



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

ANA KAROLINY DA SILVA RAPÔSO

**ELABORAÇÃO DE FILMES POLIMÉRICOS COM ADIÇÃO DE ÓLEO DE
COPAÍBA (*Copaifera langsdorffii* Desf.) PARA APLICAÇÕES EM
BIOPRODUTOS**

São Luís
2025

ANA KAROLINY DA SILVA RAPÔSO

**ELABORAÇÃO DE FILMES POLIMÉRICOS COM ADIÇÃO DE ÓLEO DE
COPAÍBA (*Copaifera langsdorffii* Desf.) PARA APLICAÇÕES EM
BIOPRODUTOS**

Defesa ao Programa de Pós-Graduação em
Biotecnologia da Rede Nordeste de
Biotecnologia, ponto focal do Maranhão, como
requisito para obtenção do Título de Doutora em
Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Allan Kardec Duailibi Barros Filho

Coorientadores: Prof. Dr. Louryval Coelho Paixão (*in memoriam*)

São Luís

2025

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

da Silva Raposo, Ana Karoliny.

ELABORAÇÃO DE FILMES POLIMÉRICOS COM ADIÇÃO DE ÓLEO DE
COPAÍBA *Copaifera langsdorffii* Desf. PARA APLICAÇÕES EM
BIOPRODUTOS / Ana Karoliny da Silva Raposo. - 2025.
153 f.

Coorientador(a) 1: Lourival Coelho Paixão.

Orientador(a): Allan Kardec Duailibi Barros Filho.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em
Biotecnologia - Renorbio/ccbs, Universidade Federal do
Maranhão, Universidade Federal do Maranhão, 2025.

1. Biopolímeros. 2. Caracterizações. 3. Óleo de
Copaíba. 4. Planejamento Experimental. I. Coelho Paixão,
Lourival. II. Duailibi Barros Filho, Allan Kardec. III.
Título.

ANA KAROLINY DA SILVA RAPÔSO

**ELABORAÇÃO DE FILMES POLIMÉRICOS COM ADIÇÃO DE ÓLEO DE
COPAÍBA (*Copaifera langsdorffii* Desf.) PARA APLICAÇÕES EM
BIOPRODUTOS**

Defesa ao Programa de Pós-Graduação em
Biotecnologia da Rede Nordeste de
Biotecnologia, ponto focal do Maranhão, como
requisito para obtenção do Título de Doutora em
Biotecnologia.

Aprovada em ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

PROF. DR. ALLAN KARDEC DUAILIBI BARROS FILHO (ORIENTADOR)

Universidade Federal do Maranhão/RENORBIO

PROFA. DRA. RACHEL MELO RIBEIRO

Universidade Federal do Maranhão/RENORBIO (1º Examinador)

PROF. DR. DENILSON MOREIRA SANTOS

Universidade Federal do Maranhão (2º Examinador)

PROFA. DRA. FERNANDA OLIVEIRA SOUSA ARARUNA

FACULDADE DE TECNOLOGIA E ADMINISTRAÇÃO - EDUFOR (3º
Examinador)

PROF. DR. WELLYSON DA CUNHA ARAÚJO FIRMO

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (Memória de qualificação)

***O choro pode durar uma noite, mas a alegria vem pela manhã.”
(Salmos 30:5)***

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder a vida, a oportunidade e a força necessárias para lutar pelos meus sonhos, mesmo nos dias mais difíceis.

À Universidade Federal do Maranhão, por oferecer a estrutura e o espaço onde este trabalho pôde ganhar forma.

Ao programa RENORBIO, por me permitir realizar um sonho que por vezes pareceu distante — obrigada por não soltar minha mão diante das tempestades.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio financeiro fundamental que tornou possível a concretização desta pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Allan Kardec, por cada gesto de paciência e orientação que me guiou até aqui.

À minha filha, Maria Rebeca, que chegou no meio dessa jornada como uma luz em minha vida e se tornou meu maior motivo para seguir. À minha mãe, aos meus irmãos e cunhada Eluiane, por todo amor incondicional, por cada gesto de carinho e pelos cuidados com minha pequena, permitindo que eu me entregasse de coração a este trabalho.

E meus eternos agradecimentos ao Prof. Dr. Louryval Paixão (in memoriam), o primeiro a acreditar que eu era capaz. Ele me inspirou e me impulsionou, até seu último dia de vida, a não desistir e a lutar pelo meu potencial. Com todo o meu coração, sei que, de onde estiver, ele sorri com orgulho.

RESUMO

O desenvolvimento de plásticos biodegradáveis tem ganhado destaque na pesquisa científica como uma alternativa sustentável aos produtos derivados do petróleo, os quais, por serem não degradáveis, geram sérios impactos ambientais quando descartados de forma inadequada. Dentre as matérias-primas utilizadas na produção desses biopolímeros, destacam-se o alginato, a pectina e o amido extraído do mesocarpo do coco babaçu, por apresentarem propriedades desejáveis como alta solubilidade, baixa resistência mecânica, biodegradabilidade e ausência de toxicidade. A incorporação de óleos surge como uma estratégia promissora para conferir bioatividade aos filmes, com especial interesse na aceleração do processo de cicatrização de lesões cutâneas. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver um filme bioativo e biodegradável à base de óleo de copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.) e alginato de sódio com potencial biológico. A produção dos biopolímeros foi realizada por meio do método de casting, utilizando diferentes formulações contendo glicerol como plastificante e cloreto de cálcio dihidratado como agente reticulante. Empregou-se um planejamento experimental do tipo mistura (*Mixture Designs and Triangular Surfaces*), considerando como variáveis de resposta: umidade, solubilidade em água, espessura e permeabilidade ao vapor de água (PVA). As 14 formulações testadas apresentaram os seguintes intervalos de variação: umidade entre 7,87% e 48,87%, solubilidade entre 15,38% e 93,13%, espessura de 0,060 a 0,165 mm e PVA de 1,784 a 8,018 g·mm/m²·dia·kPa. Com base nos resultados obtidos, cinco formulações (testes 5, 8, 9, 10 e 11) foram selecionadas por apresentarem desempenho superior nas análises iniciais. Essas formulações foram submetidas a caracterizações complementares, incluindo microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura (MEV), difração de raios X (DRX), espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), avaliação do potencial antioxidante e testes de atividade antibacteriana. Os filmes apresentaram comportamento compatível com o esperado: a análise por MEV revelou a presença de cristais, enquanto o DRX evidenciou picos cristalinos bem definidos nos picos característicos 31,88°, 45,49°, 56,52° e 66,26°. A espectroscopia de FTIR confirmou a presença de compostos bioativos típicos da *Copaifera langsdorffii* Desf., como sesquiterpenos e cariofilenos. No ensaio de atividade antibacteriana, os resultados foram considerados satisfatórios. Apesar da ausência de inibição frente às cepas de *Pseudomonas aeruginosa* e *Bacillus cereus*, o *Copaifera langsdorffii* Desf. Demonstrou ótimos resultados, especialmente nas formulações 5, 8 e 11, que se destacaram nos testes de inibição de radicais livres (DPPH). Além disso, essas formulações apresentaram bons resultados contra as cepas *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Staphylococcus epidermidis*. Diante dos resultados obtidos, tem-se que os filmes à base de biopolímeros enriquecidos com *Copaifera langsdorffii* Desf. apresentam potencial promissor para aplicação em curativos biodegradáveis com ação bioativa. A adição de outros compostos ativos poderá ampliar ainda mais a eficácia terapêutica desses materiais, cujos dados demonstram alinhamento e competitividade com os resultados disponíveis na literatura.

Palavras-chave: Biopolímeros; Caracterizações; Óleo de Copaíba; Planejamento Experimental.

ABSTRACT

The development of biodegradable plastics has gained prominence in scientific research as a sustainable alternative to petroleum-based products, which, because they are non-degradable, generate serious environmental impacts when disposed of improperly. Among the raw materials used in the production of these biopolymers, alginate, pectin and starch extracted from the mesocarp of the babassu coconut stand out, as they have desirable properties such as high solubility, low mechanical resistance, biodegradability and absence of toxicity. The incorporation of oils emerges as a promising strategy to confer bioactivity to films, with special interest in accelerating the healing process of skin lesions. In this context, this work aimed to develop a bioactive and biodegradable film based on copaiba oil (*Copaifera langsdorffii* Desf.) and sodium alginate with biological potential. The production of biopolymers was carried out through the casting method, using different formulations containing glycerol as plasticizer and calcium chloride dihydrate as a crosslinking agent. A mixture design (Mixture Designs and Triangular Surfaces) was used, considering the following response variables: moisture, water solubility, thickness, and water vapor permeability (PVA). The 14 formulations tested showed the following ranges of variation: moisture between 7.87% and 48.87%, solubility between 15.38% and 93.13%, thickness from 0.060 to 0.165 mm and PVA from 1.784 to 8.018 g·mm/m²·dia·kPa. Based on the results obtained, five formulations (tests 5, 8, 9, 10 and 11) were selected for their superior performance in initial analyses. These formulations were subjected to complementary characterizations, including optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), evaluation of antioxidant potential, and antibacterial activity tests. The films showed behavior compatible with what was expected: the SEM analysis revealed the presence of crystals, while the XRD showed well-defined crystalline peaks at the characteristic peaks 31.88°, 45.49°, 56.52° and 66.26°. FTIR spectroscopy confirmed the presence of bioactive compounds typical of *Copaifera langsdorffii* Desf., such as sesquiterpenes and caryophyllenes. In the antibacterial activity assay, the results were considered satisfactory. Despite the absence of inhibition against the strains of *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus cereus*, *Copaifera langsdorffii* Desf. It showed excellent results, especially in formulations 5, 8 and 11, which stood out in free radical inhibition (DPPH) tests. In addition, these formulations showed good results against the *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis* strains. In view of the results obtained, it is clear that films based on biopolymers enriched with *Copaifera langsdorffii* Desf. They have promising potential for application in biodegradable dressings with bioactive action. The addition of other active compounds may further increase the therapeutic efficacy of these materials, whose data demonstrate alignment and competitiveness with the results available in the literature.

