

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Robson Eduardo dos Anjos Schneider

**PROJETO PRELIMINAR DE EQUIPAMENTO DIDÁTICO  
PRODUTOR DE BIODIESEL**

Cachoeira do Sul, RS  
2019

**Robson Eduardo dos Anjos Schneider**

**PROJETO PRELIMINAR DE EQUIPAMENTO DIDÁTICO  
PRODUTOR DE BIODIESEL**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Mecânico**.

Orientador: Prof. Dr. Juan Galvarino Cerda Balcazar

Co-orientador: Prof. Dr. César Gabriel dos Santos

Cachoeira do Sul, RS  
2019

Ficha Catalográfica  
Universidade Federal de Santa Maria  
Campus Cachoeira do Sul | UFSM-CS  
Biblioteca Setorial de Cachoeira do Sul  
Bibliotecário-Documentalista Carlos Eduardo Gianetti - CRB-10/2485

S358p Schneider, Robson Eduardo dos Anjos, 1995-

Projeto preliminar de equipamento didático produtor de biodiesel /  
Robson Eduardo dos Anjos Schneider. - Cachoeira do Sul, RS : [s.n.],  
2019.

Orientador: Juan Galvarino Cerda Balcazar.

Monografia (graduação) - Universidade Federal de Santa Maria,  
Campus Cachoeira do Sul.

63 p. ; il.

1. Biodiesel 2. Planta piloto 3. Equipamento didático 4.  
Engenharia Mecânica I. Balcazar, Juan Galvarino Cerda, 1985- II.  
Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul III.  
Título.

**Robson Eduardo dos Anjos Schneider**

**PROJETO PRELIMINAR DE EQUIPAMENTO DIDÁTICO  
PRODUTOR DE BIODIESEL**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Mecânico**.

---

**Prof. Dr. Juan Galvarino Cerda Balcazar (UFSM-CS)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Prof. Dr. César Gabriel dos Santos (UFSM-CS)**  
(Co-orientador)

---

**Prof. Me. Anderson Dal Molin (UFSM-CS)**

---

**Prof. Dr. Cristiano Frandalozo Maidana (UFSM-CS)**

Cachoeira do Sul, RS  
(2019)

## RESUMO

### PROJETO PRELIMINAR DE EQUIPAMENTO DIDÁTICO PRODUTOR DE BIODIESEL

AUTOR: Robson Eduardo dos Anjos Schneider  
ORIENTADOR: Prof. Dr. Juan Galvarino Cerda Balcazar

O desenvolvimento sustentável pode ser definido como a produção de bens e energia respeitando e preservando os recursos naturais. Em virtude disso, os biocombustíveis ganharam mais relevância quando se trata de produção de energia. Seu estudo e incentivo ao uso se deve, principalmente, por se tratar de um combustível biodegradável, não tóxico, renovável, além de ter emissão de poluentes não acentuada. Além do desenvolvimento sustentável, outro tópico discutido atualmente é a presença da tecnologia na sociedade. O mundo cobra que os avanços tecnológicos sejam utilizados em todos os ramos do conhecimento humano, incluindo o meio educacional. Equipamentos didáticos proporcionam uma abordagem atrativa aos conteúdos teóricos e, assim, aproximam a educação universitária da tecnologia, complementando o processo de ensino/aprendizagem. Diante do exposto, foi pensado este trabalho, cujo objetivo é realizar o projeto preliminar de uma planta piloto de biodiesel. O projeto preliminar foi feito com a aplicação de uma metodologia sistemática de projeto de produtos. Através da implementação das fases previstas na metodologia de projeto de produtos foram levantados os requisitos de projeto, as concepções da planta piloto, a lista de peças e componentes e uma análise de viabilidade econômica. Os resultados obtidos foram adequados aos requisitos de projeto e a viabilidade econômica foi alcançada. Espera-se que o desenvolvimento da planta piloto possa auxiliar professores e alunos no estudo de disciplinas do curso de engenharia mecânica, além da possibilidade deste equipamento ser aplicado em projetos de pesquisa, ensino, extensão e de iniciação científica.

**Palavras-chave:** Biodiesel. Planta Piloto. Projeto Preliminar.

## **ABSTRACT**

### **PRELIMINARY DESIGN OF DIDACTIC EQUIPMENT PRODUCER OF BIODIESEL**

**AUTHOR:** Robson Eduardo dos Anjos Schneider

**ADVISOR:** Juan Galvarino Cerda Balcazar

Sustainable development can be defined as the production of goods and energy respecting and preserving natural resources. As a result, biofuels have gained more relevance when it comes to energy production. Its study and encouragement to use is mainly due to the fact that it is a biodegradable, non-toxic, renewable fuel, besides having a non-accentuated emission of pollutants. Besides sustainable development, another topic currently discussed is the presence of technology in society. The world demands that technological advances be used in all branches of human knowledge, including the educational environment. Teaching equipment provides an attractive approach to theoretical content and thus bring university education closer to technology, complementing the teaching / learning process. Given the above, this work was conceived, whose objective is to develop the preliminary design of a pilot biodiesel plant. The preliminary design was done by applying a systematic product design methodology. Through the implementation of the phases foreseen in the product design methodology, the project requirements, the pilot plant designs, the parts and components list and an economic viability analysis were raised. The results obtained were adequate to the project requirements and the economic viability was achieved. The development of the pilot plant is expected to assist teachers and students in the study of disciplines of the mechanical engineering course, as well as the possibility of this equipment being applied in research, teaching, extension and scientific initiation projects.

**Keywords:** Biodiesel. Pilot Plant. Preliminary Design.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção do biodiesel. ....	16
Figura 2 - Equação geral da transesterificação. ....	28
Figura 3 - Equação da transesterificação de um triglicerídeo. ....	28
Figura 4 - Esboço de uma planta piloto para produção de biodiesel. ....	32
Figura 5 - Planta piloto para produção de biodiesel. ....	32
Figura 6 - Método de Mudge para hierarquização dos requisitos. ....	36
Figura 7 - Função global da planta piloto produtora de biodiesel. ....	40
Figura 8 - Funções parciais da planta piloto produtora de biodiesel. ....	40
Figura 9 - Funções elementares da planta piloto produtora de biodiesel. ....	41
Figura 10 - Primeira concepção alternativa. ....	48
Figura 11 - Segunda concepção alternativa. ....	49
Figura 12 - Terceira concepção alternativa. ....	49
Figura 13 - Matriz de avaliação das concepções alternativas. ....	50
Figura 14 - Leiautes da planta piloto. ....	51
Figura 15 - Árvore genealógica da planta piloto. ....	54

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aspectos técnicos e econômicos da produção de biodiesel com metanol e etanol.	24
Quadro 2 - Vantagens e desvantagens do uso de metanol para produção de biodiesel.....	25
Quadro 3 - Vantagens e desvantagens do uso de etanol para produção de biodiesel.....	26
Quadro 4 - Requisitos que a planta piloto deve atender. ....	35
Quadro 5 - Requisitos hierarquizados por ordem de importância. ....	36
Quadro 6 - Requisitos de projeto.....	37
Quadro 7 - Especificações de projeto da planta piloto. ....	38
Quadro 8 - Matriz morfológica da planta piloto de biodiesel.....	42
Quadro 9 - Combinação dos princípios de solução. ....	45



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Principais oleaginosas cultivadas no Brasil por região. ....	19
Tabela 2 - Teor de óleo de óleos vegetais. ....	20
Tabela 3 - Escala de importância adotada para o Método de Mudge. ....	36
Tabela 4 - Lista dos principais componentes da planta piloto. ....	53

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
1.1 OBJETIVOS .....	11
<b>1.1.1 Objetivo geral</b> .....	11
<b>1.1.2 Objetivos específicos</b> .....	11
1.2 JUSTIFICATIVA .....	11
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
2.1 HISTÓRICO DO BIODIESEL .....	13
2.2 ETAPAS DE PRODUÇÃO .....	15
2.3 INSUMOS .....	18
<b>2.3.1 Fontes de matéria-prima</b> .....	18
<b>2.3.2 Catalisadores</b> .....	22
<b>2.3.3 Álcool</b> .....	23
2.4 ROTA QUÍMICA .....	27
<b>2.4.1 Transesterificação</b> .....	27
<b>2.4.2 Esterificação</b> .....	28
<b>2.4.3 Craqueamento</b> .....	28
2.5 PRODUTOS E SUBPRODUTOS GERADOS .....	29
<b>2.5.1 Biodiesel</b> .....	29
<b>2.5.2 Glicerina</b> .....	29
2.6 PLANTA PILOTO .....	31
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	34
3.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA .....	34
3.2 PROJETO INFORMACIONAL .....	34
<b>3.2.1 Identificação dos requisitos</b> .....	35
<b>3.2.2 Hierarquização dos requisitos de cliente</b> .....	35
<b>3.2.3 Requisitos de projeto</b> .....	37

<b>3.2.4 Especificações de projeto</b> .....	37
<b>3.3 PROJETO CONCEITUAL</b> .....	39
<b>3.3.1 Estrutura funcional</b> .....	39
<b>3.3.2 Matriz morfológica</b> .....	41
<b>3.3.3 Combinação de princípios de solução</b> .....	44
<b>3.3.4 Concepções alternativas</b> .....	48
<b>3.3.5 Matriz de avaliação das concepções</b> .....	50
<b>3.4 PROJETO PRELIMINAR</b> .....	51
<b>3.4.1 Leiaute do produto</b> .....	51
<b>3.4.2 Sistema de codificação de peças</b> .....	52
<b>3.4.3 Lista de peças e estimativas de custo</b> .....	53
<b>3.4.4 Árvore Genealógica do Produto</b> .....	53
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	55
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	56
<b>5.1 TRABALHOS FUTUROS</b> .....	56
<b>REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	58

## 1 INTRODUÇÃO

Os biocombustíveis são fontes renováveis de energia e são derivados de fontes de matéria orgânica, como plantas oleaginosas, por exemplo. Exemplos de biocombustíveis incluem o biodiesel, o bioetanol e o bioquerosene. Entre os motivos para o uso de biocombustíveis, destaca-se a tendência mundial em substituir combustíveis de origem fóssil por combustíveis de origem renovável.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), durante as próximas décadas, é esperado o aumento do uso de energia limpa (em termos de motores de combustão interna) proporcionada pelo uso de biocombustíveis, enquanto a demanda por combustíveis fósseis tende a diminuir gradativamente (TEIXEIRA; TAOUIL, 2010). A queima de derivados de petróleo pode elevar os níveis de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, o que pode contribuir para o efeito estufa.

Assim como a questão de desenvolver meios menos agressivos ao meio ambiente para produção de energia e combustíveis, nos dias de hoje, o mundo também cobra cada vez mais que os avanços tecnológicos sejam utilizados em todos os ramos do conhecimento humano, incluindo o meio educacional.

Os últimos anos tem sido marcados por mudanças educacionais onde a predominância do uso de novas tecnologias têm se destacado numa sociedade que tem como objetivo a construção do próprio conhecimento pelo aluno (DINIZ, 2001). Bancadas, ferramentas e equipamentos didáticos em laboratórios são de grande valia para a experiência do aluno, pois proporcionam uma abordagem convidativa aos conteúdos teóricos, e assim aproximam a educação universitária da tecnologia, complementando o processo de aprendizagem e ensino, tornando-o mais prático.

Diante do exposto, foi proposto este trabalho, com o objetivo de realizar o projeto preliminar de equipamento didático produtor de biocombustível. Neste caso, o biocombustível abordado foi o biodiesel. Com esse trabalho, procura-se unir práticas difundidas atualmente referentes ao uso de energia limpa e pensamento consciente com relação ao meio ambiente, e de empregar tecnologia e equipamentos didáticos na educação a fim de complementar o processo de ensino-aprendizagem dos alunos e professores.

## 1.1 OBJETIVOS

Abaixo, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho, como forma de mostrar os possíveis norteadores para esta pesquisa, que visa elaboração de materiais didáticos, produção de combustíveis de origem não fóssil e a aplicação de metodologias de projeto para analisar as possibilidades de desenvolvimento deste equipamento.

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar o projeto preliminar de uma planta piloto de biodiesel.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos para este estudo são:

- a) Compreender o processo de produção de biodiesel através de revisão da literatura;
- b) Entender e conhecer quais são as tecnologias, equipamentos e insumos necessários para a produção de biodiesel;
- c) Realizar o projeto informacional de uma planta piloto de biodiesel;
- d) Implementar o projeto conceitual de uma planta piloto de biodiesel.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A justificativa para o desenvolvimento deste trabalho se explica pelo fato de não existir um instrumento dando suporte a este tipo de tarefa na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS). O Campus Cachoeira do Sul da UFSM está em desenvolvimento. Para acompanhar este processo, espera-se que os equipamentos de ensino também estejam em desenvolvimento, isto é, que eles sejam didáticos e experimentais ao mesmo tempo. Através disso, pode ser possível criar uma interdisciplinaridade no ensino da engenharia. A contribuição da interdisciplinaridade na formação de um engenheiro é evidenciada por Zilli e Lambert (2010, p. 2):

Ao longo dos anos, tem-se percebido a necessidade de formar profissionais dotados de conhecimentos multidisciplinares e de uma grande capacidade de abstração das informações recebidas cotidianamente no ambiente de formação profissional ou em um ambiente no qual sejam gerados outros conhecimentos. A fim de suprir essa necessidade, as universidades, de maneira geral, buscam adequar sua estrutura curricular de modo a permitir que se formem pessoas capazes de atender às exigências futuras do mercado de trabalho, baseadas no contexto atual das mudanças econômicas e sociais.

