

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis
Simão Pereira da Silva

EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS VEGETAIS
EXPLORADAS PARA O BIODIESEL NO BRASIL

Diamantina
2022

Simão Pereira da Silva

**EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS VEGETAIS
EXPLORADAS PARA O BIODIESEL NO BRASIL**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis da Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri e da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Biocombustíveis.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Sylvio Vieira Costa

**Diamantina
2022**

Catálogo na fonte - Sisbi/UFVJM

D111E Silva, Simão Pereira da
2023 Eficiência na Produção das Matérias-primas Vegetais
Exploradas para o Biodiesel no Brasil [manuscrito] / Simão
Pereira da Silva. -- Diamantina, 2023.
198 p. : il.

Orientador: Prof. Alexandre Sylvio Vieira da Costa.

Tese (Doutorado em Biocombustíveis) -- Universidade
Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Programa de Pós-
Graduação em Biocombustíveis, Diamantina, 2022.

1. Sustentabilidade. 2. Bioenergia. 3. Oleaginosas. 4.
Eficiência Energética. 5. Análise Envoltória de dados. I.
Costa, Alexandre Sylvio Vieira da. II. Universidade Federal
dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFVJM com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Este produto é resultado do trabalho conjunto entre o bibliotecário Rodrigo Martins Cruz/CRB6-
2886
e a equipe do setor Portal/Diretoria de Comunicação Social da UFVJM


SIMÃO PEREIRA DA SILVA

Eficiência na Produção das Matérias-primas Vegetais exploradas para o Biodiesel no Brasil.

Tese apresentada ao DOUTORADO EM BIOCOMBUSTÍVEIS, nível de DOUTORADO como parte dos requisitos para obtenção do título de DOUTOR EM BIOCOMBUSTÍVEIS

Orientador (a): Prof. Dr. Alexandre Sylvio Vieira Da Costa

Data da aprovação : 12/12/2022


Documento assinado digitalmente
 ALEXANDRE SYLVIO VIEIRA DA COSTA
Data: 16/02/2023 11:54:13-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.Dr. ALEXANDRE SYLVIO VIEIRA DA COSTA - UFVJM


Prof.Dr.^a LÍLIAN DE ARAÚJO PANTOJA - UFVJM

Documento assinado digitalmente
 LILIAN DE ARAUJO PANTOJA
Data: 15/03/2023 14:33:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof.Dr. ALEXANDRE SOARES DOS SANTOS - UFVJM

Documento assinado digitalmente
 ALEXANDRE SOARES DOS SANTOS
Data: 15/03/2023 10:02:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.Dr. JOÃO PAULO DE OLIVEIRA LOUZANO - UFVJM

Documento assinado digitalmente
 JOAO PAULO DE OLIVEIRA LOUZANO
Data: 16/03/2023 16:31:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.Dr. RENILDO ISMAEL FÉLIX DA COSTA - IFNMG

Documento assinado digitalmente
 RENILDO ISMAEL FELIX DA COSTA
Data: 16/03/2023 16:57:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

DIAMANTINA

À dona Surica, minha mãe, porque “é preciso amar como se não houvesse amanhã”.

À Sueli, minha esposa, porque “é caminhando que se faz o caminho”.

Ao Marcos Paulo, meu filho, em todos momentos da vida “erga essa cabeça, mete o pé e vai na fé”.

À Rosinha (irmã) e ao Cláudio Leitão (grande educador), porque quem busca merece uma oportunidade.

AGRADECIMENTOS

A Deus que me abençoa além das minhas expectativas, e à bem-aventurada sempre virgem Maria da Imaculada Conceição, cuja gloriosa intercessão é minha segurança.

À minha mãe, pelo exemplo de amor, de fé e de dedicação à formação da nossa família. Ao meu pai e aos meus irmãos e irmãs, que lutaram e venceram as primeiras batalhas para que eu avançasse em batalhas mais ousadas.

Em especial, à minha companheirona (minha esposa Sueli) por todo amor, apoio e compreensão em toda nossa história juntos, e ao nosso filho (Marcos Paulo) meu melhor amigo. Juntos, são meu porto seguro. Razão e sentido de tudo em minha vida.

Destaco meus agradecimentos ao Prof. Alexandre Sylvio (meu orientador) que me deu muito mais do que orientações. Antes, aportou, confiou seu nome a mim, e seguiu na caminhada comigo. Valeu companheiro!

Igualmente ao Prof. Alexandre Soares (ex-coordenador do PPGBIOCOMB), que durante todo o doutorado sempre foi muito propositivo, didático, atencioso e encorajador.

Agradeço de modo especial à Prof^a. Lilian Pantoja (coordenadora do PPGBIOCOMB na UFVJM), que me acolheu, me orientou, me ensinou muito e me fortaleceu na caminhada o tempo todo. Um exemplo de generosidade e profissionalismo a ser seguido.

Aos amigos do DCCO – Departamento de Ciências Contábeis da UFVJM: Prof^a. Kênia, pela amizade e companheirismo durante todos esses anos, Prof. Vasconcelos, pelo apoio e orientações; Prof^a. Elizete, pelas palavras de incentivo; Prof^a. Sorele, pela solidariedade de sempre; Prof. Ronan (UFV), pela amizade, conhecimentos e profissionalismo sempre disponibilizados, e à Prof^a. Chams Kumaira, pela acolhida e amparo nos momentos difíceis.

Aos professores do PPGBIOCOMB/UFVJM-UFU: Prof. Anízio Faria, Prof. Alexandre Walmott, Prof. Juan Roa, Prof. José Izaquiel, Prof. Marcelo Laia, Prof. Sandro Barbosa e Prof^a. Vívian Benassi, por todos ensinamentos, pela coautoria em publicações e pelas palavras de incentivo. Assim como, à secretária Juscilene e ao secretário Gabriel, sempre muito atenciosos e solícitos.

Ao Prof. Renildo Ismael (IFNMG) e ao Prof. João Paulo Louzano (UFJF), pelas relevantes contribuições, conhecimentos e reflexões produzidas na construção desta tese.

Aos Professores Pedro Angelo e Donaldo Rosa (reitor e vice-reitor da UFVJM de 2007 a 2011 e consecutivamente de 2011 a 2015) pela confiança, apoio e experiência vivida.

RESUMO

O Brasil para cumprir seus compromissos da Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática (Paris/2015 e COP/2021) estabeleceu metas anuais de descarbonização para o setor de combustíveis. Esta pesquisa analisa a eficiência na produtividade das matérias-primas vegetais (MPV), oleaginosas (soja, milho, algodão, amendoim, dendê, girassol e canola) cultivadas em diferentes regiões do país, e que integram a base da produção do biodiesel no Brasil. Os dados foram tratados sob a técnica de análise da eficiência denominada Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) com retorno variável à escala e orientação produto. Na estimação, o *output* foi a produtividade (kg/ha), e os *inputs* foram os insumos utilizados na produção agrícola, coletados de abril a outubro/2021 nas plataformas digitais oficiais. Dos 23 municípios produtores de soja, 13 obtiveram eficiência máxima (56% da amostra), e o alcance da eficiência pelos outros 10 requer a diminuição de 13%, em média, nos insumos MJS (máquinas, juros e serviços) e SMFA (sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos) e aumento de 16%, em média, na produtividade. Dos 19 municípios produtores de milho, 06 são eficientes, (31%). O alcance da eficiência pelos 13 municípios ineficientes restantes implica em diminuir em 11%, em média, os insumos SMFA e MDE (manutenções, depreciações e encargos) e aumento da produtividade em 21%, em média. Nos sete municípios produtores de algodão em plumas (beneficiado), a produtividade chega a 1/3 da produtividade do algodão em caroço. Os cinco produtores de caroço de algodão são eficientes, o que indica aos produtores de plumas de algodão a necessidade do aumento de 65 a 200% na produtividade para alcançar um nível igual de eficiência. Além disso, seria necessário eliminar em 39% as folgas em todos os insumos, sendo estes em média: 31% em MJS, 45% em SMFA, 22% em MDE e 13% em RF (renda de fatores). No caso do amendoim, 10 municípios são eficientes (37%). Para alcançar a eficiência, os outros 17 municípios precisam reduzir seus insumos variáveis MJS (8% em média) e SMFA (12% em média), e aumentar em torno de 30% a produtividade. No dendê, oito municípios são eficientes e dois podem alcançar a eficiência mediante redução de 11% nos insumos SMFA e de 9% nos insumos MDE, com aumento da produtividade em 18%. No caso do girassol, sete municípios são eficientes e três requerem redução de 30%, em média, nos insumos MJS e SMFA, e aumento de 9,5% na produtividade para alcançar a eficiência. Na canola, sete municípios têm eficiência e três requerem ajustes nos insumos MJS (6% em média) e SMFA (25% em média), e aumento de 16% na produtividade para chegar à eficiência. Em termos de rendimento das MPV analisadas, o dendê apresentou os melhores

valores, 25.780 kg/ha, seguido pelo milho (5.760 kg/ha) e pelo algodão em caroço (4.290 kg/ha). Estas três MPV possuem os menores custos com SMFA dentre as MPV analisadas, sendo o dendê a única MPV cujos custos com SMFA são menores que os custos com MJS (ambos custos variáveis), ademais oferta dois tipos de óleos: o óleo de palma extraído da polpa (mesocarpo) e o óleo de palmiste extraído da amêndoa (endocarpo). Nas demais MPV os custos dos insumos variáveis com SMFA desequilibram em medidas distintas, mas de forma prevalente a eficiência na produtividade. Os dados obtidos apontaram que dentre as MPV analisadas, a soja não é, do ponto de vista ambiental, a melhor escolha para a produção do biodiesel quando comparada com as demais MPV, pois, possui um dos menores rendimentos em óleo por kg/ha (51%) e o menor balanço energético (1,3:1), mas é a MPV cuja escala de produção possibilitou a expansão histórica da cadeia produtiva do biodiesel. O milho tem rendimento kg/ha de 14,17% e balanço energético de 1,42:1, e o algodão tem rendimento kg/ha de 45% e balanço energético de 1,77:1. Estes também possuem alta escalabilidade de produção. O girassol é o primeiro em rendimento kg/ha (1.032), mas o dendê além de ser o segundo melhor rendimento em kg/ha (280) e o melhor balanço energético (5,6:1), gera dois tipos de óleos (o de palma do mesocarpo e o de palmiste do endocarpo), entretanto, há limitações de natureza logística quanto à sua extração e industrialização do seu óleo.

Palavras chave: Bioenergia, oleaginosas, eficiência energética, análise envoltória de dados.

ABSTRACT

Brazil to accomplish its commitments from the Conference of the Parts of the United Nations Framework Convention on Climate Change (Paris/2015 and COP/2021) established annual decarbonization targets for the fuel sector. This research analyzes the efficiency of vegetable raw materials (VRM) production, classified as fixed or triglyceride oils (soybean, corn, cotton, peanut, dendê palm, sunflower and canola) grown in different regions of the country, which integrates the production basis of biodiesel in Brazil. The data were treated under the analysis efficiency technique called Data Envelopment Analysis (DEA) with variable returns to product scale and orientation. In the estimation, the productivity was the output (kg/ha), and the inputs were the used in agricultural production, collected from april to october/2021 in the official digital platforms. Of the 23 soybean-producing municipalities, 13 obtained maximum efficiency (56% of the sample), and the achievement of efficiency by the other 10 requires a 13% decrease, on average, in MIS (machinery, interest and services) and SSFP (seeds/seedlings, fertilizers and pesticides) inputs and a 16% increase, on average, in production. Of the 19 corn producing municipalities, 06 are efficient, (31%). The achievement of efficiency by the 13 inefficient ones implies a decrease of 11%, on average, in the SSFP and MDC inputs (maintenance, depreciation and charges) and an increase of 21%, on average, in production. In the seven feather cotton producing counties, the productivity reaches 1/3 of the herbaceous cotton. The five herbaceous cotton producers are efficient, which indicates to the feather cotton producers an increase of 65 to 200% in production to reach an equal level of efficiency. In addition to production it would be necessary to eliminate gaps in all inputs by 39%, these being on average: 31% in MIS, 45% in SSFP, 22% in MDC and 13% in FR (factor rent). In the case of peanuts, 10 municipalities are efficient (37%). To reach efficiency, the other 17 municipalities need to reduce their variable inputs MIS (8% on average) and SSFP (12% on average), and increase production around 30%. In oil palm production, eight municipalities are efficient and two can achieve efficiency by reducing SSFP inputs by 11% and MDE inputs by 9%, and increasing production by 18%. In sunflower, seven municipalities are efficient and three require a 30% reduction, on average, in MJS and SSFP inputs, and a 9.5% increase in production to reach efficiency. In canola production, seven municipalities are efficient and three require adjustments in MIS (6% on average) and SSFP (25% on average) inputs, and 16% increase in production to reach efficiency. In terms of yield of the analyzed VRM's, oil palm presented the best values, 25.780 FFB (fresh fruit bunches) kg/ha, followed by corn (5,760 kg/ha) and herbaceous cotton (4,290 kg/ha). These three VRM

have the lowest costs with SSFP among the VRM analyzed, being oil palm the only VRM whose costs with SSFP are lower than the costs with BVC (both variable costs), in addition to offering two generating oils for biodiesel: palm oil and palm kernel oil. In the other VRM's the variable input costs with SSFP unbalance in different measures, but prevalently the production efficiency. The data obtained indicated that among the VRM analyzed, soy is not, from the environmental point of view, the best choice for the production of biodiesel when compared with the other VRM, because it has one of the lowest oil yields per kg/ha t (51%) and the lowest energy balance (1.3:1), but it is the VRM whose production scale enabled the historical expansion of the biodiesel production chain. Corn has a yield kg/ha t of 14.17% and an energy balance of 1.42:1, and cotton has a yield kg/ha t of 45% and an energy balance of 1.77:1. These also has high production scalability. Palm oil has the second best yield in kg/ha t (280%) and the best energy balance (5.6:1), besides generating two oils. However, there are logistic limitations to its extraction and industrialization.

Key words: Bioenergy, oilseeds, energy efficiency, data envelopment analysis.

RESUMEN

El Brasil, para cumplir sus compromisos de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (París/2015 y COP/2021) ha establecido objetivos anuales de descarbonización para el sector de los combustibles. Esta investigación analiza la eficiencia de producción de las materias primas vegetales (MPV), clasificadas como aceites fijos o triglicéridos (soja, maíz, algodón, cacahuete, palma dendê, girasol y canola) cultivados en diferentes regiones del país, que constituyen la base de la producción de biodiésel en Brasil. Los datos se trataron bajo la técnica de análisis de eficiencia denominada Análisis Envolvente de Datos (AED) con rendimientos variables a escala y orientación al producto. En la estimación, el output fue la productividad (kg/ha), y los inputs fueron los insumos utilizados en la producción agrícola, recogidos de abril a octubre/2021 en las plataformas digitales oficiales. De los 23 municipios productores de soja, 13 obtuvieron la máxima eficiencia (56% de la muestra), y el logro de la eficiencia por parte de los otros 10 requiere la disminución del 13%, en promedio, de los insumos MIS (maquinaria, intereses y servicios) y SSFP (semillas/semillas, fertilizantes y pesticidas) y el aumento del 16%, en promedio, de la producción. De los 19 municipios productores de maíz, 06 son eficientes, (31%). La consecución de la eficiencia por parte de las 13 ineficientes implica una disminución del 11%, por término medio, en los insumos SSFP y MAC (mantenimiento, amortización y cargas) y un aumento del 21%, por término medio, en la producción. En los siete municipios productores de algodón-pluma, la productividad alcanza 1/3 de la del algodón herbáceo. Los cinco productores de algodón herbáceo son eficientes, lo que indica a los productores de algodón pluma un aumento de la producción del 65 al 200% para alcanzar un nivel de eficiencia igual. Además de la producción, sería necesario eliminar las lagunas de todos los insumos en un 39%, siendo éstas de media: 31% en MIS, 45% en SSFP, 22% en MAC y 13% en RF (renta de los factores). En el caso del cacahuete, 10 municipios son eficientes (37%). Para alcanzar la eficiencia, los otros 17 municipios deben reducir sus insumos variables MIS (8% de media) y SSFP (12% de media), y aumentar la producción en torno al 30%. En la producción de palma aceitera, ocho municipios son eficientes y dos pueden alcanzar la eficiencia reduciendo los insumos de SSFP en un 11% y los de MAC en un 9%, con un aumento de la producción del 18%. En el caso del girasol, siete municipios son eficientes y tres requieren una reducción del 30%, de media, en los insumos de MAC y SSFP, y un aumento del 9,5% en la producción para alcanzar la eficiencia. En la producción de colza, siete municipios son eficientes y tres requieren ajustes en los insumos

MJS (6% en promedio) y SSFP (25% en promedio), y un aumento del 16% en la producción para alcanzar la eficiencia. En cuanto a los rendimientos de los MPV analizados, la palma aceitera presentó los mejores valores, 25.780 RFF (racimos de fruta fresca) kg/ha, seguida del maíz (5.760 kg/ha) y del algodón herbáceo (4.290 kg/ha). Estos tres MPV tienen los costes más bajos con SSFP entre los MPV analizados, siendo la palma de aceite el único MPV cuyos costes con SSFP son inferiores a los costes con MIS (ambos costes variables), además de ofrecer dos aceites generadores de biodiésel: aceite de palma y aceite de palmiste. En los otros MPV los costes de los insumos variables con el SSFP se desequilibran en diferentes medidas, pero prevalece la eficiencia en la producción. Los datos obtenidos indicaron que entre los MPV analizados, la soja no es, desde el punto de vista ambiental, la mejor opción para la producción de biodiésel en comparación con los demás MPV, ya que tiene uno de los menores rendimientos en aceite por kg/ha t (51%) y el menor balance energético (1,3:1), pero es el MPV cuya escala de producción permitió la expansión histórica de la cadena productiva del biodiésel. El maíz tiene un rendimiento kg/ha t de 14,17% y un balance energético de 1,42:1, y el algodón tiene un rendimiento kg/ha t de 45% y un balance energético de 1,77:1. También tienen una alta escalabilidad de producción. Por su parte, la palma tiene el segundo mejor rendimiento en kg/ha t (280%) y el mejor balance energético (5,6:1), además de generar dos aceites, sin embargo, existen limitaciones logísticas para su extracción e industrialización de su aceite.

Palabras clave: Bioenergía, semillas oleaginosas, eficiencia energética, análisis envolvente de datos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição das principais oleaginosas aptas à produção do biodiesel em diferentes regiões do Brasil.....	50
Figura 2 - Produção de biodiesel: reação de transesterificação	51
Figura 3 - Misturas obrigatórias de biodiesel determinadas pelo Conselho Nacional de Política Energética - CNPE – de 2008 a 2021	52
Figura 4 – Colheita nas lavouras de soja (<i>Glycine Max</i> (L) Merrill)	57
Figura 5- Colheita de milho (<i>Zea mays L.</i>) nas lavouras	59
Figura 6 – Colheita da safra de algodão (<i>Gossypium hirsutum L. var. latifolium Hutch</i>) 2021/2022	62
Figura 7 – Cultura do amendoim (<i>Arachis hypogaea L.</i>).....	65
Figura 8 – Frutos do Dendê (<i>Elaeis guineensis</i>).....	67
Figura 9 – Cultura da canola (<i>Brassica napus L. var. oleífera</i>) no Rio Grande do Sul	70
Figura 10 – Colheita de girassol (<i>Helianthus annuus L.</i>) na safra 2021.....	72
Figura 11 – Fluxograma das etapas metodológicas da análise de eficiência na produção das MPV exploradas no biodiesel no Brasil.....	83
Figura 12 – Esquema clássico dos modelos da Análise Envoltória de Dados (DEA)	86
Figura 13 – Distribuição Geográfica das matérias-primas vegetais pesquisadas aptas à produção do biodiesel em diferentes regiões do Brasil.....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção e importação de diesel e de biodiesel em (M ³) e em (%)	53
Tabela 2 - Participação das matérias-primas na produção do biodiesel no Brasil em 2019/2020.....	54
Tabela 3 – Emissões evitadas com Biocombustíveis 2019/ 2020 em (MtCO _{2eq}).....	54
Tabela 4 - Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel (B100) no Brasil – 2011 a 2020	55
Tabela 5 – Custos fixos e variáveis da produtividade da soja por município em 2021.....	90
Tabela 6 – Custos fixos e variáveis da produtividade do milho por município em 2021	93
Tabela 7 – Custos fixos e variáveis da produtividade do algodão em plumas (beneficiado) por município 2021	95
Tabela 8 – Custos fixos e variáveis da produtividade do algodão em caroço em Minas Gerais 2021.....	97
Tabela 9 – Custos fixos e variáveis da produção do amendoim por município de São Paulo 2021.....	100
Tabela 10 – Custos fixos e variáveis da produtividade da Canola por município do Rio Grande do Sul 2021	103
Tabela 11 – Custos fixos e variáveis da produtividade do dendê por município do Pará 2021	105
Tabela 12 – Custos fixos e variáveis da produtividade do girassol em 10 municípios	108
Tabela 13 – Coeficiente de Custeio da Produtividade das MPV utilizadas na produção do biodiesel no Brasil.....	110
Tabela 14 – Eficiência Básica das MPV exploradas do biodiesel no Brasil	113
Tabela 15 - A Eficiência técnica dos municípios produtores de soja em 2021	116
Tabela 16 – Racionalização dos custos para alcance da eficiência na produtividade da soja 2021.....	119
Tabela 17 - A Eficiência técnica dos municípios produtores de milho 2021	121
Tabela 18 – Racionalização dos custos para alcance da eficiência na produtividade do milho 2021.....	124
Tabela 19 - A Eficiência técnica dos municípios produtores de algodão em plumas (beneficiado) e dos municípios produtores de algodão em caroço 2021	125
Tabela 20 – Racionalização dos custos para alcance da eficiência na produtividade do algodão em plumas 2021	127

Tabela 21 - A Eficiência técnica dos municípios produtores de amendoim do Estado de São Paulo 2021.....	130
Tabela 22 – Racionalização dos custos para alcance da eficiência na produtividade do amendoim 2021	133
Tabela 23 - A Eficiência técnica dos 10 municípios maiores produtores de dendê do Estado do Pará 2021.....	134
Tabela 24 – Racionalização dos custos para alcance da eficiência na produtividade do dendê no Estado do Pará 2021	136
Tabela 25 - A Eficiência técnica dos dez maiores produtores de girassol 2021.....	138
Tabela 26 – Racionalização dos custos para alcance da eficiência na produtividade do girassol 2021.....	140
Tabela 27 - A Eficiência técnica dos 10 municípios produtores de canola do Estado do Rio Grande do Sul 2021.....	141
Tabela 28 – Racionalização dos custos para alcance da eficiência na produtividade da canola no Estado do Rio Grande do Sul 2021	143
Tabela 29 – Análise Horizontal da eficiência na produtividade (safra 2021) das MPV utilizadas para o biodiesel no Brasil 2021.....	145
Tabela 30 – Análise Vertical da eficiência na produtividade (safra 2021) das MPV utilizadas para o biodiesel no Brasil 2021	147
Tabela 31 – Resultado das estimações de cada MPV pela análise de eficiência 2021.....	149

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Rendimento e balanço energético das matérias-primas vegetais utilizadas na geração do biodiesel no Brasil	74
Quadro 2 - Estudos relacionados à produção das matérias-primas vegetais geradoras do biodiesel no Brasil	75
Quadro 3 – Estudos comparados sobre a produção das matérias-primas vegetais geradoras do biodiesel no Brasil	77
Quadro 4 – Custos variáveis e fixos de produção das matérias-primas vegetais	81
Quadro 5 – Síntese dos <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> utilizados para o cálculo da eficiência das matérias-primas vegetais	87

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Eficiência básica das MPV de diferentes regiões brasileiras exploradas para a produção do Biodiesel	114
Gráfico 2 - <i>Scores</i> de Eficiência dos municípios produtores de- Soja	117
Gráfico 3 - <i>Scores</i> de Eficiência dos municípios produtores de milho	122
Gráfico 4 - <i>Scores</i> de Eficiência dos municípios produtores de algodão em plumas (beneficiado) e do algodão em caroço	126
Gráfico 5 - <i>Scores</i> de Eficiência dos municípios produtores de amendoim de SP.....	131
Gráfico 6 - <i>Scores</i> de Eficiência dos municípios produtores de dendê no Pará	135
Gráfico 7 - <i>Scores</i> de eficiência dos municípios produtores de girassol	139
Gráfico 8 - <i>Scores</i> de eficiência dos municípios produtores de canola do RS	142
Gráfico 9 – Resultado final das estimações por MPV e municípios	150

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COP/2021 – 26ª. Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática

Paris/2015 - compromisso assumido pelas nações em 2015 na cidade de Paris para a redução da emissão de gases do efeito estufa.

MPV – Matérias-primas vegetais

DEA (*Data Envelopment Analysis*) - Análise Envoltória de Dados

Inputs – dados de entrada (insumos)

Output – dados de saída (produtos)

SMFA - sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos

MJS – máquinas, juros e serviços

MDE - manutenções, depreciações e encargos

RT – Renda de fatores

CFF - cachos de frutos frescos

Kg/ha – quilograma por hectare

PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

RENOVABIO - Política Nacional de Biocombustíveis

IC - Intensidade de Carbono

m³ - metros cúbicos

DMU's (*Decision Making Units*) – unidades tomadoras de decisão

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

MME - Ministério das Minas e Energia

MCTI - Ministério da Ciência Tecnologia, Inovações e Comunicações

GEE – gases de efeito estufa

CBIO's – créditos de descarbonização

CO₂ - dióxido de carbono ou gás carbônico emitido pelo uso de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural)

MtCO₂ - milhões de toneladas é a medida padrão utilizada para quantificar as emissões de CO₂

MtCO_{2eq} - milhões de toneladas de CO₂ equivalente de emissões evitadas relativamente ao combustível fóssil equivalente

Commodity – produto primário, cujo valor de mercado é ajustado internacionalmente

Sars-Cov-2 – síndrome respiratória aguda severa provocada pelo corona vírus

ACV - avaliação do ciclo de vida

BE – balanço energético

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas

EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural

IMamt - Instituto Mato-Grossense do algodão

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CF – Custos fixos

CFT – Custos fixos totais

CV – Custos variáveis

CVT – Custos variáveis totais

CT – Custos totais

DEAP (*Data Envelopment Analysis Program*) – Programa de Análise Envoltória de Dados

Benchmarks - referência das melhores práticas entre os concorrentes que pode ser adaptada e transformada em oportunidades para o próprio negócio

CRS (*Constant Returns to Scale*) - retornos constantes à escala

VRS (*Variable Returns to Scale*) – retornos variáveis à escala

MDA - Ministério do Desenvolvimento Agrário

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

IEA/SAA-SP - Instituto de Economia Agrícola da Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo

SAPDR-RS - Secretaria de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do Rio Grande do Sul

SEAPA-MG - Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais

SEDAP-PA - Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca do Estado do Pará

SEAPA-GO - Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Goiás

SEAB-PR - Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento do Paraná

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century)

ABRAPALMA - Associação dos Produtores de Óleo de Palma

ABRASCANOLA – Associação Brasileira dos Produtores de Canola

APROBIO - Associação dos Produtores de Biocombustíveis do Brasil

ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais

ABRAPA - Associação Brasileira dos Produtores de Algodão

PNF - Programa Nacional de Fertilizantes

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	41
2. OBJETIVOS	43
Objetivo Geral	43
Objetivos Específicos.....	43
3 REFERENCIAL TEÓRICO	45
PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel	46
RENOVABIO - A Política Nacional de Biocombustíveis.....	47
A Produção do Biodiesel no Brasil.....	49
<i>Matérias-primas vegetais exploradas na produção do Biodiesel no Brasil.....</i>	<i>55</i>
<i>A Soja.....</i>	<i>56</i>
<i>O Milho.....</i>	<i>59</i>
<i>O Algodão.....</i>	<i>61</i>
<i>O Amendoim</i>	<i>64</i>
<i>O Dendê.....</i>	<i>67</i>
<i>A Canola.....</i>	<i>70</i>
<i>O Girassol</i>	<i>71</i>
Estudos relacionados à produção de matérias-primas vegetais geradoras do biodiesel no Brasil.....	75
Estudos relacionados à Eficiência na produção de matérias-primas geradoras do biodiesel	77
4 MATERIAIS E MÉTODOS	81
Classificação da Pesquisa.....	81
Técnica Análise Envoltória de Dados (DEA)	83
Fonte e coleta de dados.....	87
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
Análise dos Custos de Produtividade da soja.....	89
Análise dos Custos de Produtividade do milho.....	91
Análise dos Custos de Produtividade do algodão em plumas (beneficiado).....	94

Análise dos Custos de Produtividade do algodão em caroço.....	96
Análise dos Custos de Produtividade do amendoim.....	99
Análise dos Custos de Produtividade da canola.....	102
Análise dos Custos de Produtividade do dendê	104
Análise dos Custos de Produtividade do girassol	106
Coefficiente Custeio da Produtividade.....	109
A Eficiência na Produção.....	112
– <i>A Eficiência Técnica da Produtividade da soja.....</i>	<i>114</i>
– <i>A Eficiência Técnica da Produtividade do milho</i>	<i>120</i>
– <i>A Eficiência Técnica da Produtividade do algodão em plumas (beneficiado) e do algodão em caroço</i>	<i>125</i>
– <i>A Eficiência Técnica da Produtividade do amendoim</i>	<i>129</i>
– <i>A Eficiência Técnica da Produtividade do dendê.....</i>	<i>134</i>
– <i>A Eficiência Técnica da Produtividade do girassol.....</i>	<i>137</i>
– <i>A Eficiência Técnica da Produtividade da canola</i>	<i>141</i>
O Panorama da análise de eficiência na produtividade das MPV exploradas para o biodiesel no Brasil.....	144
6 CONCLUSÃO.....	153
REFERÊNCIAS	157
ANEXO A - Elementos e cálculo dos custos de produção da CONAB 2021	173
ANEXO B - Elementos e efeitos dos custos de produção agrícola CEPEA (2015).....	175

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global decorrente do consumo dos combustíveis fósseis como os derivados de petróleo, o carvão mineral e o gás natural, e a possibilidade de esgotamento destas fontes energéticas, demanda a busca por combustíveis originados de fontes renováveis. Dentre os combustíveis aptos a este desafio, destaca-se o biodiesel, combustível renovável produzido a partir da biomassa. Neste contexto surgiu em 2005 o PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (SANTOS, 2012), cujo objetivo foi a implementação sustentável da produção e uso do biodiesel, tendo como matérias-primas principais as oleaginosas com ampla aptidão agrícola no Brasil (BRASIL, 2016). Somando-se ao PNPB, surgiu em 2017 o RENOABIO (Política Nacional de Biocombustíveis), que postula atender aos compromissos assumidos pelo Brasil na Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática (Paris/2015 e COP/2021), que tem como meta principal a descarbonização no setor de combustíveis visando aumentar a participação de bioenergias sustentáveis na matriz energética brasileira dos atuais 14% (EPE, 2022) para 18% até 2030, com redução de 10% da sua IC (Intensidade de Carbono).

Buscando o alcance deste marco regulatório, uma das alternativas encontradas foi o uso do biodiesel (biocombustível de origem renovável), cuja utilização contribui no desenvolvimento econômico de maneira sustentável e no alcance das metas de descarbonização.

Apesar dos avanços históricos na produção nacional do biodiesel, cerca de 6,76 milhões de m³ em 2021, tendo o óleo de soja como a matéria-prima mais explorada na sua produção (71,4% do total das matérias-primas), há diferentes matérias-primas vegetais (MPV), regionalização de insumos, formas distintas de produção, áreas de plantio e condições de cultivo que impactam de maneiras diferentes a produção. Ademais, a classificação univariável da produtividade de determinada matéria-prima não assegura que seja a mais eficiente.

De acordo com o mencionado, visando sanar estas questões relacionadas à eficiência na produção destas fontes vegetais renováveis que condicionam a produtividade, foi utilizada uma técnica que calcula a eficiência relativa entre as unidades produtivas (municípios) a partir dos seus insumos de produção, que fornece dados quantitativos sobre possíveis direções para melhorar o desempenho destas unidades.

Dentre as técnicas de análise multicriterial, adotou-se nesta pesquisa a Análise Envoltória de Dados (DEA - *Data Envelopment Analysis*) como a mais aplicável para se fazer

esta estimação por ser uma técnica amplamente utilizada nas áreas da Engenharia Agrícola, da Agronomia, da Engenharia de Produção, da Economia, da Contabilidade, da Educação, da Saúde, dentre outras.

Consiste em uma análise multivariada não paramétrica que analisa a eficiência de Unidades Tomadoras de Decisão (*Decision Making Units* – DMU's), (nesta pesquisa considera-se DMU's os municípios produtores) com base nas melhores práticas. Através da comparação entre as unidades, a DEA fornece dados quantitativos sobre possíveis direções para melhorar o desempenho das unidades ineficientes. Como produto da DEA tem-se a curva de eficiência (ou de máxima produtividade).

A vantagem do uso desta técnica consiste no fato de utilizar a eficiência relativa, sem prejuízo às unidades de pequeno porte. Assim, mais de uma unidade pode ser classificada como eficiente, compondo a fronteira de eficiência relativa e servindo como referência para a atuação das demais unidades. Nas unidades ineficientes, os fatores que contribuírem para seu baixo desempenho podem ser desmembrados sugerindo pontos específicos de atuação.

Diante disso, esta pesquisa, orientou-se pela identificação dos insumos e da produtividade das matérias-primas vegetais (MPV) oleaginosas utilizadas na fabricação do biodiesel no Brasil, com o objetivo de analisar a eficiência na produtividade destas matérias-primas vegetais por meio da Análise Envoltória de Dados.

Os resultados deste trabalho trazem uma nova perspectiva de análise e uma reflexão sobre a eficiência técnica da produtividade das oleaginosas exploradas na para o biodiesel.

2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Analisar a eficiência da produção das matérias-primas vegetais exploradas na produção do biodiesel no Brasil.

Objetivos Específicos

- i) quantificar um conjunto de indicadores de entrada (insumos), e de saída (produtividade) na produção das matérias-primas vegetais;
- ii) propor a alocação de recursos, em função da eficiência;
- iii) avaliar os pontos de ineficiência na produção das matérias-primas vegetais que possam ser melhorados;
- iv) mapear os pontos mais eficientes de produção das matérias-primas vegetais exploradas na produção do biodiesel.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com a Agência Internacional de Energia – IEA (2021), o sistema energético mundial depende substancialmente dos combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás), cuja utilização tem gerado sérios problemas ambientais. Esta agência reporta que em 2019, cerca de 81,10% da energia consumida no mundo era de origem fóssil, sendo 31,10% do petróleo e dos seus derivados, 23% do gás natural e 27% do carvão. Porém, segundo a mesma IEA (2021) a demanda por energias renováveis cresceu 3% em 2020 e deve ainda, aumentar em todos os setores-chave tais como energia, aquecimento, indústria e transporte, podendo diminuir o aquecimento global causado pela emissão dos GEE (Gases de Efeito Estufa). Estes dados refletem que a demanda por estes combustíveis fósseis é crescente nos mercados emergentes e economias em desenvolvimento, todavia a demanda por combustíveis fósseis também em maior proporção devido aos efeitos da pandemia e da guerra na Ucrânia.

Na última década muitos países têm se dedicado à produção dos biocombustíveis visando à substituição dos combustíveis fósseis. Segundo Shadidi, Najafie e Zolfigol (2022) o uso destes combustíveis no Irã por exemplo, tem causado graves problemas ambientais, pois, caso estes acabem, o país não possui alternativa eficaz para suprir suas demandas por energia. Essa constatação tem provocado esforços de pesquisa em muitas universidades iranianas sobre seus potenciais recursos de matérias-primas para a produção de biodiesel.

Segundo a *Renewables Energy Policy Network for the 21st. (REN21, 2022)* o etanol e o biodiesel forneceram 3,5% da energia global de transporte em 2020, sendo o etanol o biocombustível mais utilizado, cuja produção global aumentou em 26% de 2011 a 2021 e a produção do biodiesel duplicou no mesmo período. Ou seja, o uso do biodiesel aumentou em 100% frente ao etanol que aumentou 26% no mesmo período.

A ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2021) citou que o mercado de biocombustíveis no Brasil caracteriza-se pela produção do etanol de cana-de-açúcar e do biodiesel de soja, principalmente. Herrera (2014) em seus estudos sobre análise da governança global da sustentabilidade dos biocombustíveis e do etanol brasileiro enumerou as principais demandas associadas à definição das políticas que deram origem ao mercado de biocombustíveis, são elas:

- 1) o aumento dos preços do petróleo, ou seja, a busca pela segurança energética, por meio da redução das importações de combustíveis fósseis e da geração de energia *in loco*; e
- 2) a tentativa de beneficiar economicamente a agricultura do país, (agronegócio e a agricultura familiar), além das demandas oriundas da indústria automobilística.

As demandas mencionadas deram origem à política nacional de fomento à produção e uso do biodiesel no Brasil a partir do PNPB/2005 (Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel), cujas diretrizes nortearam as atividades neste sistema agroindustrial, desde a produção agrícola das matérias-primas até a distribuição do produto ao consumidor final. Esta política (PNPB) foi fortalecida pela RENOVABIO em 2017, a política nacional de biocombustíveis.

PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

Desde a década de 70 com o Proálcool, passando pelo Programa Nacional de Biocombustíveis (PROBIODIESEL/2002), pelo PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel - e pelo RENOVABIO – política nacional de biocombustíveis, o governo federal vem estabelecendo políticas com o objetivo de aumentar a produção e a oferta nacional de biocombustíveis.

Segundo Santos (2012) no ano de 1975 surgiu o Proálcool que estabeleceu a exigência da adição do percentual de etanol à gasolina de 4,5% em 1977, de 15% em 1979, de 22% em 1985, alcançando 25% em 1990, e atualmente encontra-se em 27% (ANP, 2021). No ano de 2003 em que ocorreu o lançamento dos carros movidos a biocombustíveis, iniciaram os estudos sobre uma política nacional de biodiesel no Brasil que culminou em 2005 com o lançamento do PNPB. O mesmo autor relatou que em 2008 o consumo do etanol se equiparou ao da gasolina e em 2011 a ANP - passou a regular e fiscalizar a produção do etanol como ação estratégica do governo.

Santos (2012) argumentou ainda que o PNPB foi um novo marco de intervenção do Estado na geração de combustíveis a partir da biomassa, que se estruturou em duas bases: a primeira foi a postura que o Estado assumiu em viabilizar estrutura básica para ampliação da capacidade produtiva de biocombustíveis no país através do financiamento da produção, das isenções fiscais, da pesquisa e redes de produção e comercialização para o biodiesel produzido a partir de várias espécies de oleaginosas, com estímulo às regiões norte e nordeste do país; a segunda foi a participação direta do governo federal no mercado de biodiesel, ao estabelecer um conjunto de normas para comercialização e consumo do produto, determinando a adição de percentuais de biodiesel no óleo diesel (fóssil) consumido no país.

De acordo com Vasconcelos & Vidal (2004), o PNPB priorizou a busca pela a soberania energética do país, a democratização do acesso aos combustíveis, a participação social na gestão do programa, e a integração com outros programas de cunho social.

O PNPB é um programa interministerial do governo federal que objetiva a implementação de forma sustentável, tanto técnica como econômica, da produção e uso do biodiesel, com enfoque na inclusão produtiva e no desenvolvimento rural sustentável, via geração de emprego e renda. As principais diretrizes do programa são:

- implantar um programa sustentável, promovendo a inclusão produtiva da agricultura familiar;
- garantir preços mínimos, qualidade e suprimento; e
- produzir o biodiesel a partir de diferentes matérias-primas, fortalecendo as potencialidades regionais (MAPA, 2022).

