

## Desempenho e caracterização de biodiesel de cártamo em blendas com diesel puro em conjunto motogerador

Performance and characterization of safflower biodiesel in blends with pure diesel in a motor-generator set

Desempeño y caracterización del biodiesel de cártamo en mezclas con diésel puro en conjunto moto generador

Recebido: 14/04/2023 | Revisado: 29/04/2023 | Aceitado: 13/05/2023 | Publicado: 18/05/2023

### Felipe Luiz de Lemos Nobre

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0613-3950>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: [felipe.nobre@unioeste.br](mailto:felipe.nobre@unioeste.br)

### Reginaldo Ferreira Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7745-9173>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: [reginaldo.santos@unioeste.br](mailto:reginaldo.santos@unioeste.br)

### João Gabriel Ruppenthal

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4903-2903>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: [joaogabrielrup@gmail.com](mailto:joaogabrielrup@gmail.com)

### Bárbara Zanini

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2622-5892>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: [barbara\\_zanini@yahoo.com.br](mailto:barbara_zanini@yahoo.com.br)

### Jair Antonio Cruz Siqueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8140-444X>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: [jair.siqueira@unioeste.br](mailto:jair.siqueira@unioeste.br)

### Félix Augusto Pazuch

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2436-9799>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: [fapazuch@gmail.com](mailto:fapazuch@gmail.com)

### Samuel Nelson Melegari de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3581-902X>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: [samuel.souza@unioeste.br](mailto:samuel.souza@unioeste.br)

### Resumo

O consumo de combustíveis fósseis vem diminuindo nos últimos anos, porém, a demanda elétrica mundial só aumenta com o crescimento populacional. É importante contar com formas alternativas e menos poluentes de geração de energia, entre elas o biodiesel, que pode ser obtido de diferentes culturas energéticas, como o cártamo (*Carthamus tinctorius* L.). A viscosidade e o ponto de fulgor afetam diretamente o desempenho do motor, por isso é importante reduzir os valores desses parâmetros no biodiesel. O objetivo deste trabalho foi avaliar e caracterizar a produção de biodiesel a partir de sementes de cártamo, identificando o rendimento do processo e a eficiência de geração de energia do biocombustível, além do consumo específico do motor. O processo de produção para a obtenção de biodiesel a partir de sementes de cártamo foi avaliado, construindo um fluxograma com balanço de massa. Foram analisadas as características da torta, do óleo e do biodiesel resultantes do processo. E avaliou-se o consumo específico e a geração de energia das misturas B00, B05, B10, B20, B30, B40, B50, B60 e B100, constatando que não há diferença significativa para o consumo específico e geração de energia entre as misturas nas cargas avaliadas, apresentando diferenças significativas apenas em relação ao diesel.

**Palavras-chave:** Energia limpa; Sustentabilidade; Eficiência; Biocombustíveis; Desenvolvimento; Caracterização.

### Abstract

Fossil fuel consumption has been decreasing in recent years, however, world electric demand only increases with population growth. It is important to have alternative and less polluting ways of generating energy, among which is biodiesel, which can be obtained from different energy crops, such as safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Viscosity and flash point directly affect engine performance, so it is important to reduce the values of these parameters in the bi-

diesel. The objective of this work is to evaluate and characterize the production of biodiesel from safflower seeds, identifying the yield of the process and the efficiency of energy generation of the biofuel, as well as the specific consumption of the engine. The production process of obtaining biodiesel from safflower seeds was evaluated, building a flowchart with mass balance. The characteristics of the cake, oil and biodiesel resulting from the process were analyzed. And evaluated the specific consumption and energy generation of blends B00, B05, B10, B20, B30, B40, B50, B60 and B100, finding that there is no significant difference for the specific consumption and energy generation between the blends in the evaluated loads, showing significant differences only in relation to diesel.

**Keywords:** Clean energy; Sustainability; Efficiency; Biofuels; Development; Characterization.

### Resumen

El consumo de combustibles fósiles está disminuyendo en los últimos años, sin embargo, la demanda eléctrica mundial solo aumenta con el crecimiento de la población. Es importante contar con formas alternativas y menos contaminantes de generación de energía, entre ellas el biodiesel, que puede ser obtenido de diferentes culturas energéticas, como el cártamo (*Carthamus tinctorius* L.). La viscosidad y el punto de fulgor afectan directamente el desempeño del motor, por eso, es importante reducir los valores de estos parámetros en el biodiesel. El objetivo de este trabajo fue evaluar y caracterizar la producción de biodiesel a partir de semillas de cártamo, identificando el rendimiento del proceso y la eficiencia de generación de energía del biocombustible, además del consumo específico del motor. El proceso de producción para la obtención de biodiesel a partir de semillas de cártamo fue evaluado, construyendo un flujograma con balance de masa. Fueron analizadas las características de la torta, del aceite y del biodiesel resultantes del proceso. Y se evaluó el consumo específico y la generación de energía de las mezclas B00, B05, B10, B20, B30, B40, B50, B60 e B100, constatando que no hay diferencia significativa para el consumo específico y generación de energía entre las mezclas en las cargas evaluadas, presentando diferencias significativas solamente con relación al diesel.

**Palabras clave:** Energía limpia; Sostenibilidad; Eficiencia; Biocombustibles; Desarrollo; Caracterización.

## 1. Introdução

É evidente o crescimento populacional visto no mundo nos últimos anos, sendo estimadas 8 bilhões habitantes no ano de 2022, segundo estimativas da Organização das Nações Unidas – ONU (2019). A tendência é de que em 2050 estejamos próximos da casa dos 10 bilhões de pessoas, as quais irão aumentar não só a demanda alimentar, já muito trabalhada em outras pesquisas, como também a demanda energética mundial.

