

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE *CAMPUS*
CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**PARÂMETROS QUÍMICOS DO ÓLEO DE PINHÃO-MANSO SOB APLICAÇÃO DE ÁGUA
RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA: ACIDEZ E ÁCIDOS GRAXOS**

**CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
JUNHO DE 2021**

KÉSIA DAMARIS DE AZEVEDO FRIGO

**PARÂMETROS QUÍMICOS DO ÓLEO DE PINHÃO-MANSO SOB APLICAÇÃO DE ÁGUA
RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA: ACIDEZ E ÁCIDOS GRAXOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Silvio Cezar Sampaio.

**CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
JUNHO DE 2021**

Ficha de identificação da obra elaborada através do formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Fp

Frigo, Késia Damaris de Azevedo
PARÂMETROS QUÍMICOS DO ÓLEO DE PINHÃO-MANSO SOB
APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA:
ACIDEZ E ÁCIDOS GRAXOS / Késia Damaris de Azevedo
Frigo; orientador Silvio Cesar Sampaio. --
Cascavel, 2021.
53 p.

Tese (Campus de Cascavel) -- Universidade
Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências
Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, 2021.

1. Reúso de efluente da suinocultura. 2.
Biocombustível. 3. Jatropha curcas L. I. Sampaio,
Silvio Cesar , orient. II. Título.

Revisão de português, inglês e normas realizada por Silvana de Araújo Vaillões, em 27 de julho de 2021.

KÉSIA DAMARIS DE AZEVEDO FRIGO

Parâmetros químicos do óleo de pinhão-manso sob aplicação de água residuária da suinocultura: acidez e ácidos graxos

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, linha de pesquisa Saneamento Ambiental, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Silvio César Sampaio

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Universidade Federal do Paraná (UFPR)



Francielly Torres dos Santos

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)



Ralpo Rinaldo dos Reis

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Marcio Antonio Vilas Boas

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 29 de junho de 2021.

BIOGRAFIA

Késia Damaris de Azevedo Frigo - Filha de Antonio Vítor Azevedo e Marli Terezinha Chagas Azevedo, nasceu em 17 de agosto de 1991, na cidade de Toledo- Pr. No ano de 2013, concluiu a Graduação em Tecnologia em Biotecnologia na Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina. Em 2015, concluiu a Formação Pedagógica com Habilitação em Licenciatura em Química, pela Faculdade Polis das Artes. No ano de 2017, tornou Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Atualmente, é Assessora de Gabinete da Casa Militar da Governadoria do Paraná, cursa Administração - Bacharel na Universidade Positivo e é discente do Doutorado de Engenharia Agrícola na área de concentração de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental na Universidade do Oeste do Paraná.

**Dedico este trabalho a todos que se fizeram
ponte para as conquistas da minha vida.**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me abençoar e guiar meus passos para chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais, Antonio e Marli, por todo apoio e incentivo, que serviram de alicerce para as minhas realizações; pela confiança em mim depositada até hoje. Obrigada pelo amor incondicional com que, todos os dias, me presenteiam.

Ao meu irmão, Adriano, pela amizade, companheirismo e atenção sempre que precisei.

Ao meu esposo, Elisandro Pires Frigo, que, acima de tudo, é um grande amigo, sempre presente nos momentos difíceis com uma palavra de incentivo, o que não permitiu que eu desistisse dos meus sonhos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Silvio César Sampaio, por sua dedicação e paciência durante esses últimos 4 anos.

Ao Professor Dr. Jonathan Dieter, pela atenção dispensada, que se tornou essencial para o andamento e conclusão deste trabalho.

Agradeço ao Professor Dr. Rodrigo Sequinel e sua equipe do Laboratório do Setor Palotina, pelo auxílio nas análises. À mestre Luana Patricia Pinto, pelo apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, a todos os docentes pela oportunidade de realizar o doutorado.

Agradeço à Casa Militar da Governadoria do Paraná, em nome do Chefe da Casa Militar, Tenente-Coronel Welby Pereira Sales, Subchefe da Casa Militar, Major Sergio Benicio Vieira, e ao Chefe de Gabinete, Major Durval Tavares Junior, pela oportunidade de conciliar os meus estudos junto ao meu serviço.

Agradeço aos colegas do programa, com quem compartilhei momentos bons e difíceis, pela troca de conhecimento e parceria.

Agradeço, em especial, a todos os meus amigos, que caminharam junto comigo ao longo desses anos, pelo apoio, incentivo e por todas as vezes em que enfrentei um período difícil, pois me fizeram sorrir.

PARÂMETROS QUÍMICOS EM ÓLEO DE PINHÃO-MANSO SOB APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA: ACIDEZ E ÁCIDOS GRAXOS

RESUMO

Com o aumento da demanda por combustíveis, atrelados às necessidades de redução da emissão de poluentes e à reivindicação de encontrar um gerenciamento ambiental adequado para os resíduos da suinocultura, justifica-se a proposta do presente trabalho, que é o estudo do reúso da água residuária da suinocultura (ARS) na cultura de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) e sua influência para a acidez e qualidade do óleo obtido. O pinhão-manso apresenta características de grande importância para a produção de biocombustível, por ser uma planta que não compete com o setor alimentício, além de apresentar alta produção de óleo e ser de fácil adaptação a solos e ambientes diversos. O experimento foi conduzido em uma área de plantio de pinhão-manso com 216 m² onde foi aplicado ARS três vezes ao ano, com três meses de intervalos. A colheita das sementes foi realizada de forma manual durante todo o período produtivo da planta e o óleo foi extraído com o solvente etanol. Foram avaliados parâmetros químicos do óleo obtido de pinhão-manso. Avaliou-se a acidez e a composição de ácidos graxos, no início e final do período experimental, no óleo de pinhão-manso. O delineamento estatístico foi em blocos inteiramente casualizados, com aplicação de 0; 40; 80; 120; 160 e 200 m³ ha⁻¹ sob a cultura de pinhão-manso, totalizando seis tratamentos e três blocos. Concluiu-se que, muito embora as doses 120 e 200 m³ ha⁻¹ ARS proporcionaram um aumento para a concentração dos ácidos graxos oleico e esteárico, para a menor acidez obtida, sugere-se que seja efetuada a aplicação entre 60 a 65 m³ ha⁻¹ de ARS. A aplicação de ARS sob a cultura de pinhão-manso apresenta-se como uma alternativa de reúso adequado desse efluente e nutrição orgânica na cultura de pinhão-manso.

Palavras-chave: Reúso de efluente da suinocultura; Biocombustível; *Jatropha curcas* L.

CHEMICAL PARAMETERS IN PHYSIC NUT OIL UNDER THE APPLICATION OF SWINE WASTEWATER: ACIDITY AND FATTY ACIDS

ABSTRACT

The purpose of this paper, which is the study of the reuse of swine wastewater (SW) in the culture of physic nut (*Jatropha curcas L.*) and its influence on the acidity and quality of the obtained oil, is important since there is a rising demand for fuels, linked to the need to reduce the pollutants emission and the need to find adequate environmental management for pig breeding residues. Physic nut has characteristics of great importance to produce biofuel, as it is a plant that does not compete with the food sector, in addition to present high oil production and an easy adaptation to different soils and environments. The experiment was conducted in a 216 m² physic nut (*Jatropha curcas L.*) planting area where SW was applied three times a year with three months' intervals. The seeds were harvested manually during the entire production period of the plant and the oil was extracted with the ethanol solvent. The chemical parameters of the obtained oil from physic nut were evaluated. The oil's acidity and fatty acid composition were evaluated at the beginning and at the end of the experimental period. The statistical design was in completely randomized blocks, with the application of 0; 40; 80; 120; 160, and 200 m³ ha⁻¹ under physic nut, totaling six treatments and three blocks. It was concluded that, although the doses 120 and 200 m³ ha⁻¹ of SW provided an increase in the concentration of oleic and stearic fatty acids, for the lower acidity it is suggested that the application be carried out between 60 to 65 m³ ha⁻¹ of SW. The application of SW under the culture of physic nut presents itself as an alternative of adequate reuse of this effluent and organic nutrition in the culture of the plant.

Key words: Swine effluent reuse; Biofuel; *Jatropha curcas L.*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS GERAIS.....	3
2.1 Objetivos específicos.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Água residuária da suinocultura	4
3.2 A cultura de pinhão-manso.....	6
3.3 Óleo vegetal para a produção de biodiesel.....	9
3.4 Biodiesel proveniente de pinhão-manso.....	11
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1 Instalação do experimento	18
4.2 Obtenção do óleo de pinhão-manso.....	19
4.3 Caracterização do óleo obtido.....	20
4.5 Identificação dos ácidos graxos.....	21
4.6 Análise estatística	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5.1 Nutrição de pinhão-manso com água residuária da suinocultura.....	22
5.2 Índice de acidez do óleo de pinhão-manso.....	25
5.3 Ácidos graxos no óleo de pinhão-manso.....	28
6 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização da água residuária da suinocultura nas três aplicações efetuadas sobre a cultura de pinhão-manso.....	22
Tabela 2. ANOVA da acidez do óleo de pinhão-manso com o teste F a 5% de significância	26
Tabela 3. ANOVA da acidez após a neutralização do óleo de pinhão-manso com o teste F a 5% de significância	27
Tabela 4. Principais ácidos graxos encontrados no óleo de pinhão-manso no primeiro ano	30
Tabela 5. Principais ácidos graxos encontrados no óleo de pinhão-manso no segundo ano de tratamentos com ARS.....	30
Tabela 6. Composição dos ácidos graxos presente no óleo de pinhão-manso.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Detalhes da planta de Pinhão-manso (A) Arbusto, (B) Floração, (C) Desenvolvimento dos frutos e (C) frutos.	7
Figura 2. Estágios das fases até a maturação da semente de Pinhão-manso.....	7
Figura 3. Ilustração da semente de pinhão-manso.....	8
Figura 4. Detalhe das entrelinhas cobertas com lonas para o recolhimento dos frutos derrichados.....	9
Figura 5. Diagrama de blocos das operações mínimas de colheita e beneficiamento do pinhão-manso.....	13
Figura 6. Processo de transesterificação.....	14
Figura 7. Estrutura da molécula de triglicerídeos do óleo bruto de pinhão-manso.....	15
Figura 8. Principais ácidos graxos de ocorrência natural que compõem os óleos e gorduras saponificáveis mais comuns.....	15
Figura 9. Esquema de reação da neutralização de ácidos graxos.....	16
Figura 10. Área experimental do cultivo de pinhão-manso com aplicação de ARS.....	18
Figura 11. Layout da área experimental.....	19
Figura 12. Extração do óleo de pinhão-manso cultivado sob aplicação de ARS.....	20
Figura 13. Óleo de pinhão-manso cultivado sob aplicação de ARS.....	21
Figura 14. Planta de pinhão-manso com deficiência em nitrogênio (A), deficiência em fósforo (B), deficiência em potássio (C), deficiência em cálcio (D), deficiência em magnésio (E) e deficiência em enxofre (F).....	24
Figura 15. cultura de pinhão-manso sob aplicação de ARS.....	25
Figura 16. Acidez do óleo de pinhão-manso titulado com KOH no período experimental....	26
Figura 17. Acidez do óleo de pinhão-manso após a neutralização do período experimental.....	27
Figura 18. Cromatograma da identificação de picos de ácidos graxos presentes no óleo de pinhão-manso do primeiro ano de cultivo.....	29
Figura 19. Cromatograma da identificação de picos de ácidos graxos presentes no óleo de pinhão-manso do segundo ano de cultivo.....	29
Figura 20. Dendrograma construído usando o agrupamento hierárquico de ligação única de distância do coeficiente de correlação.....	32
Figura 21. Gráfico Bi-Plot da análise de componentes principais entre a acidez inicial e finais e os ácidos graxos em função das doses de ARS aplicadas na cultura de pinhão-manso...	33

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma das cadeias agroindustriais produtivas que propicia rentabilidade para o setor econômico no Brasil e para o mundo. A demanda de consumo por carne suína é expressiva, dessa maneira, a produção no Brasil é intensificada na forma de confinamento. Como a produção de carne suína acontece em alta demanda, a geração de resíduos dentro da cadeia é exponencial; da mesma forma, isso se efetiva em relação aos resíduos, tais como fezes e urina, apresentando-se como potencial poluidor de água, solo e ar.

Os dejetos são compostos por até 90% de água, sendo assim, esse efluente é denominando de água residuária da suinocultura (ARS). São gerados, em média, 72 L suíno⁻¹ d⁻¹ de ARS no ciclo completo de produção do animal, destacando-se como a atividade agropecuária que apresenta maior impacto ambiental, quando não há o gerenciamento adequando dos resíduos (EMBRAPA, 2016). Uma alternativa para o gerenciamento da ARS é a utilização como fertilizante, visto que é composta por nutrientes que podem ser disponibilizados para o atendimento da necessidade nutricional de plantas (CHENG *et al.*, 2017; SARTO *et al.*, 2019), principalmente nitrogênio (RITIGALA *et al.*, 2021).

A ARS pode ser utilizada como fonte nutricional para determinadas culturas, tal como a cultura de pinhão-manso que possui alto teor de óleo nas sementes, sendo matéria-prima para o processo de obtenção de biodiesel. O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é considerado uma planta de poucas exigências, já que se adapta facilmente a climas secos e solos fracos. A cultura apresenta uma considerável produtividade de sementes que possuem um teor de óleo entre 30 a 40%, com elevada produtividade de óleo (1.200 kg ha⁻¹ a 1.500 kg ha⁻¹) a partir do 4º ano. É a única planta oleaginosa, a qual possui ciclo produtivo que se estende por mais de quarenta anos (LAVIOLA, 2019).

A quantidade do óleo presente nas sementes do pinhão-manso, somado com o perfil de ácidos graxos à sua composição, torna essa matéria-prima uma das mais importantes na produção de biocombustível. A qualidade do óleo deve ser considerada para o rendimento da produção de biodiesel. A presença de ácidos graxos insaturados livres reflete na baixa qualidade do óleo.

Para que se obtenha um biocombustível a partir de determina matéria-prima é necessário que ela apresente características, tais como: não ameaçar a biodiversidade, não interferir nos ecossistemas naturais e ser produzida de forma que o solo e a água não sejam sobrecarregados; não necessitar de grandes quantidades de insumos agrícolas, proporcionar redução de emissão e conteúdo energético maior ou igual comparados ao combustível tradicional; além disso, deve agregar valor socioeconômico

às comunidades locais, bem como ser cultivado em terras não utilizadas para a produção de alimentos e terras marginais.

Pesquisas buscam desenvolver estudos do cenário da cadeia produtiva do pinhão-mansão; ademais, é possível compreender os impactos econômicos, sociais, ambientais, pois existe a busca pela viabilidade e sustentabilidade de produção da cultura (LAVIOLA, 2019; KUMAR e SALUJA, 2020; ALHERBAWI *et al.*, 2021). Da mesma forma, a utilização de ARS no suprimento nutricional de diversas culturas tem sido verificada por diversos autores (SMANHOTTO *et al.*, 2010; BASTOS *et al.*, 2015; ANDRIES *et al.*, 2018).

