

Diego Barboza de Sousa¹, Entoni Riyu Yotsuda², Fabricio Bruno Mendes³, Rafael Akira Akisue⁴

^{1,2,4}Instituto Federal – Câmpus Suzano

³Universidade Estadual Júlio de Mesquita Neto (UNESP)

Estudo comparativos das culturas de soja e dendê com foco na produção de biodiesel

Comparative study of soybean and palm crops with a focus on biodiesel production

Resumo. Uma das alternativas aos combustíveis fósseis, considerados responsáveis por diversos problemas ambientais, são os combustíveis produzidos a partir da biomassa, conhecidos como biocombustíveis. Embora eles suscitem discussões acerca de sua viabilidade e aspectos ambientais negativos, é ponto pacífico as vantagens decorrentes de sua utilização superarem as suas desvantagens. Dentre os principais biocombustíveis destaca-se o biodiesel, que pode utilizar como matéria-prima óleos de origem animal ou vegetal. Estes óleos podem ser extraídos por prensagem mecânica ou por solventes. Muitos processos englobam os dois métodos em série, visando um melhor rendimento. A partir desses óleos, o biodiesel é então produzido através de reações de transesterificação, esterificação ou craqueamento. É sabido que a escolha da matéria-prima é um dos fatores determinantes para a implantação de uma usina de produção de biodiesel, pois ela precisa ser compatível para realizar o tratamento adequado da matéria-prima. Neste trabalho, foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica e levantamento de dados a fim de tentar traçar um panorama geral da produção de biodiesel no Brasil a partir das principais culturas vegetais disponíveis, bem como os processos que demonstram maior rendimento e viabilidade econômica. A partir desta perspectiva, foram comparadas as duas principais fontes de matéria prima para produção do biodiesel vegetal: soja e o dendê. Na parte final do presente artigo focou-se na comparação técnico-econômica entre essas duas matrizes vegetais, buscando-se aliar maior produtividade e vantagens econômicas. Analisando os dados obtidos foi possível concluir que as vantagens oferecidas pelo cultivo de dendê, superaram as vantagens da soja. Este apresentou um bom rendimento geral com características interessantes. Logo a cultura do dendê seria a mais indicada para expansão da produção de biodiesel, a fim de se adequar aos valores requeridos pelo programa RENOVABIO.

Palavras-Chave: Biocombustível, Biodiesel, Óleo de Dendê, Óleo de Soja.

Abstract. One of the alternatives to fossil fuels, considered responsible for several environmental problems, are fuels produced from biomass, known as biofuels. Although they raise discussions about their feasibility and negative environmental aspects, it is common ground that the advantages resulting from their use outweigh their disadvantages. Among the main biofuels, biodiesel stands out, which can use oils of animal or vegetable origin as raw material. These oils can be extracted by mechanical pressing or by solvents. Many processes include the two methods in series, aiming at a better performance. From these oils, biodiesel can be produced through transesterification, esterification or cracking reactions. It is known that the choice of raw material is one of the determining factors for the implementation of a biodiesel production plant, as it needs to be compatible to carry out the proper treatment of the raw material. In this work, an extensive bibliographic research and data collection were carried out in order to try to draw an overview of biodiesel production in Brazil from the main available vegetable crops, as well as the processes that demonstrate greater yield and economic viability. From this perspective, the two main sources of raw material for the production of vegetable biodiesel were compared: soybean and palm oil. The final part of this article focused on the technical-economic comparison between these two plant matrices, seeking to combine greater productivity and economic advantages. Analyzing the data obtained, it was possible to conclude that the advantages offered by the cultivation of palm oil surpassed the advantages of its soybean counterpart. The first presented a good general performance with interesting characteristics. Therefore, the palm crop would be the most suitable for expanding biodiesel production, in order to adapt to the values required by the RENOVABIO program. **Keywords:** Biofuel, Biodiesel, Palm Oil, Soybean Oil.

Introdução

De acordo com dados do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2022, o petróleo e seus derivados correspondem a 1/3 da matriz energética brasileira (EPE, 2022). Este dado alarmante mostra o quanto a matriz energética ainda é dependente deste combustível fóssil não renovável.

Ambientalmente, a queima de petróleo e seus derivados gera, principalmente, o gás carbônico (CO₂) – também chamado de Gás do Efeito Estufa ou GEE – cujo acúmulo na atmosfera tem como consequência o aquecimento global. De modo a mitigar os efeitos dos GEEs, foram ratificados uma série de tratados internacionais, tais como o Protocolo de Quioto (2005) e o Acordo de Paris (2016). Em linha com as práticas internacionais, o Brasil se comprometeu a: aumentar o uso de fontes alternativas de energia para 45% da matriz energética; aumentar a participação de biocombustíveis para 18% até 2030; utilizar tecnologias limpas nas indústrias; melhorar a infraestrutura dos transportes; diminuir o desmatamento e restaurar e reflorestar até 12 milhões de hectares (ALMEIDA, 2020; MEIRELES, 2020).

Como parte do esforço para aumentar a participação de biocombustíveis na matriz energética brasileira, foi instituída a Política Nacional dos Biocombustíveis (RenovaBio) a partir da lei 13.576/2017. Esta tem como objetivo expandir a produção de biocombustíveis no Brasil baseado na previsibilidade, na sustentabilidade ambiental, econômica e social, de modo compatível com o crescimento do mercado. Atualmente é gerida pelo Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE). Ela consiste na criação de um mercado de Crédito de Descarbonização (CBIOS) e metas definidas. A meta anual de redução dos GEEs de cada distribuidor é calculada a partir da multiplicação da participação de mercado do distribuidor nas emissões oriundas de combustíveis fósseis, pela meta anual estabelecida pelo CNPE (NOBRE, 2019). Pela lei, distribuidores de combustíveis fósseis são obrigados a comprar CBIOS emitidos por produtores de biocombustíveis para compensar e cumprir as metas de emissões.