Segundo a Agência Internacional de Energia – IEA (2021), em 2019, a energia proveniente de combustíveis fósseis foi mais de 17.000 TWh. 1 litro de óleo Diesel tem capacidade para gerar 9,93 KWh de energia (Barbosa et al., 2008), logo convertendo-se a energia consumida em 2019 para litros de Diesel, tem-se que seriam necessários 1,7 trilhões de litros para suprir o consumo do mundo. Tamanho consumo, gera um dano inestimável à atmosfera, por isso é de extrema importância o uso de fontes de energia alternativa.

Dos 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização Mundial da Saúde (OMS), a produção e uso do biodiesel está bem alinhado com o ODS7, energia limpa e acessível, ODS12, consumo e produção responsáveis, e ODS13, ação contra a mudança global do clima (ONU, 2015). Esta redução, não significa que a demanda energética do país diminui, mas sim que se teve adoção de outras formas de energia, dentre as quais pode ser citado o biodiesel.

A lei nº 13.263, de 23 de março de 2016 estabeleceu que a partir de março de 2019, a proporção de biodiesel adicionada ao diesel comercial devia ser de no mínimo 10% em volume e máxima de 15% (Brasil, 2016). No ano seguinte, segundo a ANP, foram produzidos 6,4 milhões de metros cúbicos de biodiesel (B100), correspondendo a 62,9% da capacidade produtiva. Segundo Chhabra et al. (2017) o efeito combinado de alta viscosidade e baixa volatilidade, prejudica o desempenho e vida útil do motor, por esse motivo também é que são feitas blends com diesel e biodiesel de diferentes culturas.

A região sul foi a maior produtora, com 2,7 milhões de metros cúbicos. Com relação a matéria-prima, o óleo de soja é a principal fonte, representando 71,4% do total, dentre as demais fontes tem-se óleo de palma, amendoim, nabo-forrageiro, girassol, canola, milho, palmiste, óleo de fritura usado, gordura animal e algodão (ANP, 2021).

Fontes de energia renováveis estão gradualmente sendo inseridas na matriz energética mundial. Buscando ir ao encontro de uma economia global de zero carbono, a redução no uso de combustíveis fósseis traz uma série de benefícios

econômicos, sociais e ambientais (Santos et al., 2022). Existem algumas formas de diversificar a matriz energética, dentre elas estão: energia hidráulica, eólica, solar, biogás, biomassa e biocombustíveis. Os últimos podem ser obtidos pela extração de óleo das chamadas culturas energéticas, como é o caso do cártamo (*Carthamus tinctorius* L.).

A cultura do cártamo, originária do Oriente Médio, é uma herbácea pertencente à família Asteraceae, atingindo entre 30 e 150 cm de altura, com caule ereto e ramificado, já suas raízes são bastante desenvolvidas, penetrando profundamente no solo (Santos & Silva, 2015). Em função disso, esta cultura responde bem a áreas salinas e com déficit hídrico, onde outras oleaginosas não possuem um bom potencial, sendo adaptada ao semiárido brasileiro (Silva, 2013).

Por se tratar de uma cultura energética, o cártamo possui um grande potencial para a produção de biodiesel, devido ao seu alto teor de óleo, chegando a até 50% em algumas variedades, e à elevada presença de ácidos graxos poli-insaturados (Klajn et al., 2018). Por isso, é de extrema importância o desenvolvimento de pesquisas que verifiquem o rendimento e a eficiência da produção de biodiesel a partir desta cultura.

A hipótese do trabalho é de que é viável tecnicamente a obtenção de biodiesel a partir de sementes de cártamo e que não há diferença na eficiência de geração de energia e consumo do motor entre este combustível em blendas com o diesel mineral.

Logo, o objetivo deste trabalho é avaliar e caracterizar a produção de biodiesel a partir de sementes de cártamo, identificando o rendimento do processo e a eficiência de geração de energia do biocombustível, bem como o consumo específico do motor.

## 2. Metodologia

A produção do biodiesel se deu no Laboratório de Tecnologias Sustentáveis (LABTES), na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus Cascavel, latitude de 24° 59' 18,1" S e longitude 53° 26' 55,4" O, e altitude de 790m, utilizando sementes de cártamo.

Para viabilização do trabalho o estudo utilizado foi quali-quantitativo, pois foram abordados os dados obtidos por meio da medição do consumo, energia gerada, corrente, tensão e potência para cada blenda; assim como a qualidade utilizada do diesel puro, óleo de Cártamo, biodiesel de óleo de Cártamo e torta de Cártamo. A pesquisa foi exclusivamente laboratorial.

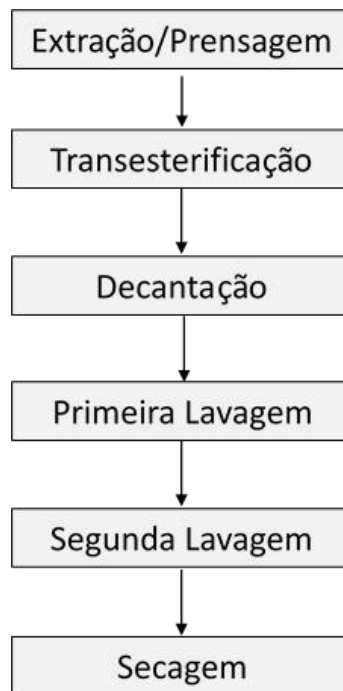
A partir dos grãos de Cártamo, obteve-se óleo bruto e torta por prensagem para extração, seguido do processo de transesterificação do óleo, decantação para separação da glicerina em na sequência o processo de lavagem e secagem para remoção do hidróxido de potássio e da água.