As pesquisas supracitadas referem-se a atender o mercado de biodiesel em curto, médio e longo prazo, nas diversas regiões do Brasil, onde há iniciativas ou potencial de cultivo comercial, bem como o gerenciamento ambientalmente adequado da ARS no suprimento nutricional de culturas. Sendo assim, a incorporação ao solo na nutrição de culturas, como o pinhão-mansão, é uma alternativa viável ao gerenciamento da ARS, em que se utiliza o sistema planta-solo-atmosfera como a forma de tratamento e, conseqüentemente, resultará na diminuição de passivos ambientais e, para a cultura, o suprimento nutricional.

2 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da aplicação da água residuária da suinocultura sobre a qualidade e composição do óleo obtido a partir de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para a produção de biodiesel.

2.1 Objetivos específicos

- Avaliar a acidez do óleo obtido de pinhão-manso com a aplicação de 0, 40, 80, 120, 160 e 200 m³ ha⁻¹ de ARS na cultura durante o ciclo de cultivo estudado;
- Analisar a composição dos ácidos graxos do óleo obtido de pinhão-manso com as doses de 0, 40, 80, 120, 160 e 200 m³ ha⁻¹ de ARS aplicadas à cultura.
- Avaliar a dose ideal aplicada de ARS na cultura de pinhão-manso para a redução da acidez e composição dos ácidos graxos no óleo de pinhão-manso.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Água residuária da suinocultura

No ano de 2019, o Brasil foi o quarto maior produtor de suínos no mundo, de maneira que ficou atrás apenas da China, União Europeia e Estados Unidos, respectivamente. Isso porque, em 2019, a cadeia obteve uma produção de 4,117 milhões de toneladas de suínos, produção a qual apenas 16% é exportada. O PIB gerado foi de U\$\$ 22,2 bilhões e mais de 1 milhão de empregos diretos e indiretos (ABCS, 2020).

Os maiores estados produtores do Brasil são Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul, respectivamente. O Paraná foi responsável pela produção de carne suína, com representação de 20,4% da produção brasileira (EMBRAPA, 2019). A região com maior produção no estado é representada por Toledo, que está em primeiro lugar na produção de suínos no estado do Paraná (SEAB, 2020).

Com a produção expressiva e alta demanda por carne suína, um dos fatores que mais causa preocupação na produção em grande escala é a quantidade de dejetos produzidos diariamente que apresentam alto poder poluente, os quais, algumas vezes, sem o devido tratamento, são lançados em corpos hídricos. Sendo assim, é necessário estudar soluções de gerenciamento que sejam alternativas para que o destino da ARS seja considerado ambientalmente correto (FIA *et al.*, 2017; ANDRIES *et al.*, 2018).

Em relação ao perfil de produção de suínos, o Brasil segue o de confinamento, geralmente, em pequenas e médias propriedades, o que resulta em um maior consumo dos recursos naturais e maior geração de resíduos (GOMES *et al.*, 2014; BASTOS *et al.*, 2015). Nos últimos anos, houve grandes investimentos na industrialização e tecnificação do sistema de manejo de produção; além disso, também ocorreu o incremento de tecnologias nas áreas de nutrição e saúde animal, resultando no aumento da eficiência de produção e, conseqüentemente, na maior geração de efluentes com grande potencial poluidor (CABRAL *et al.*, 2014; CHENG *et al.*, 2017; FAUSTO-CASTRO *et al.*, 2020).

São muitos os fatores que influenciam a produção diária de ARS, bem como o tipo de tratamento para esse efluente; são exemplos desses fatores o volume de águas residuárias produzido diariamente e o desperdício de água nas baias; fatores relacionados aos animais, tais como a idade, a geração de resíduos corporais e das rações, peles e pelos; e, ainda, os resíduos das instalações, como poeiras e outros materiais utilizados durante o processo de criação. A junção de todos esses fatores é que irá determinar a composição da ARS, por exemplo, os valores de sólidos e carga

orgânica, metais pesados, nutrientes e microrganismos patogênicos presentes (GONÇALVES *et al.*, 2012; QASWAR *et al.*, 2020). No entanto, a água residuária da suinocultura é considerada um fertilizante orgânico.

O uso contínuo e a longo prazo de ARS como fertilizante pode estabilizar o solo e melhorar o rendimento das culturas. Além disso, a ARS melhora as propriedades do solo e permite que os nutrientes estejam disponíveis com mais facilidade para as plantas. Essa aplicação a longo prazo tem a capacidade de promover o enriquecimento do carbono orgânico e do carbono orgânico oxidável no solo (CHUN-XI *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2018).

A prática do reúso da ARS como fertilizante em pequenas propriedades objetiva a diminuição de custos de produção e aumento de lucros, sendo geralmente a ARS a única fonte de nutrientes para a cultura (CAI *et al.*, 2019). O manejo das lavouras com ARS contribui para a maior sustentabilidade do sistema de produção. Visto que a falta de água para a agricultura é um problema que muitas regiões vêm enfrentando, uma alternativa é o reúso da ARS (SIMIONI *et al.*, 2017; ARAÚJO *et al.*, 2018). Alguns estudos constataram a eficiência no reúso da ARS em diversas culturas.

Rosa *et al.* (2017) avaliaram a aplicação de ARS nas doses de 0, 100, 200 300 m³ há⁻¹ na cultura de soja e a lixiviação do solo. Os autores concluíram que a aplicação de ARS contribuiu para aumentar os nutrientes do solo; entretanto, atenção especial deve ser propiciada ao acúmulo de Cu⁺ e Zn⁺, que podem interferir na qualidade do solo a longo prazo. A água residual supriu as necessidades da cultura da soja com alguns nutrientes, como K⁺ e Zn²⁺, sem a necessidade de suplementação mineral adicional. Assim, uma vez que as condições acima são monitoradas, as águas residuais de suínos podem ser aplicadas ao solo.

Albuquerque *et al.* (2017) utilizaram a aplicação de dejetos suínos na pastagem de grama-tapete comum, de forma que o rendimento da matéria seca e a absorção do nitrogênio aumentaram com o aumento da dosagem aplicada. Além disso, foi possível verificar que o uso do fertilizante orgânico aumentou a produtividade de 11 para 45% quando comparado com o fertilizante inorgânico.

Pacheco *et al.* (2017) avaliaram atributos físicos do solo com a aplicação de ARS (0, 100, 200, 300 e 537 m³ ha⁻¹) em aveia preta. Os autores constataram que a introdução da aveia preta contribuiu para melhorar a qualidade física do solo e reduziu a compactação na camada superficial de 0-15 cm, para taxas de ARS de 100 a 300 m³ ha⁻¹.

No estudo realizado por Menezes *et al.* (2017), em solo classificado como latossolo vermelho distroférico, os autores constataram que é possível substituir a adubação mineral pela dose de 100 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos suínos na cultura de

milho e não há perda na eficiência de produção. Sendo assim, o uso de adubo orgânico em solos agrícolas pode melhorar o potencial de captura e liberação de nitrogênio, além de contribuir para a conservação do solo (PEREG *et al.*, 2018).

Dentre os estudos realizados com a utilização de ARS como fertilizante, pode-se citar sua aplicação na cultura de pinhão-mansão. A semente de pinhão-mansão possui óleo de alto potencial para a produção de biodiesel, no entanto, a acidez do óleo é um fator limitante na qualidade e rendimento do processo. Bastos *et al.* (2015) aplicaram doses de 0, 40, 80, 120, 160 e 200 m³ ha⁻¹ de ARS na cultura de pinhão-mansão. Os autores avaliaram a acidez e a composição do óleo obtido da semente e observaram uma redução na acidez do óleo proporcional ao aumento na concentração da água residual suína aplicada à cultura.

3.2 A cultura de pinhão-mansão

O pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) destaca-se como uma oleaginosa promissora para a produção de biodiesel (KURIHARA *et al.*, 2019). O pinhão-mansão é conhecido por outros nomes, tais como pinhão do Paraguai, purgueira, pinha-de-purga, pião, pinhão-das-barbadas, sassi, tartago, pinhão-do-inferno, pinhão bravo, entre outros nomes; pertence à família das Euforbiáceas, considerada uma opção para regiões áridas e semiáridas por exigir insolação, além de ser resistente a secas (ARRUDA *et al.*, 2004, ARAÚJO *et al.*, 2019; KURIHARA *et al.*, 2019).

O centro de origem do pinhão-mansão é o México e a América Central (Belize, Costa Rica, El Salvador, Honduras, Nicarágua e Panamá). Mesmo sendo originária da América, acredita-se que a cultura foi introduzida por navegadores portugueses nas Ilhas do Arquipélago Cabo Verde e Guiné (ALBINO *et al.*, 2019; LAVIOLA, RODRIGUES e TEODORO, 2019). O pinhão-mansão é abundantemente encontrado em regiões tropicais por causa de sua variabilidade genética, que possibilita o seu cultivo em condições climáticas distintas (LAVIOLA, RODRIGUES e TEODORO, 2019).

As características vegetativas do pinhão-mansão diferenciam-se principalmente em relação aos seguintes aspectos: número de ramos, projeção da copa, altura e volume de copa por árvore (ROCHA *et al.*, 2019). De acordo com Souza *et al.* (2019), a cultura de pinhão-mansão apresenta-se com um arbusto grande, cuja altura pode chegar a 5 m e o tronco a 30 cm de diâmetro. A planta tem tendência de se ramificar desde a base; possui raízes curtas e pouco ramificadas, caule liso, de lenho mole e medula pouco resistente, com floema com longos canais que se estende até as raízes, nos quais circula o látex, suco leitoso que emerge por simples arranhão na casca. A planta de pinhão-mansão, bem como a floração e fruto estão apresentados na Figura 1.

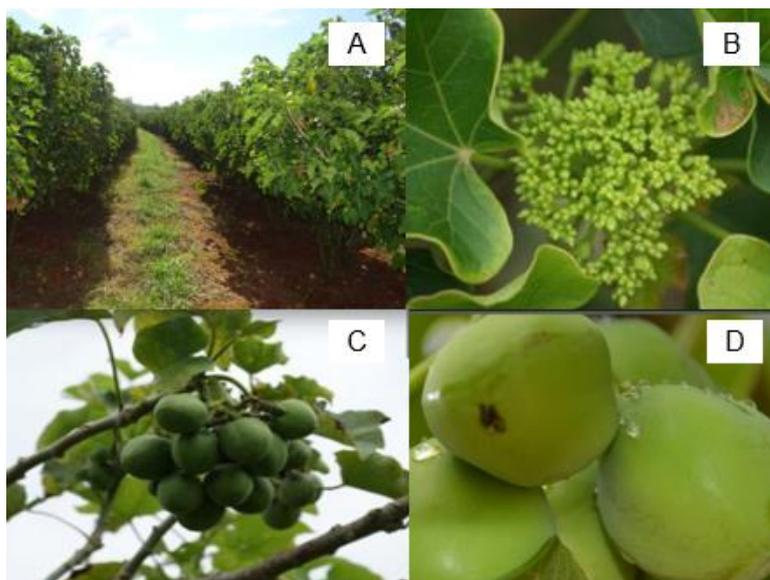


Figura 1. Detalhes da planta de Pinhão-mansô (A) Arbusto, (B) Floração, (C) Desenvolvimento dos frutos e (D) frutos.
Fonte: Laviola e Rodrigues (2019).

O fruto, inicialmente verde, passa a amarelo, castanho e, por fim, preto, quando atinge o estado de maturação (SOUZA *et al.*, 2019). Seu amadurecimento acontece de forma irregular, tal como a colheita (BASTOS *et al.*, 2015). A Figura 2 demonstra os diferentes estágios das sementes de pinhão-mansô.



Figura 2. Estágios das fases até a maturação da semente de Pinhão-mansô
Fonte: Santos *et al.*, (2012).

A produtividade e a qualidade das sementes em termos de peso e tamanho são afetadas diretamente pela fertilidade do solo, do clima e do manejo agrícola adotado.

Quando se pretende cultivar o pinhão-manso para fins de biocombustíveis, essas condições devem ser consideradas, bem como a sustentabilidade do processo (MELO *et al.*, 2020).

O fruto é uma cápsula ovoide, achatada nas extremidades, com diâmetro de 1,5 cm a 3,0 cm; é ligado aos ramos por meio do pedúnculo. É trilocular com uma semente em cada cavidade, formado por uma casca dura e lenhosa. As sementes de pinhão-manso podem conter até 60% de óleo composto por triglicerídeos (THI *et al.*, 2018). As partes da semente de pinhão-manso estão demonstradas na Figura 3.

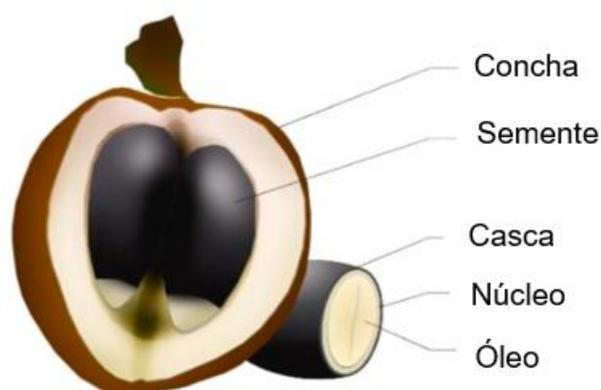


Figura 3. Ilustração da semente de pinhão-manso.

Fonte: Alherbawi *et al.* (2021).

A colheita das sementes acontece de forma perene e manual; de acordo com Ducca, Souza e Prete (2015), deve ser realizada a partir dos 65 dias após florescimento para, assim, maximizar os rendimentos de óleo, a massa de matéria seca e a qualidade das sementes. No entanto, Souza *et al.* (2019) relatam que a dificuldade de uniformização da maturação dos frutos e a falta de práticas de mecanização da colheita são desafios da cultura do pinhão-manso.

Segundo Souza *et al.* (2019), a colheita pode ser dividida em duas operações, sendo que a primeira é a derriça e a segunda, a abanação. A derriça é a queda dos frutos em virtude do rompimento do pedúnculo por fadiga causada pela vibração dos galhos. A abanação consiste na separação dos frutos das folhas e galhos, caídos durante a derriça, por meio de ventilação e peneiras, conforme demonstrado na Figura 4.



Figura 4. Detalhe das entrelinhas cobertas com lonas para o recolhimento dos frutos derritados. Fonte: Souza *et al.* (2019).

A utilização de pinhão-manso possui benefícios, tais como: pode ser cultivada com rápido rendimento, mesmo em situações adversas de terreno; as sementes estão disponíveis durante a estação não chuvosa, o que facilita uma melhor coleta e processamento; gera emprego e renda para produtores; além da extração do óleo, a biomassa pode ser aproveitada para a produção de adubo orgânico e melhora a umidade do solo (THI *et al.*, 2018; KUMAR e SALUJA, 2020).

Pelas características supracitadas, entre as oleaginosas, que são utilizadas como matéria-prima, na produção do biodiesel, o pinhão-manso é considerado uma ótima opção para substituir os óleos de culturas alimentares. Possui alto rendimento de óleo, sendo valores superiores do que o encontrado na soja e no caroço de algodão; ademais, suas características físico-químicas permitem a fácil conversão em biocombustível líquido (MONIRUZZAMAN, YAAKOB e KHATUN, 2016; LAVIOLA *et al.*, 2017).

