

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA

INCORPORAÇÃO E BIOATIVIDADE DE ÓLEOS  
ESSENCIAIS DE SALVIA E SUCUPIRA EM FILMES  
BIODEGRADÁVEIS

Autor: Marcelo Nogueira Xavier  
Orientador: Aurélio Rubio Neto

Rio Verde – GO  
Julho – 2023

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA

INCORPORAÇÃO E BIOATIVIDADE DE ÓLEOS  
ESSENCIAIS DE SALVIA E SUCUPIRA EM FILMES  
BIODEGRADÁVEIS

Autor: Marcelo Nogueira Xavier  
Orientador: Aurélio Rubio Neto

Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, no Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde.

Rio Verde – GO  
Julho – 2023

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

XM314i XAVIER, MARCELO NOGUEIRA  
INCORPORAÇÃO E BIOATIVIDADES DE ÓLEOS ESSENCIAIS  
DE SALVIA E SUCUPIRA EM FILMES BIODEGRADÁVEIS /  
MARCELO NOGUEIRA XAVIER; orientador AURELIO RUBIO  
NETO; co-orientadora CASSIA CRISTINA FERNANDES. --  
Rio Verde, 2023.  
54 p.

Tese (Doutorado em PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AGRÁRIAS - AGRONOMIA) -- Instituto Federal Goiano,  
Campus Rio Verde, 2023.

1. ÓLEOS ESSENCIAIS. 2. FILMES BIODEGRADÁVEIS. 3.  
SÁLVIA. 4. SUCUPIRA. I. RUBIO NETO, AURELIO, orient.  
II. FERNANDES, CASSIA CRISTINA, co-orient. III.  
Título.

# TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

## IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |  |   |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado)      | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação)             | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

MARCELO NOGUEIRA XAVIER

Matrícula:

2019202320140111

Título do trabalho:

INCORPORAÇÃO E BIOATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE SALVIA E SUCUPIRA EM FILMES BIODEGRADÁVEIS

## RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:  /  /

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

## DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

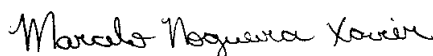
- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

RIO VERDE

29 /09 /2023

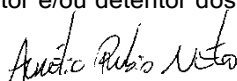
Local

Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 67/2023 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

## **ATA Nº/113**

### **BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE**

Aos trinta e um dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte e três, às 10:00h, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: sob a presidência do(a) primeiro(a), Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto (Presidente); Profª. Dra. Cássia Cristina Fernandes (Avaliadora externa); Profª. Dra. Viviane de Oliveira Vasconcelos (Avaliadora externa); Prof. Dr. Celso Martins Belisário (Avaliador externo); Prof. Dr. Jáliston Julio Lopes Alves (Avaliador externo) em sessão pública realizada no IF Goiano – Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Tese, em nível de Doutorado, de autoria de **MARCELO NOGUEIRA XAVIER**, discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo(a) presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto (Presidente), que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida o(a) autor (a) da Tese para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, e procedidas às correções recomendadas, a Tese foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **DOCTOR(a) EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA**, na área de concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGCA-AGRO da versão definitiva da Tese, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Tese de Doutorado, e para constar, eu, Vanilda Maria Campos, secretária do PPGCA-AGRO, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto (Presidente)

Profª. Dra. Cássia Cristina Fernandes (Avaliadora externa)

Profª. Dra. Viviane de Oliveira Vasconcelos (Avaliadora externa)

Prof. Dr. Celso Martins Belisário (Avaliador externo)

Prof. Dr. Jáliston Julio Lopes Alves (Avaliador externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Cassia Cristina Fernandes Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 31/07/2023 14:16:53.
- **Celso Martins Belisario, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 31/07/2023 12:32:14.
- **Viviane de Oliveira Vasconcelos, Viviane de Oliveira Vasconcelos - 2344 - PROFESSORES DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE DO ENSINO SUPERIOR - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500)**, em 31/07/2023 12:31:13.
- **Jaliston Julio Lopes Alves, TECNICO EM AGROPECUARIA**, em 31/07/2023 12:24:50.
- **Aurelio Rubio Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 31/07/2023 12:20:40.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/07/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 515226  
Código de Autenticação: 4135933a32



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 64/2023 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

## INCORPORAÇÃO E BIOATIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE SALVIA E SUCUPIRA EM FILMES BIODEGRADÁVEIS

Autor: Marcelo Nogueira Xavier

Orientador: Dr. Aurélio Rubio Neto

TITULAÇÃO: Doutorado em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de  
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADO em, 31 de julho de 2023.

Prof. Dr. Aurélio Rubio Neto (Presidente)

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Cássia Cristina Fernandes (Avaliadora externa)

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Viviane de Oliveira Vasconcelos (Avaliadora externa)

Prof. Dr. Celso Martins Belisário (Avaliador externo)

Prof. Dr. Jálison Júlio Lopes Alves (Avaliador externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Jaliston Julio Lopes Alves**, TECNICO EM AGROPECUARIA, em 31/07/2023 14:35:06.
- **Cassia Cristina Fernandes Alves**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 31/07/2023 14:15:37.
- **Celso Martins Belisario**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 31/07/2023 12:32:50.
- **Viviane de Oliveira Vasconcelos**, Viviane de Oliveira Vasconcelos - 2344 - PROFESSORES DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE DO ENSINO SUPERIOR - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 31/07/2023 12:29:45.
- **Aurelio Rubio Neto**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 31/07/2023 12:24:29.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/07/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 515475

Código de Autenticação: 2a351155d5



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3624-1000



Pense, fale, compre, beba  
Leia, vote, não se esqueça  
Use, seja, ouça, diga  
Tenha, more, gaste, viva  
Por isso fizemos o L.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar-me na caminhada para a realização desta tese.

A minha mãe Márcia Camargo, ao meu pai Levi Xavier, ao meu irmão Márcio e as minhas sobrinhas Ana Julia e Maria Fernanda pelo incentivo, apoio emocional, pela motivação e, em especial, por todo carinho ao longo deste percurso.

Ao meu orientador Aurélio Rubio, pela parceria.

A minha orientadora Profa. Cássia Cristina, pela paciência, compreensão, horas de conversa e dedicada orientação no desenvolvimento desta tese.

Ao meu co-orientador Jáliston Júlio, por todo apoio e parceria ao longo da jornada.

Aos colegas membros do Laboratório de Química de Produtos Naturais (LQPN).

A todos os meus amigos, que sempre estiveram presentes nos momentos difíceis.

A Central Analítica do IFGoiano e ao Laboratório Multiusuário de Análises da UFG pelas análises realizadas e equipamentos compartilhados.

À FAPEG e à CAPES.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do IFGoiano pela minha formação.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta na construção deste trabalho.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Marcelo Nogueira Xavier, natural da cidade de Espinosa-MG, filho de Levi Xavier da Silva e Márcia Aparecida Nogueira Camargo. Graduou-se em Ciências Biológicas (2011) pela Faculdade de Saúde Ibituruna, mestre em Agroquímica (2015) pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano – campus Rio Verde. Biólogo do município de Matias Cardoso-MG (2016-2019) e professor EBTT substituto do IFGoiano (2014-2015 e 2022-2024). Atua na área de Produtos Naturais e Biologia Geral.

## ÍNDICE

	Página
Resumo .....	1
Abstract .....	3
Introdução .....	5
Óleos essenciais .....	6
Óleo essencial de <i>Salvia officinalis</i> .....	7
Óleo essencial de <i>Pterodon emarginatus</i> .....	8
Combinação de óleos essenciais .....	9
Filmes biodegradáveis .....	9
Amido .....	11
Referências bibliográficas .....	11
Objetivos .....	15
Objetivo geral .....	15
Objetivos específicos .....	15
Capítulo I: Filmes biodegradáveis incorporados com óleos essenciais de plantas medicinais: caracterização física e propriedades mecânicas .....	16
Resumo .....	16
Abstract .....	17
Introdução .....	18
Material e métodos .....	19
Extração e caracterização dos óleos essenciais .....	19
Preparo e produção dos filmes biodegradáveis .....	20
Avaliação macroscópica .....	20
Espessura .....	21
Propriedades mecânicas .....	21
Análise estatística .....	21
Resultados e Discussão .....	21
Composição química dos óleos essenciais .....	21
Avaliação macroscópica .....	23
Espessura .....	24
Propriedades mecânicas .....	24
Tração e alongação .....	24
Resistência a perfuração .....	26
Conclusão .....	26

Referências Bibliográficas .....	27
Capítulo II: Composição química e atividade antioxidante do óleo essencial de plantas medicinais .....	30
Resumo .....	30
Abstract .....	30
Introdução .....	31
Material e métodos .....	33
Material vegetal e extração do óleo essencial .....	33
Análise CG-MS .....	33
Fungo fitopatogênico .....	33
Efeito do óleo essencial sobre o crescimento micelial do <i>R. stolonifer</i> .....	34
Atividade antioxidante dos óleos essenciais .....	34
Análise estatística .....	35
Resultados e discussão .....	35
Composição química do óleo essencial de <i>P. emarginatus</i> e <i>S. officinalis</i> ...	35
Atividade antifúngica dos óleos essenciais sobre o crescimento micelial in vitro de <i>Rhizopus stolonifer</i> .....	38
Atividade antioxidante .....	40
Conclusões .....	42
Referências Bibliográficas .....	42
Conclusão Geral .....	46

## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Capítulo 1: Filmes biodegradáveis incorporados com óleos essenciais de plantas medicinais: caracterização física e propriedades mecânicas	
Tabela 1: Composição química do OESO e OEPE isolados por hidrodestilação .....	22
Tabela 2: Avaliação macroscópica dos filmes biodegradáveis incorporados com OESO, OEPE e MIX .....	23
Tabela 3: Espessura (em mm) dos filmes biodegradáveis incorporados com óleos essenciais .....	24
Tabela 4: Propriedades mecânicas dos filmes biodegradáveis incorporados com óleos essenciais .....	25
Tabela 5: Valores da análise de perfuração dos filmes (N) .....	26
Capítulo II: Composição química e atividade antioxidante do óleo essencial de plantas medicinais	
Tabela 1: Composição química do OESO e OEPE isolados por hidrodestilação .....	36
Tabela 2: Atividade antioxidante dos óleos essenciais de <i>Salvia officinalis</i> , <i>Pterodon emarginatus</i> e MIX usando o DPPH (IC <sub>50</sub> µg mL <sup>-1</sup> ) e a classificação segundo o IAA .....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Compostos majoritários do OEPE (óleo essencial de <i>Pterodon emarginatus</i> ) .....	37
Figura 2: Compostos majoritários do OESO (óleo essencial de <i>Salvia officinalis</i> ) .....	38
Figura 3: Efeitos de diferentes concentrações dos óleos essenciais de sucupira e salvia e do mix sobre o crescimento micelial de <i>Rhizopus stolonifer</i> . .....	39

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

OESO	Óleo essencial de <i>Salvia officinalis</i>
OEPE	Óleo essencial de <i>Pterodon emarginatus</i>
CG-MS	Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas
DPPH	1,1-difenil-2-picril hidrazil
<i>R. stolonifer</i>	<i>Rizopus stolonifer</i>
$\mu\text{L L}^{-1}$	Micro litro Litro <sup>-1</sup>
ERO's	Espécies reativas de oxigênio
GRAS	Geralmente reconhecido como seguro
FDA	Food and Drug Administration
°C	Grau Celsius
Min	Minutos
m/v	Massa/volume
g	Gramas
mL	Mililitros
OE	Óleo essencial
+	Deficiente
++	Boa
+++	Excelente



mm	Milímetros	
RTM	Resistência máxima a tração na ruptura	Mpa
E	Elongação	%
IC <sub>50</sub>	Concentração inibitória de 50%	
AA	Atividade antioxidante	
AAI	Índice de atividade antioxidante	

## RESUMO

XAVIER, MARCELO NOGUEIRA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, julho de 2023. **Incorporação e bioatividade de óleos essenciais de sálvia e sucupira em filmes biodegradáveis.** Aurelio Rubio Neto – Orientador. Cássia Cristina Fernandes. Jaliston Julio Lopes Alves - Coorientadores

A sociedade enfrenta o desafio do acúmulo de lixo plástico no ambiente, especialmente microplásticos, que são causados pela estabilidade dos polímeros e pelo uso de produtos de curta duração. Uma alternativa a esta problemática são os filmes biodegradáveis feitos de materiais orgânicos, como a fécula de mandioca, incorporados com óleos essenciais de plantas aromáticas, que possuem rápida degradação no ambiente e podem ser utilizados na produção de embalagens ativas para conservação de alimentos. Neste estudo, o objetivo foi produzir filmes biodegradáveis de fécula de mandioca incorporados com os óleos essenciais de sálvia (OESO) e sucupira (OEPE), bem como a combinação entre eles, denominada MIX, e avaliar as atividades antifúngica e antioxidantes dos óleos essenciais. Os óleos essenciais foram extraídos por hidrodestilação e identificados por CG-MS. Em seguida, eles foram incorporados aos filmes biodegradáveis em diferentes concentrações para caracterização física e mecânica. As atividades antifúngicas e antioxidantes dos óleos essenciais, também foram avaliadas através da inibição do crescimento micelial do fungo *R. stolonifer* e do sequestro do radical DPPH. As análises químicas dos óleos essenciais revelaram a presença de compostos distintos, o óleo essencial de salvia apresentou composição química rica em monoterpenos e mostrou maior atividade antifúngica em comparação com o óleo essencial de sucupira e com o MIX. A atividade antioxidante do óleo essencial de salvia, sucupira e MIX foi classificada como muito forte, moderada e forte, respectivamente. A incorporação dos óleos

essenciais em filmes biodegradáveis de fécula de mandioca não afetou suas propriedades macroscópicas, como continuidade, homogeneidade e flexibilidade, a exceção da concentração de  $300 \mu\text{L L}^{-1}$ , causando a exclusão desta concentração nos testes subsequentes. A resistência à tração e a resistência a perfuração dos filmes foi influenciada pelo aumento das concentrações de óleo essencial adicionadas, diferente da elongação que não sofreu alterações significativas.