Como base metodológica foram adaptados os estudos prévios de Reolon et al. em 2012, Lewandoski et al. em 2021, Chiong et al. em 2018, Gongora em 2021, Karabaş e Boran em 2019 e, Işık e Aydın em 2019.

### 2.1 Produção de Biodiesel

O processo de produção de biodiesel seguiu o fluxograma da Figura 1, a partir de cada etapa, foram obtidos os rendimentos de cada operação, em 4 repetições, partindo de 2.000 g de sementes, sendo possível a montagem de um fluxograma com balanço de massa.

**Figura 1** - Fluxograma de produção de biodiesel.



Fonte: Autores (2022).

A Figura 1 apresenta o fluxograma utilizado, de maneira resumida, para facilitar o entendimento do processo completo, desde o início da extração do óleo e torta a partir dos grãos de Cártamo até o final onde obtém-se o biodiesel de Cártamo, principal objeto de estudo deste artigo.

O óleo bruto foi extraído das amostras de 2.000 g de sementes de cártamo, por meio de prensagem, através da prensa ZAMP HF-HAT, Figura 2.

**Figura 2** - Prensa utilizada na extração do óleo das sementes de cártamo.



Fonte: Autores (2022).

A Figura 2 apresenta a prensa extrusora utilizada no ensaio, este equipamento processa os grãos de Cártamo separando-o em uma fase líquida (o óleo bruto) e uma parte sólida ou pastosa (a torta).

Foi feita a filtragem, com dois filtros de papel, para remover as impurezas presentes no óleo, deixando-se o óleo nos filtros por um período de 24h, a fim de se ter maior eficiência no processo, conforme FIGURA 3.

**Figura 3** - Dupla filtragem para remover impurezas do óleo extraído.

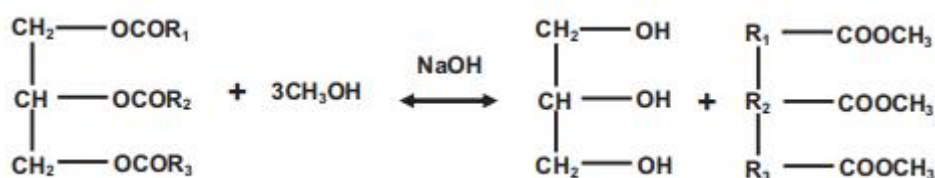


Fonte: Autores (2022).

A Figura 3 apresenta como foi realizada a filtragem do óleo bruto de Cártamo, realizada considerando que a parte líquida obtida da etapa anterior (Figura 2) pode conter algum resíduo sólido ou contaminante. Essa filtragem tem por objetivo remover impurezas para se trabalhe somente com a parte líquida sem resíduos.

Para a extração, utilizou-se uma reação de transesterificação conforme figura 4, escolhendo-se uma rota potássica, utilizando hidróxido de potássio (KOH) e metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) como catalisador da reação, à uma proporção 50 mL:15 mL:1 g (óleo: $\text{CH}_3\text{OH}$ :KOH), seguindo a metodologia de Knothe et al. (2006).

**Figura 4** - Reação de Transesterificação.



Fonte: Adaptado de Chion, et al. (2018).

Nesta reação, o óleo ficou sob agitação magnética e aquecimento até uma temperatura de  $65^\circ\text{C}$ , onde então adicionou-se a solução de metóxido de potássio. Em agitação constante, esperou-se até que a solução ficasse translúcida, em média 30 minutos, e esta foi transferida para um recipiente para a próxima etapa, conforme Figura 5.

**Figura 5** - Reação de transesterificação com monitoramento da temperatura e agitação magnética.



Fonte: Autores (2022).

Na Figura 5, pode-se observar o processo controlado de mistura e homogeneização do óleo de Cártamo com o catalisador (metóxido de potássio), onde se controlou a temperatura e utilizou-se um agitador magnético para aumentar a velocidade de reação, até que a solução mudasse de coloração tornando-se translúcida conforme imagem do becker à direita da figura 5.

Na decantação, a solução ficou descansando por 24h até que a glicerina ficasse depositada na parte inferior e o biodiesel na superior, pela diferença de densidade. Separou-se a glicerina do biodiesel, sendo a glicerina descartada, conforme Figura 6.

**Figura 6** - Separação da Glicerina.



Fonte: Autores (2022).

Na Figura 6, pode-se observar de maneira clara, visualmente, a separação de fases da solução. Onde a glicerina possui maior densidade e por isso depositasse no fundo do funil, sendo cuidadosamente removida, deixando por último o biodiesel livre de glicerina.

A lavagem do biodiesel segue o mesmo processo em suas 2 etapas, adiciona-se o mesmo volume utilizado para o metanol de água no biodiesel, 30% em volume, e agita-se até que a solução fique somente em uma fase, pode-se ter aquecimento também para facilitar a mistura, através do agitador magnético, conforme Figura 7. Este processo retira os resíduos do hidróxido de potássio do biodiesel. Entre a primeira e a segunda lavagem esperou-se 24h, após a segunda, 2h foram suficientes.

**Figura 7 - Lavagem do Biodiesel.**



Fonte: Autores (2022).