3.3 Óleo vegetal para a produção de biodiesel

O óleo vegetal é a matéria-prima para a produção de biodiesel. O uso do biodiesel no lugar do diesel é uma alternativa promissora, sendo os óleos vegetais uma fonte renovável, que pode ser produzida facilmente em todas as áreas rurais, de maneira que a escolha da cultura que será cultivada deve considerar as condições locais e a disponibilidade predominante do óleo vegetal (BALAMURUGAN, ARUN e SATHISHKUMAR, 2018).

Os óleos vegetais apresentam características semelhantes ao diesel e podem ser utilizados em motores diesel, misturados ao diesel ou puros (DELALIBERA *et al.*, 2017). O óleo de soja é a matéria-prima mais utilizada na produção do biodiesel, pois apresenta, em sua composição, maior quantidade de ácido linolênico e, quando comparada a outros óleos, como o de milho, evidencia rendimentos maiores de 94% de obtenção de biodiesel (QUESSADA *et al.*, 2010). De acordo com Jacobina, Fraga e Cunha Neto (2016), o óleo do caroço do algodão pode ser uma das alternativas para substituir o óleo de soja apresentando rendimentos similares.

O óleo de cártamo é um grande promissor na produção de biodiesel, pois a sua utilização no processo tem sido favorável na conversão em ésteres metílicos quando comparado a outros óleos vegetais (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Em estudos realizados por Marcucci *et al.* (2018), foi possível observar que o óleo de canola apresenta, em sua composição, predominância do ácido oleico monoinsaturado seguido de ácido linoleico poli-insaturado, que, junto com um álcool de cadeia carbônica curta, produz um biodiesel de qualidade que atende o mercado nacional.

O óleo de macaúba, obtido a partir do seu caroço, é uma alternativa que apresenta bons resultados quando estudado em um motor; isso se deve às características da sua composição, que apresenta altos níveis de ésteres saturados de cadeias curtas (SILVA *et al.*, 2018). Da mesma forma, o óleo de babaçu tem grande potencial, pois o biodiesel produzido a partir desse óleo apresenta características importantes, tais como as propriedades térmicas dos ésteres etílicos e metílicos que contribuem para a utilização desse combustível (NICOLAU *et al.*, 2018).

Segundo Keera, Sabagh e Taman (2018), o óleo de mamona pode ser uma alternativa melhor do que óleos comestíveis para a produção de biodiesel, pois suas propriedades físico-químicas apresentam eficiência na produção. Outra possibilidade é o óleo extraído das sementes de nabo forrageiro que apresenta baixa viscosidade; essa característica é muito interessante para a produção de biodiesel. Além disso, em uma biorrefinaria, por exemplo, é possível usar todas as partes do nabo forrageiro, gerando não apenas o biocombustível, mas também bioenergia e biomateriais (SANTOS *et al.*, 2018).

No mesmo panorama, o óleo de pinhão-mansão tem demonstrado grande potencial como matéria-prima na produção do biodiesel, visto que essa cultura apresenta alta capacidade produtiva com pouca exigência de solo e clima; suas sementes evidenciam elevado teor de óleo e, principalmente, não concorre com o setor alimentício humano e animal (RIBEIRO *et al.*, 2015; ALHERBAWI *et al.*, 2021).

Muito embora a produção de biodiesel seja proveniente de vegetais, há de se considerar o custo da matéria-prima, por exemplo, a soja, que compete com o setor

alimentício. A saída é investir em plantas cujos óleos não sejam comestíveis; nesse caso, é necessário efetivar estudos mais amplos que busquem eficiência para a produção de biodiesel, pois esse tipo de óleo requer maiores quantidades de metanol durante o processo de produção (GEBREMARIAM e MARCHETTI, 2018; AMBAT, SRIVASTAVA e SILLANPAA, 2018).

O biodiesel tem recebido um interesse crescente nos últimos anos em um esforço para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. A disponibilidade de matéria-prima suficiente ainda permanece um desafio na produção de biodiesel em grande escala. O aumento da produção de óleo de plantas oleaginosas, como o pinhão-mansos, pode ajudar a atender às demandas da produção de biodiesel em grande escala (JONAS *et al.*, 2020; MEHRA *et al.*, 2021).

3.4 Biodiesel proveniente de pinhão-mansos

O Brasil tem se destacado no cenário internacional pelo seu pioneirismo no desenvolvimento de pesquisas sobre biodiesel, incluindo a prospecção de espécies com potencial para a produção de óleo vegetal. Por meio do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), criado em 2004, o governo tem incentivado pesquisas com “plantas oleaginosas alternativas”, entre elas, o destaque é para o pinhão-mansos (ROCHA *et al.*, 2019).

A Lei nº 11.097/2005 definiu o biodiesel como um combustível renovável e biodegradável, para uso em motores à combustão interna com ignição por compressão, derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais, que pode substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil. Em 2008, pela resolução nº 7 de 13 de março de 2008, ficou definido que o biodiesel é um combustível composto de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais (ANP, 2008).

O biodiesel passou a ser conhecido no Brasil, após a regulamentação da Lei 11.097/2005, a qual determinou a obrigatoriedade da mistura do biodiesel em 2% do volume ao óleo diesel. Em 2013, ficou determinada a mistura obrigatória de 5% (SAUER, 2007). Conforme a Lei 13.263/2016, a partir de março de 2017, tornou-se obrigatória a mistura de biodiesel puro (B100) em 8% do volume ao óleo diesel. A partir dessa lei, no ano de 2017, foram produzidos, aproximadamente, 4.291.294 m³ de biodiesel no Brasil e, até o mês de julho de 2018, o Brasil já produziu 2.915.051 m³ de biodiesel. No ano de 2017, foram consumidos cerca de 4 bilhões de litros de biodiesel apenas no Brasil; comparado com o ano de 2016, houve um aumento de 4,5% (ANP, 2018) (MME, 2018).

A região centro-oeste é a que mais produziu biodiesel, em 2017, com aproximadamente 1.896.284 m³ de biodiesel; o estado que mais produziu foi o Mato Grosso. O segundo maior produtor de biodiesel, no Brasil, foi a região sul com uma produção muito próxima da região supracitada, 1.763.185 m³, destacando-se, nesse caso, o estado do Rio Grande do Sul como o que mais produziu biodiesel no Brasil, com produção de 1.135.976 m³, seguido do Paraná, com produção de 504.244 m³, e Santa Catarina, com 121.965 m³ de biodiesel no ano (ANP, 2018).

A partir de março de 2018, ficou estabelecida, pela Resolução CNPE nº 23, de 09 de novembro de 2017, a obrigatoriedade de adicionar 10% de biodiesel em volume ao óleo diesel (B10) que será vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional (MME, 2018). O cronograma aprovado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), do Ministério de Minas e Energia (MME), estabelece que as próximas evoluções da adição obrigatória devem ser em 1º de março de 2021, para 13%; em 1º de março de 2022, para 14%; em 1º de março de 2023, para 15% (limite máximo), de acordo com a Resolução, de 29 de outubro de 2018 (ANP, 2021).

A produção do biodiesel é considerada uma produção limpa; diferentemente do diesel, em que a matéria-prima é o petróleo, as matérias-primas utilizadas nesse processo envolvem fontes renováveis e as propriedades do bio-óleo, ou seja, do biodiesel, são semelhantes ao do óleo diesel convencional (DAS *et al.*, 2017; RAMOS *et al.*, 2017; SANDOUQA e AL-HAMAMRE, 2019).

O pinhão-mansão é uma das promissoras matérias-primas para a produção de biodiesel. Para que o potencial da planta possa ser utilizado de forma eficiente, conhecer seu conteúdo potencial, em sementes oleaginosas, deve ser necessário para avaliar o preço das matérias-primas, além da qualidade de biodiesel produzido (THI *et al.*, 2018). De modo geral, o processamento de colheita e beneficiamento de pinhão-mansão para o processo de biodiesel está ilustrado na Figura 5.

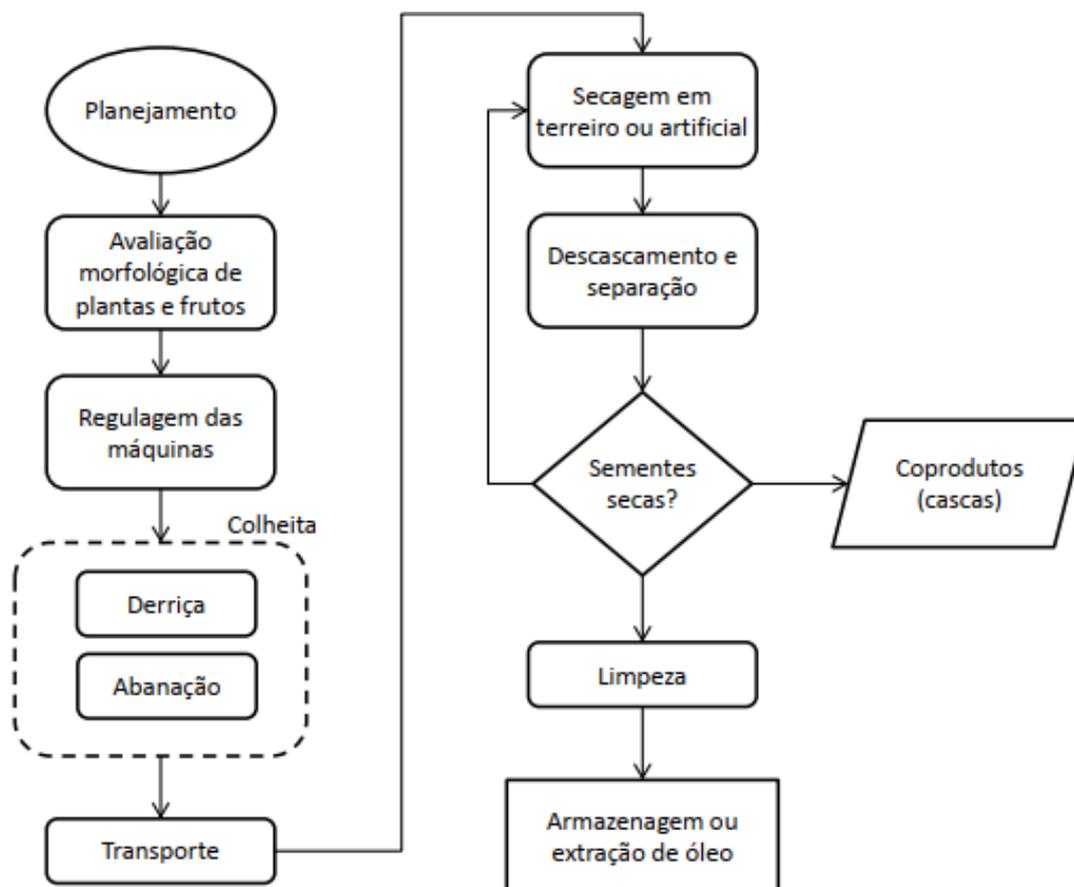


Figura 5. Diagrama de blocos das operações mínimas de colheita e beneficiamento do pinhão-mansão.

Fonte: Souza *et al.* (2019).

Obtém-se o biodiesel a partir da transesterificação com álcool de ácidos graxos de fontes renováveis, por exemplo, os óleos vegetais puros ou residuais, bem como gorduras animais, na presença de um catalisador que pode ser um ácido ou uma base; além da produção do biodiesel, é produzido glicerol como subproduto (FALEH *et al.*, 2018).

No processo de transesterificação, é produzido um éster a partir de um outro éster na presença de um álcool, ou seja, ocorre a conversão dos triglicerídeos em ésteres metílicos ou etílicos e glicerina. Para produzir o biodiesel, o óleo vegetal e a gordura animal precisam apresentar em sua composição grande parte de triglicerídeos, que é uma molécula de glicerol ligada a três de ácido graxo e ácidos graxos livres (AGL). O álcool utilizado na reação como transesterificante precisa apresentar baixo peso molecular, por isso, usualmente, é utilizado o metanol ou etanol. A reação é catalisada por bases fortes, ácidos ou enzimas; atualmente, o catalisador mais utilizado é o metóxido de sódio, pois auxilia a manter o teor de umidade baixo durante o processo (KNOTHE e RAZON, 2017) (Figura 6).

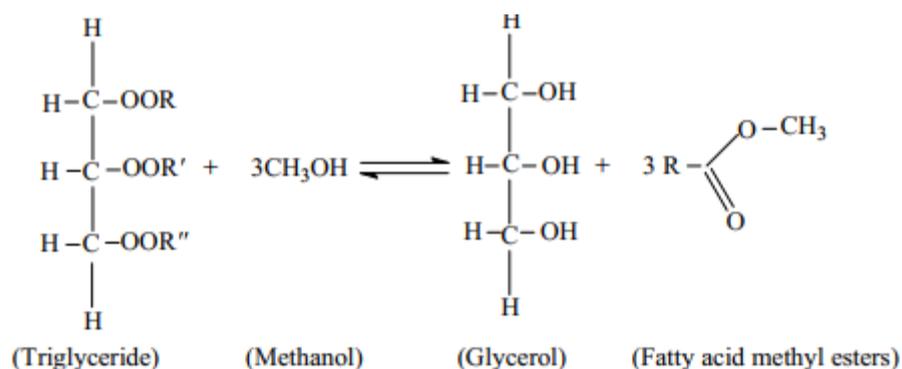


Figura 6. Processo de transesterificação.
 Fonte: Sitorus *et al.* (2016).

A produção de óleo em sementes de pinhão-mansão em diferentes estágios de maturação tem sido estudada. Para atender à alta demanda de óleo (matéria-prima) para a produção de biodiesel em larga escala, é necessário aumentar o teor de óleo ou a produção de sementes de pinhão-mansão (JONAS *et al.*, 2020).

Para todos os estágios de maturidade, os ácidos graxos insaturados constituem mais de 70% do total de ácidos graxos no óleo de semente de pinhão-mansão. Portanto, o óleo de semente de pinhão-mansão é mais insaturado. À medida que os frutos de pinhão-mansão amadurecem do amarelo ao marrom seco (durante o estágio de dessecação da semente), a composição fracionária do ácido linoleico reduz em 8-9% (JONAS *et al.*, 2020). Segundo Cordeiro *et al.* (2017), a composição do óleo de pinhão-mansão apresenta 43,7% de ácidos graxos saturados. O óleo de pinhão-mansão apresenta elevada quantidade de ácidos saturados, que são menos suscetíveis à oxidação.

Óleos e gorduras, principais matérias-primas para a produção do biodiesel, pertencem à classe dos lipídeos. Os ácidos graxos, quando ligados ao glicerol, formam o triacilglicerol (Figura 7), uma molécula de caráter neutro; todavia, quando não ligados, são denominados ácidos graxos livres (AGL), que conferem acidez aos óleos e gorduras. O percentual de AGL contido na matéria-prima deve ser considerado no processo de produção de biodiesel, visto que pode ocasionar a indesejada produção de sabões (HOCHSCHEIDT *et al.*, 2020).

