}}{3234,160 \frac{kg}{h}} * 100\% = 98,93\%$$

$$\%w_{glicerina} = \frac{0,640 \frac{kg}{h}}{3234,160 \frac{kg}{h}} * 100\% = 0,02\%$$

$$\%w_{\acute{a}gua} = \frac{0,032 \frac{kg}{h}}{3234,160 \frac{kg}{h}} * 100\% = 0,00099\%$$

$$\%w_{\acute{o}leo} = \frac{33,988 \frac{kg}{h}}{3234,160 \frac{kg}{h}} * 100\% = 1,05$$

8. TRATAMENTOS DE EFLUENTES

VOLUME DA LAGOA (CONSIDERANDO O COMPORTAMENTO DE UM CSTR)

$$V = \tau \cdot v$$

$$\tau = 24 \text{ h}$$

$$v = 14437,266 \left[\frac{\text{L}}{\text{h}} \right]$$

$$V = 1443,266 \cdot 24 \left[\frac{\text{L}}{\text{h}} \right] \cdot [\text{h}]$$

$$V = 34638 \text{ L}$$

$$V = 34,638 \text{ m}^3$$

CARACTERÍSTICAS MICROBIANAS DA LAGOA

Considerando o balanço de massa para o substrato, temos a seguinte equação

$$\tau = \frac{(S_{entra} - S_{sai}) \cdot Y \cdot (K_S + S_{sai})}{\mu \cdot X_{sai} \cdot S_{sai}}$$

Considerando o balanço de massa para a biomassa, temos a seguinte equação considerando tal modelo de crescimento de Monod.

$$r_X = \frac{\mu \cdot X_{sai} \cdot S_{sai}}{K_S + S_{sai}} - b \cdot X_{sai}$$

Com taxa de declínio igual a zero e a razão de consumo de substrato como 1.

$$X_{sai} = r_X \cdot \tau$$

$$X_{sai} = \frac{\mu \cdot X_{sai} \cdot S_{sai}}{K_s + S_{sai}} \cdot \tau$$

$$\frac{1}{\tau} = \frac{\mu \cdot S_{sai}}{K_s + S_{sai}}$$

Isolando o k_s em ambas e igualando. Temos os seguintes valores para k_s e μ

$$K_s = \frac{\tau \cdot \mu \cdot X_{sai} \cdot S_{sai}}{(S_{entra} - S_{sai}) \cdot Y} - S_{sai}$$

$$K_s = S_{sai}(\mu \cdot \tau - 1)$$

Para k_s aproximadamente 1,3 (unidade) e μ aproximadamente 0,043 h⁻¹

ANEXO D – CÁLCULOS DO BALANÇO DE ENERGIA NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

1. BALANÇO DE ENERGIA PARA OS MISTURADORES V-101 e V-102

A energia requerida para os dois misturadores é o calor sensível de todos os componentes de entrada para aquecê-los de 25°C para 65°C. Assim:

$$\dot{Q}_{10} = \dot{Q}_2 + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_6 + \dot{Q}_9$$

O calor sensível do componente i é dado por:

$$\dot{Q}_i = \dot{m}_i * C_{p_i} * \Delta T_i$$

Como a variação de temperatura é a mesma para todos os componentes, temos:

$$\dot{Q}_{10} = \Delta T \sum (\dot{m}_i * C_{p_i})$$

Os dados para os cálculos são apresentados no Anexo B.

$$\dot{Q}_{10} = (65 - 25)^\circ\text{C} * (3152,27 * 1,96 + 94,57 * 4,60 + 10,72 * 4,18 + 6,62 * 4,06) \frac{\text{kJ}}{^\circ\text{C} * \text{h}}$$

$$\dot{Q}_{10} = 267,40 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$$

DEGOMAGEM

2. BALANÇO DE ENERGIA PARA A CENTRÍFUGA V-104

As condições de operação da centrífuga são: rotação de 6000 rpm e potência de 20 CV (cavalo-vapor). Com o dado da potência, podemos encontrar a energia requerida desta centrífuga. Assim:

$$\dot{Q}_{V-104} = 20 \text{ CV} * \frac{0,74 \text{ kW}}{1 \text{ CV}} = 14,71 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} * \frac{1 \text{ MJ}}{1000 \text{ kJ}} = 52,96 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$$

3. BALANÇO DE ENERGIA PARA O EVAPORADOR H-101

Para a evaporação da água é utilizado um vapor superaquecido a 20 bar de pressão e 300°C. As condições de trabalho do evaporador são: temperatura de saída de 92°C e pressão de 0,76 kgf/cm².