**PALAVRAS-CHAVE:** óleos essenciais, filmes biodegradáveis, sálvia, sucupira.

## ABSTRACT

XAVIER, MARCELO NOGUEIRA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, July de 2023. **Incorporation and bioactivity of sage and sucupira essential oils in biodegradable films.** Aurelio Rubio Neto – Advisor. Cássia Cristina Fernandes. Jaliston Julio Lopes Alves – Co-supervisors

Society faces the challenge of accumulating plastic waste in the environment, especially microplastics, which are caused by the stability of polymers and the use of short-lived products. An alternative to this problem is biodegradable films made from organic materials, such as cassava starch, incorporated with essential oils from aromatic plants, which have rapid degradation in the environment and can be used in the active packaging production for food preservation. In this study, the objective was to produce biodegradable cassava starch films incorporated with sage (OESO) and sucupira essential oils (OEPE), as well as the combination between them, called MIX, evaluating the antifungal and antioxidant activities of them. The essential oils were extracted by hydrodistillation and identified by GC-MS. They were then incorporated into biodegradable films at different concentrations for physical and mechanical characterization. The antifungal and antioxidant activities of the essential oils were also evaluated through the inhibition of the mycelial growth of the fungus *R. stolonifer* and the DPPH radical scavenging. Chemical analyzes of the essential oils revealed the presence of distinct compounds where, the sage essential oil presented a chemical composition rich in monoterpenes and showed greater antifungal activity compared to the sucupira essential oil and MIX. The antioxidant activity of sage, sucupira and MIX essential oils was classified as very strong, moderate, and strong, respectively. The essential oils incorporation into biodegradable cassava starch films did not affect their

macroscopic properties, such as continuity, homogeneity and flexibility, except for the 300  $\mu\text{L L}^{-1}$  concentration, which caused its exclusion in subsequent tests. The tensile strength and puncture resistance of the films was influenced by the increase in the added essential oil concentrations, different from the elongation which did not undergo significant changes.

**KEYWORDS:** essential oils, biodegradable films, sage, sucupira.

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação global com a geração de resíduos sólidos tem impulsionado as indústrias a buscar formas alternativas e sustentáveis para seus processos produtivos (BAG e CHATTOPADHYAY, 2015). A indústria alimentícia vem direcionando esforços para adotar embalagens recicláveis e biodegradáveis (AGARWAL, 2020). Visando prolongar a vida útil dos alimentos e preservar sua qualidade, tem-se desenvolvido embalagens ativas que possuam a capacidade de liberar substâncias ativas com funções específicas, protegendo os alimentos contra a ação prejudicial de microrganismos e mesmo do oxigênio, fatores cruciais no processo de degradação alimentar (PAULO et al., 2021).

Os óleos essenciais extraídos de plantas têm recebido ampla atenção na indústria de alimentos por seu potencial como aditivos naturais, apresentando atividade contra microrganismos e neutralizando espécies reativas de oxigênio (ERO's) (THINH et al., 2022). Além disso, esses compostos são classificados como “geralmente reconhecidos como seguro” (GRAS) (HERNANDEZ et al., 2023). Em muitos casos, o uso de óleos essenciais como conservantes em alimentos é limitado por causa de seu sabor e aroma intensos. Para contornar essa questão, a inclusão desses óleos em filmes biodegradáveis surge como alternativa interessante e sustentável (SHARMA et al., 2020). Essa abordagem permite a criação de materiais ativos capazes de prolongar a vida útil dos alimentos e agregar valor aos produtos (ATARÉS e CHIRALT, 2016).

Dentre os óleos essenciais, o óleo de sálvia (*Salvia officinalis*) e sucupira (*Pterodon emarginatus*) ganham destaque pela diversidade de compostos ativos como terpenoides, compostos fenólicos, cetonas, aldeídos, dentre outros, que lhes conferem amplo espectro de ação antimicrobiana e antioxidante (GHORBANI e ESMAEILIZADEH, 2017). A incorporação do óleo essencial de sálvia e sucupira em

filmes biodegradáveis tem sido objeto de diversos estudos, revelando resultados promissores no campo das embalagens ativas para alimentos (MESSTERMANN et al., 2018).

## 1.1 Óleos essenciais

Os óleos essenciais são oriundos do metabolismo secundário das plantas e conceituados como misturas complexas de substâncias voláteis, lipofílicas, odoríferas e líquidas (BAZAN et al.; 2020). Podem ser extraídos de diversas plantas e de todas as partes como flor, folha, casca, semente e raiz. São constituídos por uma diversidade de compostos químicos como terpenos e seus derivados (monoterpenos, sesquiterpenos), aldeídos, cetonas, álcoois e fenóis, e apresentam amplo espectro de atividade biológica (antibacteriano, antifúngico, antiviral, controle de pragas e repelentes de insetos) e antioxidante (ASLANI, et al., 2023). Vários fatores influenciam na composição química dos óleos essenciais e consequentemente nas suas propriedades ativas, como espécie, órgão de extração, época e hora de coleta, origem geográfica e o método de extração (SALACHNA et al., 2021).

Os óleos essenciais possuem grande potencial de uso pela indústria alimentícia por serem considerados como aditivos naturais, apresentam atividade antimicrobiana e antioxidante e alguns são classificados como GRAS pelo FDA (Food and Drug Administration) (RUIZ-NAVAJAS et al., 2013). A demanda do mercado global por óleos essenciais foi estimada em 247,08 quilotoneladas em 2020 e deve apresentar taxa de crescimento anual de 7,5% de 2020 a 2027 (GRAN VIEW RESEARCH, 2020). Os óleos essenciais são alternativas aos aditivos sintéticos para aumentar a vida útil de alimentos e bebidas, indo de encontro com a demanda de consumidores que buscam alimentos orgânicos, naturais e saudáveis (SHARMA et al., 2020).

A atividade antimicrobiana dos óleos essenciais deriva de sua natureza hidrofóbica, tendo as membranas microbianas como seu principal alvo de ação. Esses óleos acumulam-se na bicamada lipídica através de um coeficiente de partição específico para cada composto aplicado, resultando em danos na estrutura e perda da função da membrana (PAULO et al.; 2021). A eficácia antimicrobiana dos óleos essenciais pode ser atribuída aos monoterpenos neles contidos. Por causa da sua característica hidrofóbica, esses monoterpenos agem rompendo a membrana citoplasmática dos microrganismos, resultando em redução da impermeabilidade a prótons e íons maiores. Essa perturbação

na integridade da membrana afeta suas funções não apenas como barreira, mas também como matriz de enzimas e transdutor de energia (MIRANDA et al., 2016). É importante destacar que, devido à diversidade de grupos químicos presentes nos óleos essenciais, sua atividade antimicrobiana pode não ser atribuível a um mecanismo específico, mas a múltiplos alvos dentro da célula (DELAMARE et al.; 2007).

## 1.2 Óleo essencial de *Salvia officinalis*

A sálvia (*Salvia officinalis*) é uma planta medicinal conhecida há séculos pelas suas propriedades terapêuticas e gastronômicas. Seu óleo essencial tem sido objeto de interesse para aplicações alimentícias devido às suas atividades antifúngicas e antioxidantes que podem aumentar a segurança e a durabilidade dos alimentos (ASLANI, et al., 2023).

Um dos principais desafios enfrentados pela indústria alimentícia é a preservação dos produtos contra o crescimento de fungos, que podem levar à deterioração precoce e à produção de toxinas prejudiciais à saúde (SHARMA et al., 2020). O óleo essencial de sálvia demonstra forte atividade antifúngica contra diversos tipos de fungos, incluindo espécies do gênero *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, que são comumente encontradas em alimentos (GHORBANI e ESMAEILZADEH, 2017).

Alguns trabalhos têm revelado que compostos presentes no óleo essencial de sálvia, como o cineol, o borneol e o ácido rosmarínico, estão associados à inibição do crescimento e proliferação de fungos patogênicos (DAMMAK et al., 2019). Essas propriedades tornam o óleo essencial de sálvia uma alternativa promissora aos conservantes químicos sintéticos, que podem ter efeitos indesejados na saúde humana, animal e ao meio ambiente (BAG e CHATTOPADHYAY, 2015).

A oxidação lipídica é uma das principais causas da deterioração de alimentos, levando à perda de qualidade nutricional, alterações de sabor e aroma, além de prejudicar a segurança alimentar (THINH et al., 2022). Nesse contexto, a atividade antioxidante do óleo essencial de sálvia torna-se relevante para a conservação dos alimentos. Os compostos antioxidantes presentes na sálvia, como o ácido cafeico, o ácido clorogênico e o carnosol, têm demonstrado capacidade de neutralizar radicais livres e inibir a oxidação de lipídios (VOSOUGHI et al., 2018). Dessa forma, o óleo essencial de sálvia pode ser utilizado como conservante natural, prolongando a vida útil dos alimentos e preservando a qualidade sensorial dos produtos.



O óleo essencial de sálvia apresenta potencial promissor na indústria alimentícia devido à sua atividade antifúngica e antioxidante. A incorporação desse óleo em alimentos pode contribuir para a prevenção do crescimento de fungos indesejáveis, bem como para a proteção contra a oxidação de lipídios, melhorando a segurança, a qualidade e a durabilidade dos produtos alimentícios (BAG e CHATTOPADHYAY, 2015).

### 1.3 Óleo essencial de *Pterodon emarginatus*

O óleo essencial de sucupira (*Pterodon emarginatus*), obtido a partir das sementes, vem despertando interesse por suas propriedades antifúngicas e antioxidantes, que podem ser benéficas tanto para a conservação de alimentos quanto para a saúde dos consumidores (OLIVEIRA et al., 2017). O óleo essencial de sucupira é rico em compostos bioativos, como  $\alpha$ -humuleno,  $\beta$ -cariofileno,  $\alpha$ -pineno, e outros terpenos, que são responsáveis por suas propriedades terapêuticas (MA et al., 2016). A extração do óleo é geralmente realizada por hidrodestilação, um processo que preserva a integridade dos compostos e garante a qualidade ao produto (DUROVIC et al., 2022).

A atividade antifúngica do óleo essencial de sucupira tem sido amplamente estudada e demonstrou eficácia contra diferentes cepas de fungos patogênicos, incluindo espécies que podem causar deterioração e contaminação de alimentos (SILVA et al., 2005). A presença de  $\alpha$ -humuleno e  $\beta$ -cariofileno contribui para essa ação, pois esses compostos têm sido associados a atividade antifúngica em diversos estudos (LUCAS et al., 2021). A aplicação de óleo essencial de sucupira em embalagens bioativas pode auxiliar no aumento da vida útil dos produtos alimentícios, reduzindo a incidência de deterioração e aumentando a segurança alimentar (MESSTERMANN et al., 2018).

A oxidação de alimentos é um processo natural que leva à formação de radicais livres e compostos oxidativos, resultando em alterações na cor, sabor e textura dos produtos podendo gerar substâncias prejudiciais à saúde, como peróxidos lipídicos e compostos mutagênicos (SALACHNA et al., 2021). O óleo essencial de sucupira, graças aos seus constituintes antioxidantes, como o  $\alpha$ -pineno, apresenta propriedades eficazes na captura de radicais livres e inibição da oxidação (ALBERTI et al., 2014). Essa ação antioxidante pode auxiliar na preservação da qualidade dos alimentos, estendendo sua vida útil e melhorando a segurança do consumidor (BAG e CHATTOPADHYAY, 2015).

## 1.4 Combinação de óleos essenciais

Uma das estratégias utilizadas pela indústria alimentícia na busca por alternativas seguras e eficazes na preservação da qualidade e vida útil dos alimentos é a combinação de diferentes óleos essenciais. Uma estratégia promissora para garantir a segurança alimentar e a preservação dos produtos, minimizando o uso de conservantes sintéticos (NGUEFACK et al., 2012). Essa estratégia tem demonstrado bons resultados na prevenção do crescimento de fungos que deterioram os alimentos como na oxidação lipídica.

Estudos têm demonstrado que óleos essenciais, como o de sálvia, orégano, cravo, canela e manjeriço, possuem compostos bioativos, como o carvacrol, timol e eugenol, que exibem forte atividade antifúngicas. A combinação desses óleos essenciais pode levar a efeitos sinérgicos, amplificando a capacidade de inibição de fungos, além de reduzir o risco de desenvolvimento de resistência microbiana (PAULO et al., 2021).

O processo de oxidação é uma das principais causas de deterioração de alimentos, levando à perda de nutrientes, mudança de sabor, alteração de cor e formação de compostos tóxicos (SALACHNA et al., 2021). Os óleos essenciais contêm componentes antioxidantes, como os fenólicos e terpenos, que combatem os radicais livres responsáveis pela oxidação (BAG e CHATTOPADHYAY, 2015). A combinação do óleo essencial de sálvia e alecrim potencializa a ação antioxidante por interações que ocorrem principalmente entre os componentes e o  $\alpha$ -tocoferol (PAULO et al., 2021).

De acordo com Hyldgaard et al. (2012) a mistura de óleos essenciais pode gerar três resultados diferentes: sinérgico, aditivo ou antagônico. A sinergia ocorre quando a atividade biológica da mistura é maior que a soma dos componentes individuais. O efeito aditivo é obtido quando a combinação dos óleos essenciais tem efeito igual à soma dos compostos individuais. O antagonismo acontece quando a mistura dos compostos tem efeito combinado menor que quando aplicado separadamente.

## 1.5 Filmes biodegradáveis

Filmes biodegradáveis são produzidos a partir de matérias-primas que se degradam naturalmente por atividade biológica (ARAUJO et al., 2023). A categoria de biopolímeros abrange polímeros sintetizados a partir de recursos renováveis, como amido, celulose e proteínas. De acordo com a American Standard for Testing and Methods, polímeros biodegradáveis são materiais, sejam eles sintéticos ou naturais, cuja

degradação ocorre principalmente por ação de microrganismos, como fungos, bactérias e algas encontrados naturalmente, resultando na produção de dióxido de carbono, metano, componentes celulares e outros produtos (PAULO et al, 2021).

Os filmes biodegradáveis são produzidos utilizando uma variedade de polímeros, sendo os mais comuns os derivados de fontes naturais como amidos, celulose, gomas e pectinas (MOARAIIS et al., 2022). Existem também biopolímeros compostos por proteínas, como colágeno, caseínas, glúten e queratina. Essa diversidade de matérias-primas permite a produção de filmes biodegradáveis com propriedades diferentes, atendendo às necessidades específicas de diferentes aplicações industriais (AGARWAL, 2020).