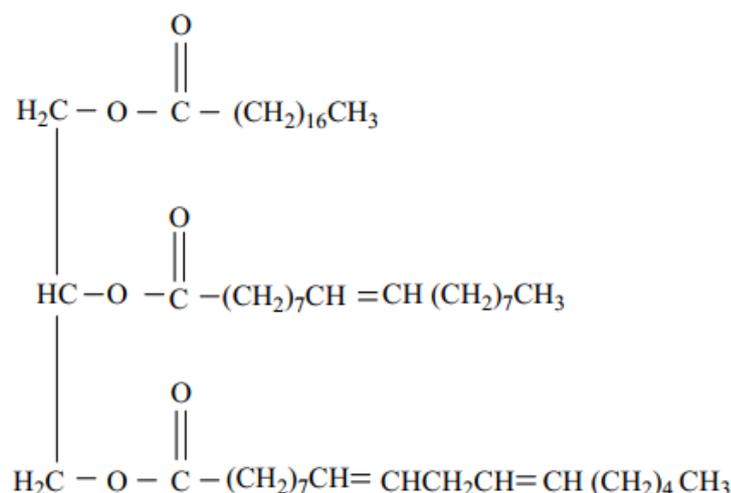


Figura 7. Estrutura da molécula de triglicerídeos do óleo bruto de pinhão-mansó. Fonte: Sitorus *et al.* (2016).

Os principais ácidos graxos encontrados no óleo de pinhão-mansó são os seguintes: ácido oleico (41,5 a 48,8%), linoleico (34,6 a 44,4%), palmítico (10,5 a 13%), esteárico (2,3 a 2,8%) (MACHADO e SILVA, 2019). Na Figura 8, está representada a estrutura molecular dos ácidos graxos presentes no biodiesel proveniente do pinhão-mansó. Segundo Kumar e Das (2018), o ácido graxo oleico é indicado para a produção de biodiesel, dessa forma, a maior quantidade dessa substância nas sementes remete à maior produtividade, muito embora a quantidade de ácido graxos linolênico pode ser utilizada em aplicações industriais.

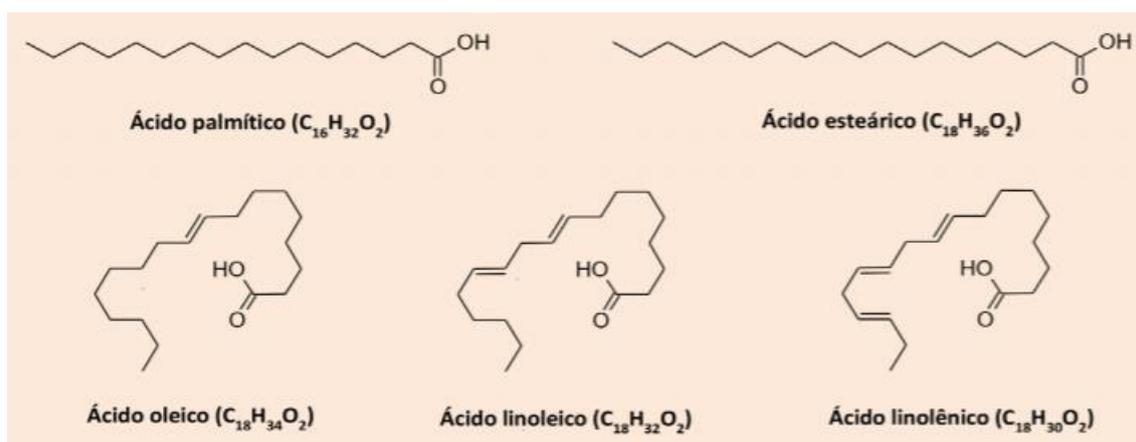


Figura 8. Principais ácidos graxos de ocorrência natural que compõem os óleos e gorduras saponificáveis mais comuns. Fonte: Hochscheidt *et al.* (2020).

Os ácidos linolênico e oleico (ácidos graxos insaturados) constituem uma porção significativa do óleo da semente de pinhão-mansó em todos os estágios de maturação

A adubação pode ser um dos fatores ligados à acidez do óleo proveniente do pinhão-mansão, como destaca Bastos *et al.* (2015). Os autores afirmam que a redução da acidez, provocada pelos tratamentos com maiores quantidades de ARS, é importante no processo de neutralização, uma vez que a quantidade de NaOH utilizada para neutralizar valores menores de ácidos graxos livres é proporcionalmente menor, portanto, gera menos volume de efluente, o que facilita o tratamento para posterior disposição.

Além de economicamente viável a produção do biodiesel, outro apelo diz respeito ao meio ambiente, pois a vantagem em relação ao diesel é que o biodiesel apresenta propriedades como biodegradabilidade, tem baixas emissões de CO₂, é isento de compostos aromáticos e de enxofre, possui baixo teor de nitrogenados e material particulado (SANTOS *et al.*, 2017). Dessa forma, diante de todos os benefícios sobre a utilização de fontes de energia renováveis, são necessários estudos sobre o gerenciamento da ARS na cultura de pinhão-mansão para a obtenção de biodiesel.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Instalação do experimento

O experimento foi conduzido na área experimental, localizada no Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo, município de Palotina – PR, cujas coordenadas geográficas são de 24° 12' latitude sul, de 53° 50' 30 " longitude oeste (Greenwich), com altitude média de 332 metros. O clima da região é definido como subtropical úmido (segundo a classificação de Köppen), com verões quentes e invernos frios ou amenos. Geadas são frequentes no período mais frio, podendo acontecer no período entre o fim de maio e o início de setembro. A média anual de temperatura é de 20°C. Segundo a EMBRAPA (1999), o solo apresenta textura argilosa, classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico.

A área experimental contou com 216 m² onde, no ano de 2010, houve o cultivo do pinhão-manso e, em 2012, começou-se o tratamento de aplicação de água residuária, anualmente, até o ano de 2015. Durante esse ciclo experimental, ocorreram três aplicações de ARS, no decorrer dos meses de dezembro, março e junho. A partir de dezembro de 2017 até junho de 2018, foram realizadas 3 aplicações.

A área experimental foi dividida em 18 parcelas com espaçamento de 4 x 3 m e com quatro plantas de pinhão-manso em cada parcela (Figura 10). As parcelas do experimento foram divididas em três blocos e cada bloco recebeu seis tratamentos com diferentes quantidades de ARS que foram distribuídas aleatoriamente. Isso resultou, assim, em três repetições por tratamento.



Figura 10. Área experimental do cultivo de pinhão-manso com aplicação de ARS.
Fonte: O autor (2021).

Os tratamentos foram definidos de acordo com a quantidade de ARS aplicada, os quais são, a saber: sem aplicação de ARS, aplicação de 40 m³ ha⁻¹ de ARS, aplicação de 80 m³ ha⁻¹ ARS, aplicação de 120 m³ ha⁻¹ ARS, aplicação de 160 m³ ha⁻¹ ARS e aplicação de 200 m³ ha⁻¹ ARS, denominados de ARS0; ARS40; ARS80; ARS120; ARS160, ARS200, respectivamente. Na Figura 11, a seguir, pode-se observar a divisão das parcelas, dos blocos e dos tratamentos.

	4 m	4 m	4 m
3 m	ARS80	ARS200	ARS160
3 m	ARS00	ARS40	ARS120
3 m	ARS200	ARS00	ARS80
3 m	ARS160	ARS120	ARS40
3 m	ARS200	ARS80	ARS00
3 m	ARS40	ARS160	ARS120

Figura 11. Layout da área experimental.
Fonte: O autor, (2021).

4.2 Obtenção do óleo de pinhão-mansó

Devido à maturação irregular da planta de pinhão-mansó, a coleta das sementes ocorreu de forma manual. Durante o ano de 2017, foram coletadas as sementes que ficaram por 2 anos sem receber a aplicação da ARS. A partir de dezembro do ano de 2017, começou-se a colher as sementes que receberam novamente a aplicação de ARS. Foi adotada essa metodologia com a finalidade de analisar o óleo após um período sem aplicação e, posteriormente, avaliar a influência da aplicação de ARS.

As sementes foram acondicionadas em sacos de papéis escuros, respeitando cada parcela e tratamento do experimento. Foram descascadas e as amêndoas armazenadas em sacos de papéis abertos, em local seco e arejado, não tendo exposição direta à luz, o que segue o modelo desenvolvido por Dias *et al.* (2007) e Bastos *et al.* (2015).

As extrações do óleo foram realizadas no Laboratório de Recursos Hídricos e Ambientais- LABEHA, localizado na Universidade Federal do Paraná – UFPR, Setor Palotina. O método utilizado foi de extração por solvente. Para esse processo, utilizou-se o equipamento de Soxhlet. A extração ocorreu por meio do contato entre o solvente e a massa de oleaginoso. O Solvente foi armazenado no balão e aquecido até a

evaporação, de maneira que começou a condensar sobre o material sólido. Quando estava sendo condensado, ultrapassou um certo volume e foi escoado novamente para o balão junto com o teor de óleo extraído, então, foi novamente aquecido e evaporado. O solvente escolhido para esse processo foi o etanol por apresentar características, como ser menos tóxico e não causar tanto impacto ao meio ambiente, além de ser mais acessível (Figura 12).



Figura 12. Extração do óleo de pinhão-manso cultivado sob aplicação de ARS.
Fonte: O autor, (2021).

4.3 Caracterização do óleo obtido

Após a etapa de obtenção do óleo do pinhão-manso, foi feita uma análise físico-química do óleo obtido. As análises foram feitas de acordo com as metodologias propostas pela *American OilChemists' Society*- AOCS (2009), as quais são: a Determinação do Índice de Acidez utilizou o método NBR 1115 da ABNT (1998). A neutralização da acidez foi realizada pela metodologia proposta por Martins (2012) (Figura 13).

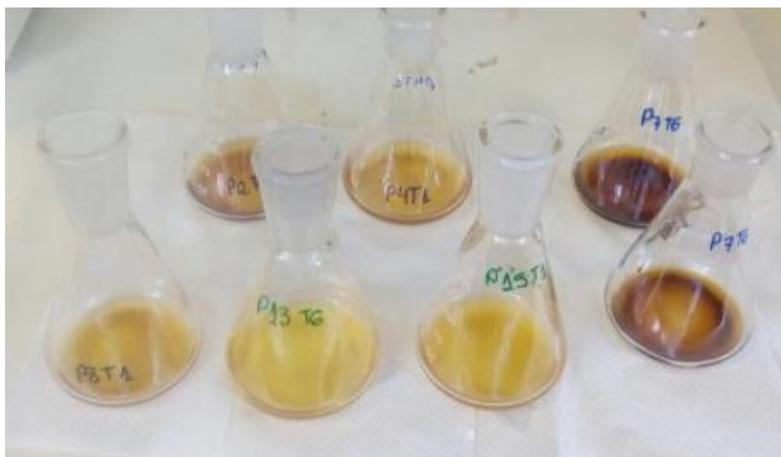


Figura 13. Óleo de pinhão-manso cultivado sob aplicação de ARS.
Fonte: O autor, (2021).

4.5 Identificação dos ácidos graxos

Para a identificação dos ácidos graxos, a metodologia seguida foi de acordo com método AOCS Ce 2-66 (1997). Condições analíticas: cromatógrafo a gás Thermo Scientific modelo Trace 1310. Coluna: Zebron Zb-max 30 m x 0,25 mm x 0,25 μm . Temperatura forno/coluna: 60°C, 2 min + 15°C/min até 180°C + 5 °C/min até 240°C, 10 min. Gás de arraste: nitrogênio, com fluxo 1 mL/min. Temperatura do detector 250°C. Modo de injeção: CT split, razão split 1:50 μL volume de injeção, temperatura do injetor de 260°C. A composição qualitativa de ácidos graxos das amostras foi determinada comparando os tempos de retenção dos picos produzidos após a injeção das amostras metiladas com aqueles dos respectivos padrões de ácidos graxos. O quantitativo da composição foi obtido por normalização de área, expressa como porcentagem de massa.

4.6 Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com seis tratamentos (0, 40, 80, 120, 160 e 200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) e três repetições, totalizando 18 parcelas. Para a análise dos dados, foi realizada uma análise descritiva dos dados, com verificação da normalidade dos erros; os resultados foram submetidos à análise de variância com comparação de médias, pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Nutrição de pinhão-manso com água residuária da suinocultura

É amplamente conhecido que águas residuais de suínos contêm muitos resíduos orgânicos, sólidos, voláteis e nutrientes (SUTO *et al.*, 2017; CHENG *et al.*, 2017), logo, por esse motivo, é importante o aproveitamento da ARS em culturas, como do pinhão-manso, no suprimento nutricional. Na Tabela 1, é apresentada a caracterização da ARS nas três aplicações na cultura de pinhão-manso.

Tabela 1. Caracterização da água residuária da suinocultura nas três aplicações efetuadas sobre a cultura de pinhão-manso

Parâmetros	Água residuária da suinocultura		
	Aplicação 1	Aplicação 2	Aplicação 3
pH	7,18	8,12	7,5
Condutividade (dS m ⁻¹)	9,81	8,08	7,26
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	22532,00	15432,00	10980,00
Sólidos fixos (mg L ⁻¹)	7850,00	6006,00	4188,00
Sólidos voláteis (mg L ⁻¹)	14682,00	9426,00	6790,00
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	3294,2	2373,00	2154,6
Nitrogênio amoniacal (mg L ⁻¹)	2215,5	1722,00	1437,8
Alcalinidade total (mg L ⁻¹)	600,00	800,00	1300,00
Alcalinidade parcial (mg L ⁻¹)	6600,00	5200,00	3800,00
Acidez (mg L ⁻¹)	291,00	281,3	824,5
DQO (mg L ⁻¹)	5626,00	2036,00	3711,00
Fósforo (mg L ⁻¹)	346,83	188,28	109,85
Cálcio (mg L ⁻¹)	242,21	184,01	58,06
Sódio (mg L ⁻¹)	254,78	222,26	261,5
Magnésio (mg L ⁻¹)	357,24	223,19	126,19
Potássio (mg L ⁻¹)	1356,92	919,18	822,71
Manganês (mg L ⁻¹)	13,71	6,34	2,99
Zinco (mg L ⁻¹)	32,24	22,36	13,46
Cobre (mg L ⁻¹)	33,74	20,16	11,32
Ferro (mg L ⁻¹)	85,6	44,59	43,69

Segundo Cheng *et al.* (2017), a composição da ARS apresenta alguns nutrientes, tais como 400 a 1.400 mg L⁻¹ de nitrogênio amoniacal; 600 a 2.100 mg L⁻¹ de nitrogênio total e 100 a 250 mg L⁻¹ de fósforo total da produção de suínos na China. Para Suto *et al.* (2017), a ARS apresenta-se com aproximadamente 2.500 mg L⁻¹ de nitrogênio total produzidos no Japão.

A ARS é utilizada tendo em vista sua composição nas culturas para suprir a demanda nutricional. Rosa *et al.* (2017) aplicaram ARS na cultura de milho. Os autores concluíram que a aplicação de 200 e 300 m³ h⁻¹ são consideradas satisfatórias para atender às necessidades nutricionais do milho. No entanto, atenção especial deve ser propiciada quanto à qualidade da água a partir da dosagem de 200 m³ ha⁻¹, pois alguns elementos podem infiltrar-se no solo. Além disso, um sincronismo entre a aplicação de resíduos e os requisitos da cultura deve ser considerado.