Keywords: Biopolymers; Characterizations; Copaiba Oil; Experimental Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Estrutura da amilose e da amilopectina.....	22
Figura 02. Amido extraído mesocarpo do coco babaçu.....	24
Figura 03. Árvore da copaíba.....	29
Figura 04. Variação de cores de óleos extraídos.....	31
Figura 05. Palmeira de babaçu (A) e cacho de cocos babaçu (B).....	32
Figura 06. O coco babaçu e seus constituintes.....	33
Figura 07. Produtos e subprodutos do coco babaçu.....	34
Figura 08. Mesocarpo do coco babaçu.....	35
Figura 09. Imagem dos biopolímeros obtidos no planejamento experimental.....	50
Figura 10. Superfície de resposta para a umidade dos biopolímeros.....	54
Figura 11. Superfície de resposta para a solubilidade dos biopolímeros.....	56
Figura 12 Superfície de resposta para a espessura dos biopolímeros.....	57
Figura 13. Superfície de resposta para a PVA dos biopolímeros.....	59
Figura 14. Microscopia óptica aproximada em 100x dos filmes 5, 8, 9, 10 e 11.....	60
Figura 15. MEV da superfície dos filmes 5, 8, 9, 10 e 11 com aumento em 4000x.....	61
Figura 16. FTIR dos filmes 5, 8, 9, 10 e 11.....	62
Figura 17. Difratoograma dos filmes 5, 8, 9, 10 e 11.....	64

LISTA DA TABELAS

Tabela 01. Planejamento experimental de misturas para os filmes poliméricos variando os parâmetros de concentração de glicerol, concentração de óleo de copaíba e concentração de <i>crosslinking</i>	41
Tabela 02. Viscosidade do óleo de copaíba da espécie <i>Copaifera langsdorffii</i> Desf....	46
Tabela 03. Dados referentes à ação antibacteriana do óleo de copaíba.....	49
Tabela 04. Resultados da avaliação subjetiva para biopolímeros contendo glicerol, óleo de copaíba e crosslinking.....	50
Tabela 05. Conteúdo de umidade (ω), solubilidade em água (S), espessura (δ) e permeabilidade ao vapor de água (PVA) para os biopolímeros de alginato, glicerol, crosslinking e óleo de copaíba.....	52
Tabela 06. ANOVA do modelo ajustado para a resposta conteúdo de umidade dos filmes.....	53
Tabela 07. ANOVA do modelo ajustado para a resposta solubilidade em água dos filmes.....	55
Tabela 08. ANOVA do modelo ajustado para a resposta espessura dos filmes.....	57
Tabela 09. ANOVA do modelo ajustado para a resposta PVA dos filmes.....	58
Tabela 10. Potencial oxidativo para os filmes selecionados (5, 8, 9, 10 e 11) utilizando os métodos DPPH e ABTS.....	65
Tabela 11. Ação antibacteriana para os filmes selecionados (5, 8, 9, 10 e 11).....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABTS	2,2 AZINO BIS (3-ethylbenzo thiazoline 6 sulfonic acid)
ANOVA	Análise da Variância
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATM	Alta esterificação
BTM	Baixa esterificação
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazi
DRX	Difração de raio X
FRAP	<i>Ferric Reducing Antioxidant Power</i>
FTIR	Infravermelho com transformada de <i>Fourier</i>
G	Taxa de permeabilidade de água (g/dia).
LEPEQ	Laboratório de Pesquisa e Ensino de Engenharia Química
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
mi	Massa inicial
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PET	Policloreto Tereftalato
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVA	Permeabilidade ao Vapor de Água
RDC	Resolução de Diretoria Colegiada
PM	Perda da massa
S	Solubilidade
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
UR	Umidade Relativa
NaCl	Cloreto de sódio
δ	Espessura
ω	Conteúdo de umidade
Ae	Área exposta do filme
ΔP_a	Pressão parcial de água
R^2	Coefficiente de determinação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1 Filmes comestíveis e biodegradáveis	17
3.2 Biopolímeros de polissacarídeos	18
3.2.1 Alginato	19
3.2.2 Pectina	20
3.2.3 Amido	21
3.3 Plastificantes	25
3.5 Copaíba.....	28
3.5.1 Caracterização da planta	28
3.5.2 Óleo de Copaíba.....	29
4. MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1 Material	37
4.2 Caracterização físico-química e antibacteriana do óleo	37
4.2.1 Densidade Relativa	37
4.2.2 Viscosidade e Condutividade	37
4.2.3 Índice de Acidez	37
4.2.4 Índice de refração	38
4.2.7 Avaliação da atividade antibacteriana	39
4.3 Elaboração dos biopolímeros.....	39
4.3.3 Planejamento experimental.....	40
4.4 Caracterizações físico-químicas dos biopolímeros	42
4.4.1 Avaliação subjetiva	42
4.4.2 Conteúdo de umidade (ω).....	42
4.4.3 Solubilidade em água (S).....	43
4.4.5 Permeabilidade a vapor de água (PVA)	43
4.4.6 Microscopia óptica	44
4.4.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	44
4.4.8 Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	44

4.4.9 Difração de raios X (DRX).....	44
4.5 Análise estatística.....	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 Caracterizações do óleo de copaíba	46
5.1.1 Análise de Densidade Relativa, Índice de refração e Índice de Acidez	46
5.1.2 Análise de Viscosidade e Condutividade	46
5.1.3 Análise do potencial oxidativo pelo método de DPPH	48
5.1.4 Análise do potencial oxidativo pelo método de ABTS	49
5.1.5 Avaliação Antibacteriana	50
5.2 Propriedades dos filmes com alginato	51
5.2.1 Seleção das melhores condições de processo	61
5.2.1.1 Microscopia óptica	62
5.2.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	63
5.2.1.3 Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	64
5.2.1.4 Difração de raios X (DRX).....	66
5.2.1.5 Propriedades Antioxidantes	66
6. CONCLUSÃO.....	69
7. REFERÊNCIA.....	70
ANEXOS	83

1. INTRODUÇÃO

A pele é o maior e mais externo órgão do corpo humano, desempenhando múltiplas funções vitais, como a proteção contra agentes patogênicos, prevenção da desidratação, regulação do equilíbrio osmótico, detecção sensorial, controle da temperatura corporal, manutenção do equilíbrio de fluidos e atuação na vigilância imunológica (Leite et al., 2020; De Queiroz et al., 2021, Vig et al; 2017). No entanto, sua integridade pode ser comprometida por diversos fatores, como queimaduras, traumas físicos, infecções e doenças crônicas, a exemplo do diabetes, resultando em feridas agudas ou crônicas (Sen, 2019). Estima-se que milhões de pessoas sofram anualmente com esse tipo de lesão, o que representa um grande desafio para os sistemas de saúde pública devido à complexidade e ao custo do tratamento (Xu et al., 2023).

Embora a pele apresente capacidade natural de regeneração em feridas pequenas e superficiais, essa habilidade é significativamente reduzida em casos de lesões extensas ou úlceras profundas (Lee et al., 2018, Xu et al., 2023). Nessas situações, o uso de curativos é fundamental para proteger a área lesionada, prevenir infecções secundárias e estimular a cicatrização endógena (Tanaka., 2005, Xu et al., 2023). Ao longo das últimas décadas, diversos estudos têm buscado desenvolver curativos mais eficientes (Sahana e Rekha, 2018, Xu et al., 2023).

Os curativos tradicionais, geralmente constituídos por algodão ou fibras sintéticas, oferecem proteção física e controle da umidade da ferida; no entanto, apresentam eficácia limitada na promoção ativa da regeneração tecidual. Esse desempenho restrito evidencia a necessidade de alternativas mais avançadas e bioativas, cuja escolha deve considerar fatores intrínsecos (relacionados ao paciente) e extrínsecos (relacionados ao ambiente e à ferida) (Ousey et al., 2016; Xu et al., 2023). O tratamento de feridas cutâneas é um processo dinâmico que deve ser adaptado à evolução das fases de cicatrização, exigindo intervenções específicas em cada etapa (Dias, 2021).

