



APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS: MODELAÇÃO, SIMULAÇÃO E PRODUÇÃO DE BIODIESEL UTILIZANDO JATROPHA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5369

Autores: CLARISSA ANA ZAMBIASI, MADRITH SHEL COSTA DUARTE, ELISETE LOPES DA CUNHA, VANESSA MOTA VIEIRA, ORLANDO GAMA DA SILVA JUNIOR, PÉRICLES AQUINO ALVES, PEDRO PRATES VALÉRIO

Resumo: *Este estudo considera metodologias pedagógicas que incluem Project Based Learning e Problem Based Learning, no sentido de potencialização do processo ensino-aprendizagem. No que se refere a seu âmbito mais técnico, apresenta uma análise detalhada da simulação de quatro processos distintos de produção de biodiesel, baseados em diferentes matérias-primas: óleo de coco, óleo de jatropha, óleo de cozinha usado e sebo bovino. Utilizando o software DWSim, foram investigadas as condições operacionais e parâmetros de cada processo, incluindo reações de esterificação e transesterificação, separação de componentes e purificação do produto final. Os resultados indicaram diferenças significativas na eficiência e rendimento entre os processos, destacando o sebo bovino como a matéria-prima mais adequada para a produção de biodiesel, devido à sua alta produção de biodiesel, baixo teor de impurezas e perdas mínimas de etanol. Além disso, foram identificadas diferenças de desempenho entre os óleos vegetais e o óleo de cozinha usado, apesar de compartilharem triglicerídeos similares em sua composição. Essas descobertas ressaltam a importância da seleção cuidadosa da matéria-prima e da otimização dos parâmetros do processo para garantir a eficiência e sustentabilidade da produção de biodiesel.*

Palavras-chave: *Produção de biodiesel, Simulação, Jatropha, Otimização do processo*



APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS: MODELAÇÃO, SIMULAÇÃO E PRODUÇÃO DE BIODIESEL UTILIZANDO JATROPHA

1. INTRODUÇÃO

Jatropha, conhecido cientificamente como Nettlespurges, é um gênero de plantas amplamente distribuído globalmente, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. Sua notável resistência a condições adversas de crescimento e habilidade de prosperar em solos pobres o tornam um candidato promissor para diversas aplicações industriais e ambientais como a fitorremediação de solos contaminados por metais potencialmente tóxicos e a produção de biodiesel. As sementes de Jatropha são ricas em óleo, com teores que variam de 30% a 40%, e têm sido extensivamente estudadas como uma fonte potencial de biodiesel. No entanto, a presença de compostos tóxicos, como a curcina e a toxalbumina, em suas sementes requer cuidadosa manipulação durante o processo de extração de óleo e destinação dos subprodutos (KUMAR *et al.*, 2012; LI *et al.*, 2017; BECKER *et al.*, 2020).

A produção de biodiesel emerge como uma alternativa aos combustíveis fósseis, destacando-se por suas vantagens ambientais e econômicas. O processo de obtenção envolve a transesterificação de óleos vegetais ou gorduras animais com álcool, catalisada por substâncias, normalmente alcalinas como o hidróxido de sódio (NaOH) e hidróxido de potássio (KOH), amplamente preferidos devido à sua eficácia e custo relativamente baixo (Al-Zuhair, 2020). Esta abordagem converte os triglicerídeos presentes nos óleos em ésteres metílicos ou etílicos, componentes-chave do biodiesel, e glicerina como subproduto. A matéria-prima utilizada na produção de biodiesel pode variar significativamente, desde óleos vegetais de culturas alimentares até óleos residuais e gorduras animais, o que tem impacto direto na viabilidade econômica e sustentabilidade do processo (KNOTHE, 2021). A otimização dos parâmetros do produção, incluindo temperatura, proporção molar de reagentes e tempo de reação, é essencial para maximizar o rendimento e minimizar os custos operacionais. Investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento são fundamentais para aprimorar as técnicas de produção, visando a adoção em larga escala como fonte de energia alternativa e renovável (fonte?).

O biodiesel produzido a partir de matérias-primas com alto teor de ácidos graxos saturados tende a apresentar problemas de solidificação sob certas condições. Variações abruptas de temperatura, pressão e outras variáveis associadas à produção de biodiesel podem levar à obstrução dos filtros de óleo, dos sistemas de injeção, além de ocasionar problemas de oxidação devido ao alto índice de iodo quando qualquer tipo de óleo é utilizado. A produção de biodiesel ocorre em reatores químicos, os quais devem ter seus parâmetros precisamente definidos e dimensionados de acordo com a demanda otimizada do processo. O balanço de massa e termodinâmico, referem-se às quantidades de entrada e saída de material do sistema, o volume inicial e operacional ideal, o controle de agitação e as condições de temperatura e pressão são variáveis inter-relacionadas que desempenham um papel crucial na otimização das quantidades necessárias para as características fundamentais do controle de eficiência do reator, as quais impactam diretamente no resultado do processo (SCHULTZ *et al.*, 2014).