As diretrizes estabelecidas pelo PNPB, tornaram o biodiesel a alternativa tecnicamente mais viável para substituir o diesel fóssil, ainda que seu custo de produção e valor de mercado fossem de 1,5 a 3 vezes maior, o que diminuía sua competitividade, caso as externalidades positivas como meio ambiente, clima, geração de empregos e balanço de pagamentos não fossem consideradas.

Segundo estudo relatado pelo BIODIESELBR (2015) a inserção do biodiesel na matriz energética do Brasil, apresentava expressivas vantagens nas seguintes dimensões:

- 1) ambientais (inexistência do óxido de enxofre - causador da chuva ácida e de irritações respiratórias, e redução na emissão de CO₂ liberada no processo de combustão dos motores);
- 2) vantagens macroeconômicas (aumento da demanda por produtos agrícolas com geração de emprego e renda, produção próxima ao uso do combustível reduzindo custos com logística, e consumo interno que recupera o preço do óleo);
- 3) vantagens econômicas e financeiras (possibilidade de alcance às metas do protocolo de Kyoto, tornando o país apto ao mercado de carbono); e,
- 4) desenvolvimento regional (formação de uma cadeia competitiva do biodiesel, fortalecendo o desenvolvimento local frente ao desafio global).

RENOVABIO - A Política Nacional de Biocombustíveis

A atualização dos compromissos assumidos pelo Brasil na Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática (Paris/2015) ocorreu em 2017 com a aprovação da RENOVABIO (política nacional de biocombustíveis, Lei 13.576 de 26/12/2017) como parte da política energética nacional. Esta política tem como principais objetivos a adequação da relação de eficiência energética, redução das emissões de GEE (gases de efeito estufa), promoção da expansão da produção dos biocombustíveis e a potencialização da participação dos biocombustíveis no mercado de combustíveis.

A RENOVABIO é um marco regulatório que pauta nas metas de redução dos GEE, monitoramento e certificação dos biocombustíveis, créditos de descarbonização

(CBIO's), adições de biocombustíveis aos combustíveis fósseis, incentivos fiscais, financeiros e creditícios e as ações vinculadas ao acordo de Paris.

A ANP (2022) esclarece que a implantação desta política se condiciona à certificação da produção eficiente de biocombustíveis, a qual será conferida a partir de procedimentos e critérios que garantam a conformidade da produção ou da importação de biocombustíveis, em função da eficiência energética e das emissões de GEE. A avaliação do ciclo de vida da matéria prima é um valor atribuído por emissor primário (produtor ou importador de biocombustíveis), que representa a diferença entre a intensidade de carbono de seu combustível fóssil equivalente e sua intensidade de carbono estabelecida no processo de certificação.

A proposta de avaliação do ciclo de vida espera alcançar as metas compulsórias de redução das emissões dos GEE na matriz de combustíveis. As metas pertinentes à proposta para a comercialização de combustíveis são estabelecidas para um período mínimo de dez anos, observados os direitos do consumidor, a disponibilidade de oferta de biocombustíveis, a valorização dos recursos energéticos, a evolução do consumo nacional de combustíveis e das importações, os compromissos internacionais, e o impacto de preços de combustíveis em índices de inflação.

De acordo com Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017 a comprovação de atendimento das metas por cada distribuidor é realizada a partir da quantidade de CBIO's em sua propriedade em data regulamentar. Essa meta condiciona-se à aquisição de biocombustíveis em contratos com prazo superior a um ano, firmados com detentor do Certificado da Produção Eficiente de Biocombustíveis.

Segundo a ANP (2022) o monitoramento do abastecimento nacional de biocombustíveis servirá de base para a definição das metas anuais de redução de GEE para a comercialização de combustíveis, dos critérios para o credenciamento e Certificação de Biocombustíveis e dos requisitos para regulação técnica e econômica dos CBIO's, cuja emissão considerará o volume de biocombustível produzido, importado e comercializado. A certificação da produção ou importação eficiente de biocombustíveis (que tem validade de 4 anos) prioriza o aumento da eficiência, com base na avaliação do ciclo de vida, em termos de conteúdo energético com menor emissão GEE em comparação às emissões do combustível fóssil, que deverá ser observado pela firma inspetora credenciada por órgão competente.

Conforme a Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, ao produtor ou importador de biocombustível cuja Certificação de Biocombustíveis comprove a emissão negativa de gases causadores do efeito estufa no ciclo de vida em relação ao seu substituto de origem fóssil, poderá ser atribuído um bônus de até 20% sobre a Nota de Eficiência Energético-Ambiental.

A Renovabio é uma política que atualiza os compromissos do Brasil com a questão climática, potencializa a exploração da biomassa, oferece incentivos fiscais e estabelece operações e procedimentos objetivos para promover o aumento da participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira. Sua principal inovação está na emissão e negociação dos Certificados de Descarbonização (CBIO's) que, além de institucionalizar e promover um mercado próprio para esse ativo resume nele toda uma conjuntura produtiva, econômica, ambiental e social caracterizadora dos biocombustíveis.

A Produção do Biodiesel no Brasil

Shadidi, Najafi e Zolfigol (2022) argumentam que para a comercialização do biodiesel, várias tecnologias de fabricação devem ser concebidas e disponibilizadas para as pessoas que trabalham em sua produção, e as matérias-primas necessárias podem variar de país para país.

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis traz a classificação técnica do biodiesel (2022):

O biodiesel é um combustível renovável obtido a partir de um processo químico denominado transesterificação. Por meio desse processo, os triglicerídeos presentes nos óleos e gordura animal reagem com um álcool primário, metanol ou etanol, gerando dois produtos: o éster e a glicerina. O primeiro somente pode ser comercializado como biodiesel, após passar por processos de purificação para adequação à especificação da qualidade, sendo destinado principalmente à aplicação em motores de ignição por compressão (ciclo Diesel).

TAPANES *et al.* (2013) descreveram as principais espécies vegetais cujos óleos podem ser matéria-prima para a produção do biodiesel:

Todos os óleos vegetais, enquadrados na categoria de óleos fixos ou triglicerídicos, podem ser transformados em biodiesel. Dessa forma, poderiam constituir matéria-prima para a produção de biodiesel, os óleos das seguintes espécies vegetais: amendoim, milho, soja, polpa do dendê, amêndoa do coco de dendê, amêndoa do coco da praia, caroço de algodão, amêndoa do coco de babaçu, semente de girassol, baga de mamona, semente de colza, semente de maracujá, semente de pinhão manso, polpa de abacate, caroço de oiticica, semente de linhaça, semente de tomate, entre muitos outros vegetais em forma de sementes, amêndoas ou polpas.

De acordo com Ramos *et al.* (2017) as matérias-primas para a produção de biodiesel podem se originar de óleos e gorduras de origem animal, vegetal, fungos e microalgas ou ainda residuais.

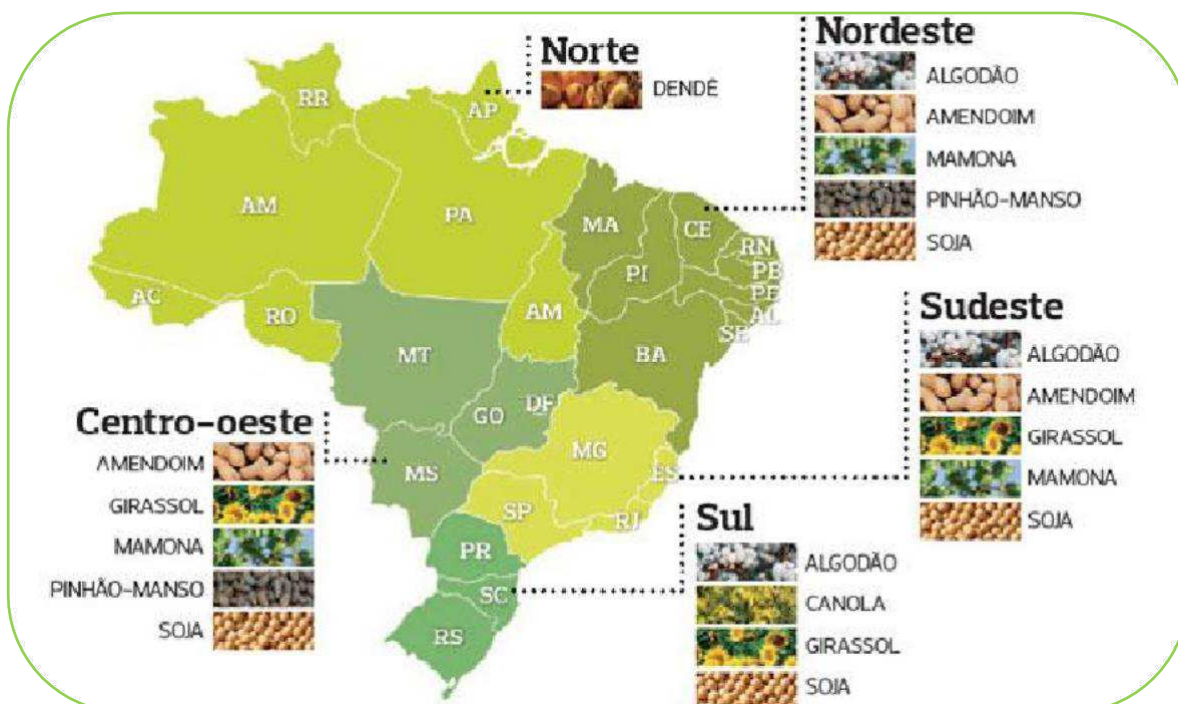
Estudos da BIODIESELBR (2015) mencionaram que o biodiesel permite que se estabeleça um ciclo fechado de carbono, ou seja, a planta (vegetal) que serve de MPV,

durante o crescimento, absorve o CO₂ e o libera quando o biodiesel é queimado na combustão do motor. Tais estudos mencionaram que o biodiesel reduz até 78% as emissões líquidas de CO₂, em 20% as emissões de enxofre, 9,8% de ácido anídrido carbônico, 35% os hidrocarbonetos não queimados, 55% os não-particulados (causadores de problemas respiratórios), e em 100% os compostos sulfurados e aromáticos (precursores do câncer e da chuva ácida).

Segundo Mishra *et al.* (2017) mais de 300 variedades de óleos já foram estudadas como matérias-primas para produção do biodiesel considerando sua viabilidade econômica e disponibilidade. Dentre estas MP mais utilizadas estão a soja, o dendê, o girassol, a canola, o algodão, o milho, o sebo bovino, o óleo de peixe, a amêndoa, a andiroba, o babaçu, o amendoim, o pequi, e a linhaça (BACENETTI *et al.*, 2017; ANP, 2021).

No Brasil, o biodiesel como fonte de energia produzida em escala industrial é considerado uma nova fonte energética, que objetiva a diversificação das oleaginosas produzidas em diferentes regiões do país (FIG. 1), e a inserção da agricultura familiar na sua produção.

Figura 1 – Distribuição das principais oleaginosas aptas à produção do biodiesel em diferentes regiões do Brasil



Fonte: Franco; Souza (2010).

O biodiesel é um combustível renovável obtido a partir de um processo químico denominado transesterificação (FIG. 2), pelo qual os triglicerídeos presentes nos óleos vegetais e gordura animal reagem com álcool, metanol ou etanol, gerando os ésteres e a glicerina (RAMOS *et al.*, 2017). O biodiesel após purificação tem a maior parte de sua produção comercializada para utilização em motores de ignição por compressão - ciclo Diesel (ANP, 2021).

Figura 2 - Produção de biodiesel: reação de transesterificação

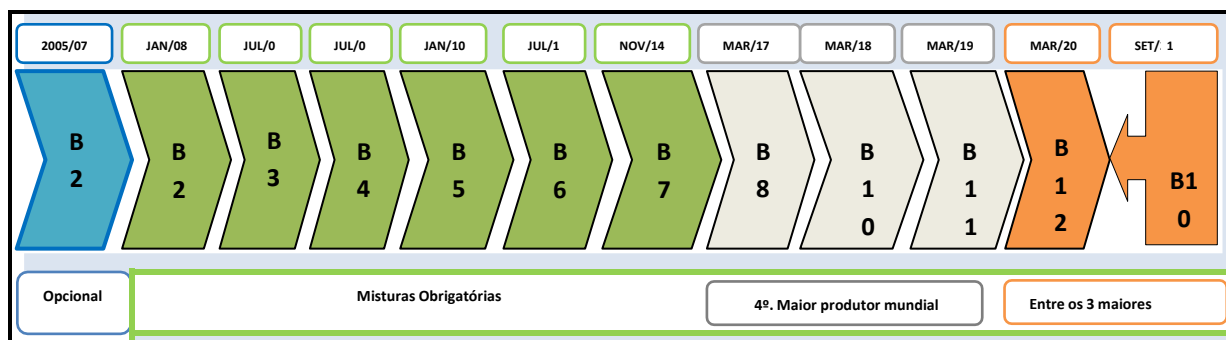


Fonte: Leoneti, Aragão-Leoneti e Oliveira (2012), modificado pelo autor.

De acordo com Leoneti, Aragão-Leoneti e Oliveira (2012), o uso da glicerina ou glicerol tem seu potencial limitado por ser uma matéria-prima que requer refinamento para seus diversos usos, dentre os quais se destacam a produção de: produtos químicos, aditivos para combustíveis, hidrogênio, etanol ou metanol, ração animal, co-digestão e co-gaseificação, tratamento de resíduos e desenvolvimento de células a combustível.

O biodiesel pode ser puro ou misturado ao diesel em diversas proporções. A mistura do biodiesel ao diesel de petróleo foi definida pela Lei nº 13.263/2016. A mistura era facultativa em 2003. Passou a ser obrigatória a partir de 2008 nos seguintes percentuais: 2% a partir de janeiro de 2008, 3% a partir de julho de 2008, 4% a partir de julho de 2009, 5% a partir de janeiro de 2010, 6% a partir de agosto de 2014, 7% a partir de novembro de 2014, 8% a partir de março de 2017, 10% a partir de março de 2018, 11% a partir de março de 2019 (FIG. 2) e 12% a partir de março de 2020 (ANP, 2022). Contudo, devido às oscilações de mercado e redefinições na política energética nacional, o percentual atual de adição obrigatória do biodiesel à mistura com o diesel fóssil encontra-se em 10%, com possibilidade de aumento para 15% até 2023 (CNPE, 2018; 2021), devido ao cronograma anteriormente estabelecido em lei.

Figura 3 - Misturas obrigatórias de biodiesel determinadas pelo Conselho Nacional de Política Energética - CNPE – de 2008 a 2021



Fonte: Oliveira e Coelho (2017), modificado pelo autor.

As adições obrigatórias, além de possibilitar ao Brasil estar entre os maiores produtores e consumidores de biodiesel no mundo (OLIVEIRA E COELHO, 2017; EPE, 2021), contribuíram para a queda nas importações e permitiram uma redução significativa na emissão de poluentes, especialmente de CO₂ (dióxido de carbono), HC (hidrocarbonetos) e materiais particulados. Garcilasso (2014) reportou que essas adições reduzem as emissões de enxofre por não o ter em sua composição, diferentemente do diesel de petróleo.

Segundo a EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2021) o Brasil está entre os três maiores produtores e consumidores de biodiesel do mundo com 49 usinas produtoras concentradas nas regiões Centro Oeste e Sul do país, atrás da Indonésia e dos EUA (17%, 14,4%, 13,7% da produção mundial respectivamente). A EPE (2021) relata ainda, que a capacidade instalada destas 49 usinas corresponde a 10,4 bilhões de litros, todavia, a produção em 2020 ficou em 62% dessa capacidade. Destaca, além disso, que no ano de 2019, foram consumidos 5,9 bilhões de litros de biodiesel no Brasil, o que representou um aumento de 11,3% em relação a 2018, e 6,4 bilhões de litros em 2020, acréscimo de 10% em relação a 2019.

O crescimento da produção e o aumento da adição do biodiesel ao diesel fóssil influenciaram na queda da importação líquida de diesel (TAB. 1). Entretanto, há potencial para o aumento da participação deste biocombustível na economia devido à amplitude de biomassas disponíveis, às pesquisas em andamento e à capacidade ociosa, representando em torno de 38%, nas usinas produtoras.

Tabela 1 – Produção e importação de diesel e de biodiesel em (M³) e em (%)

Ano	Produção de diesel	Importação Líquida de diesel	Produção de biodiesel	Produção de diesel	Importação Líq. de diesel	Produção de biodiesel
				(M ³)		
2008	41.134.038	4.272.609	1.167.128	88%	9%	3%
2009	42.898.667	1.505.482	1.608.448	93%	3%	3%
2010	41.429.263	7.461.713	2.386.399	81%	15%	5%
2011	43.388.313	8.223.058	2.672.760	80%	15%	5%
2012	45.504.004	7.178.583	2.717.483	82%	13%	5%
2013	49.539.186	9.253.367	2.917.488	80%	15%	5%
2014	49.675.057	10.338.797	3.422.210	78%	16%	5%
2015	49.457.609	6.172.222	3.937.269	83%	10%	7%
2016	45.369.807	7.086.011	3.801.339	81%	13%	7%
2017	40.581.202	12.268.465	4.291.294	71%	21%	8%
2018	41.880.465	10.221.057	5.350.036	73%	18%	9%
2019	40.914.849	12.407.590	5.923.868	69%	21%	10%
2020	42.215.122	11.678.965	6.432.037	70%	19%	10%

Fonte: EPE (2021).

Nos treze anos descritos (TAB. 1) a produção volumétrica do biodiesel aumentou em seis vezes e passou de 3% para 11% sua participação no mercado do biodiesel no Brasil. De 2008, quando as adições passaram a ser obrigatórias, até 2010 esta participação se estabilizou, aumentou e se estabilizou novamente de 2011 a 2014, e voltou ao crescimento sucessivo de 2015 a 2020.

A produção de biodiesel se concentra nas regiões Sul (45,5%) e Centro-Oeste (36,9%) do país, em função da abundante disponibilidade das principais matérias-primas (soja e sebo), embora o maior volume de vendas/consumo se concentre na região Sudeste, que produz 7,9%, a região Nordeste 7,4% e a região Norte 2,3% (EPE, 2021).

Do biodiesel consumido em 2019, 3,7 bilhões de litros foram produzidos a partir do óleo de soja, o que equivale a um crescimento de 8% entre janeiro e dezembro de 2019 (ANP, 2021).

A composição da biomassa como fonte geradora do biodiesel em 2020 foi resumidamente: soja (71,4%), gordura bovina (9%), materiais graxos (11,2%), gordura suína (2%), fritura (1,6%), dendê (2,5%), algodão (1,6%), e frango (0,6%) (TAB. 2).

Tabela 2 - Participação das matérias-primas na produção do biodiesel no Brasil em 2019/2020

Matérias-primas	2019 (%)	2020 (%)	2020/2019 (%)
Soja	67,8%	71,4	5,30
Gordura bovina	11,4%	9,0	(21,05)
Materiais graxos	11,4%	11,2	(1,75)
Gordura suína	1,9%	2,0	0,50
Fritura	1,6%	1,2	(25,00)
Dendê	2,0%	2,5	25,00
Algodão	1,1%	1,6	45,45
Frango	0,6%	0,6	0,00

Fonte: EPE (2021).

O óleo de soja figurou como o insumo mais importante para a produção de biodiesel no biênio acima (67,8% e 71,4% dos insumos), seguido pelo sebo bovino e outros materiais graxos (empatados, mas com participação em queda). Entretanto, o dendê e o algodão tiveram os maiores aumentos e mais que proporcionais aos aumentos da soja, (25%, 45,45%, 5,30% respectivamente) (ANP, 2021). Essa constatação restabelece aos pesquisadores e produtoras o desafio pela busca da diversificação das MP exploradas na produção do biodiesel.

Segundo RAMOS *et al.* (2017) o uso da biomassa brasileira contribuiu de forma decisiva na redução das emissões de GEE (gases de efeito estufa) na atmosfera. Nos biocombustíveis líquidos, as emissões evitadas pelo uso de etanol e biodiesel, em comparação aos seus equivalentes fósseis (gasolina e diesel), somaram 69,6 MtCO₂¹ em 2019 e 64,9 MtCO₂ em 2020, e a bioeletricidade dos resíduos da cana também contribuiu para a redução das emissões de CO₂. Na geração desses três tipos de bioenergia foram evitadas emissões totais de 72,3 MtCO₂ em 2019 e 67,3 em 2020 (TAB. 3).

Tabela 3 – Emissões evitadas com Biocombustíveis 2019/ 2020 em (MtCO_{2eq}).

Biocombustível	2019	2020	2020/2019 (%)
Etanol Hidratado	26,0	22,0	(15,38)
Etanol Anidro	27,1	24,8	(8,48)
Biodiesel	16,5	18,1	9,69
subtotal	69,6	64,9	(6,75)
Bioeletricidade	2,8	2,4	(13,28)
Total	72,3	67,3	(7,33)

Fonte: EPE (2021).

¹ Milhões de toneladas é a medida padrão utilizada para quantificar as emissões de CO₂.

No relatório de Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis 2017, a EPE (2018) relatou que o aumento da produção e adição de maiores teores de biodiesel ao diesel fóssil requer a diversificação das matérias-primas em cultivos com maior rendimento da produtividade por área, pela escala de produção, e na apropriação máxima dos custos, o que pode propiciar a queda no preço final do produto e favorecer sua competitividade. Para tanto, outras culturas além da soja e da gordura animal devem ser objetos de pesquisa e desenvolvimento agrícola. Todavia, é preciso uma avaliação técnico-econômica da eficiência dos insumos aplicados na produção das matérias-primas, cujos resultados possam contribuir nesse sentido.

As matérias-primas mais utilizadas na produção do biodiesel de 2011 a 2020 foram o óleo de soja, a gordura animal (em queda 2019/2020), o óleo de algodão (em ascensão 2019/ 2020), e outros materiais graxos, dos quais se destacam o óleo de milho, o óleo de palma, o óleo de amendoim, o óleo de nabo forrageiro, o óleo de girassol e o óleo de palmiste (TAB. 4).

Tabela 4 - Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil – 2011 a 2020

Matérias-primas	Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel (B100) (m ³) 2011 – 2020										20/19 %
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Total	2.682.178	2.677.384	2.790.766	3.327.898	3.773.016	3.715.680	4.221.104	5.346.754	6.035.126	6.503.916	7,77
Óleo de soja	2.170.198	2.050.371	2.123.488	2.573.331	2.960.687	2.828.765	2.964.246	3.743.316	4.093.319	4.644.045	13,45
Óleo de algodão	99.646	119.093	62.763	71.350	73.125	39.402	12.715	48.487	66.879	109.387	63,56
Gordura animal ¹	361.123	454.627	549.850	640.454	687.992	620.181	715.273	862.505	831.168	737.547	-11,26
Outros ²	51.210	53.294	54.665	42.763	51.213	227.332	528.870	692.446	1.043.759	1.012.937	-2,95

Fonte: ANP (2021).

¹Inclui gordura bovina, de frango e de porco.

²Inclui óleo de palma (dendê), óleo de amendoim, óleo de nabo-forrageiro, óleo de girassol, óleo de canola, óleo de milho, óleo de palmiste (dendê), óleo de fritura usado e outros materiais graxos.

3.3.1 Matérias-primas vegetais exploradas na produção do Biodiesel no Brasil

De acordo com Parente (2003), no Brasil são cultivadas diversas espécies de oleaginosas que possuem potencial para serem utilizadas como matéria-prima na produção do biodiesel, tais como a soja, a mamona, o girassol e o milho. Destas e de outras espécies vegetais, o óleo nelas contido é o coproduto explorado pela indústria do biodiesel.

A viabilidade de uma matéria-prima para a produção do biodiesel depende da sua competitividade tanto técnica quanto econômica e socioambiental, levando-se em conta fatores como: o teor de óleo vegetal e seu processo de extração, a produtividade por área, os diferentes sistemas produtivos, sua escala de produção, e o ciclo de vida da planta.

Na Tabela 4 encontram-se as matérias-primas exploradas na produção do biodiesel no Brasil. Segundo a ANP (2021) a soja é a principal matéria-prima para a produção de biodiesel, equivalendo a 71,4% do total, com um aumento de 5,30% em 2019/2020. A segunda maior quantidade destas matérias-primas (outros materiais graxos) inclui o óleo de palma, óleo de amendoim, óleo de nabo-forrageiro, óleo de girassol, óleo de canola, óleo de milho, óleo de palmiste, óleo de fritura usado e outros que equivalem a 15,6% do total (apesar da queda de 3% 2019/2020), seguido 11,3% de gordura animal, (que decresceu 11,26% 2019/2020), e 1,7% óleo de algodão (que aumentou de 63,56% 2019/2020).

No Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo 2020, a ANP (2021) relatou que no período de 2011 a 2020 as matérias-primas vegetais que estiveram na base de produção do biodiesel foram: o óleo de soja, o óleo de algodão, o óleo de palma (dendê), o óleo de palmiste (dendê), o óleo de amendoim, o óleo de nabo forrageiro, o óleo de canola, o óleo de girassol e o óleo de milho. Cabe ressaltar que o nabo forrageiro não se incluiu na amostra deste estudo, devido a inexistência de dados dessa cultura acessíveis nos órgãos públicos e no setor produtivo.

A Soja

Conforme a Embrapa Soja (2021) a soja (*Glycine Max* (L) Merrill) cultivada no Brasil para a produção de grãos, é uma planta herbácea, possui folhas trifolioladas, flores de fecundação autógama que se desenvolvem levemente arqueadas e evoluem da cor verde para amarelo-pálido, marrom-claro, marrom ou cinza pálido, e que podem conter de uma a cinco sementes lisas, elípticas ou globosas, de tegumento amarelo, com hilo preto, marrom ou amarelo-palha.

Segundo Nepomuceno, Farias e Neumaier (2021) a estatura das plantas varia de acordo com as condições do ambiente e da variedade (60 a 110 cm), o que facilita a colheita mecânica, e quanto ao seu florescimento, é considerada uma planta característica de dias curtos, o que possibilitou ao Brasil sua tropicalização (FIG 3). Os mesmos estudiosos explicaram que as cultivares brasileiras de soja são classificadas em grupos de maturação

(GM), com base no seu ciclo, variando de acordo com a região geográfica, oscilando de 101 a 110 dias em MG até 138 a 145 no semiárido.

De acordo com a CONAB (2021) no relatório de Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2021/2022, a soja é a cultura mais difundida no país, com oferta perene, cadeia produtiva historicamente consolidada e tecnologicamente moderna, cultivada em todas as regiões brasileiras. Segundo a EPE (2021) o Brasil é o maior produtor mundial de soja em produtividade global e área plantada. Em 2020 foram produzidos no Brasil 9,6 milhões de toneladas de óleo de soja (15% da produção total de soja: 63,3 milhões de toneladas), dos quais 1,1 milhão de toneladas foram exportados, e 8,5 milhões de toneladas foram para o consumo interno, dos quais 4,2 milhões de toneladas foram usados para a produção do biodiesel.

Figura 4 – Colheita nas lavouras de soja (*Glycine Max* (L) Merrill)



Fonte: Agência Brasil (2022)

A soja é uma MP abundante nas regiões Sul e Centro Oeste do Brasil, cuja trajetória ao longo dos últimos anos, mostra a tendência de que permaneça por um longo período em destaque entre os insumos usados na produção do biodiesel, embora já se observe outras matérias-primas emergindo neste mercado, como ocorre com o dendê (EPE, 2021).

A ANP (2021) reportou que cerca de 80% do grão da soja é constituído de farelo, do qual cerca de 45% é proteína, altamente utilizada na produção de ração animal, e o restante (20%), se constitui de óleo como coproduto, que possui múltiplos usos, como: alimentação humana; biodiesel; uso farmacêutico e aplicações industriais. Devido à sua oferta ampla no

mercado, a soja é a MP mais utilizada na produção do biodiesel, ocupando 71,4% da produção brasileira, que aumentou em 5,30% no período de 2019/2020.

Apesar da sua importância para o mercado de biodiesel, a soja é ainda mais aplicada nas demandas por farelo proteico, destinado à alimentação de galinhas, porcos e gado para a produção de carne, ovos e leite, cuja procura, embora estável nos últimos anos, cresce nos países emergentes.

De acordo com Luz, Mainier e Monteiro (2015) a quantidade de óleo possível de ser extraída é o fator determinante para a viabilidade da matéria-prima. Estes pesquisadores argumentaram ainda que oleaginosas que armazenam maiores quantidade de óleo são preferidas na indústria do biodiesel, uma vez que o seu emprego pode reduzir o custo de produção. Neste sentido, a soja entra na contramão dessa viabilidade, pois sua capacidade de armazenamento de óleo é baixa quando comparada a outras matérias-primas, não se constituindo como melhor opção com relação ao rendimento de óleo, uma vez que seu rendimento de óleo é de 560 kg/ha ou de 18-21% de quantidade de sementes. No entanto, para Ramos *et al.* (2017), a disponibilidade da soja e cultivo em larga escala a classifica como a principal fonte de óleo para a produção de biodiesel, que surgiu como um subproduto do processamento da soja para a produção e rapidamente tornou-se um dos líderes no mercado mundial de óleos vegetais. Portanto, foi à grandeza deste agronegócio no Brasil, que a soja ofereceu as bases para o desenvolvimento do PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel.

Ademais, trata-se ainda de uma *commodity* de fácil negociação e disputada em virtude do baixo número de produtores em escala no mundo (basicamente Brasil, Argentina e Estados Unidos), do número limitado de exportadores e da quantidade de compradores em quase todos os países (OLIVEIRA & COELHO, 2017).

Conforme a ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (2021), a capacidade de processamento da soja é de 63,3 milhões de toneladas anuais, mas de qualquer forma, a legislação privilegia a exportação do grão, o que provoca ociosidade na indústria. Esta associação menciona que entre 2008 e 2020 a produção de óleo de soja aumentou 53%, taxa de crescimento inferior ao aumento do volume destinado à obtenção do biodiesel, que aumentou cerca de 431% no mesmo período (de 0,8 milhão para 4,2 milhões de toneladas), com redução de 50% na exportação do óleo de soja.

Segundo Luz, Mainier e Monteiro (2015), embora a soja seja a escolha para a produção do biodiesel nacional, ela não é a que apresenta o melhor rendimento anual de óleo em tonelada por hectare (0,2–0,6 t/ha), pois, existem outras oleaginosas que podem apresentar até o dobro ou mais desse rendimento. Entretanto, outro fato a considerar para esta escolha é o

preço do óleo de soja refinado, que é mais barato que os óleos de outras oleaginosas, cujo custo pode chegar ao dobro.

Contudo, diante dos últimos levantamentos acerca da disponibilidade da soja, Costa e Pereira (2020) aludiram que a busca por outras culturas que contribuam para a produção de biocombustíveis de forma sustentável é uma necessidade, tendo em vista que a extensão territorial do Brasil e sua diversidade climática oferecem potencial para produção de matérias-primas mais baratas.

O Milho

O milho (*Zea mays L.*) é uma gramínea pertencente à família *Poaceae*, cuja domesticação produziu uma planta com ciclo de 3-5 meses (duas safras anuais no Brasil), robusta e ereta, de um a quatro metros de altura com produção de cerca de 600 a 1.000 sementes similares (grãos) àquela da qual se originou (EMBRAPA, 2015).

De acordo com a Associação Brasileira de Milho e Sorgo (2020) o desenvolvimento do milho é limitado pela água, pela temperatura e pela radiação solar, ou luminosidade, podendo se adaptar a diferentes sistemas de produção, em programas de rotação e sucessão de culturas em plantio direto, envolvendo ou não sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, além disso, a cultura do milho necessita que a temperatura, a precipitação pluviométrica e o foto período, atinjam níveis ótimos, para que o potencial genético de produção se maximize. A Embrapa (2015) relatou que apesar do alto potencial de produção, seu rendimento no Brasil, pode ser melhorado mesmo com os híbridos simples (FIG 4).

Figura 5- Colheita de milho (*Zea mays L.*) nas lavouras



Fonte: Jornal Boa Vista (2019).

Dantas (2006) esclareceu que o milho é uma planta pertencente à família das gramíneas e provavelmente é o grão mais antigo cultivado nas Américas, onde seu uso faz parte da dieta humana e da ração animal, sendo tolerante a várias condições ambientais, e adaptado a vários ambientes territoriais, a vários climas, várias altitudes e diferentes estações de crescimento.

Na estimativa do escoamento das exportações do complexo soja e milho pelos portos nacionais safra 2016/17, a CONAB (2017) relatou que a cultura do milho se encontrava amplamente disseminada no Brasil, devido às novas tecnologias no plantio, à expansão de áreas plantadas, ao aumento da produtividade, múltiplos usos na propriedade rural e à tradição de cultivo desse cereal pelos agricultores brasileiros. A produção nacional do milho está estabelecida nas regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste, mas se concentra em volume no Mato Grosso e Goiás (EPE, 2021).

No relatório de Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2021/2022, a CONAB (2021) mencionou que os maiores produtores mundiais de milho são os Estados Unidos, a China e o Brasil, este é o segundo maior exportador de milho do planeta, cuja lavoura se voltava para o abastecimento interno, que ainda cresce impulsionada, principalmente, pela formulação da dieta de aves e suínos. A CONAB (2021) explica também que o excedente de produção no ano-safra 2011/2012 potencializou as exportações e atualmente, o Brasil desempenha um papel importante como fornecedor do grão, especialmente na entressafra dos Estados Unidos (que tem destinado parte da sua colheita do milho para produção de etanol). Foram exportadas mais 130 mil toneladas do grão em abril de 2021, cujos principais destinos foram: Japão, Irã, Vietnã, Coreia do Sul e Egito.

Souza *et al.* (2018) explicaram que na última década, a cultura do milho no Brasil teve grande incremento de produtividade, 56% nos últimos anos. A produção do grão em 2018 foi de 82.366.531 toneladas em 16.548.228 hectares e rendimento médio de 5.108 kg/há. Em 2020 a produção foi de 103.963.620 toneladas em 18.351.075 hectares, um rendimento médio de 5.695 kg/ha (IBGE, 2021) equivalente a um aumento de 11,50% no rendimento kg/ha de 2018/2020.

No Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020, a ANP (2021) informou que, da produção do milho é retirado o óleo que dentre outras finalidades, é destinado à produção de biocombustíveis, com destaque para o etanol e o biodiesel, e que a produção nacional de etanol de milho quase duplicou de 2019/2020, alcançando 2,4 bilhões de litros em 2020, um aumento de 82%, cuja tendência é de

crescimento (CONAB, 2021). Particularmente, o etanol proveniente do milho teve um crescimento exponencial de 2013 a 2020, partindo de 10,5 milhões de litros para 2.415,3 milhões de litros (ANP, 2021).

Hyppolito *et al.* (2021) esclareceram que o milho tem apresentado grande potencial para a produção de biodiesel por causa das características do seu óleo e da sua produção em larga escala no cenário nacional com crescimento exponencial no Brasil, ou seja, seu processo de produção está amplamente difundido nacionalmente. O milho pode alcançar de 8 a 10% de teor óleo no grão, com 61 - 78% referente ao conteúdo de amido e 6 - 12% referente ao conteúdo de proteína (DANTAS, 2006).

Apesar do expressivo rendimento em grãos que oscila entre 5.700 kg/ha a 3.254 kg/ha, o potencial de óleo gira em torno de 180-360 kg/ha e o rendimento do óleo em 6,5% (PEQUENO, 2010). Segundo Santos *et al.* (2012), em geral os grãos de milho apresentam de 3,5 a 7% de óleo.

De acordo com Souza *et al.* (2018) o cultivo do milho vem ganhando espaço e se apresenta como um dos principais segmentos econômicos do agronegócio brasileiro, sendo o segundo grão mais cultivado e exportado, perdendo apenas para a soja. Além disso, o cereal é o principal componente para a produção de ração animal, voltado para um dos principais segmentos do comércio exterior, a cadeia produtiva de carne animal, e integra as matérias-primas vegetais geradoras de biocombustíveis.

O Algodão

Varão *et al.* (2018) em sua pesquisa sobre o Óleo de Algodão como Matéria-Prima para a Indústria Brasileira de Biodiesel, explanaram que no Brasil prevalece o cultivo do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum L. var. latifolium Hutch*), de ciclo anual, cerca de 90% da produção nacional (FIG 5).

A Embrapa Algodão (2014) informou que o algodão é cultivado para a extração da fibra (destinada ao mercado têxtil) e do óleo da semente (utilizado na indústria alimentícia e na indústria do biodiesel), cujo cultivo pode variar de 130 a 220 dias entre as fases vegetativa, reprodutiva, de maturação e colheita. A mesma empresa explica ainda que o algodoeiro é uma planta perene e complexa, com sensibilidade às condições ambientais adversas, e que a temperatura tem alta influência sobre seu desenvolvimento da planta, que reage à umidade e pouca água delimitando a produtividade, embora se adapte bem em

condições semiáridas. Portanto, o estresse hídrico e a irrigação afetam a eficiência nutricional e o crescimento, embora o algodão mostre um elevado grau de tolerância em comparação com outras culturas, por causa de seus mecanismos, como o crescimento das raízes, a regulação osmótica e a perda seletiva do fruto.

Figura 6 – Colheita da safra de algodão (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch) 2021/2022



Fonte: ABRAPA (2022)

Azevedo (2017) relatou que o óleo de algodão é matéria-prima viável para produção de biodiesel devido ao seu baixo custo no mercado, sua alta disponibilidade e sua condição de subproduto (derivado de semente rica em óleo e proteínas), além da necessidade de se buscar e se desenvolver novas fontes de matérias-primas, diante da prevalência do óleo de soja na geração do biodiesel nacional.

Oliveira e Coelho (2017) esclareceram que o óleo de algodão é a terceira matéria-prima mais utilizada para a produção de biodiesel no Brasil e apresenta um custo menor que o do óleo de soja. Todavia, a alta escala produção da soja, cultivada em quase todo o país, possibilita que seu óleo tenha um preço mais atrativo no mercado.

Relatórios de acompanhamento da safra brasileira emitidos pela CONAB (2021) informaram que a estimativa da produtividade média do algodão em caroço foi de 2.506 kg/ha, e do algodão em pluma foi de 1.719 kg/ha na safra 2020/2021 no Brasil, em área total plantada estimada em 1.370,6 mil hectares, resultando numa produção estimada em 3.434,4 mil toneladas (em grãos) de algodão em caroço e 2.355,7 mil toneladas de algodão em pluma,

cujas principais regiões produtoras estão concentradas na região Centro-Oeste (MT e GO) e no oeste baiano, com aproximadamente 85% da área plantada, 57% da produção nacional de algodão em caroço.

O Brasil exportou em 2020, 2,12 milhões de toneladas de algodão em pluma, 31,7% a mais que 2019. Os principais destinos foram a China (29%), Vietnã (17%), Paquistão (12%), Turquia (12%), Bangladesh (10%) e Indonésia (10%). A produção brasileira de algodão 2019/20 foi estimada em 3 milhões de toneladas (recorde histórico) que permitiu ao Brasil ampliar sua oferta, apesar da redução (em 2020/2021) de 8,8% de hectares plantados em relação ao período anterior, devido à retração provocada pela pandemia do Sars-Cov-2 (CONAB, 2021).

De acordo com Pinto (2021), o cultivo do algodão é orientado à produção da fibra (40% da planta), cujo caroço (60% da planta) aberto, após a remoção da pluma, libera o grão para a extração do óleo, que serve de matéria-prima para a indústria de óleos e gorduras. Os subprodutos resultantes do processamento do caroço são utilizados como rações balanceadas.

O caroço de algodão é um subproduto ofertado no mercado brasileiro, em que 90% do produto disponível são direcionados para extração de óleo e fabricação de farelo, e os outros 10% são utilizados na dieta de ruminantes (GUIMARÃES JÚNIOR *et al.*, 2008).

Segundo Muñoz *et al.* (2012) quanto à razão produtividade agrícola / produtividade de óleo por hectare, o caroço de algodão apresenta 15% de teor de óleo (considerado relativamente baixo diante de outras oleaginosas) e produção de óleo entre 0,1 e 0,2 t /ha ano. Rashid *et al.* (2009) argumentaram que as propriedades físico-químicas do caroço de algodão são análogas às dos principais óleos vegetais que contém triglicerídeos heterogêneos como o óleo de soja, no que tange aos tipos e à concentração de ácidos graxos (SANTOS, 2010).

No Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020, a ANP (2021) relata que o óleo de algodão está entre as principais matérias-primas que compõem a cadeia produtiva do biodiesel no Brasil desde 2011. Apesar de ser o terceiro insumo mais utilizado dentre as matérias-primas geradoras do biodiesel, sua participação é pequena quando comparada ao óleo de soja e ao sebo bovino. No mesmo anuário consta que em 2020, o óleo de algodão representou 1,70% do total de biodiesel produzido no Brasil, atrás da gordura animal (11,34%) e do óleo de soja (71,40%).

No processo de extração do óleo resultam-se importantes subprodutos: o farelo (obtido por processos químicos e físicos) e a torta (prensagem), que podem ser utilizados

como suplementação proteica na alimentação animal e humana, após tratamentos. Ademais, na entressafra da soja há maior oferta do algodão, possibilidade de duas culturas diferentes em um mesmo terreno, cumulando a produtividade (VARÃO, 2018).

Segundo Pinto (2021), embora seja mais barato, tenha disponibilidade, características físico-químicas equivalentes ao óleo da soja e produção perene, o óleo de algodão apresenta impurezas que exigem um pré-tratamento específico, o que aumenta os custos na industrialização do biodiesel. Sua produtividade média de biocombustível gira em torno de 160 l/t (CODEVASF, 2009 *apud* VARÃO, 2018), aproximadamente 12 quilos de caroço para um litro de óleo (ROYO, 2010). Nesse sentido, há necessidade do desenvolvimento de cultivares com maior teor de óleo, bem como melhorias no seu processo de extração a fim de enfrentar o desafio de novas matérias-primas com maior rendimento para a indústria do biodiesel.

Diante da retomada do crescimento do mercado consumidor e da possibilidade de sua expansão, impulsionado pela obrigatoriedade de adição do biodiesel ao diesel, o óleo de algodão é uma matéria-prima que permite a ampliação da diversificação de matérias-primas e a expansão da cadeia produtiva de biodiesel no país (PINTO, 2021).

O Amendoim

A Embrapa (2022) informa que o amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é botanicamente dividido em duas subespécies e seis variedades, por ser formado a partir da combinação de dois conjuntos completos de cromossomos (genomas) de duas espécies diferentes, e sua classificação agrônômica, é baseada em critérios reprodutivos e vegetativos. O amendoim apresenta facilidade de desenvolvimento e melhor desempenho em solos bem drenados, férteis e de textura arenosa para a penetração dos esporões no solo, cujo sistema radicular é extenso e ramificado, com raiz pivotante em ramificações laterais, o que propicia rápido crescimento inicial. A mesma empresa brasileira de pesquisa agropecuária esclarece que a maior concentração de raízes é encontrada nos primeiros 25 cm, tornando essencial para o bom desenvolvimento radicular a correção química do solo, visto que quanto maior o crescimento radicular maior será a tolerância ao déficit hídrico e o acesso aos nutrientes (FIG 6).

Figura 7 – Cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.)



Fonte: Instituto Agronômico de Campinas (2022).

O amendoim é uma oleaginosa do grupo das castanhas, nozes e avelãs, composto de gorduras boas como o ômega-3 que diminui inflamações no corpo e protege o coração. Seu cultivo ocorre em várias regiões do mundo, e se apresenta como matéria-prima relevante à fabricação de biodiesel, pois o rendimento da soja gira em torno de 20% de óleo no grão para fabricação deste biocombustível, enquanto que o rendimento do amendoim está em 50%, portanto, 30% mais rentável. De acordo com o Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PARANÁ, 2020), o amendoim apresenta quantidades de óleo entre 40% e 56%, sendo muito rico em lipídios (46,35%) e proteínas (24,61%) (FLORIEN, 2021).

Segundo Nunes *et al.* (2021), o amendoim representa uma matéria-prima promissora para a produção de biodiesel por apresentar maior teor de óleo (40-60%) quando comparado ao teor de óleo de outras matérias-primas. Todavia, considerando que a maior parte da produção do amendoim é destinada ao setor alimentício, é importante otimizar o processo de extração do seu óleo visando reduzir custos, de modo a viabilizar a comercialização do biodiesel do óleo de amendoim.

Na extração do óleo dos grãos vegetais empregam-se solventes orgânicos ou por prensagem (extração mecânica), este último processo gera produção em menor quantidade que o primeiro. O amendoim poderá ser a principal matéria-prima do biodiesel quando a qualidade do seu óleo prevalecer em detrimento da quantidade das matérias-primas disponíveis (COSTA, 2010).

A Embrapa (2015) noticiou que a alta demanda do setor produtivo e a expansão e transformação tecnológica para a produção de biodiesel, tem aumentado substancialmente a produção do amendoim nos últimos anos, além de que, o aproveitamento do seu óleo no processo de extração é mais rentável que o da soja, tornando-o mais efetivo no preparo de biodiesel.

Segundo Barbosa *et al.* (2014), o cultivo do amendoim tem elevados custos com os defensivos agrícolas justificado por ser a cultura susceptível a pragas (*Tripes sp.*) e doenças (*Cercospora spp.*), embora seja uma opção economicamente viável, desde que o produtor possua estrutura para implantação, condução e colheita, pois, exige além de bom conhecimento técnico da cultura, maquinários especializados e condições climáticas favoráveis ao cultivo.

No Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2021/2022, A CONAB (2021) relatou que a área total nacional de amendoim (considerando-se as duas safras) atingiu 165,6 mil ha na safra 2020/2021 com estimativa de atingir 171,4 mil ha na safra 2021/2022. A produção alcançou 596,6 mil toneladas em 2020/2021 com estimativa de atingir 623 mil toneladas na safra 2021/22. A produtividade foi de 3.640 kg/ha em 2020/2021 com estimativa de chegar a 3.634 kg/ha na safra 2021/2022.

Os maiores produtores são o Estado de São Paulo (92% da produção nacional), Minas Gerais (3,3%) e Mato Grosso (1,3%) das 595, 4 mil toneladas produzidas em 2021 (SEAPA-MG, 2022).

O amendoim é conhecido pela sua tolerância a diversas espécies de pragas, contribui para diminuir a quantidade dessas infestações nas áreas plantadas, cujo cultivo é conduzido principalmente em rotação com a cana-de-açúcar e pastagens. As principais cidades produtoras de amendoim são Ribeirão Preto, Dumont, Jaboticabal, Sertãozinho, Tupã e Marília (SP) (CONAB, 2021), onde o cultivo prevalente é realizado em áreas arrendadas, em esquemas de sucessão e rotação, principalmente, para reforma de canaviais. Nesse caso, a rotação com amendoim durante a entressafra é escolha viável, pois além de rentável, as terras que ficariam ociosas mantêm a sua produtividade (NUNES *et al.*, 2021). Cerca de 80% da colheita é destinada às exportações (a maior parte para os países europeus) e o restante é consumido internamente pelas indústrias de doces (CONAB, 2021).

Suassuna *et al.* (2014) argumentaram que, considerando as oleaginosas anuais cultivadas em diversas regiões do Brasil, o amendoim é a que apresenta maior potencial de produção de óleo por área, especialmente na região Nordeste, em média 45% de óleo nos grãos.

De acordo com Smiderle (2014), os cultivos do amendoim no Brasil atendem diferentes mercados, incluindo a comercialização de vagens e sementes “*in natura*” no mercado interno, para a indústria de alimentos e a extração de óleo. O amendoim “*in natura*”, processado industrialmente, proporciona uma série de produtos e subprodutos, o que estabelece sua importância também socioeconômica.

O Dendê

Ferold, Cremonez e Estevam (2014) relataram que o dendê (*Elaeis guineensis*) é o fruto do dendezeiro, uma palmeira que pode chegar a 15 m de altura, do qual se extrai o óleo de dendê ou óleo de palma, e o óleo de palmiste. Os seus tratamentos culturais no campo ocorrem em cinco etapas: 1) o coroamento que consiste em eliminar plantas daninhas do seu entorno; 2) a roçagem que ocorre periodicamente nos primeiros anos, para eliminar a vegetação nas entrelinhas, 3) a adubação, a qual se subdivide em três fases, sendo estas: análise do solo e de seus nutrientes; análise foliar que estabelece o nível nutricional da palma; e análise experimental de adubação, que demonstra a confluência do tipo de solo com as condições ambientais; 4) a quarta é o controle de pragas para combater larvas e lagartas; e 5) última etapa que trata do controle de doenças causadas por fungos e protozoários. (FIG 7).

Figura 8 – Frutos do Dendê (*Elaeis guineensis*)



Fonte: EMBRAPA (2021).

O dendezeiro é uma planta oleaginosa com até 15 m de altura, de ciclo perene e de cultivo manual que se adaptou bem às condições climáticas do Brasil, por serem bastante semelhantes às condições climáticas de sua origem (África). As maiores áreas cultivadas

desse fruto se encontram na Amazônia, concentradas nos estados do Pará, Sul da Bahia, Amazonas e Roraima. O maior produtor é o estado do Pará, que concentra 80% da área cultivada no país e 90 % da produção nacional. A dendeicultura exige baixa mecanização industrial e reduzido emprego de defensivos agrícolas (SANTOS *et. al.*, 2015).

A produção de óleo desse fruto foi superior a 50 milhões de toneladas no ano de 2012, em aproximadamente 15 milhões de hectares plantados, consagrando a cultura da palma como a principal fonte mundial de óleo vegetal (FEROLD; CREMONEZ; ESTEVAM, 2014). Villela *et al.* (2014) relataram que se trata de uma das culturas mais produtiva entre as oleaginosas e possui a maior área com aptidão agrícola do mundo, sendo mais de 30 milhões de hectares zoneados em áreas desflorestadas aptas para o cultivo do dendezeiro. A área plantada no Brasil, embora ainda inexpressiva em nível mundial, teve expansão expressiva nos últimos anos.

Oliveira & Coelho (2017) referiram que o dendê é uma oleaginosa com produção em óleo por hectare até 10 vezes maior que o da soja, entretanto, sua produção para biodiesel é menos lucrativa do que para alimentos, há necessidade de incentivos governamentais para estimular sua produção para o biodiesel. Ademais, sua tecnologia ainda não está bem desenvolvida e sua matéria-prima tem pouco valor comercial para o biodiesel, por isso as plantas de dendê devem considerar o zoneamento climático e estar próximas às unidades de produção para baratear os altos custos relacionados ao transporte de longa distância.

No Anuário Estatístico do Brasil 2020, o IBGE (2020) relatou que foram produzidas 2.583.293 toneladas de dendê em 177.450 hectares no Brasil em 2019, cuja produtividade foi 14.556 kg/ha (aumento de 4,5% em relação ao ano 2018). Deste total, 2.543.814 toneladas foram produzidas no Pará (98,47%), 38.079 toneladas foram produzidas na Bahia (1,47%) e 1.400 toneladas foram produzidas em Roraima (0,05%) (SEDAP-PA, 2020).

De acordo com Lebid e Henkes (2015), o óleo de dendê apresenta grande potencial na produção de biodiesel, tanto pela sua alta produção por unidade de área, quanto pelo seu balanço energético superior a outras oleaginosas. Além disso, tais autores mencionam que seu cultivo não acarreta problemas econômicos e industriais de outras oleaginosas e está entre os mais qualificados para a produção do biodiesel, devido a: sua produtividade (14.500 CFF – cachos de frutos frescos kg/ha), composição, baixo custo (inferior aos custos de outras oleaginosas), produção ao longo de todo o ano, oferta regular e crescente, além de destinar-se a áreas distintas de produção, não competindo com outros cultivos alimentares.

Quanto à produtividade, Collares (2011) citou que o mesocarpo (a polpa) do dendê contém em torno de 20-22% de óleo de palma enquanto que sua amêndoa (endocarpo) pode alcançar um teor de até 55% de óleo (palmiste), e rendimento de 4-6 t/ha/ano, ou mais conforme os manejos e zoneamento alternativos. O primeiro óleo extraído do mesocarpo é direcionado comumente à alimentação e o segundo ao setor cosmético e farmacêutico, sendo ambos utilizados na produção do biodiesel.

O dendê apresenta baixo rendimento relativo de óleo, todavia, tem alta produtividade de óleo por hectare e menor custo de produção, é alternativa relevante para uso na produção de biodiesel. Em 2006, Sluszz e Machado projetaram que cada 1 milhão de ha da Amazônia reflorestada com dendê poderia fornecer 4,5 bilhões de litros de biodiesel. Sobre as perspectivas de aumento da cultura do dendê, a SUFRAMA – Superintendência da Zona Franca de Manaus (2017), reportou que a Amazônia possui cerca de 70 milhões de ha considerados como áreas aptas ou aproveitáveis para o cultivo do dendezeiro. Entretanto, em 2007 a área ocupada pela dendeicultura era de 40.000 há, chegou a 70.000 ha em 2014 (IBGE, 2015) e a 177.450 há em 2019 (IBGE, 2020).

Feroldi, Cremones e Estevam (2014) reportam que devido às características físicas da planta, o dendezeiro demanda colheita manual, cujo rendimento ideal por trabalhador, situa-se na faixa de 2 toneladas de cachos por dia, os quais devem ser processados em 24 horas para garantir qualidade e máxima quantidade de óleo, o que exclui custos de armazenamento do óleo e dos frutos, em virtude da necessidade de processamento contínuo dos frutos.

Considerando o balanço energético do dendê para a produção de biodiesel, há informações de pesquisas realizadas no Brasil que apresentam seu balanço energético em 5,6:1 unidades de energia produzidas (MACEDO e NOGUEIRA, 2005) podendo alcançar 15,7:1 na fase agrícola conforme o sistema de produção (FERNANDES, 2009), e devido aos avanços tecnológicos 12,6:1 (MARTINS, 2016), confirmando seu grande potencial como matéria-prima para o biodiesel em relação a outras espécies oleaginosas.

De acordo com Centro de Referência da Cadeia de Produção de Biocombustíveis para Agricultura Familiar (2021), o dendê começa a produzir a partir do 3º ano da implantação, sendo que a produtividade média de cachos de frutos frescos (CFF) na Amazônia se estabiliza a partir do 7º ano com média 20 t/ha/ano. Para o 3º, 4º, 5º e 6º ano produtividades de 27%, 45%, 81% e 90% da máxima obtida.

A Canola

De acordo com a Mori, Tomm e Ferreira (2014), a canola (*Brassica napus L. var. oleífera*), variedade melhorada da colza (*Brassica napus L.*), é utilizada no Brasil para produção de biocombustível, óleo para consumo humano, ração animal, além de reduzir problemas fitossanitários em campo de leguminosas como soja e feijão, e de gramíneas como milho e trigo. Os autores reportam também que a canola se destaca como uma excelente alternativa econômica para uso em esquemas de rotação de culturas, particularmente com trigo, diminuindo os problemas de doenças que afetam esse cereal e possibilitando a produção de óleos vegetais no período do inverno, quando uma grande área de cultivo no país fica ociosa.

No Brasil, se cultiva apenas canola de primavera, que foi desenvolvida por melhoramento genético convencional da colza, grão que apresentava teores mais elevados de ácido erúico e de glucosinolatos (FIG 8).

Figura 9 – Cultura da canola (*Brassica napus L. var. oleífera*) no Rio Grande do Sul



Fonte: EMBRAPA TRIGO (2020).

Mori, Tomm e Ferreira (2014) explicaram que no Brasil, o cultivo da canola iniciou-se em 1974, em Ijuí (Rio Grande do Sul), e avançou para o estado do Paraná no início dos anos de 1980, chegando à região sudoeste de Goiás em 2003 e posteriormente em Minas Gerais como uma das principais oleaginosas no mundo, de ocorrência predominante no inverno, embora haja investidas de sua cultura em regiões com temperaturas de verão.

No relatório de Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2021/2022, a CONAB (2021) informou que o estado do Rio Grande do Sul tem sido o maior produtor brasileiro com 38,3 mil hectares plantados, produtividade de 1.400 kg/ha e 54 mil toneladas produzidas na safra 2021/2022.

O óleo extraído da canola é empregado na alimentação humana (óleo comestível, margarina, maionese e outros derivados), na iluminação (lâmparina à base de óleos vegetais), no uso industrial (sabões e outros derivados) e, na produção do biodiesel, além do seu farelo (apresenta de 36 a 39% de proteína) usado como suplemento proteico na formulação de rações para animais (*CANOLA COUNCIL OF CANADA*, 2021).

O óleo de canola apresenta qualidade superior às demais oleaginosas por possuir um baixo teor de ácidos graxos saturados (7%); alto teor de ácidos graxos monoinsaturados (61%) (MACDONALD, 2000), e tem teor de óleo nos grãos que varia de 40% a 48% (MORETTO e FETT, 1998). O teor médio da produção brasileira gira em torno de 38% a 38,2% (TOMM, 2005; MELGAREJO *et al.*, 2014), e o rendimento do óleo de canola por t/óleo/ha é de 0,5–0,9 (PEQUENO, 2010).

O óleo de canola é uma das principais matérias-primas na produção de biodiesel na União Europeia, onde já chegou a representar 67% da matéria-prima utilizada na produção de biodiesel de 2008 a 2010. Devido às características do óleo de canola, o biodiesel de canola é a opção mais adequada para regiões mais frias (BIODIESELBR, 2018).

No relatório de Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2021/2022, a CONAB (2021) informou que na safra 2020/2021, a área plantada de canola no Brasil foi de 35,3 mil hectares com estimativa em torno de 39,2 na safra 2021/2022 (aumento de 11%), cuja produtividade em grãos foi de 912 kg/ha em 2020/2021 e estimativa de 1.554 kg/ha em 2021/2022 (aumento de 70,4%). Na safra de 2020/2021 foram produzidas 32,2 mil toneladas e na safra 2021/2022 60,9 mil toneladas, refletindo em um aumento de 89,1%.

A canola é produzida em época do ano distinta à do cultivo de outras espécies oleaginosas de grande escala como a soja, possui melhor atratividade no mercado, incluindo a indústria do biodiesel (TOMM *et al.* 2009)

O Girassol

Conforme a Embrapa Soja (2022), o girassol (*Helianthus annuus L.*) é uma planta que se adapta às diversas condições climáticas, aos fatores com maior tolerância à seca, a menor resistência às pragas e doenças e ainda possui maior resistência aos nutrientes. Esses fatores possibilitam sua expansão e viabilidade nos sistemas de produção, por ser uma cultura que explora grande volume de solo do sistema radicular e absorve maior quantidade de água e

nutrientes. Entretanto, o aproveitamento do seu cultivo ocorre nas práticas de melhoria das características físicas do cultivo do solo, pois é sensível à manipulação química deste. A Embrapa Soja informa também que os principais cuidados no seu cultivo são a utilização de sementes adaptadas ao solo, área sem compactação e a escolha de materiais de semeadura baseada no zoneamento agroclimático (FIG 9). Considerando que o girassol é cultivado em áreas já exploradas, seus custos de produção podem ser reduzidos, e um dos maiores problemas dessa cultura é o estabelecimento da população adequada e uniforme.

Figura 10 – Colheita de girassol (*Helianthus annuus L.*) na safra 2021



Fonte: EMBRAPA SOJA (2022).

Barbosa *et al.* (2014) argumentaram que o girassol está entre as espécies vegetais de maior potencial para a produção de energia renovável no Brasil, pois, além de ser uma importante opção para o produtor agrícola em sistemas de rotação ou substituição de culturas, tem elevado potencial econômico, resistência a estresse hídrico, além de diversas características desejáveis sob o ponto de vista agrônomo para a agricultura sustentável.

O relatório AGRO EM DADOS 2021 da SEAPA/GO (2021) referiu que a o girassol tem resistência hídrica boa, tem menor incidência de pragas e doenças, capacidade de suportar temperaturas mais elevadas, apresenta alta ciclagem de nutrientes que contribui para a sustentabilidade do cultivo, sendo utilizado pela indústria de alimentos na produção de óleo, pela indústria de nutrição animal (farelo, silagem e grão), bem como na para produção de biodiesel, e ainda na ornamentação.

Nos últimos anos, houve crescimento na produção do girassol devido à utilização da sua semente como matéria-prima para a produção de biocombustível. Entretanto, na safra 2020/21, houve redução da área plantada e a produção foi estimada em 36,2 mil toneladas, cultivada em 31,7 mil hectares, e uma produtividade de 1.143 kg/ha (CONAB, 2021).

De acordo com Marinho (2021), para produção do biodiesel de girassol, seus grãos são prensados até que seja extraído o óleo puro, que passa ao processo de transesterificação. Os grãos têm entre 40% e 42% de teor de óleo em cerca de 400 a 500 litros de óleo, sendo considerado um bom rendimento da prensa durante a produção. Segundo Santos *et al.* (2014), os teores de óleo extraídos podem chegar a 54%, tornando-se uma cultura em relevo na produção do biodiesel.

Dall’Agnol e Leite (2020) reportaram que o girassol é o 4º óleo vegetal mais produzido, depois de dendê (35%), soja (26%) e canola (15%), e responde por 9% da produção mundial de óleos vegetais. Além disso, foram produzidas no mundo cerca de 47 milhões de toneladas de grãos, sendo a Ucrânia (13,6 Mt) e a Rússia (11,0 Mt) como líderes globais da produção. Os pesquisadores ressaltaram ainda que embora seja uma lavoura secundária no Brasil tem área plantada de 80 mil hectares e 100 mil toneladas de grãos produzidos, num país com 10 milhões de hectares aptos ao seu cultivo. Mato Grosso, Minas Gerais e Goiás são os principais produtores de girassol, sendo Goiás o maior produtor atual (CONAB, 2021).

Cerca de 90% da produção do girassol é processada para extração de óleo, cujo farelo é considerado excelente para alimentação animal, por apresentar 44% de proteína, e os 10% restantes são destinados à alimentação de pássaros ou como silagem (30% de proteína) para bovinos, cuja produtividade média nacional é de 1.200 kg/ha, próxima daquelas dos principais países produtores, entretanto, as indústrias esmagadoras do grão devem estar próximas às áreas de cultivo do girassol, pois seu transporte em longas distâncias fica inviabilizado devido ao seu baixo peso específico, bem como seu cultivo em pequenas plantações isoladas, sofre intenso ataque de pássaros durante a colheita (DALL’AGNOL E LEITE, 2020).

Oliveira & Coelho (2017) destacaram que o girassol tem teor de óleo por unidade de peso em torno de 40%, bom rendimento. No entanto, se por um lado, sua produção em pequenas safras por meio de rotação de culturas pode render 800 l/ha (produção próxima à da soja), por outro, as características nutritivas do óleo podem delimitar seu uso para fins energéticos.

O girassol é uma cultura muito importante no mundo, por causa da excelente qualidade do seu óleo, e possui grande capacidade de adaptação em condições de latitude ou

longitude distintas. Além disso, seu cultivo é um dos mais econômicos e não necessita de um maquinário especializado (MARINHO, 2021).

Considerando as matérias-primas aqui abordadas, seus valores de rendimento em óleo e seus balanços energéticos (QUADRO 1), cabe ressaltar que:

- ✓ Ainda que a soja seja a MPV mais utilizada na produção do biodiesel, possui o menor rendimento em óleo em kg/ha (51%) e o menor balanço energético (1,3:1)
- ✓ Sob um dos tripés da sustentabilidade, o ambiental, a soja não é a melhor escolha tendo em vista que o maior redutor do balanço energético na produção agrícola são os agrotóxicos e os fertilizantes, amplamente usados na produção da soja.
- ✓ O dendê, por sua vez, que gera o óleo de palma e o óleo de palmiste, quando somados, constituem o segundo melhor rendimento em kg/ha (280) (só perde para o girassol: 1.032 kg/ha) e cumula o melhor balanço energético (5,6:1).
- ✓ Embora o girassol tenha o maior rendimento kg/ha, seu balanço energético é menos da metade do balanço energético apresentado pelo dendê.
- ✓ As três matérias-primas vegetais mais utilizadas na produção do biodiesel no Brasil são aquelas que possuem os menores rendimentos kg/ha (soja: 51; milho: 14,17; algodão: 45) e os menores balanços energéticos (soja: 1,3:1; milho: 1,42:1; algodão: 1,77:1), dentre as sete MPV da amostra, porém, alta escalabilidade de produção.

Quadro 1 - Rendimento e balanço energético das matérias-primas vegetais utilizadas na geração do biodiesel no Brasil

Origem do óleo	Teor de óleo %	Meses de colheita	Rendimento de óleo (t/ha ano)	Produção média de óleo (kg/t)	Balanço Energético ²
Soja	17	3	0,2 – 0,4	51	1,30:1
Milho	3,5-7	3	0,18 - 0,36	14,17	1,42:1
Algodão	15	3	0,1 – 0,2	45	1,77:1
Amendoim (consorciado)	40-45	3	0,6 – 0,8	297,5	2,93:1
Dendê (mesocarpo)	20-22	12	4,0 – 6,0	105	5,60:1
Dendê (endocarpo)	55	12	4,0 – 6,0	275	5,60:1
Canola	40-48	3	0,5 – 0,9	308	2,90:1
Girassol	38-48	3	0,5 – 1,9	1032	2,37:1

Fonte: Santos (2008); Santos *et al.* (2012); Embrapa (2015); Embrapa (2007); (Luz, Mainier e Monteiro, 2015); Muñoz *et al.* (2012); Suassuna *et al.* (2014); Collares (2011); Souza (1986); (Moretto e Fett, 1998); Nogueira (2000); Tomm (2005); Santos *et al.* (2014); Soares *et al.* (2007); Macedo e Nogueira (2005); Embrapa Soja (2009); Ramos *et al.* (2017); Albuquerque *et al.* (2008).

² O balanço energético é um indicador da relação entre a energia investida na produção e a contida na mesma (Leandro *et al.*, 2012; Nascimento *et al.*, 2016). Os fatores que possibilitam que o balanço energético seja positivo são, sobretudo, o rendimento da cultura e o menor consumo de fertilizantes nitrogenados (Silva *et al.*, 2013).

Laviola (2022), chefe de pesquisa e desenvolvimento da Embrapa Agroenergia, pondera que, passados 17 anos de criação do PNPB, a soja continua sendo a única matéria-prima com escala de produção e aumento da área cultivada e que, embora outras oleaginosas tenham ganhado em domínio tecnológico, não houve ganho em escala de produção suficiente para diversificar a matriz de oleaginosas usadas na produção de biodiesel, e se o Brasil avançar 5 milhões de ha no cultivo de oleaginosas alternativas como a canola, a macaúba e o dendê, isso daria um potencial de 3 a 3,5 bilhões de litros de óleos vegetais para o mercado.

Estudos relacionados à produção de matérias-primas vegetais geradoras do biodiesel no Brasil

Há relevantes pesquisas sobre a produtividade de matérias-primas vegetais brasileiras aptas à produção do biodiesel. Os principais resultados de algumas destas pesquisas encontram-se descritos no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Estudos relacionados à produção das matérias-primas vegetais geradoras do biodiesel no Brasil

Produção das matérias-primas vegetais exploradas no biodiesel	
Autor/a(s) - Data	Principais resultados
Barros <i>et al.</i> (2006)	A produção do biocombustível de seis MP agrícolas, nas 5 macrorregiões do País, em três escalas industriais, considerou os custos de produção do biodiesel no Brasil, e constatou que o biodiesel do caroço de algodão no NE é o mais barato do Brasil.
Pighinelli (2007)	Os óleos brutos obtidos de amendoim e de girassol apresentaram uma caracterização próxima da teoria. E nem o tipo de extração nem os pré-tratamentos empregados nas matérias-primas afetam a qualidade do óleo.
Marzullo (2007)	A Análise da ecoeficiência dos óleos vegetais oriundos da soja e palma demonstrou o óleo de palma como alternativa mais favorável devido ao seu melhor desempenho econômico e ambiental.
Milesi; Anunciato; Messias (2008)	Na rentabilidade do pinhão-manso num período de 4 anos, nos dois primeiros anos o produtor não tem retorno financeiro, este só ocorrerá de forma crescente a partir do terceiro.
Lima Junior (2008)	A produção do dendê e do pinhão-manso no semiárido brasileiro é viável pelo fator produtividade por área plantada e o teor de óleo por peso da cultura, além da integração das atividades agrícola e industrial.
Hirakuri, Lazzaroto e Ávila (2010)	A diversificação da matéria-prima para produção de biodiesel no Brasil era necessária para diminuir a pressão sobre a cultura da soja (80% da produção).
Domingues (2010)	A soja se estabelece em áreas degradadas pelo gado e não em área desmatada da floresta amazônica, cujo potencial produtivo poderia atender à demanda regional
Lima Ramos (2010)	As vantagens no cultivo da macaúba em consorciação com pastagens são expressivas, devido à disponibilidade de áreas e o potencial produtivo da palma, sem impactos para a segurança alimentar.

Iha (2010)	Nas fontes alternativas de oleaginosas pela transesterificação ou pelo craqueamento, os transesterizados, à exceção do tempo de oxidação, resultaram em combustíveis dentro das especificações capazes de contribuir para o abastecimento de biocombustível, além de poder ser uma das alternativas de substituição à soja.
Batalha e Cesar (2011)	A baixa escala da produção, a dispersão espacial das famílias, as restrições tecnológicas, secas prolongadas, assistência técnica deficitária, intermediários na cadeia ricinoquímica, endividamento e falta de tradição em associativismo entravam a cadeia de produção do biodiesel a partir da mamona no NE.
Fiorese <i>et al.</i> (2011)	A avaliação dos custos fixos e variáveis da produção do biodiesel a partir do óleo de soja, de girassol, de frango e do sebo bovino, revelou o de sebo bovino com o menor custo de produção e o menor consumo.
Alves <i>et al.</i> (2016)	A produção do dendê em consórcio com a produção da mandioca em Moju/PA revelou que na comparação dos custos de produção em relação à receita da mandioca, os custos do dendê foram amortizados em 52% no primeiro ano.
Damasceno <i>et al.</i> (2018)	A produção do dendê na região de Tomé-Açu/PA foi potencializada em extensos monocultivos por causa das políticas públicas federais relacionadas ao setor.

Fonte: o próprio autor, 2022.

Os resultados acima oferecem subsídios para a crítica recorrente sobre a alta dependência da soja como principal insumo ao biodiesel, bem como sobre outras MP alternativas a esta oleaginosa, sobre as limitações do óleo da mamona e ainda sobre as vantagens do óleo da macaúba. Foi possível observar ainda, que o caroço de algodão tem baixo custo na região nordeste para a produção do biodiesel, e que a rentabilidade do pinhão-manso não é atraente, embora sua produtividade possa alcançar 8.000 kg/ha no quarto ano de cultivo. Quanto à comparação dos custos de produção dos óleos de soja, de girassol, de frango e do sebo bovino, este último tem o menor custo de produção, e incorre no menor preço de mercado.

A viabilidade de produção do dendê também pode ser constatada devido ao seu baixo custo, da sua alta produtividade de CFF (cachos de frutos frescos) por kg/ha e teor de seu óleo, além disso, do ponto de vista econômico e ambiental o óleo de palma (dendê) é opção mais favorável à produção do biodiesel. Outro estudo importante esclarece que as características dos óleos do amendoim e do girassol não se afetam com o tipo de extração ou dos pré-tratamentos.

Estudos que comparam a produção do biodiesel em contextos diferentes permitem observar que normas institucionais direcionadas a sua cadeia produtiva, foram determinantes à viabilidade industrial e comercial do biodiesel nos países produtores, e destacam as condições climáticas do Brasil favoráveis à produção de oleaginosas aptas ao biodiesel (QUADRO 3).

Quadro 3 – Estudos comparados sobre matérias-primas vegetais geradoras do biodiesel

Principais resultados	
Autor/a(s) - Data	Resultados
Gorren (2009)	Nos aspectos sociais e econômicos entre Brasil, EUA e Alemanha, as legislações apresentam peculiaridades. A situação dos trabalhadores temporários é semelhante, e a produção do biodiesel aumentou nos três países devido aos investimentos públicos. A expansão agrícola no Brasil é ponto positivo diante do custo de produção e da menor disponibilidade de terras agricultáveis na Alemanha e nos EUA.
Miranda (2011)	Na análise energética do processo de produção do biodiesel de soja, da mamona e do pinhão-manso, houve melhores resultados para a soja, podendo desconsiderar tecnicamente o uso da mamona e do pinhão-manso, que não competem com <i>commodities</i> alimentícias, embora possuam alta produtividade no Brasil.
Yamada (2011)	No zoneamento agroclimático da <i>Jatropha curcas</i> . L. (pinhão-manso) para a produção do biodiesel, as áreas de maior favorabilidade ao cultivo foram: 22,65% da região NE encontra-se apta ao plantio da <i>J. curcas</i> . L. Os estados de GO e TO apresentam a maior porcentagem de áreas aptas (47,78%), e o estado de MG possui 33,91% de suas áreas aptas.
Moura (2012)	Neste estudo a canola, é destacada como uma cultura potencial para a produção do óleo quando cultivadas na safra outono inverno em diferentes regiões fisiográficas do Paraná. Mas, apresentam restrições quanto ao ciclo, produção de grãos, manejo e colheita, ou disponibilidade de sementes.
Luz <i>et al.</i> (2015)	O teor de óleo no grão de soja é de cerca de 19%, enquanto que canola e girassol apresentam, respectivamente, 38 e 42%. Além disso, a produtividade de óleo (em kg/ha) tanto da canola quanto do girassol também supera a da soja.
Varão <i>et al.</i> (2018)	Confirma a importância do óleo algodão para a produção do biodiesel no cenário nacional e destaca seu potencial expressivo, devido aos resultados de sua produção e sua semelhança físico-química com o óleo de soja.

Fonte: o próprio autor, 2022.

Nesta conjuntura, o Brasil leva vantagens para a produção de oleaginosas aptas ao biodiesel devido às condições climáticas favoráveis em quase todo território nacional. Existem matérias-primas com alta produtividade para as diferentes estações do ano, mas com limitações quanto à disponibilidade de insumos e à projeção no mercado, todavia, com características físico-químicas adequadas à produção do biodiesel com rendimentos de óleo distintos, porém atrativos.

Estudos relacionados à eficiência na produção de matérias-primas geradoras do biodiesel

A EMBRAPA reporta relevantes estudos sobre eficiência na produção de matérias-primas para o biodiesel, cujos principais resultados de alguns destes seguem

descritos. De acordo com Soares *et al.* (2008), os balanços energéticos da soja e do girassol apontaram resultados positivos das duas culturas, todavia não ofereciam grandes quantidades de energia renovável. Basílio *et al.* (2010) realizaram um experimento no Rio Grande do Norte com o objetivo de desenvolver sistemas de manejo para as culturas geradoras do biodiesel, os resultados possibilitaram observar que a produção favoreceu a associação do coco x soja com um incremento de 21% em relação ao cultivo solteiro da soja.

Barrantes *et al.* (2013) concluíram em seus estudos por meio da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que diferentes valores de eficiências do pinhão-manso e de seus resíduos indicaram que suas baixas produtividades agrícolas correspondiam à situação da sua cultura no Brasil. Em seus estudos sobre o efeito de lâminas de irrigação sobre o rendimento e eficiência no uso da água em cultivares de algodoeiro no semiárido brasileiro, Scachetti *et al.* (2018) usaram a RenovaCalc (mecanismo que calcula a intensidade de carbono – IC - dos biocombustíveis), na produção do etanol de cana-de-açúcar em um conjunto de análises de sensibilidade. Observaram que a RenovaCalc é capaz de oferecer uma predição da intensidade de carbono de cada unidade produtora de biocombustíveis no âmbito do RenovaBio. Outros estudiosos como relatados a seguir, aplicaram a Análise Envoltória de Dados – DEA - na produção de matérias-primas vegetais exploradas na produção do biodiesel. A DEA é uma técnica de análise que calcula a eficiência relativa de unidades produtivas distintas que utilizam insumos e produtos assemelhados.

Martins *et al.* (2007) analisaram a eficiência da capacidade produtiva para a fabricação do biodiesel em 38 regiões paulistas produtoras dos óleos de soja, algodão e amendoim, e observaram resultados que indicaram quais as regiões mais eficientes e menos eficientes por cultura. Esses autores reportaram a orientação dos investimentos em insumos que poderiam induzir à eficiência na produção daquelas regiões e culturas ineficientes, tendo em vista que os outros insumos (mão de obra e terra preservaram a média de eficiência).

Na pesquisa de Santana *et al.* (2015) sobre a eficiência na produção do biodiesel considerando as três dimensões da sustentabilidade: ambiental, econômica e social, o Brasil foi o mais eficiente nas dimensões econômica e social no ranking de eficiência dos BRIC's (Brasil, Rússia, Índia e China), e obteve a segunda colocação na aplicação ambiental.

A pesquisa realizada por Gomez (2016) sobre a fronteira de eficiência na produção dos biocombustíveis envolvendo o Brasil, a Colômbia, a Argentina, o Equador, o México, o Paraguai, o Peru, a Bolívia e o Uruguai, revelou que há uma liderança do Peru e do Brasil com eficiências igual a 1 na produção do biodiesel e do etanol, e que os outros sete

países mostraram baixos níveis de eficiência na produção de biocombustíveis, sendo o Paraguai o país que alcançou eficiência média na produção de etanol.

Na pesquisa sobre os principais determinantes da eficiência técnica na produção de soja no Estado de São Paulo, Soares e Spolador (2017) inferiram que havia uma distribuição homogênea do nível de eficiência média, e as principais variáveis que contribuíram para ganhos de eficiência foram as condições climáticas e de relevo, o uso de plantio direto, a assistência técnica rural, o manejo integrado de pragas e adubação verde. O uso do etanol e metanol na produção do biodiesel, comparando o tipo de matérias-primas utilizadas, a eficiência e a viabilidade, foi objeto de pesquisa realizada por Oliveira *et al.* (2017), cujos resultados reportam que o óleo de soja se destacou devido à sua produção em larga escala, entretanto, os óleos residuais que não necessitam de áreas para sua plantação se mostraram mais competitivos e sustentáveis.

Na pesquisa sobre os estados mais relevantes no cenário da cotonicultura brasileira entre 1995 e 2015, Castro *et al.* (2017) constataram que Bahia, São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás foram os mais expressivos, nos quais o valor bruto da produção cresceu e foi marcado por ganhos relevantes de produtividade, entretanto, os preços caíram gerando menor remuneração e estimulando a busca contínua por maior eficiência e competitividade.

Damasceno *et al.* (2018) reportaram que a produção de cachos de dendê na microrregião de Tomé-Açu no estado do Pará, foi potencializada especialmente pelas políticas públicas federais, PNPB e PPSOP (Programa de Produção Sustentável de óleo de palma), que incentivaram o plantio de extensos monocultivos na região, o que atraiu e favoreceu, naquele momento, o estabelecimento de grandes empreendimentos ligados principalmente à produção de biodiesel, ao longo dos anos.

Soares e Spolador (2019) analisaram a eficiência técnica da produção de milho do estado de São Paulo, e informações de aptidão do solo, clima e relevo para segmentar os produtores em grupos de alta, média e baixa aptidão. Os resultados das estimativas da eficiência técnica revelaram alterações significativas na taxa média de diferença tecnológica nos níveis de eficiência entre os produtores, porém concluíram que políticas destinadas a reduzir o *gap* tecnológico das regiões de menor aptidão agrícola podem contribuir para o aumento da produtividade desta cultura no estado de São Paulo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Classificação da Pesquisa

O presente estudo foi realizado baseando-se em uma pesquisa bibliográfica e documental, com abordagem quantitativa (HAIR Jr. *et al.*, 2015) e finalidade explicativa (VERGARA, 2016), visando estimar a eficiência técnica da produção das sete matérias-primas vegetais: a soja, o milho, o algodão, o amendoim, o dendê, a canola e o girassol. A seleção destas sete matérias-primas vegetais (MPV) para este estudo deve-se ao fato de que estas oleaginosas se encontram na base de produção do biodiesel no Brasil de 2011 a 2021.