Qaswar *et al.* (2020) aplicaram NPK e NPK associado a 30 e 70% de ARS na cultura de arroz para avaliar a produtividade de arroz e o solo. Os autores concluíram que o maior rendimento de grãos e nutrientes no solo foram encontrados no tratamento com 30% de NPK + 70% de ARS, bem como a adição de ARS aumentou o pH do solo e o teor de matéria orgânica.

A ordem de acúmulo de nutrientes obtida por Kurihara *et al.* (2016) nos frutos de pinhão-mansão foi de N > K > Ca > Mg > P > S > Mn > Fe > Zn > B > Cu. Os nutrientes K, Fe e Mn foram exportados em maior quantidade pelas cápsulas, enquanto os demais foram exportados principalmente pelos grãos, em decorrência das diferenças de teores nessas duas partes da planta. A necessidade dos macronutrientes para o desenvolvimento da cultura de pinhão-mansão é expressiva, principalmente em relação ao nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

O nitrogênio é vital para o crescimento da planta como um constituinte de muitas de suas partes, enquanto o fósforo é essencial para a reprodutividade e formação de sementes; também, o potássio é importante para a planta controlar os processos osmóticos (ALHERBAWI *et al.*, 2021). É importante estabelecer critérios e padrões para a avaliação do estado nutricional do pinhão-mansão, a fim de detectar adequadamente problemas relacionados à falta, ao excesso ou a desbalanço na disponibilidade de nutrientes no solo (KURIHARA *et al.*, 2019).

Na Figura 14, são apresentadas plantas de pinhão-mansão com deficiência nos macronutrientes. Plantas com deficiência em N apresentam, além de crescimento reduzido da parte aérea e raízes, uma clorose generalizada, que se inicia pelas folhas mais velhas, expandindo-se para toda a planta, com necrose posterior das bordas (Figura 14 - A). A deficiência em P ocasiona crescimento reduzido da parte aérea e raízes; as folhas apresentam coloração normal, muitas vezes, com uma tonalidade mais intensa (Figura 14 - B). A deficiência de K em plantas de pinhão-mansão induz menor crescimento, tanto da parte aérea como de raízes (Figura 14 - C).

Ainda, plantas com carência de Ca apresentam folhas novas deformadas com encarquilhamento e ondulações no sentido longitudinal, curvadas para baixo, bordas arredondadas e clorose internerval (Figura 14 - D). A deficiência de Mg ocasiona,

inicialmente manchas internervais verde-claras ao longo do limbo foliar, com perda progressiva de pigmentação, que evoluem para branqueamento e posterior necrose (Figura 14 - E). Os sintomas de deficiência de S caracterizam-se por uma clorose geral, inicialmente nas folhas mais jovens, que se espalha gradualmente por toda a planta, além de redução no crescimento em casos severos (Figura 14 - F) (KURIHARA *et al.*, 2019).

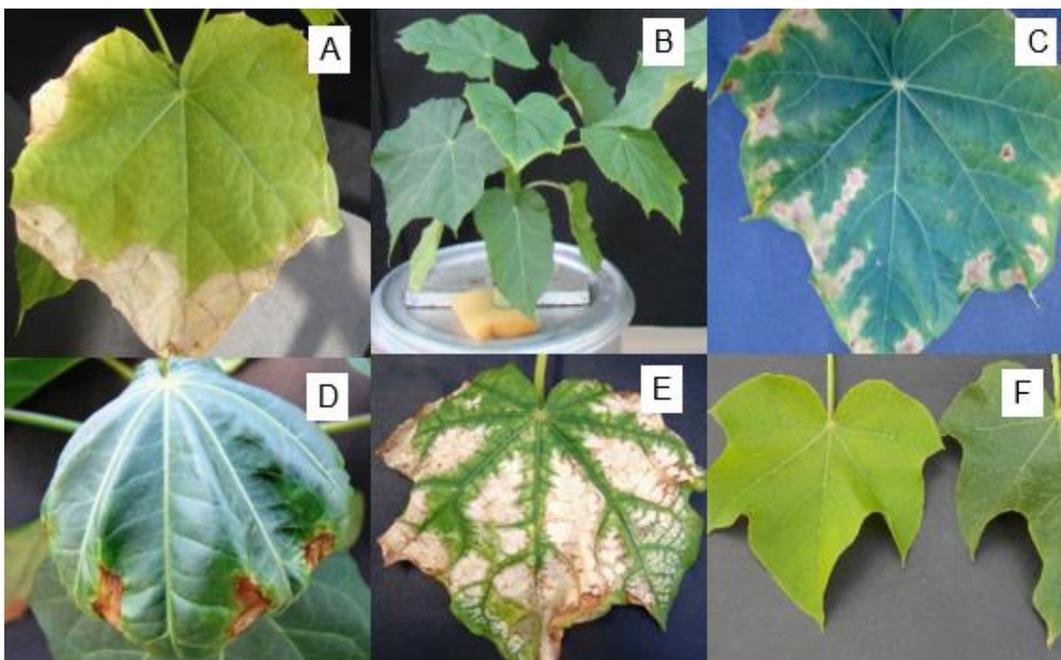


Figura 14. Planta de pinhão-mansão com deficiência em nitrogênio (A), deficiência em fósforo (B), deficiência em potássio (C), deficiência em cálcio (D), deficiência em magnésio (E) e deficiência em enxofre (F).

Fonte: Kurihara *et al.*, (2019).

Na Figura 15, é apresentada a cultura de pinhão-mansão, sendo fertirrigadas com ARS em três aplicações no decorrer do experimento. Como se pode notar visualmente, as folhas apresentam aspecto sadio diante das deficiências por falta de nutrientes à cultura.



Figura 15. cultura de pinhão-mansô sob aplicação de ARS
Fonte: O autor, (2021).

Tendo em vista a importância nutricional da planta no desenvolvimento e produção, considera-se esse fator diretamente relacionado com a produtividade da cultura de interesse. Dessa forma, a necessidade nutricional da cultura deve ser pensada e atendida eficazmente para a produção de frutos de pinhão-mansô na posterior extração do óleo presente na semente, visto que o óleo é matéria-prima para a produção de biodiesel de grande interesse comercial e alto valor agregado.

5.2 Índice de acidez do óleo de pinhão-mansô

Em processos convencionais de produção de biodiesel, o índice de acidez do óleo é decisivo para a escolha da rota tecnológica empregada, entre a transesterificação alcalina com alcóxidos metálicos ou a esterificação com ácidos de Bronsted-Lowry, refletindo no rendimento e custo do processo (HOCHSCHEIDT *et al.*, 2020). Na Figura 16, é apresentada a acidez média em KOH do óleo extraído do pinhão-mansô no primeiro ano e segundo ano com a aplicação de doses de ARS.

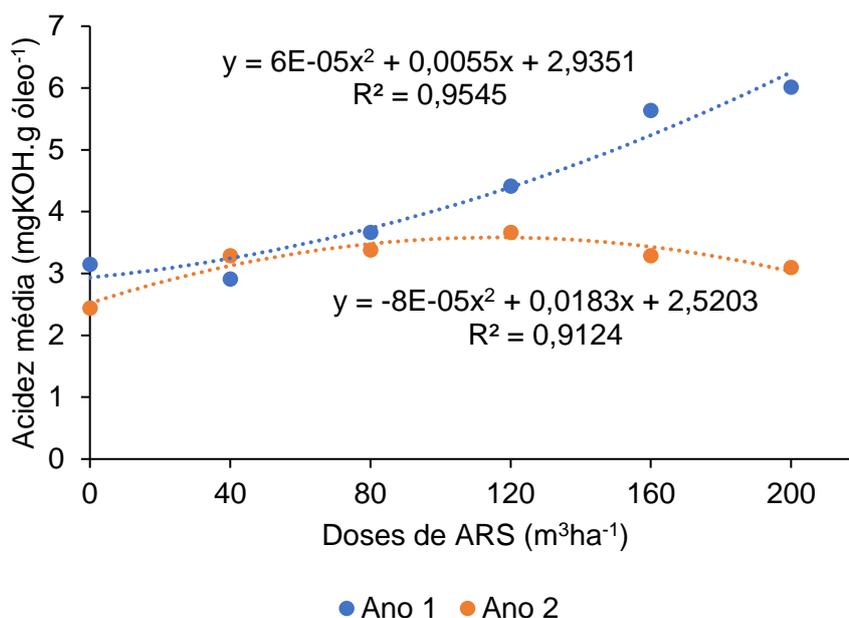


Figura 16. Acidez do óleo de pinhão-mansão titulado com KOH no período experimental.

Não houve diferença significativa entre o tempo de aplicação de ARS de acordo com o teste F a 5% de significância. A ANOVA é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. ANOVA da acidez do óleo de pinhão-mansão com o teste F a 5% de significância

	<i>G.L.</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>Estat. F</i>	<i>P. valor</i>
Fator	5	2,0545409	0,4109	0,2183	0,9478
Resíduos	12	22,585979	1,8822		

G.L.: Grau de liberdade
 SQ: Soma dos quadrados
 QM: Quadro médio

No entanto, observa-se, de acordo com a figura 16, a redução da acidez do óleo de pinhão-mansão com a aplicação de ARS ao longo do tempo. A acidez, no primeiro ano de experimento, apresentou os valores de 3,15; 2,91; 3,66; 4,41; 5,63 e 6,02 mg KOH g óleo⁻¹ para as aplicações de 0; 80; 120; 160 e 200 m³ ha⁻¹ de ARS. Avaliando o segundo ano de experimento, constata-se que houve redução da acidez para 2,44; 3,38; 3,66; 3,28 e 3,10 mg KOH g óleo⁻¹, nos tratamentos 0; 80; 120; 160 e 200 m³ ha⁻¹; assim, o tratamento que utilizou 40 m³ ha⁻¹ de ARS não apresentou redução de acidez ao longo do tempo experimental.

Visto que o limite estipulado pela Resolução nº 14 de 2014 evidencia que o óleo utilizado na produção do biodiesel deve ter o índice de acidez de 0,5 mg KOH g⁻¹, há a necessidade de um pré-tratamento que reduza o valor de acidez do óleo. Segundo Bastos *et al.* (2015), a redução da acidez é de extrema importância do ponto de vista químico e industrial, uma vez que, quanto menor a acidez da matéria-prima, maior a

facilidade e o rendimento do processo da produção de biodiesel, reduzindo custos com a neutralização.

O processo de neutralização consiste na adição de algum hidróxido, eliminando do óleo os ácidos graxos livres na forma de sabões e outros componentes indesejáveis, como proteínas, ácidos oxidados e produtos de decomposição de triacilgliceróis (HOCHSCHEIDT *et al.*, 2020). Pode-se observar, na Figura 17, a redução da acidez após a neutralização do óleo de pinhão-mansão, produzido com as aplicações da ARS no período experimental.

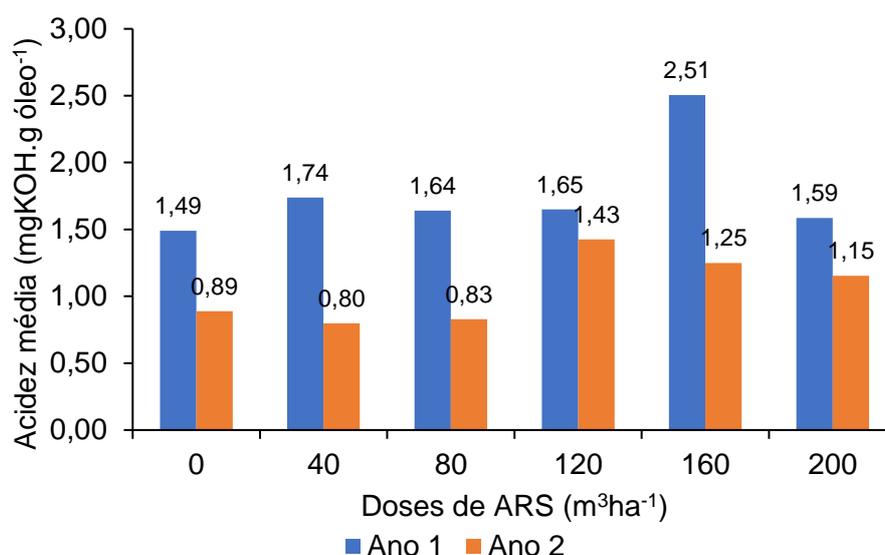


Figura 17. Acidez do óleo de pinhão-mansão após a neutralização do período experimental.

Conforme pode ser observado no gráfico, apresentado na Figura 17, a acidez do óleo extraído do pinhão-mansão reduziu ao final do período de avaliação, com as 3 aplicações de ARS na área de cultivo, entretanto, a redução de acidez entre os tratamentos não apresentou diferença significativa no teste de Tukey a 5% (Tabela 3).

Tabela 3. ANOVA da acidez após a neutralização do óleo de pinhão-mansão com o teste F a 5% de significância

	G.L.	SQ	QM	Estat. F	P. valor
Fator	5	0,984357	0,1969	1,0281	0,444
Resíduos	12	2,2977765	0,1915		

G.L.: Graus de liberdade
 SQ: Soma dos quadrados
 QM: Quadro médio

Muito embora a acidez obtida no óleo de pinhão-mansão, cultivado sob aplicação de ARS, não se apresente abaixo de 0,5 mg KOH g⁻¹ (ANP, 2014), em nenhum dos tratamentos avaliados, é evidente que ocorre a redução da acidez com a aplicação da ARS.

A redução da acidez do primeiro para o segundo ano foi de 40; 54; 50; 13; 49 e 27% para as aplicações de 0; 40; 80; 120; 160 e 200 m³ ha⁻¹ de ARS aplicados à cultura no período experimental. Observa-se que a maior redução da acidez está na aplicação de 40 e 80 m³ ha⁻¹ de ARS com 54 e 50% de redução, respectivamente. Dessa forma, sugere-se que a aplicação entre 60 a 65 m³ ha⁻¹ de ARS é eficiente na cultura de pinhão-manso para obter menor acidez do óleo produzido.

Demais fatores podem influenciar a neutralização de óleo de pinhão-manso. Segundo Cordeiro *et al.* (2017), o método de purificação pode influenciar a acidez do óleo. A purificação a seco com adsorvente resultou na acidez de 0,36 mg KOH g⁻¹; a purificação úmida, com secagem química, evidenciou a acidez de 0,15 mg KOH g⁻¹; a purificação úmida, com secagem em forno a vácuo, resultou na acidez de 0,16 mg KOH g⁻¹; a purificação úmida, com secagem em forno convencional, apresentou a acidez de 0,16 mg KOH g⁻¹; a purificação úmida sem secagem foi de 0,10 e o óleo bruto, que apenas foi submetido à secagem, propiciou a acidez de 0,16 mg KOH g⁻¹.

Segundo Sitorus *et al.* (2016), o processo de neutralização reduz drasticamente a acidez do óleo produzido a partir do pinhão-manso de 0,92 - 1,50 mg KOH g⁻¹ para 0,0708 mg KOH g⁻¹. A diminuição da acidez está relacionada com os ácidos graxos livres presentes no óleo.