Para a corrente 11:

$$H_{11} = \sum (x_i * C_{p_i}) * T_{11}$$

Onde H é a entalpia, x_i é a fração mássica do componente i, C_{p_i} o calor específico do componente i e T_F a temperatura da alimentação na corrente 11. Então:

$$H_{11} = (0,97 * 1,96 + 0,03 * 4,18) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 65^\circ\text{C}$$

$$H_{11} = 131,78 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Para a corrente 13:

$$H_{13} = \sum (x_i * C_{p_i}) * T_{14}$$

$$H_{13} = (1,00 * 1,92) \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 92^{\circ}C$$

$$H_{13} = 180,32 \frac{kJ}{kg}$$

Para a corrente 14:

$$H_{14} = \dot{m}_{\acute{a}gua} * Cp_{\acute{a}gua} * \Delta T$$

$$H_{14} = 2662,90 + 97,50 \frac{kg}{h} * 2,10 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (92,00 - 91,73)^{\circ}C$$

$$H_{14} = 2718,18 \frac{kJ}{h}$$

A quantidade de calor total do evaporador é dada pela somatória do calor de cada corrente.

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{11} + \dot{Q}_{13} + \dot{Q}_{14} = \dot{m}_{11} * H_{11} + \dot{m}_{13} * H_{13} + \dot{m}_{14} * H_{14}$$

$$\dot{Q}_{total} = (3394,40 * 85,03 + 3234,18 * 134,23 + 160,22 * 2905,76) \frac{kJ}{h} * \frac{1MJ}{1000 kJ}$$

$$\dot{Q}_{total} = 611,04 \frac{MJ}{h}$$

A vazão de vapor requerida é:

$$\dot{m}_{total} = \frac{\dot{Q}_{total}}{H_{vaporização} + Cp_{vapor} * (\Delta T_{vapor})}$$

$$\dot{m}_{total} = \frac{\left(611,04 \frac{MJ}{h}\right) * \frac{1000kJ}{1MJ}}{2114,16 \frac{kJ}{kg} + 2,10 \frac{kJ}{kg * ^{\circ}C} * (300 - 212,4)^{\circ}C}$$

$$\dot{m}_{total} = 265,89 \frac{kg}{h}$$

A economia do evaporador é calculada por:

$$Economia (\%) = \frac{\dot{m}_V}{\dot{m}_{total}} * 100\% = 60,26 \%$$

4. BALANÇO DE ENERGIA PARA OS REATORES

Para aquecer os materiais de 25 °C para 45°C antes de serem adicionados nos reatores, temos que o calor necessário é indicado por um termo do balanço de energia para reatores, que é representado a seguir:

$$\dot{Q} - \dot{W}_s + F_{A0} * \left(\sum (\theta_i * Cp_i) \right) * (T - T_i) - F_{A0} * X * (\Delta H_{rx}(T_r)) = 0$$

Onde X é a conversão global dos reatores, T a temperatura do final do reator, T_i a temperatura inicial, T_r a temperatura de referência, F_{A0} a vazão molar do óleo de soja, \dot{Q} a taxa de calor, \dot{W}_s o trabalho de eixo, θ_i a proporção do componente i, Cp_i o calor específico do componente i e $\Delta H_{rx}(T_r)$ é a variação da entalpia na temperatura de referência.

O calor necessário para aquecer as matérias-primas é dada pelo termo:

$$\dot{Q}_{transferido} = F_{A0} * \left(\sum (\theta_i * Cp_i) \right) * (T - T_i)$$

Abrindo o termo da somatória e substituindo os valores do Anexo B, temos:

$$\sum (\theta_i * Cp_i) = \theta_{\acute{o}leo} * Cp_{\acute{o}leo} + \theta_{EtOH} * Cp_{EtOH}$$

$$\sum (\theta_i * Cp_i) = 1 * 1737,128 \frac{kJ}{kmol * K} + \left(\frac{26,212}{3,345} \right) * 126,185 \frac{kJ}{kmol * K}$$

$$\sum (\theta_i * Cp_i) = 2683,516 \frac{kJ}{kmol * K}$$

A temperatura inicial e final do reator são respectivamente, 298 e 318 K. Assim o calor transferido para aquecer os componentes é:

$$\dot{Q}_{19} = \dot{Q}_{18} + \dot{Q}_{17} = \left(1274,98 \frac{kg}{h} * 2,74 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} + 35,31 \frac{kg}{h} * 4,06 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right) * (45 - 25)^{\circ}C$$

$$\dot{Q}_{19} = 72709,62 \frac{kJ}{h} = 72,71 \frac{MJ}{h}$$

Para o óleo de soja (corrente 15 e 16) é resfriado de 92°C para 45°C:

$$\dot{Q}_{19} = 3089,85 \frac{kg}{h} * 1,96 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (45 - 65)^{\circ}C = -284636,80 \frac{kJ}{h} = -284,64 \frac{MJ}{h}$$

