

PROJETO DE UMA PLANTA PILOTO DE BIODIESEL

Guilherme da Silva Araújo, guibo@unifesspa.edu.br
Pedro Christian Ayala, pedro.ayala@unifesspa.edu.br
Tanaco Lima, lima.tanaco@unifesspa.edu.br
Marina Weyl Costa, marina.weyl@unifesspa.edu.br

¹Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, folha 17, nova Marabá, Marabá/PA, 68505-080, Brasil.

Resumo. Este trabalho apresenta o projeto preliminar de uma planta piloto de biodiesel a partir de óleo residual de fritura, desenvolvido como segunda etapa. Seguindo a metodologia estruturada em três etapas centrais (informacional, conceitual e definitivo, identificou-se e adaptou-se uma solução alternativa viável para a produção do biocombustível. O estudo demonstra a aplicabilidade do método sistemático na concepção de plantas para processamento de resíduos em biodiesel, com potencial para implementação em escala piloto.

Palavras chave: Planta piloto. Biodiesel. Óleo residual de fritura.

Abstract. This paper presents the preliminary design of a biodiesel pilot plant from waste frying oil, developed as a second stage. Following the methodology structured in three central stages (informational, conceptual and definitive), a viable alternative solution for the production of biofuel was identified and adapted. The study demonstrates the applicability of the systematic method in the design of plants for processing waste into biodiesel, with potential for implementation on a pilot scale.

Keywords: Pilot plant. Biodiesel. Waste frying oil.

1. INTRODUÇÃO

A produção brasileira de biodiesel tem experimentado expressivo crescimento nos últimos anos, impulsionada tanto por políticas públicas quanto pela crescente demanda por alternativas energéticas sustentáveis. Dados recentes divulgados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) evidenciam essa tendência, refletindo um cenário global de transição para fontes renováveis. Esse movimento é motivado por dois desafios interligados: a progressiva escassez de reservas de combustíveis fósseis e a necessidade urgente de mitigar os impactos ambientais decorrentes de sua utilização, particularmente no que se refere às emissões de gases geradores de efeito estufa (GEE) (BiodieselBR, 2024; de Oliveira, 2020).

O biodiesel emerge como uma solução estratégica para o Brasil, alinhando sustentabilidade ambiental e vantagens econômicas estruturais. O país, sendo um dos maiores produtores mundiais de soja, possui na extração do óleo dessa oleaginosa sua principal matéria-prima para produção do biocombustível (de Oliveira, 2020). Esse processo de transformação, realizado através da transesterificação, gera um combustível renovável com duplo benefício ambiental: reduz significativamente a emissão de poluentes locais como particulados e óxidos de enxofre, além de diminuir em até 70% as emissões de gases de efeito estufa em comparação com o diesel comum em seu ciclo de vida completo (Pereira e Ferreira, 2011).

O óleo de cozinha, é um tipo de insumo amplamente utilizado na culinária brasileira, contudo, quando descartado incorretamente em redes de esgoto, solos ou lençóis freáticos, torna-se um grave problema ambiental. Estima-se que um único litro desse resíduo seja capaz de contaminar até 20 mil litros de água, comprometendo ecossistemas aquáticos e a qualidade dos recursos hídricos (Costa *et al.*, 2011; Sudema, 2022). Diante desse cenário, uma alternativa que visa evitar o lançamento do óleo de cozinha usado no meio ambiente é a reciclagem, permitindo que o óleo usado seja transformado em matéria-prima para a produção de biodiesel, sabões, tintas, entre outros produtos de valor agregado (Santos *et al.*, 2018). Essa abordagem não apenas mitiga os impactos ambientais, mas também contribui para a economia circular, agregando valor a um resíduo que, de outra forma, representaria um passivo ambiental significativo.