Atualmente, há uma ampla variedade de curativos disponíveis no mercado. A seleção do tipo mais adequado deve levar em conta diferentes aspectos, como os recursos financeiros do paciente ou da instituição de saúde, a viabilidade de continuidade do tratamento — incluindo a possibilidade de visitas domiciliares —, bem como a análise da relação custo-benefício. Além disso, é fundamental que o curativo seja compatível

com as características da lesão, como sua natureza, localização e extensão (Leite; Brito, 2021).

A maior parte dos curativos são elaborados com polímeros sintéticos não biodegradável, normalmente derivado dos petróleo, de elevada massa molar, o que caracteriza a sua durabilidade, sendo de difícil degradação, que acabam se acumulando no meio ambiente (Siman Filho; Sanfelice 2018; Da Silva et al., 2022).

A fim de acelerar o processo cicatrização para reaver a qualidade de vida dos pacientes, a indústria vem desenvolvendo novos materiais que tenham baixo custo e não toxicidade, alta eficiência e ação bioativa. Uma alternativa vantajosa e promissora são os materiais formadores de filmes poliméricos (De Barros; De Lima; Bunhak, 2022). Os biopolímeros são usados como curativo por sua estrutura permitir o transporte de gases e nutrientes (Rodrigues et al., 2018).

A produção de biopolímeros, inicia-se com a elaboração de uma solução filmogênica, confeccionada, basicamente, por três elementos: um agente formador de filme (polissacarídeos, lipídeos e proteínas, entre outros), um plastificante e um agente reticulante. Cada um desses componentes é utilizado em diferentes combinações, buscando oferecer características distintas para o filme (Azevedo et al., 2020).

Dentre os principais polissacarídeos, polímeros naturais, utilizados para formação de filmes destaca-se o amido, alginatos, pectina, carragenatos, quitosana e gomas. O alginato utilizado em curativos é capaz de absorver grandes quantidades de exsudato (líquido presente nas feridas), promovendo um ambiente úmido favorável à cicatrização (Holloway & Harding 2022). Na área de embalagem, o alginato é um dos compostos naturais mais utilizados devido à suas características como boa formação, biocompatibilidade, biodegradabilidade, perfil não tóxico e filmes bioativos (Cherman et al., 2022; Da Silva Pereira et al., 2018). Na área da saúde, dentre as características do alginato, pode-se citar: hemostasia, analgesia, redução da necessidade de troca do curativo, inibição do crescimento de bactérias Gram-positivas e negativas com ligeira inibição do crescimento de *Candida albicans* (Da Silva Pereira et al., 2018).

O óleo de copaíba, obtido a partir da casca do caule da árvore copaibeira (*Copaifera langsdorffii* Desf, pertencente à família Fabaceae, Caesalpinioideae), é muito conhecido por suas propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias, analgésicas e cicatrizantes (De Araújo et al., 2020; Da Cruz et al., 2021). Essa planta tem sido alvo de vários estudos que buscam comprovar a eficácia das suas propriedades baseados na medicina popular. Apesar de muitos estudos já terem comprovado a eficácia de algumas

dessas propriedades, esse composto ainda é alvo de pesquisa para diversas enfermidades, tais como processos inflamatórios crônicos, autoimunidade, antibacteriana, germicida, analgésica, antineoplásica (Oliveira et al., 2018; Dini et al., 2019; Bandeira et al., 2020).

Segundo Nunes et al. (2018), em filmes poliméricos, os óleos agem entre as cadeias peptídicas adjacentes, age como um plastificante, dificultando a interação entre as cadeias de gelatina através da diminuição das suas forças intermoleculares. Dessa forma, os filmes com óleo em sua composição possuem boa manuseabilidade e flexibilidade (Nunes et al., 2018; Borges et al., 2022).

Por fim, por se tratarem de produtos de grande abundância no País, torna-se, socialmente importante, seu estudo e é relevante a avaliação do desempenho do alginato e incorporação do óleo de copaíba como fonte natural de polímero biodegradável e bioativo, com objetivo de produzir produto de origem natural e bioativo a partir *C. langsdorffii* Desf. Capaz de substituir ou minimizar o uso daqueles provenientes da indústria petroquímica.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e caracterizar filmes poliméricos à base de carboidratos adicionados de compostos bioativos presente na *C. langsdorffii* Desf. visando a produção de produto bioativo e biodegradável.

2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar filmes poliméricos à base de alginato, pectina e amido incorporados com óleo de copaíba, utilizando planejamento experimental;
- Selecionar as melhores composições e combinações de polímeros dadas as características físicas funcionais básicas (aparência, espessura, conteúdo de umidade, solubilidade e permeabilidade ao vapor de água – PVA);
- Caracterizar e comparar as propriedades mecânicas, morfológicas e ópticas dos filmes selecionados no planejamento experimental;
- Avaliar a atividade antibacteriana
- Avaliar a atividade antioxidante;

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Filmes comestíveis e biodegradáveis

A cada ano, o Brasil amplia a quantidade de plástico descartado em lixo doméstico. Atualmente, um terço deste lixo é composto por embalagens plásticas, como sacolas, copos, potes, garrafas, utensílios de limpeza, brinquedos etc. Quando dispostos em lixões, um dos principais problemas para o meio ambiente e para a saúde pública é a combustão indevida e sem controle desses materiais (Oliveira et al., 2022).

Os filmes biodegradáveis surgiram como uma estratégia ambientalmente amigável para diminuir a poluição proveniente do acúmulo de resíduos plásticos sintéticos. No entanto, a aplicação desses materiais só será viável se eles forem competitivos em termos de custo e funcionalidade em comparação com os plásticos sintéticos. Isso pode ser possível se forem usadas matérias-primas mais baratas, como subprodutos agroindustriais. Esse tipo de matéria-prima pode conter biopolímeros, como proteínas, fibras e amido, para que possa ser empregado na produção de filmes (Maniglia et al., 2017; Tapia-Blácido; Sobral; Menegalli, 2005).

A produção de biopolímeros combinando diferentes polissacarídeos, proteínas e lipídios é foco de pesquisas para melhorar sua funcionalidade (por exemplo, propriedades mecânicas e de barreira), obtendo vantagens sinérgicas quando comparadas com os componentes puros (Raposo et al., 2021). Dentre os biocompostos mais promissores para este fim, estão os bioplásticos, principalmente os de amidos provenientes de diversas fontes botânicas, que são biodegradáveis, têm custo baixo e estão disponíveis em todo o mundo. Outra fonte de amido em crescente pesquisa é o mesocarpo de coco babaçu, mas sua utilização como fonte de bioplástico ainda é pouco estudada (Araruna et al., 2021; Raposo et al., 2021). Entretanto, devido às suas características particulares podem levar a produtos com desempenho diferenciado com relação a resistência mecânica, potencial ativo (Raposo et al., 2021).

A pesquisa sobre filmes biodegradáveis de biofilmes é uma importante área de estudo para as indústrias alimentícia, química e farmacêutica. O método de fundição, comumente usados para preparar biofilmes, é um processo simples em que uma solução filmogênica é preparada e subsequentemente secada em uma superfície apropriada, permitindo o uso de uma ampla gama de materiais de origem vegetal, como amidos, entre outros (Lima et al., 2023). Para elaborar esses filmes, as interações entre os componentes

estruturais e plastificantes devem ser estudadas para avaliar as propriedades coesivas e funcionais. Entre os diferentes processos utilizados na preparação de biofilmes, a secagem é uma das mais importantes, pois é considerada o processo que mais limita as características finais dos biofilmes. (Da Silva et al., 2019).

De acordo com Amaral, Borschivern e Morgado (2019) a produção de bioplásticos no continente europeu vem crescendo, em 2016 a capacidade da produção chegou a cerca de 2,05 milhões de toneladas. As previsões do FOOD INGREDIENTS BRASIL apontam para as capacidades de produção se multiplicarem até 2022, para mais de 6 milhões de toneladas.

Conforme Fakhouri (2009) filmes biodegradáveis vêm sendo estudados como uma das alternativas promissoras para substituir materiais sintéticos de origem petroquímica e não biodegradáveis, na elaboração de embalagens à base de polímeros de fontes renováveis.

3.2 Biopolímeros de polissacarídeos

Os polímeros são macromoléculas que possuem muitas unidades repetidas em sua estrutura molecular, chamadas de "meros", ligadas entre si por ligações covalentes. Os polímeros pertencem a três grandes categorias: fibras, plásticos e borrachas (Canevarolo Júnior, 2010). Essas categorias se baseiam em características como sua estrutura química, o quantitativo médio de meros por cadeia e o tipo de ligação covalente.

Os polímeros podem ser classificados como naturais ou sintéticos dependendo da sua origem. Os sintéticos geralmente são feitos de produtos derivados do petróleo, como PVC, PET e Policloreto de Vinila. Os “polímeros biodegradáveis ou biopolímeros”, como látex, amido e celulose, são encontrados na natureza (Jiang et al., 2019). Eles são polímeros de menor impacto ambiental, porque são produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis e passam pelo menos uma etapa de manipulação através do metabolismo de organismos presentes no ambiente (Rhim; Park; Ha, 2013). Assim, os biopolímeros se destacam como melhores que os polímeros sintéticos devido à sua eco-compatibilidade e biodegradabilidade. Isso os torna superiores aos polímeros sintéticos (Prasanth et al., 2021).