Para o cálculo do balanço de energia do reator, temos que como ocorre reação química em fase líquida, que os reatores são isotérmicos ($T=T_0$) e considerando o trabalho de eixo muito pequeno ($W_s = 0$) devido à baixa rotação, então:

$$\dot{Q} - F_{A0} * X * (\Delta H_{rx}(T_r)) = 0$$

Sabemos que $\Delta H_{rx}(T_r)$ é dado por:

$$\Delta H_{rx}(T_r) = \Delta H_{rx}^0(T_r) + \Delta Cp * (T - T_r)$$

Alguns dados podem ser obtidos por meio da reação de transesterificação, que é dada por:



Desse modo, $\Delta H_{rx}^0(T_r)$ e ΔCp são obtidos respectivamente por:

$$\Delta H_{rx}^0(T_r) = H_f^0_{\text{glicerina}} + 3 * H_f^0_{\text{biodiesel}} - (H_f^0_{\text{óleo}} + 3 * H_f^0_{\text{EtOH}})$$

$$\Delta Cp = Cp_{\text{glicerina}} + 3 * Cp_{\text{biodiesel}} - (Cp_{\text{óleo}} + 3 * Cp_{\text{EtOH}})$$

Substituindo os valores obtidos no Anexo B, temos:

$$\Delta H_{rx}^0(T_r) = -667800,00 \frac{kJ}{kmol} + 3 * \left(-689008,62 \frac{kJ}{kmol} \right) - \left(-1401667,50 \frac{kJ}{kmol} + 3 * \left(-234950,00 \frac{kJ}{kmol} \right) \right)$$

$$\Delta H_{rx}^0(T_r) = -628308,36 \frac{kJ}{kmol}$$

$$\Delta Cp = 233,66 \frac{kJ}{kmol * K} + 3 * 591,49 \frac{kJ}{kmol * K} - \left(1737,13 \frac{kJ}{kmol * K} + 3 * 126,185 \frac{kJ}{kmol * K} \right)$$

$$\Delta Cp = -107,55 \frac{kJ}{kmol * K}$$

Então

$$\Delta H_{rx}(T_r) = -628308,361 \frac{kJ}{kmol} + \left(-107,55 \frac{kJ}{kmol * K} \right) * (318 - 298)K$$

$$\Delta H_{rx}(T_r) = -630459,395 \frac{kJ}{kmol}$$

Assim, o calor liberado pela reação de transesterificação é:

$$\dot{Q}_{reação} = 3,690 \frac{kmol}{h} * 0,989 * \left(-630459,395 \frac{kJ}{kmol} \right) * \frac{1MJ}{1000 kJ} = -2300,797 \frac{MJ}{h}$$

5. BALANÇO DE ENERGIA PARA O DESTILADOR FLASH

A partir dos dados das correntes do destilador flash, pode-se calcular os calores requeridos do trocador de calor e do condensador, no qual, recupera-se o etanol não reagido. Os calores são calculados respectivamente pelas seguintes equações:

$$\dot{Q}_{trocador} = \sum \dot{m}_i * C_{p_i} * \Delta T = \dot{m} * \Delta H$$

$$\dot{Q}_{condensador} = \dot{m}_{etanol} * \lambda$$

Onde \dot{m} é a vazão mássica dos componentes, C_p é o calor específico, ΔT a variação da temperatura da corrente, ΔH a variação da entalpia de vaporização do componente, λ é o calor latente do etanol. A partir dos dados do Anexo B e a variação da temperatura da alimentação é de 45°C a 65°C, temos:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{trocador} = & (3199,500 * 1,917 + 360,743 * 2,364 + 33,988 * 1,960 + 770,600 * 2,420 \\ & + 30,898 * 4,058 + 1,987 * 4,18) \frac{kJ}{h * ^\circ C} * (65 - 45)^\circ C * \frac{1MJ}{1000kJ} \end{aligned}$$

$$\dot{Q}_{trocador} = 181,027 \frac{MJ}{h}$$

$$\dot{Q}_{27} = 770,600 \frac{kg}{h} * 836,800 \frac{kJ}{kg} * \frac{1MJ}{1000kJ} = 644,838 \frac{MJ}{h}$$