Buscando atender aos objetivos da presente pesquisa, os procedimentos metodológicos foram divididos em três etapas, sendo: 1ª. etapa - seleção das sete MPV exploradas para o biodiesel no Brasil no período 2011/2020 (ANP, 2021); 2ª. etapa - construção da matriz dos custos agrícolas das sete MPV com base nas matrizes de insumos da CONAB (Anexo A), do CEPEA/ESALQ/USP/2015 (Anexo B) e planilha-resumo dos custos operacionais do IMant - Instituto Mato-Grossense do algodão (2020). Esta matriz produzida foi construída com o uso do software Excel 2020 Office 365 da Microsoft, e foi subdividida em dois grandes grupos de insumos: fixos e variáveis (QUADRO 4), a qual foi periodicamente abastecida com os dados quantitativos das referidas MPV. A coleta dos dados para abastecimento da planilha ocorreu no período de abril a outubro de 2021 a partir da base de dados divulgadas em *sites* dos órgãos oficiais.

Quadro 4 – Custos variáveis e fixos de produção das matérias-primas vegetais

Custos Variáveis	
1 - MJS: máquinas, juros e serviços	Operações com animal, com avião, com máquinas, aluguéis, mão de obra, transporte, despesas administrativas e de armazenagem, beneficiamentos, seguros, assistência técnicas, impostos e taxas, Juros de financiamento.
2 - SMFA: sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos	Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos
Custos Fixos	
3 - MDE: manutenções, depreciações e encargos sociais	Depreciações de benfeitorias e instalações, de máquinas, implementos e conjuntos de irrigação, exaustão, manutenção de instalações, Encargos sociais, seguro do capital fixo, arrendamento,
4 - RF: renda de fatores	Sobre o capital fixo e sobre o cultivo, terra própria.

Fonte: adaptado de CONAB (2021), Imant (2020), CEPEA (2015).

Na 2ª etapa a matriz dos custos agrícolas de produção foi organizada com base na natureza dos custos (fixos ou variáveis) das MPV, levando em consideração sua origem, a produtividade e os 34 elementos de custos de produção possíveis, para quatro grandes grupos de custos, sendo estes: dois subgrupos de custos fixos (CF) e dois subgrupos de custos variáveis (CV), conforme apresentado no Quadro 4.

Os materiais utilizados neste estudo foram os dados quantitativos da produção, da produtividade, da estrutura de insumos e das estimações realizadas com informações de órgãos oficiais (federais, estaduais e municipais), das secretarias estaduais de governo respectivas, do sistema EMATER respectivo, do IEA/SP (Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo), do IPP - Índice de Preços ao Produtor do Ministério da Economia (2021) e do painel de indicadores do IBGE (2022).

Na 3ª. etapa – foram realizados três cálculos, o primeiro sob a técnica denominada análise vertical e horizontal, aplicada sobre os valores dos custos de produção organizados na etapa 2. Na análise vertical ($AN = \frac{\text{subgrupo do custo da MPV}}{\text{Custo total da MPV}} \times 100$) buscou-se entender a participação dos subgrupos de custos (MJS, SMFA, MDE e RF) nos custos totais de cada MPV por município, enquanto que na análise horizontal concentrou-se na comparação dos subgrupos de custos (MJS, SMFA, MDE e RF) de todas as MPV entre si ($AH = \frac{\text{subgrupo de custo da MPV } x}{\text{subgrupo de custo da MPV } y} \times 100$) (ASSAF NETO, 2020).

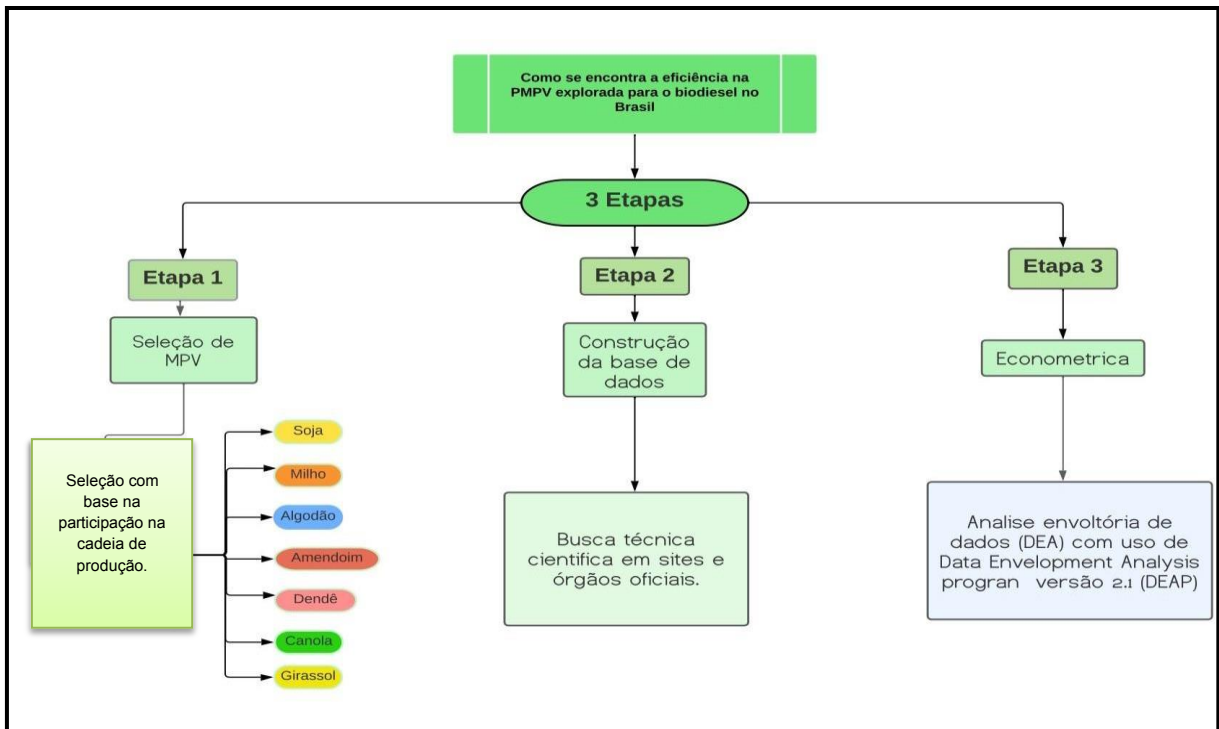
O segundo cálculo foi da eficiência básica (individual e relativa) sob as seguintes fórmulas: $E_1 = \frac{P = \text{Produtividade}}{IT = \text{Insumos Totais}}$, (onde P é a produtividade e IT são os insumos totais) pela qual obteve-se a eficiência individual de cada MPV, e $E_2 = \frac{E_1}{E_{1\max}}$, pela qual obteve-se a eficiência relativa de cada MPV em comparação à MPV mais eficiente, considerando as variáveis totais: produtividade total e insumos totais, tendo em vista que a eficiência está relacionada à forma de utilização dos recursos para realizar a produção, e se expressa resumidamente pela equação: produção total / custos totais (FERREIRA E GOMES, 2009), e posteriormente foi calculado o coeficiente custeio de produtividade (CCP

$= \frac{\text{Custos totais de Produção}}{\text{Produtividade}}$) (ASSAF NETO, 2020).

O terceiro cálculo realizado foi a análise de eficiência na produção das sete MPV através da técnica Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) com o uso do software DEAP (*Data Envelopment Analysis Program*) versão 2.1 (*The University of Queensland*, 2020), tendo os CF e os CV (insumos) como *inputs* (entradas) e a produtividade (kg/ha) como *outputs* (saídas).

As etapas metodológicas da análise de eficiência na produção das matérias-primas vegetais exploradas no biodiesel no Brasil, encontra-se na Figura 11 a seguir.

Figura 11 – Fluxograma das etapas metodológicas da análise de eficiência para a produção das MPV exploradas no biodiesel no Brasil



Fonte: o próprio autor, 2022.

A Técnica Análise Envoltória de Dados (DEA)

A análise envoltória de dados (DEA) é uma técnica não paramétrica, que utiliza a PPL - programação linear matemática - para analisar a eficiência das Unidades Tomadoras de Decisão (DMU's). Através do uso da DEA foi possível produzir uma determinada “saída” Y (*output*) utilizando X entradas (*inputs*) nos municípios produtores, classificando como os mais eficientes aqueles que se basearam nas melhores práticas de produção. A eficiência relativa (ER) de uma DMU é definida pela razão da soma ponderada dos *outputs* pela soma ponderada dos *inputs*, que gera um índice de eficiência de determinada DMU a partir de uma combinação linear. Essa técnica proporcionou a comparação de todas as DMU's que utilizaram os mesmos *inputs* e geraram *outputs* semelhantes (FARREL, 1957 e SCHEEL, 2001).

Os dados quantitativos obtidos das DMU's foram comparados para o cálculo da eficiência relativa, e sobre as direções para melhorar o desempenho das unidades ineficientes.

Neste estudo, foram consideradas como DMU's os municípios produtores das matérias-primas vegetais (COELLI *et al.*, 2005).

O modelo matemático utilizado na apuração da eficiência de produção foi originado seguindo o método de Farrel (1957) proposto por Charnes, Cooper e Rhodes, denominado *Constant Returns to Scale* - CRS – (retorno constante de escala) também conhecido como CCR em referência aos três autores, conforme a equação 1 representada:

$$ER_j = \frac{\sum_r u_r Y_{rj}}{\sum_i v_i X_{ij}} \quad \text{Equação 1}$$

X_i = são os insumos ou *inputs*;

Y_r = são os produtos ou *outputs*;

v e u são os pesos discricionários de cada insumo e de cada produto.

Os valores das variáveis v_i e u_r são a importância relativa de cada variável (pesos), que maximizam a soma ponderada dos *outputs* dividida pela soma ponderada dos *inputs* da DMU em análise, sujeita a restrição de que essa razão seja menor ou igual a 1, para todas as DMU's. De modo que as eficiências variem de 0 a 1. Os pesos, v_i e u_r , que forem encontrados, são referentes à DMU que se está analisando. Este cálculo se repetirá para cada uma das n DMU's em análise, gerando diferentes valores para os pesos.

No ano de 1984 Banker, Charnes e Cooper complementaram no referido modelo os retornos variáveis à escala, também conhecido como VRS – *Variable Returns to Scale*. Este modelo substitui o axioma da proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* pelo axioma da convexidade. O modelo BCC (em referência aos autores), objetiva analisar os rendimentos variáveis de escala, pelo qual não se assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*, e leva em consideração situações em que se tenham tanto eficiências de produção com rendimentos crescentes quanto decrescentes de escala.

A partir da forma descrita acima, obtém-se o modelo VRS (retornos variáveis de escala) ou BCC para a orientação a *output*. O modelo foi generalizado para casos com múltiplos *inputs* e *outputs*, transformando-o em um modelo de programação linear, conforme descrito na equação 2 a seguir.

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - u_* \leq 0, K = 1, 2, \dots, n \dots \quad \text{Equação 2}$$

$$u_j e v_i \geq \forall j, i$$

y = produtos;

x = insumos;

u e v = pesos

O termo u_* representa a possibilidade de retornos de escala variáveis com a possibilidade de valores negativos ou positivos, ou seja, o nível máximo de produtividade pode variar em função do nível de produção, podendo utilizar unidades de portes distintos.

k = 1, 2, ..., n DMUs (os municípios produtores das MPV).

i = 1, 2, ..., m *inputs* de cada DMU (custos fixos e variáveis de cada MPV de cada município produtor).

j = 1, 2, ..., s *outputs* de cada DMU (a produtividade de cada MPV de cada município produtor).

A eficiência na produção das matérias-primas vegetais foi obtida considerando os conceitos adotados por Soares de Mello *et al.* (2005) em que, a produtividade³ observada e a produtividade máxima que poderia ser alcançada, foram comparadas entre o que foi produzido, dados os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos. Os modelos da Análise Envoltória de Dados (DEA) são orientados de duas formas: a *input* (insumos) ou a *output* (produtos). Neste estudo foi empregado o modelo matemático BCC/VRS (retornos variáveis à escala) produto orientado (voltado para a saída) que é apropriado para maximizar os resultados (produtividade) das unidades produtivas (neste caso os municípios), dado os recursos disponíveis. Por este modelo, foi possível identificar, para cada unidade ineficiente, os seus benchmarks⁴, (que são DMU's de referência = eficientes), conforme os resultados das unidades ineficientes.

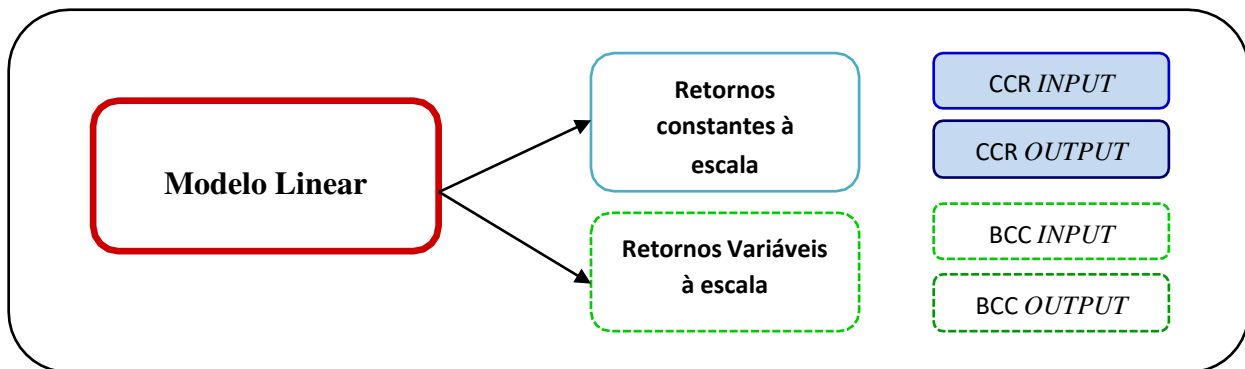
Do ponto de vista dos modelos matemáticos utilizados nos cálculos da DEA: há os modelos CCR de Charnes, Cooper e Rhodes em 1978 (CRS – *Constant Returns to Scale*) que trabalha com retornos constantes à escala, ou seja, qualquer variação nas entradas (*inputs*)

³ Produtividade é a razão entre *outputs* que a indústria produz e *inputs* que ela utiliza: Produtividade = *outputs* / *inputs*

⁴ Referência das melhores práticas entre os concorrentes que pode ser adaptada e transformada em oportunidades para o próprio negócio.

produz variação proporcional nas saídas (*outputs*), e o modelo BCC, proposto por Banker, Charnes e Cooper em 1984 que considera retornos variáveis à escala, por isso também é conhecido como VRS – *Variable Returns to Scale*. Este último substitui o axioma da proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* pelo axioma da convexidade.

Figura 12 – Esquema clássico dos modelos da Análise Envoltória de Dados (DEA)



CCR/ INPUT (modelo de Charnes, Cooper e Rhodes com retorno constante de escala orientado ao insumo), *CCR/ OUTPUT* (modelo de Charnes, Cooper e Rhodes com retorno constante de escala orientado ao produto); *BCC/INPUT* (modelo de Banker, Charnes e Cooper considera retornos variáveis à escala orientado ao insumo), *BCC/OUTPUT* (modelo Banker, Charnes e Cooper considera retornos variáveis à escala orientado ao produto)

Fonte: Charnes, Cooper, Lewin e Seiford (1997) modificado pelo autor.

Os modelos citados podem ser desenhados sob duas formas de maximizar a eficiência: reduzindo o consumo de insumos, mantendo o nível de produção (orientado ao insumo), ou aumentando a produção mantidos os níveis de insumos (orientado ao produto) (FERREIRA E GOMES, 2009). Este último foi adotado nesta pesquisa.

O modelo de programação linear utilizado foi o constante da Equação 3 abaixo:

$$\begin{aligned}
 & \max \theta \\
 \text{Sujeito a:} & \\
 & -\phi Y_i + Y\lambda \geq 0 \\
 & x_i - X\lambda \geq 0 \\
 & N'_1\lambda = 1 \\
 & \lambda \geq 0
 \end{aligned}
 \tag{Equação 3}$$

em que ϕ é um escalar cujo valor está entre um e infinito, sendo que a eficiência técnica (θ) da DMU é obtida pela razão $1/\phi$; λ é um vetor, cujos valores são calculados de forma a obter a solução ótima; y_i são os produtos; e x_i são os insumos.

O cálculo procura expandir radialmente o vetor de produtos, tanto quanto possível, para as unidades sob análise. O limite é a fronteira de eficiência estimada para o conjunto de pontos observados (estes pontos são determinados pelas outras unidades produtivas). Este problema foi resolvido para cada unidade, gerando sua taxa de eficiência relativa.

Neste estudo a Análise Envoltória de Dados considerou simultaneamente vários insumos e produtos conforme síntese no Quadro 5, não impôs suposição básica sobre os insumos e os produtos, não estipulou fórmula funcional, gerou os *scores* de desempenho (que variaram de zero a um, sendo, quanto mais próximo de 1, maior o nível de eficiência) em relação a outras unidades do conjunto, permitindo diferenciar entre as unidades eficientes e ineficientes, além disso foi possível obter a definição dos níveis de ineficiência para cada unidade, e capturou as deficiências específicas (FERREIRA e GOMES, 2009; FARREL, 1957).

Quadro 5 – Síntese dos *Inputs* e *Outputs* utilizados para o cálculo da eficiência das matérias-primas vegetais

Custo de Produção da soja kg/ha – simplificado							
Municípios	Assis – SP	Pedro Afonso - TO	Ijuí- RS	.....	.....	.....	.....
Produtividade Média (kg/ha)	3000	3100	3100	.....	.....	.....	.....
Máquinas, Juros e Serviços	903,41	722,72	623,82	.....	.....	.....	.....
Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos	1.659,89	1.729,47	1.556,45	.....	.....	.....	.....
Total do Custo Variável	2.563,30	2.452,19	2.180,27	.....	.....	.....	.....
Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais	715,54	290,83	387,36	.....	.....	.....	.....
Renda de Fatores	139,13	253,03	192,34	.....	.....	.....	.....
Total do Custo Fixo	854,67	543,86	579,7	.....	.....	.....	.....
Custo Total	3.417,97	2.996,05	2.759,97	.....	.....	.....	.....

Fonte: o próprio autor, 2022.

Fonte e coleta de dados

Tendo em vista a disponibilidade de dados (quantitativos e qualitativos) sobre custos fixos e variáveis e sobre as produtividades das MPV exploradas na produção do biodiesel, a amostra do presente estudo foi constituída de sete matérias-primas vegetais

produzidas em 111 diferentes municípios de diferentes unidades da federação (produções não simultâneas).

A estimação da eficiência foi gerada a partir dos resultados da modelagem (BCC/VRS) que foi alimentada com dados obtidos nas bases de dados dos seguintes órgãos: MME (Ministério das Minas e Energia), CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), EPE (Empresa de Pesquisa Energética), ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), IEA/SAA-SP (Instituto de Economia Agrícola da Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo), SAPPSI-RS (Secretaria de Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do Rio Grande do Sul), SEAPA-MG (Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais), SEDAP-PA (Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca do Estado do Pará), SEAPA-GO (Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Goiás) e SEAB-PR (Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento do Paraná), FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura), *REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century)*, ABRAPALMA (Associação dos Produtores de Óleo de Palma), ABRASCANOLA (Associação Brasileira dos Produtores de Canola), APROBIO (Associação dos Produtores de Biocombustíveis do Brasil), ABIOVE (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais) e ABRAPA (Associação Brasileira dos Produtores de Algodão).

Os insumos (fixos ou variáveis) existentes (cerca de 34 insumos possíveis) de cada MPV: soja, milho, algodão, amendoim, dendê, canola e girassol foram considerados como *inputs*, sendo a produtividade (kg/ha) de cada uma delas, da primeira safra 2021, considerada o *output* para cada município estudado (QUADRO 4).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção está dividida em duas subseções secundárias, sendo: 1) primeira subseção, onde são apresentados os custos de produção por MPV nos municípios produtores, com o objetivo de analisar vertical e horizontalmente o comportamento destes custos fixos e variáveis; 2) segunda subseção, onde são discutidos os resultados da análise de eficiência básica e da análise de eficiência pela Análise Envoltória de Dados sob o modelo retornos variáveis de escala orientação produto (BCC/VRS), com o objetivo de identificar os *scores* de eficiência na produção das MPV por municípios produtores, e subseção terciária (seção 1 da segunda subseção), onde é analisado o panorama da eficiência na produção das MPV exploradas na produção do biodiesel no Brasil, em que se buscou constatar o nível de eficiência técnica produtiva em âmbito nacional para estas MPV.

Análise dos Custos de Produtividade da soja

Os resultados apurados neste estudo apontam que a produtividade da soja varia de 2.700 kg/ha produzidos em Uruçuí/PI e em Cruz Alta /RS até 3.900 kg/ha em Brasília-DF e em Dourados/MS (TAB. 5), embora estas duas últimas com custos distintos. A amostra de municípios apresenta um coeficiente de variação de 12,97% na produtividade, e nos custos totais de 22,54%, considerada homogênea.

Nos 23 municípios pesquisados foi observada uma produtividade média de 3.269 quilogramas de soja por hectare, tendo os municípios do Paraná somados com a maior produtividade (17.850 kg/ha), seguido dos municípios do Mato Grosso com 9.840 kg/ha e dos municípios do Rio Grande do Sul com 8.000 kg/ha. A menor produtividade foi observada em Uruçuí/PI com 2.700 kg/ha seguido de Assis/SP e Bela Vista/RR com 3.000 kg/ha, embora estes dois últimos com estruturas de custos distintas.

Na composição dos custos totais de produtividade da soja, os custos variáveis (CV) participaram, em média, oscilando de 67% em Guarapuava/PR e em Caxias do Sul a 91% em Sorriso/MT, com 78%, com um coeficiente de variação de 7,62%, do qual ganha relevo os custos com SMFA (sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos) que possui coeficiente de variação de 22,68% entre os municípios e seus valores absolutos se sobrepõem em até 3,7 vezes os custos variáveis com MJS (município de Sorriso/MT) que apresenta coeficiente de variação de 27,82%.

Tabela 5 – Custos fixos e variáveis da produtividade da soja por município em 2021

Municípios	Produtividade (kg/ha)	Custo Variável		CVT	%	Custo Fixo		CFT	%	CT
		1 - MJS	2 -SMFA			3 -MDE	4 - RF			
Assis - SP	3000	903,41	1.659,89	2.563,30	75	715,54	139,13	854,67	25	3.417,97
Pedro Afonso - TO	3100	722,72	1.729,47	2.452,19	82	290,83	253,03	543,86	18	2.996,05
Ijuí - RS	3.100	623,82	1.556,45	2.180,27	79	387,36	192,34	579,7	21	2.759,97
Cruz Alta - RS	2.700	822,83	1.887,55	2.710,38	83	382,6	171,07	553,67	17	3.264,05
São Luiz Gonzaga - RS	2.200	881,75	1.166,16	2.047,91	79	458,34	86,86	545,2	21	2.593,11
Boa Vista - RR	3.000	633,52	2.574,09	3.207,61	83	610,53	52,16	662,69	17	3.870,30
Guarapuava - PR	3.500	1.076,83	2.409,01	3.485,84	67	1.267,67	228,82	1.496,49	33	4.982,33
Ponta Grossa - PR	3.800	1.358,78	1.686,61	3.045,39	79	539,09	267,66	806,75	21	3.852,14
Londrina - PR	3.600	1.395,27	2.845,16	4.240,43	71	1.520,42	229,12	1.749,54	29	5.989,97
Campo Mourão - PR	3.650	972,21	2.165,78	3.137,99	81	398,87	334,95	733,82	19	3.871,81
Uruçuí - PI	2.700	565,95	1.675,00	2.240,95	79	484,9	120,04	604,94	21	2.845,89
Sorriso - MT	3.120	677,48	2.501,83	3.179,31	91	269,1	36,01	305,11	9	3.484,42
Primavera Leste – MT	3.240	602,55	2.693,83	3.296,38	76	955,34	76,64	1.031,98	24	4.328,36
Campo Novo Parecis - MT	3.480	919,58	2.481,26	3.400,84	78	887,42	87,36	974,78	22	4.375,62
Dourados - MS	3.900	1.198,98	1.680,30	2.879,28	81	508,05	173,74	681,79	19	3.561,07
Chapadão do Sul - MS	3.100	470,35	1.515,60	1.985,95	67	352,62	626,96	979,58	33	2.965,53
Unáí - MG	3.300	983,82	2.277,11	3.260,93	79	753,19	102,27	855,46	21	4.116,39
Barreiras - BA	3.660	761,24	2.214,94	2.976,18	76	731,96	192,43	924,39	24	3.900,57
Brasília - DF	3.900	1.187,78	2.880,32	4.068,10	77	1.073,75	149,08	1.222,83	23	5.290,93
Rio Verde - GO	3.600	688,83	2.015,05	2.703,88	87	273,51	122,43	395,94	13	3.099,82
Cristalina - GO	3.150	1.012,48	2.154,66	3.167,14	86	364,77	138,83	503,6	14	3.670,74
Balsas - MA	3.120	940,76	2.291,81	3.232,57	72	1.093,61	144,96	1.238,57	28	4.471,14
Média	3.269	913,61	2.074,87	2.988,48	78	641,04	180,04	821,13	21	3.809,61
Desvio padrão	423,95	254,67	470,65	587,89	5,94	350,10	124,50	357,78	5,94	858,80
Coefficiente de variação	12,97	27,88	22,68	19,67	7,62	54,61	69,15	43,57	27,70	22,54

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

Segundo Carneiro *et al.* (2015), os altos valores investidos em máquinas, equipamentos e implementos agrícolas, além do elevado custo da terra, revelaram melhor esta correspondência quando utilizados em produção grande o suficiente para diluir estes custos fixos pela produção. De modo que, quanto mais aumenta a produtividade da soja, menores serão os custos fixos por kg produzido.

Ainda Carneiro *et al.* (2015) reportaram que, devido à importância da soja para a economia nacional, conhecer a estrutura dos seus custos pode contribuir para a formulação de estratégias visando a obtenção de resultados vantajosos e para a formulação de políticas públicas inerentes.

Singh *et al.* (2021) reportam que o principal obstáculo para a produção do biodiesel ainda é o custo da matéria-prima que apresenta cerca de 60-70% do custo de produção. Segundo Ramos *et al.* (2017) esse valor pode atingir até 85 % do custo final e apesar da maturidade tecnológica, a escolha da matéria-prima é fator estratégico.

Análise dos Custos de Produtividade do milho

Quanto ao desempenho dos custos fixos (CF) e dos custos variáveis (CV) de produção do milho (TAB. 6), foi observada uma produtividade média de 5.760 quilogramas de milho por hectare. Em valores absolutos a produtividade varia de 4.250 kg/ha em Balsas/MA até 7.200 kg/ha em Caldas/MG e em Sorriso/MS, com coeficiente de variação 14,51% nos 19 municípios produtores de milho pesquisados, considerado homogêneo.

Os municípios do Paraná apresentam a maior produtividade média por hectare com 30.200 kg/ha, seguidos dos municípios do Mato Grosso com 25.200 kg/ha e dos municípios de Minas Gerais com 13.200 kg/ha. As menores médias estão em Vilhena/RO com 4.500 kg/ha, Assis/SP com 4.500 kg/ha e em Balsas/MA com 4.250 kg/ha.

Os custos variáveis de produção do milho representam, em média, 80% dos custos totais (2% a mais que os CV da soja), oscilando de 73% em Dourados/MS a 92% em Caxias do Sul, com coeficiente de variação 23,82%. Destes CV se destacam os custos com SMFA (sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos) que variam 23,82%, porém numa projeção inferior à proporção destes mesmos custos da soja, mas, chegam a ser o dobro dos custos variáveis com MJS (máquinas, juros e serviços) que apresentam variação de 33,01%. E nos custos fixos prevalecem os custos com MDE (manutenção, depreciações e encargos), cuja variação apresenta 74,67%.

Artuzo *et al.* (2018) afirmaram que o aumento da produção de milho está relacionado ao aumento da produtividade, mesmo considerando o aumento na área cultivada. Ou seja, é preciso explorar mais os insumos variáveis de produção na busca de mais eficiência.

Tabela 6 – Custos fixos e variáveis da produtividade do milho por município em 2021

Municípios	Produtividade (kg/ha)	Custo Variável		CVT	%	Custo Fixo			%	CT
		MJS	SMFA			MDE	RF	CFT		
Pedro Afonso - TO	5.400	680,14	1.312,96	1.993,10	89	151,14	92,36	243,5	11	2.236,60
Assis - SP	4.500	1.069,35	1.557,68	2.627,03	73	840,74	147,1	987,86	27	3.614,89
Vilhena - RO	4.500	399,53	1.387,43	1.786,96	89	98,52	113	211,52	11	1.998,48
Francisco Beltrão - PR	6.600	1.101,01	2.672,94	3.773,95	82	634,36	217,3	851,64	18	4.625,59
Assis Chateaubriand - PR	6.000	1.099,49	2.188,30	3.287,79	81	405,37	341,1	746,46	19	4.034,25
Ubiratã - PR	5.400	1.432,88	1.999,17	3.432,05	85	384,43	232,1	616,53	15	4.048,58
Campo Mourão - PR	6.500	1.192,70	2.496,73	3.689,43	83	439,63	339,65	779,28	17	4.468,71
Londrina - PR	5.700	1.248,69	2.310,61	3.559,30	71	1210,52	216,8	1427,32	29	4.986,62
Rio Verde - GO	6000	1.030,00	2.211,00	3.241,00	88	298,24	124,39	422,63	12	3.663,63
Cristalina - GO	4800	667,33	1.153,68	1.821,01	78	401,17	100,3	501,44	22	2.322,45
Balsas - MA	4250	692,28	1.394,50	2.086,78	79	406,31	135,7	541,97	21	2.628,75
Unáí - MG	6000	976,45	1.668,04	2.644,49	79	624,38	89,39	713,77	21	3.358,26
Caldas - MG	7200	1.880,88	2.368,83	4.249,71	70	1.782,83	77,43	1860,26	30	6.109,97
Campo Verde - MT	6000	906,22	1.994,20	2.900,42	85	396,23	108,9	505,17	15	3.405,59
Sorriso - MT	7200	1.149,90	1.746,34	2.896,24	87	378,53	37,45	415,98	13	3.312,22
Campo Novo do Parecis - MT	6000	918,56	1.863,40	2.781,96	76	778,62	94,27	872,89	24	3.654,85
Primavera Leste - MT	6000	817,83	1.853,27	2.671,10	86	315,45	113,5	428,93	14	3.100,03
Chapadão do Sul - MS	6000	647,66	2.220,40	2.868,06	92	85,22	165,9	251,15	8	3.119,21
Dourados - MS	5400	1.098,24	1.349,10	2.447,34	73	806,28	103,4	909,68	27	3.357,02
Média	6.000	1.000	1.882	2.882	81	549	150	699	19	3.581
Desvio padrão	835,76	330,13	444,60	686,61	6,60	409,94	83,80	411,80	6,60	1.003,83
Coefficiente de variação	13,93	33,01	23,62	23,82	8,15	74,67	55,87	58,91	34,74	28,03

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

Análise dos Custos de Produtividade do algodão em plumas (beneficiado)

Na Tabela 7 se encontram os custos fixos (CF) e os custos variáveis (CV) do algodão em plumas (beneficiado) dos sete municípios produtores pesquisados, nos quais foi observado uma produtividade média de 1.679 kg/ha, com coeficiente de variação 9,74%. Os quatro municípios do Mato Grosso somados apresentaram a maior produtividade com 6.445 kg/ha, seguidos de Goiás com 1.890 kg/ha, Mato Grosso do Sul com 1.800 kg/ha e Bahia com 1.620 kg/ha.

Na produção do algodão em plumas (beneficiado) foi observado uma variação de 1.500 kg/ha produzidos em Sorriso/MS a 1.890 kg/ha em Cristalina/GO. O coeficiente de variação dos CV foi 20,51%, apresentando 86% em Barreiras/BA e Rondonópolis/MT a 93% em Campo Novo do Parecis/MT. Estes CV representaram em média, 88% dos custos totais (8% a mais que os CV do milho e 10% a mais que os custos da soja). Destes CV, os custos com sementes, mudas, fertilizantes e agrotóxicos (SMFA) apresentam uma variação de 24,54%, e uma projeção superior àquela proporção destes mesmos custos da soja e do milho. Neste caso, as SMFA chegaram a ser até quatro vezes (4 x) maior do que os custos relacionados aos custos com máquinas, juros e serviços (MJS), que variaram 17,08%. Em se tratando dos custos fixos prevaleceram os custos com manutenção, depreciações e encargos (MDE) em até dez vezes (10 x) mais que os custos fixos renda de fatores (RF), como ocorreu em Chapadão do Sul/MS. Todavia, com coeficientes de variação distintos: 43,55% e 66,79% respectivamente.

Tabela 7 – Custos fixos e variáveis da produtividade do algodão em plumas (beneficiado) por municípios em 2021

Municípios	Produtividade (kg/ha)	Custo Variável				Custo Fixo				CT
		1 MJS	2 SMFA	CVT	%	3MDE	4 RF	CFT	%	
Barreiras BA	1.620	2.226,74	6.991,81	9.218,55	86	1.170,44	317,28	1.487,72	14	10.706,27
Chapadão do Sul - MS	1.800	2.162,31	8.211,60	10.373,91	82	2.045,04	170,63	2.215,67	18	12.589,58
Campo Verde - MT	1.500	2.662,77	7.038,50	9.701,27	90	908,39	139,01	1.047,40	10	10.748,67
Campo Novo do Parecis - MT	1.845	3.326,10	10.409,06	13.735,16	93	1.002,35	101,05	1.103,40	7	14.838,56
Rondonópolis - MT	1.600	2.351,79	4.624,08	6.975,87	86	593,08	511,17	1.104,25	14	8.080,12
Sorriso - MT	1.500	3.049,67	7.781,59	10.831,26	91	879,76	152,97	1.032,73	9	11.863,99
Cristalina – GO	1.890	3.039,76	6.161,20	9.200,96	90	869,82	140,54	1.010,36	10	10.211,32
Média	1.620	2.688,43	7.316,71	10.005,14	88	1.066,86	218,86	1.285,86	12	11.291,22
Desvio padrão	163,57	459,07	1.795,74	2.052,06	3,77	464,60	146,17	441,29	3,77	2.109,95
Coefficiente de variação	10,10	17,08	24,54	20,51	4,29	43,55	66,79	34,32	31,44	18,69

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

Varão *et al.* (2018) em sua pesquisa sobre o óleo de algodão como matéria-prima para a indústria brasileira de biodiesel, reportaram que devido à semelhança físico-química do óleo do algodão com o óleo de soja, este, tem potencial para ser ainda mais expressivo na produção do biodiesel no cenário nacional. Os resultados deste estudo evidenciaram que na produção do algodão, os altos investimentos em máquinas, serviços, sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos são mais apropriados aos grandes volumes produzidos, permitindo a expansão da sua produtividade.

Análise dos Custos de Produtividade do algodão em caroço

Na Tabela 8 se encontram os custos fixos (CF) e os custos variáveis (CV) da produção do algodão em caroço dos cinco maiores produtores de Minas Gerais. Os dados indicaram uma produtividade média de 4.289 kg/ha de algodão em caroço com um coeficiente de variação 14,35%. O município de Coromandel detém a maior produtividade com 4.900 kg/ha, tendo Unaí, Presidente Olegário e Paracatu a mesma produtividade: 4.500 kg/ha e o município de São Romão com produtividade de 3.048 kg/ha. Municípios localizados no Alto Paranaíba, Noroeste e Norte de Minas (SEAPA, 2022).

Tabela 8 – Custos fixos e variáveis da produtividade do algodão em caroço em Minas Gerais 2021

Municípios	Produtividade (kg/ha)	Custos Variáveis				Custos Fixos				CT
		MJS	SMFA	CVT	%	MDE	RF	CFT	%	
Coromandel	4.900	1.331,49	1.341,27	2.672,76	73	719,24	253,38	972,62	27	3.645,38
Unai	4.500	1.161,18	1.288,00	2.449,18	73	685,6	195,2	880,8	27	3.329,98
Presidente Olegário	4.500	1.219,60	1.301,50	2.521,10	76	628,1	184,9	813	24	3.334,10
Paracatu	4.500	1.009,20	1.155,80	2.165,00	69	733,8	216,98	950,78	31	3.115,78
São Romão	3.048	895	1.014,97	1.909,97	72	520,80	205,1	725,9	28	2.635,87
Média	4.289	857	1.220,31	2.343,60	73	553,35	211,11	868,62	27	3.212,22
Desvio padrão	645,58	159,48	120,11	272,37	2,25	74,03	23,65	90,75	2,25	334,01
Coefficiente de variação	14,35	18,61	9,84	11,62	3,08	13,38	11,20	10,45	8,34	10,40

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

Observando os relatórios da safra brasileira de grãos 2021/2022 da CONAB (2021) constatou-se um aumento de 10,2% na área plantada de algodão (1.510,9 milhões de ha), com aumento de 3,1% na produtividade (1.772 kg/ha) e 13,7% na produção de (2,678 milhões de t).

Na produção do algodão em caroço, os custos variáveis referentes a máquinas e serviços apresentaram coeficiente de variação 18,61%, os custos com sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos apresentaram coeficiente de variação 9,84%, representaram juntos 73% dos custos totais, e foram 82% menores que seus equivalentes da produção do algodão em plumas (beneficiado).

Os custos fixos de produção do algodão em caroço (27%) têm uma participação e proporção maior do que os custos fixos de produção do algodão em plumas (beneficiado) (11%), ou seja, os maiores custos variáveis para a produção do algodão em plumas elevam seu custo total de produção, embora a produtividade do algodão em caroço seja duas vezes (2 x) ou mais superior à do algodão em plumas (beneficiado). Os custos totais de produção do algodão em caroço apresentaram um coeficiente de variação 10,40%, e representaram 20% dos custos totais de produção do algodão em plumas (beneficiado).

Na produção do algodão em plumas (beneficiado) o maior custo de produção são sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos, todavia, na produção do algodão em caroço os custos variáveis com MJS (Máquinas, Juros e Serviços) se equiparam aos custos variáveis com SMFA (sementes, mudas, fertilizantes e agrotóxicos), no entanto, os custos com SMFA do algodão em plumas (beneficiado) se apresentam 10 vezes (10 x) maiores que os equivalentes custos para a produção do algodão em caroço.

Embora o algodão em plumas tenha uma estrutura de produção e destinação distintas do algodão em caroço, são expressivas as disparidades encontradas na composição dos custos de produtividade do caroço de algodão em relação ao algodão em plumas. A média de produtividade do caroço de algodão é 2/3 superior à média de produtividade do algodão em plumas. Os CV de produtividade do algodão em plumas são cerca de 5 vezes maiores que os CV do algodão em caroço, e nestes, os custos com SMFA do algodão em plumas são sete vezes maiores que os mesmos do algodão em caroço. Estas disparidades mostram aos produtores de algodão em plumas a vantagem competitiva que pode ocorrer na produção conjunta do algodão em caroço, que é utilizado pela indústria do biodiesel.

A ABIOVE (2016) e a ANP (2021) referiram em seus relatórios que o óleo de algodão tem se mantido entre as principais matérias-primas que compõem a cadeia produtiva do biodiesel no Brasil desde o ano de 2008, como o terceiro insumo mais utilizado.

Análise dos Custos de Produtividade do amendoim

Na Tabela 9 encontram-se os custos fixos (CF) e os custos variáveis (CV) do amendoim produzido nos vinte e sete municípios considerados os maiores produtores de São Paulo, cujo coeficiente de variação dos custos totais foi 13,54%. De acordo com a IEA SAA/SP (2021), a produtividade média de amendoim nestes municípios foi 3.670 kg/ha, sendo os principais produtores: Ourinhos com produtividade de 5.680 kg/ha, Limeira com 5.000 kg/ha, Marília com 4.920 kg/ha, Catanduva com 4.500 kg/ha e Presidente Prudente com 4.480 kg/ha.