Este estudo constitui a segunda fase de um projeto integrado que investiga a cadeia de valor do óleo de fritura residual, com aplicação simultânea na produção de biodiesel e subprodutos como sabão (Araújo *et al.*, 2024). A etapa inicial compreendeu um levantamento preliminar do óleo descartado em uma rota gastronômica na Orla do município de Marabá (PA) e, na comunidade acadêmica da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), além de uma ação de educação ambiental com alunos de uma escola pública sobre o reaproveitamento do resíduo. Na presente fase, desenvolve-se uma planta didática de biodiesel em pequena escala, empregando metodologias sistemáticas de projetos de engenharia (projeto informacional, conceitual e definitivo).

2. METODOLOGIA

Nesta seção será apresentado a metodologia proposta para a concepção de uma planta produtora de biodiesel, a qual é estruturada em três etapas centrais (informacional, conceitual e definitivo) para o projeto e desenvolvimento de uma estrutura de acordo com Back *et al.* (2008).

2.1. PROJETO INFORMACIONAL

O objetivo do projeto informacional é a compreensão aprofundada do problema e a coleta de informações relevantes para o desenvolvimento do projeto. Dessa maneira, pode-se entender como uma etapa de investigação e análise, cujo o intuito é identificar requisitos (técnico, econômico, etc.) que influenciarão a concepção da planta. As especificações de projeto podem ser identificadas a partir de um levantamento das necessidades dos usuários, o que por sua vez possibilitará indicar os objetivos a que o produto visa atender, conforme projetado (Back *et al.*, 2008).

Back *et al.* (2008) indica uma série de fatores que devem ser consideradas no projeto informacional. Neste trabalho, foram considerados os requisitos de usuário, requisitos de projeto e especificações de projeto. Não foram avaliados envolvimento com fornecedores, metas de dependabilidade e fatores a serem avaliados durante a construção.

2.1.1. REQUISITOS DE USUÁRIO

Para o levantamento de dados sobre os requisitos de usuários, a aplicação de entrevistas é uma alternativa para o fornecimento de informações (Back *et al.*, 2008).

Neste trabalho, foi considerado que os usuários seriam docentes e discentes de engenharia mecânica da Unifesspa, sendo adaptado o método, haja visto que a medida para a coleta das informações se deu por meio de revisão bibliográfica, a qual incluiu um levantamento de dados sobre o processo de produção de biodiesel através de plantas e, realizou-se uma consulta com duas docentes da Faculdade de Engenharia Química da Unifesspa. A Fig. 1 apresenta a micro usina de biodiesel utilizada para fins didáticos pela Faculdade de Engenharia Química.



Figura 1. Mini Usina de Biodiesel da Faculdade de Engenharia Química. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

2.1.2. REQUISITOS DE PROJETO

De acordo com Back *et al.* (2008), deve-se indicar mecanismos de verificação dos requisitos levantados, isto é, obter meios de tornar as recomendações dos usuários acessíveis para transformar os requisitos de usuário em requisitos de projeto. Neste trabalho, os requisitos de projeto foram adaptados de Schneider (2019), com base no conhecimento de usuário dos autores.

2.1.3. ESPECIFICAÇÕES DE PROJETOS

Após a identificação de requisitos de projeto, é importante estabelecer um modo de verificação de valores/propostas dos requisitos Back *et al.* (2008). Neste trabalho, para cada requisito de projeto foram estabelecidos valores mensuráveis baseados em Schneider (2019), em valores de temperatura e pressão conhecidos das reações químicas, em propriedades dos materiais a serem utilizados e em fatores de usabilidade estabelecidos pelos próprios usuários. Além disso, foi implementado uma análise de possíveis riscos a respeito dos requisitos levantados com base na experiência dos usuários.

2.2. PROJETO CONCEITUAL

A fase de projeto conceitual é dedicada à geração e avaliação de alternativas de solução para o produto em questão. Dessa maneira, é analisado os critérios estabelecidos na etapa informacional. Para a geração de conceitos, foi adotado o uso da ferramenta matriz morfológica, que fornece alternativas para a concepção do produto.