O balanço energético e de massa no processo de produção de biodiesel é governado por equações diferenciais ordinárias rígidas, cuja solução requer métodos complexos e, muitas vezes, desafiadores de serem abordados analiticamente. Essas equações demandam abordagens implícitas e algoritmos sofisticados para sua resolução, dadas as suas características intrincadas e multifacetadas. Resolver esses modelos matemáticos implica em uma análise cuidadosa das interações entre os diversos



componentes envolvidos no processo, destacando a necessidade de técnicas computacionais avançadas e metodologias de otimização para garantir uma produção eficiente e sustentável de biodiesel.

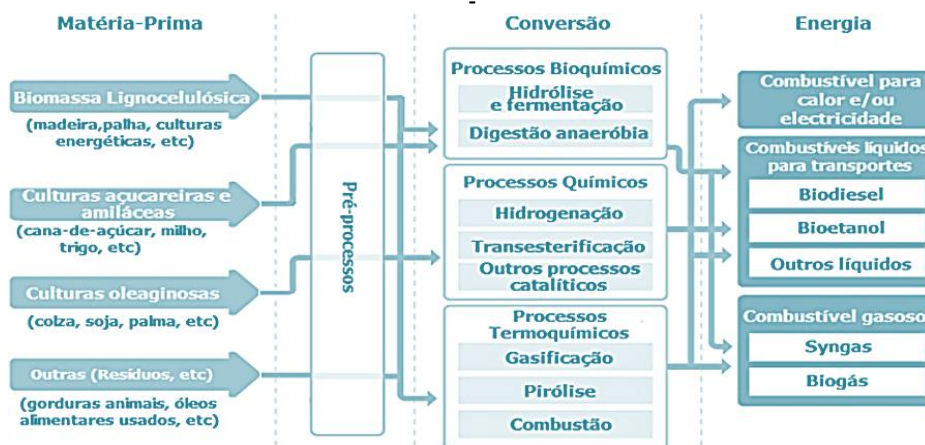
Com base no exposto, este estudo teve como objetivo desenvolver modelos e simular, utilizando o software DWSIM, fluxogramas de processo para a produção de biodiesel a partir de diferentes matérias-primas, empregando a reação de esterificação seguida de transesterificação. O intuito foi demonstrar aspectos tecnológicos e analisar viabilidade técnica de processos, estimulando aprendizagem de estudantes, superior, com base em metodologias Problem Based Learning e Project Based Learning.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Biocombustíveis

Os biocombustíveis podem ser líquidos ou gasosos, originados da biomassa, ou seja, da fração biodegradável dos produtos e resíduos da agricultura floresta e indústrias relacionadas, assim como das frações biodegradáveis dos resíduos industriais e urbanos. Ao contrário dos combustíveis fósseis, que levam milhões de anos para se formarem, os biocombustíveis representam uma forma de energia renovável que pode ser produzida anualmente por meio de práticas de agricultura sustentável. Na Figura 1 são apresentadas matérias-primas utilizadas na produção de biocombustíveis, bem como processos de conversão e seus produtos correspondentes. Dependendo das matérias-primas utilizadas e da tecnologia de conversão empregada em sua produção, os biocombustíveis são comumente agrupados em três categorias distintas: biocombustíveis de primeira, segunda e terceira geração.

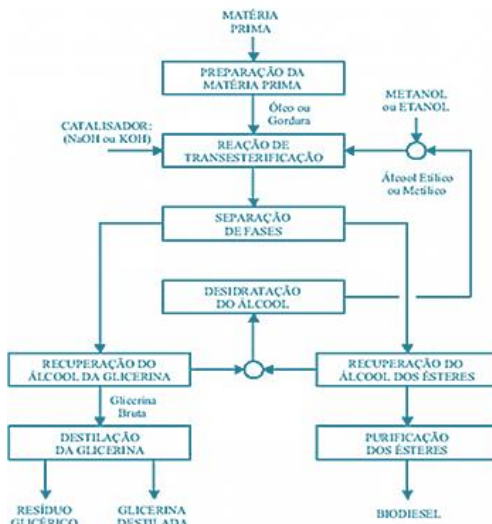
Figura 1: Exemplos rotas de conversão de matérias-primas, considerando processos químicos, bioquímicos e termoquímicos, e biocombustíveis resultantes



Fonte: Os autores (2024)

A Figura 2 ilustra um esquema de produção de biodiesel, considerando o processo de transesterificação

Figura 2: Esquema de produção de biodiesel pelo processo de transesterificação.