Para Delgado et al. (2016), os amidos e a fécula, a pectina, os alginatos, a quitosana e a xiloglucana de tamarindo são os polissacarídeos mais treinados para a fabricação de filmes comestíveis e materiais de embalagem. Devido à sua personalidade

como boa degradabilidade e à sua compatibilidade com o meio ambiente, esses materiais têm sido objeto de vários estudos (Luckachan; Pillai, 2011).

Também conhecidos como gomas (mucilagem), os polissacarídeos, geralmente são extraídos com baixo custo e alto rendimento. Eles podem ser utilizados em aplicações biotecnológicas devido à sua sustentabilidade, biodisponibilidade e baixa ou nula toxicidade (Albuquerque et al., 2018).

Devido às suas propriedades, como espessantes ou agentes de suspensão e gelificantes, os polissacarídeos são amplamente explorados pela indústria. Mas também se destacam por suas funções secundárias, como emulsificação, estabilização de emulsões, controle de cristalização, encapsulação, inibição de sinérese e formação de filmes (Maugeri Filho; Goldbeck, 2019).

A estrutura compacta e duração dos filmes de polissacarídeos, a capacidade de formação de géis e uma alta especificidade e adesividade são seus atributos. Sua estrutura de baixa permeabilidade a gases permite que esses filmes reduzam a taxa de proteção enzimática, o que é fundamental para materiais de embalagem e permite que os ferimentos permaneçam sempre secos e esterilizados. (Arfin; Sonawane, 2018).

3.2.1 Alginato

O alginato é um polissacarídeo natural extraído do ácido algínico das algas marinhas e transformado em alginato de sódio por meio de processos químicos (Nesic et al., 2017). É semi-cristalino, mucoadesivo e polianiónico (Wu et al., 2018). É o único polissacarídeo com o grupo carboxilato em todas as unidades monoméricas; o copolímero é formado pelas unidades glicosídicas (1→4) -D-ácido manurônico e -L-ácido gulurônico (Abdollahi et al., 2013).

Por serem acessíveis e baratos, os alginatos possuem alta biodegradabilidade e são biocompatíveis com propriedades formadoras de gel e estabilizantes, o que os permitem agir como espessantes e emulsificantes em soluções; quando entram em contato com íons bivalentes e trivalentes, como Ca^{2+} e Fe^{3+} , são projetados para formação de filmes e géis termicamente benéficos (Abdul Khalil et al., 2017). O alginato tem sido utilizado como matéria prima na indústria farmacêutica promovendo o controle de umidade dos ferimentos (Wang et al., 2019).

Filmes de alginato são extremamente transparentes e possuem alta resistência mecânica, mas possuem baixa flexibilidade e propriedade de barreira ao vapor de água (Wang et al., 2019).

3.2.2 Pectina

A pectina é um heteropolissacarídeo derivado de plantas composto de ácido d - galacturônico ligado a β -(1-4) com galactose e ramnose (Mellinas et al., 2020). As pectinas são um grupo de carboidratos complexos derivados de plantas compostos por várias unidades de ácido hidrogalacturônico (Roy, et al., 2023). Na estrutura da pectina, o grupo carboxila da fração de açúcar pode ser parcialmente esterificado com um grupo metil e parcialmente ou totalmente neutralizado com uma ou mais bases (Roy, et al., 2023).

O ácido poligalacturônico coloidal com muitos grupos éster metílico é conhecido como ácido pectínico. Em contraste, a ausência completa de grupos éster metílico no ácido poligalacturônico coloidal é conhecida como ácido péctico. Assim, pectina é o nome dado aos ácidos pectínicos solúveis em água com vários graus de neutralização e conteúdo de éster metílico, capazes de formar géis com açúcares e ácidos sob condições apropriadas (Vidocic et al., 2020). A pectina com alto teor de metoxila tem baixa capacidade de formar um gel por si só e requer um teor relativamente alto de açúcar e ácido para gelificação. Por outro lado, a pectina com baixo teor de metoxila pode facilmente formar um gel na presença de certos íons metálicos sem açúcar (Sakai et al., 1993; Roy et al., 2023). Dependendo do conteúdo de metoxila, as pectinas podem ser classificadas em pectina de baixo metoxila (<50% de esterificação) e pectina de alto metoxila (>50% de esterificação) (Dranca & Oroian, 2018). No entanto, a pectina comumente usada se refere à pectina com alto teor de metoxil.

A pectina é um biopolímero útil na indústria alimentícia como agente gelificante, emulsificante, espessante, etc. (Mellinas et al., 2020). A pectina pode ser aplicada diretamente nos alimentos ou usada como um revestimento comestível como uma película pré-formada que envolve os alimentos. (Suhag et al., 2020). A pectina também mostra alguma atividade antioxidante, e adicionar enchimentos bioativos funcionais a filmes à base de pectina pode conferir atividade antibacteriana ou aumentar suas propriedades antioxidantes (Ezati & Rhim, 2020; Panahirad et al., 2021; Xu et al., 2022). Em particular, descobriu-se que a pectina possui atividade de eliminação de espécies reativas de oxigênio (EROS), que depende de suas características estruturais (Smirnov et al., 2017). A presença de grupos doadores de elétrons, como grupos carboxila, hidroxila e metoxi (especialmente no ácido galacturônico), é responsável pela atividade

antioxidante da pectina (Hosseini Abari et al., 2021). Há também uma correlação entre o peso molecular da pectina e sua atividade de eliminação de radicais. Materiais de pectina de baixo peso molecular, como derivados clivados ou pectina-oligossacarídeos (POS), podem ter extremidades mais redutoras para eliminar radicais livres (Hosseini Abari et al., 2021; Chen et al., 2016; Ogutu & Um., 2017). Além disso, sugere-se que a atividade antioxidante das pectinas seja aumentada por contaminantes não pectínicos (como polifenóis e proteínas) que são coextraídos com elas (Smirnov et al., 2017). Além disso, filmes e revestimentos à base de pectina são sustentáveis, biodegradáveis e ecologicamente corretos.

3.2.3 Amido

O amido é um polímero natural produzido pelos vegetais superiores dos quais é principal substância de reserva. Por ser um carboidrato de reserva, o amido encontra-se amplamente distribuído em várias espécies de vegetais. Entretanto, algumas espécies tais como mandioca, milho, batata, ervilha, arroz, aveia, trigo apresentam grandes depósitos de amido que podem constituir de 50% a 65% do peso das sementes de cereais secos, e até 80% da substância seca de tubérculos (Jacobs et al., 2020; Friedrichsen et al., 2022). A estrutura granular do amido apresenta-se em forma de grânulos insolúveis em água fria, cujo tamanho e forma são característicos da planta de origem (Friedrichsen et al., 2022).

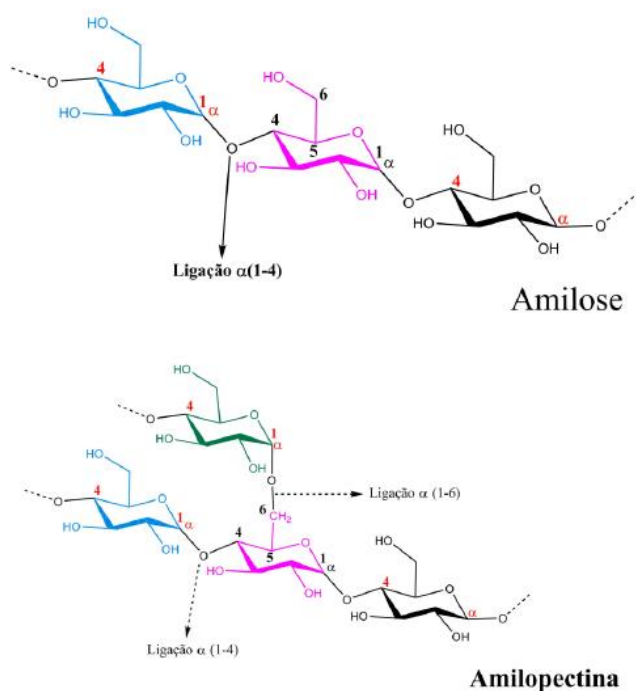
Segundo Souza et al., (2023) por meio de difração de raio X, podem-se distinguir três tipos de grânulos que, dependendo de sua forma e estrutura cristalina, denominam-se A, B e C. As cadeias externas relativamente curtas das moléculas de amilopectina de cereais (menos de 20 unidades de glicose) favorecem a formação de polimorfos cristalinos tipo A. Já as cadeias externas maiores das moléculas de amilopectina de tubérculos (mais de 22 unidades de glicose) favorecem a formação de polimorfos tipos B, encontrados também na banana, em amidos retrogradados e em amidos ricos em amilose. Embora com estrutura helicoidal essencialmente idêntica, o polimorfo tipo A apresenta empacotamento mais compacto do que o tipo B, o qual apresenta estrutura mais aberta e centro hidratado. Por sua vez, o polimorfo tipo C é considerado um intermediário entre os tipos A e B, sendo característico de amido de legumes e sementes (Tharanathan, 2002; Tester et al., 2004).

Quimicamente o amido formado pela polimerização de monômeros de glicose. No amido estão presentes dois tipos de cadeias de polissacarídeos: amilose e amilopectina (Benalaya et al., 2024).