Em muitos casos, os plastificantes são ingredientes essenciais na formulação de filmes à base de polissacarídeos e proteínas, esses materiais tendem a ser quebradiços e rígidos devido à forte interação entre suas cadeias poliméricas. Os plastificantes atuam inserindo-se entre as cadeias de polímeros e impedindo as interações polímero-polímero, tornando os filmes mais flexíveis e processáveis (ARAUJO et al., 2023). Entre os plastificantes incorporados em filmes à base de amido, estão os poliois, como o glicerol e o sorbitol (SUHAG et al., 2020). A eficácia dos plastificantes está relacionada a suas propriedades intrínsecas, como o tamanho molecular, formato, número de grupos hidroxila, espaçamento de átomos de oxigênio, capacidade de ligação à água, entre outros. Além disso, a compatibilidade do plastificante com o biopolímero é importante, pois influencia na distribuição e formação da estrutura tridimensional do filme (SABERI et al., 2017).

Os filmes biodegradáveis desempenham a mesma função dos filmes convencionais utilizados como embalagem, protegendo os alimentos contra agentes externos e proporcionando barreira contra a permeabilidade de água, gases e luz. Além disso, eles têm a capacidade de atuar como portadores de aditivos bioativos para a proteção dos alimentos que serão embalados, resultando em embalagens ativas que reduzem a necessidade de aplicar aditivos diretamente nos alimentos. Nesse contexto, o composto ativo é liberado de maneira controlada, permitindo que o alimento apresente vida útil prolongada (GOMEZ-ESTACA et al., 2009). Com essa abordagem, os filmes biodegradáveis oferecem uma solução mais sustentável e eficaz para a conservação dos alimentos, garantindo sua qualidade e segurança por um período prolongado (AGARWAL, 2020).

## 1.6 Amido

O amido é um polissacarídeo de fácil obtenção, manipulação simples, amplamente disponível, atóxico e de baixo custo. Pode ser extraído de uma variedade de fontes renováveis, como sementes, tubérculos, rizomas e bulbos, incluindo arroz, milho, batata, araruta, mandioca, entre outros (ZHANG et al., 2014).

Quimicamente o amido é formado por carbono, oxigênio e hidrogênio. Ele é constituído por uma combinação de diferentes biopolímeros, sendo os principais a amilose e a amilopectina (VILLAS BOAS e FRANCO, 2016). A amilose é composta por D-glicoses unidas por ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4, formando a estrutura linear, a amilopectina é um polímero ramificado com ligações  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6, que lhe confere maior massa molecular. A proporção desses componentes nas estruturas dos grânulos de amido varia, resultando em diferentes propriedades do amido (WANG, et al. 2017).

As proporções de amilose e amilopectina influenciam nas propriedades dos filmes, uma vez que a quantidade de amilose e amilopectina está intimamente ligada aos processos de gelatinização e retrogradação do amido. Maior proporção de amilose induz maior sensibilidade a umidade afetando propriedades mecânicas e de barreira dos filmes, a amilopectina é mais densa e confere maior resistência a penetração de água (BASIAK et al., 2017).

## 1.7 Referências bibliográficas

BAG, A; CHATTOPADHYAY, R.R. Evaluation of synergistic antibacterial and antioxidante efficacy of essential oils of spices and herbs in combination. Plos One, v. 10, n. 7, p. 1-17, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3BzrdSh>.

SUHAG, S. Biodegradable polymers: presente opportunities and challenges in providing a microplastic-free environment. Macromolecular Chemistry and Physics, v. 221, n. 6, 2020. Disponível em: <https://shre.ink/97j5>

PAULO, A.F.S; BALAN, G.C.; SHIRAI, M.A. (2021). Óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare* L.) na produção de filmes ativos biodegradáveis. In Verruck, S. (Eds), Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos (pp. 430-443). Editora Científica Digital.

THINH, B.B.; et al. Chemical composition of essential oil and antioxidante activity of the essential oil and metanol extracts of *Knema globularia* (Lam.) Warb. from Vietnam. Natural Product Research, v. 37, n. 10, p. 1625-1631, 2022. Disponível em: <https://bit.ly/3Oula9f>.

HERNÁNDEZ, M.S.; LUDUEÑA, L.N.; FLORES, S.K. Citric acid, chitosan and orégano essential oil impact on physical and antimicrobial properties of cassava starch films. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, v. 5, n. 1, 2023. Disponível em: <https://shre.ink/9AED>

SHARMA, K.; GULERIA, S.; RAZDAN, V.K.; BABU, V. Synergistic antioxidant and antimicrobial activities of essential oils of some selected medicinal plants in combination and with synthetic compounds. *Industrial Crops e Products*, v. 154, p. 1-14, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3pRmoRG>.

ATARÉS, L., CHIRALT, A. Essential oil as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, v. 48, 2016. Disponível em: <https://shre.ink/9uel>

GHORBANI, A.; ESMAELIZADEH, M. Pharmacological properties of *Salvia officinalis* and its components. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, v. 7, p. 433-440, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3BynOmO>.

MESSTERMANN, A.; et al. Desenvolvimento e caracterização de membranas poliméricas incorporando óleo de sucupira (*Pterodon emarginatus* VOG.). *Cadernos de Graduação*, v. 5, n. 1, 2018. Disponível em: <https://shre.ink/9G4u>

BAZAN, J.R.; GEROMEL, M.R.; FAZIO, M.L.S. Ação de óleos essenciais cítricos sobre algumas bactérias. *Revista Interciência*, v.01, n. 04, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3qJTKjZ>.

ASLANI, Z.; et al. Effect of drought stress and inoculation treatments on nutrient uptake, essential oil and expression of genes related to monoterpenes in sage (*Salvia officinalis*). *Scientia Horticulturae*, v. 309, p. 1-13, 2023. Disponível em: <https://bit.ly/3WcxvB0>.

SALACHNA, P.; et al. Mushroom waste biomass alters the yield, total phenolic content, antioxidant activity and essential oil composition of *Tagetes patula* L. *Industrial Crops and Products*, v. 171, n. 01, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/2YXXO44>.

RUIZ-NAVAJAS, Y.; et al. In vitro antibacterial and antioxidant properties of chitosan edible films incorporated with *Thymus moroderi* or *Thymus piperella* essential oils. *Food Control*, v. 30, n. 7, 2013. Disponível em: <https://shre.ink/9uPF>

GRAND VIEW RESEARCH. Essential Oils Market Size, Share & Trends. 2020, 153 p. Disponível em: <https://shre.ink/9uPZ>

MIRANDA, C.A.S; et al. Óleos essenciais de folhas de diversas espécies: propriedades antioxidantes e antibacterianas no crescimento de espécies patogênicas. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 1, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/39YvCUT>

DELAMARE, A.P.L.; et al. Antibacterial activity of the essential oil of *Salvia officinalis* L. and *Salvia triloba* L. cultivated in South Brazil. Food Chemistry, v. 100, n. 1, 2007. Disponível em: <https://bit.ly/3blaM2n>

DAMMAK, I.; et al. Evaluation of antifungal and anti-ochratoxigenic activities of *Salvia officinalis*, *Lavandula dentata* and *Laurus nobilis* essential oils and a major monoterpene constituent 1,8-cineole against *Aspergillus carbonarius*. Industrial Crops and Products, v. 128, n. 01, 2019. Disponível em: <https://shre.ink/92Ps>

YASUJ, S.F.M.; NAJAFIAN, S.; HOSSEINIFARAH, M. Comparison monoterpene and sesquiterpene, herbage yield of *Satureja hortensis*, *Thymus vulgaris* and *Salvia officinalis* from the Fars province of Iran. Natural Product Research, v. 27, n. 16, 2022. Disponível em: <https://shre.ink/92VU>

VOSOUGHI, N.; et al. Essential oil composition and total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis* L.) extract under chitosan application and irrigation frequencies. Industrial Crops and Products, v. 117, 2018. Disponível em: <https://shre.ink/lcHg>

OLIVEIRA, A.E.M.F.M.; et al. Essential oil from *Pterodon emarginatus* as a promising natural raw material for larvicidal nanoemulsions against a tropical disease vector. Sustainable Chemistry and Pharmacy, v. 6, p. 1-9, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3Ml17rl>.

MA; B.X.; et al. Antifungal activity of *Ziziphora clinopodioides* Lam. essential oil against *Sclerotinia sclerotiorum* on rapeseed plants (*Brassica campestris* L.) Crop Protection, v.89, n.01, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3CAN4an>.

DUROVIC, S.; et al. The effect of various extraction techniques on the quality of sage (*Salvia officinalis* L.) essential oil, expressed by chemical composition, thermal properties and biological activity. Food Chemistry, v. 13, n. 1, 2022. Disponível em: <https://bit.ly/39bqP24>.

SILVA, I.D.; et al. Efeito do extrato de sucupira (*Pterodon emarginatus* Vog.) sobre o desenvolvimento de fungos e bactérias fitopatogênicos. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 35, n. 2, 2005. Disponível em: <https://bit.ly/3OvIT6f>

LUCAS, E.M.F.; et al. Influence of chemical profile on the efficacy of solutions of pomegranate and sucupira – populary used in antifungal phytopharmaceutical. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 8, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3LhANME>.

MESSTERMANN, A.; et al. Desenvolvimento e caracterização de membranas poliméricas incorporando óleo de sucupira (*Pterodon emarginatus* VOG.). Cadernos de Graduação, v. 5, n. 1, 2018. Disponível em: <https://shre.ink/9G4u>

ALBERTI, T.B.; et al. Essential oil from *Pterodon emarginatus* seed ameliorates experimental autoimmune encephalomyelitis by modulating Th1/Treg cell balance. Journal of Ethnopharmacology, v. 155, n. 1, 2014. Disponível em: <https://shre.ink/929H>

NGUEFACK, J.; et al. Synergistic action between fractions of essential oils from *Cymbopogon citratus*, *Ocimum gratissimum* and *Thymus vulgaris* against *Penicillium expansum*. Food Control, v. 23, n. 1, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/3A19JKj>

ARAUJO, M.N.P.; et al. Active packaging of corn starch with pectin extract and essential oil of *Turmeric longa* Linn: preparation, characterization and application in sliced bread. International Journal of Biological Macromolecules, v. 226, n. 1, 2023. Disponível em: <https://shre.ink/9SrT>

MORAIS, A.C.L.; et al. Development of biodegradable films of poly(lactic acid) and isolated soy protein produced by flat extrusion. Revista Materia, v. 27, n. 1, 2022. Disponível em: <https://shre.ink/92IR>

GOMEZ-ESTACA, J.; et al. Physical and chemical properties of tuna-skin and bovine-hide gelatina films with added aqueous oregano and Rosemary extracts. Food Hydro, v.23, n. 1, 2009. Disponível em: <https://shre.ink/92ZT>

ZHANG, Y.; REMPEL, C.; LIU, Q. Thermoplastic starch processing and characteristics – a review. Food Science and Nutrition, v. 54, n. 1, 214. Disponível em: <https://shre.ink/92MQ>

VILLAS-BOAS, F.; FRANCO, C. M. L. Effect of bacterial  $\beta$ -amylase and fungal  $\alpha$ -amylase on the digestibility and structural characteristics of potato and arrowroot starches. Food Hydrocolloids, v. 52, v. 1, 2016. Disponível em: <https://shre.ink/92YR>

WANG, K.; et al. Mechanical properties and solubility in water of corn starch-collagen composite films: Effect of starch type and concentrations. Food Chemistry, v. 216, v. 1, 2017. Disponível em: <https://shre.ink/92Yr>

BASIAK, E.; LENART, A.; DEBEAUFORT, F. Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. International Journal of Biological Macromolecules, v. 98, n. 1, 2017. Disponível em: <https://shre.ink/924C>

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Desenvolver filmes biodegradáveis à base de fécula de mandioca, incorporados com óleos essenciais de sálvia, sucupira e a combinação entre eles, caracterizando fisicamente e avaliando suas propriedades mecânicas.

### 2.2 Objetivos específicos

- Produzir filmes à base de fécula de mandioca incorporado com óleos essenciais de sálvia, sucupira e a combinação entre eles;
- Caracterizar quimicamente a composição química dos óleos essenciais de sálvia e sucupira;
- Avaliar as atividades antioxidante e antifúngica do óleo essencial de sálvia, sucupira e da combinação entre eles;
- Caracterizar fisicamente os filmes biodegradáveis após incorporação dos óleos essenciais de sálvia, sucupira e MIX;
- Avaliar a interferência dos óleos essenciais nas propriedades mecânicas dos filmes biodegradáveis.



### **3. CAPÍTULO I: Filmes biodegradáveis incorporados com óleos essenciais de plantas medicinais: caracterização física e propriedades mecânicas**

**(Normas de acordo com o Boletim do Museu Integrado de Roraima)**

**RESUMO:** O desafio enfrentado pela sociedade atualmente é o acúmulo de lixo plástico no ambiente, decorrente da grande estabilidade dos polímeros, que se desintegram em microplásticos, tornando-se um tema preocupante para produtos de curta duração. Como alternativa, tem-se estudado o uso de filmes biodegradáveis feitos de materiais orgânicos, como o amido de mandioca, e incorporados com óleos essenciais de plantas aromáticas para melhorar suas propriedades químicas e mecânicas, buscando a conservação de alimentos e rápida degradação no ambiente. O objetivo deste estudo foi produzir filmes biodegradáveis com fécula de mandioca incorporado com óleos essenciais de sálvia (OESO), sucupira (OEPE) e a combinação entre eles (MIX), avaliando suas propriedades mecânicas e caracterização física. Os óleos essenciais foram extraídos por hidrodestilação e incorporados a solução filmogênica de fécula de mandioca nas concentrações de 300, 150, 75, 37,5 e 18,75  $\mu\text{L L}^{-1}$ . As análises macroscópicas, de espessura e propriedades mecânicas dos filmes foram avaliadas usando metodologias específicas. A análise química do OESO e OEPE revelou a presença de 24 compostos distintos, o OESO foi composto principalmente por cânfora, eucaliptol e isoborneol enquanto para o OEPE os compostos majoritários foram o germacreno-D,  $\beta$ -cariofileno, e  $\beta$ -elemeno. A incorporação dos óleos essenciais em filmes biodegradáveis de fécula de mandioca não afetou suas propriedades macroscópicas, como continuidade, homogeneidade e

flexibilidade, a exceção da concentração de 300  $\mu\text{L L}^{-1}$ , que causou a exclusão desta concentração nos testes subsequentes. A resistência à tração e a resistência a perfuração dos filmes foi influenciada pelo aumento das concentrações de óleo essencial adicionadas, diferente da elongação que não sofreu alterações significativas.