Novas disciplinas ou mesmo alterações de enfoque nas já existentes podem ser desenvolvidas para dar aos estudantes uma visão clara e multidisciplinar da abrangência da engenharia e da área tecnológica na qual o mundo atual está inserido (COELHO; VALLIM, 2001)

A motivação e o conhecimento dos alunos de graduação podem ser aprimorados pela inclusão de componentes de laboratório, utilização de *softwares* de simulação, viagens de estudo, adoção de projetos práticos realizados em grupo, entre outras maneiras. Os educadores estão constantemente tentando aprimorar o currículo e, para tanto, estão buscando o material adequado a fim de atender aos diferentes níveis do ensino (COELHO; VALLIM, 2001). Um meio que pode ser explorado tanto em cursos de graduação, quanto pós-graduação, são aulas práticas em laboratório utilizando equipamentos didáticos.

Uma planta piloto de biodiesel pode abordar diferentes matérias do curso de engenharia mecânica simultaneamente. Dependendo do objetivo do usuário, pode-se utilizar tal equipamento para estudar princípios de físico-química, termodinâmica, resistência dos materiais, entre outras disciplinas.

Além disso, espera-se que o desenvolvimento de uma planta piloto produtora de biodiesel possa auxiliar professores e alunos no estudo de disciplinas do curso de engenharia mecânica pois tornaria este processo mais interativo, promovendo maior interesse por parte dos sujeitos envolvidos e fortalecendo a relação ensino-aprendizagem, além da possibilidade da planta piloto ser aplicada em projetos de iniciação científica e projetos de pesquisa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção são apresentados os conceitos teóricos deste trabalho de conclusão de curso. Inicialmente foi mostrado um histórico das pesquisas de biodiesel, posteriormente, foram apresentados alguns dos principais processos, com as etapas, insumos e produtos finais relacionados à produção de biodiesel. Por fim, foram abordados as definições de bancadas didáticas e planta piloto.

### 2.1 HISTÓRICO DO BIODIESEL

Sustentabilidade é um conceito relacionado à produção de bens e energia através do emprego de idéias, estratégias e atitudes ecologicamente corretas, economicamente viáveis, socialmente justas e culturalmente diversas (ROSEN, 2009).

Em termos de geração de energia, uma maneira de se atingir um desenvolvimento sustentável é a substituição gradual, organizada e planejada dos combustíveis fósseis por biocombustíveis.

Os combustíveis fósseis, como o diesel, a gasolina dentre outros, são de vital importância no setor econômico de um país desenvolvido ou em desenvolvimento. A alta demanda de energia em diversos setores industriais e residenciais resultou em uma crescente necessidade de desenvolver fontes de energias renováveis com menor impacto ambiental que os meios tradicionais à base de petróleo (GERIS, 2007).

Uma alternativa possível ao combustível fóssil é o uso de óleos, de origem vegetal e animal, os quais podem ser denominados de “biodiesel”. A definição de biodiesel pode ser encontrada no Artigo 3, Inciso I da Resolução Nº 30, expedida pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (2016):

Biodiesel: combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de materiais graxos, de origem vegetal ou animal, e que atenda a especificação contida no Regulamento Técnico nº 3/2014, parte integrante da Resolução ANP nº 45 de 25 de agosto de 2014, ou outra que venha substituí-la. (BRASIL, 2016, p.2)

O biodiesel é um combustível renovável e biodegradável, podendo ser obtido, principalmente, a partir de óleos vegetais ou gorduras de origem animal. De acordo com Singh e Singh (2010), os óleos mais utilizados como matéria prima para produção de

biodiesel são aqueles extraídos da soja, girassol, palma (dendê), canola, algodão e jatropha. Entre as gorduras animais, destacam-se o sebo (de origem bovina) e a banha (de origem suína).

O uso do biodiesel pode proporcionar um equilíbrio entre agricultura, desenvolvimento econômico e o meio ambiente (MEHER; VIDYASAGAR; NAIK, 2006). Essas são características que estão de acordo com o pensamento ecologicamente consciente dos tempos atuais, no entanto, as pesquisas e o interesse em biodiesel não são exclusividade de agora.

De acordo com Knothe (2010), o primeiro registro documentado de óleo vegetal utilizado como combustível remete à Feira Mundial de Paris, em 1900. Neste evento, Rudolf Diesel (1858 - 1913), engenheiro mecânico alemão considerado o inventor do motor a diesel, demonstrou o funcionamento de um pequeno motor a diesel operando com óleo de amendoim.

O motor operou suavemente, poucas pessoas notaram que o combustível utilizado não era o diesel convencional. Como complemento, Dabdoub, Bronzel e Rampin (2009) expõe que o primeiro uso de um combustível similar ao biodiesel conhecido atualmente foi feito por Charles George Chavanne. Em 1937, Chavanne depositou uma patente na Bélgica que descrevia a transesterificação do óleo de dendê com etanol ou metanol na presença de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) como catalisador.

No ano seguinte, o óleo produzido por Chavanne chegou, inclusive, a ser aplicado em ônibus de transporte urbano na Bélgica, novamente obtendo resultados satisfatórios. No entanto, a partir da metade da década de 1940 as pesquisas relacionadas a combustíveis alternativos ficaram praticamente estacionadas. A relevância do biodiesel e demais combustíveis alternativos ressurgiu apenas no final da década de 1960, quando as constantes crises no fornecimento de petróleo retomaram o interesse nessa área de estudo.

Em 1977, o cientista brasileiro Exedito Parente criou o primeiro processo industrial para a produção de Biodiesel. Tratava-se de produção de biodiesel pelo processo de transesterificação de etanol (GUO; SONG; BUHAIN, 2015). Com a intenção de não depender unicamente do petróleo (e, por consequência, das questões geopolíticas inerentes à sua distribuição), os estudos e incentivos ao biodiesel foram crescendo constantemente. Cheng (2017) comenta a evolução histórica do biodiesel:

Ao longo dos anos 90, plantas de produção de biodiesel foram criadas em vários países europeus, incluindo a República Tcheca, Alemanha e Suécia. A França lançou uma produção local de biodiesel utilizando como matéria prima o óleo de



canola, que é misturado ao diesel convencional numa proporção de 5%. Nesse mesmo período, o Instituto Austríaco de Biocombustíveis (*Austrian Biofuels Institute*), em Viena, Austria identificou 21 países com projetos comerciais de biodiesel. Em Setembro de 2005, o Minnesota se tornou o primeiro estado dos Estados Unidos da América a decretar que todo o diesel convencional vendido nos postos de gasolina sejam misturados com no mínimo 2% de biodiesel (CHENG, 2003, p.301).

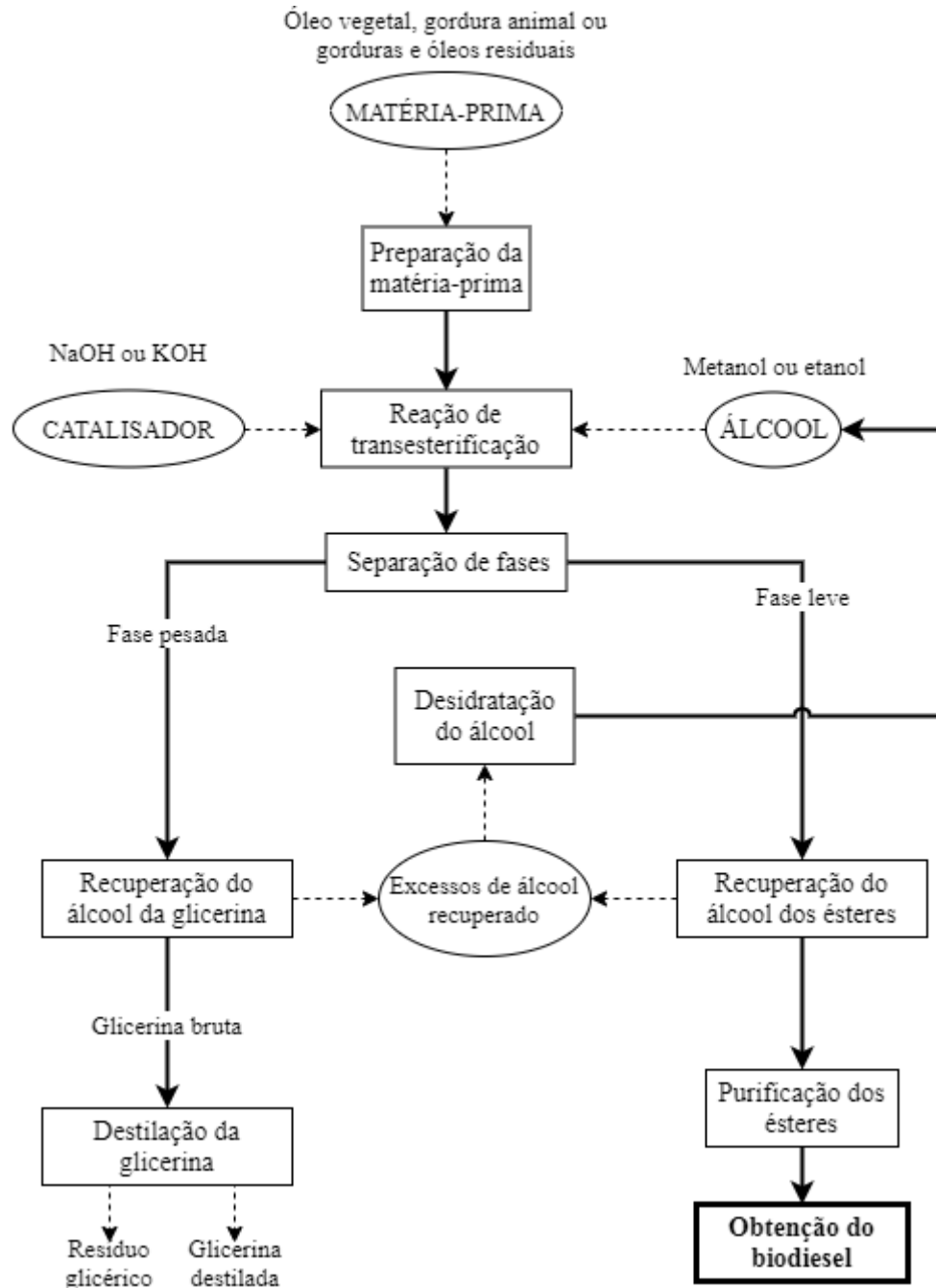
No Brasil, a Lei nº 11.097/2005 retomou oficialmente o programa de substituição do diesel por derivados de óleos vegetais, introduzindo oficialmente o biodiesel na matriz energética nacional. Passados 10 anos, o investimento nesse tipo de combustível alternativo é cada vez maior. Segundo informações oficiais do Governo do Brasil, em outubro de 2016 a produção mensal de biodiesel atingiu 351 mil m<sup>3</sup>, a maior registrada naquele ano.

No acumulado de 2016, foram produzidos 3.194 mil m<sup>3</sup>, segundo dados divulgados em boletim do Ministério de Minas e Energia (MME). Conforme especificado por Cremones et al. (2015), a perspectiva global para o ano de 2020 é de que a produção de biodiesel seja de 41.9 bilhões de litros, com o Brasil, Estados Unidos e Índia concentrando a produção de 75% dessa quantia.

## 2.2 ETAPAS DE PRODUÇÃO

O processo de produção do biodiesel envolve etapas operacionais, conforme mostra o fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção do biodiesel.



Fonte: Adaptado de Parente (2003).

No processo de produção do biodiesel, antes da matéria prima ser destinada à usina, o óleo vegetal ou gordura animal, precisa passar por um tratamento para retirada de umidade, fósforo, ácidos graxos livres e ceras. No caso do óleo de soja (o mais utilizado para produzir

biodiesel), o pré-tratamento é um processo contínuo de neutralização e filtração com sílica ou terra ativada.

A neutralização é feita para eliminar a maior parte do fósforo e dos ácidos graxos, convertendo-os em um produto chamado borra. O óleo com altos teores de ácido é tratado com soda cáustica para neutralizar os ácidos graxos e remover outras impurezas. O processo de neutralização resulta na produção de sabão, considerado um subproduto, e por isso deve ser removido em uma separadora centrífuga (BIODIESELBR, 2018).

No pré-tratamento, a sílica ou terra ativada é adicionada ao óleo recém tratado a fim absorver fosfatídeos residuais, traços de metal e traços de sabão formados durante a neutralização. A sílica ou terra ativada e o óleo são misturados em um tanque com agitador, para melhorar o contato entre os materiais. Em seguida, o óleo é enviado em um secador a vácuo para remover a umidade que não pode ser absorvida pela sílica.

O próximo passo é a filtração, com o objetivo de retirar as últimas impurezas do óleo. Feito isso, a temperatura do óleo é corrigida e estabilizada antes deste ser armazenado, e então está apto a ser enviado para a usina de biodiesel (BIODIESELBR, 2018). A próxima etapa da produção do biodiesel é a transesterificação.

Existem vários processos químicos que possibilitam a produção de biodiesel, sendo a transesterificação o mais comum entre eles. No setor de transesterificação o óleo é misturado com um álcool (podendo ser do tipo etanol ou metanol) em um reator com agitação mecânica, sob ação de um catalisador, e assim os triglicerídeos da matéria-prima serão convertidos em ésteres de ácidos graxos e glicerina, basicamente.

Como a intenção é obter o biodiesel na sua forma mais pura, é necessário fazer a separação de fases. Esse processo pode ser feito por decantação ou centrifugação, onde a mistura permanecerá pelo tempo necessário até que as fases de éster e de glicerina se separem devido a diferença de densidade.