5.3 Ácidos graxos no óleo de pinhão-manso

O método AOCS Official Method Ce 2-66 (1997) permitiu a separação dos picos de ácidos graxos presentes no óleo de pinhão-manso no primeiro e segundo ano de cultivo. Os principais ácidos graxos, presentes no óleo de pinhão-manso, são: Palmítico, Palmitoleico, Esteárico, Oleico e Linolênico, conforme pode ser visualizado nas Figuras 18 e 19, respectivamente.

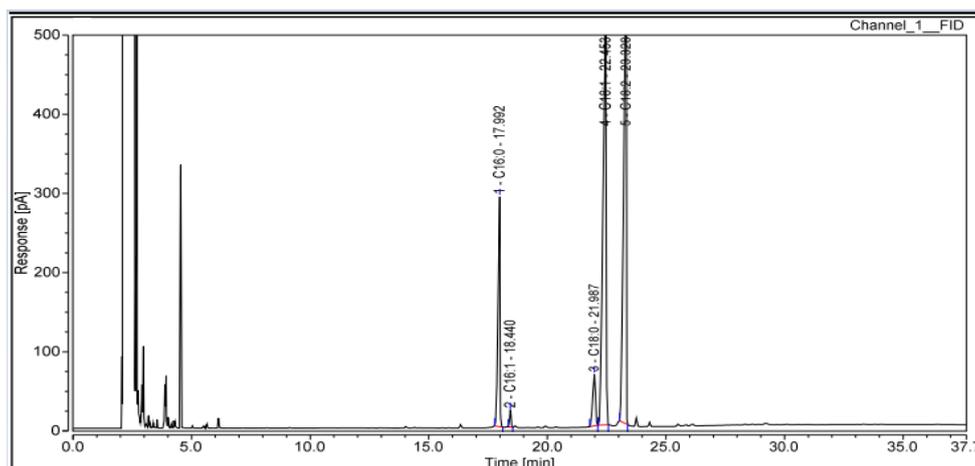


Figura 18. Cromatograma da identificação de picos de ácidos graxos presentes no óleo de pinhão-mansão do primeiro ano de cultivo.

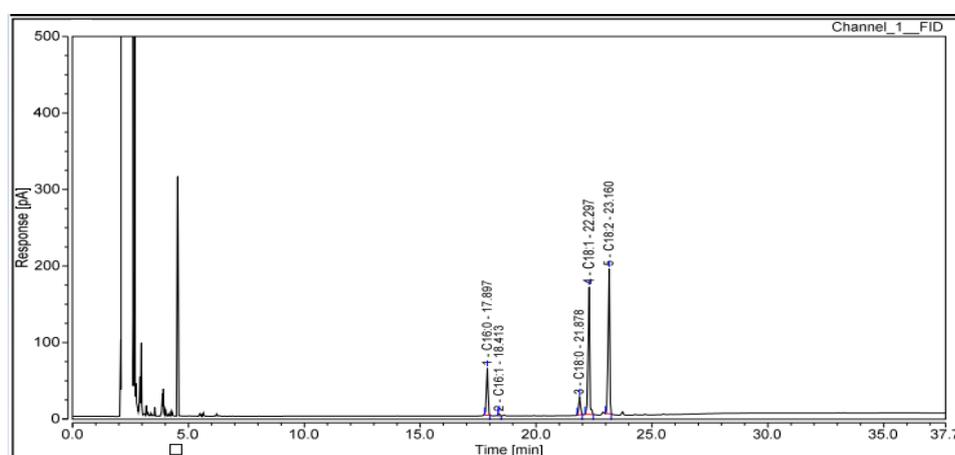


Figura 19. Cromatograma da identificação de picos de ácidos graxos presentes no óleo de pinhão-mansão do segundo ano de cultivo.

Os ácidos linoleico e oleico, ácidos graxos insaturados, constituem uma porção significativa do óleo da semente de pinhão-mansão em todos os estágios de maturação da fruta. Para todos os estágios de maturidade, os ácidos graxos insaturados constituem mais de 70% do total de ácidos graxos no óleo. Portanto, o óleo de semente de pinhão-mansão apresenta-se mais insaturado (JOSHI *et al.*, 2013; JONAS *et al.*, 2020).

Os principais componentes dos ácidos graxos são ácido palmítico, ácido linoleico, ácido oleico e ácido esteárico com conteúdo total de 12% em peso no grão. O alto teor de ácidos graxos livres obtido na semente de pinhão-mansão pode ser usado para converter em ésteres metílicos de ácidos graxos junto com triglicerídeo para a produção de biodiesel ou ser convertido em sabões metálicos para uma grande variedade de finalidades industriais (THI *et al.*, 2018). As concentrações de ácidos graxos encontrados no óleo de pinhão-mansão com aplicação de ARS estão apresentados na Tabela 4 e 5, no primeiro e segundo ano do experimento, respectivamente.

Tabela 4. Principais ácidos graxos encontrados no óleo de pinhão-manso no primeiro ano

ÁCIDOS		CONCENTRAÇÃO (%)					
GRAXOS		ARS00	ARS40	ARS80	ARS120	ARS160	ARS200
C16:0	Palmítico	14,55	14,63	14,69	14,41	14,33	13,66
C16:1	Palmitoleico	0,00	0,27	0,76	0,64	0,71	0,66
C18:0	Esteárico	4,74	4,01	4,37	5,45	4,70	5,42
C18:1	Oleico	37,69	36,01	36,40	42,19	36,95	41,14
C18:2	Linolênico	42,67	45,07	43,80	39,45	43,32	38,80
Total*		99,65	99,99	100,00	100,00	100,00	99,67

*Quando o total não é 100%, é devido à não quantificação de concentração abaixo de 0,05%.

Tabela 5. Principais ácidos graxos encontrados no óleo de pinhão-manso no segundo ano de tratamentos com ARS

Ácidos		CONCENTRAÇÃO (%)					
Graxos		ARS00	ARS40	ARS80	ARS120	ARS160	ARS200
C16:0	Palmítico	14,18	12,69	12,92	13,55	14,59	14,10
C16:1	Palmitoleico	0,12	0,53	0,58	0,44	0,60	0,57
C18:0	Esteárico	5,83	5,36	5,01	5,75	5,69	6,11
C18:1	Oleico	40,33	42,19	41,52	40,82	39,08	40,40
C18:2	Linolênico	39,55	39,23	39,98	37,31	40,05	38,74
Total*		100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00

*Quando o total não é 100%, é devido à não quantificação de concentração abaixo de 0,05%.

O ácido linolênico é um ácido graxo poli-insaturado (com três ligações duplas), portanto, é facilmente oxidado por ser o ácido graxo mais instável do óleo de semente de pinhão-manso. A composição fracionária de ácido palmítico, ácido esteárico, ácido 11-hexadecenoico e ácido 10-octadecenoico no óleo de semente de pinhão-manso permanece quase constante ao longo dos estágios de maturação. Os ácidos palmítico e esteárico são os mais estáveis em comparação com os outros ácidos do óleo da semente (CHIA, PIKE e RAWSTHORNE, 2005).

Conforme pode ser observado nas Tabela 4 e 5, que representam a quantidade de ácidos graxos presentes no óleo de pinhão-manso, no primeiro e segundo ano de experimento, é possível perceber a redução na concentração de ácido linolênico de aproximadamente 7; 12; 8; 5; 7 e 0,1% nas aplicações de 1; 40; 80; 120; 160 e 200 m³ ha⁻¹ de ARS, respectivamente. Alguns fatores influenciam o teor de ácidos graxos na semente de pinhão-manso, entre o estágio de maturação da semente e adubação da cultura. A colheita das sementes de pinhão-manso, na presente pesquisa, foi efetuada com a semente no estágio maduro.

Segundo Jonas *et al.* (2020), à medida que os frutos de pinhão-manso

amadurecem do amarelo ao marrom seco (durante o estágio de dessecação da semente), a composição fracionária do ácido linoleico reduz em 8 a 9%. Portanto, há uma relação entre a tendência da composição de ácidos graxos no óleo da semente de pinhão-mansão e o teor de óleo durante os diferentes estágios de maturação dos frutos.

De acordo com Chia, Pike e Rawsthorne (2005), pelo menos 10% dos triglicerídeos no óleo de semente sofrem β -oxidação (degradação), produzindo acetil-CoA (acetil coenzima A), durante o estágio final de maturação das sementes, portanto, redução no teor geral de lipídeos nas sementes. Os ácidos graxos insaturados são quimicamente instáveis (facilmente oxidados). Portanto, a alta concentração desses ácidos graxos no óleo de semente de pinhão-mansão o torna suscetível à oxidação e degradação do óleo.

Segundo Bastos *et al.* (2015), as baixas concentrações de ácido linolênico conferem ao óleo uma maior estabilidade à oxidação. A aplicação de ARS, ao longo de três ciclos da cultura de pinhão-mansão, reduziram de forma significativa as concentrações do ácido graxo linolênico que é insaturado. Sendo assim, o óleo apresentou-se menos susceptível à oxidação em função da menor quantidade desse ácido graxo, diminuindo a concentração de ácidos graxos livres e, conseqüentemente, sua acidez. Segundo Sitorus *et al.* (2016), as diferenças nas concentrações de ácidos graxos das sementes das plantas de pinhão-mansão podem ser afetadas por clones, condições ambientais e o clima onde as plantas crescem e nas propriedades das sementes. Na Tabela 6, é apresentada a composição de ácidos graxos no óleo de pinhão-mansão, encontrada na literatura.

Tabela 6. Composição dos ácidos graxos presente no óleo de pinhão-mansão

Referências	Concentração (%)				
	Palmítico	Palmitoleico	Esteárico	Oleico	Linolênico
Primeiro ano	14,55	0,00	4,74	37,69	42,67
Segundo ano	14,18	0,12	5,83	40,33	39,55
Bastos <i>et al.</i> , (2015)	13,90	0,80	6,30	52,90	24,70
Cordeiro <i>et al.</i> (2017)	36,35	1,06	6,63	37,09	-
Kumar e Das (2018)	17,05	-	7,94	46,36	-
Machado e Silva (2019)	13,00	-	2,8	41,5	-
Jonas <i>et al.</i> (2020)	15,02	-	6,89	41,07	-

Segundo Bastos *et al.* (2015), é importante citar o ganho ambiental do reuso da ARS, devido a um descarte menos prejudicial quando comparado à prática comum de descarte, bem como à viabilidade do uso do óleo de pinhão-mansão com menos acidez para produzir biodiesel, visto que, para a sua produção, a acidez dos óleos crus é

normalmente reduzida pelo refino de petróleo, o que tem um alto custo. Os autores evidenciam que reduziram o custo a zero com a aplicação de ARS.

Kumar e Saluja (2020) ressaltam que a produção de óleo por meio de pinhão-mansão proporciona múltiplos benefícios, uma vez que a torta das sementes pode ser utilizada como adubo, pois a matéria orgânica enriquece o solo, que pode ser destinado a outros usos e retém umidade, melhorando a CTC do solo.

No panorama econômico, Mehra *et al.* (2021) afirmam que a adição de biodiesel de 10 e 20% ao diesel oferece ganhos econômicos, visto que biodiesel é uma alternativa que pode atender a diversas necessidades energéticas. O Biodiesel de óleo vegetal não comestível está recebendo mais atenção dia a dia em comparação com o óleo vegetal comestível. Sendo assim, o biodiesel de pinhão-mansão é promovido como uma fonte sustentável e renovável de energia que pode ser usada em substituição ao óleo diesel no motor de ignição por compressão.

Na Figura 20, é apresentado o dendrograma produzido pela análise de agrupamento das condições experimentais testadas, para análise de Cluster com distância do coeficiente de correlação. O dendrograma tem a finalidade de encontrar qual a similaridade entre as variáveis experimentais.

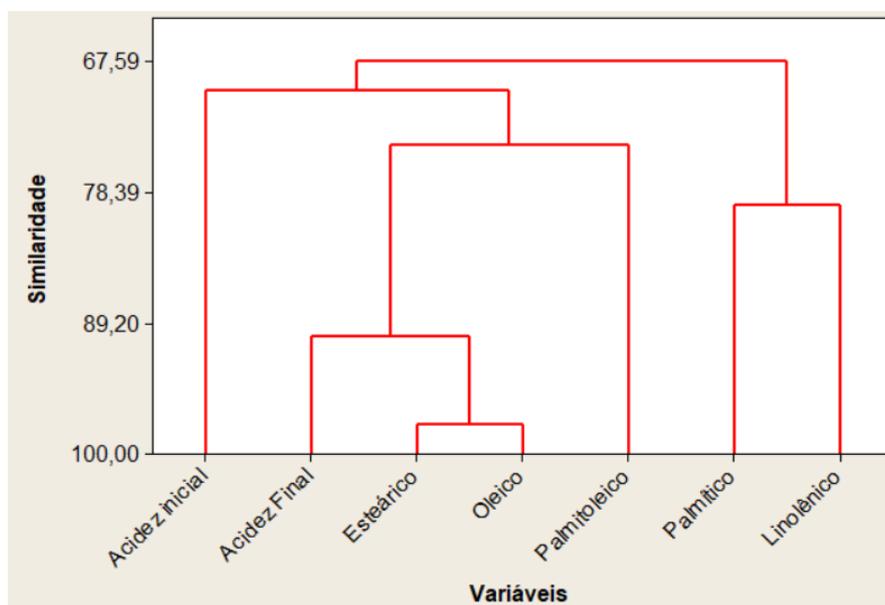


Figura 20. Dendrograma construído usando o agrupamento hierárquico de ligação única de distância do coeficiente de correlação.

A análise de Cluster mostrou dois grupos separados; o primeiro grupo é formado pela acidez inicial, acidez final e ácidos Esteárico, Oleico e Palmítico. O segundo grupo representa os ácidos graxos Palmítico e Linolênico do óleo de pinhão-mansão. Analisando-se cada grupo separadamente, é possível observar uma similaridade maior

que 90% entre a acidez final e os ácidos graxos esteárico e oleico. Jonas *et al.* (2020) relatam que esses ácidos graxos, principalmente ácido esteárico, são ácidos que se apresentam mais estáveis, ou seja, menos susceptíveis à oxidação.

A acidez inicial apresenta-se agrupada aos ácidos linolênico e palmítico com aproximadamente 67% de similaridade, já que, por sua vez, o ácido linolênico é um ácido insaturado que sofre mais fácil oxidação, interferindo diretamente na qualidade do óleo. Dessa forma, com a diminuição do ácido linolênico, ao longo do experimento, com a aplicação de ARS, constata-se a eficiência desse fertilizante na adubação da cultura relacionado à qualidade do óleo de pinhão-mansó.

Com o objetivo de verificar quais as doses de ARS que estão exercendo mais influência nas variáveis agrupadas no cluster, aplicou-se a análise de componentes principais. Na Figura 21, é apresentada a análise de componentes principais nas variáveis acidez inicial, acidez final, ácidos graxos: palmítico, esteárico, oleico, palmitoleico, linolênico.