**Palavras-chave:** Filmes biodegradáveis; propriedades mecânicas, compostos bioativos.

**ABSTRACT:** The challenge faced by society today is the accumulation of plastic waste in the environment, due to the great stability of polymers, which disintegrate into microplastics, becoming a worrying issue for short-lived products. As an alternative, the use of biodegradable films made from organic materials, such as cassava starch, and incorporated with essential oils from aromatic plants has been studied to improve their chemical and mechanical properties, seeking to preserve food and rapidly degrade it in the environment. The objective of this study was to produce biodegradable films with cassava starch incorporated with essential oils of sage (OESO), sucupira (OEPE) and the combination between them (MIX), evaluating their mechanical properties and physical characterization. The essential oils were extracted by hydrodistillation and incorporated into the cassava starch filmogenic solution at concentrations of 300, 150, 75, 37.5 and 18.75  $\mu\text{L L}^{-1}$ . The macroscopic analysis, thickness and mechanical properties of the films were evaluated using specific methodologies. The chemical analysis of OESO and OEPE revealed the presence of 24 distinct compounds, OESO was mainly composed of camphor, eucalyptol and isoborneol while for OEPE the major compounds were germacrene-D,  $\beta$ -caryophyllene, and  $\beta$ -elemene. The essential oils incorporation in biodegradable cassava starch films did not affect their macroscopic properties, such as continuity, homogeneity and flexibility, with the exception of the 300  $\mu\text{L L}^{-1}$  concentration which caused its exclusion in subsequent tests. The tensile strength and the puncture resistance of the films was influenced by the increase in the added essential oil concentrations, different from the elongation that did not suffer significant changes.

**Keywords:** Biodegradable films; mechanical properties, bioactive compounds.

### 3.1. INTRODUÇÃO

Um desafio enfrentado pela sociedade atualmente é a grande estabilidade de polímeros contra fatores ambientais, produtos químicos, microrganismos e hidrólise, que acumulam no ambiente em grandes quantidades de lixo plástico (AGARWAL, 2020). Esses polímeros desintegram-se no ambiente em microplásticos, um tema de grande preocupação para produtos e aplicações que utilizam o plástico por curto período antes de se tornarem resíduos (ARAUJO et al., 2023). A crescente preocupação com a poluição ambiental e os impactos negativos dos materiais plásticos têm impulsionado a busca por alternativas sustentáveis na área de embalagens e revestimentos (SRIPAHCO et al., 2023).

O uso de polímeros biodegradáveis é uma opção promissora com relação a sustentabilidade ambiental, aceitabilidade e degradabilidade no ambiente natural (AGARWAL, 2020). Os filmes biodegradáveis são películas de pouca espessura preparados a partir de materiais orgânicos que agem como barreiras a elementos externos e protegem os produtos embalados de danos físicos e biológicos, podendo aumentar o seu tempo de prateleira (SOUSA et al., 2021). Um exemplo de material orgânico utilizado para produção de filmes biodegradáveis é a fécula de mandioca, considerado um polímero promissor para aplicação em embalagens biodegradáveis por causa do seu baixo custo e abundância (SUEIRO et al., 2016).

A produção, caracterização e aplicação de embalagens que utilizam a fécula de mandioca como matriz têm sido estudadas com resultados positivos e aplicações variadas (SELIGRA et al., 2016). A fécula de mandioca apresenta temperatura de gelatinização entre 58 e 85°C, capacidade de formação de pasta e cristalinidade (dependente da proporção de amilose e amilopectina) (KOESTER et al., 2023). Uma possibilidade com os filmes biodegradáveis é a incorporação de agentes funcionais como antioxidantes e antifúngicos em sua estrutura para controlar sua liberação e consequente, atuar como barreira aos fatores de deterioração (HERNANDEZ et al., 2023).

Os óleos essenciais (OE) extraídos de plantas aromáticas são caracterizados como líquidos viscosos e possuidores de compostos voláteis complexos de amplo espectro contra vários agentes patogênicos (SRIPAHCO et al., 2023). Devido a suas características os OE têm sido incorporados aos filmes biodegradáveis para melhorar suas propriedades químicas e mecânicas, sendo considerados aditivos seguros em embalagens alimentícias (DAI et al., 2018).

O óleo essencial de *Salvia officinalis* é um aditivo alimentar natural, classificado como “geralmente reconhecido como seguro” (GRAS), possui natureza

hidrofóbica e importantes propriedades antifúngicas e antioxidantes graças a presença de compostos fenólicos nos seus grupos bioativos (HERNANDEZ et al., 2023). Alguns trabalhos relatam a utilização de extratos e óleos essenciais de *Salvia officinalis* como aditivos em filmes biodegradáveis na conservação de alimentos como manteiga, frutas cítricas, carnes e pães (KOESTER et al., 2023; GOMES et al., 2021; AKCAN et al., 2017).

*Pterodon emraginatus* é uma espécie vegetal comum no Cerrado brasileiro, utilizada como planta medicinal por comunidades tradicionais no tratamento de reumatismo, inflamações e como analgésico (TONELLI et al, 2018). O óleo essencial pode ser extraído de diversas partes como folhas, frutos e sementes e é rico em  $\alpha$ -copaeno,  $\beta$ -elemeno e Germacreno-D que possuem atividades descritas como antioxidante, antimicrobiana e antitumoral (MESSTERMANN et al, 2018).

O desafio atual é encontrar formulações adequadas de filmes biodegradáveis que forneçam proteção mecânica e interajam de forma desejável com os agentes funcionais antifúngicos e antioxidantes a fim de atuar na conservação de alimentos, aumento do tempo de prateleira e possuir rápida degradação no ambiente, mitigando de forma significativa a problemática relacionada ao acúmulo de lixo plástico (GOMES et al., 2021). Neste contexto, o objetivo deste estudo foi produzir filmes biodegradáveis com fécula de mandioca incorporado com óleos essenciais de sálvia, sucupira e a combinação entre eles, avaliando suas propriedades mecânicas e a caracterização física.

## 3.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1. Extração e caracterização dos óleos essenciais

Para extração dos óleos essenciais foram utilizadas folhas secas de sálvia e sementes de sucupira. Após ser triturado o material vegetal foi submetido a hidrodestilação em aparelho de Clevenger pelo período de 2,5 horas. O hidrolato obtido foi submetido a partição líquido-líquido em funil de separação, com diclorometano. As frações orgânicas foram secas com sulfato de sódio anidro. O sal foi removido por filtração simples e o solvente evaporado a temperatura ambiente em capela de exaustão de gases, obtendo-se o OE purificado.

A identificação da composição química ocorreu por CG-MS (QP-2010, Shimadzu Co., Kyoto, Japão) e separados em coluna DB5 (30m x 0,25mm x 0,25mm) com gás hélio. A temperatura foi ajustada a 80°C por 2 min e, em seguida, aumentou a

taxa de 10°C/min até a temperatura final de 280°C quando foi mantida por 5 minutos antes do resfriamento. A temperatura do aquecedor auxiliar foi mantida em 280°C. Os constituintes do óleo essencial foram quantificados e identificados comparando seus tempos de retenção e fragmentação de massa padrão com os armazenados no banco de dados do espectrômetro (NIST05.LIB e NIST05s.LIB) e com dados da literatura (ADAMS, 2007).

### 3.2.2 Preparo e produção dos filmes biodegradáveis

Os filmes biodegradáveis foram produzidos à base de fécula de mandioca. Esta foi adicionada na concentração para obter 5 % (m/v) de fécula no filme após a adição dos OE's. A fécula foi adicionada à água e a solução foi aquecida e gelatinizada a 70-°C. O gel formado foi resfriado e ao atingir 45-°C foi adicionado o glicerol na proporção 0,025 g de glicerol g<sup>-1</sup> de fécula. Prosseguiu-se o resfriamento até 30 °C e o OESO, OEPE e MIX foram adicionados nas concentrações de 300; 150; 75; 37,5 e 18,75 µL L<sup>-1</sup>. Para formação do filme, foram transferidos 20 mL de solução filmogênica às placas de poliestireno e secos a temperatura ambiente por 24 horas. Os tratamentos controle foram elaborados seguindo os mesmos procedimentos descrito acima, porém aos filmes não foram adicionados os OE's.

### 3.2.3 Avaliação macroscópica

Os filmes biodegradáveis foram submetidos a análises macroscópicas para avaliar: presença de bolhas, continuidade (ausência de rupturas e fraturas após a secagem), homogeneidade (ausência de partículas insolúveis ou visíveis a olho nu, ou zonas de opacidade ou de cores diferenciadas), manuseabilidade (possibilidade de ser manuseado sem riscos de ruptura), flexibilidade (capacidade da membrana de fazer dobras até quebrar) e a capacidade de formação de uma película contínua. A cada parâmetro foi atribuído escore que variou entre 0, +, ++ e +++, sendo classificados como não observado, deficiente, boa e excelente, respectivamente. Metodologia semelhante foi utilizada por Messtermann et al. (2018).

### 3.2.4 Espessura

A espessura dos filmes biodegradáveis foi determinada com base em protocolos do Laboratório Multiusuários (LabMulti) da Universidade Federal de Goiás

(UFG). Foi utilizado um paquímetro digital, com precisão de 0,01mm, para medição da espessura, em cinco pontos diferentes. As medidas foram realizadas em amostras de todos os tratamentos utilizados.

### 3.2.5 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas dos filmes biodegradáveis foram avaliadas pelos ensaios de tração utilizando um Instron 3367 Grove e perfuração em texturômetro Texture Analyser Surrey.

Para o ensaio de tração os corpos de prova foram preparados em tiras de 120x25 mm e ajustados às garras de tração do equipamento a distância inicial de 50mm e tracionadas com a velocidade de 0,8 mm s<sup>-1</sup>. As propriedades determinadas foram resistência máxima à tração na ruptura (Mpa) e alongação (%). Foram analisadas 5 amostras de cada tratamento.

Para os testes de perfuração as amostras foram cortadas em discos com 5cm de diâmetro, fixadas ao probe e perfuradas com sonda que se deslocou a 0,21 mm/s até a perfuração dos filmes biodegradáveis, avaliando a força máxima na ruptura do filme. Foram analisadas 5 amostras de cada tratamento.

### 3.2.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e as diferenças entre os tratamentos avaliados pelo teste de médias Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do programa SISVAR, versão 5,6.

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3.1. Composição química dos óleos essenciais

As análises por CG-MS dos óleos essenciais de *Salvia officinalis* (OESO) e de *Pterodon emarginatus* (OEPE) revelaram a presença de 24 compostos distintos, sendo 22 identificados para o primeiro óleo e 21 para o segundo (Tabela 1). Esses compostos correspondem a aproximadamente 92% e 88% dos constituintes químicos identificados, respectivamente.

**Tabela 1:** Composição química dos OESO e OEPE isolados por hidrodestilação

COMPOSTO	IR	ÁREA RELATIVA (%) OESO	ÁREA RELATIVA (%) OEPE
----------	----	---------------------------	---------------------------

$\alpha$ -Pineno	939	0.27	
Canfeno	953	0.39	
$\beta$ -Pineno	980	0.55	
$\beta$ -Mirceno	991	0.13	
Limoneno	1031		2,87
Eucaliptol	1033	27.49	
$\gamma$ -Terpineno	1062		0,11
Linalol	1098	0.40	
Tujona	1102	1.78	
$\beta$ -Tujeno	1114	0.96	
Cânfora	1143	33.77	
cis-Pinocanfene	1162	0.74	
Isoborneol	1163	9.25	
4-Terpineol	1177	2.07	
$\alpha$ -Terpineol	1185	6.94	
Mirtenol	1194	0.93	
Bergamiol	1257	0.29	
Acetato de bornila	1285	2.35	
$\alpha$ -Cubebeno	1351		0,27
Acetato de terpinila	1352	6.59	
$\alpha$ -Copaeno	1376		3,19
$\beta$ -Elemeno	1391		15,49
$\beta$ -cariofileno	1428	2.03	18,66
$\alpha$ -Humuleno	1454	0.63	4,74
Aloaromadendreno	1461		1,73
$\gamma$ -Muruleno	1477		0,66
Germacreno-D	1480		26,93
$\beta$ -Selineno	1485		0,29
Elixeno	1492		9,41
$\alpha$ -Bulneseno	1505		0,76
$\gamma$ -Cadineno	1513		1,11
$\delta$ -Cadineno	1524		4,44
Germacreno-D 4-ol	1574		2,41
Espatuleno	1575	0.54	1,95
Óxido de Cariofileno	1581	1.22	1,54
Epiglobulol	1588	0.69	
$\tau$ -Cadinol	1640		1,03
$\alpha$ -Cadinol	1653		1,09
Farnesol	1722		0.40
TOTAL			98,87

IR: Índice de Retenção; OEPE: óleo essencial *Pterodon emarginatus*; OESO: óleo essencial *Salvia officinalis*.

Tanto o OEPE quanto o OESO são compostos por uma mistura complexa de monoterpenos, monoterpenos oxigenados, sesquiterpenos e sesquiterpenos oxigenados. Essa diversidade de substâncias pode ser influenciada por diversas condições ambientais presentes no local de coleta, como clima, localização geográfica, fatores sazonais e estágios de desenvolvimento das espécies (MA et al., 2016). Segundo Xavier et al. (2016), compostos que representam mais de 8% da área total são considerados majoritários. O OEPE apresentou como constituintes majoritários o Germacreno-D (26,93%), o  $\beta$ -

cariofileno (18,66%),  $\beta$ -elemeno (15,49) e o Elixeno (9,41%). Já o OESO teve a Cânfora (33,77%), o eucaliptol (27,49%) e o isoborneol (9,25%) como constituintes majoritários.

### 3.3.2. Avaliação macroscópica

Através da observação visual foi possível categorizar os filmes biodegradáveis quanto a continuidade, homogeneidade, flexibilidade, manuseabilidade e a formação de película contínua, como demonstrado na Tabela 2.