Na Figura 7, pode-se observar o processo de remoção de resíduos de hidróxido de potássio para purificação do biodiesel. Na primeira imagem observa-se a mistura de água ao biodiesel, com agitação e temperatura controlada, já na segunda imagem vê-se a mistura de cor leitosa (biodiesel + água) e da terceira imagem (funil de decantação) acontece a separação da água e do óleo por diferença de densidade, esse processo objetiva a remoção de resíduos de hidróxido de potássio conforme descrito em parágrafos anteriores.

A secagem foi feita em estufa, deixando o biodiesel lavado em um béquer por um período de 24h, a 105°C, a fim de remover qualquer quantidade de água que possa ter permanecido no biodiesel durante a lavagem. Após esta etapa o biodiesel está pronto para uso como pode-se ver na Figura 8.

**Figura 8 - Biodiesel após secagem.**



Fonte: Autores (2022).

A Figura 8 ilustra o produto acabado, o biodiesel produzido a partir de óleo de Cártamo (inicialmente a partir diretamente dos grãos de Cártamo como ilustrado nesse artigo). Também se vê nessa imagem a armazenagem padrão (embalagem) onde foi reservado o biodiesel até a ocasião de sua queima no motorgerador (volume utilizado de 1L).

Por fim, foram confeccionadas as blendas a seguir para as análises de desempenho do conjunto motorgerador. Foram utilizadas diferentes blendas de biodiesel de cártamo e diesel mineral, bem como diesel mineral puro e biodiesel de cártamo puro, conforme exposto na Tabela 1:

**Tabela 1** – Blendas utilizadas no experimento.

Nome	Composição
B20	Mistura de 20% de biodiesel de cártamo e 80% diesel mineral
B10	Mistura de 10% de biodiesel de cártamo e 90% diesel mineral
B05	Mistura de 05% de biodiesel de cártamo e 95% diesel mineral
B00	100% de óleo diesel mineral

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

## 2.2 Análises

A torta, resultante da extração de óleo, foi enviada para análise bromatológica no laboratório Lanali na cidade de Cascavel, sendo determinados os seguintes parâmetros: Cálcio na base seca, Fósforo, Lipídeos, Proteína, Proteína Solúvel em KOH, Teor de cinzas, Umidade e Voláteis, Carboidratos totais e Fibra bruta.

Já o óleo e o biodiesel proveniente, bem como o diesel puro, foram enviados ao laboratório Pool Lab, de Itajaí – SC, que fez as seguintes análises para sua caracterização: Aspecto; Cor. Massa específica a 20°C; Ponto de Fulgor; Porcentagem de Água e Sedimentos (BSW); Teor de Biodiesel, Ponto de Congelamento; Viscosidade a 40°C; Teor de Ester; Aromáticos Totais; Olefinas Totais; Benzeno; Tolueno; Glicerol; Corrosividade ao Cobre e; Água por Karl Fischer.

Por fim, fez-se também um teste para verificar o desempenho das blendas em um conjunto motorgerador, seguindo a metodologia de Silveira (2021). Para a queima do combustível, foi utilizado um motor gerador, ciclo diesel, monocilíndrico, refrigerado à ar, da marca Branco, modelo BD-8000 E3, com especificações expostas na Tabela 2.

**Tabela 2** - Especificações do motor gerador Branco BD-8000 E3.

Característica	Especificação
Potência Máxima	8,0 kVA
Potência Contínua	7,5 kVA
Tensão de saída	220 V
Fases	Trifásico
Controle de Tensão	AVR / Com escova
Capacidade do tanque	10 L
Autonomia	5,0 h
Dimensões (C x L x A)	690 mm x 450 mm x 550 mm
Massa	110 kg

Fonte: Branco (2019).

Para os testes foram utilizados os equipamentos presentes na Figura 9.



**Figura 9** - Equipamentos utilizados no teste de eficiência de geração de energia.



Fonte: Silveira (2021).

Na Figura 9 estão demonstrados conjuntamente os equipamentos utilizados neste trabalho para efetuar e medir todo o processo de queima e geração de energia a partir do biodiesel de Cártamo. O motor gerador é o equipamento que recebe o biodiesel e queima o mesmo para geração de energia elétrica neste caso. O armário com sistema elétrico tem função de sustentação dos equipamentos de medição e conexões elétricas necessárias, a célula de carga e o recipiente de combustível ilustram como foi medido o consumo em volume para se determinar as amostras de tempo e relacionar com a quantidade de energia gerada, essa energia e consumo foram monitorados através dos três monitores instalados na parte frontal do armário e, por fim, o banco de resistências oferece a resistência a corrente de energia elétrica gerada para que se possa medir a quantidade de carga produzida.

Foram utilizadas duas demandas cargas elétricas resistivas, que foram determinadas a partir do banco de resistores, sendo estas de 1,5 e 4,5 kW. O delineamento experimental enquadrou-se como inteiramente casualizados.

Para a determinação do consumo de combustível e geração de energia, utilizou-se a célula de carga e medidor multifuncional, conforme Figura 10.

**Figura 10** - Célula de carga e medidor multifuncional utilizados para obter os parâmetros analisados.



Fonte: Autores (2022).

Na Figura 10 vê-se o sensor de carga que mede o peso inicial, durante e final do processo de queima, abaixo e do lado esquerdo está o visor deste sensor onde se pode visualizar em números o peso de biodiesel, e abaixo ao lado direito está o medidor multifuncional onde se obtém as demais métricas utilizadas neste processo. Ou seja, os valores medidos pelos aparelhos desta figura são: Potência (kW), Tensão (V), Corrente (A), Energia gerada (KWh) e Combustível Consumido (g).

Por meio da diferença entre leituras, feitas com intervalo de 1 minuto, pode-se determinar o consumo específico em  $g.kWh^{-1}$ , conforme a equação.

