



PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL PARA AVIAÇÃO A PARTIR DO ÓLEO DA HYMENAEA SP UTILIZANDO CATALIZADOR HETEROGÊNEO DERIVADO DA CALCINAÇÃO DE CAO - CASCA DO OVO

 <https://doi.org/10.56238/levv15n42-060>

Data de submissão: 22/10/2024

Data de publicação: 22/11/2024

Zilmar Timoteo Soares

Biólogo, Mestre e Dr. em Educação
Coordenador do Programa Cientista Aprendiz/UEMASUL
Professor Associado I do CCENT /Uemasul
E-mail: zilmar.soares@uemasul.edu.br

Gustavo Botega Serra

Graduando em Human Developmental and Regenerative Biology
Harvard University – Cambridge, Massachusetts, USA
E-mail: gustavobserra2@gmail.com

Luís Gustavo Neres Ferreira Soares

Acadêmico do Programa Cientista Aprendiz/UEMASUL
Escola Santa Teresinha no 2º ano do Ensino Médio
E-mail: luisgusair155@gmail.com

RESUMO

As oleaginosas estão emergindo como uma promissora fonte de combustível, dadas as circunstâncias da crise do petróleo e a urgente necessidade de se buscar alternativas substitutas e compatíveis com a sustentabilidade. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a viabilidade do biocombustível produzido a partir do óleo extraído das sementes de *Hymenaea sp*, utilizando CaO proveniente da casca de ovo como catalisador, visando sua aplicação na aviação. Os métodos empregados compreenderam as seguintes etapas: coleta e higienização do material; extração do óleo das sementes de *Hymenaea sp*; caracterização físico-química; determinação do índice de acidez; mensuração da densidade; cálculo do índice de saponificação; avaliação da umidade (%H₂O); medição da viscosidade cinemática; caracterização do catalisador; realização da reação catalítica e subsequente análise dos produtos formados; produção do biocombustível; avaliação dos teores de acidez, iodo, chumbo, enxofre e hidrocarbonetos presentes nos resíduos resultantes do processo de obtenção do biocombustível; e teste de aplicação do biocombustível em um avião de aerodelismo. Nas análises físico-químicas do óleo cru e processado, foram obtidos os seguintes valores: índice de acidez (mg KOH/g) de $3,32 \pm 0,03$ e $3,38 \pm 0,07$, umidade (%) de $0,75 \pm 0,05$ e $0,74 \pm 0,05$, índice de iodo (Wijs)% de $1,62 \pm 0,04$ e $1,72 \pm 0,05$, índice de saponificação (mg KOH/g) de $167,3 \pm 0,03$ e $168,64 \pm 0,01$, e densidade relativa a 25° C (g/mL) de $0,914 \pm 0,03$ e $0,913 \pm 0,03$. No tocante aos testes de balanço de massa, a reação de transesterificação resultou em 56,22% de biocombustível, 21,27% de glicerina, 12,02% de etanol recuperado e 10,44% de perdas. A análise das fases obtidas após a calcinação revelou a formação de carbonato de cálcio (CaCO₃) em 48,3%, óxido de cálcio (CaO) em 41,4% e hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) em 10,3%. A interação entre esses componentes químicos contribuiu para manter o pH elevado do óleo, promovendo a desintegração de impurezas e permitindo a filtração do material antes da destilação do biocombustível. Na análise do biocombustível produzido, foram observados baixos teores de chumbo (1,243g), enxofre (< 0,066%), carbono (< 0,12mgKOH/g), iodo (1,63/200ml)



e hidrocarbonetos (0,064g/l) comparados a combustíveis comerciais. Essa composição resulta em uma emissão significativamente menor de dióxido de carbono e na produção de resíduos menos prejudiciais ao meio ambiente, reduzindo em 78%, 79% e 96%, respectivamente, os impactos ambientais em comparação com a produção de combustíveis fósseis.

Palavras-chave: Sementes. Bioquerosene. Sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A narrativa da evolução dos combustíveis empregados na aviação teve sua gênese na aplicação de motores a gasolina automotiva e seus equivalentes. Na primeira metade do século passado, os propulsores aéreos consistiam predominantemente em motores de combustão interna de pistões em configurações lineares ou radiais, abastecidos por gasolina. Subsequentemente, emergiu a necessidade de adaptar a gasolina convencional para atender às demandas das aeronaves decorrentes dos conflitos bélicos, caracterizada por sua volatilidade e baixo ponto de fulgor, tornando-a intrinsecamente inflamável em condições operacionais normais (AERO MAGAZINE, 2013).