**Tabela 2:** Avaliação macroscópica dos filmes biodegradáveis incorporados com OESO, OEPE e MIX

	Bolhas	Flexibilidade	Homogeneidade	Continuidade	Transparência
<b>OESO</b>					
300	0	0	0	0	+++
150	0	+++	+++	+++	+++
75	+	+++	+++	+++	+++
37,5	0	+++	+++	+++	+++
18,75	0	+++	+++	+++	+++
0	0	+++	+++	+++	+++
<b>OEPE</b>					
300	0	0	0	0	+++
150	0	+++	+++	+++	+++
75	0	+++	+++	+++	+++
37,5	0	+++	+++	+++	+++
18,75	0	+++	+++	+++	+++
<b>MIX</b>					
300	0	0	0	0	+++
150	0	+++	+++	+++	+++
75	0	+++	+++	+++	+++
37,5	0	+++	+++	+++	+++
18,75	0	+++	+++	+++	+++

0, +, ++, +++, sendo classificados como não observado, deficiente, boa e excelente. OESO: óleo essencial de *Salvia officinalis*, OEPE: óleo essencial de *Pterodon emarginatus*.

De forma geral, os tratamentos não interferiram na formação dos filmes com exceção da concentração de 300  $\mu\text{L L}^{-1}$  em todos os OE testados, causando a exclusão desta concentração nos testes subsequentes. Na concentração de 300  $\mu\text{L L}^{-1}$  os filmes apresentavam-se quebradiços, não eram contínuos e não possuíam flexibilidade.

As propriedades mecânicas de filmes biodegradáveis dependem do polímero utilizado, da interação entre o polímero e os aditivos utilizados e do processamento ao qual o material foi submetido (MONTES et al., 2015). Uma proporção inadequada entre o polímero e os óleos essenciais na formulação do filme biodegradável também pode causar fragilidade. Se a quantidade da fécula de mandioca for baixa em relação aos OE's



a estrutura do filme poderá não ser suficientemente forte para manter a sua integridade (SANTOS et al., 2022).

### 3.3.3. Espessura

A espessura dos filmes apresentou variação de 0,131 a 0,142 mm (Tabela 3). A concentração de OE não influenciou essa característica dos filmes, uma vez que a quantidade de sólidos permaneceu constante em todas as formulações, resultando na adição de uma quantidade igual de sólido em cada placa. Sripahco et al. (2023) relatam que também não encontraram grandes variações na espessura de filmes biodegradáveis incorporados com óleos essenciais, entretanto salientam que essa característica pode ser alterada com a adição de grandes concentrações de óleos essenciais, afetando as propriedades características pela interação entre o óleo essencial e a matriz. Quanto mais uniforme forem os filmes biodegradáveis mais confiáveis serão os resultados das análises subsequentes. A espessura pode ter influência sobre as propriedades mecânicas (resistência a tração e perfuração) podendo comprometer seu desempenho (SILVA et al., 2019).

**Tabela 3:** Espessura (em mm) dos filmes biodegradáveis incorporados com óleos essenciais

	FILME + OESO	FILME + OEPE	FILME + MIX
150	0,134 <sup>a</sup>	0,131 <sup>a</sup>	0,142 <sup>a</sup>
75	0,132 <sup>a</sup>	0,142 <sup>a</sup>	0,138 <sup>a</sup>
37,5	0,138 <sup>a</sup>	0,138 <sup>a</sup>	0,139 <sup>a</sup>
18,75	0,141 <sup>a</sup>	0,140 <sup>a</sup>	0,138 <sup>a</sup>
0		0,138 <sup>a</sup>	

OESO: óleo essencial de *Salvia officinalis*, OEPE: óleo essencial de *Pterodon emarginatus*

### 3.3.4. Propriedades mecânicas

#### 3.3.4.1. Tração e alongação

A tração de filmes biodegradáveis expressa a resistência do material ao alongamento e ao rompimento, a alongação representa a variação máxima antes da ruptura. Esses parâmetros são utilizados para associar algumas propriedades mecânicas às estruturas químicas dos materiais (SANTOS et al., 2023). Diversos fatores podem afetar as propriedades mecânicas dos filmes biodegradáveis como condições de secagem, interações entre os componentes e os parâmetros utilizados para associar certas propriedades mecânicas às estruturas (OTONI et al., 2014).

A partir dos parâmetros analisados no teste de tração (Tabela 4), é possível perceber que a adição de diferentes concentrações do OESO e MIX influenciaram na resistência a ruptura do filme enquanto na alongação a variação não foi significativa. No parâmetro RTM os filmes biodegradáveis de fécula de mandioca incorporados com óleos essenciais assumiram valores entre 1,137 e 1,684 Mpa, 0,784 a 1,479 Mpa e 1,122 a 1,469 Mpa, para OESO, OEPE e MIX, respectivamente. Já no parâmetro E os valores encontrados ficaram entre 4,328 a 4,412, 3,790 a 4,808 e 4,321 a 4,588 para OESO, OEPE e MIX.

**Tabela 4:** Propriedades mecânicas dos filmes biodegradáveis incorporados com óleos essenciais

	FILME + OESO		FILME + OEPE		FILME + MIX	
	RMT(Mpa)	E (%)	RMT(Mpa)	E (%)	RMT(Mpa)	E (%)
150	1,684±0,28 <sup>a</sup>	4,328±0,448 <sup>a</sup>	1,163±0,29 <sup>a</sup>	4,556±0,449 <sup>a</sup>	1,469±0,25 <sup>a</sup>	4,588±0,398 <sup>a</sup>
75	1,312±0,25 <sup>ab</sup>	4,402±0,426 <sup>a</sup>	0,784±0,26 <sup>a</sup>	4,808±0,415 <sup>a</sup>	1,135±0,26 <sup>b</sup>	4,321±0,402 <sup>a</sup>
37,5	1,137±0,23 <sup>b</sup>	4,389±0,481 <sup>a</sup>	1,144±0,24 <sup>a</sup>	3,790±0,399 <sup>a</sup>	1,122±0,23 <sup>b</sup>	4,400±0,462 <sup>a</sup>
18,75	1,189±0,22 <sup>b</sup>	4,412±0,501 <sup>a</sup>	1,479±0,35 <sup>a</sup>	4,351±0,439 <sup>a</sup>	1,201±0,25 <sup>b</sup>	4,355±0,424 <sup>a</sup>
0	1,222±0,241 <sup>b</sup>				4,780±0,547 <sup>a</sup>	

OESO: óleo essencial de *Salvia officinalis*, OEPE: óleo essencial de *Pterodon emarginatus*, RTM: resistência máxima a tração na ruptura, E: alongação.

Alguns trabalhos relatam resultados semelhantes, a adição de OE ou de compostos secundários presentes nos OE's a filmes biodegradáveis interferem na resistência a tração e não parece ter tanta influência sobre a alongação. Otoni et al. (2014) avaliaram a adição de óleo essencial de canela e cinamaldeído a filmes biodegradáveis de pectina de maçã e observaram aumento na resistência a tração. Isso também foi observado por Du et al. (2017) ao incorporar carvacrol (presente no óleo essencial de orégano) a filmes biodegradáveis de tomate. Em ambos os trabalhos não foram observadas variações na alongação dos filmes.

A incorporação de OESO e MIX, na concentração de 150  $\mu\text{L L}^{-1}$  promoveu variações significativas na RTM, porém em concentrações menores a variação não foi significativa. O aumento na RTM suportada pelos filmes pode estar relacionada a interação entre as cadeias do polímero e os componentes do OE, resultando em uma estrutura mais resistente a tração (DU et al., 2017; OTONIEL et al., 2014).

Embora tenha ocorrido variações significativas na RTM dos filmes biodegradáveis incorporados com OESO e MIX, variações estatisticamente diferentes na alongação não foram observadas. Nem sempre variações na resistência a tração são acompanhadas de variação na alongação (SILVA et al., 2019). Em muitos casos as

interações entre os polímeros e os componentes do OE são suficientes para tornar os filmes biodegradáveis mais resistentes e rígidos, mas não facilitam e nem dificultam o movimento das cadeias, não alterando a elongação (MELO, 2014).

### 3.3.4.2. Resistência a perfuração

A resistência a perfuração é uma propriedade que mede a capacidade do filme biodegradável em resistir a perfuração ou penetração por objetos pontiagudos ou forças mecânicas. Na análise de resistência a perfuração dos filmes biodegradáveis incorporados com óleos essenciais foi observado que houve diferença significativa. A concentração de 18,75  $\mu\text{L L}^{-1}$  diferiu significativamente do controle. A diminuição da concentração de OE promoveu a redução nos valores de força máxima aplicada na ruptura tanto para o OESO, OEPE e MIX (Tabela 5).

**Tabela 5:** Valores de análise de perfuração dos filmes (N)

	FILME + OESO	FILME + OEPE	FILME + MIX
150	5,5679 $\pm$ 0,2659 <sup>a</sup>	5,3534 $\pm$ 0,6551 <sup>a</sup>	5,3897 $\pm$ 0,4265 <sup>a</sup>
75	4,2112 $\pm$ 0,3654 <sup>ab</sup>	4,6209 $\pm$ 0,3748 <sup>ab</sup>	5,0213 $\pm$ 0,3164 <sup>a</sup>
37,5	3,9874 $\pm$ 0,4625 <sup>ab</sup>	4,7906 $\pm$ 0,4584 <sup>ab</sup>	4,6357 $\pm$ 0,3561 <sup>ab</sup>
18,75	3,3325 $\pm$ 0,2154 <sup>b</sup>	3,5749 $\pm$ 0,3099 <sup>b</sup>	3,1236 $\pm$ 0,4215 <sup>b</sup>
0	5,7698 $\pm$ 0,5542 <sup>a</sup>		

OESO: óleo essencial de *Salvia officinalis*, OEPE: óleo essencial de *Pterodon emarginatus*. Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si ( $p > 0,05$ )

A adição de OESO, OEPE e MIX elevou os valores de resistência a perfuração indicando que estes proporcionaram filmes mais resistentes a perfuração, esses resultados corroboram com as análises de espessura apresentados anteriormente, filmes biodegradáveis mais homogêneos tendem a ser mais resistentes (GALINDO et al., 2019). Resultados semelhantes foram encontrados por Araujo et al. (2015), a resistência a perfuração de filmes biodegradáveis de fécula de mandioca aumentou com o aumento da concentração de extrato etanólico de própolis.

## 3.4. CONCLUSÃO

Os filmes biodegradáveis de fécula de mandioca incorporados com OESO, OEPE e MIX são alternativas promissoras no mercado de embalagens bioativas. A adição dos OE's não interferiu na formação dos filmes, com exceção da concentração de 300  $\mu\text{L L}^{-1}$ , nas demais concentrações parâmetros como flexibilidade, homogeneidade,

continuidade e transparência foram preservados. A espessura dos filmes não sofreu interferência com as diferentes concentrações dos óleos essenciais, a quantidade de sólidos utilizados no preparo do filme foi o responsável pela manutenção da espessura. A resistência máxima a tração na ruptura dos filmes sofreu influência com a concentração do OE incorporado, a resistência a tração foi maior nos filmes incorporados com OESO e MIX nas concentrações de 150 e 75  $\mu\text{L L}^{-1}$ , a resistência a perfuração foi menor na concentração de 18,75  $\mu\text{L L}^{-1}$  com todos os óleos essenciais analisados e a elongação não apresentou modificações com a adição dos OE's.

### 3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, R.P. (2007). Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. Allured Publishing Corporation.
- AGARWAL, S. Biodegradable polymers: presente opportunities and challenges in providing a microplastic-free environment. *Macromolecular Chemistry and Physics*, v. 221, n. 6, 2020. Disponível em: <https://shre.ink/97j5>
- AKCAN, T.; ESTÉVEZ, M.; SERDAROGLU, M. Antioxidant protection of cooked meatballs during frozen storage by whey protein edible films with phytochemicals from *Laurus nobilis* L. and *Salvia officinalis*. *Food Science and Technology*, v. 77, n. 1, 2017. Disponível em: <https://shre.ink/9mOY>
- ARAUJO, G.K.P.; et al. Physical, antimicrobial and antioxidante properties of starch-based film containing ethanolic própolis extract. *Food Science Technology*, v. 50. N. 9, 2015. Disponível em: <https://shre.ink/9t7T>
- ARAUJO, M.N.P.; et al. Active packaging of corn starch with pectin extract and essential oil of *Turmeric longa* Linn: preparation, characterization and application in sliced bread. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 226, n. 1, 2023. Disponível em: <https://shre.ink/9SrT>
- DAI, H; et al. Utilization of pineapple peel for production of nanocellulose and film application. *Cellulose*, v. 25, n. 1, 2018. Disponível em: <https://shre.ink/9AXB>
- DU, W.X.; et al. Antibacterial activity against *E. coli* O157:H7, physical properties, and storage stability of novel carvacrol-containing edible tomato films. *Food Microbiology and Safety*, v. 73, n. 7, 2017.