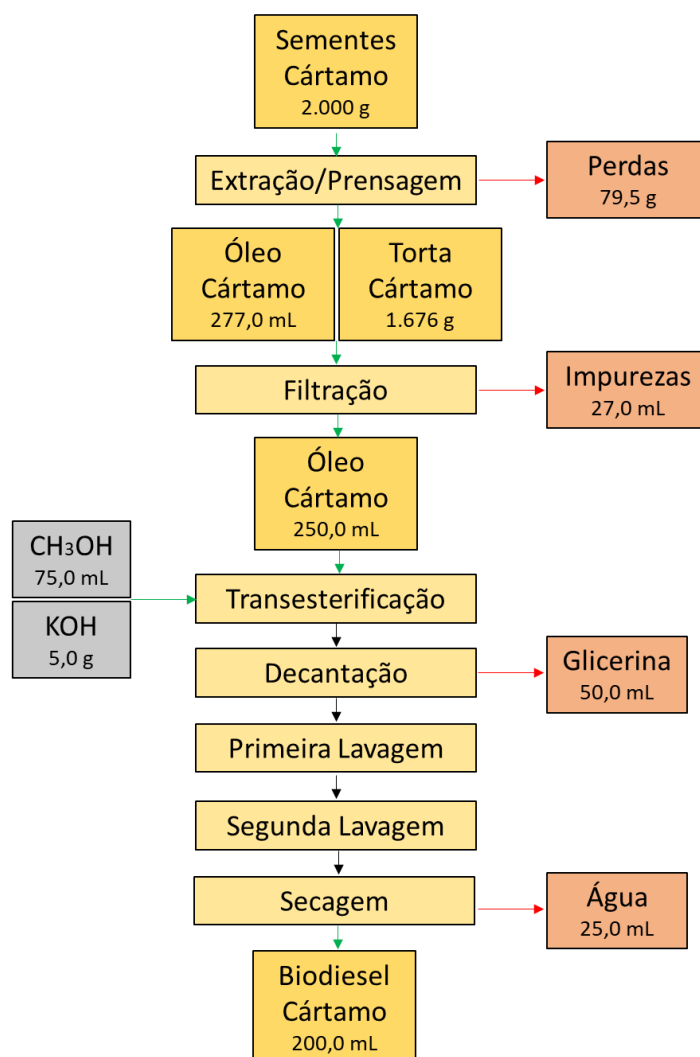
$$\text{Consumo específico} = \frac{(\text{massa}_{final} - \text{massa}_{inicial})}{(\text{Energia}_{final} - \text{Energia}_{inicial})}$$

Foram feitas 5 repetições para cada blenda queimada e respectivas cargas. Os dados foram submetidos a análise de variância para os tratamentos, com 5% de significância, sendo feito o teste de Tukey para comparação das médias por meio do software Statistica 7.

### 3. Resultados e Discussão

A partir das 4 amostras de 2.000 gramas de sementes de cártamo, foi possível determinar o rendimento de cada operação envolvido na produção do biodiesel, usando a proporção de 50:15:1 (óleo:CH<sub>3</sub>OH:KOH) na transesterificação, conforme pode-se ver na Figura 11.

**Figura 11** - Fluxograma de produção de biodiesel com rendimentos para uma produção de 200 mL.



Fonte: Autores (2022).

A Figura 10, assemelha-se a Figura 1, apresentando o esquema com as indicações de perdas, destinações dos produtos obtidos, quantificando-os, entradas e saídas de insumos ao longo de todo o processo de produção de biodiesel de Cártamo a partir de sementes de Cártamo.

Reolon et al. (2012) analisando o rendimento da transesterificação para as culturas de milho, soja, canola, girassol e arroz, encontrou valores próximos aos 80% de rendimento apresentado pelo cártamo.

A caracterização da torta de cártamo, subproduto da extração de óleo pela prensa, está apresentada na tabela 3.

**Tabela 3 - Características analisadas da torta de cártamo.**

Ensaio	Unidade	Método	Resultado
Cálcio em Base seca	g/100g	Port. 108 – Met. 15	0,32
Fósforo	g/kg	CBAA 2017	1,19
Lípídeos	g/100g	Port. 108 – Met. 10	9,8
Proteína Bruta	g/100g	CBAA 2017	20,81
Proteína Solúvel em KOH	g/100g	CBAA 2017	84,91
Resíduo Mineral Fixo	g/100g	CBAA 2017	4,29
Umidade e voláteis	g/100g	CBAA 2017	5,94
Carboidratos Totais	g/100g	Manual Mapa 1.6	3,9
Fibra Bruta	g/kg	CBAA 2017	367,21

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Pode-se ver pelo teor de lípídeos que a prensagem não retirou 100% do óleo presente na semente de cártamo, deixando ainda 9,8% de lípídeos poderiam ser aproveitadas para a produção de biodiesel. É possível que uma extração por via química retire este óleo.

Com relação a proteína bruta, Lewandoski et al. (2021) avaliaram o teor de proteína de canola e amendoim extraídos pelo mesmo método de prensagem e diferentes rotações e temperaturas. Para amendoim a média encontrada foi de 52,26% e canola 32,25%, sendo ambas superiores ao cártamo, indicando que são culturas melhores para nutrição humana e animal.