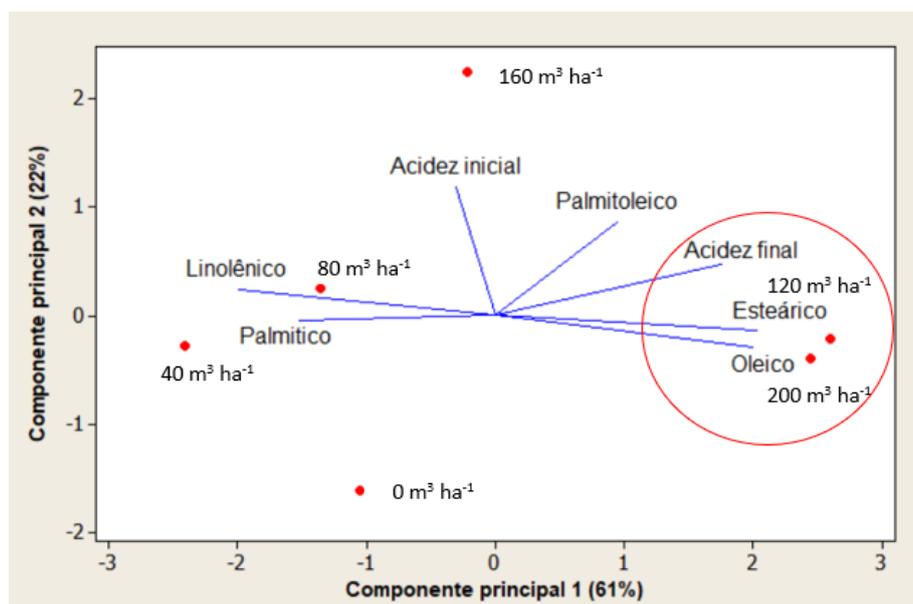


Figura 21. Gráfico Bi-Plot da análise de componentes principais entre a acidez inicial e finais e os ácidos graxos em função das doses de ARS aplicadas à cultura de pinhão-mansó.

O Bi-Plot (Figura 21) ilustra as associações entre os componentes principais e os tratamentos. Os dois primeiros componentes foram capazes de explicar 88% da variabilidade total dos dados. As variáveis que apresentaram maior influência para a componente principal 1 (CP1) (61% de explicação) são a acidez final, ácido palmítico, ácido esteárico, ácido oleico e ácido linolênico.

Como pode ser observado na CP1, há uma correlação positiva com acidez final e os ácidos esteárico e oleico na aplicação de 120 e 200 m³ h⁻¹ de ARS sob a cultura.

A correlação negativa entre a acidez final e o ácido linolênico demonstra que esses fatores são inversamente proporcionais.

De acordo com estudos realizados por Ranucci *et al.* (2015), foi demonstrado que a quantidade de óleo presente nas sementes do pinhão-manso, somando com o perfil de ácidos graxos, torna essa matéria-prima como uma das mais importantes na produção de biocombustível. Os autores verificaram um decréscimo da acidez do óleo e a redução da concentração do ácido linolênico do pinhão-manso em função do aumento da quantidade da ARS aplicada à cultura.

A segunda componente (CP2) explicou 22% dos dados, a qual justifica a acidez inicial e o ácido palmitoleico. Dessa forma, constata-se que a acidez inicial está relacionada com a maior concentração de ácido palmitoleico na aplicação de 160 m³ ha⁻¹ de ARS.

Como citado anteriormente, a acidez do óleo influencia diretamente o processo para a obtenção do biodiesel; ademais, a composição dos ácidos graxos do óleo influencia a qualidade da matéria-prima para o processo. Uma vez que a aplicação de ARS à cultura de pinhão-manso demonstra interferência positiva sobre a acidez final e a qualidade química do óleo, sua utilização justifica-se como fonte de nutrientes para a cultura e gerenciamento da água residuária da suinocultura.

Piloto-Rodriguez *et al.* (2020) destacam que o biodiesel obtido a partir de matérias-primas que provêm de plantas não alimentícias, como o pinhão-manso, são de grande interesse comercial e ambiental. O uso de biodiesel puro ou misturas deste com o óleo diesel tem diferentes vantagens: redução significativa das emissões de escapamento em comparação ao óleo diesel; independência energética, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis, principalmente para produtores não petrolíferos; sustentabilidade devido à redução de gases de efeito estufa, além de ser totalmente biodegradável e uma fonte de energia renovável.

6 CONCLUSÃO

A aplicação de ARS à cultura de pinhão-manso reduz a acidez final do óleo. Tendo em vista a importância da acidez no processo de transesterificação, a obtenção de óleo com acidez adequada torna-se viável no ponto de vista industrial e químico.

Os ácidos graxos insaturados sofrem influência sob aplicação da ARS na cultura de pinhão-manso nas doses de 120 e 200 m³ ha⁻¹. O ácido oleico apresenta-se em maior quantidade e o ácido linolênico em menor quantidade no óleo, após o final do período de aplicação avaliado, demonstrando, assim, a qualidade do óleo obtido, uma vez que a composição desses ácidos graxos reflete diretamente na qualidade da matéria-prima para a obtenção do biodiesel.

Muito embora as doses 120 e 200 m³ ha⁻¹ de ARS proporcionem um aumento à concentração dos ácidos graxos oleico e esteárico, para obter menos acidez, sugere-se que sejam aplicadas doses de ARS entre 60 a 65 m³ ha⁻¹. Dessa forma, a aplicação de ARS sob a cultura de pinhão-manso apresenta-se com uma alternativa de reúso ambientalmente adequado desse efluente e nutrição orgânica na cultura de pinhão-manso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCS – Associação Brasileira de suinocultura. **Dados da suinocultura**. Disponível em: http://abcs.org.br/wp-content/uploads/2020/11/novo-mercado_agosto.pdf. Acesso em: 04 abr. 2021.

ALBINO, R.C.; ANTONIASSI, R.; DE FARIA-MACHADO, A.A.F.; FERRARIS, F.K.; AMENDOEIRA, F.C.; RAMOS, D.F.; SILVA, P.E.A.; LEITÃO, S.A.G.; OLIVEIRA, D.R. Traditional detoxification of *Jatropha curcas* L. seeds. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 241, p.1-25, 2019.

AMBAT, I.; SRIVASTAVA.; SILLANPAA, M. Recent advancement in biodiesel production methodologies using various T feedstock: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, p. 356-369, 2018.

ANP- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP Nº 7, DE 19 DE MARÇO DE 2008- DOU 20.3.2008**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/suinos/brasil>. Acesso em: 20 set. 2018.

ANP- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP Nº 38, DE 28 DE SETEMBRO DE 2011- DOU29 JUNHO DE 2011**. Disponível em: <https://www legisweb.com.br/legislacao/?id=115565>. Acesso em: 10 out. 2018.

ANP- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP Nº 45 DE 25/08/2014 - DOU em 26 agosto 2014**. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/?q=acidez+em+biodiesel>. Acesso em: 04 abr. 2021.

ANP- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Produção Nacional de Biodiesel Puro- B100**. Disponível em <https://www.anp.gov.br/SITE/acao/download/?id=8740>. Acesso em: 10 out. 2018.

ANP- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Percentual obrigatório de biodiesel no óleo diesel sobe para 12%**. Disponível em: <https://www.anp.gov.br/SITE/acao/download/?id=8740>. Acesso: 04 abr. 2021.

ALBUQUERQUE, D. C. K.; SCHEFFER-BASSO, M.; ESCOSTEGUY, P. A. N.; CRUSTOLIN-GOLIN, L. D.; ZABOT, V.; MIRANDA, M. Residual effect of pig slurry on common carpet grass pasture. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 6, p. 374-378, 2017.

ALHERBAWI; M.; MCKAY, G.; MACKAY, H.R; ANSARI, T.A. *Jatropha curcas* for jet biofuel production, Current status and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.135, p. 1-19, 2021.

ANDRIES, R. G.; MATOS, A, T.; FREITAS, W. S. Estimation of plant productivity and nutrient extraction capacity along the length of horizontal subsurface flow constructed wetland treating swine wastewater. **Revista Ambiente e Água**, v.13, n.3, p. 1979, 2018.

ARAÚJO, J.O.; PINHEIRO, D.T.; DIAS, D.C.F.S.; HILST, P.C.; MEDEIROS, A.D. Adequacy of the tetrazolium test to evaluate the viability of *Jatropha curcas* L. seeds. **Journal of Seed Science**, v.41, n.4, p.470-477, 2019.

ARAÚJO, E. F.; ARAUCO, A. M. S.; DIAS, B. A. S.; SILVA, G. C.; NÓBREGA, R. S. A. Substrates of *Mauritia flexuosa* and wastewater from pig farming on growth and quality in seedlings of *Acacia mangium*. **Revista Ciência Agronômica**, v, 49, n. 2, p. 298-306, 2018.

ARRUDA, F. P.; BESTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curca* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Ver. Bras. Ol. Fibros**, v. 8, n.1, p. 789-799, 2004.

APHA; AWWA, WEF - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: American Public Health Association, 1998.

AOCS - **Preparation of Methyl Esters of Fatty Acids, Official and Recommended Practices of the AOCS**, 5th edn., AOCS Press, 1997, Official Method Ce 2-66.

AOCS- AMERICAN OIL CHEMIST' SOCIETY. **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist's Society**, 6ª Edição. Reaprovado em 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14.598- Produtos de petróleo- Determinação do ponto de fulgor pelo aparelho de vaso fechado Penskt-Martens**, 2013.

BALAMURUGAN, T.; ARUN, A.; SATHISHKUMAR, G. B. Biodiesel derived from corn oil – A fuel substitute for diesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 772-778, 2018.

BASTOS, R, K.; FRIGO, E. P.; ALVES, H. J.; DIETER, J.; SOUZA, S. N. M.; SILVA, A. A. F.; KOTHE, V. Effect of swine wastewater on *Jatropha curcas* L. oil acidity. **Industrial Crops and Products**, v.74, p.642-647, 2015.

BORGES, G. Z.; PEREGO, T. F.; TOLEDO, V. D. M.; FERREIRA, L. F. P. Análise técnica da produção do biodiesel a partir do óleo de fritura residual. **Journal Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n. 1, p.1-12, 2018.

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Changes in chemical properties of dystrophic Red Latosol as result of swine wastewater application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 210-216, 2014.

CAI, A; XU, M; WANG, B.; ZHANG, W. Manure acts as a better fertilizer for increasing crop yields than synthetic fertilizer does by improving soil fertility. **Soil Tillage Res**, v. 175, p.189-168, 2019.

CHENG, D.L.; NGO, H.H.; GUO, W.S.; LIU, Y.W.; ZHOU, J.L.; CHANG, S.W.; NGUYEN, D.D.; BUI, X.T.; ZHANG, X.B. Bioprocessing for elimination antibiotics and hormones from swine wastewater. **Science of The Total Environment**, v.621, p. 1664-1682, 2017.

CHIA, T.Y.P; PIKE, M.J.; RAWSTHORNE, S. Quebra do óleo de armazenamento durante o desenvolvimento embrionário de *Brassica napus* (L.) J. **Exp. Robô.**, v.56, p. 1285-1296, 2005.

CHUN-XI L. I.; SHOU-CHEN, M. A.; YUN, S. H. A. O.; SHOU-TIAN, M. A.; LING-LING, Z. H. A. N. G. Effects of long-term organic fertilization on soil microbiologic

characteristics, yield and sustainable production of winter wheat. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 18, n. 1, p. 210-219, 2018.

CORDEIRO, D.O.; GONDIM, A.D.; ARAÚJO, A.S.; CONCEIÇÃO, M.M.; SOUZA, A.G.; FERNANDES JR, V.J. Influence of the purification process on the stability of *Jatropha curcas* biodiesel. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v.127, p.1253-1260, 2017.

DAS, H.P.; NEEHARIK, S.V.R.; SAILU, C.; SRIKANTH, V.; KUMAR, T.P.; RANI, K.N.P. Kinetics of amidation of free fatty acids in *Jatropha* oil as a prerequisite for biodiesel production. **Fuel**, v.196, p. 169-177, 2017.

DELALIBERA, H. C.; JOHANN, A. L.; FIGUEREDO, P. R. A.; TOLEDO, A.; NETO, P. H. W.; RALISCH, R. Performance of diesel engine fuelled with four vegetable oils, preheated and at engine working temperature. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 2, p. 302-314, 2017.

DIAS, D.C.F.S. **Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, 2007.

DUCCA, C. A. D.; SOUZA, N. M.; PRETE, C. E. Qualidade fisiológica e lipídios totais de sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em função de épocas de colheita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.4, p. 364-368, 2015.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Brasília: Embrapa Solos, 2006.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Ocorrência de *Oidium* sp. Em Pinhão-Manso (*Jatropha curcas* L.) em Planaltina, DF**. Embrapa Cerrados: Embrapa, 2008.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Maiores produtores e exportadores – carne 2017. **Central de Inteligência de aves e suínos**. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/suinos/brasil>. Acesso em: 04 abr. 2021.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Suinocultura de baixas emissões de carbono: Tecnologias de Produção Mais Limpa e Aproveitamento econômico dos Resíduos da Produção de Suínos**. Brasília: MAPA, 2016.

FAUSTO-CASTRO, L.; RIVAS-GARCÍA, P.; GÓMEZ-NAFTE, J.A.; RICO-MARTÍNEZ, R.; RICO-RAMÍREZ, V.; GOMEZ-GONZALEZ, R.; CUARÓN-IBARGUENGOYTIA, J.A.; BOTELLO-ÁLVAREZ, J.E. Selection of food waste with low moisture and high protein content from Mexican restaurants as a supplement to swine feed. **Journal of Cleaner Production**, v.256, p.1-12, 2020.

FALEH, N., KHILA, Z.; WAHADA, Z.; PONS, M. N.; HOUAS, A.; HAJJAJI, N. Exergo-environmental life cycle assessment of biodiesel production from mutton tallow transesterification. **Renewable Energy**, v,127, p. 74-83, 2018.

FIA, F. R. L.; MATOS, A. T.; FIA, R.; BORGES, A. C.; CECON, P. R. Efeito da vegetação em sistemas alagados construídos para tratar águas residuárias da suinocultura. **Eng. Sanit. Ambiente**, v.22, n.2, p.303-311, 2017.

GOMES, L.P., PERUZATTO, M., SANTOS, V. S., SELLITTO, M. A. Indicadores de sustentabilidade na avaliação de granjas suinícolas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.19, p.143-154, 2014.

GEBREMARIAM, S. N.; MARCHETTI, J. M. Economics of biodiesel production: Review. **Energy Conversion and Management**, v. 168, p. 74-84, 2018.

GONÇALVES, M. S.; SAMPAIO, S. C.; COELHO, S. R. M.; SUSZEK, F. L.; CORDOVIL, C. M. d. S. Atrazine bound residues formation and dissipation in subtropical soil under swine wastewater application. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 6, p. 1156-1164, 2012.

HOCHSCHEIDT, B. D.; POSSAMAI, E. S.; SILVA, M. P. M.; SILVA, F. R.; DIETER, J.; SEQUINEL, R. Neutralization or Esterification as Input Improvement Techniques for Biodiesel Production. **Revista virtual de química**, v. 12, p. 325-334, 2020.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRA DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatística da Produção Pecuária**. 2016.