2.3. PROJETO DEFINITIVO

A planta de biodiesel projetada foi adaptada de Trindade (2021). As alterações realizadas foram: mudança na localização dos tanques e do tipo de braçadeira utilizada. Além disso, este trabalho difere do de Trindade (2021) por apresentar simulações de análise de tensão estática. A análise de tensão estática foi realizada no software Fusion 360. Primeiramente foi feito o desenho técnico da planta, especificando as dimensões e materiais utilizados: para os tanques, foi utilizado polipropileno; para os canos, foi utilizado PVC e todo o restante da estrutura foi feito de aço. Foram selecionadas as restrições e as cargas estruturais. Após estas definições, foi feita a simulação, que retornou o fator de segurança, o plano de deslocamento, força de reação, deformação, pressão de contato e força de contato.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente estudo resultou no projeto preliminar de uma planta piloto para produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura, desenvolvido mediante abordagem sistemática.

Por meio dos encontros quinzenais realizados com a coordenadora do projeto de pesquisa “Produção experimental de biodiesel através do óleo usado de restaurantes: uma investigação do impacto correto do óleo usado de restaurantes em Marabá (PA)” e, levantamento bibliográfico (Schneider, 2019) identificou-se os seguintes requisitos de usuário apresentados na Tab. 1.

REQUISITOS DE USUÁRIO
Ser acessível (baixo custo)
Ser uma máquina segura
Ser leve
Seguir as leis e normas aplicáveis
Ser de fácil operação
Ser eficiente

Tabela 1. Requisitos identificados para a planta piloto. **Fonte:** Adaptado de Schneider, 2019.

O levantamento de dados acerca da planta produtora de biodiesel possibilitou a coleta de informações que influenciarão a concepção do produto. Com isso, identificou-se os requisitos apresentados na Tab. 1, mas de acordo com as orientações de Back *et al.* (2008), deve-se indicar mecanismos de verificação dos requisitos levantados, isto é, obter meios de tornar as recomendações dos usuários acessíveis. Dessa maneira, estabeleceu-se os requisitos de projetos da planta produtora de biodiesel apresentados na Tab. 2.

REQUISITOS DE USUÁRIO	REQUISITOS DE PROJETO
Ser acessível (baixo custo)	Ser uma máquina de baixo custo de fabricação (R\$)
Ser uma máquina segura	Possuir dispositivos de segurança
Ser leve	Possuir massa total baixa (kg)
Seguir as leis e normas aplicáveis	Seguir documentos técnicos e acadêmicos
Ser de fácil operação	Possuir orientações simples e funcionais
Ser eficiente	Apresentar taxa de conversão ótima de biocombustível (L/batelada)

Tabela 2. Requisitos de projeto para a planta piloto. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

Após a identificação de requisitos de projeto, é importante estabelecer-se um modo de verificação de valores/propostas dos requisitos. Além disso, foi implementado uma análise de possíveis riscos a respeito dos requisitos levantados. A Tab. 3 apresenta as especificações de projeto adotadas.

REQUISITOS DE PROJETO	VALOR MENSURÁVEL	POSSÍVEIS RISCOS
Ser uma máquina de baixo custo de fabricação (R\$)	Custo de fabricação < R\$ 1000,00.	Componentes caros/baixa qualidade/não realizar o orçamento dos equipamentos antes.
Possuir dispositivos de segurança	Temperatura e pressão conhecidos das reações químicas; Propriedades conhecidas dos materiais utilizados; Simulação de montagem das peças e resistência mecânica do projeto.	Reação química fora do planejado; Material inadequado; Falha de projeto.