Fonte: Os autores – adaptado (2024)

2.2 Matérias-primas para produção de biodiesel

As matérias-primas para a produção de biodiesel geralmente incluem óleos vegetais, gorduras animais e óleos residuais. Todos os óleos vegetais, classificados como óleos fixos ou triglicérides, podem ser transformados em biodiesel. Assim, diversas espécies vegetais podem constituir matéria-prima para a produção de biodiesel, incluindo óleos de grão de amendoim, polpa de dendê, amêndoas de coco de dendê e coco-da-praia, caroço de algodão, amêndoas de babaçu, semente de girassol, baga de mamona, semente de colza, semente de maracujá, polpa de abacate, caroço de oiticica, semente de linhaça, semente de tomate, entre muitos outros vegetais na forma de sementes, amêndoas ou polpas (PARENTE, 2017).

Óleos de descarte, óleos de vísceras de peixes e óleos usados para cocção de alimentos (óleo de fritura) também são utilizados como matérias-primas alternativas para a produção de biodiesel. Os óleos de fritura, em particular, representam um potencial de oferta surpreendente, superando as expectativas mais otimistas.

No entanto, ao comparar as matérias-primas, a produção de biodiesel a partir de óleo comestível pode ter um impacto ambiental negativo, uma vez que requer o uso de uma grande parte das terras aráveis disponíveis. Isso levou a graves desequilíbrios ecológicos, com o desmatamento de florestas para fins de plantio em vários países. No entanto, as culturas energéticas de segunda geração, como pinhão-manso (*Jatropha*), óleo de jojoba, sementes de tabaco, óleo de salmão e manga do mar, representam alternativas mais sustentáveis para a produção de biodiesel. A Tabela 1 apresenta composições típicas, de forma ilustrativa, de alguns óleos e gorduras em ácidos graxos.

Tabela 1: Composição típica, ilustrativa, de alguns óleos e gorduras em ácidos graxos.

Tipo de óleo/gordura	Composição de ácidos graxos (%m/m)						
	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
Amendoim	-	-	7 – 12	1.5 – 5	64 – 86	4 – 15	0.5 – 1
Coco	41 - 49	24 - 32	8 – 17	2 – 4	6 – 8	0.5 – 3	traços
Girassol	traços	traços	5.5 – 8	2.5 - 6.5	14 - 34	55 – 73	<0.4
Jatropha	-	-	13-19	5 - 6	40-47	33-39	<0.4
Milho	traços	traços	9 – 12	1 – 3	25 - 35	40 – 60	<1
Palma	traços	1 – 2	41 – 46	4 – 6.5	37 - 42	8 – 12	<0.5
Soja	-	<0.5	8 – 12	3 – 5	18 – 25	49 – 57	6 – 11
Banha suína	<0.5	<1.5	24 – 30	12 - 18	36 – 52	10 – 12	<1
Gordura deFrango	-	<1	20-25	4-7	31-39	17-22	<0.5

Fonte: Os autores (2024)

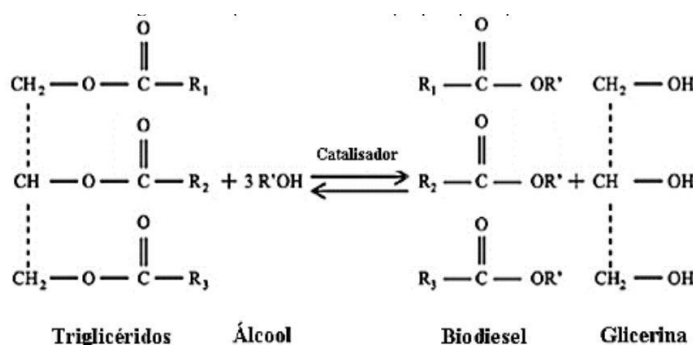
Além disso, resíduos de óleos de cozinha, gordura de restaurante e gorduras animais, como sebo bovino e banha de porco, são considerados matérias-primas de segunda geração. O óleo de cozinha residual, em particular, é uma alternativa promissora para o óleo vegetal na produção de biodiesel, uma vez que é mais barato, sendo de 2 a 3 vezes mais econômico do que os óleos vegetais brutos. No entanto, a produção de biodiesel a partir de resíduos de óleos de cozinha apresenta desafios devido à presença de componentes indesejáveis, como ácidos graxos livres e água que pode torná-los impróprios para o uso em motores a diesel.

2.3 Transesterificação

A transesterificação é um processo reversível que ocorre em três etapas distintas (Figura 3), nas quais o triglicéride é convertido em ésteres alquílicos e glicerina na presença de um álcool de cadeia curta, com ou sem o uso de catalisador. Como produto principal, o processo gera biodiesel, enquanto a glicerina é produzida como subproduto.