A massa de vapor necessária para o trocador de calor e o condensador são:

$$\dot{m}_{vapor_{trocador}} = \frac{\dot{Q}_{trocador}}{\Delta H} = \frac{181,027 * 1000 \frac{kJ}{h}}{223,450 \frac{kJ}{kg}} = 810,144 \frac{kg}{h} vapor$$

$$\dot{m}_{vapor_{27}} = \frac{\dot{Q}_{condensador}}{\Delta H} = \frac{644,838 * 1000 \frac{kJ}{h}}{223,450 \frac{kJ}{kg}} = 2885,827 \frac{kg}{h} vapor$$

6. BALANÇO DE ENERGIA PARA O PROCESSO DE LAVAGEM DO BIODIESEL

A água utilizada para a lavagem do biodiesel deve ser aquecida de 25°C para 50°C antes de ser utilizada no processo. Assim, o balanço de energia nesta etapa é realizado em relação ao calor sensível da água utilizada. Desse modo, com os dados do Anexo B, temos:

$$\dot{Q}_{42} + \dot{Q}_{43} = \dot{m}_{\text{água}} * C p_{\text{água}} * \Delta T$$

$$\dot{Q}_{42} + \dot{Q}_{43} = \left(1067,82 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (40 - 25)^\circ\text{C} + 533,91 * 4,18 * (50 - 40^\circ\text{C}) \right) * \frac{1\text{MJ}}{1000\text{kJ}}$$

$$\dot{Q}_{42} + \dot{Q}_{43} = 98,20 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$$

Assim, a vazão mássica de vapor necessária para aquecer a água de lavagem é:

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{\dot{Q}}{\Delta H} = \frac{98,20 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}}{(3022,95 - 265,50) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 32,49 \frac{\text{kg vapor}}{\text{h}}$$

7. BALANÇO DE ENERGIA PARA O EVAPORADOR PARA SECAGEM O BIODIESEL

No secador existem quatro correntes e são estas: a alimentação (F), a saída do biodiesel seco (L), a de água evaporada (V) e a corrente (S) que entra e sai do evaporador, representando a alimentação de vapor superaquecido que sai na condição de líquido saturado. Os dados para realizar os cálculos estão dispostos no Anexo B e nas Tabelas ().

Para a corrente 28:

$$H_{28} = \sum (x_i * Cp_i) * T_{28}$$

Onde H é a entalpia, x_i é a fração mássica do componente i, Cp_i o calor específico do componente i e T_F a temperatura da alimentação na corrente 28. Então:

$$H_{28} = (0,94 * 1,92 + 0,01 * 1,96 + 0,00 * 2,36 + 0,05 * 4,18) \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 50^{\circ}C$$

$$H_{28} = 101,23 \frac{kJ}{kg}$$

Para a corrente 29:

$$H_{29} = \sum (x_i * Cp_i) * T_{29}$$

$$H_{29} = (0,99 * 1,92 + 0,01 * 1,96 + 0,00 * 2,36) \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 70^{\circ}C$$

$$H_{29} = 134,23 \frac{kJ}{kg}$$

Para a corrente 30:

$$H_{30} = \dot{m}_{\acute{a}gua} * Cp_{\acute{a}gua} * \Delta T$$

$$H_{30} = 2602,95 + 160,22 \frac{kg}{h} * 2,10 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (70 - 69,1)^{\circ}C$$

$$H_{30} = 2905,76 \frac{kJ}{h}$$

A quantidade de calor total do evaporador é dada pela somatória do calor de cada corrente.

$$\dot{Q}_{total} = -\dot{Q}_{28} + \dot{Q}_{29} + \dot{Q}_{30} = \dot{m}_{28} * H_{28} + \dot{m}_{29} * H_{29} + \dot{m}_{30} * H_{30}$$

$$\dot{Q}_{total} = (-3394,40 * 101,23 + 3234,18 * 134,23 + 160,22 * 2905,76) \frac{kJ}{h} * \frac{1MJ}{1000 kJ}$$

$$\dot{Q}_{total} = 556,06 \frac{MJ}{h}$$

A vazão de vapor requerida é:

$$\dot{m}_{total} = \frac{\dot{Q}_{total}}{H_{vaporização} + C_{p_{vapor}} * (\Delta T_{vapor})}$$

$$\dot{m}_{total} = \frac{\left(556,06 \frac{MJ}{h}\right) * \frac{1000kJ}{1MJ}}{2114,16 \frac{kJ}{kg} + 2,10 \frac{kJ}{kg * ^{\circ}C} * (300 - 212,4)^{\circ}C} = 241,96 \frac{kg}{h}$$

A economia do evaporador é calculada utilizando a massa de água vaporizada (m_v):

$$Economia (\%) = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{total}} * 100\% = 66,21 \%$$