Possuir massa total baixa (kg)	Máquina com massa total < 250 kg	Incorporar diversas peças; Ultrapassar o valor mensurável.
Seguir documentos técnicos e acadêmicos	Acompanhar as orientações das normas da ANP para biocombustíveis e orientações com especialistas.	Não obedecer às especificações; Comprometer a qualidade técnica do projeto.
Possuir orientações simples e funcionais	Ter no máximo 20 passos de orientação.	Falta de clareza nas descrições dos processos.
Apresentar taxa de conversão ótima de biocombustível (L/batelada)		Problemas nas reações químicas resultando em menor produção.

Tabela 3. Requisitos identificados para a planta piloto. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

Da matriz morfológica, foi adotado a solução de Schneider (2019) como o projeto definitivo. Com isso, utilizou-se a planta didática do trabalho de Trindade (2021) como referência para o desenho, realizando adaptações ao projeto. A Tab. 4 apresenta a matriz morfológica da planta produtora de biodiesel.

FUNÇÃO ELEMENTAR	COMPONENTE	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Acionamento	Dispositivo de acionamento	 Botoeira	 Pedaleira hidráulica	
Mobilidade	Tipo de sistema	 Fixo (sem mobilidade)	 Móvel	
	Transporte do equipamento	 Rodinhas	 Rebocagem	 Alças
Tanque	Dispositivo de controle de força para fixação do tanque	 Torquímetro	 Sensor dinamômetro	 AUTODESK® FUSION 360™ Software de simulação
	Tipo de tanque	 Plástico	 Aço inoxidável	 Vidro
	Dispositivo de fixação	 Braçadeiras metálicas	 Suportes em U	 Suporte soldado
	Ajustabilidade	 Fixação permanente	 Fixação regulável	 Fixação removível
	Proteção contra vibração	 Amortecedores de borracha	 Molas de suporte	Sem proteção (considerar para baixa vibração)

Segurança da estrutura	Tipo de insumo	 Óleo de fritura	 Gordura animal	
	Limpeza do filtro	Lavagem manual com solvente	Substituição do filtro	
Operação	Misturar insumos	 Agitador mecânico	 Misturador industrial (elétrico)	
	Aquecer matéria-prima	 Serpentina	 Ebulidor industrial	
	Controlar temperatura	 Termopar	 Termostato	
	Deslocar biodiesel e glicerina (entre os tanques)	 Bomba hidráulica	Ação da gravidade	
	Controlar a passagem do biodiesel e glicerina (entre os tanques)	 Válvulas	 Botoeira	

Tabela 4. Matriz morfológica da planta piloto de biodiesel. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

A matriz morfológica foi projetada com funções elementares (acionamento, mobilidade, tanque, segurança da estrutura e operação) que visam garantir eficiência e segurança, uma vez que é esperado um controle preciso do processo.

Para a fase de projeto preliminar utilizou-se o software Fusion 360 para a modelagem da planta piloto de biodiesel, representada na Fig. 2.