Com relação as análises características do biodiesel de cártamo, óleo de cártamo e diesel mineral puro, estão apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4 - Características analisadas do diesel puro, óleo de cártamo e biodiesel de óleo de cártamo.**

Ensaio	Unidade	Método	Especificação	Diesel	Óleo	Biodiesel
Aspecto	-	Visual	L.I.I.	L.I.I.	L.I.I.	L.I.I.
Cor Visual	-	Visual	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo
Massa específica a 20 °C	kg.m <sup>-3</sup>	ASTM D 4052	820,0 a 853,0	833,6	916,7	880,0
Ponto de Fulgor	°C	ASTM D 93	Mín 38,0	58,0	>200	190,0
Água Sedimentos % (BSW)	%	ASTM D 1796	Máx 0,05	Ausente	Ausente	Ausente
Teor de Biodiesel	%	Infravermelho	9,5 a 10,5	0,25	-	-
Ponto de Congelamento	°C	ASTM D 97	N.A.	<-9	<-10	-10
Viscosidade Cinemática a 40°C	cSt	ASTM D 445	1,5 a 6,0	2,427	38,937	4,215
Ester	%	Infravermelho	N.A.	-	22,129	24,995
Aromáticos Totais	%	Infravermelho	N.A.	4,14	1,21	1,06
Olefinas Totais	%	Infravermelho	N.A.	3,62	28,06	24,39
Benzeno	%	Infravermelho	N.A.	0,06	0,02	0,01
Tolueno	%	Infravermelho	N.A.	1,81	12,42	11,71
Glicerol	%	Infravermelho	N.A.	-	1,75	6,15
Corrosividade ao cobre	-	ASTM D 130	N.A.	1A	1A	1 <sup>a</sup>
Água por Karl Fischer	PPM	ASTM D 6304	Máx 200,00	48,97	669,80	1.016,2

L.I.I. – Límpido e Isento de Impurezas. N.A. – Não aplicável. Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Com relação a massa específica, percebe-se que após a transesterificação sofrida pelo óleo, houve uma redução no valor, devido a retirada da glicerina. Valores semelhantes para biodiesel proveniente de cártamo foram encontrados por Chiong et al. (2018); Gongora (2021); Karabaş e Boran (2019) e; Işık e Aydin (2019), variando entre 870,0 kg.m<sup>-3</sup> e 891 kg.m<sup>-3</sup>. Estas

pequenas variações podem se dever as condições do ambiente em que ocorreu a reação de transesterificação, uma vez que temperatura e umidade influenciam bastante a reação.

Já o ponto de fulgor ficou um pouco acima do encontrado em outros trabalhos, Chiong et al. (2018) encontraram valores entre 170 e 179°C, Karabaş e Boran (2019) encontraram 136°C e Işık e Aydın (2019) por volta de 140°C. Estas diferenças, além de condições de obtenção, podem variar também devido a condições de armazenamento e variedade de cártamo utilizado para a obtenção do óleo. Ainda, pode-se dever também ao processo de obtenção do biodiesel e tipo de óleo utilizado, refinado e extraído da semente por exemplo.

O teor de água por Karl Fischer ficou acima do recomendado (200,0 ppm), o que pode se dever ao recipiente utilizado para a secagem do biodiesel, sendo indicada uma maior superfície de contato do biodiesel com o ar.

Outro parâmetro muito importante e que tem grande influência no desempenho do motor é a viscosidade cinemática, a qual se demonstrou bem próxima ao encontrado por Chiong et al. (2018); Gongora (2021); Karabaş e Boran (2019) e; Işık e Aydın (2019).

Segundo Chhabra, Sharma e Dwivedi (2017) o efeito combinado de alta viscosidade e baixa volatilidade, prejudica o desempenho e vida útil do motor. Para reduzir os valores destes parâmetros e garantir um bom funcionamento do motor, foram feitas as blendas com as características resultantes apresentadas na Tabela 5.

**Tabela 5** - Propriedades resultantes através da proporção de biodiesel:diesel nas respectivas blendas.

Blenda	Massa específica kg.m <sup>3</sup>	Viscosidade cSt	Ponto Fulgor °C
B05	835,92	2,52	64,60
B10	838,24	2,61	71,20
B20	842,88	2,78	84,40
B30	847,52	2,96	97,60
B40	852,16	3,14	110,80
B50	856,80	3,32	124,00
B60	861,44	3,50	137,20

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Para o teste de eficiência de geração de energia, foram avaliados o consumo de combustível e a energia gerada para cada uma das blendas, a Tabela 6 apresenta os valores médios das respectivas blendas.

**Tabela 6** - Médias de consumo de combustível e energia gerada para as respectivas blendas.

Blenda	Potência (kW)	Tensão (V)	Corrente (A)	Energia gerada (KWh)	Combustível Consumido (g)
B00		231,5867	3,9800	0,0264a	0,0180bb
B05		231,7950	3,9900	0,0266a	0,0154aa
B10		231,6838	3,9900	0,0266a	0,0148aa
B20		231,8167	3,9950	0,0266a	0,0148aa
B30	1,5	231,8683	3,9933	0,0266a	0,0154aa
B40		231,8867	3,9967	0,0266a	0,0154aa
B50		232,0800	4,0000	0,0266a	0,0148aa
B60		231,8683	3,9950	0,0266a	0,0148aa
B100		231,9750	4,0000	0,0266a	0,0166ba
B00		231,5517	11,5100	0,0770c	0,0296d
B05		232,1117	11,5500	0,0776c	0,0276d
B10		231,9200	11,5700	0,0774c	0,0266d
B20		231,9300	11,5583	0,0774c	0,0266d
B30	4,5	231,9783	11,5983	0,0776c	0,0262d
B40		232,0300	11,5400	0,0778c	0,0276d
B50		232,0933	11,5767	0,0776c	0,0270d
B60		232,0233	11,5700	0,0774c	0,0276d
B100		232,0120	11,5880	0,0774c	0,0284d

\*Médias seguidas da mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey (5%). Fonte: Autores (2022).