Biocombustíveis, solução ou parte só problema?

Ambientalmente, são inegáveis as vantagens dos biocombustíveis em relação aos seus concorrentes fósseis. Contudo, um debate tem sido travado sobre algumas consequências de sua utilização indiscriminada. Uma das principais questões é o desabastecimento alimentar, com consequente elevação dos preços. Juntamente com a crise alimentar, teríamos uma crise hídrica - visto que a agricultura consome cerca de 65% da água potável (CONSOAGRO, 2020). Além disso, o aumento indiscriminado do uso de biocombustíveis poderia ocasionar uma grave crise ambiental: predomínio de monoculturas (com consequente perda de biodiversidade), uso excessivo de fertilizantes nitrogenados (com consequente aumento dos gases do efeito estufa e contaminação dos lençóis freáticos), aumento do desmatamento e das queimadas. A luz destas questões, levantamentos mostram que, embora o Brasil disponha da maior área agricultável do mundo, seria inviável a conversão da matriz energética brasileira atual para uma baseada em biocombustíveis. Logo, mecanismos de regulamentação e controle devem ser propostos a fim de aproveitar-se das vantagens sociais, econômicas e ambientais dos biocombustíveis.

Ambientalmente, uma das vantagens dos biocombustíveis é que eles são produzidos a partir de fontes renováveis. Desse modo, é possível ajustar sua produtividade com base na demanda. Outra vantagem é que a matéria-prima do biocombustível absorve CO₂ da atmosfera, reduzindo o efeito estufa e compensando a emissão do gás carbônico pela queima do combustível – zerando a “pegada de carbono” (RAÍZEN, 2021). Em termos sociais, a construção

de uma usina para produção de biocombustível envolve a formação de uma cadeia produtiva. Esta proporciona expressiva geração de empregos com a formação de mão de obra especializada - ajudando a promover a inclusão social – além de consequente impulsionamento no desenvolvimento da área, via pesquisas, para aprimoramento de novas tecnologias (PETROBRAS, 2007). Tecnicamente, o biodiesel pode substituir o óleo diesel sem a necessidade de ajustes no motor, além de ter manuseio e armazenamento mais seguros do que os combustíveis fósseis. Além disso, de acordo com estudos realizados pela Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) e pela Associação Brasileira de Produtores de Biodiesel (APROBIO) o aumento a produção de biodiesel não representa risco de desabastecimento alimentar, uma vez que ele regula os preços durante a entressafra, absorvendo o estoque excedente (ABIOVE, 2016; APROBIO, 2022).

Produção de biodiesel a partir de óleos vegetais

O processo de produção de biocombustível consiste na extração do óleo de matérias-primas, utilizando métodos mecânicos e químicos para, em seguida, realizar as reações necessárias para a obtenção do combustível.

O processo de produção de biocombustíveis é subdividido em etapas: escolha da matéria-prima, preparação da matéria-prima, prensagem, extração com o solvente e a recuperação do solvente, tal como descrito no fluxograma da Figura 1.

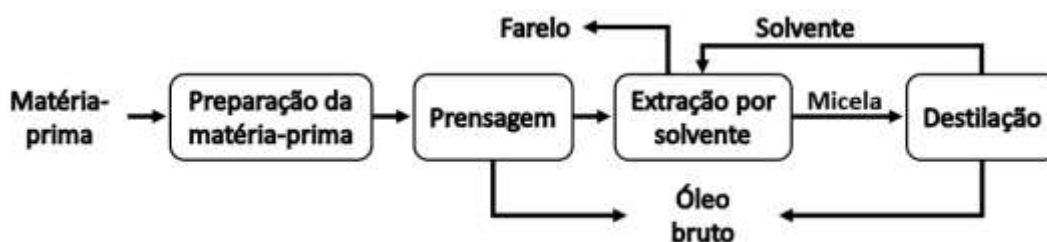


Figura 1 - Fluxograma do processo de extração em série.

Fonte – acervo pessoal

Escolha da matéria-prima para produção do biodiesel

A escolha da matéria-prima a partir da qual será realizada a extração do óleo é um fator determinante para a produção do biocombustível. Esta escolha, além de influenciar na estrutura da usina, que deve ser compatível para realizar o tratamento adequado da matéria-prima, varia conforme a cultura utilizada. Como parte do presente estudo, foi realizado um extenso levantamento bibliográfico, utilizando-se bases de dados Google Acadêmico, Scielo e Web of Science. Para realizar as buscas, foram utilizados termos chave como: biodiesel, biodiesel de dendê, transesterificação e biocombustíveis. Importante destacar que, considerando que o período atípico da pandemia de COVID-19 – que afetou todos os setores socioeconômicos – foram utilizados dados pré-pandemia, a fim de garantir a normalização das informações. A Tabela 1 apresenta o comparativo da produtividade de safras de diferentes matérias-primas (kg/ha), considerando a porcentagem média de óleo presente na matéria-prima bruta (óleo %). Na quarta coluna são apresentados os cálculos da produtividade do óleo por hectare (kg/ha), com o objetivo de comparar os seus rendimentos.