8. PARA O BALANÇO DE ENERGIA DA CALDEIRA

Segundo a Teccalor, temos que o poder calorífico do cavaco de eucalipto seco (15% umidade, ou, massa específica de 230 kg/m³) é de 4300 kcal/kg ou 17974 kJ/kg. Temos que a quantidade de vapor produzido pela caldeira é de 614,04 kg/h. Os dados termodinâmicos do vapor d'água à 20 bar e 300°C está disposto no ANEXO B. Assim:

$$\dot{Q}_{sensível} = 614,04 \frac{kg}{h} * (Cp_{líq.sat.} * (212,40 - 25)^{\circ}C + Cp_{vap} * (300 - 212,40)^{\circ}C)$$

$$\dot{Q}_{sensível} = 633475,84 \frac{kJ}{h}$$

$$\dot{Q}_{latente} = 614,04 \frac{kg}{h} * \left(1890,40 \frac{kJ}{kg} \right) = 1160783,13 \frac{kJ}{h}$$

$$\dot{Q}_{total} = 1794258,97 \frac{kJ}{h}$$

Então:

$$\dot{m}_{cavaco} = \frac{1794258,97 \frac{kJ}{h}}{15657,69 \frac{kJ}{kg} * 0,80} = 143,24 \frac{kg}{h}$$

ANEXO F – CÁLCULO DO DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS

1. DIMENSIONAMENTO DOS TANQUES DE ARMAZENAMENTO

Para o dimensionamento dos tanques de armazenamento, adotou-se a proporção diâmetro/comprimento e diâmetro/altura de 3,5 e 1,2 para os tanques horizontais e verticais, respectivamente. Abaixo segue a Tabela 39 com valores aproximados da massa específica da borra e da glicerina, valores estes que serão aplicados apenas no dimensionamento para conseguir alcançar resultados o mais próximo possível da realidade.

TABELA 39 – MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DA GLICERINA E DA BORRA

Componente	Massa Específica (kg/m ³)	Referência
Glicerina	1260	FISPQ ISO FAR
Borra	950	C&M REPRESENTAÇÕES (2018)

TANQUE DE ÁCIDO FOSFÓRICO

A partir da vazão mássica e da massa específica do ácido (Tabela 20) é possível calcular a vazão volumétrica do mesmo, por meio da equação que segue abaixo.

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m} \left(\frac{kg}{h} \right)}{\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)}$$

$$\dot{Q}_{\text{ácido fosfórico}} = \frac{10,72 \frac{kg}{h}}{1880 \frac{kg}{m^3}} = 0,0057 \frac{m^3}{h}$$

Considerou-se que o tempo máximo de armazenamento do ácido fosfórico será de 20 dias, assim,

$$V = \dot{Q} \frac{m^3}{h} * td$$

$$V = 0,0057 \left| \frac{m^3}{h} \right| * \left| \frac{24h}{1d} \right| * 20 d = 2,74 m^3$$

Tendo que o tanque do ácido fosfórico é horizontal e o volume útil do tanque deve ser de no mínimo 2,74 m³, considerou-se um tanque de 3 m³ e aplicou-se a condição de proporção para se obter o diâmetro e conseqüentemente o comprimento do tanque.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V}{\pi * 3,5}} m$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 3}{\pi * 3,5}} m = 1,03 m$$

$$L = 3,5 * D m$$

$$L = 3,5 * 1,03 m = 3,60 m$$

TANQUE DE ÁCIDO CLORÍDRICO

Aplicando a mesma metodologia para tanques horizontais e utilizando a massa específica de ácido clorídrico apresentada na Tabela 20, obtêm-se os parâmetros do tanque.

$$\dot{Q}_{ác\ clorídrico} = \frac{3,5 \frac{kg}{h}}{1179 \frac{kg}{m^3}} = 0,003 \frac{m^3}{h}$$

$$V = 0,003 \left| \frac{m^3}{h} \right| * \left| \frac{24h}{1d} \right| * 20 d = 1,42 m^3$$

A partir deste volume útil, determinou-se que a aplicação de um tanque de armazenamento de 2 m³.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 2}{\pi * 3,5}} m = 0,9 m$$

$$L = 3,5 * 0,899 m = 3,15 m$$

TANQUE DE ETANOL

Seguindo o mesmo procedimento realizado anteriormente, mas aplicando a proporção de 1,2, utilizando o valor de massa específica do reagente, apresentado na Tabela 7, e tendo que o tanque de armazenamento do etanol é vertical, obteve-se os seguintes parâmetros de volume, diâmetro e altura.