Após o desfecho da Segunda Guerra Mundial, emergiu uma inovação significativa na forma do querosene de aviação. Este novo combustível apresentou notáveis vantagens em termos da relação entre peso e potência, além de proporcionar empuxo elevado, particularmente no contexto das turbinas a gás. Essas últimas estabeleceram-se como os propulsores predominantes nas aeronaves, restringindo o emprego da gasolina de aviação aos aviões de menor porte e helicópteros equipados com motores de pistão (AERO MAGAZINE, 2013).

No período compreendido entre as décadas de 1950 e 1960, desenvolveram-se formulações de combustíveis enriquecidos com aditivos. A concepção do primeiro motor a jato por Frank Whittle, no Reino Unido, utilizou querosene devido à escassez de gasolina durante o contexto bélico. Atualmente, o querosene permanece como o principal agente energético para as aeronaves a jato, alimentando tanto as operações comerciais de linhas aéreas quanto as frotas militares (AERO MAGAZINE, 2013).

Alicerçada em recursos fósseis (tais como petróleo, gás natural e carvão), nossa economia subsiste. O petróleo sustenta a maior parcela do setor de transporte, enquanto o gás natural e o carvão desempenham um papel preponderante na geração de energia elétrica. No contexto específico da aviação, o combustível empregado constitui um derivado do petróleo, obtido por destilação direta a temperaturas entre 150°C e 300°C, a fim de conferir propriedades que se alinhem às exigências energéticas dos motores, devido às significativas oscilações de pressão e temperatura (COWSPIRACY, 2014; PETROBRAS).

As emissões provenientes dos motores aeronáuticos ocasionam poluição ambiental, com efeitos adversos tanto sobre a biodiversidade quanto sobre a saúde humana. A combustão desses combustíveis dá origem a uma diversidade de poluentes nocivos que exacerbam o fenômeno do aquecimento global, englobando substâncias como monóxido e dióxido de carbono, hidrocarbonetos gasosos e óxidos de nitrogênio, enxofre e chumbo – este último atribuindo a coloração azul característica ao querosene, que, por sua vez, ostenta alta inflamabilidade. Destacam-se ainda características fundamentais do querosene, aplicáveis a qualquer variação do mesmo: insolubilidade em água, odor característico e desagradável, menor densidade em relação à água e elevada toxicidade para organismos vivos. Consoante o relatório recente da Organização Mundial da Saúde (OMS/ONU) de 2021, esse gênero

de combustível impõe contribuições às mudanças climáticas, chuvas ácidas e toxicidade que impactam os alimentos cultivados nas proximidades dos principais aeroportos globais.

A problemática ganha proeminência no âmbito ambiental devido à característica intrínseca das aeronaves, que apresentam limites máximos de peso tanto para a fase de decolagem quanto para a aterrissagem. Em virtude dessa restrição, realiza-se um cálculo meticuloso a fim de determinar a quantidade precisa de combustível a ser abastecida na aeronave, garantindo, assim, sua decolagem segura e aterrissagem bem-sucedida em cada itinerário. Esse cálculo abrange uma estimativa do consumo durante o voo. Antecipando tais circunstâncias, é comum que a maioria dos modelos de aeronaves seja dotada de válvulas de alívio, situadas nas asas e afastadas das unidades de propulsão, destinadas à exsudação controlada de combustível durante o percurso aéreo (SOARES, 2022 § RABELO 2001).

A inquietação global frente às mudanças climáticas e à volatilidade do suprimento de petróleo tem culminado em uma crescente demanda por fontes de energia renováveis. Isso tem impulsionado pesquisas contínuas com o intuito de viabilizar a adoção, em larga escala, de combustíveis mais sustentáveis. Esforços investigativos foram empreendidos e persistem com o propósito de identificar alternativas de combustíveis que reduzam a pegada ambiental (GARBIN e HENKES, 2020).

Para a indústria aeronáutica, uma solução promissora reside nos biocombustíveis, os quais oferecem uma opção mais ecologicamente amigável e prontamente disponível. Essa transição é crucial, visto que os combustíveis tradicionalmente empregados na aviação acarretam impactos prejudiciais à fauna, à flora, aos recursos hídricos e à saúde humana.

Assim, a necessidade imperativa de diversificar as fontes energéticas, ultrapassando a dependência dos combustíveis fósseis, tem sido um desafio crítico na trajetória da sociedade. O estopim desse movimento ocorreu durante a crise petrolífera na década de 1970, promovendo o incentivo à instauração de programas voltados ao desenvolvimento de fontes de energia alternativas e biocombustíveis (SILVA, 2011).