Tabela 1 – Comparativo de produtividade (em massa e em óleo) por hectare entre diferentes culturas vegetais para produção de biodiesel

<i>Planta</i>	<i>Produção vegetal</i> kg/ha	<i>Óleo</i> %	<i>Produtividade óleo</i> kg/ha	<i>Fonte</i>
Algodão	3302	15 a 32	495 a 1.057	<i>Putti et al, 2012</i>
Canola	4500	38	1800	<i>Tomm et al, 2007</i>
Dendê	10000	75 a 77	3.000 a 6.000	<i>Costa et al, 2015</i> <i>Feroldi et al, 2014</i> <i>Filho et al, 2015</i>
Girassol	1300	40	520	<i>Smiderle et al, 2005</i>
Mamona	1400	20 a 60	610	<i>Beltrão et al, 2002</i>
Milho	3000	5	150	<i>Garcia et al, 2006</i>
Nabo- Forrageiro	1500	35	285	<i>Cremones et al, 2013</i>
Soja	3000	18 a 20	600	<i>Cavalcante et al, 2011.</i>

Tendo em vista que os dados foram obtidos a partir de sistemas de operação de plantio e colheita já implantados, ressalta-se que os resultados de rendimento podem ter sido afetados por diversos fatores, tais como ambientais, climáticos, econômicos e sociais. Para atender a alta demanda de combustível é necessário também uma alta produtividade da matéria-prima. Consequentemente, esta também deve apresentar alta estabilidade produtiva.

Ao analisar a tabela de rendimento de óleo por hectare e as características próprias de cada cultura identificou-se que culturas como o girassol, milho e nabo forrageiro possuem baixo rendimento de óleo por hectare, não sendo adequadas para produção em grande escala para o biodiesel. O algodão e a mamona são culturas difundidas no Brasil. Contudo, ambas apresentam alta oscilação na composição de óleo. Consequentemente, ambas também apresentam uma produtividade óleo por hectare de terra agricultável variável. Isso se deve, principalmente, a sensibilidade das plantas às mudanças climáticas, dificultando a implementação de uma produção regular de biodiesel (SANTOS, 2001 apud BELTRÃO 2002).

Além disso, não foram encontradas na literatura, dados suficientes para afirmar o potencial da mamona na geração de biodiesel. A canola, mesmo ocupando o segundo lugar em rendimento de óleo por hectare, só poderia ser cultivada em climas amenos, de baixa temperatura. Logo, seu cultivo se restringiria a algumas áreas disponíveis, principalmente, na região sul do país.

A soja ainda é a cultura dominante no país, com sua participação variando entre 70 a 85% da produção de biodiesel nacional. Tal como pode ser observado na Tabela 1, sua produtividade

é intermediária, e a porcentagem de óleo é considerada baixa. Contudo, atualmente, esta possui uma produção extremamente consolidada, com grandes áreas de plantio e tecnologias próprias que aumentam a eficiência de sua produção. Tendo em vista esta proporção dominante da soja, é possível prever uma saturação em relação a sua produtividade. Logo, esforços em outras áreas, como melhoramento genético, maquinários mais eficientes, são necessários a fim de se obter um crescimento representativo desta cultura para atender a demanda de óleo para biocombustíveis (BIODIESELBR, 2014).

Preparação da matéria-prima

Antes de se iniciar o processo de extração do óleo, a matéria-prima é preparada de acordo com seu tipo e sua qualidade. Esta etapa visa facilitar a extração do óleo, eliminar contaminantes e quebrar fibras que dificultem a extração. As oleaginosas passam por um tratamento que inclui: limpeza, secagem, descascamento (ou despulpamento), desintegração ou trituração, floculação e condicionamento ou aquecimento (BORGES, 2016 apud GANDOLFI, 2017).

Processo de extração via mecânica e via solvente

A extração mecânica do óleo consiste, principalmente, na prensagem das matérias-primas, sendo indicada para matérias-primas com alto teor de óleo. De início, eram utilizadas prensas hidráulicas. Contudo, devido à sua baixa eficiência, complexidade e custo operacional elevados, elas vêm sendo substituídas, gradativamente, pelas prensas mecânicas. Destaca-se entre os modelos a prensa de parafuso contínuo. (WEISS apud PIGHINELLI, 2010).

Após a prensagem, uma quantidade significativa de óleo ainda pode ser encontrada na torta. Ela então é acondicionada no extrator, onde um solvente adequado realiza o arraste do óleo, formando a miscela (mistura do óleo e o solvente). Esta segue para o processo de destilação para separação do óleo bruto e posterior recuperação do solvente. O uso em série de extração mecânica para extração em solvente é comumente utilizado para aumentar a eficiência do processo de extração, contudo, uma das desvantagens apresentada por essa técnica é seu alto custo (JUNIOR, 2008).

O processo de extração de óleo com solvente deve ocorrer em temperatura próxima ao ponto de ebulição do solvente. Dessa forma reduz-se a viscosidade do óleo (com consequente aumento da solubilidade do solvente). Após o preparo da matéria prima, esta pode passar por dois métodos de extração via solvente: imersão e a percolação. Na primeira, o grão entra em contato com o solvente, em geral sob agitação, de forma que é recolhida a miscela. Já no segundo processo tem-se a lixiviação, em contracorrente, do solvente no grão sobre uma esteira – onde também é coletada a miscela para posterior tratamento.

O solvente mais utilizado é o hexano. Porém, este possui diversas desvantagens tais como: risco de explosão por ser inflamável, pode acarretar diversos problemas à saúde pela sua alta toxicidade e sua fonte não é renovável. Por ser de origem fóssil, também prejudica o meio ambiente. O etanol pode ser utilizado como solvente alternativo. Diferentemente do hexano, este advém de uma fonte renovável, sendo, portanto, favorável ao meio ambiente e menos nocivo à saúde. Porém, a utilização de etanol torna o processo consideravelmente mais caro, devido à necessidade de evaporação do solvente para desidratação do etanol, antes que este retorne ao processo (JUNIOR, 2008).