- GALINDO, M.V.; et al. Atividade antimicrobiana e antioxidante de filmes comestíveis de gelatina e quitosana adicionados de óleos essenciais. *Segurança Alimentar e Nutricional*, v. 26, n. 1, 2019. Disponível em: <https://shre.ink/9trf>
- GOMES, B.A.F.; et al. Effect of biodegradable film with of rosemary and sage extracts on oxidative stability of stick butter. *ForScience*, v. 9, n. 2, 2021. Disponível em: <https://shre.ink/9A64>
- HERNÁNDEZ, M.S.; LUDUEÑA, L.N.; FLORES, S.K. Citric acid, chitosan and orégano essential oil impacto physical and antimicrobial properties of cassava starch films. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, v. 5, n. 1, 2023. Disponível em: <https://shre.ink/9AED>
- KOESTER, D.L.; et al. Materiais biodegradáveis para embalagens de alimentos. *Revista Interdisciplinar em Desenvolvimento Sustentável*, v. 1, n. 1, 2023. Disponível em: <https://shre.ink/97Ik>
- MA; B.X.; et al. Antifungal activity of *Ziziphora clinopodioides* Lam. essential oil against *Sclerotinia sclerotiorum* on rapeseed plants (*Brassica campestris* L.) *Crop Protection*, v.89, n.01, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3CAN4an>.
- MELO, A.A.M. Efeito de filme ativo incorporado com óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) na conservação de carne de frango resfriada. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2014.
- MESSTERMANN, A.; et al. Desenvolvimento e caracterização de membranas poliméricas incorporando óleo de sucupira (*Pterodon emarginatus* VOG.). *Cadernos de Graduação*, v. 5, n. 1, 2018. Disponível em: <https://shre.ink/9G4u>
- MONTES, S.S.; SANTANA NETA, L.G.; CRUZ, R.S. Óleos essenciais em embalagens para alimentos – revisão de literatura de 2000 a 2012. *Perspectivas da Ciência e Tecnologia*, v. 5, n. 12, 2015. Disponível em: <https://shre.ink/9c4B>
- OTONI, C.G.; et al. Antimicrobial and physical-mechanical properties of pectin/papaya puree/cinnamaldehyde nanoemulsion edible composite films. *Food Hydrocolloids*, v. 41, n. 1, 2014. Disponível em: <https://shre.ink/9i2b>
- SANTOS, B.; et al. Biodegradabilidade de filmes baseados em biopolímero e óleo essencial de erva-doce. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 10, 2022. Disponível em: <https://shre.ink/9DrJ>

- SANTOS, B.; et al. Characterizations of sustainable films for use as primary packaging based on natural polymer and fennel essential oil. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 3, 2023. Disponível em: <https://shre.ink/9iO2>
- SELIGRA, P.G.; et al. Biodegradable and non-retrogradable eco-films based on starch-glycerol with citric acid as crosslinking agent. *Carbohydrate Polymers*, v. 138, n. 1, 2016. Disponível em: <https://shre.ink/971b>
- SILVA, M.C.S.; et al. Avaliação das propriedades físico-químicas e mecânicas de filmes de fécula de mandioca incorporado com cafeína irradiada. *Revista Desafios*, v. 6, n. 1, 2019. Disponível em: <https://shre.ink/9xsv>
- SOUSA, J.V.L.C.; et al. Biodegradable starch-based films – technological mapping. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 9, 2021. Disponível em: <https://shre.ink/97jg>.
- SRIPAHCO, T.; KHRUENGSAI, S.; PRIPDEEVECH, P. Biodegradable antifungal films from nanocellulose gellan gum incorporated with *Anethum graveolens* essential oil for bread packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 243, n. 1, 2023. Disponível em: <https://shre.ink/9SeE>
- SUEIRO, A.C.; et al. Biodegradable films of cassava starch, pullulan and bacterial cellulose. *Química Nova*, v. 39, n. 9, 2016. Disponível em: <https://shre.ink/9Sby>
- TONELLI, M.; GEROMEL, M.R.; FAZIO, M.L.S. Ação antimicrobiana de óleos essenciais de sucupira branca (*Pterodon emarginatus*), folhas de pêssego (*Prunus persica*), bagas de junipero (*Juniperus communis*), rosa de damasco (*Rosa damascena*) e petitgrain mandarina (*Citrus deliciosa*). *Higiene Alimentar*, v. 32, n. 27, 2018. Disponível em: <https://shre.ink/9G6m>
- XAVIER, M.N.; et al. Composição química do óleo essencial de *Cardiophyllum calophyllum* Schltdl. (Annonaceae) e suas atividades antioxidante, antibacteriana e antifúngica. *Revista Virtual de Química*, v. 8, n. 5, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3mkhebZ>.

#### **4. CAPÍTULO II: Composição química e atividade antioxidante do óleo essencial de plantas medicinais**

**(Normas de acordo com o Boletim do Museu Integrado de Roraima)**

**RESUMO** A indústria alimentícia busca substituir conservantes sintéticos por produtos naturais. Os óleos essenciais de sálvia e sucupira se destacam nessas pesquisas devido às suas propriedades antioxidantes e antifúngicas, além da possibilidade de combinação entre eles. O objetivo com este trabalho foi investigar a composição química e as atividades antioxidante e antifúngica do OE da sálvia, da sucupira e os efeitos da combinação entre eles. O estudo envolveu a extração do óleo essencial de sementes de sucupira e folhas de sálvia, seguido pela análise por CG-MS, a fim de avaliar sua atividade antifúngica contra o *Rhizopus stolonifer*, além de determinar sua atividade antioxidante utilizando o método do radical DPPH. O OESO apresentou uma composição química rica em monoterpenos e mostrou maior atividade antifúngica em comparação com o OEPE e com o MIX. A atividade antioxidante do OESO, OEPE e MIX foi classificada como muito forte, moderada e forte, respectivamente.

**Palavras-chave:** *Salvia officinalis*; *Pterodon emarginatus*; blend; atividade antifúngica; atividade antioxidante.

**ABSTRACT:** The food industry seeks to replace synthetic preservatives with natural products. The essential oils of sage and sucupira stand out in these studies due to their antioxidant and antifungal properties, in addition to the possibility of combining them. The objective of this work was to investigate the chemical composition and the

antioxidant and antifungal activities of the EO of sage and sucupira as well as the effects of the combination between them. The study involved the essential oil extraction from sucupira seeds and sage leaves, followed by analysis by GC-MS, to evaluate its antifungal activity against *Rhizopus stolonifer*, in addition to determining its antioxidant activity using the DPPH radical method. OESO had a chemical composition rich in monoterpenes and showed greater antifungal activity compared to OEPE and MIX. The antioxidant activity of OESO, OEPE and MIX was classified as very strong, moderate and strong, respectively.

**KEYWORDS:** *Salvia officinalis*; *Pterodon emarginatus*; blend; antifungal activity; antioxidant activity.

#### 4.1. INTRODUÇÃO

Ao longo de décadas, a indústria alimentícia tem empregado conservantes sintéticos para evitar e prevenir a oxidação e contaminação microbiana de alimentos. Atualmente, os esforços estão direcionados para utilização de compostos naturais extraídos de plantas com atividade antioxidante e contra agentes microbianos, a fim de contornar os efeitos negativos dos compostos sintéticos na saúde humana, animal e no meio ambiente (BAG e CHATTOPADHYAY, 2015). Os conservantes naturais são ecologicamente conscientes, financeiramente viáveis e possuem amplo espectro de ação, ao contrário dos compostos sintéticos. Entre os diversos produtos naturais utilizados, os óleos essenciais (OEs) são amplamente empregados na preservação de alimentos (SHARMA et al., 2020).

Os óleos essenciais são uma combinação de substâncias aromáticas, produzidos naturalmente como metabólitos secundários em diferentes órgãos das plantas (BAZAN et al.; 2020). A composição química, seus rendimentos bem como as proporções quantitativas dos componentes individuais dependem de vários fatores como por exemplo o estágio de desenvolvimento da planta, local de crescimento da cultura, órgãos utilizados para extração do óleo, composição mineral do solo, dentre outros (SALACHNA et al.; 2021).

Plantas e ervas medicinais são utilizadas como potenciais fontes de conservantes naturais de alimentos por causa dos seus efeitos benéficos. Esses ingredientes demonstram melhor tolerância pelos consumidores e estão prontamente disponíveis para



populações com níveis socioeconômicos mais baixos (BAG e CHATTOPADHYAY, 2015; ADESHINA et al., 2011). O cultivo e utilização de plantas medicinais são práticas comuns no Brasil que sofrem influências de várias culturas e é impulsionado pelo conhecimento popular, repassado entre as gerações (SILVA et al., 2022). Dentre essas plantas, algumas se destacam por serem empregadas com amplo espectro de funções, caso da salvia (*Salvia officinalis*) e da sucupira (*Pterodon emarginatus*).

A sálvia é uma planta da família Lamiaceae, arbustiva, nativa do Mediterrâneo e cultivada em todo o mundo, é utilizada em várias culturas como planta medicinal e como condimento alimentar, o órgão de maior interesse são as folhas ricas em OEs (ASLANI, et al., 2023). O óleo essencial da sálvia é composto majoritariamente por monoterpenos como tujona, cânfora, limoneno e 1,8-cineol e possui ampla gama de atividades terapêuticas como anticâncer, anti-inflamatória, anticoagulante, antimicrobiana e antioxidante (GHORBANI e ESMAEILIZADEH, 2017).

Outra planta medicinal bastante popular é a sucupira, nativa do Brasil e distribuída em diversas regiões e domínios fitogeográficos como Amazônia e Cerrado (LUCAS et al., 2021). Os frutos e sementes da sucupira despertam grande interesse na medicina popular pelas suas propriedades anti-inflamatórias, analgésicas, antimicrobianas, antiproliferativa e antioxidante (OLIVEIRA et al., 2017).

A atividade antioxidante dos óleos essenciais está relacionada à capacidade de neutralizar espécies reativas de oxigênio e proteger as células contra danos oxidativos (THINH et al., 2022). Esses compostos são associados a diversos efeitos biológicos, incluindo atividade antifúngica, anti-inflamatória e antitumoral, tornando-os alvos promissores para o desenvolvimento de novos produtos, em especial para conservação de alimentos (YASUJ et al., 2022). Apesar dos avanços nessa área, um dos principais obstáculos para o uso de OEs como conservantes de alimentos é a alta concentração necessária para inibir o crescimento microbiano e a oxidação (BAG e CHATTOPADHYAY, 2015). A alta concentração pode causar efeitos organolépticos negativos como alterações de cor, odor e textura dos alimentos e limitar o uso dos OEs na conservação dos alimentos (BURT, 2004).

Uma alternativa para minimizar essas alterações é a combinação de diferentes OEs com objetivo de melhorar seus efeitos conservantes e reduzir os impactos sensoriais nos alimentos, tornando-os eficazes em concentrações mais baixas (SHARMA et al., 2020). Dois ou mais agentes combinados interagem de maneiras diferentes, e podem resultar em um de quatro efeitos possíveis: sinérgico, sinérgico parcial, sem efeito e antagonista

(KASRATI et al., 2014). A possível interação sinérgica de OE's podem reduzir os efeitos organolépticos negativos em alimentos e facilitar seu uso nos sistemas de preservação de alimentos (BAG e CHATTOPADHYAY, 2015).

Nos últimos anos, as pesquisas acerca da aplicação de produtos naturais têm sido intensificadas, sobretudo na área alimentícia (SHARMA et al., 2020; LUCAS et al., 2021). Até o momento esses estudos revelaram ampla gama de atividades e aplicações desses produtos, sobretudo dos OEs. O objetivo com este trabalho foi investigar a composição química e as atividades antioxidante e antifúngica do OE da sálvia, da sucupira e os efeitos da combinação entre eles.

## 4.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1. Material vegetal e extração do óleo essencial

Sementes de sucupira e folhas secas de sálvia foram adquiridas no comércio local da cidade de Rio Verde-GO. 100 gramas do material vegetal foram submetidas a hidrodestilação pelo período de 2,5 horas em aparelho do tipo Clevenger. O hidrolato obtido foi submetido a partição líquido-líquido em funil de separação, com três porções de 25 mL de diclorometano. As frações orgânicas foram secas com sulfato de sódio anidro. O sal foi removido por filtração simples e o solvente evaporado a temperatura ambiente em capela de exaustão de gases, obtendo-se o OE purificado.

### 4.2.2. Análise CG-MS

Amostras dos óleos essenciais foram diluídas em metanol, analisadas por CG-MS (QP-2010, Shimadzu Co., Kyoto, Japão) e separados em coluna DB5 (30m x 0,25mm x 0,25mm) com gás hélio. A temperatura foi ajustada a 80°C por 2 min e, em seguida, aumentou a taxa de 10°C/min até a temperatura final de 280°C quando foi mantida por 5 minutos antes do resfriamento. A temperatura do aquecedor auxiliar foi mantida em 280°C. Os constituintes do óleo essencial foram quantificados e identificados comparando seus tempos de retenção e fragmentação de massa padrão com os armazenados no banco de dados do espectrômetro (NIST05.LIB e NIST05s.LIB) e com dados da literatura (ADAMS, 2007).

### 4.2.3. Fungo fitopatogênico

O *Rhizopus stolonifer* foi isolado a partir de morangos adquiridos no comércio de Rio Verde-GO. Alíquotas fúngicas foram coletadas de morangos, semeadas em placas de Petri contendo meio BDA autoclavado e acondicionadas em estufa BOD a temperatura de 21°C por cinco dias, tempo necessário para o fungo cobrir toda a superfície da placa. Após esse período foi realizado os testes antifúngicos com os óleos essenciais.

#### 4.2.4. Efeito do óleo essencial sobre o crescimento micelial de *R. stolonifer*

Os experimentos *in vitro* foram realizados nos laboratórios de Química de Produtos Naturais e de Fitopatologia do IFGoiano – campus Rio Verde com delineamento inteiramente ao acaso com cinco repetições. A atividade antifúngica sobre o *R. stolonifer* foi avaliada através do crescimento micelial. O meio de cultura utilizado foi o BDA que foi preparado, autoclavado e 20 mL vertidos em cada placa. Os óleos essenciais foram diluídos em tween 80 e 250µL espalhados sobre a superfície do meio de cultura em seis concentrações: 300, 150, 75, 37,5, 18,75 e 0 µL mL<sup>-1</sup>. O controle consistiu em uma placa com meio de cultura sem adição do óleo essencial. Foi testado também, nas mesmas concentrações citadas, a mistura do óleo essencial de *P. emarginatus* (OEPE) e do óleo essencial de *S. officinalis* (OESO), chamado de MIX na proporção de 2:1, duas partes do OEPE para uma parte do OESO.

Após a solidificação do meio em cada placa de Petri um disco de micélio de 8 mm de uma colônia estoque do *R. stolonifer* com cinco dias foi depositado no centro da placa. As placas foram seladas com filme de PVC e armazenadas em câmara BOD a 21°C. O crescimento micelial foi avaliado pela medida das colônias em dois eixos perpendiculares entre si quando o fungo cobriu toda superfície do meio das placas de controle.