Após a glicerina ser retirada, o éster é transferido para um segundo reator, onde mais álcool e catalisador serão acrescentados com o objetivo de completar a reação de transesterificação. O éster vai para um misturador estático, onde recebe ácido clorídrico para neutralizar qualquer catalisador remanescente e auxiliar na separação dos resíduos de glicerina.

Em seguida, o éster é lavado com água num misturador para diluir o ácido e o catalisador. Por ter densidade maior, a água utilizada na lavagem do éster posteriormente será drenada com o uso de um decantador. Depois desta etapa, o éster segue para um tanque-pulmão e é bombeado para um *stripper* (uma coluna de purificação que trabalha sob vácuo,

removendo umidade e traços de metanol). Posteriormente o produto é resfriado para ocorrer a precipitação dos chamados esteróis glicosados (BIODIESELBR, 2018).

Segundo Tecpar (2012), é preciso remover esses elementos do biodiesel pois os mesmos podem causar o entupimento do sistema de injeção. A última etapa na produção de biodiesel envolve a filtragem do biocombustível, que segue para os tanques de armazenamento, estando apto a ser utilizado. O álcool e a glicerina, considerados subprodutos do processo de produção de biodiesel, podem ser recuperados. A recuperação da glicerina é feita para torná-la mais pura e aumentar seu valor comercial.

Caso a transesterificação tenha sido realizada com catalisador básico, a recuperação da glicerina pode ser feita com a adição de ácido para neutraliza a glicerina transformando-a em ácido graxo, sendo o ácido clorídrico o mais utilizado para esses fim. (BIODIESELBR, 2018). Duas fases serão resultantes desse processo: a mistura de glicerina com sais constitui a fase pesada enquanto a fase leve é constituída pela oleína (ácido graxo recuperado).

A separação de fases será feita com um decantador ou centrífuga. Após essa etapa, a glicerina obtém um grau de pureza de, aproximadamente, 85%. Sob essa forma a glicerina já constitui um produto ventável, mas seu valor de mercado pode ser aumentado conforme aumenta o seu grau de purificação. Na Figura 1 é mostrado um fluxograma do processo de produção do biodiesel, demonstrando as etapas operacionais descritas nesta seção 2.2.

## 2.3 INSUMOS

Nesta seção são discorridos os insumos necessários para a produção de biodiesel. Para produzir este biocombustível é necessário um álcool, podendo ser etanol ou metanol, um catalisador e uma matéria-prima graxa, que pode ter origem vegetal, animal ou ainda ser material residual de atividades industriais, comerciais ou domésticas.

### 2.3.1 Fontes de matéria-prima

O biodiesel pode ser produzido a partir de diferentes fontes de matéria-prima. É possível obter o biocombustível utilizando óleos vegetais, gorduras animais e óleos e gorduras residuais, entre outros. A princípio, toda substância composta por triglicerídeos e ácidos graxos pode ser empregada para produção de biodiesel. Cada país estabelece uma

dependência maior de uma fonte de matéria-prima específica em virtude da viabilidade que elas possuem levando-se em conta o fornecimento contínuo e de grande escala.

### 2.3.1.1 Óleos vegetais

Óleos vegetais são gorduras extraídas de plantas. Essas plantas são chamadas de plantas oleaginosas. Através da união de três moléculas de ácidos graxos com uma molécula de glicerol é originada uma substância chamada triglicerídeo, pertencente à função orgânica éster. Os óleos são constituídos predominantemente por uma mistura de triglicerídeos. À temperatura ambiente, os triglicerídeos estão na forma líquida, e são chamados de óleo. Quando encontram-se no estado sólido, recebem o nome de gordura.

É possível extrair o óleo vegetal de várias partes de uma oleaginosa, como raízes, folhas, galhos e frutos. Contudo, na prática, o óleo é extraído quase que exclusivamente das sementes. Além dos triglicerídeos, os óleos contêm vários componentes em menor proporção, entre eles mono e diglicerídeos, ácidos graxos livres, proteínas, esteróis e vitaminas (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2017).

O óleo vegetal pode ser extraído de qualquer oleaginosa. É possível obtê-lo através de plantas como dendê (que oferece o óleo de palma), babaçu, milho, girassol, soja, canola, colza, amendoim, mamona, nozes, algodão, entre outros. De acordo com Beltrão e Oliveira (2009), qualquer óleo vegetal pode ser utilizado para fabricação de combustíveis para motores a diesel, porém, alguns óleos apresentam melhor desempenho em função de suas propriedades físico-químicas.

Favorecido por sua vasta extensão territorial e variedade climática, o Brasil apresenta um enorme potencial para a produção de diferentes espécies oleaginosas que podem ser utilizadas na síntese do biodiesel, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais oleaginosas cultivadas no Brasil por região.

<b>Região do Brasil</b>	<b>Principais oleaginosas cultivadas</b>
Norte	Dendê, babaçu e soja
Nordeste	Babaçu, soja, mamona, dendê, algodão e côco
Centro-oeste	Soja, mamona, algodão, girassol,

	dendê, nabo forrageiro
Sudeste	Soja, mamona, algodão e girassol
Sul	Soja, canola, girassol, algodão, nabo forrageiro

Fonte: Adaptado de Garcia (2006)

O teor de óleo aproximado que pode ser encontrado em algumas oleaginosas é mostrado na Tabela 2

Tabela 2 - Teor de óleo de óleos vegetais.

<b>Fonte do óleo</b>	<b>Teor de óleo [%]</b>
Polpa seca de côco (copra)	66 - 68
Babaçu	60 - 65
Gergelim	50 - 55
Mamona	46 - 50
Polpa de palma (dendê)	45 - 50
Caroço de palma	45 - 50
Amendoim	45 - 50
Colza	40 - 45
Girassol	35 - 45
Açafrão	30 - 35
Oliva	25 - 30
Algodão	18 - 20
Soja	18 - 20

Fonte: Adaptado de Quessada et al. (2010)

Apesar da soja apresentar um teor de óleo pequeno, ela é a principal matéria-prima utilizada para produção do biodiesel no Brasil. Isso se deve ao fato de ser cultivada em, praticamente, todo o território nacional e também por ser uma das plantas que possui o maior avanço tecnológico existente no país. Além disso, a torta residual da extração do óleo da soja pode ser utilizada para fabricação de ração animal.

### *2.3.1.2 Gorduras animais*

Os óleos e gorduras de animais possuem estruturas químicas semelhantes às dos óleos vegetais, já que as gorduras de origem animal também possuem estrutura química baseada em moléculas de triglicerídeos e ácidos graxos. As diferenças estão nos tipos e distribuições dos ácidos graxos combinados com o glicerol.

Devido a essa semelhança química, gorduras de origem animal também podem ser utilizadas como matéria-prima para produção de biodiesel. Entre as gorduras usadas para este fim, encontram-se o sebo bovino, óleos de peixes, óleo de mocotó, banha de porco e gordura de frango (PARENTE, 2003).

Pelo fato do seu custo ser menor do que o do óleo vegetal, as gorduras de origem animal são consideradas matérias-primas atrativas para produção de biodiesel, pois o aproveitamento desses materiais graxos é praticamente total, e o Brasil possui o segundo maior rebanho bovino no mundo (MENEGUETTI; ZAN; MENEGUETTI, 2013). O aumento do uso de gordura animal e sebo na produção de biodiesel também se devem à disponibilidade dessas matérias-primas e sua vantagem de preço sobre óleos vegetais para plantas que têm a capacidade de processar matérias-primas com alto teor de ácidos graxos livres (CENTREC CONSULTING GROUP LLC FOR THE NATIONAL BIODIESEL BOARD, 2014).

No entanto, conforme observado por Van Gerpen (2014), gorduras animais frequentemente contêm contaminantes, que devem ser removidos da matéria-prima graxa a fim de não comprometer a produção do biodiesel. Além disso, pesquisas mostraram que o ponto de fulgor do biodiesel produzido com gordura animal era ligeiramente mais alto do que o limite padrão, o que poderia causar problemas na ignição e funcionamento do motor (BANKOVIĆ-ILIĆ et al., 2014).

### *2.3.1.3 Óleos e gorduras residuais*

Além dos óleos e gorduras virgens, abordadas nas seções 2.3.1.1 e 2.3.1.2 deste trabalho, também é possível utilizar óleos e gorduras residuais como fonte de matéria-prima para produção de biodiesel. Esses resíduos podem ser resultantes de atividades domésticas, industriais e comerciais. Parente (2003) traz alguns exemplos de onde essas situações são encontradas:

- Ambientes onde são realizadas frituras de alimentos, como restaurantes, lanchonetes, bares, cantinas, redes de *fast food* e demais cozinhas industriais, comerciais ou domésticas;
- Indústrias que processam produtos pré-fritos congelados, como batata palito, produtos cárneos empanados e petiscos;
- Os esgotos municipais onde a nata sobrenadante é rica em matéria graxa, possível de extrair-se óleos e gorduras;
- Águas residuais de processos de certas indústrias alimentícias, como as indústrias de pescados, de couro, etc.
- Gorduras animais animais, principalmente sebo bovino, encontradas em curtumes, frigoríficos e abatedouros de animais de médio e grande porte.

É interessante o uso de óleos de frituras obtido através de estabelecimentos como restaurantes, lanchonetes e bares, por exemplo, pois, assim, é possível reutilizar resíduos e aproveitar matéria-prima alternativa para produção de biocombustíveis ao mesmo tempo que ocorre a diminuição dos efeitos de degradação do meio ambiente decorrente das atividades urbanas. Em uma situação convencional, esses resíduos graxos poderiam ser descartados de maneira inadequada, atingindo à natureza. No entanto, quando os óleos de frituras são destinados à produção de biodiesel, isso não é observado. Há de se destacar que a produção de biodiesel, seja qual for a matéria-prima empregada, irá produzir, além do biocombustível, subprodutos. Estes devem ser administrados com responsabilidade para evitar que o meio ambiente seja prejudicado.

### **2.3.2 Catalisadores**

Catalisadores são substâncias que são adicionadas em reações químicas com o objetivo de alterar a velocidade da reação química e diminuir a energia de ativação. Esse processo é chamado de catálise. O catalisador não altera a composição química dos reagentes e produtos envolvidos. Da mesma forma, a quantidade de substância gerada pela reação não é alterada com o uso de catalisadores.

A catálise pode ser classificada como catálise homogênea ou catálise heterogênea. Na catálise homogênea, reagentes e catalisador estão no mesmo estado físico, formando um sistema monofásico, enquanto que na catálise heterogênea, reagentes e catalisador não estão no mesmo estado físico, formando um sistema heterogêneo.



Os catalisadores utilizados nas reações de transesterificação podem ser ácidos ou básicos. Catalisadores ácidos comumente utilizados incluem ácidos sulfúrico, clorídrico, sulfônicos orgânicos e incluindo aqui, ácidos de Lewis, como cloreto de alumínio.

A transesterificação realizada com ácidos como catalisadores é extremamente mais lenta do que a realizada com catalisadores básicos, chegando a 4000 vezes para mesma quantidade de catalisador, mas é indicada nos casos em que há grande quantidade de umidade e de ácidos graxos livres no óleo (QUESSADA et al., 2010). Ainda que a transesterificação utilizando catalisadores ácidos tenha altos rendimentos, ela também possui a desvantagem de requerer uma razão molar alta entre álcool e óleo (GARCIA, 2006), aumentando assim o custo do processo de produção de biodiesel.

Catalisadores alcalinos (ou básicos) utilizados nas reações de transesterificação incluem o hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de potássio (KOH), além de carbonatos e alcóxidos. Parente (2003) afirma que o catalisador mais utilizado para produção de biodiesel no Brasil é o hidróxido de sódio por ter um custo de aquisição menor do que os demais catalisadores alcalinos, além do rendimento e seletividade serem maiores e apresentar menores problemas relacionados à corrosão de equipamentos. Os catalisadores mais eficientes para esse propósito são KOH e NaOH e a catálise básica homogênea é a mais empregada industrialmente e comercialmente (ENCARNAÇÃO, 2008).

Mesmo sendo preferidos para aplicações comerciais e industriais, catalisadores básicos apresentam algumas desvantagens em seu uso. Um deles são os problemas quando a umidade e o teor de ácidos graxos livres presentes na matéria prima são altos, acima de 1 % e 0,5 %, respectivamente. Segundo Fukuda et al. (2001), alta umidade provoca reação de saponificação, que consome o catalisador, reduz sua eficiência, aumenta a viscosidade, favorece a formação de géis e dificulta a separação do glicerol. Quando o teor de ácidos graxos é superior a 0,5%, é necessário um aumento na quantidade de catalisador para compensar a formação de sabões.

### **2.3.3 Álcool**

Para ser possível a produção de biodiesel, é necessário que, sob condições de temperatura e pressões adequadas e na presença de um catalisador, ocorra uma reação química onde moléculas de triglicerídeos - derivada de óleos vegetais ou gordura animal - reaja com um álcool de cadeia curta, geralmente metanol ou etanol.

O metanol e o etanol são os álcoois primários mais produzidos em escala industrial e seus usos na produção de biodiesel têm sido frequentes (GARCIA, 2006). Considerando a produção de biodiesel através de todo o mundo, o mais usual é a utilização de metanol (PARENTE, 2003). O metanol mostra-se mais vantajoso em termos técnicos e econômicos, conforme mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Aspectos técnicos e econômicos da produção de biodiesel com metanol e etanol.