Em geral, o óleo obtido deve passar por uma etapa de refino, a fim de eliminar eventuais fosfolipídios, ácidos graxos, pigmentos, impurezas, compostos indesejáveis e substâncias voláteis (JUNIOR, 2008).

Métodos de produção de biodiesel

São descritos na literatura três métodos de produção de biodiesel: craqueamento, esterificação e transesterificação.

O craqueamento é realizado sob temperaturas acima de 350°C e consiste na quebra da molécula de glicerol formando ésteres, tal como representado na Figura 2. O radical "R", ligado às moléculas das reações de craqueamento e de transesterificação, representa um hidrocarboneto. Por ser uma reação envolvendo óleos, os radicais de hidrocarbonetos possuem cadeias longas com mais de 10 carbonos.

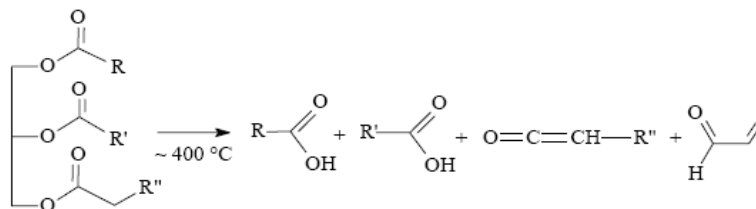


Figura 2 – Reação de craqueamento

Fonte – AGEITEC, 2022

A esterificação consiste de uma reação, a partir do álcool, com ácidos graxos formando um éster, tal como representado na Figura 3.

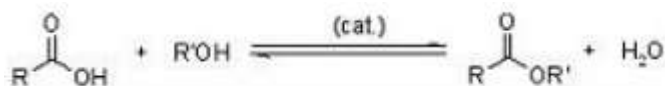


Figura 3 – Reação de esterificação

Fonte – MARTINELLI, 2008

A transesterificação é um processo que reduz a viscosidade do triacilgliceróis. Neste mecanismo de reação, as cadeias de ácidos graxos são separadas do glicerol ao serem misturadas com um álcool, tal como representado na Figura 4.

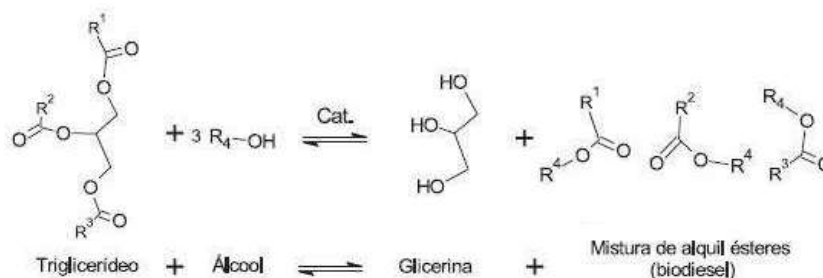


Figura 4 – Reação de transesterificação

Fonte – PIGHINELLI, 2010

Atualmente, a transesterificação é o método mais utilizado para produção de biodiesel (PIGHINELLI, 2010).

Análise comparativa entre matérias primas vegetais: soja e dendê

O perfil atual da produção nacional de biodiesel, de acordo com a matéria prima utilizada, é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Perfil brasileiro de produção de biodiesel de acordo com a matéria prima

Matéria-prima	Produção proporcional
Óleo de Soja	70,00%
Gordura Bovina	13,24%
Outros Materiais Graxos	9,74%
Gordura de Porco	2,14%
Óleo de Fritura	1,65%
Óleo de Palma / Dendê	1,33%
Óleo de Algodão	0,86%
Gordura de Frango	0,85%
Óleo de Milho	0,10%
Óleo de Colza / Canola	0,07%
Gordura de Frango	0,85%
Óleo de Milho	0,10%
Óleo de Colza / Canola	0,07%

Fonte: ANP, 2019 adaptada

É possível observar que a matriz vegetal para produção de biodiesel consiste da soja (que domina mais de 70% da matriz) e, em seguida o óleo de dendê, com 1,33%. As demais matérias primas vegetais, tal como argumentado no item 3.1, não tem grande representatividade na matriz. Assim, na presente análise econômica e comparativo técnico, focar-se-á nas culturas de soja e dendê. Ambas ocupam uma área agricultável considerável., conseqüentemente, possuem uma produtividade estável e em quantidade grande o suficiente para abastecer parcial ou integralmente a demanda de óleo para a produção de biocombustíveis. Logo, faz-se necessário verificar e ponderar questões de interesse comercial, impactos ambientais e sociais, a fim de apontar a espécie que apresenta vantagens de cultivo para produção dos biocombustíveis.

Soja

A soja é uma das culturas mais difundidas no Brasil. Sua estabilidade produtiva, obtida via investimentos tecnológicos para tratamento e fortalecimento da planta, a tornaram uma das melhores opções para a obtenção de óleo para a produção de biodiesel.