A amilose é uma molécula linear, composta por 250 a 300 unidades de D-glicose ligadas uniformemente por pontes glicosídicas α -(1-4), que conferem forma helicoidal à molécula. Na hélice da amilose os átomos de hidrogênio localizam-se no interior da hélice e os grupos hidroxilas na parte externa. Dependendo da fonte do amido, o grau de polimerização pode variar de 500 até mais de 5.000 unidades de glicose. A amilose apresenta peso molecular de 105 – 106 Daltons. O teor de amilose nos grânulos de amido varia de acordo com a origem botânica, mas geralmente encontra-se em intervalos de 20 - 30% (De Alcantara Silva et al., 2021).

A amilopectina por sua vez, é constituída por mil unidades de D-glicose ou mais, também unidas por ligações glicosídicas α -(1-4). No entanto, há pontos de ramificação, onde existem ligações glicosídicas α -(1-6), constituindo cerca de 4% das ligações totais; ou seja, uma em cada 20 a 25 unidades de glicose, aproximadamente. A molécula de amilopectina, muito maior que a de amilose, segundo (Lastre, 2020) o grau de polimerização chega a 2 milhões de unidades de glicose, fazendo com que ela seja uma das maiores moléculas encontradas na natureza e sua massa molar varia de 107 a 109 Daltons (Lastre, 2016). A molécula da amilopectina é mais compacta que a molécula de amilose e apresenta configuração do tipo dupla hélice (Costa et al., 2022). A estrutura da amilose e da amilopectina é mostrada na Figura 01.

Figura 01: Estrutura da amilose e da amilopectina



Fonte: Rabelo, 2019 .

A proporção de amilose e amilopectina é de 1:3 para a maioria dos amidos, podendo variar de acordo com a fonte botânica, variedade de uma mesma espécie e de acordo com o grau de maturação (Martins; Rodrigues, 2015).

Embora linear, a amilose é menos organizada (amorfa). A conformação de hélices simples da amilose dificulta sua associação regular com outras cadeias e sua densidade permite a penetração da água entre suas camadas (Sousa, 2016).

A amilopectina é uma molécula altamente ramificada e é a fração mais organizada (cristalina) dos grânulos. Possui segmentos lineares arranjados como estruturas helicoidais duplas. Por ser mais densa, é mais resistente à penetração da água e à ação enzimática; ambas ligadas entre si por pontes de hidrogênio e envoltas por uma matriz proteica. Assim, a cristalinidade do amido é atribuída principalmente à amilopectina (Viégas, 2016; Sousa, 2016).

O amido de diversas fontes pode ser caracterizado pelo tamanho e forma dos grânulos que são próprios da planta de origem. O tamanho e forma do grânulo podem influenciar no rendimento industrial e nas aplicações tecnológicas. Esses grânulos são armazenados pelas plantas em suas sementes, raízes ou em seus vasos condutores. Estes grânulos variam de forma (esféricas, ovais ou poliédricas), tamanho (1 a 100 µm de diâmetro), associação (grânulos individuais ou aglomerados) e composição química (glicosídeos, água, proteínas, lipídeos e minerais) de acordo com a origem botânica (Silva et al., 2021).

Os grânulos de amido (figura 02) também contêm umidade, lipídios, proteínas e minerais (Kearsley; Dziedzic, 1995). As proteínas e cinzas aparecem em pequena quantidade em amidos de tubérculos e não chegam a alterar as propriedades funcionais (De Alcantara Silva et al., 2021).

A extração do amido de forma comercial é feita por moagem ou ralação, separação da fibra e suspensão de amido em água, centrifugação, purificação, desidratação e secagem. No entanto, alguns tipos de amidos exigem novas etapas no processo de extração. Dessa forma, existem inúmeros métodos disponíveis para o isolamento do amido, sendo necessário investigar para cada material o melhor procedimento a se utilizar (Maniglia, 2017).

Figura 02: amido extraído mesocarpo do coco babaçu



Fonte: Autores, 2025.

O interesse em novos produtos de amido com valor agregado para a indústria resultou em muitos estudos sobre as propriedades morfológicas, reológicas, térmicas e de textura dos amidos. A identificação de fontes nativas de amido é necessária para determinar sua funcionalidade desejada e propriedades exclusivas. As possibilidades de fomentar a utilização destes amidos em polímeros biodegradáveis dependem principalmente do conhecimento dos seus principais componentes químicos e as propriedades físicas, estruturais e funcionais (Yuliana, 2012; Neto, 2016).

O amido nativo pode ser modificado por tratamentos químicos, genéticos, enzimáticos e físicos para aprimorar suas propriedades específicas e desejadas, e estes podem ser usados para melhorar as propriedades de formação de comprimidos de algum amido nativo (Lobo; Silva, 2003).

O amido oxidado é preparado por reação do amido com uma quantidade especificada de oxidante (por exemplo, hipoclorito de sódio); o grupo hidroxila nas moléculas de amido é oxidado primeiro nos grupos carbonila e depois nos grupos carboxila. O amido oxidado geralmente possui cor mais clara, estabilidade aprimorada, baixa viscosidade, propriedades de formação de filme e de ligação. O amido oxidado teve amplas aplicações nas indústrias alimentícias (Afolabi et al., 2012).

3.3 Plastificantes

Na indústria de polímeros, plastificantes são aditivos comuns que são compostos não voláteis de baixo peso molecular. As pequenas moléculas desses aditivos se ligam às cadeias poliméricas e diminuem as forças intermoleculares que mantêm as cadeias unidas. Isso reduz a rigidez intrínseca das cadeias e aumenta a flexibilidade do filme (Vieira et al., 2010; Godwin, 2017). Assim, o uso de plastificantes na fabricação de filmes, melhora as propriedades mecânicas, sensoriais e de proteção, de acordo com Zebeldía, Ansorena e Marcovich (2015). Essas vantagens evitam que os filmes sofram danos durante o período e armazenamento posteriores, o que poderia reduzir suas qualidades de barreira.

Monossacarídeos, oligossacarídeos (como sacarose, frutose e glicose), lipídios (como ácidos graxos e tensoativos), e polióis (como glicerol e sorbitol) são os plastificantes mais comuns (Ozcalik; Tihminlioglu, 2013). Os polióis são considerados plastificantes ideais para polímeros hidrofílicos.

O plastificante mais popular para melhorar as propriedades mecânicas e a transparência das películas é o glicerol. Os grupos hidroxila encontrados no glicerol são responsáveis pelas interações inter e intramoleculares, também conhecidos como ligações de hidrogênio, que ocorrem nas cadeias poliméricas, tornando os filmes mais flexíveis (Maran et al., 2013).

As vantagens do uso do glicerol no preparo de filmes e blendas foram destacadas por Lucena et al. (2017) e Ahmed et al. (2012). Eles incluem que é barato, não apresenta toxicidade, tem um ponto de ebulição alto e tem uma boa miscibilidade com polímeros e solventes devido à quantidade de hidroxilas presentes em sua estrutura (Lucena et al., 2017).

De acordo com Sousa (2012) os plastificantes são, em geral, adicionados na proporção de 10 a 60 g/100 g de matéria seca, dependendo do grau de rigidez do material. Porém, dependendo da concentração em que são empregados, podem causar um efeito chamado antiplastificante, isto é, ao invés de aumentar a flexibilidade e hidrofiliabilidade, podem causar um efeito contrário. Geralmente, isto ocorre quando são empregadas pequenas concentrações de plastificante (abaixo 20 g/100 g), então o plastificante interage com a matriz polimérica, mas não está em quantidade suficiente para aumentar a mobilidade molecular, fenômeno também dependente das condições de armazenamento.

O amido natural apresenta ponto de fusão acima de sua temperatura de degradação, sendo necessário adicionar um plastificante para diminuir sua temperatura de fusão para realizar seu processamento (Sousa, 2012).

Segundo Silva (2011), sem plastificantes, a amilose e a amilopectina formariam um filme com uma estrutura bifásica, que teria uma fase rica em amilose e outra fase rica em amilopectina. As interações entre as moléculas de amilose e as da amilopectina podem ser tão fortes, que os filmes de amido tornam-se quebradiços e rígidos. A existência dos plastificantes nos filmes de amido ajuda a interromper a formação de dupla hélice da amilose com fragmentos da amilopectina, reduzindo assim a interação entre a amilose e as moléculas da amilopectina, formando um filme flexível (Silva, 2011).

Para selecionar um dispersante para determinada aplicação, devem ser consideradas algumas características essenciais, tais como:

- ✓ Compatibilidade, que pode ser entendida como atração relativa entre polímero e plastificante;
- ✓ Permanência, que depende da volatilidade e suscetibilidade à extração;
- ✓ Eficiência, que depende do poder de solvatação (Azevedo; Almeida; Santos, 2017).

Entre os plastificantes mais comuns empregados em filmes biodegradáveis a base de amido inclui o glicerol e o sorbitol, mas a sacarose, a uréia e o polietilenoglicol também podem ser empregados, materiais estes que interagem com as cadeias de amido, aumentando a mobilidade molecular e, conseqüentemente, a flexibilidade dos seus filmes (Sousa, 2012; Maniglia et al., 2019). Os efeitos provocados pelo glicerol são mais acentuados que os provocados pelo sorbitol. O glicerol interage com as cadeias de amido, aumentando a flexibilidade dos seus filmes. Outro efeito é o aumento da hidrofilicidade e permeabilidade ao vapor de água (Neto, 2016).