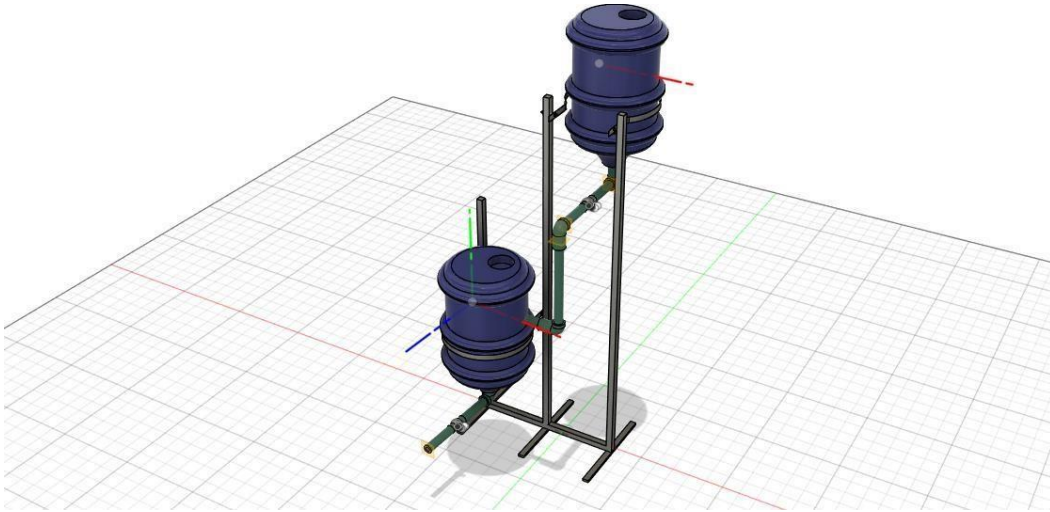


Figura 2. Projeto definitivo da planta piloto de biodiesel. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

Para a simulação de tensão estática sobre a estrutura no software Fusion 360, concluiu-se que o fator de segurança (FS) é igual a 15, o qual é dado pela Equação (1):

$$\text{Fator de segurança} = \text{Resistência do material} / \text{Tensão real} \quad (1)$$

No Autodesk Fusion, o fator de segurança é calculado usando um dos dois critérios a seguir:

- Resistência ao escoamento: Este é o critério padrão. O fator de segurança é calculado como a relação resistência ao escoamento/tensão equivalente de von Mises. A tensão de Von Mises é um bom preditor de falha, especialmente para materiais dúcteis como aço e alumínio. O fator deve ser maior que 1 para que o projeto seja aceitável. (menos de 1 significa que há pelo menos alguma deformação permanente, se não quebra).
- Resistência máxima à tração: o fator de segurança é calculado como a relação resistência máxima à tração/1a tensão principal (também conhecida como tensão principal máxima). Este método pode ser mais apropriado para materiais frágeis que não estão sujeitos a escoamento e menos susceptíveis à fadiga.

Adotou-se o critério de resistência ao escoamento, o qual indica a tensão máxima que um material pode suportar sem se deformar permanentemente. Da simulação, o software indicou que a estrutura apresenta o fator de segurança na faixa de cor azul, o qual indica uma condição mínima resultante que excede o alvo superior, o que significa que está apto. A escolha dos materiais consistiu em utilizar aço, PVC - tubulação e polipropileno. A Fig. 3 ilustra a captura de tela da animação.