O interesse contínuo por preceitos ambientais, entre os quais se destaca a redução das emissões de partículas, monóxido e dióxido de carbono, bem como a eliminação do enxofre e compostos aromáticos, ampliou o escopo das pesquisas dedicadas ao progresso e produção de combustíveis oriundos de fontes renováveis, portadores de menor impacto ambiental. Este interesse manifesta-se tanto no âmbito industrial quanto no acadêmico, marcando um crescimento substancial nas investigações voltadas à formulação de soluções energeticamente mais sustentáveis (FERRARI et al., 2011).

A crescente conscientização global acerca das mudanças climáticas e da instabilidade no suprimento de petróleo tem intensificado a busca por fontes energéticas renováveis. Dentro desse contexto, os biocombustíveis emergem como um exemplo concreto de aproveitamento da biomassa

para a geração de energia, oferecendo múltiplas vantagens em comparação ao diesel de petróleo. Notavelmente, os biocombustíveis demonstram não toxicidade, derivam de fontes renováveis e exibem emissões de melhor qualidade durante o processo de combustão (LOTERO et al., 2005; CORREA e ARBILLA, 2006).

Esses biocombustíveis líquidos e biodegradáveis, por sua vez, podem ser caracterizados como mono-ésteres alquil derivados de ácidos graxos de cadeia longa e linear. São obtidos a partir de uma variedade de matérias-primas, como óleos vegetais, gorduras animais e resíduos de óleos e gorduras (OGR), resultando também em glicerol como coproduto. A produção de biodiesel envolve diversas rotas (LÔBO et al., 2009; PINTO et al., 2005).

Uma alternativa particularmente interessante para a produção de combustíveis de aviação reside nas sementes que contêm óleo, configurando-se como uma solução ambientalmente benéfica para mitigar a poluição do ar e do solo. Adicionalmente, essa abordagem pode consideravelmente reduzir os custos na cadeia de produção de biocombustíveis, visto que uma parcela substancial desses custos está diretamente ligada à matéria-prima (SORANGE et al., 2008).

Portanto, o uso de biocombustíveis é necessário para contribuir com a redução das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que a biomassa utilizada na sua produção absorve o CO₂ emitido durante a queima do biocombustível. A magnitude da redução das emissões de gases de efeito estufa varia de acordo com o tipo de biocombustível.

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é analisar a viabilidade do biocombustível produzido a partir do óleo extraído das sementes de *Hymenaea sp*, utilizando CaO proveniente da casca de ovo como catalisador, visando sua aplicação na aviação.

2 METODOLOGIA

2.1 MATERIAL UTILIZADO NA PRODUÇÃO DO BIOCOMBUSTÍVEL PARA AVIÃO

Os frutos foram coletados em uma área de cerrado na zona rural do município de Cachoeirinha, no estado do Tocantins. Antes do uso, a matéria-prima das vagens da *Hymenaea sp* (jatobá mirim) foram lavados com água e sabão para eliminar a presença de microrganismos. Em seguida, foram colocados em uma bandeja de aço inoxidável e expostas ao sol para eliminar a umidade. As sementes permanecerão por 12 horas a uma temperatura média de 35°C. Após esse período, foram levados ao forno elétrico da marca Philco, modelo PFE48IP, com capacidade de 46 litros e voltagem de 127V, a uma temperatura de 100°C durante uma hora para secar a casca e acelerar o amadurecimento das sementes. Na sequência, as cascas foram retiradas para separar as sementes, que foram colocadas em uma bandeja de aço inoxidável e levadas ao forno por duas horas a uma temperatura de 100°C. Esse processo é necessário para garantir uma secagem mais completa das sementes, aumentando o teor de óleo nelas presente.

Para a preparação do catalisador, foram utilizadas as cascas de ovos residuais como precursores de CaO neste estudo. Para remover quaisquer materiais indesejados aderidos à superfície, elas foram lavadas abundantemente com água corrente e enxaguadas várias vezes com água deionizada. Após a limpeza, as cascas foram secas estufa. Posteriormente, as cascas secas foram trituradas e peneiradas através de um conjunto de peneiras de malha 75 mesh. O pó resultante foi calcinado em uma mufla em diferentes temperaturas (700, 750, 800 e 850°C) e períodos de tempo (1, 2, 3, 4 e 5 horas) para determinar as condições ideais de calcinação.