<b>Quantidades e condições usuais médias aproximadas</b>	<b>Rotas de processo</b>	
	Via metanol	Via etanol
Quantidade consumida de álcool por 1.000 litros de biodiesel	90 kg	130 kg
Preço médio do álcool	190 US\$/kg	360 US\$/kg
Excesso recomendado de álcool que pode ser recuperado a após reação	100%	650%
Temperatura recomendada de reação	60 °C	85 °C
Tempo de reação	45 minutos	90 minutos

Fonte: Adaptado de Parente (2003).

Em geral, o metanol é obtido de fontes fósseis não-renováveis (usualmente é produzido a partir do petróleo), mas também pode ser feito por destilação seca da madeira, embora assim, a quantidade alcoólica obtida seja menor. Por um lado, a tecnologia de produção de biodiesel pela rota metílica é dominada e bem estabelecida. A desvantagem da rota metílica para produção de biodiesel está na toxicidade e riscos de acidentes e incêndios associados ao uso de metanol, conforme observado no Quadro 2.

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens do uso de metanol para produção de biodiesel.

<b>USO DO METANOL</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
O consumo de metanol no processo de transesterificação é cerca de 45% menor que do etanol anidro.	Apesar de poder ser produzido a partir da biomassa, é tradicionalmente um produto fóssil.
O preço do metanol é quase metade do preço do etanol.	Alta toxicidade.
É mais reativo	Mais volátil (maior risco de incêndio).
Para uma mesma taxa de conversão (e mesmas condições operacionais), o tempo de reação utilizando o metanol é menos da metade do tempo quando se emprega o etanol.	Chama invisível.
Considerando a mesma produção de biodiesel, o consumo de eletricidade pela rota metílica é menos da metade do consumo de eletricidade pela rota etílica	Transporte é controlado pela Polícia Federal, por se tratar de matéria-prima para extração de drogas.
Os equipamentos de processo da planta produtora de biodiesel com rota metílica é cerca de ¼ de volume dos equipamentos para a rota etílica, para uma mesma produtividade e mesma qualidade.	Apesar de ser ociosa, a capacidade atual de produção brasileira de metanol só garantiria o estágio inicial de um programa de âmbito nacional.

Fonte: Adaptado de Costa e Oliveira (2006).

Considerando unicamente o contexto brasileiro, o uso de etanol é vantajoso, visto que o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (NEO MONDO, 2018). As vantagens da utilização do etanol ainda incluem a não-toxicidade da substância e a possibilidade dela ser 100% renovável. Por outro lado, a transesterificação explorando a via etílica pode ser mais

trabalhosa (GARCIA, 2006). No Quadro 3 são apontadas vantagens e desvantagens do uso de etanol para produção de biodiesel.

Quadro 3 - Vantagens e desvantagens do uso de etanol para produção de biodiesel.

<b>USO DO ETANOL</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Produção alcooleira no Brasil já consolidada.	Os ésteres etílicos possuem maior afinidade à glicerina, dificultando a separação.
Produz biodiesel com uma maior índice de cetano e maior lubricidade, comparado ao biodiesel produzido com metanol.	Possui azeotropia, quando misturado com água. Com isso sua desidratação requer maiores gastos energéticos e investimentos com equipamentos.
Se for etanol feito através de biomassa, o biodiesel produzido é 100% renovável.	Os equipamentos de processo da planta com rota metílica é cerca de ¼ de volume dos equipamentos para a rota etílica, para uma mesma produtividade e mesma qualidade.
Gera ocupação e renda no meio rural, além de mais economia de divisas.	Dependendo do preço da matéria-prima, os custos de produção do biodiesel etílico podem ser até 100% maiores que o biodiesel metílico.
Não é tóxico e apresenta menor risco de incêndios.	-

Fonte: Adaptado de Costa e Oliveira (2006).

A transesterificação utilizando o etanol é mais difícil de ser feita, pois o uso do deste álcool, ainda que em estado puro, implica em problemas na separação da glicerina do meio reacional, porém, este problema pode ser contornado por ajustes nas condições reacionais (GARCIA, 2006).

## 2.4 ROTA QUÍMICA

Nesta seção são apresentadas alguns processos com as suas respectivas reações químicas usadas na produção de biodiesel.

### 2.4.1 Transesterificação

Em química orgânica, transesterificação é o nome dado à reação química entre um éster e um álcool onde há formação de um novo éster e um novo álcool. A velocidade e o rendimento da conversão pode ser aumentado na presença de um catalisador, que pode ser básico ou ácido. Ramos et al. (2011) e Geris et al. (2007) definem a transesterificação de triacilglicerídeos como o principal método de produção de biodiesel.

Triacilglicerídeos (também conhecidos como triglicerídeos) são constituídos de uma molécula de glicerol ligada a três de ácido graxo e são compostos encontrados em abundância em óleos vegetais e gordura de origem animal. No entanto, o biodiesel também pode ser produzido a partir de matérias-primas residuais ou “alternativas” (contanto que tenham uma boa concentração de triacilglicídeos), como os óleos de fritura, por exemplo.

Na obtenção de biodiesel através da transesterificação, os triglicerídeos presentes no óleo são transformados em moléculas menores de ésteres de ácido graxo (biodiesel) a partir de um agente transesterificante (álcool primário) e um catalisador básico ou ácido (BARROS; JARDINE, 2018).

Segundo Geris et al. (2007), a adoção da transesterificação como principal meio para produção de biodiesel se deve, entre outros, pelo fato das características físicas dos ésteres de ácidos graxos serem muito próximas daquelas do diesel convencional, visto que esse é um fator que influencia positivamente nas propriedades do biodiesel.

A Figura 2 demonstra a reação química geral (ou genérica) de transesterificação, enquanto a Figura 3 ilustra a reação de transesterificação de um triglicerídeo. É importante enfatizar que triacilglicerídeo e triglicerídeo são sinônimos, ambas formas possuem o mesmo significado, enquanto “glicerol” remete à glicerina (glicerina é o nome comercial do glicerol com pureza superior a 95%).

Figura 2 - Equação geral da transesterificação.



Fonte: Adaptado de Geris et al. (2007)

Figura 3 - Equação da transesterificação de um triglicerídeo.



Fonte: Adaptado de Geris et al. (2007)

## 2.4.2 Esterificação

Esterificação é o nome dado à reação química onde há produção de ésteres. Nessa reação, um ácido carboxílico (i.e. ácido graxo) reage com um álcool tendo como produto final um éster e água. A esterificação é uma reação reversível e é catalisada na presença de um ácido forte, como ácido sulfúrico ou ácido clorídrico. Se tratando de biodiesel, a esterificação apresenta as vantagens de produção desse biocombustível a partir de resíduos industriais e a formação de apenas água como subproduto.

## 2.4.3 Craqueamento

O craqueamento é uma reação de decomposição que consiste na quebra de molécula de triglicerídeos em moléculas menores (hidrocarbonetos). Esse processo químico pode ser empregado para a produção de biocombustíveis, já que triglicerídeos estão presentes em óleos vegetais e gorduras de origem animal.

A pirólise de óleos e gorduras pode ser realizada via craqueamento térmico ou catalítico. O craqueamento térmico caracteriza-se pela degradação dos óleos e gorduras por altas temperaturas e na presença de catalisadores. Ao atingir temperaturas próximas a 400 °C,

as ligações químicas dos triglicerídeos se rompem, formando moléculas menores, com características físico-químicas semelhantes às dos combustíveis fósseis. Os catalisadores atuam nesse processo afim de otimizar a reação, diminuindo a energia necessária para a conversão, e, por consequência, tornando o processo mais barato (BARROS; JARDINE, 2018).

## 2.5 PRODUTOS E SUBPRODUTOS GERADOS

### 2.5.1 Biodiesel

O biodiesel é um combustível alternativo, biodegradável, de queima limpa obtido a partir de mistura de óleos vegetais extraídos de culturas oleaginosas ou gordura de animais. O biodiesel não contém petróleo, mas pode ser adicionado a ele formando uma mistura (APOLINÁRIO; PEREIRA; FERREIRA, 2012).. Além disso, por ser miscível e físico-quimicamente semelhante ao óleo diesel mineral, o biodiesel pode substituir o diesel de petróleo praticamente em qualquer motor, sem requerer maiores modificações. Conforme Plá (2002), “a potência do motor e o rendimento térmico do combustível são quase tão bons quanto os obtidos a partir do combustível derivado do petróleo”.

O método mais difundido no presente para fabricação do biodiesel é um processo químico chamado transesterificação, que ocorre entre qualquer triglicerídeo (óleos e gorduras animais ou vegetais) e álcool de cadeia curta (metanol ou etanol). É denominado transesterificação o processo de separação entre a glicerina contida no óleo, e sua posterior substituição pelo álcool na cadeia. Tal processo gera dois produtos, ésteres (o nome químico do biodiesel) e glicerina (APOLINÁRIO; PEREIRA; FERREIRA, 2012).

### 2.5.2 Glicerina

Define-se “subproduto” como sendo o produto que se obtém no curso da fabricação de uma outra substância ou como resíduo de uma extração, ou ainda algo que resulta secundariamente de outra coisa. O principal subproduto na produção de biodiesel é o glicerol (MOTA; SILVA; GONÇALVES, 2009).

O glicerol em estado puro é um composto químico pertencente a função orgânica álcool, e é caracterizado por ser líquido (em temperatura ambiente), incolor, viscoso e não-

tóxico. O glicerol está presente em óleos e gorduras de origem animal e vegetal em sua forma combinada, isto é, ligado a ácidos graxos, formando moléculas de triglicerídeo. Para cada 90 m<sup>3</sup> de biodiesel produzidos por transesterificação são gerados, aproximadamente, 10 m<sup>3</sup> de glicerol (MOTA; SILVA; GONÇALVES, 2009).

Após a conversão da matéria-prima graxa em biodiesel através da reação de transesterificação, a massa reacional apresenta-se constituída de duas fases, separáveis por decantação ou centrifugação. A fase mais pesada (de maior densidade), é composta de glicerol (também chamada de glicerina bruta), impregnada de excessos reacionais de álcool, água, impurezas da matéria-prima e partes do catalisador. A fase mais leve é constituída de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos, conforme a natureza do álcool utilizado na transesterificação. A fase mais leve também apresenta-se impregnada de impurezas da matéria-prima e excesso de álcool (PARENTE, 2003).

A composição das impurezas presentes em ambas fases depende do tipo de catálise e do tipo de matéria-prima graxa empregada na reação de transesterificação. Mesmo com as impurezas formadas durante o processo, a glicerina bruta é considerada um subproduto de valor agregado no mercado (PEITER et al., 2016). Como complemento, Encarnação (2008) destaca que o valor de mercado da glicerina pode ser aumentado conforme aumenta o seu grau de purificação (ENCARNAÇÃO, 2008).

A rigor, o termo glicerina aplica-se aos produtos comerciais purificados, normalmente contendo grau de pureza de, pelo menos, 95%. Com o propósito de evitar futuros problemas derivados da acumulação de glicerol e incentivar o desenvolvimento sustentável, torna-se necessária a busca de soluções para o uso do glicerol bruto gerado na produção de biodiesel (MOTA; SILVA; GONÇALVES, 2009). Deseja-se evitar que efluentes contendo glicerol sejam descartados no meio ambiente sem nenhum tratamento, pois isso pode aumentar, conseqüentemente os problemas e riscos ambientais (APOLINÁRIO; PEREIRA; FERREIRA, 2012).

Sabe-se que a glicerina, em sua forma pura, possui diversas aplicações industriais e comerciais. A maior parte do consumo industrial de glicerina é associado às indústrias de cosméticos e fármacos (MENDES; SERRA, 2012). Ainda assim, Mendes e Serra (2012) trazem outras alternativas para reutilização da glicerina:

- Utilização de glicerina na indústria farmacêutica na composição de cápsulas, supositórios, anestésicos, xaropes, antibióticos e antissépticos.



- Aplicação de glicerina como emoliente e umectante em cremes dentais, hidratantes para a pele, loções pós-barba, desodorantes, batons e maquiagens.
- Glicerina pode ser destinada à indústria têxtil para amaciar e aumentar a flexibilidade das fibras têxteis.
- Emprego de glicerina no processamento de tabaco, na composição dos filtros de cigarro e como veículo de aromas.
- Uso de glicerina como lubrificante de máquinas processadoras de alimentos, na fabricação de tintas e resinas, e na fabricação de explosivos.

## 2.6 PLANTA PILOTO

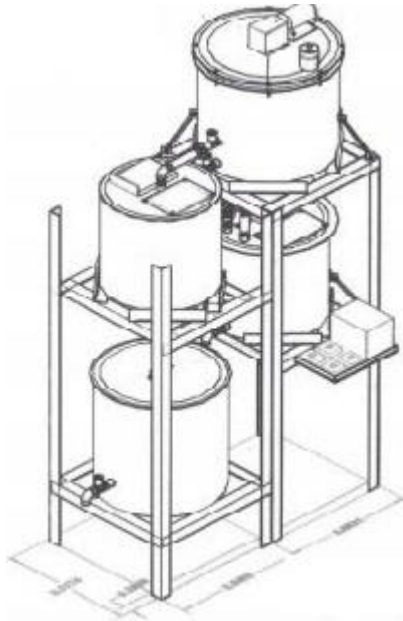
Uma planta piloto é um sistema de processamento químico de escala reduzida. Quando comparada à uma planta industrial, as dimensões de uma planta piloto são menores, assim como seu volume de produção. Plantas piloto normalmente são projetadas, construídas e operadas para se obter informações sobre um processo físico, químico, novas tecnologias ou produtos baseados em novas tecnologias (HELLSMARK et al., 2016).