$$\dot{Q}_{etanol\ total} = \frac{1274,98 \frac{kg}{h}}{791 \frac{kg}{m^3}} = 1,6 \frac{m^3}{h}$$

Entretanto, sabe-se que a vazão mássica do reciclo do etanol é de 770 kg/h, e faz-se necessário considerá-lo para obter a vazão volumétrica real que sai do tanque para o processo.

$$\dot{Q}_{etanol\ real} = 1,6 \frac{m^3}{h} - \frac{770 \frac{kg}{h}}{791 \frac{kg}{m^3}} = 0,64 \frac{m^3}{h}$$

$$V = 0,64 \left| \frac{m^3}{h} \right| * \left| \frac{24h}{1d} \right| * 9 d = 138,24 m^3$$

Definiu-se que para o armazenamento será empregado dois tanques de 100 m³.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 100}{\pi * 1,2}} m = 4,7 m$$

$$H = 1,2 * 4,7 m = 5,7 m$$

TANQUE DE ÓLEO DE SOJA

Seguindo os mesmos passos, com a massa específica da Tabela 7, aplicando a proporção para tanques verticais e utilizando o tempo de armazenamento de 9 dias, tem-se o seguinte volume,

$$\dot{Q}_{\text{óleo de soja}} = \frac{3152,27 \frac{kg}{h}}{926 \frac{kg}{m^3}} = 3,4 \frac{m^3}{h}$$

$$V = 3,4 \left| \frac{m^3}{h} \right| * \left| \frac{24h}{1d} \right| * 9 d = 734,4 m^3$$

Para este valor de volume, optou-se por utilizar quatro tanques de 200 m³.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 200}{\pi * 1,2}} m = 6 m$$

$$H = 1,2 * 6 m = 7,2 m$$

TANQUE DE GLICERINA

A glicerina será armazenada em um tanque vertical, durante 7 dias. Para os cálculos utilizou-se massa específica da mesma apresentada na Tabela 20.

$$\dot{Q}_{\text{glicerina}} = \frac{409,75 \frac{kg}{h}}{1260 \frac{kg}{m^3}} = 0,325 \frac{m^3}{h}$$

$$V = 0,325 \left| \frac{m^3}{h} \right| * \left| \frac{24h}{1d} \right| * 7 d = 54,6 m^3$$

Determinou-se a utilização de três tanques de 20 m³.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 20}{\pi * 1,2}} m = 2,7 m$$

$$H = 1,2 * 2,7 m = 3,3 m$$

TANQUE DA BORRA

Aplicando o tanque horizontal, utilizando a massa específica da borra apresentada na Tabela 20 e um tempo de 8 dias de armazenamento, tem-se,

$$\dot{Q}_{borra} = \frac{48,54 \frac{kg}{h}}{950 \frac{kg}{m^3}} = 0,051 \frac{m^3}{h}$$

$$V = 0,051 \left| \frac{m^3}{h} \right| * \left| \frac{24h}{1d} \right| * 8 d = 9,8 m^3$$

Para este caso, aplicou-se de um tanque de armazenamento de 10 m³.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 10}{\pi * 3,5}} m = 1,5 m$$

$$L = 3,5 * 1,5 m = 5,4 m$$

TANQUE DE BIODIESEL

Para a armazenagem do biodiesel, determinou-se um tempo de 8 dias em um tanque horizontal, utilizando a massa específica apresentada na Tabela 7.

$$\dot{Q}_{biodiesel} = \frac{3199,5 \frac{kg}{h}}{853,2 \frac{kg}{m^3}} = 3,75 \frac{m^3}{h}$$

$$V = 3,75 \left| \frac{m^3}{h} \right| * \left| \frac{24h}{1d} \right| * 8 d = 720 m^3$$

Para este valor de volume, optou-se por utilizar quatro tanques de 200 m³.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 200}{\pi * 1,2}} m = 6 m$$

$$H = 1,2 * 6 m = 7 m$$

2. DIMENSIONAMENTO DOS EVAPORADORES

Para obter a área de troca térmica dos evaporadores H-101 e H-501, utilizou-se dos valores das temperaturas de entrada e saída das correntes e o calor por ela trocado, já calculado no balanço de energia. Para o valor do coeficiente global de troca térmica, utilizou-se o empregado por Lazarini *et al.* (2016). Os cálculos para os dois evaporadores estão apresentados abaixo.

$$q (W) = U \frac{W}{m^2 * K} * A (m^2) * \Delta T (K)$$

$$A = \frac{q}{U * \Delta T} m^2$$

$$A_{H 101} = \frac{105694,4}{785,06 * (365 - 338)} m^2 = 4,98 m^2$$

$$A_{H 501} = \frac{169733,3}{232,61 * (343 - 315)} m^2 = 26 m^2$$

3. DIMENSIONAMENTO DOS REATORES

Considerações:

1. $V_{CSTR} > V_{PFR}$
2. $TR_{CSTR} > TR_{PFR}$

Para o dimensionamento dos reatores, estimou-se, primeiramente, o volume do PFR como sendo igual a 1,2 m³ e determinou-se a vazão volumétrica da corrente de entrada, como apresentado a seguir.

$$\dot{Q} = \frac{3089,85 \text{ m}^3}{926 \text{ h}} + \frac{31,21 \text{ m}^3}{926 \text{ h}} + \frac{1274,98 \text{ m}^3}{791 \text{ h}} + \frac{35,31 \text{ m}^3}{2300 \text{ h}}$$

$$\dot{Q} = 4,99 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Tendo a vazão de alimentação do PFR igual a 70% do total,

$$\dot{Q}_{PFR} = 0,7 * \dot{Q} = 0,7 * 4,99 = 3,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Determinação do tempo de residência (TR) e volume dos reatores.

$$TR_{PFR} = \frac{V_{PFR}}{\dot{Q}_{PFR}}$$

$$TR_{PFR} = \frac{1,2}{3,5} \text{ h} = 0,34 \text{ h}$$

$$TR_{CSTR} = 1 \text{ h} - 0,34 \text{ h} = 0,66 \text{ h}$$

$$\dot{Q}_{CSTR} = \dot{Q}$$

$$V_{CSTR} = TR_{CSTR} * \dot{Q}_{CSTR}$$

$$V_{CSTR} = 0,66 \text{ h} * 4,99 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 3,29 \text{ m}^3$$

Visto que os resultados atenderam às considerações iniciais, logo eles são satisfatórios para o problema.

4. DIMENSIONAMENTO DO VASO FLASH

Para dimensionar o vaso flash V-301, utilizou-se a metodologia apresentada por Telles (2012), na qual se realiza algumas considerações apresentadas abaixo.

Considerações:

1. Tempo de surto (θ_{ab}) = 6 min;
2. $k_{com\ demister} = 0,10668$ m/s;
3. Espessura do demister = 0,1 m;
4. $h_v = D_{min}$;
5. $h_f = 0,5$ m;
6. $v_p = 0,75 v_{max}$
7. $h/D_{min} \sim 5$

Primeiramente, calculou-se a massa específica do líquido e do vapor da mistura, considerando que no vapor haja apenas etanol.

$$\rho_G = \rho_{etanol} = 791 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_L = \frac{\sum m (kg)}{\sum V L}$$

O volume de cada elemento da corrente foi obtido dividindo-se a massa de entrada de cada um deles pela sua respectiva massa específica, para então obter-se a massa específica da mistura líquida.

$$\rho_L = \frac{3199,5 + 30,898 + 1,987 + 360,47}{3750 + 13,43 + 2,01 + 286,30} = 0,887 \frac{kg}{L} = 887 \frac{kg}{m^3}$$

Em posse dessas informações, calculou-se a velocidade máxima de escoamento.

$$v_{max} = k * \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}} \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$v_{max} = 0,10668 * \sqrt{\frac{887 - 791}{791}} = 0,037 \frac{m}{s}$$

Seguindo a condição 6, calculou-se a velocidade de projeto, v_p .

$$v_p = 0,75 * 0,037 = 0,028 \frac{m}{s}$$

Obteve-se, a vazão volumétrica da mistura líquida (Q_L), da mesma forma que nos dimensionamentos anteriores, fazendo a divisão das vazões mássicas pela massa específica de cada elemento. Somando estes valores, tem-se:

$$\dot{Q}_L = 4,088 \frac{m^3}{h}$$

Após esse passo, calculou-se o volume útil do vaso (V) e, somando Q_L com a vazão volumétrica do etanol, obteve-se Q . Assim, calculou-se, também D_{min} e h_V , h_L e h_{total} .

$$V_{ab} = \dot{Q}_L * \theta_{ab} m^3$$

$$V_{ab} = 4,088 \left| \frac{m^3}{h} \right| * 6 \text{ |min|} * \left| \frac{1 h}{60 \text{ min}} \right| = 0,409 m^3$$

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{etanol} + \dot{Q}_L = 0,973 + 4,088 = 5,063 \frac{m^3}{h} = 0,0014 \frac{m^3}{s}$$