2.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICAS DO ÓLEO DA SEMENTE DA *HYMENAEA SP*

O índice de acidez foi definido como a quantidade de miligramas de hidróxido de potássio necessária para neutralizar um grama da amostra. Esse método é aplicável a óleos brutos e refinados, tanto de origem vegetal quanto animal, incluindo gorduras animais (IAL, 2004).

A titulação foi realizada utilizando uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 M.

Após a titulação, os cálculos necessários foram efetuados utilizando conforme a equação

$$I.A = \frac{V \times (F) \times 5,61}{\text{Amostra}} = \frac{IAC}{POH} \times 100$$

Onde:

V volume (mL) de NaOH 0,1 M gasto na titulação, **F** correção NaOH = 0,9709, **P** massa (g), da amostra, **C** Constante = 5,61, **IA** índice de acidez, **IAC** índice de acidez constante calculado 0,1696 e **POH** –Potencial hidroxigênico.

A determinação da densidade do óleo extraído das sementes da *Hymenaea sp* foi conduzida em triplicata. Foram adicionados 3 ml da amostra ao densímetro da marca Anton Parr, modelo DMA 4500.

Os índices de saponificação do óleo da *Hymenaea sp* foram realizados em triplicata e os cálculos necessários foram efetuados utilizando a equação apropriada após a titulação.

$$I.S = \left[\frac{28,05 \cdot F \cdot [B-A]}{P \cdot \text{mostra}} \right] = \text{mgKOH/g}$$

Is = índice de saponificação

A = volume gasto na amostra

B = volume gasto no branco

P = peso da amostra Constante = 28,05

F Fator da solução = 1,03750

Para determinar a porcentagem de água (%H₂O) foi Os cálculos necessários foram realizados de acordo com a equação indicada.



$$\%/\text{H}_2\text{O} = \left[\frac{P1-P2}{P3.100} \right] \times 100 \quad e \quad \%/\text{H}_2\text{O} = \frac{A1+A2}{2}$$

Onde:

%H₂O = teor de umidade em porcentagem

P1 = peso da cápsula + amostra seca

P2 = peso da cápsula seca

P3 = peso da amostra úmida

A1 = Resultado da amostra 1

A2 = Resultado da amostra 2

A viscosidade cinemática do óleo extraído das sementes da *Hymenaea sp* foi determinada em duplicata e os cálculos necessários foram efetuados de acordo com a equação indicada.

$$V.C = \left[\frac{C(V2-V1)}{T2-T1} \right] \times 100$$

Onde:

V.C Viscosidade cinemática

C Calibração constante 0, 1320

V2 Volume final

V1 Volume inicial

T1 Temperatura inicial

T2 Temperatura final

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO CATALISADOR

Os resíduos de CaO foram examinados usando um microscópio eletrônico para enfatizar a morfologia do catalisador. A estrutura cristalina do catalisador foi analisada por difração de raios X (XRD: XRD-6000, Shimadzu, Japão) no laboratório de Formação Biológica da UEMASUL. As partículas foram contadas superficialmente e os poros foram observados através de imagens microscópicas das amostras secas, as quais foram colocadas em papel tornassol em formato circular. Os cálculos para a quantidade de partículas de CaO foram realizados de acordo com a equação abaixo:

$$Cc = \left[\frac{q.4}{Constante} \right] \times 100$$



Onde:

Cc Caracterização do catalizador

q Número de partículas por quadrantes

4 Número de quadrantes

C Constante 360° (ângulo)

100 (valor dos quadrantes x 25%)

mm³ milímetros cúbicos de partículas porosas

2.4 ANÁLISE DO PRODUTO DA REAÇÃO CATALÍTICA

A transesterificação do óleo com metanol será realizada utilizando, 20 ml de metanol foram adicionados ao óleo, diferentes proporções de metanol. Em seguida, 10 ml do catalisador CaO foram introduzidos no balão, e a mistura foi aquecida até atingir a temperatura de 100°C. Após a conclusão da reação, os produtos líquidos foram coletados e resfriados à temperatura ambiente. A mistura líquida, composta por éster metílico, metanol e glicerol, foi deixada em repouso por 24 horas para que ocorra a decantação. O cálculo do percentual de cada elemento obtido foi realizado utilizando a seguinte fórmula.

$$\left. \begin{array}{l} A \longrightarrow B \\ C \longrightarrow X \end{array} \right\} \longrightarrow X = \frac{B \cdot C}{A}$$

Onde:

A Valor em ml adicionados no experimento

B Constante (100%)

C Quantidade de ml por decantação

X Resultado a ser encontrado (%)

2.5 PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO A PARTIR DO ÓLEO DA SEMENTE DA *HYMENAEA SP* (JATOBÁ MIRIM) UTILIZANDO CAO (ÓXIDO DE CÁLCIO) DE CASCA DE OVO

Para produzir o biocombustível foi utilizado óleo de semente e o catalisador CaO (óxido de cálcio) a partir de cascas de ovo aplicando processo de transesterificação, que converte o óleo vegetal em ésteres metílicos ou etílicos, os principais componentes do biocombustível.