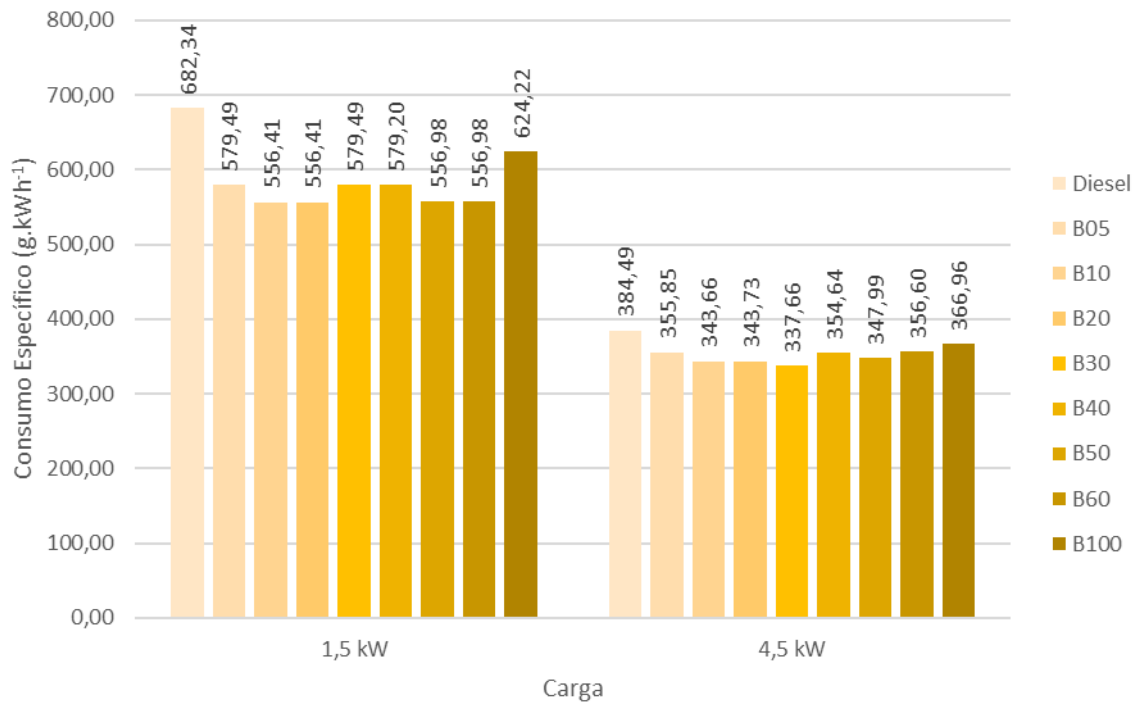
Percebe-se que para a carga resistiva de 4,5 kW, não houve diferença significativa tanto para energia gerada como para combustível consumido pelo teste de Tukey a 5% de significância, o que não ocorreu com a carga de 1,5 kW.

A carga resistiva menor apresentou uma menor geração de energia média que a carga maior. E com relação ao consumo de combustível, houve diferença significativa entre o diesel puro (B00) e as blendas testadas. Já a queima do biodiesel puro (B100) não diferiu estatisticamente de nenhuma das outras queimas, mesmo que se note um aumento da média em questão.

Através destas duas medidas, pode ser determinado o consumo específico de cada uma das blendas, como apresentado no Gráfico 1. O teste de Tukey para a carga resistiva de 1,5 kW, constatou que existe diferença significativa no consumo específico do diesel (B00) com relação as demais blendas, exceto o biodiesel puro (B100). Este por sua vez não apresentou diferença estatística com relação as demais blendas.

Já na carga de 4,5 kW, apenas o diesel puro (B00) e a blenda B30, os 2 valores extremos, diferiram estatisticamente entre si, não tendo diferença com relação às demais blendas.

**Gráfico 1** - Consumo específico de combustível para cada carga e respectiva blenda.



Fonte: Autores (2022).

Pode-se ver que com o aumento da carga, se tem uma melhor eficiência do motor, reduzindo seu consumo específico, o mesmo foi constatado por Gongora (2021) ao queimar diesel e blendas de biodiesel de óleo de cártamo. Também constatou que o consumo específico do biodiesel de cártamo puro (B100) apresentou um maior consumo específico em relação ao diesel. Já blendas B30, B15 e B11 apresentaram valores mais próximos e até menores que o do diesel em cargas maiores testadas.

Işik e Aydin (2019) encontraram que blendas com 10, 20 e 50% de biodiesel e cártamo apresentaram um maior consumo específico em relação ao diesel. E Karabaş e Boran (2019) encontraram que conforme se aumenta a proporção de biodiesel de cártamo na blenda e a rotação do motor, se tem um maior consumo específico.

Vê-se, pelo gráfico e pelo teste de Tukey a 5%, que o diesel apresentou maior consumo específico que as blendas de biodiesel testadas, indo de encontro aos dados presentes na literatura. Isso pode ter ocorrido devido a algum erro cometido durante o teste de queima, como coletar os dados durante o aquecimento do motor, não esperando a estabilização do consumo.

A Figura 12 apresenta amostras coletadas durante o processo de produção do biodiesel, desde a extração do óleo da semente, até o biodiesel seco em estufa, sendo uma representação do fluxo e produção do biodiesel de cártamo.

**Figura 12** - Amostras retiradas durante o fluxo de produção do biodiesel.



Fonte: Autores (2022).