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 * \dot{Q}}{\pi * v_p}}$$

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 * 0,0014}{\pi * 0,028}} m = 0,253 m$$

$$h_L = \frac{V_{ab}}{\pi * D_{min}^2} * 4$$

$$h_L = \frac{0,409}{\pi * 0,253} * 4 = 8,13 m$$

$$h = h_L + h_v + h_f = 8,13 + 0,253 + 0,5 = 8,889 m$$

Analisa-se a condição 7.

$$\frac{h}{D_{min}} = \frac{8,889}{0,253} = 35,13$$

Como a razão deu um valor muito alto, utilizou-se a função atingir meta do Excel, fixando o valor de h/D em 5,1 e alterando o valor de D_{min}, desta forma, alcançou-se o seguinte resultado,

$$D_{min} = 0,55 m$$

$$h_v = 0,50 m$$

$$h_L = 1,74m$$

$$h = 2,78 m$$

5. DIMENSIONAMENTO DO CONDENSADOR

A mesma metodologia utilizada para o cálculo da área de troca térmica dos evaporadores foi empregada para estimar a área necessária para o condensador TC-302, como está apresentado a seguir, novamente aplicando o valor médio para o coeficiente global de troca térmica apresentado por Lazarini *et al.* (2016).

$$A_{TC\ 302} = \frac{-179122,2}{2733,19 * (318 - 338)} m^2 = 3,3 m^2$$

6. DIMENSINAMENTO DOS TROCADORES DE CALOR

Assim como nos evaporadores e no condensador, utiliza-se a mesma forma para obter a área de troca térmica dos trocadores de calor, novamente utilizando-se do valor médio do coeficiente global de troca térmica listado por Lazarini *et al.* (2016). Os trocadores do processo foram consideramos como sendo do tipo concorrente.

$$A_{TC\ 101} = \frac{68649,4}{785,07 * (338 - 298)} m^2 = 2,2 m^2$$

$$A_{TC\ 102} = \frac{4831,7}{795 * (338 - 298)} m^2 = 0,15 m^2$$

$$A_{TC\ 103} = \frac{497,8}{2733,19 * (338 - 298)} m^2 = 0,005 m^2$$

$$A_{TC\ 104} = \frac{298,7}{795 * (338 - 3298)} m^2 = 0,009 m^2$$

$$A_{TC\ 201} = \frac{20197,1}{795 * (318 - 298)} m^2 = 1,3 m^2$$

$$A_{TC\ 201} = \frac{-79065,8}{785,07 * (365 - 318)} m^2 = 2,15 m$$

$$A_{TC\ 301} = \frac{51655,4}{785,07 * (338 - 318)} m^2 = 3,3 m^2$$

$$A_{TC\ 402} = \frac{10229,6}{2733,19 * (313 - 298)} m^2 = 0,25 m^2$$

$$A_{TC\ 403} = \frac{17049,3}{2733,19 * (323 - 298)} m^2 = 0,25 m^2$$

$$A_{TC\ 501} = \frac{-77521,4}{232,61 * (298 - 343)} m^2 = 7,4 m^2$$

7. DIMENSIONAMENTO DOS DECANTADORES

Para dimensionar os decantadores V-302, V-402, V-404 e V-406, foram empregadas as mesmas condições aplicadas nos tanques de armazenamento, sendo estes horizontais, a proporção comprimento/diâmetro foi de 3,5 e os dados de massa específica dos componentes que compõe a mistura da corrente de entrada foram empregados segundo o que foi apresentado nas Tabelas 7 e 20. Os cálculos estão apresentados a seguir.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{V\ 302} = \dot{Q}_{V\ 402} = \dot{Q}_{V\ 404} = \dot{Q}_{V\ 406}$$

Deste modo, os volumes, diâmetros e comprimentos de todos os decantadores serão os mesmos.

$$\dot{Q} = \frac{3199,5 \frac{kg}{h}}{853,2 \frac{kg}{m^3}} + \frac{30,898 \frac{kg}{h}}{791 \frac{kg}{m^3}} + \frac{1,987 \frac{kg}{h}}{998 \frac{kg}{m^3}} + \frac{360,743 \frac{kg}{h}}{1260 \frac{kg}{m^3}} + \frac{33,988 \frac{kg}{h}}{926 \frac{kg}{m^3}} + \frac{30,898 \frac{kg}{h}}{2300 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\dot{Q} = 4,13 \frac{m^3}{h}$$

$$V = 4,13 \left| \frac{m^3}{h} \right| * 1 h = 4,13 m^3$$

Para este caso, aplicou-se de um decantador de 5 m³.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 5}{\pi * 3,5}} m = 1,2 m$$

$$L = 3,5 * 1,2 m = 4 m$$