Para essa metodologia foi usado as normas das ASTM D7566 (American Society for Testing and Materials) ou "Sociedade Americana de Testes e Materiais, que regulamenta as normas específicas podem ser estabelecidas por agências de aviação civis de diferentes países. A Agência Nacional de

Petróleo (ANP) do Brasil ainda não tem normas que regulamenta a produção de biocombustível para avião, conforme pesquisa realizada.

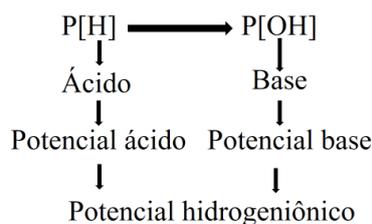
Neste experimento, foi realizado um processo de transesterificação utilizando óleo da semente da *Hymenaea sp* (jatobá mirim) como matéria-prima para a produção do biocombustível, com metanol como reagente, seguindo uma relação molar de 3:1 (três partes de metanol para uma parte de óleo). Um catalisador, o óxido de cálcio (CaO), foi adicionado à mistura para acelerar a reação (200g).

Após a conclusão da reação, o biocombustível produzido foi separado da fase de glicerina e passou por etapas de lavagem e purificação para remover resíduos e traços de catalisador, antes de serem realizados testes de qualidade para verificar se o produto atende às especificações regulatórias e é adequado para uso como combustível. Para a fase de purificação passou por 05 filtragem e limpeza das impurezas utilizando sílica em gel (A fórmula química da sílica gel é $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, onde "n" representa um número variável que indica a quantidade de moléculas de água associadas à estrutura da sílica gel. A sílica gel é uma forma porosa e amorfa do dióxido de silício (SiO_2), que é uma substância composta de silício e oxigênio), ela absorve todas a impurezas restantes da filtragem.

2.6 CÁLCULO DO ÍNDICE DE ACIDEZ DO BIOCMBUSTÍVEL PRODUZIDOS

Neste teste, foram empregadas quatro amostras de biocombustíveis extraídos do óleo da semente da *Hymenaea sp*. Cada amostra, composta por 200 ml, foi dividida em recipientes (Beques) distintos, permitindo a observação das diferentes colorações resultantes.

Posteriormente, os biocombustíveis passou por análises de pH, seguindo a aplicação da seguinte fórmula:



Onde:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log [\text{H}^+] \\ \text{pOH} &= -\log [\text{OH}^-] \end{aligned}$$



2.7 CÁLCULO PARA AVALIAR O PERCENTUAL DE COMBUSTÍVEL CATALISADO, ÍNDICE DE ENXOFRE E ÍNDICE DE IODO PRESENTE NAS AMOSTRAS

Para avaliar o processo de catalisação, foram empregados 150 ml de combustível, 20 ml de carbonato de cálcio (CaCO_3) e 30 ml de óxido de cálcio (CaO). Para realizar esse cálculo, aplicou-se a seguinte fórmula:

$$\frac{A \text{ — } B}{C \text{ — } X} \quad X = \frac{B \times C}{A}$$

Onde:

X = Percentual catalisado a ser encontrado

A = Quantidade de ml aplicada no experimento.

B = Constante percentual aplicado em cálculo de porcentagem (100%).

C = Quantidade de $\text{CaCO}_3 + \text{CaO}$, utilizado no experimento.

Para o índice de enxofre utilizou-se 325 ml de combustível, 64g de SO_2 amostra de titulação, 32g de amostra de enxofre (S) e aplicou-se a seguinte fórmula.

$$I_s = \left[\frac{m_{Lc}}{\text{SO}_2} \times \left[\frac{S(g)}{100\%} \right] \right]$$

Onde:

I_s = índice de enxofre

m_{lc} = Quantidade de combustível aplicado no experimento.

$\text{SO}_2(g)$ = Amostra da titulação (64g).

$S(g)$ = Amostra de Enxofre.

100% = O fator de porcentagem aplicado no padrão internacional.