Comentado [MP1]: Não achei a figura no texto

Figura 3: Reação de transesterificação para produção de biodiesel



Fonte: Moreira (2009)



Conforme Moreira (2009), *apud* Cruz et al. (2021, p. 77), nesse processo, os triglicerídeos das matérias-primas reagem com o álcool na presença de catalisadores ácidos, básicos ou enzimáticos, desencadeando uma reação química que resulta em uma mistura de ésteres e glicerol. As reações reversíveis ocorrem sequencialmente, iniciando com a conversão dos triglicerídeos em diglicerídeos e, em seguida, em monoglicerídeos, que são posteriormente convertidos em glicerol. Cada etapa produz um éster, na proporção de 3 ésteres para cada triglicerídeo. Para uma transesterificação completa do ponto de vista estequiométrico, é necessária uma proporção molar de 3:1 de álcool para triacilglicerídeo. No entanto, devido à natureza reversível da reação, o agente transesterificante (álcool) é geralmente adicionado em excesso, contribuindo para aumentar o rendimento do éster e permitir sua separação do glicerol formado.

A transesterificação metilica de óleos vegetais em meio alcalino homogêneo é o método mais comum para a produção de biodiesel. A presença de catalisadores melhora a solubilidade do álcool na matéria-prima, sendo sua aplicação determinada pelo tipo de matéria-prima a ser utilizada. Por exemplo, os óleos vegetais, que apresentam menores teores de ácidos graxos livres, podem ser submetidos à transesterificação por meio de catálise básica ou ácida. Diversos fatores influenciam o progresso da reação, incluindo o tipo e a quantidade de álcool utilizado, o catalisador empregado, a temperatura e o tempo de reação.

2.4 Esterificação

Os processos de esterificação de ácidos graxos desempenham um papel fundamental na produção de biodiesel, especialmente ao considerar rotas tecnológicas baseadas em matérias-primas de alta acidez. Estudos cinéticos da reação de esterificação metilica de ácidos graxos, utilizando ácido sulfúrico como catalisador, demonstraram que o estado de equilíbrio do sistema pode ser alcançado em menos de 1 hora de reação, mediante a variação adequada das condições experimentais (Ramos, Silva, & et al., 2011, p. 395). Uma abordagem para produzir biodiesel a partir de fontes com elevados teores de ácidos graxos livres é realizar uma esterificação em três etapas. Na primeira etapa, ocorre a saponificação do óleo, liberando os ácidos graxos correspondentes na forma de sabão. Posteriormente, essa solução é acidificada para converter os sabões em ácidos graxos. Por fim, esses ácidos são esterificados com metanol e ácido sulfúrico. Esse procedimento tende a uma conversão próxima a 98% do óleo em ésteres metílicos.

2.5 Modelagem e simulação de um processo de produção de biodiesel

A modelagem e simulação de um processo de produção de biodiesel demandam um conjunto mínimo de propriedades para todas as espécies químicas envolvidas, incluindo o óleo de alimentação (geralmente uma mistura de triglicerídeos e ácidos graxos), metanol ou etanol como reagentes de transesterificação ou esterificação, produtos de reações intermediárias (diglicerídeos e monoglicerídeos), subprodutos (glicerol e água) e o biodiesel principal (uma mistura de ésteres de ácidos graxos). Ácidos graxos, metanol, etanol, glicerol e água são espécies químicas comuns, e suas propriedades são acessíveis em bases de dados. No entanto, a modelagem se torna desafiadora devido à composição variável do óleo ou gordura utilizados, o que resulta em uma mistura complexa de ésteres de ácidos graxos no produto final. Assim, uma das dificuldades reside em representar adequadamente essa composição e seu efeito no



cálculo das propriedades físicas (MÂNCIO, 2017). Embora haja uma vasta aplicação de simuladores em processos químicos clássicos na literatura, seu uso em processos relacionados à produção de biodiesel ainda é limitado devido à escassez de dados publicados. Além disso, inúmeras dificuldades são relatadas na caracterização da matéria-prima e em relação a alguns equipamentos. Os poucos estudos desenvolvidos na área de produção de biodiesel com o auxílio de simuladores comerciais são brevemente descritos na revisão da literatura.

2.5.1 Pacote ASPEN

O software Aspen é amplamente utilizado na indústria química para simulação de processos, empregando modelos matemáticos para prever o desempenho do processo com base em um projeto fornecido pelo usuário e uma seleção apropriada de modelos termodinâmicos. Sua capacidade de lidar com sistemas complexos, incluindo separação de misturas não ideais e até soluções eletrolíticas, o torna uma ferramenta poderosa para otimização de design. No entanto, é importante destacar que o Aspen não projeta o processo, apenas simula o desempenho com base no projeto fornecido, exigindo um entendimento sólido dos princípios básicos da engenharia química para a entrada de parâmetros adequados e avaliação dos resultados obtidos.