Abdorrezza, Cheng e Karim (2011) concluíram em seu trabalho que plastificantes como glicerol podem penetrar na rede de amido rápida e facilmente para formar um filme mais forte e mais espesso do que o filme não plastificado. Entretanto, na mesma concentração de plastificantes e na mesma umidade relativa e temperatura, os filmes de glicerol tendem a absorver mais umidade que os filmes de sorbitol. A água também desempenha um papel plastificante, de modo que os filmes plastificados com glicerol eram mais flexíveis que os filmes plastificados com sorbitol.

Finalmente existe uma classe de plastificantes não-convencionais, pouco solúveis em água e que está merecendo muita atenção, sobretudo na pesquisa sobre filmes

protetores de fármacos. Os citratos estão sendo muito citados como referência de plastificantes (Santana, 2010).

3.4 Agente Reticulante

O uso de polímeros naturais para obtenção de filmes pode apresentar como desvantagem, a alta solubilidade em água. A afinidade pela água aumenta a velocidade de degradação; contudo, esta sensibilidade à umidade pode limitar a sua aplicação. Uma das maneiras de contornar este problema é realizar ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas, tornando o polímero insolúvel em meio aquoso. Estas ligações podem ser formadas através de um processo de reticulação, através do qual, propriedades como estabilidade térmica e mecânica, e taxa de degradação, inerentes ao material, podem ser alteradas (Porto, 2007; Banegas, 2008).

O método de reticulação envolve a formação de ligações químicas entre diferentes cadeias moleculares para gerar uma rede tridimensional mais forte. Existem várias classificações para os agentes de reticulação empregados. Eles podem ser classificados com base no tipo de ligação ocorrida, levando a reticulação covalente bem estabilizada, formação de ligações iônicas e reticulação física criada pelas ligações de hidrogênio e Van der Waals (Wang et al 2018).

A possibilidade de introduzir agentes de reticulação na estrutura dos biopolímeros depende extremamente do arranjo químico, presença de grupos ativos e peso molecular dos biopolímeros, bem como compatibilidade do reticulador e polímero para formar interações apropriadas (Li et al., 2021)

As características funcionais de um filme biodegradável resultam de um equilíbrio entre o grau de reticulação e a ação de plastificantes. Os biofilmes preparados a partir de polissacarídeos têm sido submetidos a processos de reticulação visando diminuir a solubilidade em água (Varaprasad et al., 2020).

A reação entre o agente reticulante e a matriz polimérica é um processo que ocorre quando cadeias lineares ou ramificadas são interligadas por ligações covalentes, um processo conhecido como ligação cruzada, ou seja, ligações entre moléculas lineares produzindo polímeros tridimensionais com alta massa molar. Com o aumento da reticulação, a estrutura se torna mais rígida (Abreu Júnior. 2017; Garavand et al., 2017).

Abou-Okeil et al. (2018) prepararam novos filmes tópicos bioativos de ácido hialurônico/alginato de sódio reticulados com metais catiônicos (Ca^{2+} , Zn^{2+} e Cu^{2+}), que foram desenvolvidos para aplicações em curativos de feridas. Neste filme, eles

adicionaram sulfadiazina e nanopartículas de prata para aumentar a atividade antibacteriana. Os resultados explicaram o fato de que as nanopartículas de ácido hialurônico-alginato de sódio- Ca^{2+} -sulfadiazina e ácido hialurônico-alginato de sódio- Ca^{2+} -sulfadiazina-Ag tinham boas propriedades de homeostase.

3.5 Copaíba

3.5.1 Caracterização da planta

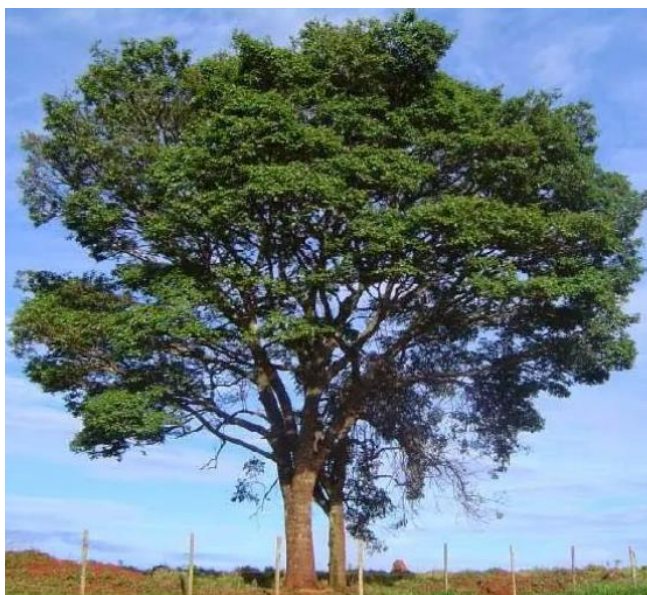
A publicação histórica sobre copaíba foi escrita 127 anos após a descoberta do Brasil por Vicente Rodrigues Palha, conhecido como Bispo Frei Vicente do Salvador. Ele dedicou dois capítulos de seu livro “História do Brasil” para descrever as árvores e ervas medicinais encontradas no Brasil. Frei Vicente relatou inúmeras árvores maravilhosas e fortes que eram grossas, altas e retas e quando atingidas ou perfuradas, pingavam óleo precioso. Este óleo podia curar qualquer ferida, especialmente feridas expostas ao sangue. Ele declarou: “Ele cura de uma forma que não há cicatriz após a cura”. Ele também observou que os índios nativos sabiam que apenas algumas das árvores produziam o óleo, que eles chamavam de “árvores femininas”. Esta árvore era chamada de kupa'iwa pelos tupis (índios nativos) e o nome está relacionado ao fato de que a árvore retém algo em seu interior - um óleo (Tobouti et al., 2017).

Devido às incríveis propriedades do bálsamo, a copaíba tem recebido a atenção de muitos exploradores e viajantes desde os primeiros anos de sua descoberta, especialmente porque a população amazônica a utilizava intensamente com base em evidências empíricas (Tobouti et al., 2017; De Oliveira Moreira & Braga, 2021), incluindo seu uso em infecções de garganta, feridas, hematomas, como estimulante do apetite e, antes da descoberta de medicamentos mais eficazes, na América tropical, para tratamento de hemorroidas e gonorreia (Da Trindade, Da Silva & Setzer, 2018). As árvores de copaíba possuem grande importância pela produção do óleo-resina que é fonte de muitos compostos bioativos e amplamente utilizados principalmente pelas populações do norte e nordeste do Brasil, e pelas indústrias farmacêuticas, devido suas propriedades terapêuticas (Lima et al., 2021).

Esta árvore é nativa da América Central e do Sul, da Índia Ocidental e da África Ocidental (Moraes & Shinohara, 2022, Da Trindade, Da Silva & Setzer, 2018; Frazão et al., 2023) e uma espécie é relatada na Malásia - *Copaifera palustris* (Tobouti et al., 2017). No Brasil, as árvores (figura 03) são encontradas nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e

Amazônia. São 72 espécies, das quais 16 são encontradas exclusivamente no Brasil (Tobouti et al., 2017) onde existem mais de 20 espécies desta planta, sendo as mais comuns *Copaifera officinalis* L. , *Copaifera guianensis* Desf. , *Copaifera reticulata* Ducke , *Copaifera multijuga* Hayne, *Copaifera confertiflora* Bth ., *Copaifera langsdorffii* Desf. , *Copaifera coriacea* Mart ., e *Copaifera cearensis* Huber ex Ducke (Frazão et al 2023).

Figura 03: Árvore da copaíba



Fonte: Sítio da Mata, 2025.

3.5.2 Óleo de Copaíba

Nas últimas décadas, houve um aumento no interesse dos profissionais da área da saúde no uso e conhecimento de medicamentos fitoterápicos (Simões et al., 2021; De Oliveira et al., 2021). O Brasil se destaca por possuir um terço da flora mundial, além de ter em seu território, a Amazônia, que apresenta a maior reserva de produtos naturais com ação fitoterápica (Da Silva et al., 2020). Esta diversidade vegetal faz com que estudos para o desenvolvimento de medicamentos fitoterápicos ganhem destaque no cenário científico mundial (Araújo et al., 2020).

O óleo foi mencionado em 1840 pelo Provincial Medical & Surgical Journal em uma nota escrita pelo Gazette Médicale e Edinburgh Medical and Surgical Journal, sugerindo uma combinação de Copaiba com purgantes no tratamento da gonorreia. A

nota relatou que o tratamento raramente durava mais de cinco dias, quando uma cura permanente foi observada (Nehme et al., 2021).

O óleo é um produto de excreção e desintoxicação do organismo vegetal, e serve como mecanismo de defesa da planta contra animais, fungos e bactérias (De Araújo et al., 2022).