#### 4. Considerações Finais

A hipótese inicial do trabalho foi confirmada, sendo possível a produção de biodiesel a partir de sementes de cártamo, com um rendimento de pouco mais de 10% no processo, utilizando-se proporção em volume de 50:15:1 (óleo:CH<sub>3</sub>OH:KOH) na transesterificação.

Já a hipótese de que o consumo de combustível seria o mesmo para o biodiesel e as blendas com diesel e diesel puro foi refutada, uma vez que houve diferenças significativa entre os tratamentos para a carga de 1,5 kW testada.

O método de extração de óleo utilizado não consegue extrair 100% do óleo presente nas sementes de cártamo, restando 9,8% de lipídeos ainda presentes na torta.

Sugere-se para futuros trabalhos a avaliação de resíduos deixados pelas blendas de biodiesel no motor gerador, verificando sua influência na eficiência de geração de energia dele.

Sugere-se também testar a eficiência com mais cargas resistivas, sendo possível a construção de curvas de consumo específico para as diferentes blendas.

Sugere-se que sejam realizados teste com outros métodos de extração, avaliando sua influência no biodiesel final produzido.

Por fim, sugere-se a avaliação dos níveis de gases expelidos durante a queima pelo motor, uma vez que as blendas não apresentaram diferença significativa no consumo entre si.

#### Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Laboratório de Tecnologias Sustentáveis, Laboratório Pool Lab, Laboratório



Lanali e Centro de Inovações Tecnológicas.

## Referências

- ANP (2021). Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis. 1, 263. Rio de Janeiro. <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2021/anuario-2021.pdf>.
- Barbosa, R. L., Silva, F. M., Salvador, N. & Volpato, C. E. S. (2008). Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, 32, 1588-1593. <https://www.scielo.br/j/cagro/a/T3fRqdynKbbgp7Zn7KxTj3p/?format=pdf&lang=pt>.
- Branco. (2019). Catálogos de Produtos. São José dos Pinhais. (catálogo comercial). <https://www.branco.com.br>.
- Brasil. (2016) Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016. Brasília.
- Chhabra, M., Sharma, A. & Dwivedi, G. (2017). Performance evaluation of diesel engine using rice bran biodiesel. *Egyptian Journal Of Petroleum*, 26(2), 511-518. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.07.002>.
- Chiong, M. C., Chong, C. T., Ng, J, Lam, S. S., Tran, M., Chong, W. W. F., Jaafar, M. N. M. & Valera-Medina, A. (2018). Liquid biofuels production and emissions performance in gas turbines: A review. *Energy Conversion And Management*, 173, 640-658.
- Gongora, B. (2021). Desempenho e Emissões de Motor Gerador utilizando Biodiesel de Cártamo 62 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2021.
- IEA. (2021). International Energy Agency. [s.d.]. World energy balances and statistics: data services. Data services. <https://www.iea.org/subscribe-to-dataservices/world-energy-balances-and-statistics>.
- Işık, M. Z. & Aydin, H. (2019). Investigation on the effects of gasoline reactivity controlled compression ignition application in a diesel generator in high loads using safflower biodiesel blends. *Renewable Energy*, [S.L.], 133, 177-189. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.025>.
- Karabaş, H. & Boran, S. (2019). Comparison of Engine Performance and Exhaust Emission Properties of Diesel and Safflower Biodiesel Using Multi-Response Surface Methodology. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(3), 1-8. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ep.13034>.
- Klajn, F. F., Iacono, G. E. P., Lenz, N. B. G. & Santos, R. F. (2018). Perspectivas do uso de *Carthamus tinctorius* L. como biocombustível. In: Santos, R. F. & Bassegio, D. (2018). Cártamo: (*Carthamus tinctorius* L.): alternativa de cultivo para o Brasil. *Eduinoeste*, 131-143.
- Knothe, G., Van Gerpen, J., Krahl, J. & Ramos, L. P. (2006). Manual de biodiesel. Curitiba: Edgard Blücher.
- Lewandoski, C. F., Santos, R. F., Sio, J. P. M. K., Reis, L. S. & Villa, B. (2021). Avaliação de proteína de torta de canola e amendoim em prensa extrusora automatizada variando a temperatura e a velocidade de rotação. *Revista Internacional Resiliência Ambiental Pesquisa e Ciência Sociedade 5.0 Resiliência Ambiental*, Cascavel, 3(2), 1-17.
- ONU (2019) Department of Economic and Social Affairs. United Nations. World Population Prospects. <https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/900>.
- ONU (2015) Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2015-2030, Pacto Global. <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>.
- Reolon, C. B., Rosa, H. A., Dolci, B. D., Secco, D. & Santos, R. F. (2012). Rentabilidade e propriedades físico-químicas do biodiesel de cinco espécies vegetais. *Cultivando O Saber*, 5(3), 22-32.
- Santos, M. R., Brito, J. L. R. & Shibaó, F. Y. (2022). Economia circular e a energia solar fotovoltaica. *Revista do Desenvolvimento Regional*, Taquara, 19(1), 293-311.
- Santos, R. F. & Silva, M. A. (2015). *Carthamus tinctorius*L.: Uma alternativa de cultivo para o Brasil. *Acta Iguazu*, Cascavel, 4(1), 26-35. <https://saber.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/12430/8671>.
- Silva, C.J. (2013). Caracterização agrônômica e divergência genética de acessos de cártamo. 51p. Tese (Doutorado em Agronomia-Agricultura) -Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade estadual Paulista, Botucatu, 2013.
- Silveira, V. F. (2021). Comparação de desempenho e emissões de um motor gerador operando com diesel e blendas de biodiesel monitorado por sistemas de automação. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.