2.5.2 Simulador DWSim

O DWSIM é um simulador de processos químicos de código aberto, desenvolvido no Brasil, compatível com Windows, Linux e Mac. Ele oferece uma ampla gama de operações termodinâmicas e modelos rigorosos para estudo e compreensão de comportamentos em processos químicos. Com sua interface intuitiva, o DWSIM permite aos usuários, desde estudantes até engenheiros químicos, explorar e analisar processos de forma eficiente. Com bibliotecas de componentes abrangentes e suporte a vários pacotes de propriedades, como Peng-Robinson e Soave-Redlich-Kwong, o DWSIM oferece uma plataforma versátil e acessível para pesquisa e desenvolvimento na área de engenharia (Baptista, 2019).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho adotou uma abordagem de pesquisa básica estratégica, visando a geração de conhecimento aplicável em estudos práticos futuros, seja em um contexto próximo ou distante. Quanto aos objetivos, caracterizou-se como uma pesquisa descritiva, utilizando uma abordagem quantitativa para coleta e análise de dados por meio de software de simulação de processos.

Além disso, empregou-se o método hipotético, configurando assim uma pesquisa hipotético-dedutiva, que envolveu a formulação e teste de proposições hipotéticas. A fundamentação teórica foi embasada em uma pesquisa bibliográfica, que incluiu a consulta a manuais, artigos científicos, apostilas e sites confiáveis relacionados ao tema em estudo, proporcionando uma base sólida para sustentar as preposições investigadas.



3.1 Escolha do Software

A simulação do processo de produção de biodiesel foi conduzida utilizando o software DWSim (V8.3.0). A escolha deste simulador de processos foi fundamentada na sua adequação para esse tipo específico de processo, permitindo simulações em estados dinâmicos e estacionários, além de fornecer uma plataforma integrada com diversas bases online de elementos químicos. Em casos em que algum elemento não está disponível na plataforma, o DWSim possibilita a importação online.

Além disso, o software oferece a integração de uma variedade de equipamentos utilizados na indústria química, como torres de destilação, reatores, trocadores de calor, compressores e bombas. Sua interface intuitiva e de fácil compreensão facilita o uso pelo usuário, fornecendo resultados claros, incluindo gráficos e condições de processo, e permitindo a inclusão de pacotes termodinâmicos e operações unitárias básicas.

O processo de simulação é composto por várias etapas, que devem ser seguidas de forma sistemática. Inicialmente, são selecionados os componentes envolvidos no processo, juntamente com o modelo termodinâmico adequado. Em seguida, são especificadas as unidades de operação, as condições de operação, a capacidade da planta e as condições de entrada.

3.2 Escolha do pacote termodinâmico

O modelo termodinâmico adotado nas simulações para o cálculo da fase líquida da mistura foi o NRTL (Non-Random Two Liquid). Este modelo é especialmente adequado para simulações que envolvem catálise ácida ou básica, devido às suas vantagens distintas em relação a outros modelos disponíveis.

O NRTL apresenta uma representação precisa dos dados experimentais necessários para a estimativa dos parâmetros de equilíbrio das fases, além de ser facilmente estendido para misturas que exigem considerações multicomponentes. O tipo de cálculo de equilíbrio empregado foi o VLE (Equilíbrio Vapor-Líquido), que é o padrão para análises termodinâmicas nesse contexto.

3.3 Descrição dos processos

A planta virtual de produção de biodiesel proposta foi projetada para analisar as variações na produção de biodiesel a partir de diferentes fontes de matéria-prima: óleos vegetais (óleo de coco, jatropha ou pinhão manso), óleo animal (sebo bovino) e óleo residual de fritura. A capacidade dos quatro processos simulados foi fixada em 8650 toneladas de biodiesel por ano. Para cada processo, foram realizadas simulações utilizando as mesmas condições e parâmetros, variando apenas a matéria-prima principal do biodiesel.

Os óleos foram submetidos a um pré-tratamento para remoção de água e ácidos graxos livres. Optou-se pela rota etílica devido ao álcool etílico ser uma fonte renovável de energia e menos tóxico em comparação com o metanol, um combustível fóssil. Para o pré-tratamento, foi aplicada catálise ácida devido ao teor de ácidos graxos presentes nos óleos.