Para calcular o índice de iodo foram utilizados tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) e papel filtro para obtenção dos resíduos.

$$I = \left[\frac{V_s - V_a}{m} \right] \times m \times 12,68$$

Onde:

I = Índice de iodo.

V_s = Volume $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gasto na titulação branco.

V_a = Volume $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gasto na titulação da amostra.

M = Concentração de (mol/l) do $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Para cálculo do índice de chumbo, foi utilizado papel filtro após o aquecimento das amostras. Isso é possível pois os nanocristais de celulose encontrados no papel filme retêm as impurezas de chumbo.

$$\frac{A \text{---} B}{C \text{---} X} \quad X = \frac{B \times C}{A}$$

Onde:

X = Perceptual catalisado a ser encontrado

A = Quantidade de ml aplicada no experimento.

B = Constante percentual aplicado em cálculo de porcentagem (100%).

C = Quantidade de CaCO₃ + CaO, utilizado no experimento.

2.8 TESTE DO BICOMBUSTÍVEL EM AVIÃO DE AEROMODELISMO

Para avaliar a eficácia do combustível verde produzido em laboratório de forma experimental, utilizando o óleo da *Hymenaea sp* e o catalisador CaO derivado da casca de ovo, foram realizados 5 testes utilizando o aeromodelo Treinador Classic 40 Kit ARF da Phoenix Model. Esses testes foram acompanhados pelo orientador e por um especialista em aeromodelismo.

3 RESULTADOS

3.1 PRODUÇÃO DO BICOMBUSTÍVEL

A produção do biocombustível a partir do óleo da *Hymenaea sp* demonstrou ser altamente favorável, apresentando um aproveitamento de 96,67% do óleo da semente. Isso significa que, para produzir 100 ml de biocombustível, são necessários 50 ml de óleo da *Hymenaea sp*, 150ml de metanol e 100g de Ca). O tempo total de 6 horas para todas as etapas de produção é considerado razoável e viável.

Uma análise das manchas resultantes da solução de hexano sobre o papel filtro, utilizando os catalisadores mencionados e apresentados na tabela 01, revelou a presença exclusiva de ésteres etílicos. Essa constatação reforça a eficácia da conversão completa dos ácidos graxos em ésteres etílicos por meio do procedimento adotado neste estudo. É importante observar que a técnica do catalisador CaO proveniente de cascas de ovos é simples, porém altamente eficaz para verificar qualitativamente a completa conversão em ésteres etílicos, evidenciando assim a produção bem-sucedida do biocombustível.

Tabela 01: Referência de padrões e de amostra de bicombustível obtido a partir 310 ml do óleo da semente torrada da

Composto	Referências%
Bicombustível de óleo da <i>Hymenaea sp</i>	75,71±3,67

Ésteres de ácidos graxos	10,69±2,21
Triglicerídeos	8,15±1,25
Ácido Graxos	5,45±0,35

± Variação pra mais ou pra menos. / Fonte: Autores

Nos testes do balanço de massa, os resultados da reação de transesterificação demonstraram que foram obtidos 56,22% de biocombustível, 21,27% de glicerina, 12,02% de etanol recuperado e 10,44% de perdas, em termos de massa. Esses valores estão detalhados na tabela 02. Importante ressaltar que esses percentuais refletem o rendimento médio de 13 quilos de sementes que foram transformadas em óleo

Tabela 01: Referência de padrões e de amostra de biocombustível obtido a partir 310 ml do óleo da semente torrada da

Produto encontrados	Rendimento %
Biocombustível	56,22 ±3,61
Glicerina	21,27±2,21
Etanol	12,02±2,76
Perdas	10,44±2,75

Fonte: Autores

Nos testes de decantação, que consistem em misturar água ao combustível e permitir que ocorra a separação das fases, observou-se que a maximização ocorreu conforme as normas da ANP.

Na caracterização do biocombustível maximizado, observou-se a baixa presença de glicerol livre no éster obtido e a ausência de impurezas, como indicado na tabela 03. Nesse caso, pode-se afirmar que o processo de remoção de glicerol foi bem-sucedido.

Os elementos chumbo, enxofre e carbono apresentaram baixos índices, o que sugere que a etapa de purificação foi adequada para o ensaio de obtenção de biocombustível para aviação, seguindo as normas brasileiras da Agência Nacional do Petróleo (ANP) de 2019 e as metodologias de Ferrari et al. (2005).

Tabela 03: Característica da qualidade do biocombustível da semente da *Hymenaea* sp (jatobá mirim) comparado com algumas especificações para diesel comercializado no Brasil segundo a Portaria 310/01/2001 da ANP e biodiesel de acordo com E-DIN 51606. Fonte: Autores(laboratório de Bioquímica da UEMASUL).