Tabela 9 – Custos fixos e variáveis da produtividade do amendoim por município de São Paulo 2021

Municípios	Produtividade (kg/ha)	Custos Variáveis				Custos Fixos				CT
		M JS	SMFA	CVT	%	MDE	RF	CFT	%	
Jaboticabal	3.580	2.023,69	4.670,20	6.693,89	97	1.062,14	238,24	238,24	3	6.932,13
Marília	4.920	1.814,95	4.724,80	6.539,75	85	956,2	198,2	1.154,40	15	7.694,15
Tupã	4.450	1.928,00	4.620,88	6.548,88	85	998,3	202,85	1.201,15	15	7.750,03
Presidente Prudente	4.480	1.898,15	3.925,10	5.823,25	85	864,12	198,35	1.062,47	15	6.885,72
Lins	3.910	1.856,20	4.570,00	6.426,20	88	689,28	212,8	902,08	12	7.328,28
São José do Rio Preto	3.060	1.780,00	4.010,18	5.790,18	89	516,3	188,38	704,68	11	6.494,86
Assis	4.030	1.865,30	4.222,98	6.088,28	87	745,4	171	916,4	13	7.004,68
Barretos	3.740	1.998,00	4.730,30	6.728,30	89	628,9	235	863,9	11	7.592,20
Araçatuba	3.500	1.905,20	4.145,45	6.050,65	88	615,19	193,2	808,39	12	6.859,04
Catanduva	4.500	2.011,00	4.746,12	6.757,12	89	727,4	119,8	847,2	11	7.604,32
Dracena	3.050	1.699,00	3.808,29	5.507,29	88	580,2	144	724,2	12	6.231,49
Ribeirão Preto	3.360	1.876,50	4.229,76	6.106,26	88	655,3	186,8	842,1	12	6.948,36
Presidente Venceslau	2.790	1.712,80	3.167,20	4.880,00	87	512,8	216	728,8	13	5.608,80
General Salgado	3.710	1.788,25	4.490,80	6.279,05	90	519,25	198	717,25	10	6.996,30
Araraquara	3.270	1.805,19	3.965,10	5.770,29	88	580,85	193,6	774,45	12	6.544,74
Jaú	3.600	1.998,15	4.240,00	6.238,15	88	618	201,88	819,88	12	7.058,03
Bauru	3.660	2.019,25	3.880,19	5.899,44	89	525,77	182,6	708,37	11	6.607,81
Andradina	4.190	1.855,60	4.088,20	5.943,80	88	583,7	199	782,7	12	6.726,50
Limeira	5.000	2.005,88	4.880,20	6.886,08	88	708,22	208,2	916,42	12	7.802,50
Votuporanga	2.420	1.695,00	3.645,25	5.340,25	89	501,8	184,45	686,25	11	6.026,50
Ourinhos	5.680	2.001,70	4.620,80	6.622,50	88	698,2	201,6	899,8	12	7.522,30
Orlândia	3.670	1.898,00	4.520,20	6.418,20	88	677,2	206,5	883,7	12	7.301,90
Fernandópolis	1.820	1.414,09	3.219,44	4.633,53	86	582,1	188	770,1	14	5.403,63
Franca	4.130	1.801,20	4.198,00	5.999,20	90	503,19	198,4	701,59	10	6.700,79

Avaré	4.350	1.928,70	4.688,80	6.617,50	90	502,8	192,5	695,3	10	7.312,80
São João da Boa Vista	1.750	1.326,80	2.949,30	4.276,10	86	498,1	202,86	700,96	14	4.977,06
Piracicaba	1.250	1.288,00	2.040,00	3.328,00	83	502,14	187,5	689,64	17	4.017,64
Média	3.670	1.811,28	4.289,70	6.175,76	88	684,1	202,69	847,45	12	7.023,21
Desvio padrão	1.014,60	199,49	657,76	836,10	2,48	158,67	23,31	178,22	2,48	897,80
Coefficiente de variação	27,65	11,01	15,33	13,54	2,82	23,19	11,50	21,03	20,67	12,78

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

Os menores volumes produzidos de amendoim estão em Piracicaba com produtividade de 1.250 kg/ha, em São João da Boa Vista com 1.750 kg/ha e em Fernandópolis com 1.820 kg/ha. O coeficiente de variação na produtividade foi 27,99% (considerado heterogêneo).

A escala de produção se apropria dos custos totais e reduz o custo por unidade produzida. A variação encontrada entre as unidades produtivas pode decorrer da taxa média de diferença tecnológica nos níveis de eficiência entre os produtores, porém políticas destinadas a reduzir o *gap* tecnológico das regiões de menor aptidão agrícola podem contribuir para o aumento da produtividade desta cultura no estado de São Paulo.

Os custos variáveis do amendoim representam, em média, 88% dos custos totais, com baixas oscilações, tendo em vista o coeficiente de variação 13,54%. Destaque para os custos de SMFA (sementes/ mudas, fertilizantes e agrotóxicos) que representam 70% dos custos e teve coeficiente de variação em 15,33%.

Os custos fixos do amendoim representam em média, 12% do custo total com coeficiente de variação em 21,03%, sendo que os custos com MDE (manutenções, depreciações e encargos), com raras exceções, respondem por 80% destes custos fixos.

Segundo os estudos de Martins *et al.* (2017) sobre a produção de algodão, amendoim e soja nas regionais de desenvolvimento rural de SP, possivelmente, na produção de grãos para óleo, sem maiores preocupações com a qualidade do produto, menores custos de produção possibilitam maiores níveis de eficiência relativa.

Análise dos Custos de Produtividade da canola

Na Tabela 10 encontram-se os custos fixos (CF) e os custos variáveis (CV) da canola produzida nos dez municípios produtores do Rio Grande do Sul relatados pela EMATER/RS (2021). Dentre os dez municípios, as maiores produtividades médias foram: de Bagé com produtividade de 1.880 kg/ha, São Luiz Gonzaga com 1.800 kg/ha e Caxias do Sul com 1.723 kg/ha.

Tabela 10 – Custos fixos e variáveis da produtividade da Canola por município do Rio Grande do Sul 2021

Municípios	Produtividade (kg/ha)	Custos Variáveis				Custos Fixos				CT
		MJS	SMFA	CVT	%	MDE	RF	CFT	%	
São Luiz Gonzaga	1.800	851,02	3.411,46	4.262,48	79	982,28	121,01	1.103,29	21	5.365,77
Bagé	1.880	901,14	3.429,80	4.330,94	79	998	127	1.125,00	21	5.455,94
Caxias do Sul	1.723	820,5	3.398,80	4.219,30	81	856,9	137,2	994,1	19	5.213,40
Erechim	1.660	919,8	3.260,10	4.179,90	81	845,2	121	966,2	19	5.146,10
Frederico Westphalen	1.246	814,1	2.998,80	3.812,90	81	810,22	85	895,22	19	4.708,12
Ijuí	1.396	783,8	2.011,40	2.795,20	78	729,38	82	811,38	22	3.606,58
Passo Fundo	1.102	883,75	2.098,32	2.982,07	79	701,8	85,5	787,3	21	3.769,37
Santa Maria	1.761	872,9	2.205,10	3.078,00	75	904,88	114,7	1.019,58	25	4.097,58
Santa Rosa	1.324	892,7	2.098,19	2.990,89	77	798,3	114,2	912,5	23	3.903,39
Soledade	1.415	906	2.211,98	3.117,98	80	705,2	98,19	803,39	20	3.921,37
Média	1.538	864,57	2.712,39	3.576,96	79	833,21	108,58	941,79	21	4.518,76
Desvio padrão	253,06	43,05	600,83	603,19	1,84	100,70	18,55	114,93	1,84	693,85
Coeficiente de variação	16,46	4,98	22,15	16,86	2,33	12,09	17,08	12,20	8,78	15,35

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

As menores produtividades médias foram registrados em Passo Fundo com (1.102 kg/há) e em Frederico Westphalen (1.246 kg/ha), respectivamente. O coeficiente de variação na produtividade média foi 16,46%.

A apropriação dos custos totais não foi correspondente à apropriação observada nas outras oleaginosas, o que provocou, um custo unitário de produção maior do que aquele observado no amendoim por exemplo.

Os custos variáveis da canola representam, em média, 79% dos custos totais, com coeficiente de variação 16,86%. Destacam-se os custos com SMFA que representam 75% dos custos variáveis e coeficiente de variação em 22,15%. Os valores dos custos com SMFA se sobrepõem em até 3,5 vezes aos custos variáveis com MJS, cujo coeficiente de variação foi 4,98%. Ressalta-se que de 2020 para 2021 os custos com SMFA aumentaram em média 308,08%, sendo o aumento das sementes em 122%, dos fertilizantes em 368% e dos agrotóxicos em 334% (CONAB, 2021).

Os custos fixos representaram em média, 21% do custo total com coeficiente de variação 12,20%, sendo que os custos com MDE, sem exceção, respondem por 88% destes custos fixos com coeficiente de variação em 12,09%.

Segundo Moura (2012), estes custos podem ser reduzidos quando o cultivo ocorre na safra outono inverno. Porém, apresentavam restrições quanto ao ciclo, produção de grãos, manejo e colheita, ou disponibilidade de sementes.

Shadidi; Najafi; Zolfigol (2022) argumentam que há pesquisas em andamento em diferentes universidades iranianas que confirmam os recursos potenciais do óleo de canola para produção de biodiesel em diferentes regiões do Irã.

Análise dos Custos de Produtividade do dendê

Na Tabela 11 encontram-se os custos fixos (CF) e os custos variáveis (CV) do dendê (o coco) produzido nos dez municípios maiores produtores do estado do Pará. A produtividade média alcançou 25.780 kg/ha, sendo os maiores produtores, os municípios de Tailândia e Tomé-Açu com produtividade de 100.200 kg/ha e de 57.000 kg/ha respectivamente, (SDAP/PA, 2021).

Tabela 11 – Custos fixos e variáveis da produtividade do dendê por município do Pará 2021

Município	Produtividade (CFF kg/ha)	Custos Variáveis				Custos Fixos				CT
		1 MJS	2 SMFA	CVT	%	3 MDE	4 RF	CFT	%	
Moju	15.000	7.124,58	6.111,59	13.236,10	87	1.630,20	339	1.969,20	13	15.205,37
Bonito	16.950	7.708,42	6.345,18	14.053,60	90	1.232,29	289,2	1.521,49	10	15.575,09
Acará	22.200	9.102,25	6.540,13	15.642,30	87	1.921,76	349	2.270,76	13	17.913,14
Concórdia do Pará	29.250	12.880,50	11.019,20	23.899,80	88	2.549,26	818,2	3.367,46	12	27.267,27
Tomé-Açu	57.000	26.635,20	16.816,80	43.452,10	90	3.900,00	951,5	4.851,50	10	48.303,59
Tailândia	100.200	36.416,60	31.020,80	67.437,40	90	4.960,16	2.880,90	7.841,07	10	75.278,47
Igarapé-Açu	6.900	3.288,30	2.668,40	5.956,70	91	332	259,3	591,3	9	6.548,00
Santo Antônio do Tauá	4.950	1.478,90	1.916,50	3.395,40	84	459,3	188,6	647,9	16	4.043,30
Abaetetuba	2.700	1.090	992,3	2.082,30	85	237,86	120,5	358,36	15	2.440,66
São Domingos do Capim	2.650	888,3	810	1.698,30	86	152	127,5	279,5	14	1.977,80
Média	25.780	10.661,30	8.424,10	19.085,40	89	1.737,48	632,37	2.369,85	11	21.455,27
Desvio padrão	30.894,24	11.892,50	9.367,11	21.176,96	2,39	1.646,33	838,61	2.415,74	2,39	23.579,80
Coefficiente de variação	119,84	111,55	111,19	110,96	2,69	94,75	132,61	101,94	21,77	109,90

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

As menores médias de produtividade estão registrados em São Domingos do Capim (2.650 kg/ha) e Abaetetuba (2.700 kg/ha). A variação na produtividade foi relevante, O coeficiente de variação da produtividade foi de 119,84%, considerado heterogêneo e a maior variação da amostra desta pesquisa. Essa variação foi confirmada pela variação no custo total, cujo coeficiente de variação alcançou 109,90%. A apropriação dos custos totais entre os municípios foi equivalente, comportamento distinto da apropriação dos custos de produção na escala de produção das outras oleaginosas deste estudo.

Damasceno *et al.* (2018) explicaram que a produção do dendê na região de Tomé-Açu/PA, por exemplo, foi potencializada em extensos monocultivos por causa das políticas públicas federais relacionadas ao setor.

Os custos variáveis do dendê representaram, em média, 89% dos custos totais, com coeficiente de variação em 110,96%. Este fato difere das outras matérias-primas estudadas, pois, no caso do dendê destacam-se os custos variáveis com MJS (com variação de 111,55%), que representam 59% dos custos variáveis, sendo 26% superiores aos custos com SMFA (com variação em 111,19%).

Os custos fixos representam em média, 11% do custo total, sendo os custos com MDE (manutenções, depreciações e encargos) 78% destes custos fixos nos municípios com as menores produções e 50% nos municípios com maiores produções, ou seja, nas maiores produções há maior apropriação destes custos fixos na escala de produção do que nos municípios de menor produtividade.

Conforme Alves *et al.* (2016), ainda que a produção do dendê seja em consórcio como foi com a produção da mandioca em Moju/PA, seus custos de produção em comparação aos custos de produção em relação à receita da mandioca, foram amortizados em 52%. Outro fato a considerar é a viabilidade pelo fator produtividade por área plantada, teor de óleo por peso da cultura e integração das atividades agrícola e industrial (LIMA JUNIOR, 2008), além do seu melhor desempenho econômico e ambiental em relação a outras culturas energéticas como foi mencionado por MARZULLO (2007).

Análise dos Custos de Produtividade do girassol

Na Tabela 12 encontram-se os custos fixos (CF) e os custos variáveis (CV) do girassol produzido nos municípios maiores produtores dos seguintes estados: Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais, São Paulo, Goiás e o Distrito Federal, constantes do relatório da CONAB (2021). Observou-se uma produtividade média de 1.822 kg/ha, sendo os

municípios de Santa Bárbara d'Oeste/SP e Brasília/DF com as maiores produtividades de 2.500 kg/ha e 2.400 kg/ha respectivamente, e Araguari/MG e Caldas Novas/GO com as menores 1.500 kg/ha, cada. Mato Grosso, Minas Gerais e Goiás são os principais produtores de girassol (EMBRAPA SOJA, 2020), sendo, Goiás o maior produtor (CONAB, 2021).

Tabela 12 – Custos fixos e variáveis da produtividade do girassol em 10 municípios

Municípios	Produtividade (kg/ha)	Custos Variáveis				Custos Fixos				CT
		1 MJS	2 SMFA	CVT	%	3 MDE	4 RF	CFT	%	
São Luiz Gonzaga- RS	1.560	984,35	1.708,49	2.692,84	75	702,92	196,62	899,54	25	3.592,38
Campo Novo do Parecis - MT	1.620	475,43	2.526,16	3.001,59	79	650,4	144,01	794,41	21	3.796,00
Araguari (MG)	1500	982,4	1.960,66	2.943,06	79	688,25	112	800,25	21	3.743,31
Araxá (MG)	1740	1.014,00	2.088,00	3.102,00	78	748	127,12	875,12	22	3.977,12
São Miguel das Missões (RS)	1800	726,5	1.614,29	2.340,79	72	782,25	144,8	927,05	28	3.267,84
Nova Maringá (MT)	1800	510,2	2.326,10	2.836,30	77	664,8	162	826,8	23	3.663,10
Santa Bárbara d'Oeste (SP)	2500	1.273,85	2.414,50	3.688,35	75	829,3	375,25	1.204,55	25	4.892,90
Campo Alegre de Goiás (GO)	1800	492,00	2.668,20	3.160,20	80	610,4	184,25	794,65	20	3.954,85
¹¹⁰ Caldas Novas (GO)	1500	349,4	1.637,90	1.987,30	70	620,85	212,5	833,35	30	2.820,65
Brasília (DF)	2400	998,2	2.019,15	3.017,35	71	882,6	328,9	1.211,50	29	4.228,85
Média	1822	731,43	1.854,90	2.876,98	76	717,98	198,75	916,72	24	3.793,70
Desvio padrão	352,57	310,88	382,54	464,68	3,60	90,70	87,18	159,98	3,60	551,83
Coefficiente de variação	19,35	42,50	20,62	16,15	4,73	12,63	43,87	17,45	14,98	14,55

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

Em termos absolutos, a variação na produtividade do girassol foi de 1.000 kg/ha, e seu coeficiente de variação ficou em 19,35%. A apropriação dos custos totais teve proporção inferior na razão volume/custos, comportamento variante da apropriação dos custos das outras matérias-primas estudadas nesta pesquisa.

Ao analisar os dados disponibilizados pela CONAB (2021), constatou-se que os custos variáveis do girassol representaram em média, 76% dos custos totais, com coeficiente de variação em 16,15%. Diferente das outras matérias-primas estudadas, os custos com SMFA (sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos) de seis municípios representaram o dobro dos custos com MJS (máquinas, juros e serviços). Quatro municípios, Campo Novo do Parecis/MT e Nova Maringá/MT, Campo Alegre de Goiás/GO e Caldas Novas/GO, apresentam a razão SMFA/MJS de 5/1. O desequilíbrio nos custos variáveis entre os dois grupos ocorreu nos municípios cuja produção foi intermediária, todavia, o coeficiente de variação tenha ficado em 20,62%.

Os custos fixos representam em média, 24% do total e apresentou coeficiente de variação 17,45%, sendo os custos com MDE (manutenções, depreciações e encargos) 77% destes custos fixos nos municípios com as menores produções e 70% nos municípios com maiores produções com coeficiente de variação em 12,63%. Nas maiores produções há melhor apropriação destes custos fixos na escala de produção do que nos municípios de menor produtividade, tendo em vista que seu cultivo é um dos mais econômicos e não necessita de um maquinário especializado, conforme referido por Marinho (2021).

Coeficiente Custeio da Produtividade

Na Tabela 13 a seguir encontram-se os dados médios que permitem comparações entre os valores dos custos totais de produção e a produtividade das matérias-primas estudadas através do coeficiente custeio de produtividade ($CCP = \frac{\text{Custos totais de Produção}}{\text{Produtividade}}$) (ASSAF NETO, 2020).

Tabela 13 – Coeficiente de Custeio da Produtividade das MPV utilizadas na produção do biodiesel no Brasil

Matéria-prima	Produtividade média (kg/ha)	Custos Variáveis (R\$)		CVT	%	Custos Fixos (R\$)		CFT	%	CT (R\$)	Coeficiente Custeio de Produtividade (R\$/kg)
		1 MJS	2 SMFA			3 MDE	4 RF				
Soja	3.270	913,6	2.074,9	2.988,5	78	641,1	180,1	821,1	21	3.809,6	1,17
Milho	5.760	1.000,4	1.881,5	2.881,9	80	549,3	150,	699,4	19	3.581,3	0,62
Algodão plumas (beneficiado)	1.680	2.735,4	7.409,3	10.144,8	88	1.078,8	229,2	1.308,1	11	11.452,8	6,82
Algodão em caroço	4.290	857,0	1.220,3	2.077,3	73	553,3	211,1	764,5	26	2.841,7	0,66
Amendoim	3.654	1.746,5	4.136,4	5.883,1	87	659,6	195,5	855,1	12	6.738,2	1,84
Canola	1.531	864,5	2.712,4	3.576,9	79	833,2	108,6	941,8	20	4.518,7	2,95
Dendê	25.780	10.661,3	8.424,1	19.085,4	88	1.737,4	632,4	2.369,9	11	21.455,2	0,83
Girassol	1.822	731,4	1.854,9	2.586,3	73	717,9	198,8	916,7	26	3.503,0	1,92

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

A partir dos dados do coeficiente de custeio da produtividade apresentados na Tabela 13, foi possível identificar a melhor apropriação dos custos totais de produção no desempenho da produção em volume. Em valores absolutos, o dendê e o algodão em plumas (beneficiado) são os mais custosos, R\$ 21.455,20 e 11.452,80, respectivamente, e o girassol e o milho são os menos custosos, R\$ 3.503,00 e R\$ 3.518,30 respectivamente. Em termos de quantidade por área (produtividade) o dendê é absolutamente a MP com maior rendimento (25.780 CFF kg/ha), seguido do milho (5.760 kg/ha) e algodão em caroço (4.290 kg/ha).

Os melhores coeficientes de custeio da produtividade são o do milho (R\$ 0,62 por kg), o do algodão em caroço (R\$ 0,66 por kg) e o do dendê (R\$ 0,83 por kg), apresentando os menores custos por kg produzido. Os piores coeficientes de custeio da produtividade foram o do algodão em plumas (beneficiado) (R\$ 6,82 por kg), o da canola (R\$ 2,95 por kg) e o do girassol (R\$ 1,92 por kg), que apresentaram os maiores custos por kg produzido. Os coeficientes de custeio de produtividade da soja (R\$ 1,17 por kg) e do amendoim (R\$ 1,84 por kg) se encontram em posições intermediárias no ranking das oleaginosas estudadas.

Ganha relevo nestes resultados o fato de que os melhores coeficientes custeio de produtividade (milho, algodão em caroço e dendê) apresentaram os menores níveis relativos de custos com SMFA (sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos), pois, SMFA possuem menor representatividade na produção destas matérias-primas (milho, algodão em caroço e dendê) em relação aos custos SMFA das demais oleaginosas.

Considerando as matérias-primas estudadas, o dendê (que é uma cultura perene) foi a única cujos custos variáveis com SMFA (sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos) são menores que seus custos variáveis com MJS (máquinas, serviços e juros), mediante uma produtividade relativamente alta, o que posiciona seu coeficiente de custeio de produtividade entre os melhores desta análise (o terceiro). Ademais oferta dois óleos geradores do biodiesel: o óleo de palma e o óleo de palmiste.

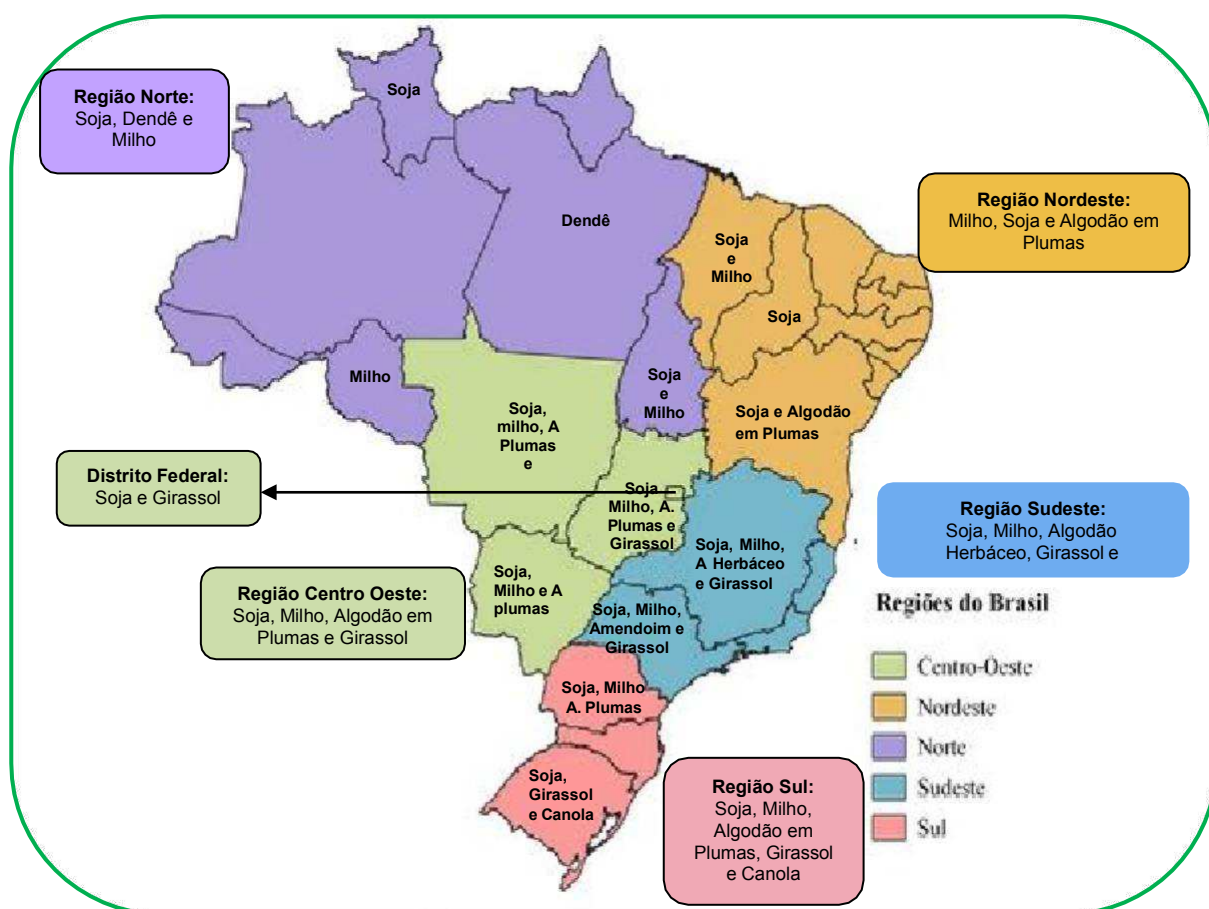
O algodão em plumas (beneficiado) foi a matéria-prima que representou o maior coeficiente de custeio da produtividade (R\$ 6,82 por kg/ha) dentre as oleaginosas analisadas, pois, apresentou os maiores custos relativos e absolutos com SMFA (sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos).

À exceção do dendê, nas demais matérias-primas estudadas os custos variáveis com SMFA (sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos) impactaram de formas distintas, mas determinante seus coeficientes de custeio da produtividade. Embora haja componentes de custos fixos equivalentes, os valores dos custos variáveis oscilam entre as regiões, principalmente quando se trata de SMFA.

A dispersão geográfica da produção das sete MPV da amostra encontra-se na Figura 10 a seguir.

À exceção do dendê na região Norte, todas as outras MPV têm sua produção em escala industrial concentrada nas regiões Centro Oeste, Sudeste e Sul do país, porém a região Norte também produz a soja e o milho.

Figura 13 – Distribuição Geográfica das matérias-primas vegetais pesquisadas aptas à produção do biodiesel em diferentes regiões do Brasil



Fonte: IBGE (2022) modificado pelo autor.

Embora a análise do comportamento dos custos de produção seja imprescindível à formulação de estratégias visando a obtenção de resultados vantajosos e à formulação de políticas públicas inerentes (CARNEIRO *et al.*, 2015), não é suficiente para avaliar a eficiência na produção destas MPV, tendo em vista a necessidade de se conhecer a razão de todos os insumos de produção com os diferentes níveis de produtividade de cada MPV em cada região simultaneamente.

A Eficiência na Produção

Conforme Ramos *et al.* (2017), a seleção da matéria-prima a ser utilizada no processo de produção do biodiesel tem grande impacto sobre o custo da produção industrial de biodiesel, de modo que, encontrar a eficiência da produção de matérias primas para ofertá-la em abundância, pode ser estratégico para a redução dos custos finais de produção do biodiesel.

Segundo Farrel (1957) o problema da eficiência produtiva na indústria é importante, pois demanda uma melhor alocação entre insumos e produtos, tendo em vista que se busca encontrar a melhor combinação possível de insumos, para produzir a maior quantidade de produtos. Isso permite avaliar o desempenho de uma unidade produtiva. Ainda segundo o autor, a eficiência é uma medida de análise que busca medir o sucesso de produção de uma unidade produtiva dado o seu conjunto de insumos utilizados.

Considerando o resultado individual da eficiência na produtividade pelos insumos de cada MPV (E_1), o milho aparece com a melhor eficiência ($1,62 = 1$), seguindo do algodão (0,82, puxado pelo herbáceo) e do dendê (0,72) (TAB. 4). Comparativamente (E_2), o algodão e o dendê são as MPV que mais se aproximam da eficiência encontrada no milho.

Tabela 14 – Eficiência Básica das matérias-primas vegetais exploradas no biodiesel no Brasil

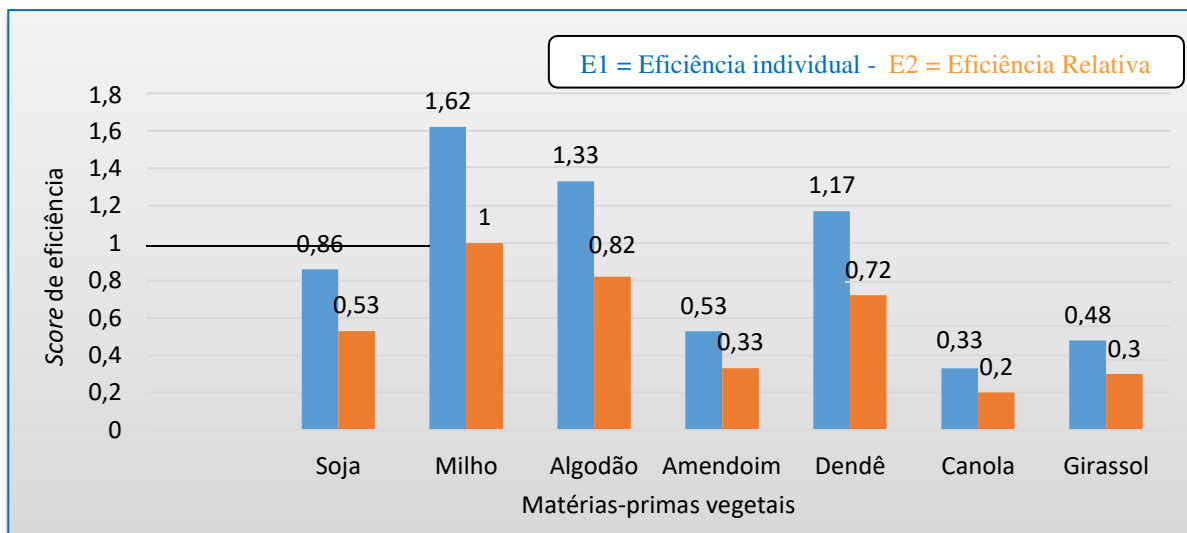
Ranking da Eficiência Básica das MPV utilizadas na geração do biodiesel no Brasil				
MPV	Quantidade de Municípios	E_1	E_2	Classificação
Soja	23	0,86	0,53	4°.
Milho	19	1,62	1,00	1°.
Algodão	12	1,33	0,82	2°.
Amendoim	27	0,53	0,33	5°.
Dendê	10	1,17	0,72	3°.
Canola	10	0,33	0,20	7°.
Girassol	10	0,48	0,30	6°.

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

E_1 : Eficiência básica individual (Produção / Insumos); E_2 : eficiência básica relativa (E_1/E_{1max})

As MPV consideradas menos eficientes quando comparadas ao milho foram a Canola (0,20), o girassol (0,30) e o amendoim (0,33). A soja se encontra em quarto lugar, com eficiência relativa de 0,53 (GRAF. 1).

Gráfico 1 – Eficiência básica das MPV de diferentes regiões brasileiras exploradas para a produção do Biodiesel



Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Embora na classificação constante da Tabela 14 esteja calculada a eficiência básica, esta não envolve o cálculo da participação relativa de cada insumo em produtividades distintas, e quais as folgas (insumos mal utilizados ou inexistentes) nos custos daquelas consideradas ineficientes.

O modelo matemático BCC/VRS (retornos variáveis à escala) produto orientado (voltado para a saída) da DEA possibilitou identificar a eficiência técnica (relativa) na produção da soja, do milho, do algodão, do amendoim, do dendê, da canola e do girassol, cujos resultados são apresentados na subseção seguinte, considerando que a eficiência produtiva total das oleaginosas é dada quando o *score* de eficiência alcança o coeficiente 1,00.

– A Eficiência Técnica da Produtividade da soja

Dentre os 23 municípios analisados 13 obtiveram eficiência relativa igual a 1,00 representando 56% da amostra (TAB. 15). Os municípios identificados como eficientes poderão servir de benchmark para os demais, pois, as análises das suas estruturas de custos: MJS, SMFA, MDE e RE poderão gerar informações necessárias importantes à melhoria do desempenho dos outros municípios. As cidades consideradas como referências foram Pedro

Afonso/TO, Ijuí/RS, São Luiz Gonzaga/RS, Boa Vista/RR, Uruçuí/PI, Sorriso/MT, Primavera do Leste/MT, Campo Novo do Parecis/MT, Dourados/MS, Chapadão do Sul/MS, Barreiras/BA, Brasília-DF e Campo Verde/GO (GRAF. 2).

Tabela 15 - A eficiência técnica dos municípios produtores de soja em 2021

VRSTE - Retorno Variável à Escala			Eficiência Projetada		Folga nos insumos (R\$)			
Municípios	Produtividade (kg/ha)	Scores de Eficiência	Produtividade (kg/ha)	%	1 = MJS	2 = SMFA	3 = MDE	4 = RF
Assis - SP	3000	0.899	3.335	11,1	0,00	0,00	307,64	0,00
Pedro Afonso - TO	3100	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Ijuí - RS -	3100	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Cruz Alta - RS	2700	0.739	3.655	35,4	0,00	0,00	36,43	2,75
São Luiz Gonzaga - RS	2200	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Boa Vista - RR	3000	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Francisco Beltrão - PR	3300	0.939	3.515	6,54	737,11	0,00	0,00	0,00
Guarapuava - PR	3500	0.912	3.836	9,60	0,00	0,00	423,59	62,14
Ponta Grossa - PR	3800	0.974	3.900	2,63	159,80	6,31	31,04	93,92
Londrina - PR	3600	0.923	3.900	8,33	196,29	1.164,86	1.012,37	55,38
Campo Mourão - PR	3650	0.971	3.760	3,02	10,70	329,65	0,00	185,09
Uruçuí - PI	2700	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Sorriso - MT	3120	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Primavera do Leste - MT	3240	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Campo Novo do Parecis - MT	3480	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Dourados - MS	3900	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Chapadão do Sul - MS	3100	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Unai - MG	3300	0.933	3.536	7,17	27,00	0,00	53,31	0,00
Barreiras - BA	3660	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Brasília - DF	3900	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Rio Verde - GO	3600	1.000			0,00	0,00	0,00	0,00
Cristalina - GO	3150	0.852	3.699	17,4	154,9	221,64	0,00	0,00
Balsas - MA	3120	0.832	3.751	20,2	0,00	0,00	465,85	0,00

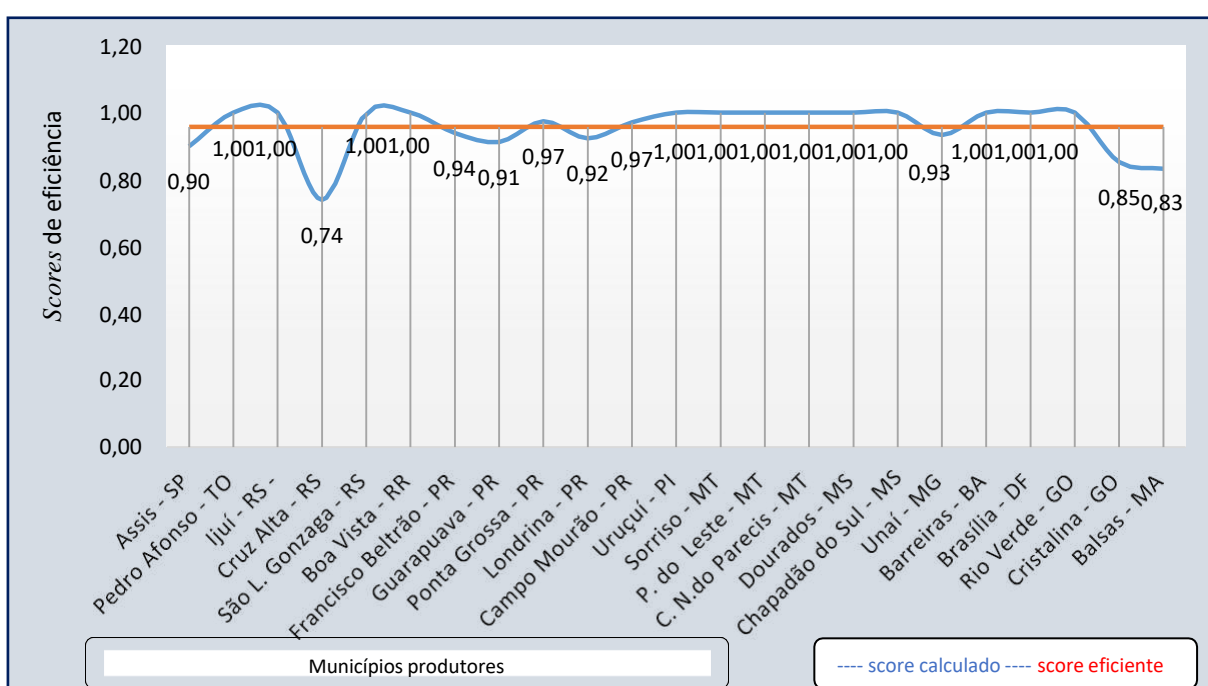
Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

Os municípios que obtiveram *scores* de eficiência entre 0,91 a 0,99, relativamente eficientes, somaram aproximadamente 26% da amostra, 6 municípios: Francisco Beltrão, Guarapuava, Ponta Grossa, Londrina e Campo Mourão (todos do PR) e Unaí/MG.

Os municípios do estado do Paraná obtiveram as melhores médias de produtividade, todavia nenhum dos seus municípios, aqui analisados, alcançou eficiência máxima. Com *scores* de eficiência abaixo de 0,90 estão quatro municípios (18% da amostra), são estes: Assis/SP, Cristalina/GO Balsas/MA e Cruz Alta/RS (GRAF. 2).

Gráfico 2 – Scores de eficiência dos municípios produtores de soja



Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

De acordo com Ferreira e Gomes (2009) uma vantagem da análise de eficiência é comparar as unidades produtivas entre si, na busca daquelas que sejam mais e daquelas que sejam menos eficientes, e principalmente aprender com as mais eficientes.

Os municípios Ponta Grossa e Londrina são os que requerem eliminação das folgas nos quatro subgrupos dos custos (MJS, SMFA, MDE e RE) para alcançar eficiência. Os demais ineficientes requerem reduções em pelo menos um grupo dos seus custos. Os insumos variáveis MJS (Máquinas, Juros e Serviços) e SMFA (Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos) são os que mais comprometeram a eficiência nestes dois municípios.

Considerando o volume produzido para alcançar a eficiência, os municípios do Paraná precisam aumentar de 3,02% sua produtividade (Campos Mourão) a 9,60% (Guarapuava). Entretanto, outros municípios como Assis/SP e Balsas/MA precisam aumentar

em 11,19% e 20,26%, respectivamente. O município que incorre em maior necessidade de ajuste no volume a ser produzido/ha é Cruz Alta/RS, aumento em mais de 35% para alcançar seu benchmark.

Os estudos sobre a eficiência técnica na produção da soja no estado de São Paulo, realizados por Soares e Spolador (2017) identificaram que as principais variáveis que contribuíram para ganhos de eficiência foram as condições climáticas e de relevo, o uso de plantio direto, assistência técnica rural, manejo integrado de pragas e adubação verde.

O alcance da eficiência produtiva pelos dez municípios ineficientes implica na redução dos custos/insumos variáveis e/ou em potencializar a escalabilidade dos custos fixos, conforme o custo projetado (TAB. 16) e aumento da produtividade projetada (TAB. 15). Tal ação geraria uma redução de 23,59% do custo unitário médio de produção do kg/ha, e uma produtividade correspondente a 3.771 kg/ha, ou seja, uma safra superior à de Rio Verde/GO, um dos eficientes (*score* 1,00 = eficiência máxima). Entre os Municípios eficientes, o custo unitário do kg é de R\$ 1,09 e entre os ineficientes o custo unitário do kg é de R\$ 1,25 (14,67% maior).