Já a reação de transesterificação foi catalisada por uma base, pois além de ser comumente utilizada nas usinas atualmente, é mais eficiente que a catálise ácida,



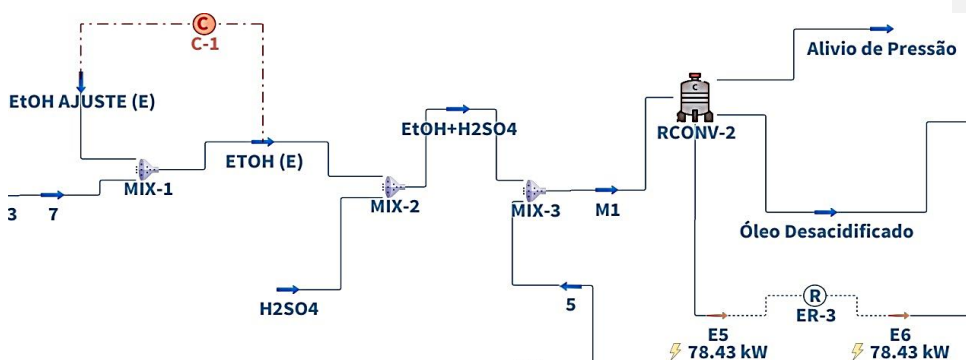
fornecendo alto rendimento em ésteres com alto grau de pureza. A separação das fases, contendo ésteres de ácidos graxos (biodiesel) e glicerol, é facilitada com essa abordagem.

Foi empregado um reator de conversão com uma taxa de conversão mínima de 99% dos triglicerídeos, assegurando uma eficiente transformação dos óleos em biodiesel.

4. RESULTADOS

Sob a ótica da utilização da planta virtual, em contexto de simulação, após a remoção da água presente no óleo de jatropha, este é bombeado (PUMP-1) a partir da corrente 3 a 101.325 kPa e é resfriado a 85 °C. Em seguida, é misturado com a corrente "EtOH+H₂SO₄", composta pelo catalisador ácido sulfúrico e etanol, formando a corrente M1. A corrente "EtOH+H₂SO₄" é composta pelo etanol reciclado, que se combina com o etanol de entrada proveniente do processo de destilação, e se mistura com o catalisador. A Figura 3 ilustra o fluxograma de processo, também elucidando as correntes que o compõem, para a esterificação objeto de estudo, a partir do Simulador DWSim.

Figura 3: Fluxograma de processo: Esterificação - Simulador DWSim



Fonte: Os autores – adaptado (2024)

A corrente M1 entra no reator, onde ocorre a reação de esterificação para remoção dos ácidos graxos livres presentes no óleo de jatropha. O reator opera a 77 °C e no modo adiabático, assumindo uma conversão de 100% do ácido oleico para garantir a remoção completa do ácido graxo. A razão molar etanol/óleo é de 9/1.

A reação de esterificação resulta na formação do éster oleato de etila, representado pela corrente "óleo desacidificado", isenta de ácidos graxos livres, composta por óleo de jatropha desacidificado, etanol, traços de água e catalisador (H₂SO₄), conforme indicado na Tabela 2.

Após a reação de esterificação, o óleo desacidificado foi aquecido a 90°C (HT-2) e despressurizado (VALVE-2) para 30.3975 kPa para facilitar o processo de separação dos componentes na coluna de destilação. Isto visa obter o etanol em excesso na mistura, que é então conduzido à coluna de destilação (SCOL-2).



Tabela 2: Principais correntes na etapa de reação de esterificação - Processo I

Correntes do processo I		
	M1	Óleo Desacidificado
Condições operacionais		
Temperatura (°C)	81.7315	48.7873
Pressão (kPa)	101.325	101.325
Vazão mássica (kg/h)	1305.17	1305.17
Composição (Fracção mássica)		
Etanol	0.22979	0.21086
Glicerol	0	0
NaOH	0	0
H ₂ SO ₄	0.00766	0.00766
H ₂ O	6.12E-05	0.00068
Acido Oléico	0.00968	0
Biodiesel	0	0.02799
Triglicerídeos	0.75281	0.75281

Fonte: Os autores (2024)

A coluna de destilação foi configurada com uma razão de refluxo de 1.5 e três estágios teóricos, operando a uma pressão de 30.3975 kPa. As correntes resultantes são:

EtOH Destilado (E): Contém 99.98% do total de etanol alimentado na coluna, com pureza de 99.679%. Tal corrente passa por processo de reciclagem (RECICLO-1) e é resfriada a 25 °C (CL-2), quando sua pressão é aumentada para 101.325 kPa para manter condições iniciais de processo, a fim de ser reintegrada ao processo produtivo.

A corrente "Óleo Desacidificado (D)" contém óleo de jatropha desacidificado, etanol não recuperado, éster etílico, água e H₂SO₄, conforme as proporções apresentadas na Tabela 3. Apesar de 99.98% do etanol ter sido recuperado, apenas 96.262% deste é reintroduzido no sistema pelo reciclo, resultando na perda de 3.738% de etanol durante o processo, o que corresponde a 10.232 kg (ou 10.22643 kg de etanol recuperado) de etanol perdido por hora.