#### 4.2.5. Atividade antioxidante dos óleos essenciais

A metodologia utilizada para determinar a atividade antioxidante consistiu na medida da extinção da absorção do radical 1,1-difenil-2-picril hidrazil (DPPH) em 517 nm, por meio da espectrofotometria, segundo Boroski et al. (2015). O experimento foi realizado em triplicata. 500 µL de uma solução etanólica de DPPH 0,4 mM foi incubada com 500 µL de soluções contendo concentrações crescentes dos óleos essenciais (100, 75, 50 e 100 µg.mL<sup>-1</sup>) em etanol, durante 30 minutos. Para o grupo de controle, procedeu-

se da mesma forma, substituindo-se 500 µL da amostra por 500 µL de solvente etanol. O "branco" foi obtido utilizando apenas o solvente etanol. O percentual de captação do radical DPPH foi calculado como a porcentagem de atividade antioxidante (AA%) utilizando a Equação 1.

$$AA\% = \frac{100 - \{[(Abs. amostra - Abs. branco) \times 100]\}}{Abs. controle}$$

Em seguida foi construída uma curva dos valores do percentual de inibição do DPPH em função da concentração do OE e o valor do IC<sub>50</sub> foi encontrado por regressão linear. O cálculo do índice de atividade antioxidante (AAI) foi realizado através da equação 2.

$$AAI = \frac{[DPPH]_{final} (\mu g/mL)}{IC50 (\mu g/mL)}$$

Em que: [DPPH]<sub>final</sub> = concentração final da solução metanólica de DPPH;

IC<sub>50</sub> = concentração de OE antioxidante necessário para inibir 50% do radical DPPH, ambos expressos em (µg/mL).

A classificação do potencial antioxidante foi realizada segundo parâmetros estabelecidos por Boroski et al. (2015): AAI < 0,5; fraco; AAI de 0,5 a 1; moderado; AAI de 1 a 2; forte; AAI > 2, muito forte.

#### 4.2.6. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise exploratória para identificação de outliers e avaliados quanto a normalidade e homogeneidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente). Em seguida foram submetidos à análise de variância (p ≤ 0,05) e correlação de Person (p ≤ 0,05). As médias da inibição do crescimento fúngico foram comparadas pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05) e as médias das doses utilizadas foram submetidas à análise de regressão. As análises foram realizadas utilizando o software R versão 4.1.3 (R Core Team, 2022).

### 4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1. Composição química do óleo essencial de *P. emarginatus* e *S. officinalis*

As análises do CG-MS para o óleo essencial de *Salvia officinalis* (OESO) e para o óleo essencial de *Pterodon emarginatus* (OEPE) revelaram 24 compostos diferentes dos quais 22 foram identificados para o primeiro e 21 para o segundo, representando aproximadamente 92 e 88% dos constituintes químicos identificados. Os compostos estão apresentados na Tabela 1 de acordo a suas sequências de eluição em coluna DB-5.

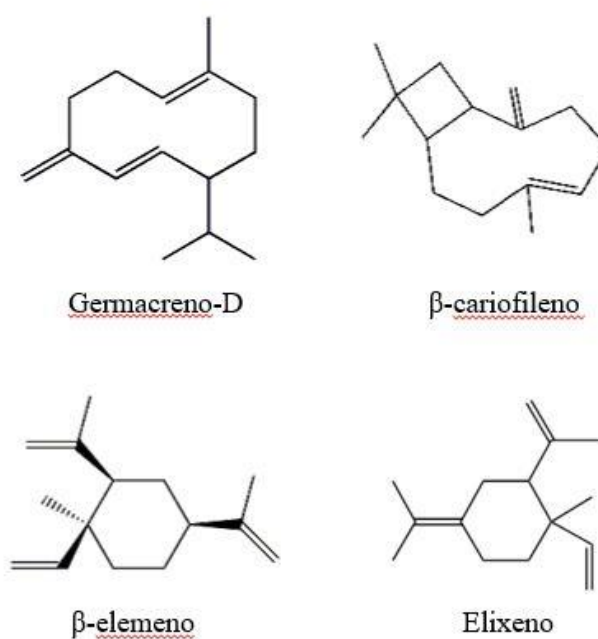
**Tabela 1:** Composição química dos OESO e OEPE isolados por hidrodestilação

COMPOSTO	IR	ÁREA RELATIVA (%) OESO	ÁREA RELATIVA (%) OEPE
$\alpha$ -Pineno	939	0.27	
Canfeno	953	0.39	
$\beta$ -Pineno	980	0.55	
$\beta$ -Mirceno	991	0.13	
Limoneno	1031		2,87
Eucaliptol	1033	27.49	
$\gamma$ -Terpineno	1062		0,11
Linalol	1098	0.40	
Tujona	1102	1.78	
$\beta$ -Tujeno	1114	0.96	
Cânfora	1143	33.77	
cis-Pinocanfene	1162	0.74	
Isoborneol	1163	9.25	
4-Terpineol	1177	2.07	
$\alpha$ -Terpineol	1185	6.94	
Mirtenol	1194	0.93	
Bergamiol	1257	0.29	
Acetato de bornila	1285	2.35	
$\alpha$ -Cubebeno	1351		0,27
Acetato de terpinila	1352	6.59	
$\alpha$ -Copaeno	1376		3,19
$\beta$ -Elemeno	1391		15,49
$\beta$ -cariofileno	1428	2.03	18,66
$\alpha$ -Humuleno	1454	0.63	4,74
Aloaromadendreno	1461		1,73
$\gamma$ -Muruleno	1477		0,66
Germacreno-D	1480		26,93
$\beta$ -Selineno	1485		0,29
Elixeno	1492		9,41
$\alpha$ -Bulneseno	1505		0,76
$\gamma$ -Cadineno	1513		1,11
$\delta$ -Cadineno	1524		4,44
Germacreno-D 4-ol	1574		2,41
Espatulenol	1575	0.54	1,95
Óxido de Cariofileno	1581	1.22	1,54
Epiglobulol	1588	0.69	
$\tau$ -Cadinol	1640		1,03
$\alpha$ -Cadinol	1653		1,09
Farnesol	1722		0.40
TOTAL			98,87

IR: Índice de Retenção; OEPE: óleo essencial *Pterodon emarginatus*; OESO: óleo essencial *Salvia officinalis*.

O OEPE e o OESO são formados pela mistura complexa de monoterpenos, monoterpenos oxigenados, sesquiterpenos e sesquiterpenos oxigenados. Essa variedade de compostos pode ser contabilizada para diferentes condições ambientais em que as espécies coletadas se encontravam como clima, localização, fatores sazonais e estágios de desenvolvimento (MA et al., 2016). De acordo Xavier et al. (2016) compostos cuja área é maior que 8% são considerados majoritários.

O OEPE apresentou como constituintes majoritários o Germacreno-D (26,93%), o  $\beta$ -cariofileno (18,66%),  $\beta$ -elemeno (15,49) e o Elixeno (9,41%), representados na Figura 1, composição semelhante a encontrada por Dutra et al. (2009) que relataram o trans-cariofileno (35,9%),  $\beta$ -elemeno (15,3%) e o Germacreno-D (9,8%) como compostos majoritários.

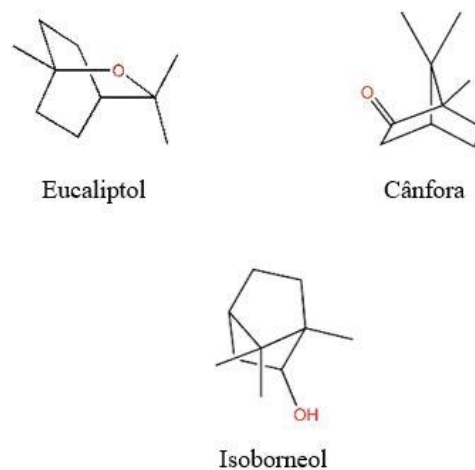


**Figura 1:** Compostos majoritários do OEPE (óleo essencial de *Pterodon emarginatus*).

Em um estudo, avaliando diferentes técnicas de extração de OESO Durovic et al. (2022), a partir da hidrodestilação, relataram a presença de 43 diferentes compostos, sendo os majoritários o Viridiflorol (20,26%), Cânfora (19,50%),  $\alpha$ -Tujona (12,20%) e borneol (8,85%). Os autores relatam diferentes composições do OESO de acordo com o país de origem e com o perfil genético do material usado na extração.

Porte et al. (2013) analisaram o OESO cultivados na cidade do Rio de Janeiro e identificaram 47 compostos diferentes e os majoritários foram  $\alpha$ -Tujona (40,90%) e a Cânfora (26,12%). No presente trabalho, a variedade de compostos descritos do óleo

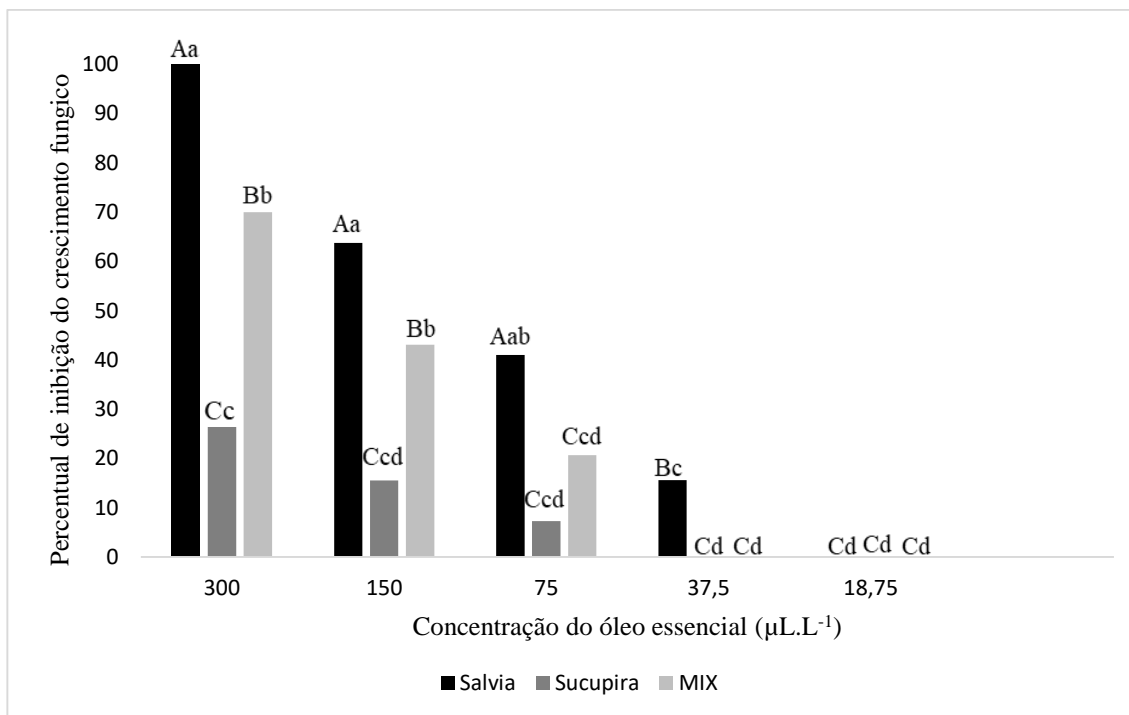
essencial foi menor, a cânfora, o eucaliptol e o isoborneol foram os compostos majoritários (Figura 2) por possuírem maior porcentagem de área, corroborando com os trabalhos de Durovic et al. (2022) e Porte et al. (213). A  $\alpha$ -Tujona, composto característico do OESO, estava presente em menor porcentagem (1,78%), segundo Salachna et al. (2021) a origem geográfica é fator que possui influência significativa na diferenciação dos constituintes químicos dos óleos essenciais.



**Figura 2:** Compostos majoritários do OESO (óleo essencial de *Salvia officinalis*).

#### 4.3.2. Atividade antifúngica dos óleos essenciais sobre o crescimento micelial *in vitro* de *Rhizopus stolonifer*

A figura 3 apresenta os efeitos das diferentes concentrações do OEPE, OESO e MIX no crescimento micelial de *R. stolonifer*. O OESO foi o que mais inibiu o crescimento do fungo nas concentrações de 300, 150 e 75  $\mu\text{L L}^{-1}$ , nas concentrações de 300 e 150  $\mu\text{L L}^{-1}$  o MIX teve atividade variável, entre 43 e 70%. Já o OEPE apresentou o menor percentual de inibição em todas as concentrações avaliadas.



**Figura 3:** Efeitos de diferentes concentrações dos óleos essenciais de sucupira e salvia e do mix sobre o crescimento micelial de *Rhizopus stolonifer*. Diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as médias são indicadas por letras diferentes acima das barras do histograma. Letras iguais não indicam diferença significativa entre tratamentos diferentes. Letras minúsculas indicam comparação dentro de cada dose, letras maiúsculas entre os grupos de doses.

A eficácia da atividade antifúngica de OEs depende de vários fatores, entre eles a solubilidade em meio de cultura. Alguns óleos essenciais apresentam baixa solubilidade em meios aquosos, podendo limitar sua eficácia e impedir a avaliação adequada de suas propriedades. O uso de agentes emulsificantes, auxiliam na dispersão e dissolução dos óleos essenciais em meios aquosos. Esses emulsificantes ajudam a melhorar a solubilidade e a estabilidade dos óleos essenciais, permitindo a distribuição mais uniforme dos compostos no meio de cultura.

A atividade antifúngica do OESO já foi descrita por alguns autores (DUROVIC et al., 2022; PANSEIRA et al., 2012). Delamare et al. (2007) atribuem essa atividade a predominância de monoterpenos no OE, como a cânfora e o isborneol, entretanto os autores também chamam a atenção para as interações que ocorrem entre os constituintes majoritários e os presentes em menor quantidade.

Segundo Miranda et al. (2016) os OE's com maiores conteúdos de monoterpenos possuem atividade mais eficiente contra microrganismos quando comparados com OE ricos em sesquiterpenóides. De acordo com os autores os monoterpenos chegam ao citoplasma dos microrganismos passando por poros proteicos presentes na membrana. O



OESO é formado por 94,9% de monoterpenos e o OEPE por 47,06%, podendo explicar a maior inibição do crescimento fúngico pelo OESO.

A maior parte dos trabalhos com OEPE revelam potencial analgésico, antiinflamatório e anti-reumático (LUCAS et al., 2021), a atividade antifúngica é descrita por poucos autores. Silva et al. (2005) relatam a atividade antifúngica do óleo bruto de sementes de sucupira sobre os fungos *Fusarium oxysporum* e *Rhizoctonia solani*, com inibição de 74 e 62% respectivamente.

De acordo Hyldgaard et al. (2012) a mistura de óleos essenciais pode gerar três resultados diferentes: sinérgico, aditivo ou antagonico. A sinergia ocorre quando a atividade antifúngica da mistura é maior que a soma dos componentes individuais. O efeito aditivo é obtido quando a combinação dos OE tem efeito igual à soma dos compostos individuais. O antagonismo acontece quando a mistura dos compostos tem efeito combinado menor que quando aplicado separadamente. O MIX utilizado neste trabalho nas concentrações de 300 e 150  $\mu\text{L L}^{-1}$  apresentou maior percentual de inibição do crescimento fúngico que o OEPE e menor que o OESO.