Características	Especificação do diesel/Petrobrás	Biocombustível da <i>Hymenaea</i> sp/autor
Aspecto	Limpido, insento de impureza	Limpido, insento de impureza
Cor, máxima	3,0	1,0
Enxofre total, máximo	0,35%	<0,066%
Massa específica a 20°C	820 a 880 kgm ³	874,3kg/m ³
Resíduo de Carbono máx	0,25%	<0,12%
Índice de acidez	0,8mgKOH/g	0,4mg KOH/g
Índice de Iodo	120,31gl/100g	101,28 gl/100g
% de glicerol livre	-	-
Resíduo de chumbo (g)	1,243g	<0, 034g
Residuo de hidrocarboneto	1,23gl	0,064g/l
Residuo de hodrocarboneto ramificado	1.034g/l	<0,214g/l
Resíduo de hidrocarboneto aromático	1.067g/l	0,153g/l

3.2 ANÁLISES DOS RESULTADOS COMPARADOS DE FILTRAÇÃO E PURIFICAÇÕES DOS COMBUSTÍVEIS

A análise comparativa dos resultados entre os processos de filtração e purificação dos quatro combustíveis foi de suma importância para avaliar a eficácia desses procedimentos na remoção de impurezas e na obtenção de produtos mais puros e de melhor qualidade.

Ao avaliar a quantidade e a natureza das impurezas removidas em cada processo, foi possível comparar a diminuição de impurezas visíveis e a melhoria na clarificação dos combustíveis após a primeira filtração e a purificação. Os resíduos encontrados apresentaram características de chumbo (Pb), enxofre (S) e iodo (I), comuns nos combustíveis utilizados na aviação.

Aferiu-se a quantidade de resíduos retidos nos filtros utilizados durante o processo de filtração, comparando-se a quantidade e a natureza dos resíduos retidos entre diferentes amostras de combustíveis. Identificou-se que houve diferenças significativas.

A avaliação da pureza visual e clareza dos combustíveis após a purificação, em comparação com as amostras não purificadas, revelou que o processo resultou em um combustível mais límpido e transparente. No entanto, não alcançou o mesmo nível de clareza do combustível produzido a partir da semente da *Hymenaea sp* (jatobá mirim).

Após a análise dos filtros utilizados no processo de filtragem, tornou-se evidente a presença de metais nos combustíveis adquiridos no mercado. Por outro lado, o combustível produzido a partir da semente da *Hymenaea sp* não apresentou resíduos nem borras após a primeira e segunda filtragem. Além disso, os traços de metais foram praticamente inexistentes (ver Tabela 04).

O combustível resultante desta pesquisa, após a sua filtragem e purificação, exibiu uma cor clara e translúcida, sem a presença de resíduos

Tabela 05 fornece uma visão comparativa das características de filtragem e purificação entre as amostras de combustíveis do mercado e o biocombustível proveniente do óleo da semente da *Hymenaea sp*, incluindo volume, presença de resíduos e traços de metais. As unidades de volume podem ser especificadas (ml ou % volume percentual).

Amostras	Resíduo	V. inicial/ml	V. final/ml	Perda/ml/%	Coloração
01 mercado	Sim	400	310	80ml/20	Avermelhada
02 mercado	Sim	380	300	80ml/30,4	Esverdeada
03 mercado	Sim	400	300	100ml/	Amarelo turvo
04 mercado	Sim	400	300	100ml/25	Roxo
01 <i>Hymenaea</i>	Não	300	298	2ml/1,5	Amarela clara
02 <i>Hymenaea</i>	Não	300	299	1ml/0,33	Amarela clara

3.3 APLICANDO O BIOCOMBUSTÍVEL EM AVIÃO DE AEROMODELISMO

Ao analisar as questões técnicas, foi possível observar que o biocombustível maximizado proveniente da semente do jatobá mirim apresentou um alto desempenho. Além disso, sua octanagem, que é o poder de explosão, se mostrou ideal para motores aéreos. Vale ressaltar que esse biocombustível não apresentou formação de borra, o que reduz a necessidade de manutenção periódica. Outro ponto a destacar é o baixo teor de álcool em sua composição, praticamente próximo de zero, e também a baixa

presença de enxofre, carbono, chumbo, hidrocarbonetos e álcool, quando comparado com o combustível convencional utilizado na aviação comercial.