Tabela 16 – Racionalização dos custos para alcance da eficiência na produtividade da soja 2021

Municípios	Racionalização dos custos dos insumos (R\$)								Custo da Produção (R\$)	Custo Projetado	Custo por kg		Dif. Unid.	
	1 - MJS	%	2 - SMFA	%	3 -MDE	%	4 - RF	%			Atual	Projetado	R\$	%
Assis/SP					307,1	9			3.417,97	3.110,81	1,13	0,93	0,21	18,15
Cruz Alta/RS					36,43	1	2,7	08	3.264,05	3.224,87	1,20	0,88	0,33	27,03
Francisco Beltrão/PR	737,11	18							3.913,79	3.176,68	1,18	0,90	0,28	23,82
Guarapuava/PR					423,5	8	62,1	1	4.982,33	4.496,59	1,42	1,17	0,25	17,66
Ponta Grossa/PR	160	4	6,31	02	31,04	08	93,9	2	3.852,14	3.561,07	1,01	0,91	0,10	9,93
Londrina/PR	196,29	3	1.164,86	19	1.012,	17	55,3	1	5.989,97	3.561,07	1,66	0,91	0,75	45,12
Campos Mourão/PR	10,08	03	329,65	8			185,0		3.871,81	3.346,98	1,06	0,89	0,17	16,09
Unai/MG	27,00	07			956,8	23			4.116,39	3.132,57	1,24	0,89	0,36	28,99
Cristalina/GO	154,97	4	221,64	6					3.670,74	3.294,12	1,16	0,89	0,27	23,59
Balsas/MA					465,8	11			4.471,14	4.005,29	1,43	1,07	0,37	25,51
Total									41.550,3	34.910,5	12,5	9,45	3,09	235,8
Média									4.155,03	3.491,00	1,25	0,94	0,31	23,59

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

– A Eficiência Técnica da Produtividade do milho.

Os municípios que obtiveram eficiência relativa igual a 1,00 (eficiência máxima) totalizaram seis, correspondendo a 31% da amostra (TAB. 17). Esses municípios identificados como eficientes servem de *benchmark* para os demais. Análises do desempenho dos seus insumos podem gerar informações necessárias à melhoria do desempenho dos outros municípios.

Tabela 17 - A eficiência técnica dos municípios produtores de milho 2021

VRSTE - Retorno Variável à Escala			Eficiência Projetada		Ajustes nos insumos (R\$)			
Municípios	Produtividade (kg/ha)	Scores de Eficiência	Produtividade (kg/ha)	%	1 - MJS	2 - SMFA	3 - MDE	4 - RF
Pedro Afonso - TO	5.400	1.000			0,00	0,000	0,00	0,00
Assis - SP	4.500	0.699	6.436	43,02	73.06	0,000	455.00	89.67
Vilhena - RO	4.500	1.000			0,00	0,000	0,00	0,00
Francisco Beltrão - PR	6.600	0.932	7.083	7,32	0,00	880.453	284.38	167.32
A. Chateaubriand - PR	6.000	0.848	7.079	17,99	0,00	394.378	56.28	290.74
Ubiratã - PR	5.400	0.750	7.200	33,33	282.98	252.830	5.90	194.65
C. Mourão - PR	6.500	0.903	7.200	10,77	42.80	750.390	61.10	302.20
Londrina - PR	5.700	0.792	7.200	26,32	98.79	564.270	831.99	179.35
Rio Verde - GO	6000	0.873	6.871	14,53	17.58	334.892	0,00	51.77
Cristalina - GO	4800	1.000			0,00	0,000	0,00	0,00
Balsas - MA	4250	0.773	5.500	29,43	0,00	0,000	253.06	39.48
Unai - MG	6000	0.909	6.598	9,98	0,00	0,000	334.18	25.58
Caldas - MG	7200	1.000			0,00	0,000	0,000	0,000
Campo Verde - MT	6000	0.907	6.617	10,30	0,00	17.853	160.01	9.15
Sorriso - MT	7200	1.000			0,00	0,000	0,00	0,00
Campo Novo Parecis - MT	6000	0.913	6.568	9,48	0,00	0,000	529.76	5.18
Primavera do Leste - MT	6000	0.960	6.246	4,12	0,00	0,000	119.79	6.45
Chapadão do Sul - MS	6000	1.000			0,00	0,000	0,00	0,00
Dourados - MS	5400	0.966	5.591	3,54	271.79	0,000	412.57	23.84

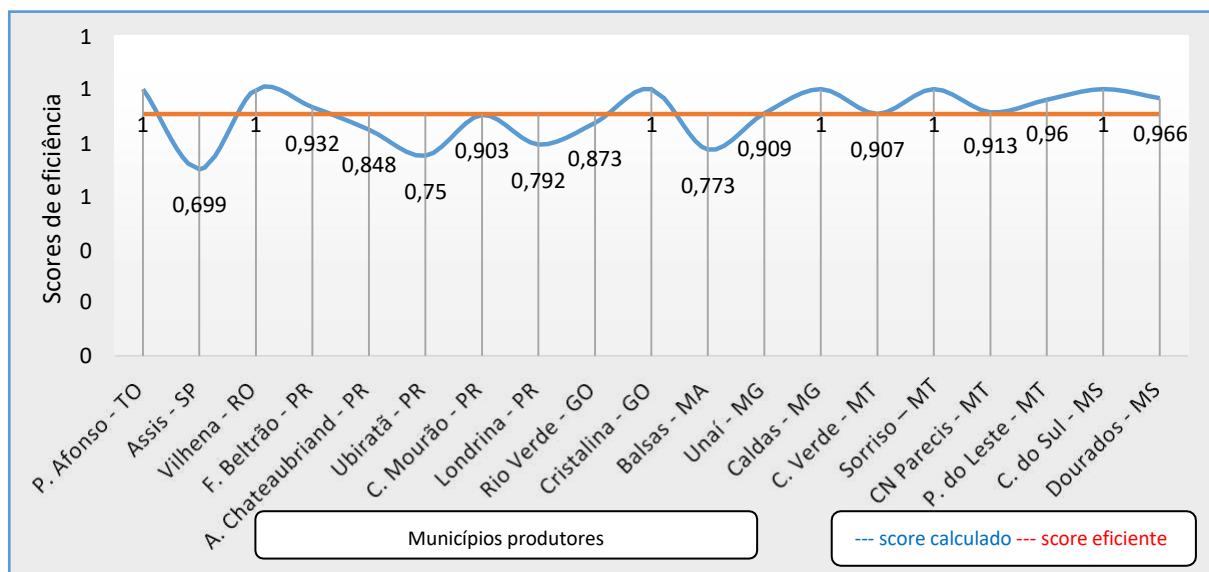
Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

Os municípios considerados como referências foram Pedro Afonso/TO, Vilhena/RO, Cristalina/GO, Caldas/MG, Sorriso/MT e Chapadão do Sul/MS. Nota-se que a quantidade de *benchmark* é menos da metade do que no caso da soja e a quantidade de ineficientes é maior (GRAF. 3).

Os municípios que obtiveram *scores* de eficiência entre 0,91 a 0,99, relativamente eficientes, somaram aproximadamente 21% da amostra, 4 municípios: Francisco Beltrão/PR, Campo Novo do Parecis/MT, Primavera do Leste/MT e Dourados/MS. Do Paraná, como maior produtor em volume, apenas um município é eficiente: Pedro Afonso. Com *scores* de eficiência abaixo de 0,90 foram nove municípios (48% da amostra): Assis/SP, Assis Chateaubriand/PR, Ubiratã/PR, Campo Mourão/PR, Londrina/PR, Rio Verde/GO, Balsas/MA, Unai/MG, e Campo Verde/MT (GRAF. 3).

Gráfico 3 – Scores de eficiência dos municípios produtores de milho



Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Os municípios ineficientes do Paraná, Rio Verde/GO e Assis/SP são os que requerem ajustes nos quatro grupos de custos (CV + CF) para alcançar a eficiência. Os demais ineficientes requerem ajustes em pelo menos um dos seus insumos. Os insumos variáveis MJS (Máquinas, juros e serviços) e SMFA, e os insumos fixos MDE são os que mais comprometeram a eficiência. Diferentemente da soja, na produção do milho há o dobro de municípios ineficientes e custos variáveis e fixos que impediram a eficiência.

Soares e Spolador (2019) em seus estudos sobre a eficiência técnica da produção paulista de milho, revelaram diferenças significativas na taxa média de diferença tecnológica nos níveis de eficiência entre os produtores, porém, políticas destinadas a aumentar a

eficiência técnica e a reduzir o *gap* tecnológico das regiões de menor aptidão agrícola poderiam contribuir para o aumento da produtividade.

Na busca dos níveis de eficiência dos municípios referência (*benchmark*), os municípios ineficientes precisam alcançar a eficiência projetada (TAB. 17). Há municípios como Dourados/MS que precisa aumentar em 3,54% sua eficiência, e municípios como Assis/SP que precisa aumentar em 43,02% sua eficiência. Existem municípios em situações intermediárias como os do Estado do Paraná que oscilam a necessidade de aumentar sua eficiência em 7,32% como Francisco Beltrão e em 33,33% como Ubatã. O município de Balsas/MA também possui um percentual alto de quase 30% de aumento na produtividade para se tornar eficiente. Para tanto, é preciso ajustar a estrutura de custos conforme apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Racionalização dos custos para alcance da eficiência na produtividade do milho 2021

Municípios	Folgas nos Insumos (R\$)								Custo da Produção (R\$)	Custo Projetado (R\$)	Custo por kg		Dif. Unid.	
	MJS	%	SMFA	%	MDE	%	RF	%			Atual	Projetada	R\$	%
Assis/SP	73,6	2			455,	13	89,67	2	3.615,	2.297,15	0,80	0,36	0,45	55,57
Francisco Beltrão/PR			880,4	19	284,3	6	167,3	4	4.625,6	3.293,43	0,70	0,46	0,24	33,66
Assis Chateaubriand/PR			394,3	10	56,28	1	290,7	7	4.034,3	3.292,85	0,67	0,47	0,21	30,82
Ubiratã/PR	283,	7	252,8	6	5,90	02	194,6	5	4.048,6	3.312,22	0,75	0,46	0,29	38,64
Campo Mourão/PR	42,8	1	750,3	17	61,10	1	302,2	7	4.468,7	3.322,12	0,69	0,46	0,23	32,89
Londrina/PR	98,8	2	564,2	11	831,9	17	179,3	4	4.986,6	3.322,12	0,87	0,46	0,41	47,26
Rio Verde/GO	17,6	05	334,8	9			51,77	1	3.663,6	3.259,39	0,61	0,47	0,14	22,32
Balsas/MA					253,1	10	39,48	2	2.615,	2.336,21	0,62	0,42	0,19	30,98
Unaí/MG					334,2	10	25,58	08	3.358,2	2.998,49	0,56	0,45	0,11	18,81
Campo Verde/MT			17,8	05	160,	5	9,15	03	3.405,6	3.218,57	0,57	0,49	0,08	14,3121
Campo Novo do Parecis/MT					529,7	14	5,18	02	3.654,8	3.119,90	0,61	0,47	0,13	22,03
Primavera do Leste/MT					119,8	4	6,45	02	3.100,1	2.973,79	0,52	0,48	0,04	7,86
Dourados/MS	272,	8			412,	12	23,84	07	3.357,	2.648,81	0,62	0,47	0,15	24,40
Total									48.933,	36.746,25	9,59	5,93	2,66	279,55
Média									3.764,1	2.826,63	0,66	0,45	0,20	29,20

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

O alcance da eficiência produtiva pelos treze municípios ineficientes implica em ajustar os custos dos insumos e/ou potencializar a escalabilidade dos custos fixos (principalmente em MDE). Tal ação geraria uma redução média de 29,20% (maior que a redução da soja) do custo unitário do kg mediante aumento da produtividade (Tabela 17), correspondente a 11.845 kg/ha, ou seja, duas safras de um município eficiente como a de Chapadão do Sul/MS. Entre os municípios eficientes, o custo médio do kg é R\$ 0,54, e entre os municípios ineficientes o custo médio do kg é R\$ 0,66 (22,22% superior). Na sequência, analisa-se a eficiência técnica dos municípios produtores de algodão.

Segundo a CONAB (2021) entre 20% a 30% dos custos da produção do algodão em plumas (beneficiado) é incorporado à geração do caroço do algodão que pode ser destinado à indústria do biodiesel.

– A Eficiência Técnica da Produtividade do algodão em plumas (beneficiado) e do algodão em caroço

Do município de Barreiras - BA até o município de Cristalina – GO encontram-se os produtores de algodão em plumas (beneficiado), e de Coromandel a São Romão – MG encontram-se os produtores de algodão em caroço. Com essa separação observa-se que os níveis de produtividade do algodão em plumas é 1/3 da produtividade do algodão em caroço.

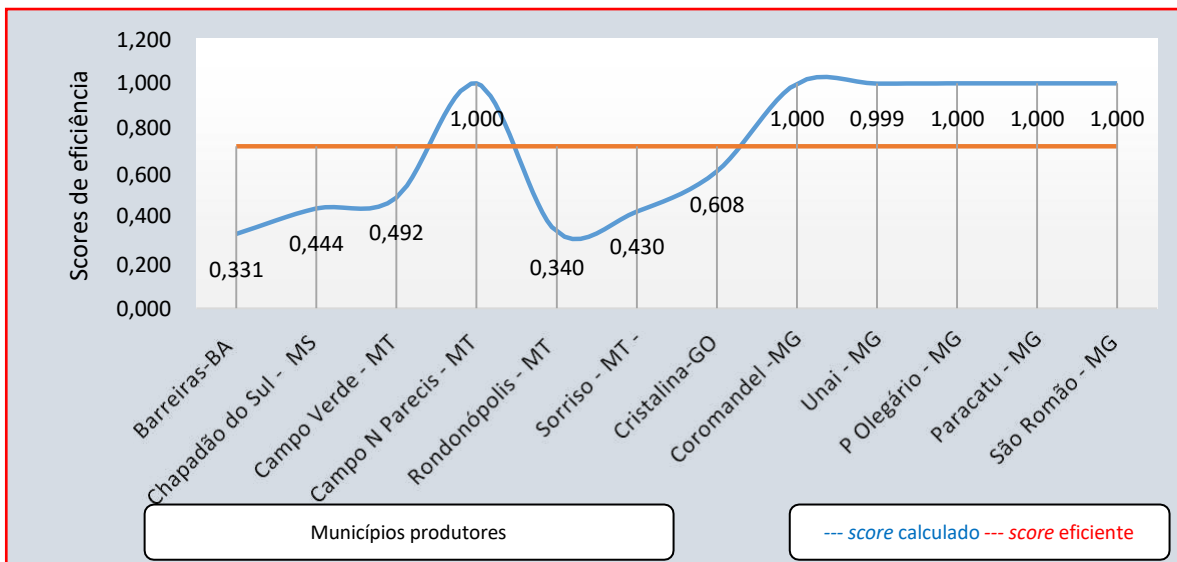
Tabela 19 - A Eficiência técnica dos municípios produtores de algodão em plumas (beneficiado) e dos municípios produtores de algodão em caroço 2021

VRSTE - Retorno Variável à Escala			Eficiência Projetada		Folga nos insumos (R\$)			
Municípios	Produtividade (kg/ha)	score de eficiência	Produtividade (kg/ha)	%	MSJ	SMF A	MDE	RF
Barreiras-BA	1.620	0.331	4.900	202,47	896	5.651	451	64
Chapadão do Sul - MS	1.800	0.444	4.057	125,39	591	5.392	1.354	0
Campo Verde - MT	1.500	0.492	3.048	103,20	289	749	75	0
Campo Novo do Parecis - MT	1.845	1.000	1.845		0,00	0,00	0,00	0,00
Rondonópolis - MT	1.600	0.340	4.710	194,38	1.402	3.948	0	362
Sorriso - MT -	1.500	0.430	3.488	132,53	1.027	3.010	109	0
Cristalina-GO	1890	0.608	3.109	64,50	716	88	46	0
Coromandel -MG	4.900	1.000	4.900	0,00	0	0	0	0
Unáí – MG	4.500	0.999	4.504	0,00	27	26	0	0
Presidente Olegário - MG	4.500	1.000	4.500	0,00	0	0	0	0
Paracatu - MG	4.500	1.000	4.500	0,00	0	0	0	0
São Romão - MG	3.048	1.000	3.048	0,00	0	0	0	0

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

À exceção de Campo Novo do Parecis–MT, os outros seis produtores de algodão em plumas não conseguem se equiparar ao nível de eficiência dos produtores de algodão herbáceo, com relevo para o município de Coromandel-MG, (benchmark) da amostra.

Gráfico 4 – Scores de eficiência dos municípios produtores de algodão em plumas (beneficiado) e de algodão em caroço



Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Os níveis de eficiência dos produtores do algodão em plumas (beneficiado) oscilam entre 30 e 60% da eficiência encontrada nos produtores de algodão em caroço (GRAF. 4), o que é considerado pela literatura um nível muito baixo, embora a cultura tenha estrutura de produção e finalidades distintas daquelas do algodão em caroço.

O alcance dos níveis de eficiência equitativos requer que os produtores do algodão em plumas (beneficiado) aumentem os níveis de produtividade entre 65 a 200% (TAB. 19), e eliminem as folgas existentes em praticamente todos os seus quatro conjuntos de insumos, principalmente em SMFA (TAB. 20).

Tabela 20 – Racionalização dos custos para alcance da eficiência na produtividade do algodão em plumas (beneficiado) 2021

Municípios	Racionalização dos custos (R\$)								Custo da Produção (R\$)	Custo Projetado (R\$)	Custo por kg		Dif. Unid.	
	1 - MJS	%	2 - SMFA	%	3 - MDE	%	4 - RF	%			Atual	Projetado	R\$	%
Barreiras/BA	1.331	40	1.341	80	719	38	253	20	10.706	3.644	6,61	2,25	4,36	66
Chapadão do Sul/MS	1.571	27	2.819	65	690	66	171	0	12.590	5.251	6,99	2,92	4,08	58
Campo Verde/MT	2.373	10	6.289	10	832	8	139		10.749	9.633	7,17	6,42	0,74	10
Rondonópolis/MT	1.278	52	1.322	75	676	0	220	62	8.245	3.496	5,15	2,19	2,97	58
Sorriso/MT	2.022	34	4.771	38	770	12	153		11.864	7.716	7,91	5,14	2,77	35
Cristalina/GO	2.323	24	6.072	2	823	5	141		10.211	9.359	5,40	4,95	0,45	8
Total									64.364	39.099	6,49	1,68	4,82	235
Média									10.727	6.517	1,08	0,28	0,80	39

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

O alcance da eficiência produtiva pelos seis municípios produtores de algodão em plumas (beneficiado) considerados ineficientes (Barreiras/BA, Chapadão do Sul/MS, Campo Verde/MT, Rondonópolis/MT, Sorriso/MT e Cristalina/GO), implica em ajustar os custos/insumos e aumentar a produtividade. Tal ação geraria uma redução de 39% do custo unitário do kg mediante aumento da produção (TAB. 20), correspondente a 13.402 kg/há, três safras de um município eficiente na produção de algodão em caroço como Paracatu/MG. Entre os municípios eficientes, o custo médio do kg do algodão herbáceo é R\$ 0,74, e entre os municípios ineficientes o custo médio do kg do algodão em plumas é R\$ 6,73 (660% superior).

As informações de ineficiência dos produtores de algodão em plumas em relação aos produtores de algodão em caroço, mostram que a produtividade do algodão em plumas pode ser melhorada entre si. Todavia, apresentam também aos produtores de algodão em plumas a possibilidade de eficiência na produção do algodão em caroço, caso a estrutura de produção seja aproveitada nesse sentido. Afinal, da planta de algodão, 40% é fibra e 60% caroço.

Na análise isolada da produção do algodão em plumas (beneficiado), dos sete municípios produtores deste algodão, seis municípios obtiveram eficiência máxima, à exceção do município de Sorriso/MT, que apresenta folgas em seus quatro grupos de custos (fixos e variáveis), sobretudo em SMFA. Seu *score* de eficiência não alcança 80% do seu *benchmark*, (Cristalina/GO, maior produtor em volume: 1.890 kg/ha) no movimento radial da curva da fronteira de produção. Preservadas as proporções, na produção do algodão em plumas seus níveis de eficiência superam os níveis de eficiência das amostras da soja e do milho.

A busca pelo nível de eficiência do único município ineficiente (Sorriso/MT) deve alcançar um incremento de 26% na sua produtividade atual, de 1.500 kg/ha para 1890 kg/ha e promover alterações basicamente nos custos/insumos (SMAF). Para tanto, é preciso reduzir seu custo total de produção de R\$ 11.863,99, para R\$ 10.211,32 distribuindo essa redução em todos os insumos: máquinas, juros e serviços (0,08%); sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos (13,6%); manutenções, depreciações e encargos (0,08%) e em renda de fatores (0,18%). Tal ação geraria uma redução de 13,90% no custo unitário médio de produção do kg mediante aumento na sua produtividade em 26%. Entre os Municípios eficientes, o custo unitário médio do kg foi R\$ 6,54, e o custo unitário médio do algodão em Sorriso/MT é R\$ 7,90 (20,79% superior).

Segundo Castro *et al.* (2017), Bahia, São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás foram os estados mais relevantes no cenário da cotonicultura entre 1995

e 2015, cujo valor bruto da produção cresceu e foi marcado por ganhos relevantes de produtividade. Entretanto, os preços caíram gerando menor remuneração, o que estimulou a busca contínua por maior eficiência e competitividade.

– A Eficiência Técnica da Produtividade do amendoim

Dentre os 27 municípios analisados, os que obtiveram eficiência relativa igual a 1,00 totalizaram 37% da amostra (10 municípios), que servem de benchmark para os demais. Portanto, análises das suas estruturas de custos: MJS, SMFA, MDE e RE podem gerar informações necessárias à melhoria do desempenho dos outros municípios (TAB. 21).

Tabela 21 - A eficiência técnica dos municípios produtores de amendoim do Estado de São Paulo 2021

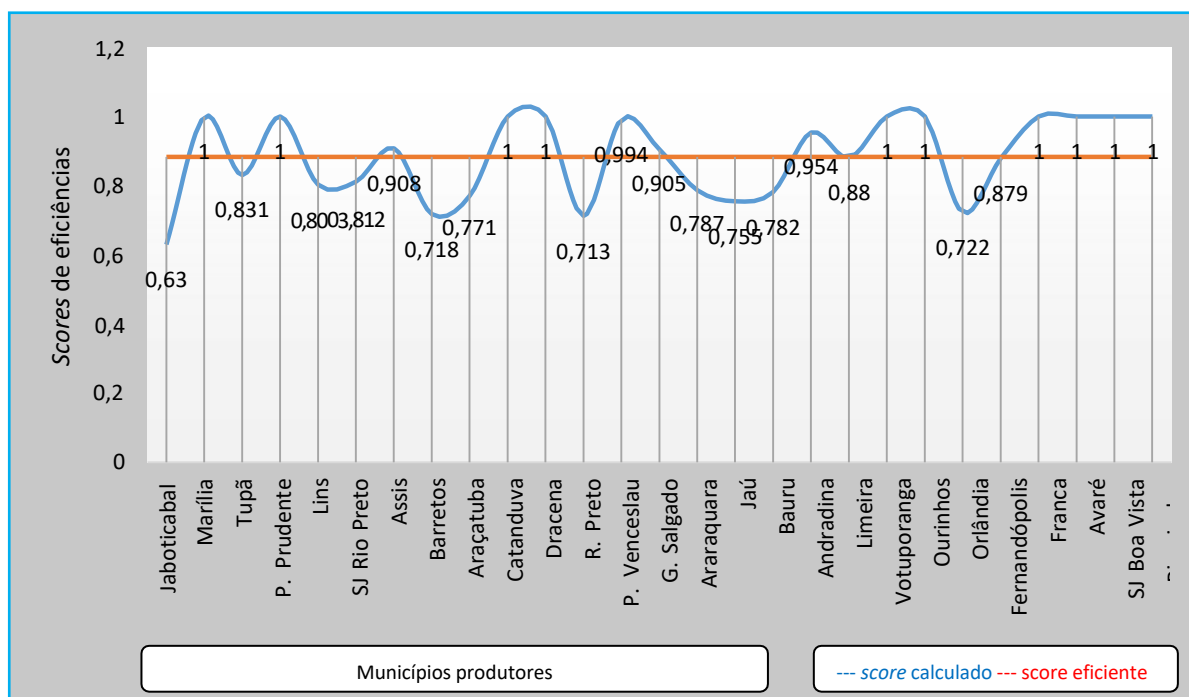
VRSTE - Retorno Variável à Escala			Eficiência Projetada		Folga nos insumos (R\$)			
Municípios	Produtividade (kg/ha)	score de eficiência	Produtividade (kg/ha)	%	MJS	SMFA	MDE	RF
Jaboticabal	3.580	0.630	5.680	58,66	22	49,00	364,00	36,00
Marília	4.920	1.000	4.920		0	0,00	0,00	0,00
Tupã	4.450	0.831	5.358	20,40	0	0,00	214,00	2,5
Presidente Prudente	4.480	1.000	4.480		0	0,00	0	0,00
Lins	3.910	0.803	4.870	24,55	0	210,53	0	0,00
São José do Rio Preto	3.060	0.812	3.767	23,10	24,84	0	0	0
Assis	4.030	0.908	4.438	10,12	0	0	49,53	0
Barretos	3.740	0.718	5.209	39,28	21,83	84,93	0	36,18
Araçatuba	3.500	0.771	4.538	29,66	19	76	0	0
Catanduva	4.500	1.000	4.500		0	0	0	0
Dracena	3.050	1.000	3.050		0	0	0	0
Ribeirão Preto	3.360	0.713	4.713	40,27	0	0	0	0
Presidente Venceslau	2.790	0.994	2.807	0,61	151,68	0	0	22,66
General Salgado	3.710	0.905	4.101	10,54	0	337,05	0	0
Araraquara	3.270	0.787	4.153	27,00	102,3	394,15	0	0
Jaú	3.600	0.755	4.767	32,42	127,73	0	0	2,60
Bauru	3.660	0.782	4.692	28,20	121,34	0	0	2,8
Andradina	4.190	0.954	4.393	4,84	39,35	0	0	0,66
Limeira	5.000	0.880	5.680	13,60	4,00	259,00	10,00	6
Votuporanga	2.420	1.000	2.420		0	0	0	0
Ourinhos	5.680	1.000	5.680		0	0	0	0
Orlândia	3.670	0.722	5.086	38,58	0	127,93	0	4,17
Fernandópolis	1.820	0.879	2.069	13,68	0	465,76	0	0
Franca	4.130	1.000	4.130		0	0	0	0
Avaré	4.350	1.000	4.350		0	0	0	0
São João da Boa Vista	1.750	1.000	1.750		0	0	0	0
Piracicaba	1.250	1.000	1.250		0	0	0	0

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

As cidades consideradas como referências são Marília, Presidente Prudente, Catanduva, Dracena, Votuporanga, Ourinhos, Franca, Avaré, São João da Boa Vista e Piracicaba (GRAF. 5).

Gráfico 5 – Scores de eficiência dos municípios produtores de amendoim do estado de São Paulo



Fonte: Dados da pesquisa, 2021

Os municípios que obtiveram *scores* de eficiência entre 0,91 a 0,99, relativamente eficientes, somaram aproximadamente 14% da amostra (4 municípios): Assis, Presidente Venceslau, General Salgado e Andradina. Com *scores* de eficiência abaixo de 0,90 estão treze municípios (48% da amostra) (GRAF. 5).

Contudo, apenas um município requer eliminação das folgas nos quatro subgrupos dos custos fixos e variáveis para alcançar eficiência (Jaboticabal). Diferentemente das outras matérias-primas, estes produtores ineficientes requerem as maiores reduções nos insumos variáveis MJS (Máquinas, Juros e Serviços) seguidos e SMFA (Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos).

Em seus estudos sobre a eficiência da capacidade produtiva para a fabricação do biodiesel nas 38 regiões paulistas produtoras dos óleos de soja, de algodão e de amendoim, Martins *et al.* (2007) apresentaram a orientação de mais investimentos em insumos que poderiam induzir à eficiência na produção daquelas regiões e culturas ineficientes.

Considerando o volume produzido por ha necessário para alcançar a eficiência, os municípios precisam aumentar de 4,84% sua produtividade (Andradina) a 58% (Jaboticabal). Entretanto, a média de aumento da produtividade para os outros municípios gira em torno de 30% para alcançarem seus benchmarks.

Tabela 22 – Racionalização dos custos para alcance da eficiência na produtividade do amendoim 2021

Municípios	Racionalização dos custos (R\$)								Custo da Produção (R\$)	Custo Projetado (R\$)	Custo por kg		Dif. Unid.	
	1 - MJS	%	2 - MFA	%	3 - MDE	%	4 - RF	%			Atual	Projetado	R\$	%
Jaboticabal	2002	1	4621	1	698	34	202	15	7994	7523	2,23	1,32	0,91	41
Tupã					783	22	200	1	7750	7532	1,74	1,41	0,34	19
Lins			4359	5			204	4	7328	7108	1,87	1,46	0,41	22
São José do Rio Preto	1755	1							6495	6469	2,12	1,72	0,41	19
Assis					695	7			7005	6954	1,74	1,57	0,17	10
Barretos	1976	1	4645	2			198	16	7592	7448	2,03	1,43	0,60	30
Araçatuba	1802	5	4025	3					6859	6635	1,96	1,46	0,50	25
Rio Preto	1670	11	4110	3	495	24			6948	6462	2,07	1,37	0,70	34
Presidente Venceslau	1561	9					193	11	5609	5434	2,01	1,94	0,07	4
General Salgado			4153	8					6996	6658	1,89	1,62	0,26	14
Araraquara	1680	7	3700	7	412	29			6545	5986	2,00	1,44	0,56	28
Jaú	1870	6					180	11	7058	6908	1,96	1,45	0,51	26
Bauru	1940	4	3412	12					6608	6061	1,81	1,29	0,51	28
Andradina	1816	2			501	14			6727	6603	1,61	1,50	0,10	6
Limeira	2002	0	4621	5	698	0	202	3	7803	7523	1,56	1,32	0,24	15
Orlândia			4392	3			202	2	7302	7169	1,99	1,41	0,58	29
Fernandópolis			2753	14					5404	4937	2,97	2,39	0,58	20
Total									118022	113410	33,56	26,10	7,45	22
Média									6942	6671	1,97	1,54	0,44	1,31

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

O alcance da eficiência produtiva pelos 17 municípios ineficientes implica praticamente na redução dos insumos variáveis cujos percentuais de redução são menos expressivos que os percentuais dos custos fixos, mas são mais expressivos em valores absolutos (TAB. 22), e no aumento da produtividade (TAB. 21). Tais ações gerariam uma redução média de 22% do custo unitário de produção do kg, correspondentes a um acréscimo de 881 kg/ha de produção. Entre os Municípios ineficientes, o custo unitário do kg é de R\$ 1,97, com os ajustes em busca da eficiência esse custo pode reduzir-se a R\$ 1,54, (22% menor).

– A Eficiência Técnica da Produtividade do dendê

Dentre os dez municípios produtores de dendê do Estado do Pará, oito se encontram com eficiência máxima (*score* de eficiência = 1), sendo estes: Bonito, Açará, Tomé-Açu, Tailândia, Igarapé-Açu, Abaetetuba, e São Domingos do Capim. Apenas dois, Moju (com eficiência relativa = 0,834) e Concórdia do Pará (com eficiência relativa = 0,861), ou seja, 20% da amostra, requer ajustes em seus insumos para chegar aos seus níveis de eficiência (GRAF. 6).

Tabela 23 - A Eficiência técnica dos 10 municípios maiores produtores de dendê do Estado do Pará 2021

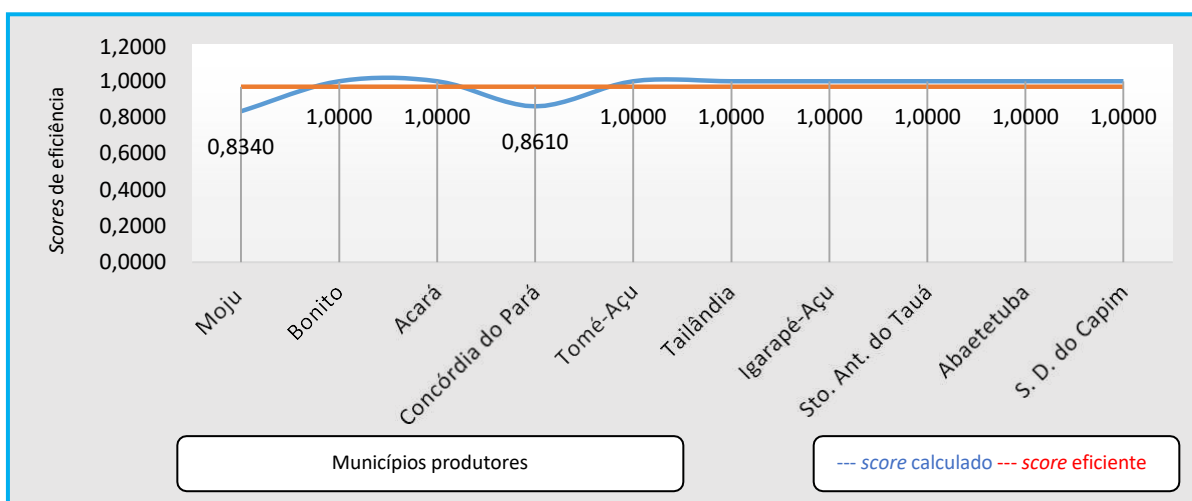
VRSTE - Retorno Variável à Escala			Eficiência Projetada		Folga nos insumos (R\$)			
Municípios	Produtividade (kg/ha)	<i>score</i> de eficiência	Produtividade (kg/ha)	%	MJS	SMFA	MDE	RF
Moju	15.000	0.834	17.986	20	0	643	122	0
Bonito	16.950	1.000	16.950		0	0	0	0
Acará	22.200	1.000	22.200		0	0	0	0
Concórdia do Pará	29.250	0.861	33.972	16	0	612	340	0
Tomé-Açu	57.000	1.000	57.000		0	0	0	0
Tailândia	100.200	1.000	100.200		0	0	0	0
Igarapé-Açu	6.900	1.000	6.900		0	0	0	0
Santo Antônio do Tauá	4.950	1.000	4.950		0	0	0	0
Abaetetuba	2.700	1.000	2.700		0	0	0	0
São Domingos do Capim	2.650	1.000	2.650		0	0	0	0

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 – MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 – SMFA: Sementes, mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 – MDE: Máquinas, Depreciações e Encargos; RF: Renda de fatores.

Damasceno *et al.* (2018) reportaram que nos últimos anos, políticas públicas como o PNPB e o PPSOP (Programa de Produção Sustentável de Óleo de Palma), favoreceram a instalação de empreendimentos interessados na produção do dendê em regiões com aptidão agrícola na microrregião de Tomé-Açu (com destaque para Tailândia como maior produtor), com o intuito de atender a demanda das usinas e beneficiadoras do biodiesel.

Gráfico 6 – Scores de eficiência dos municípios produtores de dendê no Pará



Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Considerando o volume a ser produzido para alcançar a eficiência, os municípios precisam aumentar de 20% sua produtividade (Moju) e em 16% (Concórdia do Pará), e especificamente ajustar seus insumos SMFA (sementes, mudas, fertilizantes e agrotóxicos) e MDE (manutenção, depreciações e encargos) (TAB. 23) para alcançarem seus benchmarks.

Tabela 24 – Racionalização dos custos para alcance da eficiência na produtividade do dendê no Estado do Pará 2021

Municípios	Racionalização dos custos (R\$)								Custo da Produção (R\$)	Custo Projetado (R\$)	Custo por kg		Dif. Unid.	
	MJS	%	SMFA	%	MDE	%	RF	%			Atual	Projetado	R\$	%
Moju			5.468	11	1.507	8			15.205	14.439	1,01	0,80	0,21	20,80
Concórdia do Pará			10.406	6	2.208	14			27.267	26.314	0,93	0,77	0,16	16,91
Total									42.473	40.753	1,95	1,58	0,37	37,71
média									21.236	20.377	0,97	0,79	0,18	18,86

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

O alcance da eficiência produtiva pelos 02 municípios ineficientes implica na redução de 11% nos insumos SMFA e de 8% nos insumos MDE (Moju), e de 6% nos insumos SMFA e de 14% nos insumos MDE (Concórdia do Pará) respectivamente, (TAB. 24), e no aumento da produtividade (TAB. 23). Tais ações gerariam uma redução média de 18% do custo unitário do kg/ha, correspondentes a um acréscimo de 3.854 kg/ha de produção. Entre os Municípios ineficientes, o custo unitário do kg é de R\$ 0,97, com os ajustes em busca da eficiência esse custo pode reduzir-se a R\$ 0,79 (menor que o custo unitário dos municípios eficientes: R\$ 0,82) redução de 18%.

– A Eficiência Técnica da Produtividade do girassol

São Luiz Gonzaga/RS e Araguari precisam eliminar folgas nos custos em MJS (máquinas, Juros e Serviços) e Caldas Novas precisa eliminar folgas em SMFA (sementes, mudas, fertilizantes e agrotóxicos), custos variáveis (TAB. 25).

Tabela 25 - A Eficiência técnica dos dez maiores produtores de girassol 2021

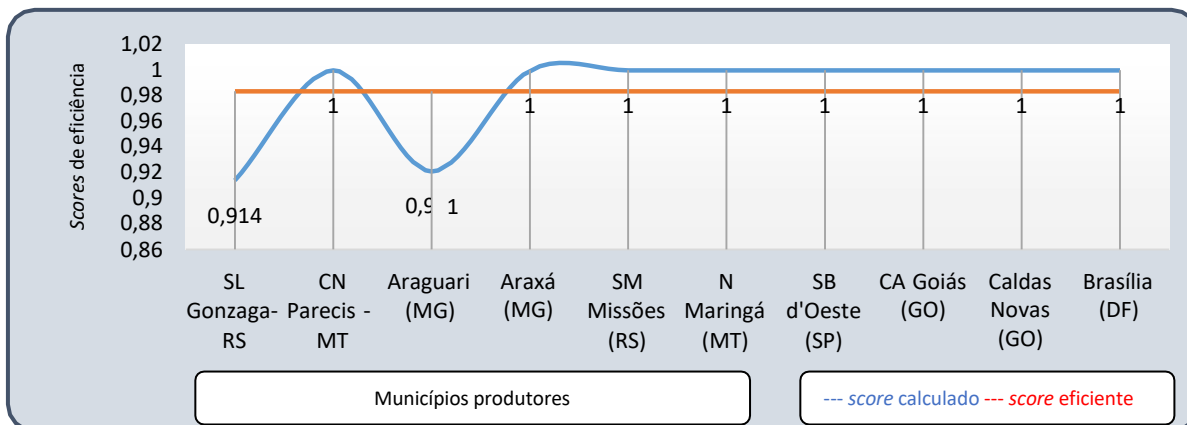
VRSTE - Retorno Variável à Escala			Eficiência Projetada		Folga nos insumos (R\$)			
Municípios	Produtividade kg/ha)	score de eficiência	Produtividade kg/ha)	%	1 - MJS	2 - SMFA	3 - MDE	4 - RF
São Luiz Gonzaga- RS	1.560	0.914	1706	9,5	406.772	0	0	0
Campo Novo do Parecis - MT	1.620	1.000	1.620		0	0	0	0
Araguari (MG)	1500	0.921	1700	13,30	442.019	0	0	0
Araxá (MG)	1740	1.000	1740		0	0	0	0
São Miguel das Missões (RS)	1800	1.000	1800		0	0	0	0
Nova Maringá (MT)	1800	1.000	1800		0	0	0	0
Santa Bárbara d'Oeste (SP)	2500	1.000	2500		0	0	0	0
Campo Alegre de Goiás (GO)	1800	1.000	1800		0	0	0	0
Caldas Novas (GO)	1500	1.000	1688	12,50	0	225	0	0
Brasília (DF)	2400	1.000	2400		0	0	0	0

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

Dentre os dez municípios, sete encontra-se com eficiência máxima e três de Estados distintos (São Luiz Gonzaga/RS, Araguari/MG e Caldas Novas/GO), 30% da amostra, requerem ajustes em seus insumos para chegar aos níveis de eficiência (GRAF. 7).