JACOBINA, M. C. M.; FRAGA, I. M.; CUNHA, F. V. Influência da incorporação do óleo de algodão na estabilidade à oxidação do biodiesel produzido a partir de blendas de algodão e soja. **Acta Tecnológica**, v.11, n. 1, p. 21-31, 2016.

JOSHI, A.; SINGHAL, P.K.; BACHHETI, R.K. Variation in oil content and physico-chemical properties of jatropha curcus seed collected from different areas of garwhal, uttarakhand India, **Int. J. ChemTech Res.**, v.5, p. 2993-2999, 2013.

JONAS, M.; KETLOGETSWE, C.; GANDURE, J. Variation of Jatropha curcasseed oil content and fatty acid composition with fruit maturity stage. **Helyion**, v.6, p. 1-6, 2020.

KEERA, S.T.; SABAGH, S.M.; TAMAN, A.R. Castor oil biodiesel production and optimization. **Egyptian Journal of Petroleum**, v.27, p. 979-984, 2018.

KUMAR, R.; DAS, N. Seed oil of Jatropha curcas L. germplasm: Analysis of oil quality and fatty acid composition. **Industrial Crops & Products**, v.124, p.663-668, 2018.

KUMAR, V.; SALUJA, R.K. The effect of operating parameters on performance and emissions of DI diesel engine fuelled with Jatropha biodiesel. **Fuel**, v.278, p. 1-21, 2020.

KNOTHE, G.; RAZON, L. F. Biodiesel fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, n.58, p. 36-59, 2017.

KURIHARA, C. H.; KIKUTI, H.; BINOTTI, F. F. da S.; SILVA, C. J. da. Nutrient accumulation, export and cycling in *Jatropha curcas* L. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 3, p. 361-370, 2016.

KURIHARA, C.H.; LIMA FILHO, O.F.; SILVA, C.J.; BINOTTI, F.F.S. **Aspectos nutricionais em pinhão-mansão**. Pinhão-mansão: pesquisas, conhecimentos e práticas/ Bruno Galvêas Laviola, Erina Vitória Rodrigues, editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2019.

LAVIOLA, B. G.; RODRIGUES, E. V.; TEODORO, P. E.; PEIXOTO, L. A.; BHERING, L. L. Biometric and biotechnology strategies in *Jatropha* genetic breeding for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 894-904, 2017.

LAVIOLA, B.G.; RODRIGUES, E.V. **Pinhão-mansão: pesquisas, conhecimentos e práticas**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

LAVIOLA, B.G. **Pesquisa, desenvolvimento e inovação em pinhão-mansão para produção de biodiesel**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

LIU, H.; ZHANG, J.; AI, Z.; WU, Y.; XU, H.; LI, Q.; XUE, S.; LIU, G. 16-Year fertilization changes the dynamics of soil oxidizable organic carbon T fractions and the stability of soil organic carbon in soybean-corn agroecosystem. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 265, p. 320-330, 2018.

MACHADO, O.L.T.; SILVA, R.S.B. Pinhão-mansão: fitoquímica, efeitos farmacológicos e usos medicinais. In: Bruno Galvêas Gaviola; Erina Vitória Rodrigues. **Pinhão-mansão: pesquisas, conhecimentos e práticas**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 352 p.

MARCUCCI, S. M. P.; ARAKI, C. A.; KIFFER, R. T.; MOISÉS, M. P.; ARROYO, P. A. Evaluation of the reaction conditions in the transesterification of canola oil for biodiesel production. **ENGEVISTA**, v. 20, n.4, p. 508-522, 2018.

MARTINS, G.I. **Potencial de extração de óleo de peixe para produção de biodiesel**. Orientador: Deocir Secco. 2012. 81 p. Dissertação (Mestrado em energia na agricultura) Programa de Pós-graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

MEHRA, K.S.; SINGH, S.; SINGH, A.K.; KHARKAWAL, H. AVIKA, S. Performance, energy, emission and cost analysis of *Jatropha* (*Jatropha Curcas*) oil as a biofuel for compression ignition engine. **Materials Today: Proceedings**, v.43, p. 348-354, 2021.

MELO, Y.L.; GARCIA, R.R.; MACÊDO, C.E.C.; DELGADO, E.A.O.; MAIA, J.M. ORTEGA-RONDÉS, P. Unraveling physiological traits of *Jatropha curcas*, a biodiesel plant, to overcome salinity conditions. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 2, p. 446 - 457, 2020.

MENEZES, J. F. S.; SILVA, M. P. CAETANO, J. O.; CANTÃO, V. C. G.; BENITES, V. M. Maize yield after long-term application of pig slurry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 10, p. 686-690, 2017.

MME- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Análise de conjuntura dos Biocombustíveis- ano 2017**. EPE-DGP-SGB-BIOS-NT-02-2018-R0. 2018. Disponível em: http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-167/Analise_de_Conjuntura_dos_Biocombustiveis-Ano_2017.pdf. Acesso em: 30 set. 2018.

MONIRUZZAMAN, M.; YAAKOB, Z.; KHATUN, R. Biotechnology for *Jatropha* improvement: A worthy exploration. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 54, p. 1262-1277, 2016.

NICOLAU, C. L.; KLEIN, A. N. V.; SILVA, C. A. A.; FIORUCCI, A. R.; STROPA, J. M.; SANTOS, E. O.; BORGES, K. C. S.; SILVA, R. C. L.; OLIVEIRA, L. C. S.; SIMIONATTO, E. L.; SCHARF, D. R.; SIMIONATTO, E. Thermal properties of the blends of methyl and

ethyl esters prepared from babassu and soybean oils. **Journal Braz. Chem. Soc.**, v. 29, n. 8, p. 1672-1679, 2018.

OLIVEIRA, J. S.; LEITE, P. M.; SOUZA, L. B.; MELLO, V. M.; SILVA, E. C.; RUBIM, J. C.; MENEGHETTI, S. M. P.; SUAREZ, P. A. Z. Characteristics and composition of *Jatropha gossypifolia* and *Jatropha curcas* L. oils and application for biodiesel production. **Biomass and Bioenergy**, Silver Spring, v. 33, p. 449-453, 2009.

OLIVEIRA, G. N.; CARVALHO, R. M. M. Geração de biodiesel a partir de óleo de soja residual. **Revista Científica Univiçosa**, Viçosa, v. 7, n.1, p. 367-373, 2015.

OLIVEIRA, C. V. K.; SANTOS, R. F.; SIQUEIRA, J. A. C.; BARICCATTI, R. A.; LENZ, N. B. G.; CRUZ, G. S.; TOKURA, L. K.; KLAJN, F. F. Chemical characterization of oil and biodiesel from four safflower genotypes. **Industrial Crops & Products**, v. 123, p. 192-196, 2018.

PACHECO, F. P.; Nóbrega, L.H.P.; TONINI, M.; SPIASSI, A.; ROSA, D. M.; CRUZ-SILVA, C. T. A. Physical attributes of soil after swine wastewater application as cover fertilizer on maize crop and black oats sequence. **Revista Caatinga**, v. 30, p. 955-962, 2017.

PEREIRA, A. F.; PINHEIRO, C. A.; PINHEIRO, P. F.; VIDAL, C. A. Caracterização da mistura óleo de soja e gordura suína 1:1 (m m⁻¹) e seu potencial na produção de biodiesel. **Nucleus**, v. 12, n.2, p. 135- 140, 2015.

PEREG, L.; MORUNGÁN-CORONADO, A.; McMILLAN, M.; GARCÍA-ORENES, G. Restoration of nitrogen cycling community in grapevine soil by a decade of organic fertilization. **Soil & Tillage Research**, v. 179, p. 11-19, 2018.

PILOTO-RODRÍGUEZ, R.; ORTIZ-ALVAREZ, M.; SUÁREZ-HERNÁNDEZ, J.; TOBÍO-PÉREZ, I.; MELO-ESPINOSA, E.A.; DÍAZ, Y.; SOTOLONGO, J.A. Data on combustion chamber measurements of a diesel engine fuelled with biodiesel of *jatropha curcas* and fatty acid distillates. **Data in Brief**, v.31, p. 1-9, 2020.

QUESSADA, T. P.; GUEDES, C. L. B.; BORSATO, D.; GAZZONI, B. F.; GALÃO, O. F. Obtenção de biodiesel a partir de óleo de soja e milho utilizando catalisadores básicos e catalisador ácido. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 11, p. 1-25, 2010.

QASWAR, M.; YIREN, L.; JING, H.; KAILLOU, L.; MUDASIR, M.; ZHENZHEN, L. HONGQIAN, H.; XIANJIN, L.; JIANHUA, J.; AHMED, W.; DONGCHU, L.; HUIMIN, Z Soil nutrients and heavy metal availability under long-term combined application of swine manure and synthetic fertilizers in acidic paddy soil. **Journal of Soils and Sediments**, v.20, p. 2093-2106, 2020.

RAMOS, L. P.; KOTHE, R. L. P.; 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. **Revista Virtual de Química**, v.9, n.1, p.1-10, 2017.

RANUCCI, C. R.; ALVES, H. J.; SILVA, C.; MONTEIRO, M. R.; SANTOS, K. A.; BARICCATTI, R. A.; SILVA, E. A. Obtenção de bioquerosene de Pinhão- Manso (*Jatropha curcas* L.) e suas misturas ao querosene fóssil. **Revista Tecnológica**, p. 43-52, 2015.

RIBEIRO, E. L. F.; MARANDUBA, H. L.; OLIVEIRA, L. B.; NETO, J. A.; OLIVEIRA, F. B. S. Relação energética e emissão de gee do biodiesel de pinhão-manso: análise sob uma perspectiva dinâmica. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v.1, n.2, p. 79-89, 2015.

RITIGALA, T.; CHEN, Y.; ZHENG, J.; DEMISSIE, H.; ZHENG, L.; YU, D.; SUI, Q.; CHEN, M.; ZHU, J.; FAN, H.; LI, J.; GAO, Q.; WERAGODA, S.K. WEERASOORIYA, R.; JINADASA, K.B.S.N.; WEI, Y. Comparison of an integrated short-cut biological nitrogen removal process with magnetic coagulation treating swine wastewater and food waste digestate. **Bioresource Technology**, v.329, p.1-15, 2021.

ROCHA, R.B.; SPINELLI, V.M.; RAMALHO, A.R.; VIEIRA JÚNIOR, J.R.; VIEIRA, A.H.; SOUZA, V.F. LAVVIOLA, B.G. Produção de mudas e aspectos gerais do melhoramento genético de pinhão-manso na região Norte do Brasil. *In*: Bruno Galvêas Gaviola; Erina Vitório Rodrigues. **Pinhão-manso: pesquisas, conhecimentos e práticas**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 68 p.

SANDOUQA, A.; HAMAMRE, Z. A. Energy analysis of biodiesel production from jojoba seed oil. **Renewable Energy**, v. 130, p. 831-842, 2019.

SARTO, J.R.W.; NERES, M.A.; SUNAHARA, S.M.M.; NATH, C.D.; SARTO, M.V.M. Chemical composition of swine wastewater, soil, and tifton 85 after 8 years of application, **Revista Caatinga**, v.32, n.1, p. 259-269, 2019.

SANTOS, S. B.; MARTINS, M. A.; AGUILAR, P. R. M.; CANESCHI, A. L.'CARNEIRO, A. C. O.; DIAS, L. A. S. Acúmulo de matéria seca e óleo nas sementes de pinhão-manso e qualidade do óleo extraído. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n.2, p. 209-215, 2012.

SANTOS, A. M. C. M.; ARAÚJO, W. S.; MENDONÇA, S. J. R.; NASCIMENTO, U. M.; MACIEL, A. P.; SILVA, F. C. Prospecção para obtenção de biodiesel empregando óleo de babaçu (*orbigynia martiniana*) e de óleo de soja (*glycine max*) utilizando líquido iônico como catalisador. **Revista GEINTEC**, v. 7, n.3, p. 3959-3969, 2017.

SANTOS, F.; BRASIL, L. M. M.; FARIA, D.; SILVA, V. S.; GOMES, L.; VILARES, M.; MACHADO, G.; SOUZA, E. Aproveitamento integral do nabo forrageiro (*Raphanus Sativus L.*) em processos de biorrefinaria. **ENGEVISTA**, v. 20, n. 2, p.374-393, 2018.

SILVA, W. L. G.; SALOMÃO, A. A.; SOUZA, P. T.; ANSOLIN, M.; TUBINO, M. Binary blends of biodiesel from macauba (*acromia aculeata*) kernel oil with other biodiesels. **Journal Braz. Chem. Soc**, v. 29, n. 2, p.240-247, 2018.

SIMIONI, F. J.; BARTZ, M. L. C.; WILDNER, L. P.; SPAGNOLLO, E.; VEIGA, M.; BARETTA, D. Indicadores de eficiência técnica e econômica do milho cultivado em Sistema plantio direto no Estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 3, p. 232-241, 2017.

SITORUS, H.B.H.; SETIABUDY, R.; BISMO, S.; BEROUAL, A. Jatropha Curcas Methyl Ester Oil Obtaining as Vegetable Insulating Oil. **Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 23, n. 4, 2016.

SOUZA, C.M.A.; VERONESI, C.O.; ROS, V.V.; SILVA, C.J. Colheita e beneficiamento do pinhão-manso. *In*: Bruno Galvêas Gaviola; Erina Vitório Rodrigues. **Pinhão-manso: pesquisas, conhecimentos e práticas**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 308 p.

SMANHOTTO, A.; SOUSA, A. DE P.; SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H. P.; PRIOR, M.; SAMPAIO, S. C. Cobre e zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, p. 347-357, 2010.

SUTO, R.; ISHIMOTO, C.; CHIKYU, M.; AIHARA, Y.; MATSUMOTO, T.; UENISHI, H.; YASUDA, T.; FUKUMOTO, Y.; WAKI, M. Anammox biofilm in activated sludge swine wastewater treatment plants, **Chemosphere**, v.167, p. 300-307, 2017.

SAUER, I. Biocombustíveis no Brasil Comercialização e Logística. **Biocombustíveis no Brasil: realidades e perspectivas**. Brasília: Arte Impressora Gráfica LTDA, 2007. p. 34-59,

SEAB- SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. Suinocultura Paranaense. 2020. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/qas/uploads/5578/informe_suinos_maio_17.pdf. Acesso em: 04 abr. 2021.

ROSA, D.M.; SAMPAIO, S.C.; PEREIRA, P.A.M.; REIS, R.R.; SBIZZARO, M. Corn fertilization using swine wastewater and soil-water environmental quality. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.37, n.4, 2017.

THIA, H.T.; LEB, B.A.; LEC, H.N.T.; OKITSUB, K.; IMAMURAD, K.; TAKENAKAB, N.; LUUE, B.V.; MAEDA, Y. Screening of fatty acids, saccharides, and phytochemicals in *Jatropha curcas* seed kernel as their trimethylsilyl derivatives using gas chromatography/mass spectrometry. **Journal of Chromatography B.**, v.1102-1103, p. 66-73, 2018.

VIEIRA, J. S. C.; SOUZA, T. L.; ROSAS, L. S.; LIMA, A. L.; RONCONI, C. M.; MOTA, C. J. Esterificação e transesterificação homogênea de óleos vegetais contendo alto teor de ácidos graxos livres. **Química Nova**, v. 41, n. 1, p. 10-16, 2018.