O óleo de copaíba não era usado apenas para tratamento médico, mas era conhecido por ter madeira forte e dura, boa para móveis. Além disso, é mencionado que no século 19, muitos pintores usaram bálsamo de copaíba como constituinte da tinta. Parece atrasar a secagem da tinta, o que permitiu um trabalho de longo prazo. A composição da copaíba foi encontrada em muitas tintas e pintores famosos, por exemplo, Van Gogh a usou para obter cores profundas e saturadas (Tobouti et al., 2017; De Oliveira Moreira & Braga, 2021).

O óleo-resina de copaíba é uma substância natural composta de uma parte sólida (Cigerza et al., 2021; Maurmann et al., 2022), resinosa não volátil (Maurmann et al., 2022) formada por ácidos diterpênicos (De Lima et al., 2020; Maurmann et al., 2022), responsável por 55 a 60 % do óleo, que, segundo Maurmann et al., (2022) é utilizada como bálsamos, diluída na outra parte, um óleo composto de sesquiterpenos (De Lima et al., 2022; Pasquel-Reategui et al., 2022). Estes podem ser divididos em sesquiterpenos oxigenados (álcoois) e hidrocarbonetos sesquiterpênicos que, segundo Pasquel-Reategui et al. (2022), possuem maior atividade anti-inflamatória quando comparados aos outros dois grupos presentes.

Os principais sesquiterpenos encontrados no óleo-resina da copaíba são β -cariophileno (Dini et al., 2019), que possui comprovada ação anti-inflamatória, antibacteriana, antifúngica e antiedêmica (Dini et al., 2019; Maurmann et al., 2022), a β -bisaboleno, com propriedades descritas como anti-inflamatórias e analgésicas (Da Silva; Costa, 2021; Maurmann et al., 2022), além do α -humuleno, α e β -selineno, α -bisabolol, β -elemeno, γ -cadineno, α -cadinol, entre muitos outros (Carvalho; Milke 2014). Segundo Gurgel et al. (2019), o óleo extraído das folhas da copaibeira possui composição semelhante à da parte volátil sesquiterpênica do óleo-resina, com substâncias como β -cariophileno, cadinol, Germacreno D e B e γ -cadineno.

As espécies *Copaifera langsdorffii* e *Copaifera officinalis* são as árvores que produzem os óleos-resinas de copaíba mais valorizados financeiramente, em função do fato de apresentarem altas concentrações dos compostos supracitados, em sua composição (Lima et al., 2021).

O óleo-resina de copaíba retirado do tronco da *C. langsdorffii* é um líquido transparente cuja cor varia de amarelo ao marrom (figura 04), possui cheiro forte, sabor amargo e é composta principalmente sesquiterpenos, quem em alguns casos correspondem à 90% de sua composição e diterpenos (Heck et al., 2022). Com isso, é considerado o antibiótico natural com grande potencial de eficácia contra bactérias Gram-positivas, sendo muito utilizado como cicatrizante e anti-inflamatório no tratamento de infecções (Pereira et al., 2018; Maurmann et al., 2022).

Figura 04: Variação de cores de óleos extraídos.



Fonte: ALECHANDRE, A. 2009.

3.6 Palmeira do coco babaçu

Na vegetação das regiões Norte e Nordeste do Brasil proliferam diversos tipos de palmeiras, árvores da família Arecaceae. Especificamente na zona de transição entre as florestas úmidas da bacia amazônica e as áreas secas do nordeste brasileiro, existe uma vegetação conhecida como Mata de Cocais, na qual predominam a palmeira babaçu e carnaúba (Cardoso, 2017).

A Mata dos Cocais ocupa cerca de 18 milhões de hectares, distribuídos nos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins, Goiás, Mato Grosso, Amazonas e Pará. O Maranhão concentra mais da metade dessa área (cerca de 10 milhões de hectares) e, junto com o Piauí, apresenta zonas de alta densidade, com populações superiores a 200 palmeiras por hectare (Maniglia, 2017; Leal, 2017; Sousa, 2016).

O babaçu merece destaque por contribuir com a renda de famílias de rurais dos estados do Maranhão, Piauí e Tocantins, nos quais seu extrativismo é forte e proporciona ocupação para milhares de famílias. O fruto do babaçu é responsável por quase 30% da produção brasileira de extrativos vegetais, empregando mais de dois milhões de pessoas. (Almeida Jr et al, 2016; Prazeres, Santos, Cardoso, 2016; Almeida, Costa, Maciel, 2016).

A palmeira babaçu, cujo nome científico é *Attalea speciosa* Mart. ex Spreng (Figura 05) é uma planta solitária que pode atingir entre 10 a 20 metros de altura com folhas

(chamadas de palha) que podem chegar até 8 metros de comprimento. Os frutos do babaçu, denominados cocos babaçu, ocorrem em cachos (Sousa, 2016).

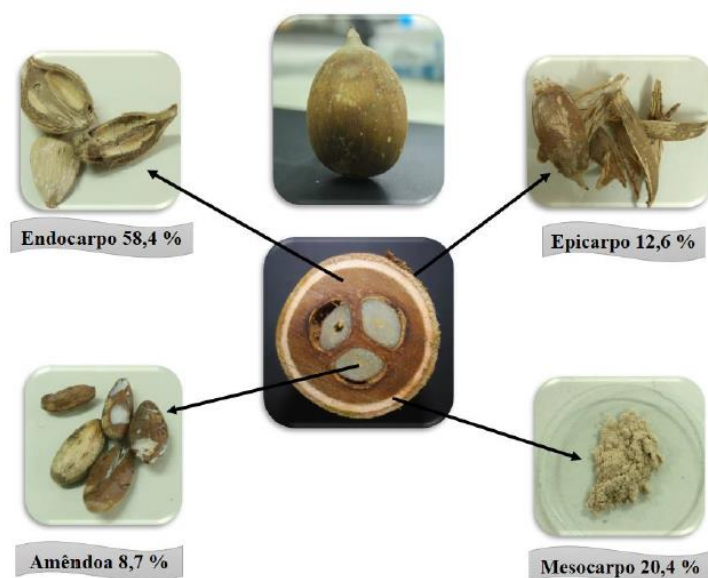
Figura 05: Palmeira de babaçu (A) e cacho de cocos babaçu (B)



Fonte: Autor, 2025.

A maior concentração de palmeiras babaçu é no Maranhão onde um quarto do território maranhense é coberto por babaçuais. A frutificação da palmeira babaçu se inicia aos oito anos e atinge sua produção plena aos 15 anos. O fruto cresce em cachos (200 a 300 por cachos), pesando de 90 a 280 gramas. Uma palmeira pode ter uma produção média anual de até 2.000 frutos. O fruto é constituído por três camadas. A camada filamentos externa é denominada epicarpo; a camada amilácea intermediária forma o mesocarpo; e uma camada lenhosa interna constitui endocarpo. No interior do endocarpo encontram-se as amêndoas (Figura 06). O epicarpo corresponde a 12,6%, o mesocarpo 20,4%, o endocarpo a 58,4% e amêndoas a 8,7% do peso do fruto (Tôrres, 2014).

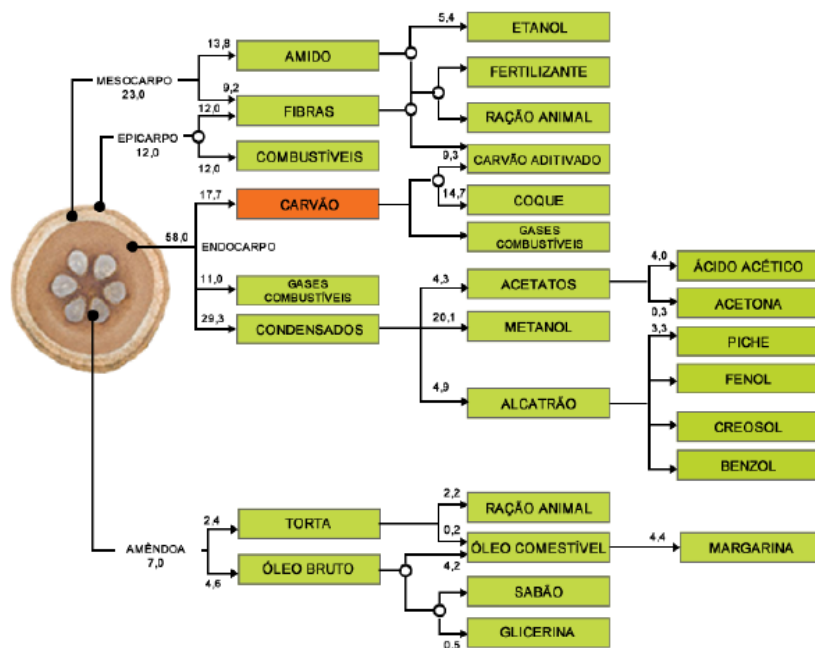
Figura 06: O coco babaçu e seus constituintes.



Fonte: Autores, 2025.

Todas as partes do coco babaçu pode ser processadas para dar origem a diversos produtos e subprodutos. A Figura 07 mostra um resumo dos produtos e subprodutos que podem ser gerados a partir das partes do babaçu.

Figura 07: Produtos e subprodutos do coco babaçu.



Fonte: Autores, 2025.