Gráfico 7 – Scores de eficiência dos municípios produtores de girassol



Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

O volume a ser produzido para alcance da eficiência requer que os municípios aumentem em 9,5% (São Luiz Gonzaga/RS), em 13,3% (Araguari/MG) e em 12,5% (Caldas Novas/GO) suas produtividades para alcançarem seus benchmarks.

Conforme a Embrapa Soja (2022), no Brasil, o girassol continua sendo uma lavoura secundária (após a soja), sendo pouco para um país que conta com mais de 10 M/ha de áreas consideradas aptas ao seu cultivo. O principal obstáculo para o avanço dessa cultura é a falta de um mercado sólido, o que limita uma eventual expansão da área cultivada, das pesquisas agrônômicas, da geração de tecnologias e do melhor manejo da cultura. Essa constatação condiciona a expansão do girassol ao crescimento do setor agroindustrial do Brasil, no qual se vincula a indústria do biodiesel.

Tabela 26 – Racionalização dos custos para alcance da eficiência na produtividade do girassol 2021

Municípios	Racionalização dos custos (R\$)								Custo da Produção (R\$)	Custo Projetado (R\$)	Custo por kg		Dif. Unid.	
	1 - MJS	%	2 - SMFA	%	3 - MDE	%	4 - RF	%			Atual	Projetado	R\$	%
São Luiz Gonzaga	577	41							3.592,38	3.185,00	2,30	1,87	0,43	18,67
Araguari	540	49							3.743,31	3.301,31	2,50	1,94	0,56	22,44
Caldas Novas			1.412	14					2.820,65	2.595,65	1,88	1,54	0,34	18,23
Total									10.156,34	9.081,96	6,68	5,35	1,33	59,34
Média									3.385,45	3.027,32	2,23	1,78	0,44	19,78

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

O alcance da eficiência pelos produtores dos 03 municípios ineficientes implica na redução de 41% e 49% nos insumos MJS nos municípios de São Luiz Gonzaga/RS e Araguari/MG respectivamente, na redução em 14% dos insumos com SMFA pelos produtores do município de Caldas Novas/GO (TAB. 26), e no aumento da produtividade em 9,5%, 13,30% e 12,5% respectivamente (TAB. 25). Tais ações gerariam uma redução média de 19,78% do custo unitário do kg, correspondentes a um acréscimo de 178 kg/ha de produção, em média, em cada município ineficiente. Entre os Municípios ineficientes, o custo unitário médio do kg é de R\$ 2,23. Com os ajustes em busca da eficiência esse custo pode reduzir-se a R\$ 1,78 (menor que o custo unitário médio dos municípios eficientes: R\$ 2,03), 21% de redução.

– A Eficiência Técnica da Produtividade da canola

Quanto à eficiência na produção da canola, segue a análise dos dados nas Tabelas 27 e 28. A Embrapa Agroenergia (2022) relata que o Rio Grande do Sul é o maior produtor de canola em âmbito nacional, pois apresenta condições térmicas adequadas ao crescimento durante o outono, o inverno e o início da primavera. Além disso, há proximidade de indústrias que processam os grãos e fomentam a produção que facilita a condução técnica do cultivo e a comercialização na região Sul.

Tabela 27 - A eficiência técnica dos 10 municípios produtores de canola do Estado do Rio Grande do Sul 2021

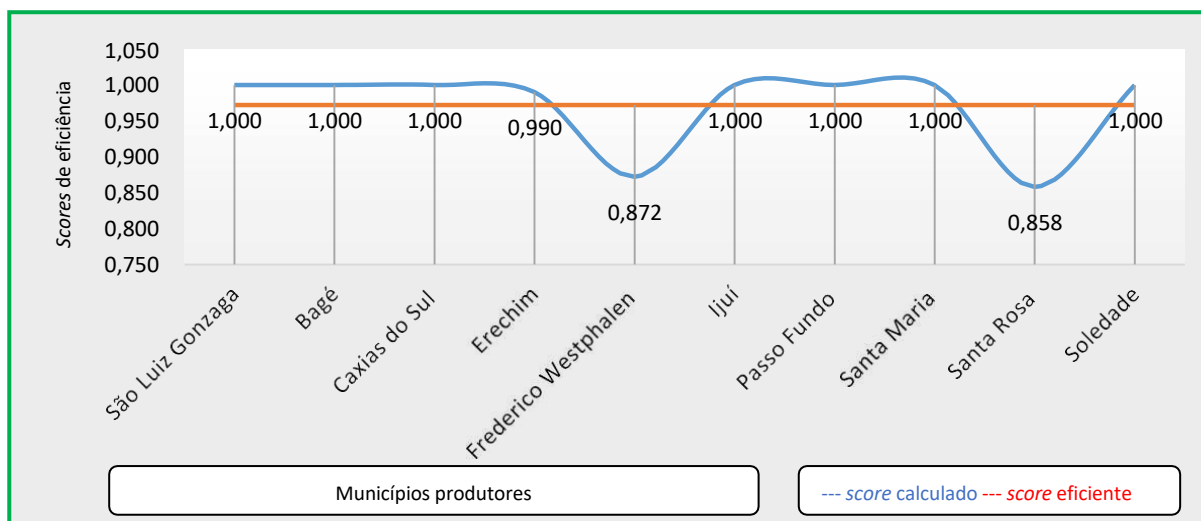
VRSTE - Retorno Variável à Escala			Eficiência Projetada		Folga nos insumos (R\$)			
Municípios	Produtividade kg/ha)	score de eficiência	Produtividade kg/ha)	%	MJS	SMFA	MDE	RF
São Luiz Gonzaga	1800	1.000	1800		0	0	0	0
Bagé	1.880	1.000	1.880		0	0	0	0
Caxias do Sul	1.723	1.000	1.723		0	0	0	0
Erechim	1.660	0.990	1.660	34,51	62	545	0	0
Frederico Westphalen	1.246	0.872	1676	2,36	21	970	0	0
Ijuí	1.396	1.000	1429		0	0	0	0
Passo Fundo	1.102	1.000	1.102		0	0	0	0
Santa Maria	1.761	1.000	1.761		0	0	0	0
Santa Rosa	1.324	0.858	1542	16,47	67	0	0	18
Soledade	1.415	1.000	1.415		0	0	0	0

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 – MJS: Máquinas, Juros e Serviços; SMFA: Sementes, mudas, fertilizantes e agrotóxicos; MDE: Máquinas, Depreciações e encargos; RF: renda de fatores.

Dos dez municípios produtores, sete encontra-se com eficiência máxima e três (Erechim, Frederico Westphalen, e Santa Rosa), 30% da amostra, requerem ajustes em seus insumos para chegar aos níveis de eficiência (GRAF. 8).

Gráfico 8 – Scores de eficiência dos municípios produtores de canola no Rio Grande do Sul



Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Os produtores de Erechim e de Frederico Westphalen precisam ajustar insumos variáveis de MJS (máquinas, juros e serviços) e de SMFA (sementes, mudas, fertilizantes e agrotóxicos), os produtores de Santa Rosa precisam ajustar seus insumos variáveis de MJS (máquinas, juros e serviços) e insumos fixos de RF (renda de fatores).

Em se tratando do volume produzido para alcançar a eficiência, os municípios precisam aumentar em 34,51%, 2,36% e 16,47% respectivamente sua produtividade para alcançarem seus benchmarks.

A Embrapa Agroenergia (2022) explica ainda que o cultivo da canola constitui alternativa econômica por se beneficiar da mesma estrutura de máquinas e equipamentos utilizados em outras culturas como com milho, soja, trigo e feijão, com algumas adaptações e acréscimos. Além disso, apresenta custeio com defensivos agrícolas relativamente baixo aos demais espécies empregadas na produção de grãos.

Municípios	Racionalização dos custos (R\$)								Custo da Produção (R\$)	Custo Projetado (R\$)	Custo kg		Dif. Unid.	
	1 - MJS	%	2 - SMFA	%	3 -MDE	%	4 -RF	%			Atual	Projetado	R\$	%
Erechim	857	7,6	2714	16,7					5.146,10	4.538,10	3,10	2,73	0,37	11,81
Frederico Westphalen	792	2,7	2028	32,4					4.708,12	3.716,12	3,78	2,22	1,56	41,32
Santa Rosa	825	7,5					95	16,7	3.903,39	3.803,39	2,95	2,47	0,48	16,34
Total									13.757,61	12.057,61	9,83	7,42	2,41	69,47
Média									4.585,87	4.019,20	3,28	2,47	0,80	23,16

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

Tabela 28 – Racionalização dos custos para alcance da eficiência na produtividade da canola no Estado do Rio Grande do Sul 2021

O alcance da eficiência pelos produtores dos 03 municípios ineficientes implica na redução de 7,6% nos insumos MJS e 16,7% nos insumos SMFA no município de Erechim, na redução de 2,7% nos insumos MJS e de 32,4% nos insumos SMFA no município Frederico Westphalen, e de 7,5% nos insumos MJS e de 16,7% nos RF (renda de fatores) no município Santa Rosa (TAB. 27). Tais ações gerariam uma redução média de 23,16% do custo unitário do kg, correspondentes a um acréscimo de 216 kg/ha de produção, em média. Entre os Municípios ineficientes, o custo unitário médio do kg é de R\$ 3,28, com os ajustes em busca da eficiência esse custo pode reduzir-se a R\$ 2,47 (menor que o custo unitário médio dos municípios eficientes: R\$ 2,83), uma redução de 24%.

O Panorama da análise de eficiência na produtividade das MPV exploradas para o biodiesel no Brasil

Na análise horizontal (ASSAF NETO, 2020) aplicada nos dados da DEA dos municípios por MPV (TAB. 29), é possível constatar que dos 111 municípios produtores analisados 55 (49% da amostra) encontram-se ineficientes com necessidade de ajustes em pelo menos um dos quatro grupos de insumos destinados à produção.

Tabela 29 – Análise Horizontal da eficiência na produtividade (safra 2021) das MPV utilizadas para o biodiesel no Brasil 2021

MPV	Municípios		%	Folgas nos insumos dos Ineficientes (R\$)								Total (R\$)	FII/CT	Custo atual (R\$)
	E	I		1 MJS	% H	2 SMFA	% H	2 MDE	% H	4 RF	% H			
Soja	13	10	43	1.285	19	1.722	26	3.233	49	399	6	6.640	16	41.550
Milho	6	13	68	787	9	3.195	36	3.504	39	1.385	16	8.872	18	48.932
Algodão	5	7	58	4.948	19	18.864	72	2.035	8	426	2	26.273	41	64.364
Dendê	8	2	20	0	0	1.255	73	462	27	0	0	1.717	4	42.473
Girassol	7	3	30	849	79	225	21	0	0	0	0	1.074	11	10.156
Canola	7	3	30	150	9	1.515	90	0	0	18	1	1.683	12	13.758
Amendoim	10	17	63	634	19	2.005	59	638	19	111	3	3.387	3	118.022
T	56	55	49	8.653	17	28.781	58	9.872	20	2.340	5	49.746	15	339.256

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

Desta amostra, 43% dos municípios produtores da soja (10/23), 68% municípios produtores de milho (13/19), 58% dos municípios produtores de algodão (7/12), 20% dos municípios produtores do dendê (2/10), 30% dos municípios produtores de girassol e dos municípios produtores de canola (3/10), e 63% dos produtores de amendoim (17/10) encontram-se ineficientes. Embora as cadeias produtivas do milho e da soja sejam reconhecidamente modernas e pujantes, e estão entre as melhores do mundo, ainda há espaço substantivo para melhoria nas suas eficiências. Por sua vez, o dendê que alterna modo extrativista com tecnologias próprias de produção, apresenta o melhor nível de eficiência na amostra analisada.

Dos quatro grupos de insumos (MJS, SMFA, MDE e RF) utilizados na produção destas MPV, os insumos SMFA são os que requerem maiores ajustes na busca da eficiência. Esse *gap* pode ser resolvido com investimentos de políticas públicas que contribuam no escalonamento da produção. Sua média de impacto na ineficiência alcança 58% do total dos custos, saindo de 21% no caso do girassol e 26% no caso da soja até 90% no caso da produção da canola. Os insumos MDE têm uma média de 20% na ineficiência, entretanto, foi observado um alto impacto quando se analisa a produção da soja e do milho, 49% e 39% respectivamente. E nos insumos MJS que ficam na média de 17%, foi observado destaque de sua participação na produção da canola, 79%. Contudo, a produção do dendê requer ajustes em apenas dois grupos de insumos: SMFA (73%) e MDE (27%), todavia, em valores absolutos, os custos dos insumos do dendê são baixos quando comparados aos custos destes mesmos insumos das demais MPV. O que vale também para a canola.

A MPV que requer os maiores ajustes em seus insumos para alcançar a eficiência são o algodão em plumas (41% dos seus insumos totais), seguido do milho (18%) e da soja (16%) respectivamente. E as que requerem os menores ajustes em relação ao seu custo total de produção são o amendoim (3%) e o dendê (4%).

Na análise vertical (ASSAF NETO, 2020) aplicada nos dados do DEA dos municípios por MPV (TAB. 30), foi possível constatar que dentre os 56 eficientes os que tem maior número de municípios eficientes são aqueles que produzem a soja (23%), o dendê (14%) e o amendoim (17%).

Tabela 30 – Análise Vertical da eficiência na produtividade (safra 2021) das MPV utilizadas para o biodiesel no Brasil 2021

MPV	M			% V	%	Folgas nos insumos dos Ineficientes							Total	(FII/CT)	
	E	% V	I			MJS	% V	SMFA	% V	MDE	% V	RF			% V
Soja	13	21,7	10	19	43	1.285	15	1.722	6	3.233	33	399	17	6.640	16
Milho	6	10	13	25	68	787	9	3.195	11	3.504	35	1.385	59	8.872	18
Algodão	7	11,7	5	9	42	4.948	57	18.864	66	2.035	21	426	18	26.273	41
Dendê	10	16,7	2	4	20	0	0	1.255	4	462	5	0	0	1.717	4
Girassol	7	11,7	3	6	30	849	10	225	1	0	0	0	0	1.074	11
Canola	7	11,7	3	6	30	150	2	1.515	5	0	0	18	1	1.683	12
Amendoim	10	16,7	17	32	63	634	7	2.005	7	638	6	111	5	3.387	3
T	60	100	53	100	47	8.653	100	28.781	100	9.872	100	2.340	100	49.946	15

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

1 - MJS: Máquinas, Juros e Serviços; 2 - SMFA: Sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos; 3 - MDE: Manutenções, Depreciações e Encargos Sociais; 4 - RF: Renda de Fatores.

Dentre os 55 municípios ineficientes destacam-se o amendoim (30%), o milho (23%) e a soja (10%). Classificações que se equivalem na ineficiência geral devido à amplitude ocupada na amostra, mas que não prejudicam a constatação de ineficiência devido ao cálculo limitar-se aos valores de cada MPV.

Na razão Eficiência/Ineficiência por MPV nos seus municípios produtores, a melhor razão encontrada foi a do dendê (4,0), as piores razões foram as do milho (0,4) e do algodão (0,7) e a razão geral ficou em 1,01.

Considerando o impacto dos insumos na ineficiência, o insumo MJS do algodão representa 57% de todos esses insumos destas MPV seguido de 15% na soja. No caso dos insumos SMFA, este do algodão é o de maior peso (66%). Os outros dois insumos (MDE e RF) têm impactos melhor distribuídos, apesar de que o RF do algodão também é o de maior impacto (41%). A produção do girassol não precisa de ajustes nos insumos MDE e RF, a produção da canola não requer ajustes em MDE e a produção do dendê não requer ajustes em RF.

Neste panorama, os insumos que requerem maiores ajustes para se alcançar a eficiência naqueles produtores ineficientes são os insumos SMFA na produção do algodão, do milho e da soja, e nestes insumos, os produtores que requerem menor ajustes são os que produzem a canola, o girassol e o dendê.

O conjunto de municípios ineficientes precisa ajustar em média 15% seus insumos para alcançar a eficiência de seus concorrentes. Os maiores ajustes devem ocorrer na produção do algodão (41%), milho (18%) e a soja (16%), os ajustes intermediários devem ocorrer na canola (12%) e no girassol (11%), e os menores ajustes estão no dendê (4%) e no amendoim (3%). Ressalta-se que em valores absolutos, os menores investimentos para se obter a eficiência ocorrem no caso girassol, da canola e do dendê (culturas novas que demandam desenvolvimento), ademais, este último oferece dois óleos explorados na produção do biodiesel: o óleo de palma e o óleo de palmiste.

A eficiência na produção pode ser sintetizada na equação $E = \frac{P}{I}$, (eficiência é a razão produtividade/insumos) (TAB. 31). Em valores médios, à exceção da produção do amendoim, em todas as outras MPV o resultado da eficiência dos municípios eficientes é maior que o resultado médio dos municípios juntos e maior que os resultados dos municípios ineficientes antes dos ajustes derivados da DEA. Após ajustes do DEA, a melhor eficiência (produtividade/insumos) desloca-se para os municípios ineficientes, cujos resultados podem superar os municípios eficientes.

Tabela 31 – Resultado das estimações de cada MPV pela análise de eficiência 2021

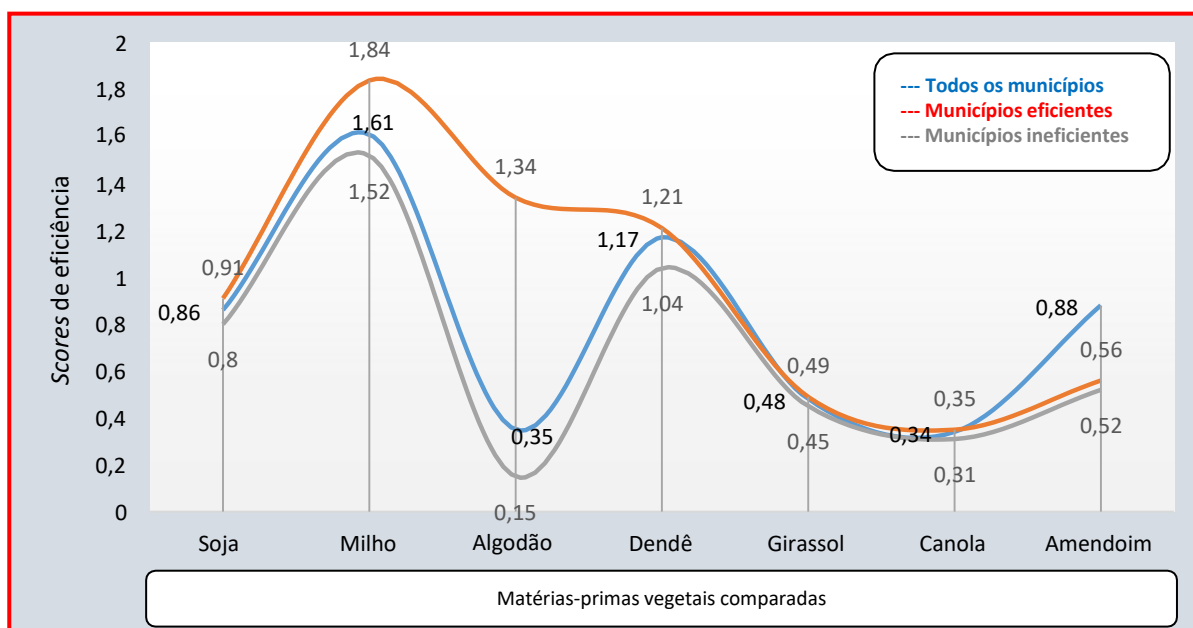
MPV	Todos Municípios: 111			Municípios Eficientes: 56			Municípios Ineficientes: 55					
	Produtividade	Custos	Eficiência = P / I	Produtividade	Custos	Eficiência = P / I	Produtividade	Custos	Eficiência = P / I	Ajustes (DEA)	(-) CT%	Escala %
Soja	3270	3.809	0,86	3238	3.539	0,91	3312	4.155	0,80	1,05	16	11
Milho	5761	3.581	1,61	5850	3.183	1,84	5719	3.764	1,52	2,15	18	15
Algodão	2766	7.938	0,35	4289	3.212	1,34	1679	11.314	0,15	0,59	41	135
Dendê	25780	21.955	1,17	26693	22.135	1,21	22125	21.236	1,04	1,27	4	17
Girassol	1822	3.794	0,48	1951	3.968	0,49	1520	3.385	0,45	0,56	11	12
Canola	1530	4.518	0,34	1582	4.490	0,35	1410	4.585	0,31	0,40	12	15
Amendoim	3624	4.141	0,88	3653	6.498	0,56	3608	6.942	0,52	0,67	4	24

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Os maiores esforços a serem feitos para se alcançar a eficiência estão na produção do algodão (41%), do milho (18%) e da soja (11%), e os menores esforços estão no amendoim e no dendê. Muito embora, o dendê seja a MPV cujo volume médio da produção supera em mais de três vezes o amendoim e em até sete vezes outras MPV, além de ser a menos custoso em valores absolutos. Além disso, à exceção do algodão, o amendoim e o dendê possuem a melhor escalabilidade da produtividade, se ajustados conforme derivações da DEA, 24% e 17% respectivamente (TAB. 31).

Na análise de eficiência das MPV de todos os municípios, as maiores eficiências estão na produção do milho (1,61) e do dendê (1,17), seguidos pelo amendoim que é relativamente eficiente (0,88) (GRAF. 9).

Gráfico 9 – Resultado final das estimações por MPV e municípios



Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Quando se observa os municípios eficientes, a eficiência do milho aumenta para 1,84 e a do dendê para 1,21, e aparece o algodão com eficiência 1,34 (puxada pelo algodão herbáceo) e a eficiência do amendoim cai para 0,56 (considerado pela literatura ineficiente).

Dentre os municípios ineficientes, o milho mantém alta eficiência (1,52), o dendê se mantém eficiente (1,04), a eficiência do amendoim cai (0,52), e a do algodão mais ainda vertiginosamente (0,15), puxada pelo algodão em plumas (GRAF. 9).

Nos três cenários, a soja se posiciona de forma intermediária, com relativas eficiências de 0,91 entre os eficientes, 0,86 entre todos os municípios e 0,80 entre os

ineficientes, mas, com menor nível de eficiência do que o amendoim (0,88) na análise de todos os municípios. O girassol, a canola e o algodão em plumas são os menos eficientes tecnicamente em todas as classificações.

Em todas as sete MPV dos 55 municípios ineficientes (49% da amostra) há espaços para aumento da eficiência que pode proporcionar uma redução média de 4% a 18% no custo final da oleaginosa ofertada à indústria do biodiesel, nesta etapa da sua cadeia de produção.

6 CONCLUSÃO

O objetivo desta pesquisa foi analisar a eficiência na produção das MPV que estão na base de produção do biodiesel no Brasil. A partir dos resultados, 13 de 23 municípios na produção da soja, 06 de 19 municípios na produção do milho, 05 de 12 municípios na produção do algodão, 10 de 27 municípios na produção do amendoim, 8 de 10 municípios na produção do dendê, 7 de 10 municípios na produção do girassol e 7 de 10 municípios na produção da canola são eficientes, totalizando 56 municípios eficientes do total de 111 municípios analisados, ou 51% da amostra.

Destes 111 municípios analisados, 55 ou 49% não possuem eficiência máxima na produção de pelo menos uma das MPV analisadas, devido, sobretudo, ao custo dos insumos SMFA (sementes/mudas, fertilizantes e agrotóxicos), à exceção da produção do dendê em que o custo do insumo prevalente é com MJS (máquinas, juros e serviços) numa proporção inferior ao seu próprio custo com SMFA, e neste, inferior em relação ao próprio das demais MPV.

Os municípios do estado do Paraná apresentam as melhores médias de produtividade da soja e do milho, no entanto, não são os mais eficientes na produção destas MPV. Suas maiores médias de produtividade não garantem necessariamente a eficiência técnica na amostra de municípios analisada.

De forma simultânea sete municípios alcançaram a eficiência máxima na produção de mais de uma matéria prima: Pedro Afonso/TO, Sorriso/MT e Chapadão do Sul/MS (soja e milho), São Luiz Gonzaga e Ijuí/RS (soja e canola), Campo Novo do Parecis/MT e Brasília-DF (soja e girassol).

O complexo agroindustrial da soja é considerado organizado e um dos mais modernos do mundo, no entanto, há espaço para aperfeiçoamentos da produção em quase metade da sua amostra analisada (10/23). Entre os municípios com eficiência técnica o custo médio da soja por kg produzido foi de R\$ 1,09 e entre os municípios ineficientes foi de R\$ 1,25 (14,67% superior). Ou seja, os municípios ineficientes têm um custo médio unitário de produção maior em 15%.

A estrutura de produção do milho tem se modernizado e alcançado crescimento exponencial nos últimos anos. Contudo, também apresenta espaços para melhorias da produção na maioria dos municípios analisados (13/19). Entre os municípios eficientes o custo médio do milho por kg produzido foi R\$ 0,54, entre os municípios ineficientes é R\$ 0,66 (majorado aproximadamente em 23%).

Os valores apurados mostram o milho com um custo de produção mais vantajoso. Tanto nos municípios eficientes quanto nos ineficientes, seu custo médio de produção do kg foi 50% menor que o da soja, e representa 0,08% do custo médio unitário do algodão em plumas.

No caso do algodão em plumas, o custo unitário médio ineficiente do kg foi 20% superior ao custo unitário médio dos municípios eficientes. Se comparado ao algodão herbáceo essa diferença alcança 660%.

A produção do biodiesel está vinculada à oferta e disponibilidade de matéria prima, à viabilidade econômica na produção, dentre outros fatores. Entretanto, a produção exponencial da soja e seu preço competitivo, não a tornam necessariamente a melhor escolha para a produção do biodiesel, tendo em vista que possui o menor rendimento em óleo em kg/ha (51%) e o menor balanço energético (1,3:1).

Assim também ocorre com o milho (rendimento kg/ha: 14,17% e balanço energético 1,42:1) e com o algodão (rendimento kg/ha: 45% e balanço energético 1,77:1). Essas três matérias-primas (soja, milho e algodão) não são as mais efetivas do ponto de vista ambiental, mas se estabelecem no mercado de biodiesel por causa das suas estruturas de produção tecnologicamente modernas, que comprimem uma escalabilidade de produção superior às outras matérias-primas vegetais. Todavia, o dendê que gera dois óleos (o de palma e o de palmiste), somados, constitui o segundo melhor rendimento em kg/ha (280) e o melhor balanço energético (5,6:1), devido à sua baixa dependência de fertilizantes. Porém, há limitações logísticas quanto à extração e à industrialização do seu óleo.

A eficiência na produção reduz o custo final da MP, pode diminuir os preços finais de mercado e provocar impactos positivos na cadeia produtiva do biodiesel, tornando-a mais competitiva. Para isso, é preciso avançar na eficiência da produção destas MPV na busca do escalonamento da produção que possibilitem maior oferta e diversificação destas matérias-primas para o biodiesel.

Atualmente, dois marcos regulatórios apoiam a produção e a comercialização do biodiesel no Brasil, o PNPB e o RENOVABIO. O primeiro entrou em vigor em 2005 com a finalidade de desenvolver a cadeia produtiva dos biocombustíveis em sua fase inicial, o segundo entrou em vigor em 2018 com a finalidade de estimular esta cadeia produtiva na sua etapa final. Entretanto, neste espaço de treze anos (do PNPB/2005 ao RENOVABIO/2018), ambas as políticas não promoveram mecanismos para subsidiar um dos principais *gaps* desta cadeia produtiva, os fertilizantes: Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), importados sobre preços crescentes nos últimos anos devido às oscilações no mercado internacional, que

aumentaram mais ainda por causa da pandemia e das consequências da guerra na Ucrânia. Por meio do decreto federal 10.991 de 11/03/2022 se iniciou uma resposta à dependência externa destes fertilizantes, com a proposição do PNF 2050 (Programa Nacional de Fertilizantes – uma Estratégia para os Fertilizantes no Brasil), que poderá provocar melhores níveis de eficiência na produção das MPV estudadas, no médio e longo prazos.

Considera-se finalmente que, diante do aumento no consumo de combustível renovável em resposta à obrigatoriedade de redução do consumo do combustível fóssil, poderá ocorrer maior demanda para o cultivo de oleaginosas destinadas ao biodiesel com maior produção de óleo. Sob essa consideração, é importante atentar para o rendimento em produtividade, em óleo e o balanço energético das oleaginosas a fim de demonstrar sua compatibilidade à sustentabilidade ambiental para a produção do biodiesel na sua contribuição aos protocolos de Paris/2015 e COP/21.

Bem como, considera-se que este estudo visa contribuir com apontamentos sobre a eficiência na produção destas MPV (que estão na base de produção do biodiesel no país), no que tange às decisões de políticas públicas e de investimentos privados em lavouras mais eficientes e na correção daquelas menos eficientes, com potencial para atender ao mercado do biodiesel e torná-lo mais competitivo. Contudo, os resultados encontrados podem sofrer alterações devido às condições de produção destas MPV e/ou aos problemas climáticos ou fitossanitários de cada região. Por isso, as variações encontradas nesta pesquisa provocam a necessidade de aplicação da análise de eficiência nas etapas subsequentes da cadeia produtiva do biodiesel (industrialização e comercialização), bem como nas produções casadas, estratégia comum na agricultura brasileira.

Devido à abrangência da pesquisa, reconhece-se algumas limitações, e a principal dificuldade foi a obtenção de dados sobre os custos dos insumos do dendê, do algodão em caroço e da canola, cuja alternativa foi basear-se em números da literatura especializada, em informações coletadas com agentes do setor produtivo e nos cálculos dos indicadores oficiais.

Alcança relevo a oportunidade de se estimar a eficiência na produção destas MPV, sua relevância para a produção do biodiesel, e a possibilidade de contribuição destes resultados para políticas públicas e investimentos privados.

REFERÊNCIAS

ABIOVE. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Estatísticas. São Paulo, 2020. Disponível em: <www.abiove.org.br/estatisticas>. Acesso em: 02 de set. 2021.

ABIOVE. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Produção de biodiesel por matéria-prima. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.abiove.org.br/site/busca.php?tag=biodiesel>>. Acesso em: 25 abr. 2021.

ABRAPA – Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. Colheita da safra 2021\22 de algodão começa no Paraná e em São Paulo, 2022. Disponível em <https://www.portaldoagronegocio.com.br/> . Acesso em 21 ago. 2022.

ALBUQUERQUE, Fábio Aquino; BELTRÃO, Napoleão Esberard de Macêdo; LIMA, Natássya Nyuska Cabral; ANDRADE, José Ronilmar; MELO, Emanuelle Barros Sobral. Análise Energética do Consórcio Mamona com Amendoim. Anais... III Congresso Brasileiro da Mamona. Salvador, 2008. Disponível em <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/277315?locale=en>> Acesso em: 14 abr. 2022

AGÊNCIA BRASIL. Safra agrícola cai 0,4% em 2021, mas pode ter recorde em 2022. Brasília, 2022. Disponível em < <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-01/safra-agricola-cai-04-em-2021-mas-pode-ter-recorde-em-2022> >. Acesso em: 08 ago. 2022.

ALVES, Raimundo Nonato Brabo; MODESTO JÚNIOR, Moisés de Souza; MAGALHÃES, Juliana; BANDEIRA Bruna. Análise Comparativa dos Custos de Implantação do Cultivo de Dendê Solteiro e Consorciado com Mandioca. **Amazônia: Ci. & Desenv.** Belém, v. 12, n. 22, 2016. Disponível em: < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1072954?locale=es> >. Acesso em: 22 jan. 2022.

ABMS – Associação Brasileira de Milho e Sorgo. Informações técnicas para o cultivo do milho e sorgo na região subtropical do Brasil: safras 2019/20 e 2020/21, Sete Lagoas – MG, 2020. Disponível em < <https://www.agricultura.rs.gov.br/> > . Acesso em: 08 ago. 2022.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Cadastro de Produtor de Biodiesel. Brasília, 2016. Disponível em: < <http://app.anp.gov.br/anp-cpl-web/public/biodiesel/consulta-produtores/consulta.xhtml>>. Acesso em: 25 de mai. 2020.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020. Rio de Janeiro: 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br> > Acesso em: 16 set. 2021.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. RENOVABIO. Assuntos Renovabio. Rio de Janeiro: 2022. Disponível em < <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio>>. Acesso em: 04 ago. 2022.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Especificação do Biodiesel. Rio de Janeiro: 2022. Disponível em < <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/especificacao-do-biodiesel>>. Acesso em: 04 ago. 2022.

ARTUZO, Felipe Dalzotto; FOGUESATTO, Cristian Rogério; SOUZA Ângela Rozane Leal; SILVA, Leonardo Xavier. Gestão de custos na produção de milho e soja. **Rev. Bras. Gest. Neg.** São Paulo v.20 n.2, p.273-294, 2018. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rbgn/a/H8Kzjc6pBy6n4FMTKHHTRnp/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 02 dez. 2021.

ASSAF NETO, Alexandre. Estrutura e Análise de Balanços – um enfoque econômico-financeiro. 12^a. ed. São Paulo: Atlas, 2020.

AZEVEDO, S. H. G. **Produção de biodiesel em reator de fluxo contínuo a partir do óleo de algodão em condições supercríticas.** 123f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Natal, 2017. Disponível em: <www.repositorio.ufrn.br>. Acesso em: 19 dez. 2021.

BACENETTI, J.; RESTUCCIA, A.; SCHILLACI, G.; FAILLA, S.: *Biodiesel production from unconventional oil seed crops (Linum usitatissimum L. and Camelina sativa L.) in Mediterranean conditions: environmental sustainability assessment.* *Renewable Energy*, v. 112, p. 444-456, 2017. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117304299>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

BARBOSA, Rafael Marani; HOMEM, Bruno Fernandes Modesto; TARSITANO, Maria Aparecida Anselmo. Custo de produção e lucratividade da cultura do amendoim no município de Jaboticabal, São Paulo. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 61, n.4, p. 475-481, 2014. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rceres/a/qvWxVYPM4GkQqNKTxf3ycLK/?lang=pt>>. Acesso em: 22 jan. 2022.

BARRANTES, Leticia De Santi; FOLEGATTI-MATSUURA; Marília Ieda da Silveira; SILVA, Gil Anderi da; KULAY Luix Alexandre. Desempenho Ambiental E Eficiência Energética do Óleo de Pinhão. VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica, Campinas, 2013. Disponível em: < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/968923>> Acesso em: 10 jun. 2020.

BARROS, G. S. V.; SILVA, A. P.; PONCHIOI, L. A.; ALVES, L. R. A.; OSAKI, M.; CENAMO, M. Custos de Produção do Biodiesel no Brasil. **Revista de Política Agrícola**. n^o3, Jul./Ago./Set. 2006. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/508>. Acesso em: 10 jun. 2020.

BASÍLIO, Flávio de Oliveira; HOLANDA; José Simplício; NETO Miguel Ferreira; DANTAS Tarcísio Batista. Congresso Brasileiro de Mamona, 4 Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas. João Pessoa. Inclusão Social e Energia: **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 72-75. Disponível em: < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/855090/1/BID29.pdf>> Acesso em: 12 out. 2020

BATALHA, M. O.; CESAR, A. S. Análise dos direcionadores de competitividade sobre a cadeia produtiva de biodiesel: o caso da mamona. **Revista Produção**. v. 21, n. 3, p. 484-497, jul./set. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/prod/2011nahead/AOP_T6_0001_0282.pdf. Acesso em: 06 abr. 2020.

BIODIESELBR. Motor Diesel. 2015. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com>>. Acesso em: 16 mai. 2021.

BIODIESELBR. Óleo de colza foi a matéria-prima dominante do biodiesel da EU. 2018. Disponível em < <http://www.biodieselbr.com> > Acesso em 22 out. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Secretaria da Agricultura Familiar: Balanço do Selo Combustível Social. Relação das Empresas com Selo Combustível Social de 28/01/16. Brasília, 2016. Disponível em: < <http://www.mda.gov.br>>. Acesso em: 20 mai. 2021.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 13.576, de 26 de Dezembro de 2017 - Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 de dez. 2017. Disponível em: < <http://www.planalto.gov.br>> Acesso em: 15 jun. 2021.

CANOLA COUNCIL OF CANADA. Enciclopédia Canola. 2021 disponível em: < <https://www.canolacouncil.org/canola-encyclopedia/> >. Acesso em: 20 nov. 2021.

CARNEIRO, Diogo Moreira; DUARTE, Sérgio Lemos; COSTA, Simone Alves. Determinantes dos custos da produção de soja no Brasil. **Anais...XXII Congresso Brasileiro de Custos**. Foz do Iguaçu, PR, 2015. Disponível em < <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/issue/view/22>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

CASTRO, N. R *et al.* Análise do padrão de crescimento do valor bruto da produção cotonícola no Brasil entre 1995 e 2015: uma aplicação do modelo shift-share. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, MG, v. 19, p. 304-321, 2017. Disponível em < [file:///C:/Users/profe/Downloads/1235-3824-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/profe/Downloads/1235-3824-1-PB%20(1).pdf)>. Acesso em 11 ago. 2022.

Centro de Referência da Cadeia de Produção de Biocombustíveis para Agricultura Familiar. Análise do Custo de Produção do Dendê. Campus Universitário. Viçosa, 2021. Disponível em: < <http://www.biomercado.com.br/imagens/publicacao/arquivo135.pdf> > Acesso em: 05 nov. 2021

CEPEA/ESALQ/USP – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz” da Universidade de São Paulo. Detalhamento de itens que Compõem o Custo de Produção: Comparações entre as Metodologias da CONAB e do CEPEA. Piracicaba, 2015. Disponível em: < <https://www.cepea.esalq.usp.br> > . Acesso em: 17 ago. 2021.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; LEWIN, A. Y.; SEIFORD, L. *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Application*. Massachusetts (EUA), 1997.

COELLI, T. J.; RAO, D.S. Prasada; j. O'DONNELL, Christopher; BATTESE, George E. *An introduction to efficiency and productivity analysis*. 2ª. ed. New York: **Springer**. 2005. Disponível em < <https://link.springer.com/book/10.1007/b136381>>. Acesso em 10 set. 2021.

COLLARES, D. Dendê importante matéria-prima para produção de biodiesel. **Agroenergia em Revista**. Brasília, ano 2, n. 2, p. 39, maio 2011. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/903296/dende-importante-materia-prima-para-a-producao-do-biodiesel>>. Acesso em: 29 jan. 2021.

CNPE. Conselho Nacional de Política Energética. Resolução n. 16 de 06/09/2021. Estabelece como de interesse da Política Energética Nacional a redução do teor de mistura obrigatória do biodiesel no óleo diesel fóssil de 13% (treze por cento) para 10% (dez por cento), no 82º Leilão de Biodiesel. Brasília: 2021. Disponível em: < <https://www.in.gov.br>>. Acesso em: 07 set. 2021.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Estimativa do escoamento das exportações do complexo soja e milho pelos portos nacionais safra 2016/17. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília. 2017. Disponível em: < www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira – GRÃOS – Safra 2021/2022 – 5º. Levantamento. Brasília, 2021. Disponível em: < www.conab.gov.br>. Acesso em: 19 fev. 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Resolução N. 16 de 29/10/2018. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Brasília: 2018. Disponível em: < <https://www.normasbrasil.com.br>>. Acesso em: 12 set. 2021.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2020/2021 . Brasília: 2020. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br>> Acesso em: 05 jul. 2021.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Norma Metodologia do Custo de Produção 30.302. Brasília, 2021. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br>> Acesso em: 01 jun. 2021.