Através do *feedack* fornecido pela planta piloto é possível determinar a viabilidade técnica e econômica do processo ou produto estudado, e, assim estabelecer parâmetros e diretrizes para a posterior construção da planta em escala industrial (AVINASH et al., 2018).

Considerando o aspecto comercial e industrial, plantas piloto não costumam ser utilizadas se um sistema é bem definido e os parâmetros de engenharia são conhecidos. Por outro lado, considerando o aspecto de aprendizagem e educação, plantas piloto são utilizadas como equipamento científico para a educação nas universidades, ou como sistemas de demonstração (HELLSMARK et al., 2016).

As unidades que mais comumente compõe uma planta piloto são tanque(s) para pré-tratamento e preparo de matéria-prima, reator(es) para realização de esterificação ou transesterificação, tanque(s) para decantação da mistura biodiesel/ glicerina e tanque(s) para lavagem e secagem do biodiesel (OSENÍ; TULEUN; MUSA, 2013). Na Figura 4, é apresentado o esboço de uma planta piloto composta pelas principais unidades, enquanto a Figura 5 mostra a referida planta piloto implementada.

Figura 4 - Esboço de uma planta piloto para produção de biodiesel.



Fonte: (OSEN; TULEUN; MUSA, 2013, p. 683).

Figura 5 - Planta piloto para produção de biodiesel.



Fonte: (OSEN; TULEUN; MUSA, 2013, p. 684)

No entanto, conforme exposto por Addison (2013), é possível fazer os processos de decantação e lavagem do biodiesel em unidades externas à planta piloto, fazendo, assim, com que a unidade fundamental de uma planta piloto de biodiesel seja o reator de reação química e

o tanque para preparo do catalisador e álcool. Essas adaptações podem fazer com que a planta piloto possua dimensões menores e o custo de implementação do projeto seja reduzido.

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção será apresentada a metodologia e sistemática de projeto de produtos aplicada para analisar a viabilidade técnica da elaboração da planta piloto produtora de biodiesel. Inicialmente serão definidos os requisitos que a planta piloto deve atender. Posteriormente será realizada a hierarquização dos requisitos, classificando-os por ordem de prioridade. Em seguida, será utilizada uma matriz de avaliação para identificar os equipamentos que melhor atendem os requisitos para cada etapa da produção de biodiesel. Será apresentado também um cronograma para documentar e controlar o tempo de desenvolvimento das atividades.

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia utilizada contempla as três primeiras fases da macrofase de projeção da disciplina de Metodologia de Projeto de Produtos. As fases, ou etapas, chamam-se projeto informacional, projeto conceitual e projeto preliminar. No projeto informacional, serão coletadas informações a respeito do funcionamento e das características que se desejam estar presentes na planta piloto. O projeto conceitual tem o objetivo de dar forma à planta piloto. É nesta etapa que serão feitas as primeiras concepções do produto. Por fim, o projeto preliminar irá estabelecer os componentes e peças que serão utilizados, a árvore genealógica e o leiaute do produto

#### 3.2 PROJETO INFORMACIONAL

A primeira etapa do projeto informacional trata da identificação dos requisitos. De acordo com o Guia PMBOK® do PMI, “requisito é uma condição ou capacidade cuja presença em um produto, serviço ou resultado é exigida para satisfazer um contrato ou outra especificação formalmente imposta”. (PMI, 2013, p. 588). A técnica utilizada para coletar os requisitos foi a formação de um grupo de discussão.

Os grupos de discussão reúnem as partes interessadas no assunto para aprender a respeito das suas expectativas e atitudes em relação a um produto, serviço ou resultados propostos. Os requisitos são levantados através de uma discussão interativa, planejada para ser mais informal do que uma entrevista individual (PMI, 2013, p. 141).

### 3.2.1 Identificação dos requisitos

Para este Trabalho, a discussão foi feita entre os futuros usuários em potencial da bancada / planta piloto, isto é, alunos e professores da Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul. De acordo com a Metodologia de Projeto de Produtos, os usuários podem ser tratados como clientes. Os requisitos identificados são mostrados no Quadro 4.

Quadro 4 - Requisitos que a planta piloto deve atender.

<b>REQUISITOS DE CLIENTE</b>
Ser barata
Ser fácil de operar
Ser eficiente
Ser um equipamento seguro
Ser pequena
Ser leve

Fonte: Autores.

### 3.2.2 Hierarquização dos requisitos de cliente

Diversos requisitos de projeto foram definidos na etapa anterior, contudo, deve ser estabelecida uma ordem de prioridade para eles, pois os recursos para a implementação do projeto são limitados. A hierarquização dos requisitos será feita com a aplicação do Método de Mudge. O Método de Mudge é uma técnica de avaliação quantitativa de relações funcionais, usada para determinar quais funções são mais importantes.

O Método consiste em construir uma matriz triangular e comparar cada elemento da diagonal com o elemento de cada coluna. A letra correspondente ao elemento de maior importância será reproduzida na célula de interseção, acompanhada de um número, que indica o quão mais importante uma função é em relação a outra. Se, após a aplicação do Método de Mudge, dois requisitos estiverem empatados, o desempate será feito através da análise do confronto direto entre os requisitos em questão. A escala de importância utilizada nas comparações é apresentada na Tabela 3 e, na Figura 6, pode ser vista a aplicação do Método de Mudge para hierarquização dos requisitos.

Tabela 3 - Escala de importância adotada para o Método de Mudge.

ESCALA	NOTA
Pouco mais importante	1
Medianamente mais importante	3
Muito mais importante	5
Igualmente importante	0

Fonte: Autores.

Figura 6 - Método de Mudge para hierarquização dos requisitos.

REQUISITOS DOS CLIENTES						Valor	Percentual	Posição
	B	C	D	E	F			
A	A3	A1	D3	A1	A3	8	25,8%	2º
	B	B1	D3	B1	B1	3	9,7%	4º
		C	D1	C1	C3	4	12,9%	3º
			D	D3	D5	15	48,4%	1º
				E	E1	1	3,2%	5º
					F	0	0,0%	6º
					<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	

REQUISITOS DOS CLIENTES
A) Ser barata
B) Ser fácil de operar
C) Ser eficiente
D) Ser um equipamento seguro
E) Ser pequena
F) Ser leve

CRITÉRIOS
Nota 1: Pouco mais importante
Nota 3: Medianamente mais importante
Nota 5: Muito mais importante
Nota 0: Igualmente importante

Fonte: Autores.

Através do Método de Mudge, pode-se hierarquizar os requisitos dos clientes, ou seja, ordenar por relevância os requisitos que são mais significativos para o projeto, podendo separar em trios de importância. Essa hierarquização está apresentada no Quadro 5, seguindo a ordem do requisito mais importante (1º) para o de menor importância (12º).

Quadro 5 - Requisitos hierarquizados por ordem de importância.

Hierarquização dos requisitos	
Posição	Requisito
1º	Ser um equipamento seguro
2º	Ser barata
3º	Ser fácil de operar

4°	Ser eficiente
5°	Ser pequena
6°	Ser leve

Fonte: Autores.

### 3.2.3 Requisitos de projeto

Os requisitos de projeto indicam como um requisito de cliente pode ser obtido. Eles são obtidos atribuindo expressões mensuráveis (unidades de medida) aos requisitos dos clientes, além de descreverem os requisitos de cliente com linguagem técnica. A importância dos requisitos de projeto se dá pelo fato das especificações de projeto serem resultantes deste modelo. No Quadro 6 estão demonstrados os requisitos de projeto da planta piloto.

Quadro 6 - Requisitos de projeto.

<b>Requisito de cliente</b>	<b>Requisito de projeto</b>
Ser um equipamento seguro	Ser um equipamento seguro
Ser barata	Possuir baixo custo de implementação e manutenção (R\$ e R\$/h)
Ser fácil de operar	Ser didática e funcional
Ser eficiente	Possuir boa taxa de conversão de biocombustível (L/batelada)
Ser pequena	Possuir dimensões compactas (m)
Ser leve	Possuir baixa massa total (kg)

Fonte: Autores.

### 3.2.4 Especificações de projeto

As especificações de projeto consistem de estipular valores meta para os requisitos que a planta piloto produtora de biodiesel deve atender, e uma forma de avaliação para garantir que os valores possam ser atingidos. O Quadro 7 mostra as especificações de projeto da bancada didática de transmissão de calor.

Quadro 7 - Especificações de projeto da planta piloto.

<b>Requisito de projeto</b>	<b>Valor meta</b>	<b>Forma de avaliação</b>
Ser um equipamento seguro	-	Seleção de componentes resistentes a corrosão. Itens que trabalharem com eletricidade e/ou transmissão de calor devem ser isolados.
Possuir baixo custo de implementação e manutenção (R\$ e R\$/h)	Custo total de implementação < R\$ 3000,00	Estudo de preços antes da compra dos equipamentos.
Ser didática e funcional	Nota em avaliação > 7,0	Aplicação de questionário aos usuários a fim de saber suas opiniões e sugestões sobre as operações feitas com a planta piloto.
Possuir boa taxa de conversão de biocombustível (L/batelada)	> 18L de biodiesel por 25 L de batelada ou > 11 L de biodiesel por 15 L de batelada.	Recipiente transparente com escala volumétrica.
Possuir dimensões compactas (m)	Altura < 2,5 m, comprimento < 2,5 m, Largura < 2,5 m	Para itens comprados, será feito um estudo de catálogos e manual do fabricante (se possível) previamente às compras. Para itens fabricados, é possível fabricá-los com dimensões que não ultrapassem os valores meta.
Possuir baixa massa total (kg)	Massa total da planta piloto < 500 kg	Para itens comprados, será feito um estudo de catálogos e manual do fabricante (se possível) previamente às



		compras. Componentes leves podem ser pesados com uma balança.
--	--	---

Fonte: Autores.

### 3.3 PROJETO CONCEITUAL

O projeto conceitual destina-se ao estabelecimento da concepção do produto que atenda às especificações de projeto. O desenvolvimento da concepção do produto é de grande importância, visto que são tomadas decisões que influenciam fortemente sobre os resultados das fases subsequentes, além de buscar o atendimento das especificações do projeto de uma maneira que respeite os recursos e restrições do projeto. É na fase de projeto conceitual que são concebidas as maneiras de solução para um determinado problema ou necessidade.

Aqui serão vistos a estrutura funcional do produto (abrangendo a função global do produto, bem como funções parciais e elementares), princípios de solução – visando passar do abstrato para o concreto as funções elementares da estrutura funcional – concepções alternativas para o produto que está sendo desenvolvido, e após essas concepções passarem por uma matriz de avaliação, por fim teremos uma concepção selecionada para o produto.

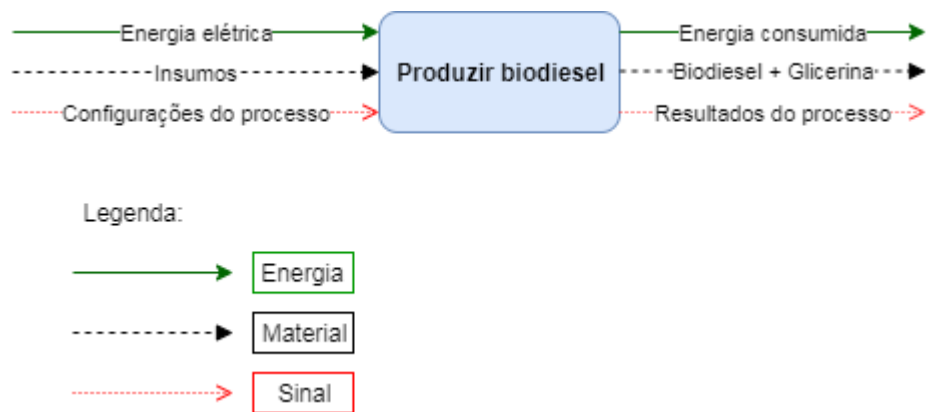
#### 3.3.1 Estrutura funcional

A estrutura funcional objetiva apresentar a função global do projeto em desenvolvimento, além das três formas de entradas fundamentais para que a função global possa ser executada. As entradas são apresentadas na forma de material, sinal e energia. Além disso, serão apresentadas as funções parciais e elementares do produto, a fim de detalhar o funcionamento da função global, e, por consequência, do produto.

### 3.3.1.1 Função global

A função global expressa a principal função do produto, com suas respectivas grandezas de entrada e de saída. Na Figura 7, pode ser vista a função global de uma planta piloto produtora de biodiesel.

Figura 7 - Função global da planta piloto produtora de biodiesel.

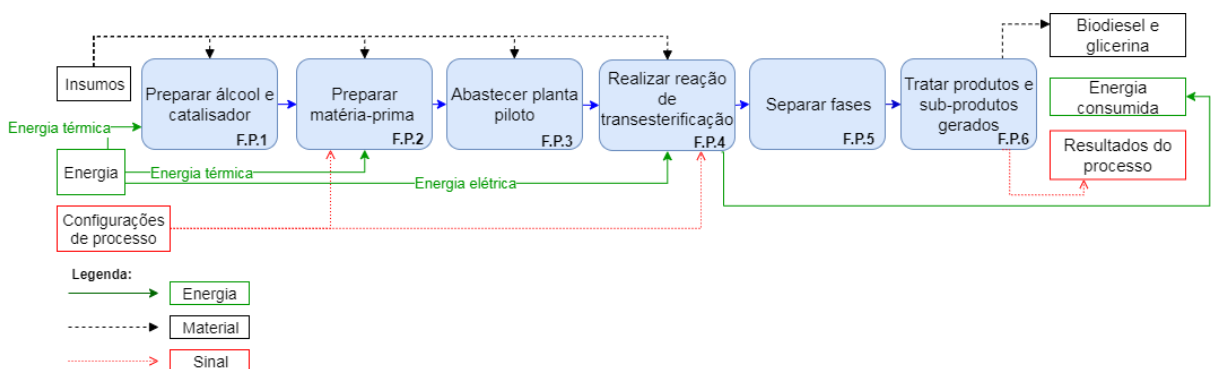


Fonte: Autores.