A soja é da família das leguminosas e sua semente possui baixo teor de amido. Todavia ela é rica em substâncias proteicas e graxas. O teor médio de óleo na soja cultivada no sul do Brasil é de 20% (GUARIENTI, 2009)

Mesmo os grãos possuindo quantidades relativamente baixas de óleo e obtendo-se rendimentos modestos durante a extração, a soja ainda lidera como principal matéria-prima para produção de biodiesel. Logo, ela pode ser considerada uma das culturas de maior potencial de extração de óleo para produção do biodiesel. Atualmente, o óleo de soja possui vantagens, em relação aos outros grãos, quanto a produção e facilidade na colheita. Contudo, por se tratar de uma cultura sazonal, limita-se a sua colheita a apenas três meses ao ano, sendo que o tempo de crescimento da planta é de 100 à 160 dias, dependendo da variedade. Isto significa que seria necessário a estocagem do produto durante os meses restantes, a fim de estabilizar a demanda de óleo durante o ano. Consequentemente, acarretando altos custos para estocagem de longa duração e transporte.

Dendê

O dendezeiro é uma palmeira cujo fruto é o dendê (Figura 5). A partir do dendê, é possível extrair dois tipos de óleos: o azeite de dendê que é extraído da polpa, e o azeite de palmiste que é extraído a partir da amêndoa. Ambos são utilizados nos setores alimentício e industrial. Após a extração do óleo, a torta da amêndoa, resultante da prensagem, ainda pode ser usada tanto na produção de compostos para alimentação bovina e suína, quanto para fertilizante agrícola (MÜLLER, 1980).



Figura 5 – Dendezeiro (à esquerda), dendê (ao centro) e o óleo extraído a partir do fruto (à direita)
Fonte – adaptada de Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2018

Este artigo foi elaborado por meio de uma pesquisa bibliográfica, com intuito de construir uma metodologia de forma criteriosa os melhores e mais significativos artigos online que abordem o tema educação especial. O critério para a seleção dos artigos foi a presença dos descritores “sala de recursos multifuncional”, AEE”, “sala de recursos” e “sala de apoio pedagógico”, “inclusão escolar”, “educação inclusiva”, sendo que os mesmos podiam estar dispostos em qualquer parte do texto. Foram selecionados vários artigos de diferentes revistas científicas, sem restrição de períodos.

Sendo assim, os principais aportes teóricos deste trabalho centram-se em autores como: Alves e Andrade (2015), Weber e Benetti (2012), Brasil (2010), Lopes e Maquezine (2012) e entre outros.

Hoje, a produção de óleo de dendê é uma das que mais recebe incentivos pelo programa RenovaBio. Em especial, a cultura do dendezeiro está focada em pequenas propriedades nos estados do Amazonas, Amapá, Bahia e Pará. Sendo este último responsável por 80% da produção

(JUNIOR, 2008). Atualmente, o dendê possui uma área de cerca de 236 mil hectares sendo cultivada. Contudo, estudos recentes indicam um potencial de terra agricultável de cerca de 7 milhões de hectares, aptas a receberem o dendezeiro. Estas áreas se concentram na região Norte e Nordeste do país, que consomem, juntas, cerca de 25% do diesel nacional (APROBIO, 2018).

Uma das desvantagens que esta cultura apresenta é que o processo de esterilização dos cachos e a extração do óleo deve ser realizado, em no máximo, 24 horas após a colheita, esse procedimento é necessário tanto para facilitar a retirada dos frutos do cacho, quanto para evitar a fermentação do fruto, que causa a acidificação do óleo, que começa a ocorrer logo após o corte do cacho (MÜLLER, 1980). Isto impossibilita a realização de estoques no longo prazo, visando possíveis regulações do mercado. Além disso, essa limitação obriga a implantação da usina próxima ao local de plantio, para que possam ser evitados longos períodos de transporte. Outra desvantagem diz respeito ao fato de a colheita ser realizada praticamente de forma manual, impossibilitando sua produção de forma extensiva como a soja.

Por outro lado, uma das vantagens apresentadas pela cultura do dendê é seu regime de produção contínua ao longo do ano. Isto possibilita uma maior estabilização, ou seja, sua produção pode ser ajustada mais facilmente do que a de produtos sazonais – estes sujeitos a flutuações de acordo com a oferta e a demanda do mercado. Consequentemente, diminui-se os riscos de alta no preço, mantendo-se o abastecimento constante de seus produtos e gerando um maior incentivo por parte de seus consumidores. Contudo, é preciso destacar que há uma pequena variabilidade da colheita durante o ano. O mês de maio, por exemplo, possui a maior fração da produção anual (12% da produção total), enquanto que durante o mês de novembro tem-se cerca de 4,5% da produção anual. Apesar dessa variabilidade, calculou-se que a quantidade fornecida de óleo durante o mês de menor produtividade é proporcional a metade da produção total que a soja pode oferecer em um ano inteiro, em uma área de mesmo tamanho (MÜLLER, 1980).

A partir de dados levantados sobre as colheitas de soja e dendê, apresentados na Tabela 3, foi possível estabelecer uma comparação entre as culturas de soja e dendê visando a produção de biodiesel.

Tabela 3 – Comparativo técnico-econômico entre soja e dendê

Descrição	Soja	Dendê
Tipo de cultivo	Sazonal (batelada)	Contínua
Replanteio	Anual	A cada 25 ~ 30 anos
Meses de colheita/ano	3	12
Colheita	Mecanizada	Manual
Produção de grãos ou frutos anual máxima/ha	3.000 kg	10.000 kg
% de óleo	18 a 20	75 a 77
Produção anual de óleo/ha	600 kg	3.000 a 6.000 kg
Área em produção atual	33.890.000 ha	210.000 ha
Produção anual nacional	113.923.000 t	945.000 t
Tempo de estocagem	Longo	24 horas após a colheita
CO ₂ sequestrado por ha/ano	10 a 15 t	4 a 8 t
Custo médio total/ha ao ano*	R\$ 3.298,05	R\$ 1.385,38

Fonte - Dados adaptados de SUFRAMA (2003), FEROLDI (2014), BELTRÃO (2007), SOARES (2008), Centro de Referência da Cadeia de Produção de Biocombustíveis para a Agricultura Familiar (2014).