COSTA, Alexandre Sylvio Vieira; PEREIRA, Cláudia Aparecida Fernandes. Análise Técnico-Social da Produção de Biodiesel no Brasil e no Desenvolvimento Agrícola do Norte de Minas Gerais. **DRd – Desenvolvimento Regional em debate**, v. 10, p. 789-809, 2020. Disponível em: < www.periodicos.unc.br>. Acesso em: 12 dez. 2021.

COSTA, Leandro. Amendoim: Excelente potencial para o biodiesel. Estadão. São Paulo, 03 de março de 2010. Disponível em: < <https://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/na-imprensa/amendoim-excelente-potencial-para-biodiesel/#:~:text=Da%20soja%2C%20pode%2Dse%20extrair,Pa%C3%ADs%20para%20fabrica%C3%A7%C3%A3o%20de%20biodiesel.>> Acesso em: 21 nov. 2020.

DAMASCENO , Jonatan de Lima; MACIEL , Gutierre Pereira; COSTA, Milton Garcia; BISPO, Jerry Adriane de Sousa; PEREIRA, Wanderson Cunha. Análise da Produção de Dendê da Microrregião de Tomé-Açu, III COINTER, PDVAGRO 2018, Pará. Disponível em: < <https://cointer-pdvagro.com.br> > Acesso em: 21 jan. 2022.

DANTAS, Manoel Barbosa. **Obtenção, Caracterização e Estudo Termoanalítico de Biodiesel de Milho (*Zea mays L.*)**, 2006, 183 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal da Paraíba), João Pessoa. Disponível em: < <https://www.ufpb.br>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

DOMINGUES, Mariana Soares. **Avaliação da Monocultura de Soja como matéria prima para a Produção de Biodiesel e sua relação com o Desmatamento da Floresta Amazônica: estudo de caso na região de São José do Xingu (MT)**, 2010. 170f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo). São Paulo, 2010. Disponível em: < <http://www.revistageintec.net/index.php/revista/article/view/62>> Acesso em: 02 abr. 2020.

EMATER/RS. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio Grande do Sul. Canola. Estimativa Final Safra de Inverno 2021. Porto Alegre, 2021. Disponível em: < <http://www.emater.tche.br> >. Acesso em: 04 fev. 2022.

EMBRAPA – Empresa de Pesquisa Agropecuária. Sistema de Produção do Amendoim. Brasília, 2015. Disponível em: < https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao16_1gal1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3803&p_r_p_-996514994_topicoId=3445> . Acesso em: 14 dez. 2021.

EMBRAPA – Empresa de Pesquisa Agropecuária. Pesquisa, Desenvolvimento e inovação para o Agronegócio Brasileiro: Cenários 2002 a 2012. Brasília, 2003. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/92478/1/inst-04.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2021.

EMBRAPA – Empresa de Pesquisa Agropecuária. A canola no Brasil. Embrapa Trigo, Documentos online. 2014. Disponível em: < http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do149_4.htm#:~:text=O%20cultivo%20de%20colza%20no,COTRIJUI%20%2D%20Cooperativa%20Agropecu%C3%A1ria%20%26%20Industrial. > Acesso em: 26 jan. 2022.

Dall’Agnol, Amélio; Leite, Regina Maria Villas Boas de Campos. Girassol, o potencial que floresce na segunda safra. Canal Rural: 2020. Brasília, 2021. Disponível em: < <https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2020/10/05/girassol-o-potencial-que-floresce-na-segunda-safra/> > . Acesso em: 12 fev. 2022.

EMBRAPA SOJA. Características da Soja. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-soja>> . Acesso em 02 ago. 2022.

EMBRAPA SOJA. Girassol. Londrina, 2022. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/en/girassol>>. Acesso em: 02 ago. 2022.

EMBRAPA. Sistemas de Produção Embrapa – Cultivo do Milho. Brasília, 2015. Disponível em < <https://www.spo.cnptia.embrapa.br> >. Acesso em: 02 ago. 2022.

EMBRAPA. Sistemas de Produção Embrapa – Sistema de Produção de Amendoim, Brasília, 2022. Disponível em < <https://www.spo.cnptia.embrapa.br> >. Acesso em: 03 ago. 2022.

EMBRAPA ALGODÃO. Cultivares de algodão da Embrapa. Brasília, 2014. Disponível em < <https://www.embrapa.br/en/cultivar/algodao> >. Acesso em: 02 ago. 2022.

EMBRAPA TRIGO. Começa o cultivo da canola no RS. Brasília, 2020. Disponível em <<https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/agronegocio/266257-comeca-a-colheita-da-canola-no-rs.html#.YwywSnbMLIV> >. Acesso em 16 ago. 2022.

EMBRAPA TERRITORIAL. Dendê. Campinas, 2022. Disponível em < <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/materias-primas/dende> >. Acesso em: 02 ago. 2022.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional – Relatório Síntese 2022 ano base 2021: Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>>. Acesso em: 01 jul. 2022.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis: ano 2020. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: < www.epe.gov.br>. Acesso em: 10 jun. 2021.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis: ano 2017. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: < www.epe.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Diagnóstico sobre Sistemas de Dados Agrícolas no Brasil. Brasília, 2021. Disponível em < <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb6527pt> >. Acesso em 19 set. 2022.

FARREL, M.J. *The measurement of productive efficiency*. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 120, p. 255-290, 1957. Disponível em < <https://www.jstor.org/stable/i315912>>. Acesso em: 14 jun. 2020.

FERNANDES, Ittana de Oliveira Lins. Avaliação Energética e Ambiental da Produção de Óleo de Dendê para Biodiesel na Região do Baixo Sul, Bahia. 2009, 152 f. Dissertação (Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Ilhéus. Disponível em: < <http://www.biblioteca.uesc.br/biblioteca/bdtd/200760018d.pdf> >. Acesso em: 12 jun. 2021.

FERREIRA, Carlos Maurício de Carvalho; GOMES, Adriano Provezano. Introdução à Análise Envoltória de Dados – Teoria, Modelos e Aplicações. Editora UFV (Universidade Federal de Viçosa). Viçosa, 2009.

FEROLDI, Michael; CREMONEZ, Paulo André, ESTEVAM, Andressa. Dendê: do cultivo da palma à produção de biodiesel. **REMOA** - v.13, n.5, p.3800-3808, 2014. Disponível em: < <https://periodicos.ufsm.br> > . Acesso em: 22 nov. 2021

FLACH, B.; LIEBERZ, S.; BENDZ, K.; DAHLBACKA, B. *EU-27 Annual biofuels report. The Hague: USDA, 2011. Global Agricultural Information Network. Report number NL1013.* Disponível em: <http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-27_622-2011.pdf>. Acesso em: 25 out. 2017.

FLORIEN. Óleo de amendoim. Piracicaba. 5 p. Disponível em: < <https://florien.com.br/wp-content/uploads/2016/06/%C3%93LEO-DE-AMENDOIM.pdf>> . Acesso em: 19 dez. 2021.

FRANCO, L; SOUZA, E. Nova moeda no campo. Revista Globo Rural, v. 299, set. São Paulo, 2010. Disponível em: < <http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,ERT168364-18282,00.html>> Acesso em: 07 set. 2020.

GARCILASSO, Vanessa Pecora. **Análises entre Processos e Matérias primas para a Produção do Biodiesel.** 2014. 373f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo). São Paulo, 2014. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br>> Acesso em: 12 set. 2021

GOMES, José Morelos. *Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina*, 2016. **Estudios Gerenciales**, 32, 120-126. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0123592316300018>> Acesso em: 18 abr. 2020.

GORREN, Regiane Catarina Ribeiro. **Biocombustíveis, Aspectos Sociais e Econômicos: comparação entre Brasil, Estados Unidos e Alemanha.** 2009. 130f. Dissertação (Escola Politécnica / Faculdade de Economia e Administração / Instituto de Eletrotécnica e Energia / Instituto de Física) USP – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-20092010...> Acesso em: 02 nov. 2020.

GUIMARÃES JÚNIOR, R.; MARTINS, C. F.; PEREIRA, L. G. R.; CARVALHO, M. A. DE. Subprodutos da agroindústria na alimentação de bovinos: caroço de algodão. Embrapa Cerrados. Planaltina, 2008. Disponível em: < <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/572019>>. Acesso em; 21 nov. 2021.

HAIR JR., J. F., BABIN, B., MONEY, A. H., & SAMOUEL, P. Fundamentos de Métodos de Pesquisa em Administração. Porto Alegre: Bookman, 2015.

HERRERA, Selena. **Análise da Governança Global da Sustentabilidade dos Biocombustíveis e Proposta para o etanol brasileiro**, 2014. 262f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético COOPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro). Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: < <http://www.ppe.ufrj.br>> Acesso em: 17 jun. 2020.

HYPOLITO, Marcel Lúcio; SOUZA, Luan Alves; SILVA, Ivênio Moreira; DA SILVA, Flávio Castro; LOPES, Laurênio Ferreira. Produção e caracterização das misturas do diesel com biodiesel de óleo de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v14, n.4, 2021. Disponível em: < <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/8872>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

HIRAKURI, Marcelo Hiroshi; LAZZAROTTO, Joelsio José; ÁVILA, Márcio Turra de. Avaliação da Relação entre Soja e Produção de Biodiesel. EMBRAPA SOJA, Londrina, 2010. Disponível em: < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/881594> > Acesso em: 22 mar. 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. Pesquisa Agrícola Municipal. <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=LT&z=t&o=24>>. Acesso: 26 ago. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola março 2021. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Anuário Estatístico do Brasil 2020, vol. 80, 2020. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: < <https://biblioteca.ibge.gov.br> >. Acesso em: 19 set. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Painel de Indicadores 2022. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em:* < <https://www.ibge.gov.br/indicadores> >. Acesso em: 10 jan. 2022.

IAC – Instituto Agronômico de Campinas. Safra de amendoim para o Estado de São Paulo está estimada em 589,2 mil toneladas, de acordo com o primeiro levantamento da Safra de Grãos para o período de 2021/2022. Disponível em < <https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/> > Acesso em 15 ago. 2022.

IEA/SAA/SP – Instituto de Economia Agrícola da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Previsão da safra 2020/2021 e abril de 2021, Estado de São Paulo. São Paulo, 2021. Disponível em: < <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/Bancodedados.php> > . Acesso em: mai. 2021.

IHA, Osvaldo Kojiro. **Produção e Análise de Bio-óleo e Biodiesel utilizando oleaginosas que possam contribuir para o aumento da Matriz Energética Renovável Brasileira**. 2009. 65f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação do Instituto de Química da Universidade de Brasília), Brasília, 2009. Disponível em: < <https://core.ac.uk/download/pdf/33539903.pdf> > Acesso em: 10 fev. 2020.

INMAT – Instituto Mato – Grossense do Algodão. Manual de Boas Práticas de Manejo do Algodoeiro em Mato Grosso, 2020. Cuiabá, 2020. Disponível em: < <https://imamt.org.br/manual-de-boas-praticas-de-manejo-do-algodoeiro-em-mato-grosso-4a-edicao/> > Acesso em: 10 jan. 2022.

JORNAL BOA VISTA. Dias Ensolarados permitem início da colheita da lavoura de milho na região, 2019. Erechim-RS. Disponível em < <https://jornalboavista.com.br/dias-ensolarados-permitem-inicio-da-colheita-das-lavouras-de-milho-na-regiao/>> Acesso em 22 ago. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. IEA (2021), Global Energy Review 2021, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>.

LAVIOLA, Bruno. Escala de produção é o grande desafio para diversificar matérias-primas para biodiesel, 2022. Brasília-DF. Disponível em < https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/73728030/escala-de-producao-e-o-grande-desafio-para-diversificar-materias-primas-para-biodiesel-diz-pesquisador-da-embrapa?p_auth=wHmSmwqs#:~:text=Ap%C3%B3s%2017%20anos%20da%20cria%C3%A7%C3%A3o,e%20Desenvolvimento%20da%20Embrapa%20Agroenergia%2C > Acesso em: 02 set. 2022.

LEBID, T.; HENKES, A. J. Óleo de Dendê na Produção de Biodiesel: Um Estudo de Caso das Vantagens e Desvantagens Econômica, Ecológica e Social da Cultura desta Oleaginosa para a Produção de Biodiesel. *Revista de Gestão Sustentável e Ambiental, Florianópolis*, v. 4, n. 1, p. 392- 415, 2015. Disponível em: < https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/2936/2097 > . Acesso em: 22 nov. 2021

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; ARAGÃO LEONETI, Valquíria; OLIVEIRA, Sônia Valle Walter Borges. *Glycerol as a by product of biodiesel production in Brazil: Alternatives for the use of unrefined glycerol*. *Renewable Energy*, v. 45, p. 138-145, 2012. Disponível em < <https://www.sciencedirect.com/journal/renewable-energy> >. Acesso em: 02 ago. 2022

LIMA JUNIOR, José Carlos. **Condicionantes da viabilidade de produção do biodiesel a partir do dendê e do pinhão-mansão no semi-árido brasileiro**, 2008. 167f. Dissertação (Programa de pós Graduação em Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Uniservidade de São Paulo), Ribeirão Preto, 2008. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/96/96132/tde-29042009-105138/en.php>> Acesso em: 10 mar. 2020.

LIMA RAMOS, G. **Palmáceas Alternativas para Incremento da Produção do Biodiesel**. 2010. 145f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília), Brasília, 2010. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/33538418.pdf> > Acesso em: 11 nov. 2020.

LUZ, Cinthia da Silva Carreiro; MAINIER, Fernando Benedicto; MONTEIRO, Luciane Pimentel Costa. Comparação de Oleaginosas para a Produção de Biodiesel. *ENGEVISTA*, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2015. Disponível em: < <https://periodicos.uff.br/engevista/index>>. Acesso em: 08 jan 2022.

MACDONALD, B. E. *Canola oil: nutritional properties*. Manitoba: Canola Council of Canada, 2000. Disponível em: <http://www.canolacouncil.org/media/515159/canola_oil_nutritional_properties.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2022.

MACEDO, I. C.; NOGUEIRA, L. A. H. Biocombustíveis. Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, n.2. Secretária de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, Brasília, 2005. Disponível em: <<https://livroaberto.ibict.br/handle/1/576>>. Acesso em: 29 jan. 2022.

MARINHO, Victor Hugo Princisval. Avaliação da Utilização das Biomassas de Mamona, Soja, Dendê, Girassol e Babaçu para a Produção de Biodiesel. 2021. 79f. Projeto Final (Departamento de Engenharia Química e de Petróleo Universidade Federal Fluminense) – Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<https://app.uff.br>> Acesso em: 17 jan. 2022.

MARZULLO, Rita de Cássia Monteiro. **Análise de Ecoeficiência dos Óleos Vegetais oriundos da Soja e Palma, visando a Produção de Biodiesel**, 2007. 303f. Dissertação (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-09012008-155336/en.php>> Acesso em: 10 abr. 2020.

MARTINS, Thatyana Santiago. Avaliação do Desempenho Ambiental e Energético da Fase Agrícola da Produção de Cachos Frescos de Dendê no Estado do Pará. 2016, 59 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins), Gurupi. Disponível em: <<http://repositorio.uft.edu.br>>. Acesso em: 19 jun. 2021.

MARTINS, Renata; RAMOS, Soraia de Fátima; TORQUATO Sérgio Alves. POSSIBILIDADES PARA O BIODIESEL: análise da eficiência na produção de algodão, amendoim e soja nas regionais de desenvolvimento rural do Estado de São Paulo, 2007. **Informações Econômicas**, SP, v.37, n.6, jun. 2007. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/ie/2007/tec1-0607.pdf>> Acesso em: 12 ago. 2020.

MILESSI, J.; ANUNCIATO, K.M.; MESSIAS, I. A. M.: Análise de Custo e Rentabilidade da Cultura do Pinhão-Manso (*Jatropha Curcas L.*) em Barra do Bugres – Mato Grosso. **Revista de Estudos Sociais** - ano 10, n. 19, v. 1, 2008. Disponível em: <www.periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/res/article/> Acesso em: 10 mai. 2020.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. Brasília, 2022. Disponível <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/biodiesel/programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb>> , Acesso em: 04 ago. 2022

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Índice de Preços ao Produtor, 2021. Brasília, 2022. Disponível em <<https://www.gov.br>> . Acesso em: 20 jan. 2022.

MISHRA, S.; ANAND, K.; SANTHOSH, S.; MEHTA, P.S. *Comparison of biodiesel fuel behaviour in a heavy duty turbocharged and a light duty naturally aspirated engine*. **Applied**

Energy, v. 202, p. 459-470, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917307201>>. Acesso em: 25 out. 2020.

MIRANDA; Julio Cesar de Carvalho. **Criação do Banco de Dados, Simulação e Análise Energética do Processo de Produção do Biodiesel de Soja, Mamona e Pinhão Manso**. 2011. 162f. Dissertação (Faculdade de Engenharia Química) UNICAMP – Universidade de Campinas. 2011 Disponível em: <<https://www.unicamp.br/anuario/2011/FEQ/FEQ-dissertacoesmestrado.html> > Acesso em: 20 mar. 2018.

MEGAREJO A., Milciades A.; DUARTE Jr., José B.; COSTA, Antonio C. T. da; MEZARILLA, Eder J.; PIVA, André L.; SANTIN, Anderson. Características agrônômicas e teor de óleo da canola em função da época de semeadura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.9, p.934–938, 2014. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/fMw4nNpDTBJMqykBFG6s5Vn/?lang=pt&format=pdf> >. Acesso em 28 out. 2021

MORI, Cláudia de.; TOMM, Gilberto Omar.; FERREIRA, Paulo Ernane Peres. Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da canola no mundo e no Brasil. Documentos 149 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), 2014. Disponível em <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do149.pdf >. Acesso em: 04 set. 2021

MORETTO, E.; FETT, R. Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos. São Paulo: Varela, 1998.

MOURA, Naira Cuareli de. **Avaliação de Espécies Oleaginosas de Inverno em diferentes Regiões Fisiográficas do Paraná para a Produção do Biodiesel**. 2012. 67f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Bioenergia da Universidade Estadual de Londrina), Londrina. 2012. Disponível em: <<https://core.ac.uk/display/142288148>> Acesso em: 20 nov. 2020.

MUÑOZ, R. A. A.; FERNANDES, D. M.; SANTOS, D. Q.; BARBOSA, T. G. G.; SOUSA, R. M. F. *Biodiesel: Production, Characterization, Metallic Corrosion and Analytical Methods for Contaminants*. In: FANG, Z. *Biodiesel - Feedstocks, Production and Applications*. *InTech*, p. 129-176, 2012. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org>>. Acesso em: 12 nov. 2021

NAKAGAWA J & ROSOLEM CA (2011) O amendoim: tecnologia de produção. Botucatu: FEPAF (Fundação de Estudos e Pesquisa Agrícolas e Florestais), 2011. Disponível em: <<https://livraria.funep.org.br/product/o-amendoim-tecnologia-de-produc-o/>>. Acesso em 10 out. 2021.

NEPOMUCENO, Alexandre Lima; FARIAS, José Renato Bouças; NEUMAIER, Normam. Características da Soja, 2021. Embrapa Soja. Londrina-PR. Disponível em <<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-soja> >. Acesso em: 19 ago. 2022.

NUNES R. F.; DE PAULA, D. C.; MARTINS M. G. Produção de biodiesel do óleo de amendoim por transesterificação metílica e aplicação da superfície de resposta. **Scientia Plena**, v. 17, no. 04, 2021. Disponível em: < www.scientiaplenu.org.br>. Acesso em: 19 jan. 2022.

OLIVEIRA Fernando C.; COELHO, Suani T. *History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 168-179, 2017. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116307304>>. Acesso em: 10 out 2020.

OLIVEIRA, Thiago; GOUVÊA, Eduardo Penna; ODAGIMA, Andréa Mayumi; SHITSUKA, Dorlivete Moreira; SHITSUKA, Ricardo. UM ESTUDO DE MATÉRIAS-PRIMAS PARA FABRICAÇÃO DE BIODIESEL, 2017. **Educação, Gestão e Sociedade**, Ano 7, número 27, ago 2017. Disponível em: < http://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20170919090714.pdf> Acesso em: 12 fev. 2020.

PARENTE, Expedito José de Sá. BIODIESEL: uma Aventura Tecnológica num País Engraçado. 1ª. ed., Fortaleza: Tecbio, 2003.

PEQUENO; 2010. Marcos Antonio Gomes. **Avaliação do potencial produtivo de óleos obtidos a partir de microalgas por cromatografia gasosa**. Dissertação (Mestrado em Química da Universidade Federal da Paraíba). João Pessoa, 2010. Disponível em: <www.quimica.ufpb.br. Acesso em: 14 jan. 2022.

PIGHINELLI, Anna Leticia Montenegro Turtelli. **Extração Mecânica de Óleos de Amendoim e de Girassol para Produção de Biodiesel via Catálise Básica**. 2007. 94f. Dissertação (Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas), Campinas. 2007. Disponível em: < <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257085> > Acesso em: 18 mar. 2020.

PINTO, Rennêr Ribeiro. **Preparação e Caracterização de Catalisador Heterogêneo Sintetizado a Partir da Casca de Ovo para Produção de Biodiesel**. 123 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba), João Pessoa. 2021. Disponível em: < <https://www.ufpb.br>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

RAMOS L. P.; KOTHE, V.; CÉSAR-OLIVEIRA. M. A. F.; MUNIZ-WYPYCH, A. S.; NAKAGAKI, S.; KRIEGER, N.; WYPYCH, F.; CORDEIRO, C. S. Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis. **Rev. Virtual Quim.**, 2017, 9 (1), 317-369. Disponível em: < <http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/LuizNoPrelo.pdf>> Acesso em: 01 fev. 2021.

RASHID, U.; ANWAR, F.; KNOTHE, G. *Evaluation of biodiesel from cottonseed oil*. **Fuel Processing Technology**, v. 90. n. 9, p. 1157-1163, 2009. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382009001313>> . Acesso em: 09 out. 2021.

REN21. *Renewables Energy Policy Network for the 21st. Century. RENEWABLES 2022 GLOBAL STATUS REPORT*, 2022. Disponível em: < <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>> Acesso em: 03 ago. 2022.

ROYO, J. Algodão contribui para 5% do biodiesel brasileiro. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br>>. Acesso em: 19 set. 2021.

SANTANA, Naja Brandão; Rebelatto, Daisy Aparecida do Nascimento; PÉRICO Ana Elisa. Eficiência na Conversão de Recursos Produtivos em Desenvolvimento Sustentável: O Caso do Brasil entre os BRIC'S, 2015. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.15, n. 2, p. 601-621, abr./jun. 2015. Disponível em: < <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/viewFile/1931/1283>> Acesso em: 22 mar. 2020.

SANTOS, José Antônio Lobo dos. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel: sujeição da renda da terra camponesa ao capital no Território de Identidade de Irecê-BA**, 2012. 262f. Tese (Doutorado da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo) – USP-SP, São Paulo, 2012. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br>> Acesso em: 12 jul. 2021.

SANTOS, W. F; AFFÉRI, S. F; REINA, E.; PELUZIO, J. M.; SILVA, M. C. de C.; DOTTO, M. A. Teores de Óleo em Populações de Milho, sob Alto e Baixo Nitrogênio em Palmas, na Safra de 2010/2011. **Anais...XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo**. Águas de Lindóia. 2012. Disponível em: <www.abms.org.br>. Acesso em: 29 jan. 2022.

SANTOS, Jair Carvalho; HOMMA, Alfredo Kingo Oyama; SENA, Ana Laura dos Santos; GOMES JÚNIOR, Rui Alberto; MENEZES, Antônio José Elias Amorim. Desempenho Socioeconômico do Sistema Produtivo Familiar de Dendê em Moju, Estado do Pará. 53°. Congresso SOBER - Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, João Pessoa - PB, 2015. Disponível em: <www.sober.org.br>. Acesso em: 14 set. 2021.

SANTOS, R. C. R. **Otimização do processo de pré-tratamento do óleo de algodão para produção de biodiesel**. 116 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Ceará), Fortaleza, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/14147/1/2010_dis_rcrsantos.pdf>. Acesso em: 19 out. 2021.

SANTOS, Camila Castro; SOUSA, Wesley do Nascimento; LIMA, Francisco Rodrigo de Freitas; LESSA, Bruno França da Trindade; DUTRA, Alek Sandro. Avaliação Morfológica de Quatro Cultivares de Girassol em Função do Espaçamento de Cultivo. **Anais...VI Congresso Brasileiro de Mamona III Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas**, Fortaleza, 2014. Disponível em: < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1000425/1/anaiscompleto.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

SAPPSI-RS – *Secretaria de Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do Rio Grande do Sul. Informações Agropecuárias. Porto Alegre, 2021. Disponível em < <https://www.agricultura.rs.gov.br/informacoes-agropecuarias> >. Acesso em: 25 out. 2022*

SCHEEL, H. *Undesirable outputs in efficiency valuations*. *European Journal of Operational Research*, v. 132, p. 400-410, 2001. Disponível em: <<https://econpapers.repec.org/article/eeeejores/default158.htm>>. Acesso em: 08 set. 2021.

SEAB/PR – *Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Dados Agropecuários – Custos de Produção*. Curitiba, 2021. Disponível em <<https://www.agricultura.pr.gov.br/CustosProducao>>. Acesso em: 17 jul. 2022.

SEAPA/GO - *Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Goiás. AGRO EM DADOS*. 2021. Goiânia, 2021. Disponível em: <<https://www.agricultura.go.gov.br>>. Acesso em: 22 jan. 2022.

SEAPA/MG – *Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais. Algodão*. Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <<https://www.agricultura.go.gov.br>>. Acesso em: 02 fev. 2022.

SEDAP/PA – *Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca do Pará. Panorama Agrícola do Pará 2015 / 2019*. Belém, 2021. *Dendê (cacho de coco)*. Disponível em: <<http://www.sedap.pa.gov.br/dados-agropecuarios/agropecuaria>>. Acesso em: 06 jan. 2022.

SHADIDI, Behdad; NAJAFI, Gholamhassan; ZOLFIGOL Mohammad Ali. A *Review of the Existing Potentials in Biodiesel Production in Iran*. *Sustainability*.v. 14, p 1-18. Disponível em <<https://www.mdpi.com/journal/sustainability>>. Acesso em: 11 ago. 2022.

SLUSZZ, T.; MACHADO, J. A. D. Características das potenciais culturas matérias-primas do biodiesel e sua adoção pela agricultura familiar. XLIV Congresso da SOBER - Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, Fortaleza-CE, 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228653146_Caracteristicas_das_potenciais_culturas_materias-primas_do_biodiesel_e_sua_adocao_pela_agricultura_familiar>. Acesso em: 29 jan. 2022.

SMIDERLE, Oscar José; VIANA, Antonieta Alcântara Pereira. Performance de Genótipos de Amendoim de Porte Rasteiro cultivados em Roraima em 2013. *Anais...VI Congresso Brasileiro de Mamona e III Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas*, Fortaleza, 2014. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1000425/1/anaiscompleto.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2021.

SOARES, Pedro. SPOLADOR, Humberto Francisco Silva. Eficiência Técnica da Produção de Soja nas Unidades Produtivas de São Paulo, Ano-Safra 2007/08. *Informações Econômicas*, SP, v. 47, n. 4, out./dez. 2017. Disponível em <<http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/ie/2017/tec1-1017.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

SOARES, Pedro. SPOLADOR, Humberto Francisco Silva. Eficiência técnica da produção de milho no estado de São Paulo: uma abordagem por metafronteira estocástica. *Revista de*

Economia e Sociologia Rural, 57(4), 545-558, 2019. Disponível em < <https://www.revistasober.org/ed/5d4181780e8825f424c32008>>. Acesso em: 08 set. 2022.

SOARES, Luis Henrique de Barros; ARAÚJO, Ednado da Silva; ALVES, Bruno José Rodrigues; BODDEY, Robert Michael; URQUIAGA, Segundo. Eficiência Energética Comparada das Culturas do Girassol e Soja, com aptidão para a produção de Biodiesel no Brasil. Circular Técnica 25, Embrapa Agrobiologia. Seropédica/RJ, 2008. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/630428/1/cit025.pdf>> Acesso em: 12 fev. 2020.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ÂNGULO MEZA, L.; GOMES, E. G.; BIONDI NETO, L. Curso de Análise de Envoltória de Dados. **Anais...** do XXXVII SBPO – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Gramado, 2005. Disponível em: < <http://ws2.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2005/pdf/arq0289.pdf> > Acesso em: 22 jun. 2021.

SOUZA, Aguinaldo Eduardo; REIS, João Gilberto Mendes; RAYMUNDO, Julio Cezar; PINTO, Roberta Sobral. Estudo da Produção do Milho no Brasil: Regiões Produtoras, Exportação e Perspectivas. **South American Development Society Journal** Vol.: 04, nº.11: 2018. Disponível em: < <http://www.sadsj.org/index.php/revista/issue/view/11>>. Acesso em 06 jan. 2022.

SUASSUNA, Tais de Moraes Falleiro; MEDEIROS Everaldo Paulo; HEUERT, Jair; MATOS, Ramon Guedes; OLIVEIRA, Luiz Otávio Rozetti Batista. Desenvolvimento de Cultivares de Amendoim para o Mercado de Biodiesel. **Anais...** VI Congresso Brasileiro de Mamona e III Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, Fortaleza, 2014. Disponível em: < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1000425/1/anaiscompleto.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2021.

SUFRAMA. Superintendência da Zona Franca de Manaus. Dendê – Potencialidades. Estudos socioeconômicos. 2017. Disponível em: < <https://www.gov.br/suframa/pt-br/publicacoes/estudos-socioeconomicos> >. Acesso em: 22 set. 2021.

TAPANES, Neyda de la Caridad om; ARANDA, Donato Alexandre Gomes; PEREZ, Rodolfo Salazar; CRUZ, Yordanka Reyes. Biodiesel no Brasil: Matérias Primas e Tecnologias de Produção. **AS&T** volume 1, number 1, feb. 2013. Disponível em: < <http://www.uezo.rj.gov.br/ojs/index.php/ast/article/view/11>>. Acesso em: 14 jan. 2022.

TOMM, G. O. Situação em 2005 e perspectivas da cultura de canola no Brasil e em países vizinhos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento online 26 Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2005. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPT-2010/40299/1/p-bp26.pdf> > Acesso em: 28 jan. 2022.

TOMM, G. O.; WIETHOLTER, S.; DALMAGO, G. A.; SANTOS, H. P. dos. Tecnologia para produção de canola no Rio Grande do Sul. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 41 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos online, 113). Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPT-2010/40772/1/p-do113.pdf> >. Acesso em: 08 dez. 2021.

VARÃO, Leandro Henrique Ribeiro; SILVA, Thiago Alves Lopes; ZAMORA, Hernán Darío Zamora; PASQUINI, Daniel. Óleo de Algodão como Matéria-Prima para a Indústria Brasileira de Biodiesel. **REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIA**, Vol. 24, nº 1, 2018. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/349442761_Oleo_de_algodao_como_materia-prima_para_a_industria_brasileira_de_biodiesel>. Acesso em: 06 jan. 2022.

VASCONCELOS, G.F.; VIDAL, J. W. B. Poder dos Trópicos: meditação sobre a alienação energética na cultura brasileira. São Paulo: Casa Amarela, 2004.

VERGARA, Sylvia Constant. Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração. São Paulo: Atlas, 2016.

VILLELA, A.A.; JACCOUD, D.B.; ROSA, L.P.; FREITAS, M.V. *Status and prospectsof oil palm in the Brazilian Amazon*. **Biomass and bioenergy**, 67: 270-278. 2014. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/vol/67/suppl/C> >. Acesso em: 21 jan. 2022.

YAMADA, Eliane Seiko Maffi. **Zoneamento Agroclimático da *Jatropha curcas* L. como subsídio da cultura no Brasil visando a Produção do Biodiesel**. 2011. 135f. Dissertação (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz” da Universidade de São Paulo), Piracicaba, 2011. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Eliane_Yamada/publication/260798845 > Acesso em: 10 mai. 2020.

ANEXO A - Elementos e cálculo dos custos de produção da CONAB 2021

I - Despesas de Custeio da Lavoura	
Elementos do custo	Conceito/cálculo
1 - Operação com animal	$(R\$/ha) = \text{Diárias/animais (d/a/ha)} \times \text{Preço diária-animal (R\$/d/a)}$
2 - Operação com avião	$(R\$/ha) = \text{Total (aplicações/ha)} \times \text{Preço aplicação (R\$/aplicação)}$
3 - Operação com máquinas próprias	$(R\$/ha) = \text{Quant. de horas (h/ha)} \times \text{Custo h/máq. (R\$/h)}$
4 - Aluguel de máquinas e animais	$(R\$/ha) = \text{Quant. horas-máquina (h/ha)} \times \text{Preço hora-máquina (R\$/h)}$; $(R\$/ha) = \text{Quant. d/ animais (d/a/ha)} \times \text{Preço diária animal (R\$/d/a)}$
5 - Mão de obra e administrador rural	a) por prazo determinado; b) temporário; c) safra; d) acordo ou convenção coletiva de trabalho.
6 - Sementes e mudas	variedade, cultivar ou híbrido; b) origem; c) quantidade utilizada na produção; d) os preços; taxa de replantio; f) espaçamento
7 - Fertilizantes	$(R\$/ha) = \text{Qte. aplicada por hectare (UM/ha)} \times \text{Preços dos fertilizantes (R\$/UM)}$
8 - Agrotóxicos	$(R\$/ha) = \text{Qte aplicada por hectare (UM/ha)} \times \text{Preços dos agrotóxicos (R\$/UM)}$
9 – Receita	$(R\$/ha) = [\text{Qte vendida por hectare (UM/ha)} \times \text{Preço do produto (R\$/UM)}]$
10 – Outros	Ocorrem em pacotes tecnológicos de culturas específicas,
II - Outras Despesas	
1 - Transporte externo	Quantidade de produto transportada (UM/ha) x Preço Frete (R\$/UM)
2 - Despesas administrativas	$(R\$/ha) = \text{Despesas de Custeio (R\$/ha)} \times 3\%$
3 - Despesas de armazenagem	Recepção (R\$/UM) + Expedição (R\$/UM) + Limpeza (R\$/UM) + Secagem (R\$/UM) + Sobretaxa (R\$/UM) + Armazenagem (R\$/UM)
4 - Beneficiamento	Varia de acordo com o produto em questão e região
5 - Seguro da produção e do crédito	Política agrícola para atenuar os riscos da atividade agropecuária
6 - Assistência técnica	Educação informal, de caráter continuado
7 - Impostos e taxas (CESSR)	Preço recebido (R\$/UM) x Produtividade (UM/ha) x 1,5%
III - Despesas Financeiras	
1 - Juros de financiamento	Juros de financiamento pagos para o custeio da atividade produtiva.
IV – Depreciações	
1 – Depreciações de benfeitorias e instalações	Perda de valor ou eficiência produtiva, causada pelo desgaste do seu uso, idade e estado de conservação.
2 - De máquinas, implementos e conjuntos de irrigação	A vida útil é aquela definida para cada método e horas de irrigação, por hectare.
3 – Exaustão	Quando os ciclos produtivos necessitam de mais de um ano-safra até atingirem a produção plena em diferentes etapas de cultivo.
V - Outros Custos Fixos	
1 – Manutenção de instalações	$(\text{Valor do bem novo} \times \text{Taxa de manutenção: } 1\%) / \text{Área Cultivada}$
2 - Encargos sociais	Encargos sociais e trabalhistas de acordo com o tipo de contrato
3 - Seguro do capital fixo	custo de seguro de equipamentos agrícolas como máquinas, implementos, conjuntos de irrigação e de instalações e benfeitorias.
4 - Arrendamento	Arrendatário paga ao proprietário da terra (arrendador) de acordo com a quantidade produzida e o preço do produto.
VI - Renda de Fatores	
1 -Sobre o capital fixo e sobre o cultivo	Cálculo incide sobre o capital investido em bens e sobre o capital imobilizado nas etapas de implantação e formação.
2 - Terra própria	Taxa de remuneração da terra é metade da taxa de rendimento anual da poupança, incidindo sobre o preço pela venda de 1 hectare de terra, desprovida de benfeitorias e instalações, própria para o cultivo.

ANEXO B - Elementos e efeitos dos custos de produção agrícola CEPEA (2015)

I - Despesas de Custeio da Lavoura		
Elementos do custo	Composição	(*) Efeito nos custos
Operação com animal	Serviço terceirizado	Não
Operação com avião	Combustível e manutenção ou serviço terceirizado	Não
Tratores e Colheitadeiras	Combustível e manutenção ou serviço terceirizado	Sim, na taxa de manutenção
Conjunto de Irrigação	Combustível e manutenção ou serviço terceirizado	Sim, na taxa de manutenção
Aluguel de Máquinas	Serviços terceirizados	Não
Aluguel de Animais	Serviços terceirizados	Não
Mão de obra	Mão de obra efetiva + ponderação do tempo extra, no total da cultura	Sim, especialmente no tempo extra
Administrador	Considerado no item acima	Não
Sementes	Sementes/Mudas por hectare	Não
Royalties	Considerado no item acima	Não
Fertilizantes	Uso por hectare x valor à vista, na propriedade	Não
Agrotóxicos	Uso por hectare x valor à vista, na propriedade, separado por classe de produto	Não
Água	Está no custo total da irrigação	Não
Análise Foliar	Está em Custos Gerais - Não compõe o custo	Não
Embalagens/Utensílios	Está em Custos Gerais - Não compõe o custo	Não
Análise de Solo	Está em Custos Gerais - Não compõe o custo	Não
Taxas Ambientais	Está em Custos Gerais - Não compõe o custo	Não
Demais Despesas	Está em Custos Gerais - Não compõe o custo	Não
Implementos manuais	Benfeitorias – oficinas	Não
Serviços Diversos	Serviços Diversos	Não
II – Outras Despesas		
Transporte Externo	Frete	Não
Despesas administrativas	Está em Custos Gerais - Não compõe o custo atual	Sim
Despesas de armazenagem	Gastos com recepção, secagem, sobretaxa (ou equivalente tarifa) e armazenagem	Sim
Beneficiamento	Custo para beneficiamento, base serviço terceirizado	Não
Seguro da Produção	quando houver	Não
Seguro do crédito	Não considerado	Não
Assistência Técnica	2% sobre gastos com insumos, mão de obra e operações mecânicas	Não
Impostos/Taxas	Custos Gerais (Taxa CNA, ITR, IPVA, Sindicato Custos Gerais (Taxa CNA, ITR, IPVA, Sindicato	Não
CESSR	2,3% ou 0,2% da Receita Bruta	Não
III– Despesas Financeiras		
Juros do Financiamento	Média ponderada das diferentes fontes de captação de recursos pelos produtores, conforme taxas e participação repassadas pelos produtores	Sim
IV - Depreciações		
Depreciação de benfeitorias/instalações	Taxa residual ou depreciação capitalizada	Sim
Depreciação de implementos	Taxa residual ou depreciação capitalizada	Sim
Depreciação de máquinas	Taxa residual ou depreciação capitalizada	Sim

V – Outros Custos Fixos

Manutenção Periódica	Diferencia-se por envolver taxa de manutenção de 10%	Não
Benfeitorias/Instalações		
Encargos Sociais	Contido na mão de obra	Não
Encargos Sociais	Encargos Sociais	Não

VI – Renda de Fatores

Remuneração esperada sobre o capital fixo	Valor residual e taxa de juro variável a cada ano,	Sim
Terra Própria	Taxa de juro anual, ponderada pela receita bruta ou área cultivada	Sim
Arrendamento	Se área arrendada, o gasto é custo operacional ponderado pela receita bruta	Sim

Fonte: CEPEA/ESALQ/USP (2015)

(*) efeito decorrente da agregação de valores.