Tabela 3: Principais correntes envolvidas na recuperação de etanol - Processo I

Correntes do processo I				
	M2*	EtOH Destilado (E)	EtOH Reciclado (R)	Óleo Desacidificado (D)
Condições operacionais				
Temperatura (°C)	65.4283	50.7062	50.7286	455.652
Pressão (kPa)	30.3975	30.3975	30.3975	30.3975
Vazão mássica (kg/h)	1305.17	276.033	265	1027.85
Composição (Fracção mássica)				
Etanol	0.21086	0.99679	0.9997	6.05E-05
Glicerol	0	0	0	0
NaOH	0	0	0	0
H ₂ SO ₄	0.00766	1.05E-06	0	0.00971
H ₂ O	0.00068	0.00321	0.0003	0
Ácido Oléico	0	0	0	0
Biodiesel	0.02799	0.68E-05	0	0.03550
Triglicerídeos	0.75281	0	0	0.95473

Fonte: Os autores (2024)



O óleo desacidificado resultante da reação de esterificação contém algumas impurezas que precisam ser removidas para que não influenciem negativamente na reação de transesterificação, que ocorrerá via catálise básica.

Para isso, o óleo é bombeado (PUMP-2) e resfriado (CL-3) a 25°C, resultando na corrente "10", que é enviada para uma coluna de extração para remoção das impurezas.

As correntes resultantes do processo de extração são a corrente "Glicerol + impurezas", composta principalmente por glicerol, resíduos de etanol não reagido, água e catalisador, que neste caso são considerados as impurezas presentes no óleo desacidificado. A outra corrente é o "Óleo desacidificado puro", que está praticamente livre de impurezas e pode ser direcionado para a produção de biodiesel, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4: Principais resultados na etapa de lavagem- Processo I

Condições operacionais	Correntes do processo I		
	Glicerol	10	Óleo Desacidificado Puro
Temperatura (°C)	25	55.5757	59.8449
Pressão (kPa)	101,325	30.3975	101.325
Vazão mássica (kg/h)	710	1737.85	986.2
Composição (Fracção mássica)			
Etanol	0	3.59E-05	0
Glicerol	1	0.40825	0
NaOH	0	0	0
H2SO4	0	0.00575	0
H2O	0	0.12E-05	0
Acido Oléico	0	0	0
Biodiesel	0	0.02101	0.00371
Triglicerídeos	0	0,56495	0.99629

Fonte: Os autores (2024)

5. CONCLUSÃO

O trabalho se potencializou em metodologias pedagógicas que incluíram *Problem Based Learning* e *Project Based Learning*, a favor do processo ensino-aprendizagem. No que se refere a seu mérito mais técnico, a análise das simulações revelou que, embora os quatro processos tenham sido conduzidos sob as mesmas condições, com variação apenas na matéria-prima principal, houve diferenças significativas nos resultados. Notavelmente, o processo II, utilizando óleo de coco como matéria-prima, destacou-se negativamente, apresentando as maiores perdas de óleo e menor produção de biodiesel, além de registrar a maior perda de álcool durante o processo, em torno de 21% do álcool recuperado. Esses resultados sugerem que o óleo de coco pode não ser a escolha mais indicada para a produção de biodiesel, devido às suas altas perdas e baixa eficiência.

Apesar de o óleo de jatropha e o óleo residual de fritura compartilharem os mesmos triglicerídeos em sua composição, os resultados obtidos divergem consideravelmente. O óleo residual de fritura, por exemplo, produziu cerca de 17 toneladas a mais de biodiesel, 24 toneladas a mais de glicerol e perdeu significativamente menos álcool, evidenciando como as proporções dos triglicerídeos e o tipo de ácido base influenciam no processo.



O processo I, embora tenha produzido quantidades favoráveis de biodiesel, apresentou desvantagens significativas, como uma perda considerável de álcool (cerca de 14,5%) e baixa quantidade de glicerol produzida (224 ton/ano), além de uma propriedade fora do limite estabelecido. Por outro lado, os dois últimos processos demonstraram resultados muito satisfatórios em comparação com os dois primeiros.

Em suma, as simulações revelaram-se eficazes na obtenção do produto desejado, destacando o óleo de sebo bovino como a matéria-prima mais indicada entre as escolhidas para a produção de biodiesel nas condições simuladas. Este processo apresentou uma produção anual de 8447 toneladas de biodiesel, com apenas 0,2% de impurezas e perdas de cerca de 20 toneladas/ano de etanol (1,7% do etanol recuperado), além de produzir aproximadamente 248 toneladas de glicerol. Além disso, alcançou uma eficiência de cerca de 93,9% em relação à capacidade instalada da planta para produção de biodiesel. Esses resultados ressaltam a importância da escolha adequada da matéria-prima e do ajuste preciso dos parâmetros do processo para garantir a eficiência e a viabilidade econômica da produção de biodiesel.