#### 4.3.3. Atividade antioxidante

O ensaio antioxidante com DPPH tem sido amplamente utilizado por ser um parâmetro rápido, confiável e reprodutível para triagem in vitro da atividade antioxidante de produtos naturais (BAG e CHATTOPADHYAY, 2015). A capacidade de redução do radical DPPH é determinado pela diminuição da absorbância induzida por compostos antioxidantes (THINH et al., 2022). Os óleos essenciais utilizados neste estudo foram capazes de reduzir o radical estável DPPH a difenilpicrilhidrazina de coloração amarela, sugerindo sua atividade antioxidante.

A Tabela 2 apresenta os valores do  $\text{IC}_{50}$  e a classificação do índice de atividade antioxidante para o OESO, OEPE e MIX. O OEPE teve maior valor de  $\text{IC}_{50}$  e foi classificado como moderado enquanto o OESO teve menor valor de  $\text{IC}_{50}$  e classificado como muito forte. Um OE que apresenta alto potencial em sequestrar radicais livres possui baixo valor de  $\text{IC}_{50}$ , ou seja, uma pequena quantidade de OE é capaz de decrescer a concentração inicial de DPPH em 50% (ROESLER et al., 2007).

**Tabela 2:** Atividade antioxidante dos óleos essenciais de *Salvia officinalis*, *Pterodon emarginatus* e MIX usando o DPPH ( $\text{IC}_{50}$   $\mu\text{g mL}^{-1}$ ) e a classificação segundo o IAA.

OE	$\text{IC}_{50}$	IAA	CLASSIFICAÇÃO
----	------------------	-----	---------------

OESO	15,9	2,95	Muito forte
OEPE	50,5	0,93	Moderado
MIX	45,01	1,15	Forte

Os óleos essenciais testados podem ser caracterizados como mistura complexa, composta por substâncias com vários grupos funcionais e polaridades, com isso respostas antioxidantes diferentes são esperadas, a depender da metodologia empregada. OE's formados por alta porcentagem de sesquiterpenos hidrocarbonados possuem baixa atividade antioxidante descrita (FABRI et al., 2019). Este fato pode explicar os resultados obtidos para o maior IC<sub>50</sub> do OEPE na redução dos radicais de DPPH e menor IC<sub>50</sub> do OESO.

A atividade antioxidante do OESO é descrita por outros autores, mas há divergência entre os valores encontrados para o IC<sub>50</sub>. Neste trabalho o IC<sub>50</sub> encontrado para o OESO foi maior que os indicados por Vosoughi et al. (2018) e menor que o encontrado por Mijalli et al. (2022). Essa diferença entre os valores pode ser atribuída tanto pelas diluições utilizadas nos testes como pela variação da composição química dos OE's. Dois principais grupos de compostos são apontados como os responsáveis por ampla variedade de atividades biológicas do OESO, dentre elas a atividade antioxidante, os terpenos e os polifenóis (MARTINS et al., 2015).

Os compostos responsáveis pela atividade antioxidante conferida a alguns OE são principalmente os que possuem um ou mais grupos OH ligados ao anel aromático ou que possuam grupos metóxi em sua estrutura (LIMA e CARDOSO, 2007). O isoborneol é um dos componentes do OESO e possui em sua estrutura um grupo hidroxila. Os autores também citam que o  $\alpha$ -pineno e o  $\beta$ -pineno possuem baixa atividade antioxidante, mas aumentam a atividade ao agir sinergicamente com outros compostos.

Dal Forno et al. (2019) não observaram a redução de radicais de DPPH com o OEPE e atribui isso a baixa presença de compostos fenólicos presentes no OE. Neste trabalho o OEPE foi classificado como moderado (IAA 0,93), mesmo em pequenas quantidades é observado a presença de compostos fenólicos na composição química do óleo essencial, como o espatulenol, germacreno-D 4-ol,  $\alpha$ -cadinol e  $\tau$ -cadinol, que juntos perfazem área de 6,48%.

A atividade antioxidante do MIX foi classificada como moderada (IAA 1,15), as interações entre os componentes de dois OE's podem resultar em quatro tipos de efeitos: indiferente, aditivo, antagônico ou sinérgico, essas interações são influenciadas pelo percentual de cada componente da combinação (SHARMA et al., 2020). A

concentração e proporção dos OE's utilizados na combinação é fator que deve ser considerado, foi utilizado maior proporção do OEPE que do OESO, 2:1 respectivamente, o que pode ter causado a diluição dos compostos, que pode afetar tanto a atividade antioxidante quanto as possíveis interações entre os compostos dos OE's.

#### 4.4. CONCLUSÕES

A análise química dos OE's revelou que o OESO é rico em monoterpenos oxigenados e possui o eucaliptol, a cânfora e o isoborneol como compostos majoritários. O OEPE é rico em sesquiterpenos oxigenados e possui como compostos majoritários o  $\beta$ -elemeno,  $\beta$ -cariofileno, Germacreno-D e Elixeno. Os melhores resultados da atividade antifúngica contra o *Rhizopus stolonifer* foram encontrados com o OESO nas concentrações de 300 e 150  $\mu\text{L mL}^{-1}$ , que também apresentou melhor atividade antioxidante, com  $\text{IC}_{50}$  de 15,9 e classificado como muito forte. Apesar do efeito sinérgico no MIX não ter sido evidenciado neste estudo, outras diluições devem ser testadas para comprovar ou não o sinergismo entre o OESO e OEPE.

#### 4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAG, A.; CHATTOPADHYAY, R.R. Evaluation of synergistic antibacterial and antioxidante efficacy of essential oils of spices and herbs in combination. Plos One, v. 10, n. 7, p. 1-17, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3BzrdSh>.
- SHARMA, K.; GULERIA, S.; RAZDAN, V.K.; BABU, V. Synergistic antioxidante and antimicrobial activities of essential oils of some selected medicinal plants in combination and with synthetic compounds. Industrial Crops e Products, v. 154, p. 1-14, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3pRmoRG>.
- ADESHINA, G.O.; JIBO, S.; AGU, V.E.; EHINMIDU, J.O. Antibacterial activity of fresh juices of allium cepa and *Zingiber officinale* against multidrug resistant bactéria. International Journal of Pharma and Bio Sciences, v. 2, n. 2, p. 289-295, 2011. Disponível em: <https://bit.ly/3Bx8mHN>.
- GHORBANI, A.; ESMAEILIZADEH, M. Pharmacological properties of *Salvia officinalis* and its components. Journal of Traditional and Complementary Medicine, v. 7, p. 433-440, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3BynOmO>.

- ASLANI, Z.; et al. Effect of drought stress and inoculation treatments on nutrient uptake, essential oil and expression of genes related to monoterpenes in sage (*Salvia officinalis*). *Scientia Horticulturae*, v. 309, p. 1-13, 2023. Disponível em: <https://bit.ly/3WcxvB0>.
- OLIVEIRA, A.E.M.F.M.; et al. Essential oil from *Pterodon emarginatus* as a promising natural raw material for larvicidal nanoemulsions against a tropical disease vector. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, v. 6, p. 1-9, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3MI17rl>.
- LUCAS, E.M.F.; et al. Influence of chemical profile on the efficacy of solutions of pomegranate and sucupira – popularly used in antifungal phytopharmaceutical. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 8, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3LhANME>.
- THINH, B.B.; et al. Chemical composition of essential oil and antioxidant activity of the essential oil and methanol extracts of *Knema globularia* (Lam.) Warb. from Vietnam. *Natural Product Research*, v. 37, n. 10, p. 1625-1631, 2022. Disponível em: <https://bit.ly/3Oula9f>.
- SILVA, T.J.P.; et al. Popular use of medicinal plants for the treatment and control of hypertension: an integrative review. *Revista Amazônia Science and Health*, v. 10, n. 01, 2022. Disponível em: <https://bit.ly/3iDBR12>.
- BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – a review. *International Journal of Food Microbiology*, v. 94, p. 223-253, 2004. Disponível em: <https://bit.ly/3MKOkQb>.
- KASRATI, A.; et al. Antioxidative activity and synergistic effect of *Thymus saturejoides* Coss. essential oils with cefixime against selected food-borne bacteria. *Industrial Crops and Products*, v. 61, p. 338-344, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/3Ot1IK8>.
- SALACHNA, P.; et al. Mushroom waste biomass alters the yield, total phenolic content, antioxidant activity and essential oil composition of *Tagetes patula* L. *Industrial Crops and Products*, v. 171, n. 01, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/2YXXO44>.
- BAZAN, J.R.; GEROMEL, M.R.; FAZIO, M.L.S. Ação de óleos essenciais cítricos sobre algumas bactérias. *Revista Interciência*, v.01, n. 04, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3qJTKjZ>.
- MA; B.X.; et al. Antifungal activity of *Ziziphora clinopodioides* Lam. essential oil against *Sclerotinia sclerotiorum* on rapeseed plants (*Brassica campestris* L.) *Crop Protection*, v.89, n.01, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3CAN4an>.
- XAVIER, M.N.; et al. Composição química do óleo essencial de *Cardiopetalum calophyllum* Schltdl. (Annonaceae) e suas atividades antioxidante, antibacteriana e

antifúngica. Revista Virtual de Química, v. 8, n. 5, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3mkhebZ>.

PORTE, A.; GODOY, R.L.O.; MAIA-PORTE, L.H. Chemical composition of sage (*Salvia officinalis* L.) essential oil from the Rio de Janeiro state (Brazil). Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, v. 15, n. 3, 2013. Disponível em: <https://bit.ly/3mzJAPO>

DUROVIC, S.; et al. The effect of various extraction techniques on the quality of sage (*Salvia officinalis* L.) essential oil, expressed by chemical composition, thermal properties and biological activity. Food Chemistry, v. 13, n. 1, 2022. Disponível em: <https://bit.ly/39bqP24>.

ROESLER, R. et al. Antioxidant activity of Cerrado fruits. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 27, n. 1, 2007. Disponível em: <https://shre.ink/lcRF>

FABRI, N.T.; et al. Composition, antioxidant properties, and biological activities of the essential oil extracted from *Ocotea diospyrifolia* (Meisn.) Mez. Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, v. 55, n. 1, 2019. Disponível em: <https://shre.ink/lcD7>

VOSOUGHI, N.; et al. Essential oil composition and total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis* L.) extract under chitosan application and irrigation frequencies. Industrial Crops and Products, v. 117, 2018. Disponível em: <https://shre.ink/lcHg>

MIJALLI, S.H.A.; et al. Antioxidant, antidiabetic and antibacterial potentials and chemical composition of *Salvia officinalis* and *Mentha suaveolens* grow wild in Morocco. Advances in Pharmacological and Pharmaceutical Sciences, v. 2022, n. 1, 2022. Disponível em: <https://shre.ink/lsoY>

MARTINS, N.M.; et al. Evaluation of bioactive properties and phenolic compounds in diferente extracts prepared from *Salvia officinalis* L. Food Chemistry, v. 170, n. 1, 2015. Disponível em: <https://shre.ink/lsov>

LIMA, R.K.; CARDOSO, M.G. Lamiaceae family: importante essential oils with biological and antioxidante activity. Revista Fitos, v. 3, n. 3, 2007. Disponível em: <https://shre.ink/lzPc>

DAL FORNO, A.H.; et al.; Antioxidant and lipid lowering effects of dried fruits oil extract of *Pterodon emarginatus* in *Caenorhabditis elegans*. Arabian Journal of Chemistry, v. 12, n. 1, 2019. Disponível em: <https://shre.ink/lzV5>

R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://bit.ly/3R0SIIdX>

DUTRA, R.C.; et al. Antiulcerogenic and anti-inflammatory activities of the essential oil from *Pterodon emarginatus* seeds. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, v. 61, n. 1, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/3GYXWmb>

PANSERA, M.R.; et al. Controle alternativo do fungo *Sclerotinia sclerotiorum* (LIB.) De Bary causador da podridão de sclerotinia, com óleos essenciais e extratos vegetais. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 7, n. 3, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/3beTW53>

DELAMARE, A.P.L.; et al. Antibacterial activity of the essential oil of *Salvia officinalis* L. and *Salvia triloba* L. cultivated in South Brazil. *Food Chemistry*, v. 100, n. 1, 2007. Disponível em: <https://bit.ly/3blaM2n>

MIRANDA, C.A.S; et al. Óleos essenciais de folhas de diversas espécies: propriedades antioxidantes e antibacterianas no crescimento de espécies patogênicas. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 1, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/39YvCUT>

SILVA, I.D.; et al. Efeito do extrato de sucupira (*Pterodon emarginatus* Vog.) sobre o desenvolvimento de fungos e bactérias fitopatogênicos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 35, n. 2, 2005. Disponível em: <https://bit.ly/3OvIT6f>

HYLDGAARD, M.; MYGIND, T.; MEYER, R.L. Essential oils in food preservation: mode of action, synergies and interactions with food matrix components. *Frontiers Microbiology*, v. 3, n. 1, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/3tRXwss>

## 5. CONCLUSÃO GERAL

Os filmes biodegradáveis de fécula de mandioca incorporados com OESO, OEPE e MIX mostraram ser uma alternativa promissora no mercado de embalagens bioativas. A adição dos óleos essenciais não interferiu na formação dos filmes, preservando parâmetros como flexibilidade, homogeneidade, continuidade e transparência, enquanto a espessura dos filmes foi mantida pela quantidade de sólidos utilizados no preparo. A resistência máxima à tração na ruptura dos filmes foi influenciada pela concentração do OE incorporado, sendo maior nos filmes com OESO e MIX nas concentrações de 150 e 75  $\mu\text{L L}^{-1}$ . Além disso, os óleos essenciais mostraram atividade antifúngica contra o *Rhizopus stolonifer*, com o OESO apresentando os melhores resultados nas concentrações de 300 e 150  $\mu\text{L mL}^{-1}$ , além de destacar-se pela atividade antioxidante classificada como muito forte, com  $\text{IC}_{50}$  de 15,9. O efeito sinérgico no MIX não foi evidenciado neste estudo, mas outras diluições devem ser testadas para confirmar o sinergismo entre o OESO e OEPE. Esses resultados indicam que esses filmes bioativos têm potencial para diversas aplicações industriais.