### 3.3.1.2 Funções parciais

As funções parciais são utilizadas para detalhar a função global e melhorar o entendimento do funcionamento do produto. Na Figura 8 são apresentadas as funções parciais da planta piloto produtora de biodiesel.

Figura 8 - Funções parciais da planta piloto produtora de biodiesel.

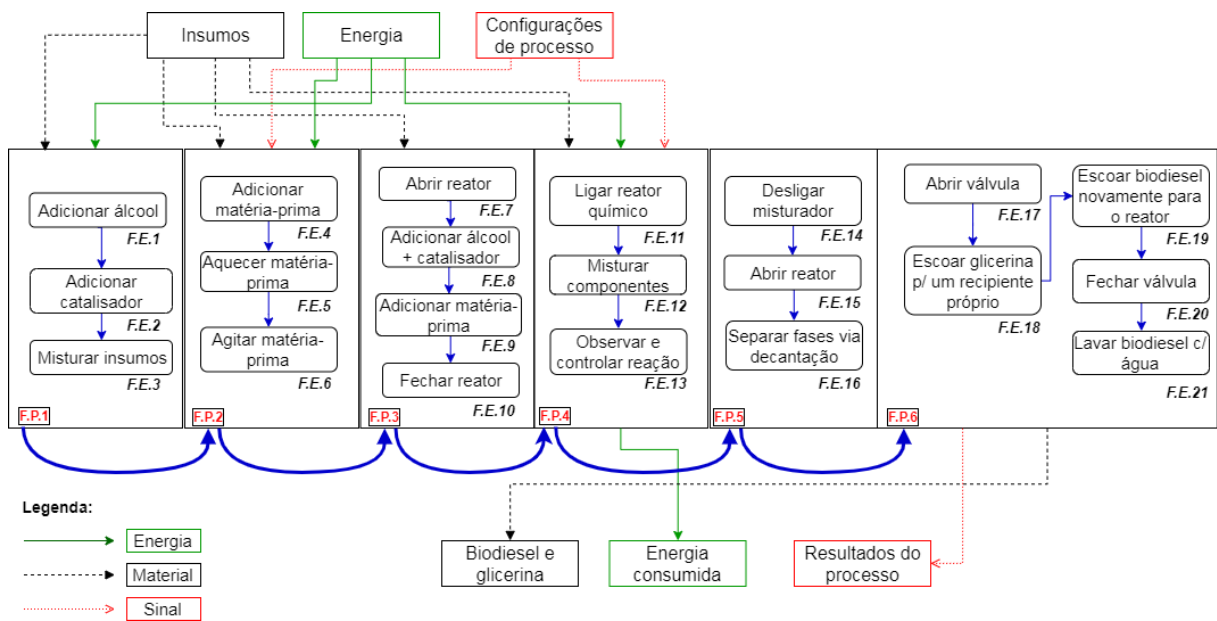


Fonte: Autores.

### 3.3.1.3 Funções elementares

As funções elementares têm o propósito de detalhar cada uma das funções parciais, abordando os passos necessários que as funções parciais possam ser realizadas. A Figura 9 mostra as funções elementares da planta piloto produtora de biodiesel.

Figura 9 - Funções elementares da planta piloto produtora de biodiesel.











Fonte: Autores.

### 3.3.2 Matriz morfológica

A matriz morfológica é uma pesquisa sistemática de diferentes combinações de elementos ou parâmetros com o objetivo de encontrar uma nova solução para um problema. Procura-se listar as funções do produto, listar os possíveis meios (princípios de solução) para que cada função possa ser executada e, futuramente, utilizar a combinação dos princípios de solução para gerar as primeiras concepções do produto. No Quadro 8 pode ser vista a matriz morfológica da planta piloto de biodiesel.

Quadro 8 - Matriz morfológica da planta piloto de biodiesel.

<b>Função Elementar</b>	<b>Princípio de solução 1</b>	<b>Princípio de solução 2</b>	<b>Princípio de solução 3</b>
<b>Adicionar álcool</b>	 “Tanque de polímero”	 “Caldeirão industrial (aço inoxidável)”	 “Reator industrial (vidro)”
<b>Adicionar catalisador</b>	 “Tanque de polímero”	 “Caldeirão industrial (aço inoxidável)”	 “Reator industrial (vidro)”
<b>Misturar insumos</b>	 “Agitador mecânico”	 “Misturador industrial”	 “Motor elétrico com redução”
<b>Adicionar matéria-prima</b>	 “Tanque de armazenamento”	 “Caldeirão industrial”	 “Reator industrial (vidro)”

<p><b>Aquecer matéria-prima</b></p>	 <p>“Ebulidor elétrico”</p>	 <p>“Aquecedor elétrico programável”</p>	 <p>“Resistência elétrica”</p>
<p><b>Agitar matéria- prima</b></p>	 <p>“Agitador mecânico”</p>	 <p>“Misturador industrial”</p>	 <p>“Motor elétrico com redução”</p>
<p><b>Abrir / fechar reator</b></p>	 <p>“Operação manual”</p>	 <p>“Abertura com sistema pneumático”</p>	<p>“Reator aberto ao ambiente”</p>
<p><b>Adicionar insumos no reator</b></p>	 <p>“Ação gravitacional”</p>	 <p>“Bomba hidráulica”</p>	 <p>“Bomba hidráulica”</p>
<p><b>Misturar componentes</b></p>	 <p>“Agitador mecânico”</p>	 <p>“Misturador industrial”</p>	 <p>“Motor elétrico com redução”</p>

<p><b>Observar / controlar reação</b></p>	 <p>“Inspeção visual”</p>	 <p>“Medidor de temperatura e medidor de pH”</p>	 <p>“Termopar de imersão”</p>
<p><b>Desligar misturador</b></p>	 <p>“Operação manual”</p>	 <p>“Desligamento programado por tempo”</p>	 <p>“Desligamento remoto”</p>
<p><b>Abrir / fechar válvula</b></p>	 <p>“Válvula globo”</p>	 <p>“Válvula agulha”</p>	 <p>“Válvula de esfera ¼ de volta”</p>
<p><b>Escoar biodiesel e glicerina</b></p>	 <p>“Ação gravitacional”</p>	 <p>“Bomba hidráulica”</p>	 <p>“Bomba de sucção manual”</p>

Fonte: Autores.










### 3.3.3 Combinação de princípios de solução









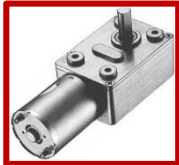





Os elementos da matriz morfológica devem ser combinados entre si para que o produto possa ter suas primeiras concepções alternativas. A combinação foi feita através da marcação das bordas das imagens referentes aos princípios de solução com as cores amarelo,

verde e azul. Princípios de solução marcados com as mesmas cores serão combinados a gerarão concepções alternativas ao produto.


Alguns princípios de solução não foram assinalados com qualquer cor pois a sua combinação com outros princípios de solução não teria como ser representada graficamente nas concepções alternativas. Procurou-se combinar apenas soluções que são compatíveis entre si e que atendam às especificações e requisitos de projeto, sendo que uma mesma solução pode aparecer em diferentes combinações. No Quadro 9 é mostrado a combinação dos princípios de solução.

Quadro 9 - Combinação dos princípios de solução.

<b>Função Elementar</b>	<b>Princípio de solução 1</b>	<b>Princípio de solução 2</b>	<b>Princípio de solução 3</b>
<b>Adicionar álcool</b>	 “Tanque de polímero”	 “Caldeirão industrial (aço inoxidável)”	 “Reator industrial (vidro)”
<b>Adicionar catalisador</b>	 “Tanque de polímero”	 “Caldeirão industrial (aço inoxidável)”	 “Reator industrial (vidro)”
<b>Misturar insumos</b>	 “Agitador mecânico”	 “Misturador industrial”	 “Motor elétrico com redução”

<p><b>Adicionar matéria-prima</b></p>	 <p>“Tanque de armazenamento”</p>	 <p>”Caldeirão industrial”</p>	 <p>“Reator industrial (vidro)”</p>
<p><b>Aquecer matéria-prima</b></p>	 <p>“Ebulidor elétrico”</p>	 <p>“Aquecedor elétrico programável”</p>	 <p>“Resistência elétrica”</p>
<p><b>Agitar matéria- prima</b></p>	 <p>“Agitador rmecânico”</p>	 <p>“Misturador industrial”</p>	 <p>“Motor elétrico com redução”</p>
<p><b>Abrir / fechar reator</b></p>	 <p>“Operação manual”</p>	 <p>“Abertura com sistema pneumático”</p>	<p>Reator aberto ao ambiente</p>
<p><b>Adicionar insumos no reator</b></p>	 <p>“Ação gravitacional”</p>	 <p>“Bomba hidráulica”</p>	 <p>“Bomba hidráulica”</p>

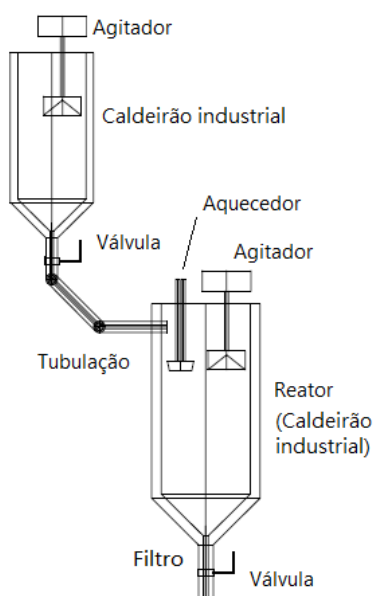


<p><b>Misturar componentes</b></p>	 <p>“Agitador mecânico”</p>	 <p>“Misturador industrial”</p>	 <p>“Motor elétrico com redução”</p>
<p><b>Observar / controlar reação</b></p>	 <p>“Inspeção visual”</p>	 <p>“Medidor de temperatura e medidor de pH”</p>	 <p>“Termopar de imersão”</p>
<p><b>Desligar misturador</b></p>	 <p>“Operação manual”</p>	 <p>“Desligamento programado por tempo”</p>	 <p>“Desligamento remoto”</p>
<p><b>Abrir / fechar válvula</b></p>	 <p>“Válvula globo”</p>	 <p>“Válvula agulha”</p>	 <p>“Válvula de esfera ¼ de volta”</p>
<p><b>Escoar biodiesel e glicerina</b></p>	 <p>“Ação gravitacional”</p>	 <p>“Bomba hidráulica”</p>	 <p>“Bomba de sucção manual”</p>

### 3.3.4 Concepções alternativas

As combinações dos princípios de solução mostradas na seção 3.3.3 foram utilizadas para a criação das concepções alternativas. A concepção alternativa 1, apresentada na Figura 10, foi construída a partir dos princípios de solução assinalados com a cor azul no Quadro 9.

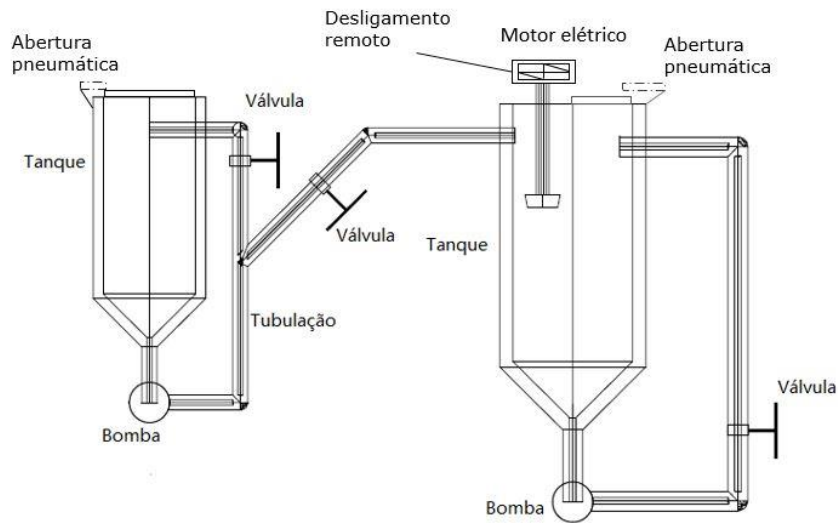
Figura 10 - Primeira concepção alternativa.



Fonte: Autores.

A concepção alternativa 2, apresentada na Figura 11, foi construída a partir dos princípios de solução assinalados com a cor verde no Quadro 9.