6. REFERENCIAS

Al-Zuhair, S. (2020). Recent advances in heterogeneous catalysts for biodiesel production: A review. **Journal of King Saud University - Science**, 32(12), 2486-2492.

Baptista, A. (2019, July). ESTUDO COMPARATIVO DA OBTENÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE MAMONA EM LABORATÓRIO E NO SIMULADOR DE. [Tese de graduação].

Becker, J. V. W., Gasparotto, J. P. L., Godoy, H. T., & Pastore, G. M. (2020). Biorefinery process for detoxification of *Jatropha curcas* seed cake and valorization of its components for the production of bioactive compounds. **Journal of Cleaner Production**, 263, 121468.

ChemEngGuy. (s.d.). Process Simulation. Aspen Plus vs. HYSYS? What's the Difference? Recuperado de <https://www.chemicalengineeringguy.com/the-blog/process-simulation/aspen-plus-vs-hysys-whats-the-difference/>

Cruz, D. M., et al. (2021, August). Otimização do processo de produção de biodiesel e glicerol a partir do óleo de palma e soja por modelagem no software dwsim. **Revista Brasileira de Tecnologias Limpas**, 7, 77121-77145.

Edu, C. (s.d.). Chemical engineering and materials science. Recuperado de Michigan State University: <https://www.chems.msu.edu/resources/tutorials/ASPEN>

Knothe, G. (2021). Biodiesel and renewable diesel: A review. **Progress in Energy and Combustion Science**, 87, 100858.

Kumar, A., Sharma, S., Mishra, M., & Kumar, S. (2012). *Jatropha curcas*: A review on biotechnological status and challenges. **Plant Biotechnology Reports**, 6(1), 1-20.

Li, H., Luo, Y., & Su, Z. (2017). *Jatropha curcas* seed oil as a sustainable source for biodiesel: Opportunities and challenges. **Journal of Cleaner Production**, 149, 848-856.



Parente, E. J. (2017). Biodiesel: Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado. (Tese de doutorado). Fortaleza.

Ramos, L. P., Silva, F. R., & et al. (2011, October 22). Tecnologias de Produção de Biodiesel. *Revista Virtual de Química*, 3, 385-405.

Rodrigues, G. O., et al. (2020). MODELAGEM COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL ATRAVÉS DO USO DO ÓLEO DE COZINHA RECICLADO EM VEÍCULOS COLETORES DE RESÍDUOS. *Revista Eletrônica de Administração*, 268-286.

Rodrigues, G. V. (2020, March 12). Simulação de Processos Produtivos: o que é e qual sua importância no processo de transformação digital da indústria. Recuperado de <https://certi.org.br/blog/simulacao-de-processos-produtivos/>

Sofia, M. S. (2020, November 20). Simulação de Processos: A importância da modelagem na análise de viabilidade técnica. Recuperado de <https://propeq.com/simulacao-de-processos/>

Souza, T. P. (2011, February). Simulação de uma planta piloto de biodiesel com estudo da viabilidade econômica preliminar utilizando o Aspen/HYSYS. (Tese de mestrado). Recife, Pernambuco.

Souza, T. P. (2015, April 10). Produção de biodiesel via rota etílica por destilação reativa, extrativa e absorviva: uma comparação experimental e computacional. Recife.

PROJECT-BASED LEARNING: MODELING, SIMULATION, AND PRODUCTION OF BIODIESEL USING JATROPHA

Abstract: This study considers pedagogical methodologies that include Project Based Learning and Problem Based Learning, aiming to enhance the teaching-learning process. Regarding its more technical scope, it presents a detailed analysis of the simulation of four distinct biodiesel production processes, based on different feedstocks: coconut oil, jatropha oil, waste cooking oil, and beef tallow. Using the DWSim software, the operational conditions and parameters of each process were investigated, including esterification and transesterification reactions, component separation, and final product purification. The results indicated significant differences in efficiency and yield among the processes, highlighting beef tallow as the most suitable feedstock for biodiesel production, due to its high biodiesel production, low impurity content, and minimal ethanol losses. Additionally, differences in performance were identified between vegetable oils and waste cooking oil, despite sharing similar triglycerides in their composition. These findings underscore the importance of careful feedstock selection and process parameter optimization to ensure the efficiency and sustainability of biodiesel production.

Keywords: Biodiesel production, Simulation, Jatropha, Process optimization