*Obs.: o custo médio total se refere aos gastos na agricultura (plantio, mão de obra, insumos e colheita).

Estabelecendo-se a relação entre as áreas utilizadas para o plantio e a produtividade de óleo por hectare, o dendê necessitaria apenas de 20% da área atualmente ocupada pela soja para produzir a mesma quantidade de óleo. No Brasil, o plantio de soja ocupa cerca de 3,53% do território brasileiro (ou 33,9 milhões de hectares na safra de 2021). Ou seja, esta vasta área poderia ser utilizada para outros fins, como por exemplo, abastecimento de grãos e hortaliças. Observando os dados disponíveis na Tabela 3, o dendê possui tanto a maior produção de óleo por hectare, quanto o menor custo médio, uma vez que tanto a casca quanto a polpa possuem grande teor de óleo no fruto. Consequentemente, é possível obter um alto rendimento durante a extração. Estes fatores fazem com que o dendê seja a cultura mais viável para produção de biocombustíveis (GANDOLFI et al, 2017).

De acordo com Feroldi (2014), quando comparado com as demais oleaginosas, o óleo de palma é o mais vantajoso devido a sua baixa taxa energética de produção. De acordo com o balanço energético, a relação produção/consumo é de cerca de 9,5. Ou seja, durante a cultura do dendê, demanda-se 19,2 GJ por ha/ano na produção de 1 litro de óleo. Em contrapartida, a cultura disponibiliza, na soma de seus subprodutos, 182,1 GJ. Sendo este bastante expressivo comparando-se com a relação produção/consumo da soja (cerca de 2,5).

Outra vantagem do dendê, em relação à soja, é a taxa de sequestro de carbono da atmosfera. Tal como pode ser observado na Tabela 3, mesmo a palma do dendê apresentando uma taxa de sequestro de carbono de cerca de 6 ton./ha.ano, em média, (numericamente inferior à taxa de 10 a 15 ton./ha.ano pela soja), é necessário considerar fatores fisiológicos das plantas. No caso da soja, o carbono capturado pela planta acaba sendo liberado posteriormente – após sua colheita – quando é depositada no solo. Essa passa a ser degradada por microrganismos, gerando o CO₂ que volta para a atmosfera. Por outro lado, a absorção de gás carbônico realizada pela palma do dendê é “fixada” na planta durante 25 anos. O que pode representar, em larga escala, um sorvedouro deste gás.

Conclusão

Entre as vantagens e desvantagens apresentadas, o dendê pode ser considerado como uma cultura capaz de suprir as demandas de óleo para produção de biodiesel, aliando vantagens econômicas e ambientais num futuro próximo. Seu grande potencial, em particular, é devido à alta concentração de óleo em seus frutos (produzidos ao longo do ano, independente da sazonalidade). Isto possibilita um maior controle no fluxo de mercado, facilitando a adaptação da produção à sua demanda. O que atinge diretamente os produtos derivados da mesma. Este fator se sobrepõe às principais desvantagens da cultura: tempo limite de 24 horas após a colheita para processamento dos cachos e a colheita ainda realizada relativamente de forma manual.

O projeto de lei que prevê a mistura de 20% de biodiesel até o ano de 2030, necessitaria apenas de 250 mil hectares produzindo óleo exclusivamente para biodiesel dentre os 7 milhões de hectares aptos ao cultivo de dendê) para suprir a demanda. Portanto, os objetivos de produção de biodiesel podem ser atingidos com áreas bem menores que a disponibilizada pelo Zoneamento Agroecológico (MAPA, 2018).

Todavia, é necessário considerar que todos os dados pertencentes às culturas de plantas, podem sofrer variações advindas principalmente do clima. Esta instabilidade pode alterar sua produtividade e, conseqüentemente, diminuir sua produção. Apesar disso, as culturas aqui selecionadas como as principais candidatas – soja e dendê – possuem como grande diferencial a resistência em relação a interferências climáticas (quando comparadas às demais culturas).

Considerando o dendê como a cultura a ser utilizada para a obtenção do óleo, o processo para a sua extração pode ser realizado pelo método em série, a fim de aumentar sua eficiência. O processo mecânico pode ser realizado utilizando-se a prensa de parafuso contínuo, tanto para a poupa do dendê, quanto para sua amêndoa. Essa técnica é capaz de processar grandes quantidades de frutos de forma contínua, e sua velocidade pode ser adaptada de acordo com a quantidade de frutos processados durante a etapa de preparação da matéria prima. Embora a extração por solvente possa ser realizada utilizando o hexano, devido a sua toxicidade e por não ser favorável ambientalmente, o mesmo pode ser substituído pelo etanol. Por fim, o método da transesterificação para a obtenção do biodiesel seria o processo mais indicado, uma vez que é o método mais consolidado.

Para além dos benefícios ambientais, é possível destacar a importância dos impactos econômico-sociais positivos advindos da decisão de produzir biocombustíveis no Brasil, especialmente nas regiões Norte e Nordeste.

Referências bibliográficas

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. *Biodiesel: oportunidades e desafios no longo prazo*. Brasília, 6 out. 2016. Disponível em: <http://abiove.org.br/wp-content/uploads/2019/05/07102016-131231-07_10_2016_n-_cenario_para_o_biodiesel_em_20302.pdf>. Acesso em: 21 maio 2022.

CONSOAGRO – Consultoria e Soluções em Agronomia Jr. *Como é o uso da água no Brasil?*. Londrina - PR, Brasil. 04 dez. 2020. Disponível em: <<https://consoagro.com.br/2020/12/04/uso-da-agua-na-agricultura/>>. Acesso em: 02 set. 2020.

AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. *Craqueamento*. Brasília, Distrito Federal, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 2022. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vmz02wx5eo0sawqe3wx8euqg.html#>>. Acesso em 24 maio 2022.

ALMEIDA, R. P. Políticas governamentais e avaliação de indicadores ambientais na produção de biocombustíveis (sólidos, líquidos e gasosos). *Debates Agroenergéticos*. Produção Vegetal, Pós-graduação UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Minas Gerais, MG, jul. 2020. Disponível em: <<http://site.ufvjm.edu.br/ica/files/2020/07/2-Pol%C3%ADticas-governamentais-e-avalia%C3%A7%C3%A3o-de-indicadores-ambientais-na-produ%C3%A7%C3%A3o-de-biocombust%C3%ADveis-s%C3%B3lidos-l%C3%ADquidos-e-gasosos.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2022.

ANP. Agência Nacional do Petróleo. *Processamento de matérias primas*. Tabela de 22 Jan. 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/informacoes-de-mercado>>. Acesso em 21 maio 2022.

APROBIO – Associação dos produtores de Biodiesel do Brasil. *RenovaBio o potencial da palma de óleo para o biodiesel*. 16 ago. 2018. 10 slides. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais>>

tematicas/documentos/camaras-setoriais/palma-de-oleo/2018/27a-ro/aprobio-2018_cs-po-renovabio-biodiesel.pdf>. Acesso em: 21 maio 2022.

BELTRÃO, N. E. M.; SILVA, L. C.; MELO, F.B. Mamona consorciada com feijão visando produção de biodiesel, emprego e renda. *Revista Bahia Agrícola*, Bahia, v. 5, n. 2, p 34-37, nov. 2002. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105772/1/Revistav5n2-Mamona.pdf>>. Acesso em 21 maio 2022.

BELTRÃO, N. E. M.; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S. Balanço Energético e “Seqüestro” de Carbono em Culturas Oleaginosas. *Embrapa algodão. Documentos*, 167, Campina Grande, PB, 2007. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/273300/1/DOC167.PDF>>. Acesso em: 21 maio 2022.

BiodieselBR. *Matéria-Prima para Biodiesel*. Jan. 2014. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/plantas/oleaginosas/index>>. Acesso em: 21 maio 2022.

CAVALCANTE, A. K.; SOUSA, L. B.; HAMAWAKI, O. T. Determinação e avaliação do teor de óleo em sementes de soja pelos métodos de ressonância magnética nuclear e soxhlet. *BioscienceJournal*, v. 27, n. 1, p. 8-15, Uberlândia, São Paulo, jan./fev. 2011. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7353>>. Acesso em: 21 maio 2022.

CENTRO DE REFERÊNCIA DA CADEIA DE PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS PARA A AGRICULTURA FAMILIAR. *Custo de Produção do Dendê*, 2014, Campus Universitário, Viçosa, MG. Disponível em: <<http://www.biomercado.com.br/imagens/publicacao/arquivo96.pdf>>. Acesso em 21 maio 2022.

COSTA, L. V.; OLIVEIRA, E. C. A. M.; PIRES, N. R. O. Biodiesel: mamona e dendê como culturas energéticas. *Revista eletrônica de Energia*, v. 5, n. 2, p. 90-99, jul./dez. 2015. Disponível em: <<https://revistas.unifacs.br/index.php/ree/article/view/3298/2820>>. Acesso em: 21 maio 2022.

CREMONEZ, P. A. et al. Nabo forrageiro: do cultivo a produção de biodiesel. *Acta Iguazu*, v. 2, n. 2, p. 64-72, Cascavel, Paraná, 2013. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/8392/6203>>. Acesso em: 21 maio 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *BEN -Balanço Energético Nacional: Relatório Síntese 2022 Ano Base 2021*. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf>. Acesso em: 01 set. 2022.

FEROLDI, M.; CREMONEZ, P. A.; ESTEVAM, A. Dendê: do cultivo da palma à produção de biodiesel. *Revista Monografias Ambientais (REMOA)*, v.13, n.5, p.3800-3808, Santa Maria, Paraná, dez. 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/remoa/article/viewFile/14674/pdf>>. Acesso em: 21 maio 2022.

FILHO, D. H. G. et al. Componentes de produção e rendimento do girassol sob irrigação com águas salinas e adubação nitrogenada. *Irriga*, v. 20, n. 3, p. 514-527, Botucatu, São Paulo, jul./set. 2015. Disponível em: <<http://200.145.140.50/index.php/irriga/article/view/1029/1316>>. Acesso em: 21 maio 2022.

GANDOLFI, M. V. C. et al. *Extração do óleo do dendê para produção de biodiesel*. IX Sintagro - Simpósio Nacional de Tecnologia em Agronegócio, Botucatu, 2017.

GARCIA, J. C. et al. Aspectos Econômicos da Produção e Utilização do Milho. *Circular Técnica (EMBRAPA)*, n. 74, Sete Lagoas, Minas Gerais, dez. 2006. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/474206/1/Circ74.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2022.

GUARIENTI, É. P. *O solvente hexano no processo de extração de óleo de soja*. 2009. 54 f. Projeto de Estágio de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção Agroindustrial) - Faculdade Três de Maio, Três de Maio, 2009. Disponível em: <<https://xdocs.com.br/doc/extraao-de-oleo-vegetal-qoeyryv7wkn6>>. Acesso em: 21 maio 2022.