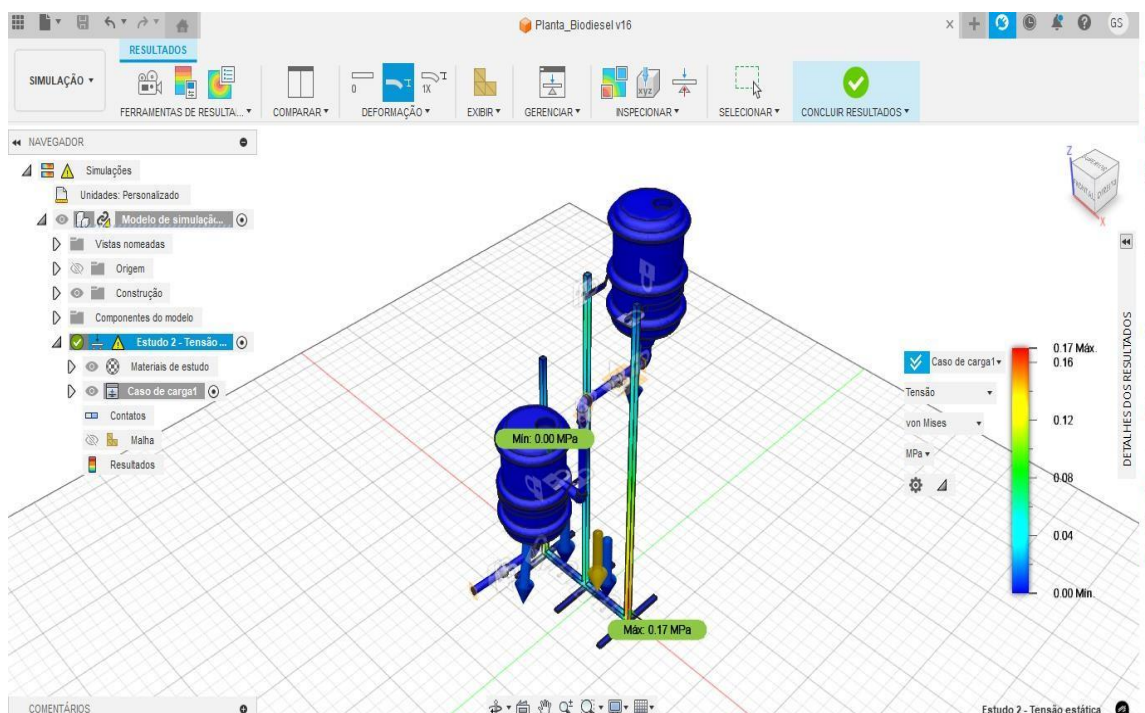


Figura 3. Simulação no Fusion 360 de um esforço de tensão do projeto definitivo da planta piloto de biodiesel. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma planta piloto de biodiesel a partir de óleo residual, utilizando metodologias sistemáticas de projeto, como a matriz morfológica, para seleção da configuração ótima. Estudos futuros podem explorar a otimização do processo e a integração com outras fontes de biomassa.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à Unifesspa, ONG Engenheiros Sem Fronteiras – Marabá, à Associação Brasileira de Ciências Mecânicas (ABCM) pelo apoio técnico e financeiro no desenvolvimento desse trabalho. E também à Divisão de Assistência e Integração Estudantil da Unifesspa e CAPBio – Amazônia Legal e CNPQ pela assistência financeira a participação em evento acadêmico.

6. REFERÊNCIAS

- Araújo et al. Levantamento do descarte ao óleo de fritura utilizado por uma rota gastronômica e comunidade universitária em Marabá (PA). Nov. 2024. 15 p. XIX Encontro Nacional de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (ENEDS).
- Back et al. Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem. ISBN: 978-85-204-2208-3. Barueri – SP, Manole, 2008.
- BiodieselBR. Produção nacional de biodiesel supera 600 m³ em janeiro de 2024. 27 Fev. 2024. <<https://www.biodieselbr.com/noticias/usinas/producao/producao-nacional-de-biodiesel-supera-600-mil-m-em-janeiro-de-2024-270224>>.
- Costa et al. Diagnóstico do fluxo de reaproveitamento do óleo vegetal residual no município de João Pessoa. 2011. 12 p. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção.
- de Oliveira, Fernando Carlos. Comparação de impactos ambientais do biodiesel produzido a partir do óleo residual de fritura via rotas etílica e metílica. Orientadora: Suani Teixeira Coelho; co-orientador: Gil Anderi da Silva. 157 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, 2020.
- Santos et al. Atuação dos restaurantes na logística reversa do óleo de cozinha no município de Volta Redonda/RJ. 2018. 12 p. Engevista, V. 20, n.4, p. 589-600.
- Schneider, Robson Eduardo dos Anjos. Projeto preliminar de equipamento didático produtor de biodiesel. Trabalho de Conclusão de Curso para o título de bacharel em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul, 2019.
- Superintendência de Administração do meio ambiente (Sudema). Descarte incorreto de óleo de cozinha contamina o meio ambiente saiba o que fazer. Ago. 2022. <<https://sudema.pb.gov.br/noticias/descarte-incorreto-do-oleo-de-cozinha-contamina-o-meio-ambiente-saiba-o-que>>.
- Trindade, Vítor Gunther Dumke. Construção de uma planta didática para produção de biodiesel. Trabalho de Conclusão de Curso para o título de bacharel em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul, 2021.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.