Durante os testes utilizando o motor aeromodelo de identificação T2 164, foi possível observar que o motor manteve uma temperatura elevada durante o voo. Essa observação é relevante, considerando que aeronaves de grande porte operam em altitudes elevadas com temperaturas frequentemente negativas, o que contrasta com os aeromodelos que voam em altitudes mais baixas. No entanto, essa elevação de temperatura não prejudicou o desempenho do aeromodelo. Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato de que o combustível utilizado era mais homogêneo e livre de impurezas. Além disso, houve uma baixa variação na regulagem do motor, e o aumento na potência da aeronave foi notável.

A produção e o uso sustentável de biocombustíveis trazem benefícios ambientais, criação de empregos, estímulo à economia e reforço na segurança energética. Contudo, para reduzir as emissões de CO₂ geradas pelo setor, é essencial que os biocombustíveis sustentáveis atendam aos requisitos técnicos da aviação. O uso de biocombustíveis permite um ciclo de carbono, em que o CO₂ é absorvido durante o crescimento das plantas e liberado quando o biocombustível é queimado, resultando em emissões líquidas reduzidas de CO₂. Além disso, a substituição de combustíveis tradicionais por biocombustíveis reduz as emissões de enxofre, material particulado e óxido de nitrogênio.

No contexto da produção de biocombustível maximizado a partir do óleo da semente da *Hymenaea sp* (jatobá bravo), sua viabilidade é destacada pela considerável redução de custos em comparação com o querosene de aviação convencional.

4 CONCLUSÃO

Ao concluir esta etapa da pesquisa, torna-se evidente que as vantagens da produção de biocombustíveis a partir da *Hymenaea sp* (jatobá mirim) são significativas. Além de promover o incentivo à agricultura regional no cerrado brasileiro, com potencial para impacto global, a produção de biocombustíveis proporciona desenvolvimento econômico para as comunidades envolvidas. A redução da dependência de combustíveis fósseis importados para uso na aviação é um benefício claro, juntamente com os impactos ambientais positivos, uma vez que a emissão de gases poluentes na atmosfera é reduzida.

O bioquerosene, derivado de biomassa renovável, pode ser empregado em motores turbo propulsores aeronáuticos. Os resultados dos testes com aeromodelismo demonstraram satisfatórios níveis de desempenho e características ambientais, contudo, destacaram desafios a serem superados. Uma das principais dificuldades reside na produção de matéria-prima, exigindo investimentos em pesquisa, especialmente no que tange à viabilidade da matéria-prima. Além disso, a implementação de políticas adequadas para o uso eficiente da terra é fundamental, visando o crescimento sustentável da



produção. A cadeia produtiva como um todo deve ser considerada sustentável, indo além do nome do biocombustível. Melhorias na infraestrutura logística nacional, por exemplo, poderiam envolver o uso de trens em substituição a caminhões em rodovias, facilitando o transporte sustentável da matéria-prima até os locais de produção.

Também é imperativo estabelecer políticas públicas que incluam os pequenos agricultores na cadeia de produção de matérias-primas para biocombustíveis sustentáveis. A sustentabilidade abrange não apenas o impacto ambiental, mas também a inclusão socioeconômica de todos os envolvidos na cadeia produtiva.

Os ganhos ambientais da produção de bioquerosene a partir das sementes de *Hymenaea sp* (jatobá mirim) mostraram ser altamente viáveis. Os resíduos gerados durante o processo podem ser reaproveitados como fertilizantes naturais, contribuindo para uma série de vantagens ambientais.

Em conclusão, essa etapa da pesquisa está alinhada com os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela ONU, demonstrando o potencial de contribuir para um futuro mais sustentável e harmonioso. A produção de biocombustíveis a partir do óleo da semente de *Hymenaea sp* (jatobá mirim) oferece uma alternativa promissora para a aviação e a redução de seu impacto ambiental.



REFERÊNCIAS

AERO MAGAZINE. Motores e combustíveis de aviação: O impacto do abastecimento no transporte aéreo e a busca por alternativas ao Jet Fuel e à Avgas, 2013.

BRASIL Portaria 310/01/2001 da Agência Nacional de Petróleo e Gás (ANP).

COWSPIRACY: o segredo da sustentabilidade. Diretor: Kip Andersen, Keegan Kuhn. Produtor: Kip Andersen, Keegan Kuhn, Leonardo DiCaprio. 2014

E-DIN 51606. Instituto Alemão de Normalização de Biocombustível (Deutsches Institut für Normung), EPA - United States Environmental Protection Agency, 2012.