JUNIOR, C. T. *Extração de óleo de soja com etanol e transesterificação etílica na miscela*. 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-14052010-100105/publico/Mestrado.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2022.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Diagnóstico da Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil*. Mapa/ACE, Brasília, 2018. Disponível em: <https://aprobio.com.br/novosite/wp-content/uploads/2018/08/Diagn%C3%B3stico-Prod-Sust-da-Palma-de-%C3%93leo_MAPA_2018.pdf>. Acesso em: 21 maio 2022.

MARTINELLI, L. *Produção de Biodiesel Etílico a partir da Esterificação de Ácidos Graxos Livres*. 2008. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Recife, Pernambuco. 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6405/1/arquivo2527_1.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2022.

MEIRELES, T. *Acordo de Paris completa cinco anos com lições aprendidas*. WWF - World Wide Fund for Nature. 12 dez. 2020. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?77471/Acordo-de-Paris-completa-cinco-anos-com-licoes-aprendidas>>. Acesso em: 01 set. 2022.

MÜLLER, A. A. *A cultura do dendê*, Belém, EMBRAPA-CPATU. 24p. Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/n, Caixa Postal, 48, 66.000 – Belém, Pará, 1980. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/15441929.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2022.

NOBRE, M. A. A. *Palma de Óleo no RenovaBio*. 06 ago. 2019. 37 slides. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/palma-de-oleo/2019/29a-ro-1/palma-de-oleo-no-renovabio-convertido.pdf>>. Acesso em 21 maio 2022.

PETROBRAS (Brasil). *Biocombustíveis: 50 perguntas e respostas sobre este novo mercado*. Brasil, 2007. Disponível em: <<http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/594/1/Biocombust%c3%adveis%2050%20perguntas%20e%20respostas%20sobre%20este%20novo%20mercado.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2022.

PIGHINELLI, A. L. M. T. *Estudo da extração mecânica e da transesterificação etílica de óleos vegetais*. 2010. 222f. Tese de doutorado em Engenharia Agrícola (Tecnologia Pós-Colheita) - Universidade Estadual De Campinas, Faculdade De Engenharia Agrícola, Campinas, 2010. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/882711/1/AnnaLeticiaMontenegroTurtelliD.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2022.

PUTTI, F. F.; LUDWIG, R.; MACINI, N. Análise da viabilidade da produção de biodiesel a partir do uso do algodão. *VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 8, n. 7, p. 127-142, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/336/339>. Acesso em: 21 maio 2022.

RAÍZEN. *Biocombustíveis: afinal, quais são as suas vantagens?* 11 nov. 2021. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/biocombustiveis?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=g81z_mc1tf8pg_N2_raizen_blog_google_awareness_&utm_content=mc1tf8pg_blog_google__search_awareness>

ess_interesses_cpc_search__bioenergia_&gclid=Cj0KCQjwof6WBhD4ARIsAOi65ai0x6BejTWMP0Ksjx-4j8BOHcCmYiXmpMYiSGVuhSHf-pElhYIW9q0aApWwREALw_wcB>. Acesso em: 01 set. 2022

SMIDERLE, O. J.; MOURÃO JR, M.; GIANLUPPI, D. Avaliação de cultivares de girassol em savana de Roraima. *ACTA Amazônica*, v. 35, n. 3, p. 331-336, Roraima, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aa/v35n3/v35n3a03>>. Acesso em: 21 maio 2022.

SOARES, C. M. *Potenciais de Geração de Créditos de Carbono na Indústria da Palma*. 2008 105 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) -Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola de Química – EQ, 2008. Disponível em: <<http://epqb.eq.ufrj.br/download/potenciais-de-geracao-de-creditos-de-carbono-na-industria-da-palma.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2022.

SUFRAMA. Superintendência Adjunta de Planejamento e Desenvolvimento Regional Coordenação de Identificação de Oportunidades de Investimentos Coordenação Geral de Comunicação Social (Distrito Industrial, AM). *Projeto potencialidades regionais estudo de viabilidade econômica dendê*, jul. 2003. Disponível em: <http://www.suframa.gov.br/publicacoes/proj_pot_regionais/dende.pdf>. Acesso em: 21 maio 2022.

TOMM, G. O. Indicativos tecnológicos para produção de canola no Rio Grande do Sul. Sistema de Produção, *Embrapa Trigo*, n. 4, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2007. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/174531/1/CNPT-ID09766.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2022.

¹Diego Barboza de Sousa. Graduando em Química Bacharelado no Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Campus Suzano, Suzano – São Paulo. diogobdsousa@live.com

²Entoni Riyu Yotsuda. Graduando em Processos Químicos Industriais no Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Campus Suzano, Suzano – São Paulo. entoni.r.y@gmail.com

⁴Fabricio Bruno Mendes. Mestre em Ciência e Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Neto (UNESP). fabriciomendes@ifsp.edu.br

³Rafael Akira Akisue. Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), professor substituto no Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Campus Suzano, Suzano – São Paulo. akisue.rafael@gmail.com

^{1 2 3}Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Campus Suzano. Av. Mogi das Cruzes, 1501 - Parque Suzano, Suzano - SP, 08673-010. (11) 94246-8380.

⁴Universidade Estadual Júlio de Mesquita Neto (UNESP). Av. 24 A, 1515 - Bela Vista, Rio Claro - SP, 13506-69. (19) 3526-9000

Este artigo:

Recebido em: 06/2022

Aceito em: 07/2022

Como citar este artigo:

SOUZA, D. B. de; et al. Estudo comparativos das culturas de soja e dendê com foco na produção de biodiesel. *Scientia Vitae*, v.14, n.38, p. 32-45, jul./ago./set. 2022.