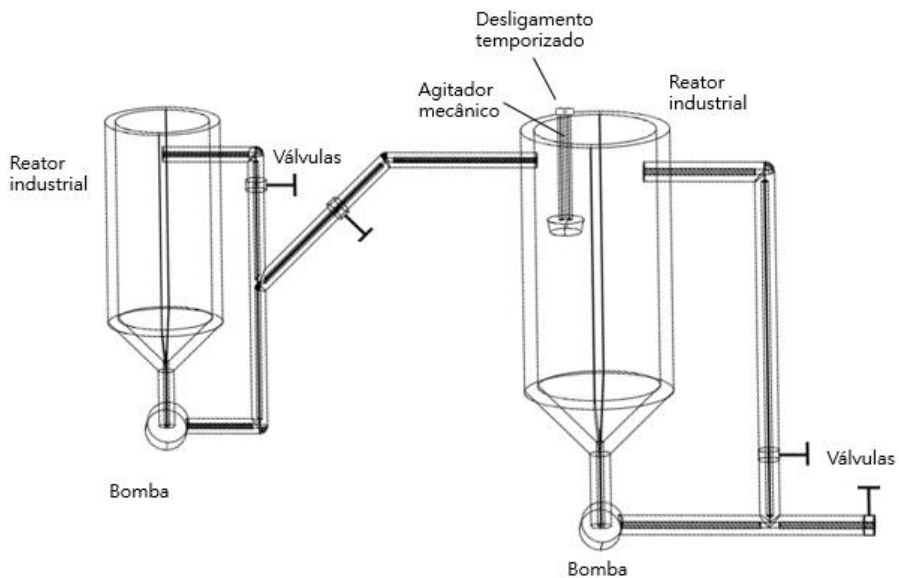
Figura 11 - Segunda concepção alternativa.



Fonte: Autores.

A concepção alternativa 3, apresentada na Figura 12, foi construída a partir dos princípios de solução assinalados com a cor verde no Quadro 9.

Figura 12 - Terceira concepção alternativa.



Fonte: Autores.

### 3.3.5 Matriz de avaliação das concepções

Após a geração das concepções alternativas para o produto serem concluídas, iniciam-se os processos para selecionar aquela que será levada adiante nas demais fases do projeto. Um método para se fazer essa avaliação é comparar a hierarquização dos requisitos apresentada no Diagrama de Mudge e as especificações de projeto.

Serão listadas as especificações de projeto e os pesos que elas obtiveram no Diagrama de Mudge, e cada especificação de projeto será classificada seguindo um critério pré-estabelecido (Nota 0 corresponde a “não atende à especificação de projeto”, Nota 3 corresponde a “atende pouco à especificação de projeto”, Nota 5 corresponde a “atende medianamente à especificação de projeto”, Nota 7 corresponde a “atende bem à especificação de projeto”, Nota 10 corresponde a “atende muito bem à especificação de projeto” e S/N corresponde a “sem nota, irrelevante”).

Na sequência, será feita a multiplicação do peso da especificação de projeto ( $P_i$ ) pela nota que este recebeu na matriz de avaliação ( $V_i$ ). Posteriormente esses resultados serão somados e a concepção que tiver a soma total mais alta será a concepção selecionada. Na Figura 13 está mostrada a matriz de avaliação das concepções.

Figura 13 - Matriz de avaliação das concepções alternativas.

Requisitos de projeto	Peso	Concepção 1		Concepção 2		Concepção 3	
	$P_i$	Nota ( $V_i$ )	$P_i \cdot V_i$	Nota ( $V_i$ )	$P_i \cdot V_i$	Nota ( $V_i$ )	$P_i \cdot V_i$
Ser um equipamento seguro	15	10	150	7	105	10	150
Possuir baixo custo de implementação e manutenção	8	7	56	5	40	3	24
Ser didática e funcional	4	7	28	7	28	10	40
Possuir boa taxa de conversão de biocombustível	3	7	21	7	21	10	30
Possuir dimensões compactas	1	10	10	5	5	5	5
Possuir baixa massa total	0	5	0	7	0	5	0
<b>Total:</b>			265		199		249

Fonte: Autores.

Analisando a Figura 11, percebe-se que a concepção que obteve a soma total mais alta foi a concepção 1, e, por isso, esta será a concepção selecionada. De acordo com a análise feita pelos autores, a concepção 1 foi a que melhor atendeu aos requisitos e especificações de

projeto. Dessa forma, os procedimentos executados nas próximas etapas da metodologia levarão em consideração apenas a concepção selecionada.

### 3.4 PROJETO PRELIMINAR

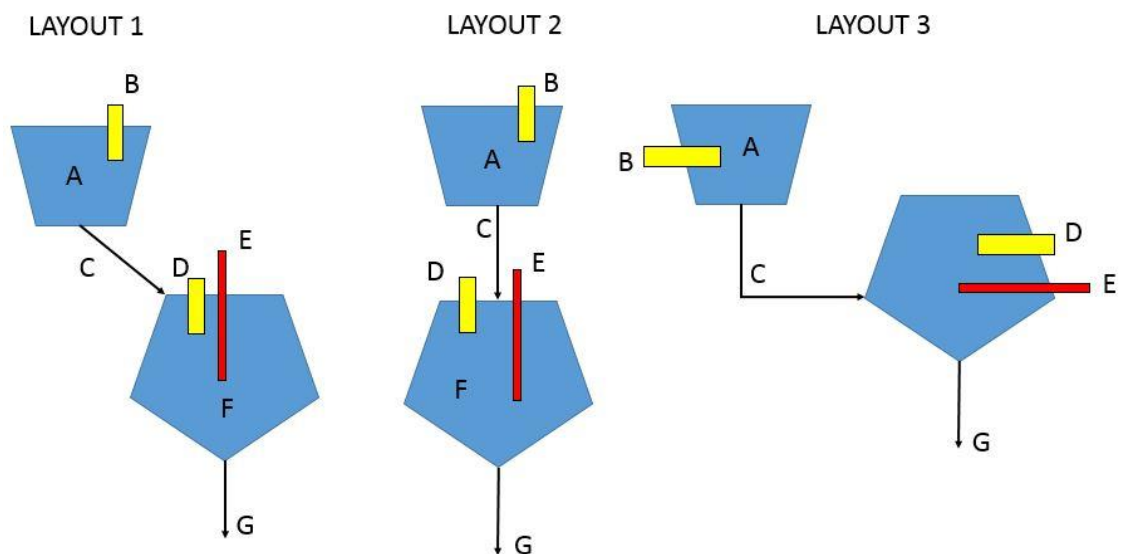
O projeto preliminar consiste na definição das especificações dos produtos ou serviços componentes do pacote e as definições dos processos para gerar este pacote. Esta etapa é importante porque ela significa o começo da preparação da empresa para a novidade.

Nesta fase será criada a árvore genealógica do produto e definido o leiaute, a listagem de peças e a codificação dos itens para melhor organizar a montagem e identificação dos componentes da concepção escolhida.

#### 3.4.1 Leiaute do produto

O leiaute do produto consiste na organização dos componentes do produto que melhor irão atender as necessidades do cliente, ou que se configure forma mais segura e ergonômica. Estas são as cores utilizadas nos layouts com o que cada uma representa. A Figura 14 mostra os leiautes estudados para a planta piloto de biodiesel.

Figura 14 - Leiautes da planta piloto.



Legenda:

A – tanque para armazenamento de álcool e catalisador

B – misturador

C – tubulação

D – agitador

E – aquecedor

F – reator químico

G – tubulação de saída

Considera-se que o Layout 1 é o que melhor atende aos requisitos de projeto, visto que a planta piloto deve ter manutenção fácil e ser funcional. Um quesito que facilita a realização dos procedimentos de manutenção é o acesso aos componentes. No Layout 2, o tanque de álcool e catalisador está posicionado acima do reator, o que pode obstruir o uso de ferramentas. Essa característica não é observada nos Layouts 1 e 3, pois os elementos encontram-se afastados. Considerando os requisitos de funcionalidade e eficiência, a disposição do agitador na posição vertical, conforme observado no Layout 1, é o padrão para processos químicos de transesterificação. O agitador na posição horizontal, vide o Layout 3, mistura os insumos com menor eficiência, podendo ocasionar o consumo incompleto do catalisador.

### **3.4.2 Sistema de codificação de peças**

Foi desenvolvido um sistema de codificação para enumerar peças permitindo que sejam identificadas. O código das famílias de peças pode ser consistido de números, letras ou uma combinação de ambos, e ele pode se basear em atributos de projeto ou em atributos de fabricação.

O código desenvolvido para as peças da planta piloto produtora de biodiesel é composto por 7 dígitos divididos em 4 seções e funciona da seguinte maneira: as duas letras iniciais identificam o sistema do qual a peça faz parte (RE – Reação, AR – Armazenamento, SU – Suporte e estrutura, CX – Tubulação e conexões), o caractere seguinte remete à manufatura da peça (“C” para componente/peça comprada, “F” para peça de fabricação própria) e o dígito seguinte indica a procedência da peça caso ela seja comprada (“A” significa que a peça é comprada de um fornecedor nacional e “O”, que a peça é adquirida

através de um fornecedor estrangeiro). Caso a peça seja fabricada pela própria empresa, este dígito em questão é simbolizado com um asterisco (“\*”). Os últimos três dígitos estão separados do restante do código por uma barra (“ / ”) e esse trecho do código indica a numeração interna da peça. Essa sequência foi pensada para evitar que peças que possuem os mesmos atributos tenham o mesmo código de identificação.

### 3.4.3 Lista de peças e estimativas de custo

Nesta etapa é uma estimativa dos custos dos componentes do projeto a partir de uma lista de itens, contendo o nome de cada componente, o seu código, material, origem e custo. Baseado nos valores obtidos, torna-se possível realizar o estudo de viabilidade do projeto. Na Tabela 4, pode ser vista a lista de peças principais da planta piloto.

Tabela 4 - Lista dos principais componentes da planta piloto.

Nº do Item	Código	Quant.	Nome do componente	Material	Custo estimado (R\$)
1	ARCA/001	1	Tanque cônico de 12L	Alumínio	400,00
2	RECA/001	1	Misturador elétrico	Aço	400,00
3	SUFA/001	3	Suporte	Aço	200,00
4	ARCA/002	1	Caldeirão industrial de 25 L	Aço inoxidável	600,00
5	RECA/002	1	Misturador elétrico	Aço	400,00
6	SUFA/002	3	Suporte	Aço	200,00
7	RECA/003	1	Aquecedor	Aço	260,00
8	CXCA/001	1	Tubulações	Polietileno	30,00
9	CXCA/002	1	Filtro	Polipropileno	150,00
10	CXCA/003	3	Elemento de vedação	Polímero	40,00
11	CXCA/004	1	Válvula ¼ de volta	Aço inoxidável	160,00
12	SUF*/001	1	Tampa de suporte do reator	Polímero	15,00

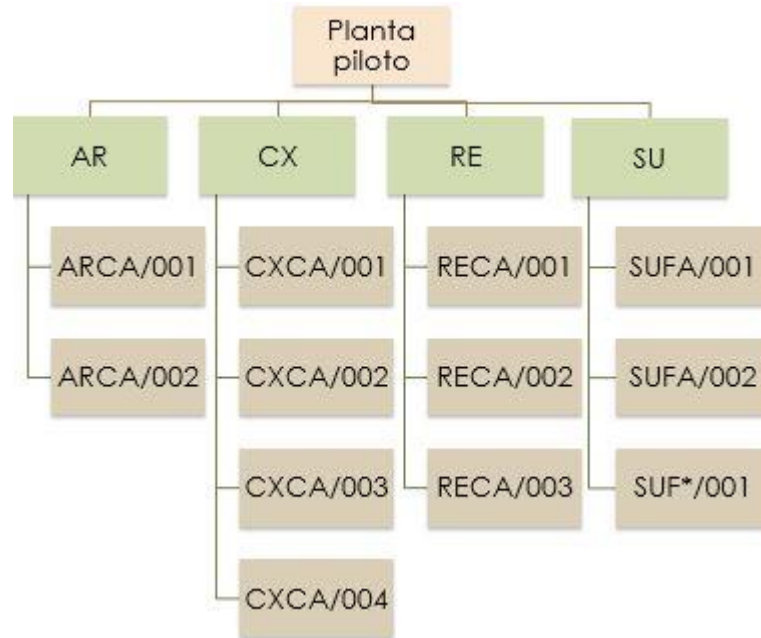
Fonte: Autores.

### 3.4.4 Árvore Genealógica do Produto

A árvore genealógica é uma forma esquemática de representar os conjuntos e suas respectivas peças, presentes no produto projetado. Na árvore genealógica são mostradas as peças e itens que compõem os sistemas da planta piloto. Os sistemas definidos foram reator, armazenamento, suporte, tubulação e conexões, identificados pelos códigos “RE”, “AR”, “SU” e “CX”, respectivamente. As peças e itens estão apresentados conforme o sistema de codificação

de peças mostrado na seção 3.4.2. A Figura 15 representa a árvore genealógica da planta piloto para produção de biodiesel.

Figura 15 - Árvore genealógica da planta piloto.



Fonte: Autores.



#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a matriz de avaliação das concepções alternativas (p.51, Figura 11), a concepção selecionada para a planta piloto produtora de biodiesel foi a primeira concepção alternativa. Fatores que influenciaram na escolha da primeira concepção alternativa como concepção selecionada incluem segurança, praticidade, custos e tamanho da estrutura.

A respeito da segurança, os reatores utilizados são confeccionados para trabalhar com processamentos químicos. O tanque para armazenamento e mistura de catalisador e álcool é fabricado com polímeros. O polipropileno é resistente à soda cáustica, hipoclorito de sódio e bases não cloradas e suporta temperaturas de até 100 °C. O preparo dos insumos para biodiesel pode ser feito com aquecimento de, aproximadamente, 60 °C. Além disso, o caldeirão industrial fabricado com aço inoxidável não reage quimicamente com substâncias alcalinas.

De acordo com a concepção selecionada, a mistura de catalisador e álcool será escoada para o reator devido à ação da gravidade. O mesmo ocorre para o escoamento do biodiesel e da glicerina para um recipiente de armazenamento externo à planta piloto. Isso faz com que menos materiais sejam necessários, implicando em menor custo de construção. Contudo, o escoamento pela ação da gravidade torna o processo de produção de biodiesel mais lento, visto que os insumos utilizados são fluidos viscosos.

O escoamento de produtos e sub-produtos pela ação da gravidade permite que a planta piloto seja verticalizada e o tamanho da estrutura seja reduzido. Os reatores e tanques de armazenamento selecionados permitem bateladas de 12 L, o que faz com que o tamanho da estrutura montada, contribuindo para o atendimento do requisito de projeto relacionado às dimensões da planta piloto (deseja-se que a planta piloto seja compacta).

De acordo com a Tabela 4, o custo médio total dos componentes essenciais da planta piloto pode ser aproximado ao valor de R\$ 3750,00. Os custos levantados foram obtidos em *websites* de vendas gerais, *websites* de venda de equipamentos para laboratórios de processamentos químicos e analisando catálogos de fabricantes de equipamentos para processamentos químicos.

Respeitando as devidas proporções (Custo total x Litros de biodiesel por batelada), o custo aproximado da planta piloto é coerente com os resultados encontrados por Nascimento et al. (2006). Dessa forma, pode-se dizer que o projeto da planta piloto é viável, do ponto de vista econômico.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi feita a aplicação de uma metodologia sistematizada de projeto de produtos com a finalidade de projetar – em termos de seleção de componentes – uma planta piloto de biodiesel. A metodologia aplicada explorou as fases de projeto informacional, projeto conceitual e projeto preliminar. Essas fases são componentes da macrofase de projeção, conforme relatado na bibliografia da Metodologia de Projeto de Produtos.

O desenvolvimento do projeto informacional evidenciou a importância de definir os requisitos de cliente com precisão, visto que estes servirão de base para todas as demais tarefas desta fase do projeto. Além disso, equívocos no levantamento de requisitos podem aumentar o custo de implementação do produto nas fases mais avançadas do projeto.

No projeto conceitual, foram estabelecidas as funções da planta piloto. Foram definidas a função global, funções parciais e elementares. Através disso, foi possível montar uma matriz morfológica, a fim de estabelecer materiais e métodos para que essas funções fossem executadas. A combinação dos itens inseridos na matriz morfológica proporcionou a criação das concepções alternativas da planta piloto.

A concepção selecionada foi obtida através de uma adaptação do Método de Mudge. Procurou-se fazer uma análise imparcial de todas as concepções alternativas, a fim de obter a concepção que melhor atendesse aos requisitos de projeto. Deve-se ressaltar que as concepções alternativas não selecionadas também atendem aos requisitos de projeto. Contudo, em determinados aspectos, o fazem de maneira insatisfatória, impedindo que o atendimento aos requisitos seja elevado ao máximo.

A seleção de equipamentos e componentes foi concluída na fase de projeto preliminar. Foram listadas as peças e itens possíveis de serem utilizados na implementação da planta piloto, o custo dos itens e justificativas para a escolha dos mesmos.

### 5.1 TRABALHOS FUTUROS

As macrofases do processo de produto, de acordo com a Metodologia de Projeto de Produto, são planejamento, projeção e implementação. A macrofase de projeção é constituída pelas fases de projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Para trabalhos futuros, sugere-se o desenvolvimento da fase de projeto detalhado da planta piloto para produção de biodiesel.

A fase de projeto detalhado é destinada a construção de um modelo do produto que foi desenvolvido ao longo das outras fases do projeto. O desenvolvimento do projeto detalhado envolve a fabricação de componentes, montagem de um protótipo, apresentação do protótipo, testes de laboratório, plano de ação corretiva do protótipo, aprovação do protótipo, otimização dos componentes, detalhamento do plano de manufatura e preparação da solicitação de investimentos. Dessa forma, é possível fazer teste e ensaios com a planta piloto, verificar na prática se os requisitos de projeto foram atendimentos e obter a avaliação dos usuários.

Os resultados obtidos com o projeto detalhado também podem levar ao desenvolvimento da macrofase de Implementação, onde é feita a preparação para produção, o lançamento do lote inicial e, por fim, a validação do projeto e encerramento do mesmo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDISON, Keith. **The Biodiesel Bible**. [S.l.]: Journey to Forever, 2013. 342 p.

ADITIVOS & INGREDIENTES. **Os diferentes tipos de óleos vegetais. mar.** 2017. São Paulo: Editora Insumos, n. 136, Disponível em: <[http://aditivosingredientes.com.br/upload\\_arquivos/201704/2017040580349001491240815.pdf](http://aditivosingredientes.com.br/upload_arquivos/201704/2017040580349001491240815.pdf)>. Acesso em: 19 jan. 2019.

APOLINÁRIO, Fagner Dimas Barreto; PEREIRA, Gilliaster de Freitas; FERREIRA, Jonathan Pedro. Biodiesel e Alternativas para utilização da glicerina resultante do processo de produção de biodiesel. **Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, Campos dos Goytacazes**, v. 2, n. 1, p.141-146, 2012.

AVINASH, V. Dhobale et al. Recent Advances in Pilot Plant Scale up Techniques - A Review. **Indo American Journal of Pharmaceutical Research**, [s. l.], v. 8, n. 04, p. 1060 – 1068, abr. 2018. IAJPR.

BANKOVIĆ-ILIĆ, Ivana B. et al. Waste animal fats as feedstocks for biodiesel production. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 32, p.238-254, abr. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.038>

BARROS, Talita Delgrossi; JARDINE, José Gilberto. **Craqueamento**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vmz02wx5eo0sawqe3wx8euqg.html>>. Acesso em: 06 nov. 2018.

BARROS, Talita Delgrossi; JARDINE, José Gilberto. **Transesterificação**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj0847od02wyiv802hvm3juldruvi.html>>. Acesso em: 06 nov. 2018.

BELTRÃO, N. E. de M; OLIVEIRA, M. I. P de. **Oleaginosas e seus óleos: Vantagens e Desvantagens para Produção de Biodiesel**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. 28 p. (Embrapa Algodão: Documentos).

BIODIESELBR. **Equipamentos: Pré-tratamento e processamento de biodiesel**. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/revista/017/por-dentro-de-uma-usina-2.htm>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

BIOMIL. **Mini Usina de Biodiesel de 50 L**. Disponível em: <<http://biomil.comunidades.net/index.php>>. Acesso em: 12 dez. 2019.

BRASIL. Resolução N° 30, de 23 de junho de 2016. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, p. 1-7.

CENTREC CONSULTING GROUP LLC FOR THE NATIONAL BIODIESEL BOARD. **Biodiesel demand for animal fats and tallow generates an additional revenue stream for the livestock industry. 2014**. Disponível em: <<https://biodiesel.org/docs/default-source/news---supporting-files/animal-fats-and-tallow-bd-demand-impact-report.pdf?sfvrsn=2>>. Acesso em: 24 jan. 2019.

CHENG, Jay. Chemical Conversion Process for Biodiesel Production. In: CHENG, Jay. **Biomass to Renewable Energy Processes**. 2. ed. [s.i.]: CRC Press, 2017. Cap. 9. p. 301.  
COELHO, Leandro dos Santos; VALLIM, Marcos B. R.. Uma abordagem multidisciplinar de robóticas móvel em cursos de tecnologia e de engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE), 29., 2001, Porto Alegre/rs. **Anais...** Porto Alegre: Pucrs, 2001. p. 479 – 485.

COSTA, Bill Jorge; OLIVEIRA, Sonia Maria Marques de. **Produção de Biodiesel: Dossiê Técnico**. 2006. Elaborado por Instituto de Tecnologia do Paraná. Disponível em: <<http://sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MzA0>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

CREMONEZ, Paulo André et al. Biodiesel production in Brazil: Current scenario and perspectives. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 42, p.415-428, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.004>.

DABDOUB, Miguel J.; BRONZEL, João L.; RAMPIN, Márcia A.. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**, [s.l.], v. 32, n. 3, p.776-792, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422009000300021>.

DINIZ, Sirley Nogueira de Faria. **O uso das novas tecnologias em sala de aula**. 2001. 186 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

ENCARNAÇÃO, Ana Paula Gama. **Geração de Biodiesel pelos Processos de Transesterificação e Hidroesterificação: Uma Avaliação Econômica**. 2008. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008

GARCIA, Camila Martins. **Transesterificação de óleos vegetais**. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Departamento de Química Inorgânica, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, 2006. Cap. 1.

GERIS, Regina et al. Biodiesel de soja: reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 5, p.1369-1374, 14 maio 2007.

Governo do Brasil (Ed.). **Produção de biodiesel atinge recorde de 351 mil metros cúbicos**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/infraestrutura/2017/01/producao-de-biodiesel-atinge-recorde-de-351-mil-metros-cubicos>>. Acesso em: 08 nov. 2018.

GUO, Mingxin; SONG, Weiping; BUHAIN, Jeremy. Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 42, p.712-725, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.013>.

HELLSMARK, Hans et al. The role of pilot and demonstration plants in technology development and innovation policy. **Research Policy**, [s.l.], v. 45, n. 9, p.1743-1761, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2016.05.005>.

KNOTHE, Gerhard. Biodiesel and renewable diesel: A comparison. **Progress In Energy And Combustion Science**, [s.l.], v. 36, n. 3, p.364-373, jun. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.004>.

MEHER, L; VIDYASAGAR, D; NAIK, S. Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 10, n. 3, p.248-268, jun. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.002>.

MENDES, Danylo Bezerra; SERRA, Juan Carlos Valdés. Glicerina: uma abordagem sobre a produção e o tratamento. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 13, n. 20, p.59-68, dez. 2012. Semestral.

MENEGUETTI, Naila Fernanda Sbsczk Pereira; ZAN, Renato André; MENEGUETTI, Dionatas Ulises de Oliveira. POTENCIAL DO SEBO BOVINO RONDONIENSE COMO MATÉRIA PRIMA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM ARIQUEMES – RO. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 8, n. 8, p.1889-1899, 13 jan. 2013. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/223611707636>

MOTA, Claudio J. A.; SILVA, Carolina X. A. da; GONÇALVES, Valter L. C.. Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel. **Química Nova**, [s.l.], v. 32, n. 3, p.639-648, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422009000300008>.

NASCIMENTO, U.M. et al., **Montagem e Implantação de Usina Piloto de Baixo Custo para Produção de Biodiesel**, 1º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, Brasília, Brasil, Ago. 2006, p. 147 – 150.

NEO MONDO. **Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar**. 2018. Disponível em: <<http://www.neomundo.org.br/2018/06/21/brasil-e-o-maior-produtor-mundial-de-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 03 fev. 2019.

OSANI, M.I.; TULEUN, L.T.; MUSA, A.. Development and Performance Evaluation of a Small Scale Biodiesel Production Pilot Plant. **Journal Of Emerging Trends In Engineering And Applied Sciences (JETEAS)**, Newcastle, v. 4, n. 4, p.679-685, ago. 2013. ISSN: 2141-7016.

PARENTE, Expedito José de Sá. **Biodiesel: Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado**. Fortaleza: Editora Tecbio, 2003. 66 p.

PEITER, Gabrielle Caroline et al. ALTERNATIVAS PARA O USO DO GLICEROL PRODUZIDO A PARTIR DO BIODIESEL. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [s.l.], v. 5, n. 4, p.519-537, 23 nov. 2016. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v5i4>.

PLÁ, Juan Algorta. Perspectivas do biodiesel no Brasil. **Indic. Econ., Fee**, Porto Alegre, v. 30, n. 2, p.179-190, set. 2002. PhD em Economia.

PMI. **GUIA PMBOK®**: Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos. 5. ed. Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, 2013. 595 p.

QUESSADA, T. P. et al. Obtenção de biodiesel a partir de óleo de soja e milho utilizando catalisadores básicos e catalisador ácido. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, n.11; 2010.

RAMOS, Luiz P. et al. Biodiesel Production Technologies. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 3, n. 5, p.385-405, 2011. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20110043>.

ROSEN, Marc. Energy Sustainability: A Pragmatic Approach and Illustrations. **Sustainability**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.55-80, 30 mar. 2009. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su1010055>.

SINGH, S.p.; SINGH, Dipti. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.200-216, jan. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.017>.

SUAREZ, Paulo A. Z.; MENEGHETTI, Simoni M. Plentz. 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova**, [s.l.], v. 30, n. 8, p.2068-2071, 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422007000800046>.



TECPAR. **Tecpar apresenta trabalhos sobre biodiesel em congressos nacionais e vislumbra novas frentes de pesquisa.** 2012. Disponível em: <<http://portal.tecpar.br/tecpar-apresenta-trabalhos-sobre-biodiesel-em-congressos-nacionais-e-vislumbra-novas-frentes-de-pesquisa/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

TEIXEIRA, Milena Carvalho; TAOUIL, Desiely Silva Gusmão. Biodiesel: an alternative and green energy. **Revista Vértices**, [s.l.], v. 12, n. 3, p.17-40, 2010. Essentia Editora. <http://dx.doi.org/10.5935/1809-2667.20100019>.

VAN GERPEN, Jon. **Animal Fats for Biodiesel Production.** 2014. Disponível em: <<https://articles.extension.org/pages/30256/animal-fats-for-biodiesel-production>>. Acesso em: 24 jan. 2019.

VAN GERPEN, Jon. **Biodiesel Production Principles and Processes.** 2013. Disponível em: <<https://articles.extension.org/pages/27137/biodiesel-production-principles-and-processes>>. Acesso em: 22 jan. 2019.

ZILLI, Guilherme Martignago; LAMBERT, Gustavo. Desenvolvendo a educação através da robótica móvel: uma proposta pedagógica para o ensino de engenharia. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), 38., 2010, Fortaleza/CE. **Anais...** Joinville: Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC), 2010. p. 1 - 9.