A parte do coco de maior valor comercial é a amêndoa da qual se extrai o óleo que é matéria-prima de diversos produtos de alto valor agregado como: óleo comestível, sabões e tensoativos. As outras partes do coco são geralmente deixados no campo ou transformados em carvão para uso domiciliar. Outra parte do coco que tem uso popular é o mesocarpo com o qual se produz a farinha do mesocarpo de babaçu. A farinha de mesocarpo é largamente utilizada na medicina popular com indicações no tratamento de diversas doenças, além do uso como suplemento alimentar (Leal, 2017).

3.6.1 Mesocarpo

O mesocarpo é a camada marrom-clara que se localiza abaixo do epicarpo, mede de 0,5 a 1,0 cm de espessura e representa de 17 a 22 % do peso do fruto. À medida que o fruto envelhece o mesocarpo vai adquirindo rigidez lenhosa e cor castanho-avermelhada.

O mesocarpo, quando fresco produz uma farinha (Figura 08) que tem a cor castanho claro devido aos taninos.

Figura 08: Mesocarpo do coco babaçu



Fonte: Origem Brasil, 2025.

De acordo com Da Silva (2021), o mesocarpo é composto por 64 a 71% de amido; 1,54 % de proteínas; 0,27 % de lipídeos; 1,25 % de glicídios solúveis; 2,51 % de fibras; 14,90 % de umidade e 11,23 % de outras substâncias orgânicas como aminoácidos, hemicelulose e pentosanas. A farinha de mesocarpo de babaçu tem um teor proteico acima de 2% em peso e pode ser utilizada para alimentação humana e animal.

Através deste mesocarpo se produz a farinha do babaçu que pode ser usada como alimento ou ração, em função do conteúdo orgânico e mineral, possuindo constituintes 18 essenciais ao organismo e contribuindo desta forma na nutrição humana. Estudos sobre a incorporação da farinha do mesocarpo de babaçu nas dietas regionais brasileiras têm-se referido a esta, como fonte de nutrientes para a complementação proteica e de energia (amido) e ainda de fração fibra alimentar (Neto et al., 2023; Da Silva Costa & Clemente, 2023). Devido à composição rica em amido deste resíduo, este material se apresenta como um material promissor na produção de filmes biodegradáveis.

3.6.2 Amido do coco babaçu

O amido é um polímero natural abundante, composto por amilose e amilopectina. A amilose é linear e representa de 20% a 25% do amido total, enquanto a amilopectina é altamente ramificada e compõe de 70% a 80%. Essas estruturas conferem diferentes propriedades físico-químicas ao material (OTHMAN, 2024).

O amido extraído do mesocarpo de coco babaçu (figura 02) possui características estruturais ideais para a produção de biocompósitos. Além disso, a capital maranhense, localizada na ilha de "Upaon-Açu", é rica em algas marinhas, das quais pode-se extrair alginato (CARRAZZA, 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

Para o preparo das membranas foram utilizados alginato de sódio (A2033, massa molar média de 90 kDa, viscosidade intrínseca de 690 ml/g a 25 °C, composto por 61% de ácido manurônico e 39% de ácido gulurônico) obtido da Isofar (Brasil); glicerol (Dinâmica, Brasil); cloreto de cálcio dihidratado (Merck, Alemanha); óleo de copaíba da espécie *C. langsdorffii*, adquirida pela Expresso Mata Atlântica.

4.2 Caracterização físico-química e antibacteriana do óleo

4.2.1 Densidade Relativa

A densidade relativa foi medida usando um picnômetro. As amostras foram medidas separadamente e removendo excesso de óleo quando necessário. O peso da amostra do óleo-resina foi obtido através da diferença de massa do picnômetro cheio e vazio. A densidade relativa foi calculada através da razão entre a massa do óleo-resina e a massa da água, ambas à temperatura de 25 °C. Os valores médios de densidade foram relatados como média $\pm$ desvio padrão.

4.2.2 Viscosidade e Condutividade

A viscosidade do óleo, assim como das soluções filmogênicas, foram medidas usando um viscosímetro (NDJ-5S, instrumento científico de Shanghai Pingxuan Co., Ltd, China) à temperatura de 19 °C, usando um eixo L-3 a uma velocidade constante de 60 rpm. As condutividades foram determinadas à temperatura de 23 °C por um medidor de condutividade (DZDS-A, Nanjing Duozhu Technology Development Co., Ltd, China). Os valores médios da viscosidade e condutividade foram relatados como média $\pm$ desvio padrão.

4.2.3 Índice de Acidez

O índice de acidez foi medido de acordo com modelo Vasconcelos e Godinho (2002), pesando-se 2 g do óleo em um Erlenmeyer de 125 mL e em seguida adicionando 25 mL da mistura éter etílico:álcool etílico (2:1) acompanhado de agitação. Foi adicionado a essa mistura, 2 gotas de solução alcoólica de fenolftaleína e titulado com solução 0,1 N de hidróxido de sódio até que a solução passasse de incolor para uma coloração rósea. O índice de acidez foi calculado pela Equação 2:

$$IA = \frac{VN*56*1}{m} \quad (2)$$

Onde: V é o volume de solução de NaOH gasto na titulação em mililitros, N é a normalidade da solução e m é a massa da amostra em gramas.

4.2.4 Índice de refração

Foi obtido o índice de refração do óleo de copaíba com o auxílio do aparelho Refratômetro Abbé, calibrado inicialmente conforme o índice de refração da água destilada, a 25 °C, informado pelo fabricante, de 1,332.

4.3 Potencial oxidativo pelo método de DPPH

Potencial oxidativo DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) foi baseado de acordo com método de Rufino et al. (2010) e Batista et al. (2016), na qual uma alíquota da solução de DPPH (0,06 mm em metanol) foi adicionada aos extratos diluídos em água na proporção de 40,4:1. Para determinar o tempo de reação, as leituras cinéticas foram obtidas a cada minuto à 515 nm até a estabilização da absorbância. O tempo de leitura dos extratos de copaíba na análise DPPH foi de 10 min. Foram utilizadas cinco concentrações dos extratos (amostras de Abs) para cálculos de inibição e os solventes das extrações foram utilizados como controle (controle de Abs). Após o cálculo da inibição (Equação 1), a concentração de óleo de copaíba necessário, a fim de reduzir o radical DPPH por 50% (IC50) por meio de regressão linear foi calculada. Os resultados foram expressos em g.L⁻¹. Este método será realizado tanto para o óleo de copaíba quanto para os filmes selecionados.

$$\%Inibição = \left[\frac{amostra_{solvente} - concent_{extrato}}{amostra_{solvente}} \right] * 100 \quad (1)$$

Onde: %inibição é o percentual de inibição, *amostra_{solvente}* é a concentração de solvente das extrações e *concent_{extrato}* é a concentração do extrato utilizado.

4.2.6 Potencial oxidativo pelo método de ABTS

A determinação da atividade antioxidante pelo método ABTS [2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)], foi adaptada conforme a metodologia sugerida por Re et

al. (1999). A partir das concentrações dos filmes (5 a 1000 mg/mL) preparou-se a mistura reacional com o cátion radical ABTS. Em ambiente escuro foi transferida uma alíquota de 30 µL de cada concentração das amostras contendo 3,0 mL do cátion radical ABTS e homogeneizou em agitador de tubos e após 6 minutos realizou-se a leitura da absorbância da mistura reacional em espectrofotômetro em comprimento de 734 nm. As análises foram realizadas em triplicata. A eliminação de radicais ABTS foi expressa em percentual e a Concentração Eficiente 50% (CE50/IC50) capazes de inibir 50% dos radicais foi expressa em mg/mL.

4.4 Caracterização atividade antibacteriana

As propriedades antibacterianas do óleo de copaíba e dos filmes selecionados foram monitoradas bactérias Gram-positivas como *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 (*S. aureus*) e *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228 (*S. epidermidis*) e bactérias Gram-negativas *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 (*P. aeruginosa*) e *Escherichia coli* ATCC 25922 (*E. coli*). Culturas de cada uma das bactérias contendo aproximadamente 10⁸ UFC/mL foram preparadas e cultivadas a 37 °C em uma incubadora. A difusão do disco e o método de contagem de colônias foram utilizados para avaliar a atividade antibacteriana. No método de difusão em disco, as amostras foram preparadas em discos circulares (com 15 mm de diâmetro) e colocadas em uma placa semeado com microorganismo. Após incubação por 24 h em uma incubadora a 37 °C, a zona de inibição do diâmetro foi medida em intervalos do diâmetro (mm). Para o teste de contagem de formação de colônias, a suspensão de bactérias teve a densidade final de 10⁵ UFC/mL. As amostras de teste foram imersas na suspensão bacteriana (2,5 mL) em um frasco e agitadas a 37 °C por 0, 1, 3, 12 e 24 h. Em cada um dos intervalos, a solução (0,1 mL) foi retirada e diluída com uma solução tampão de fosfato para preparar uma diluição em série. As suspensões bacterianas foram cuidadosamente descartadas em placas de ágar e contadas para o número de unidades formadoras de colônias.

4.5 Elaboração dos biopolímeros

4.5.1 Obtenção e purificação do amido do mesocarpo do babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.)

O pó do mesocarpo foi obtido através da moagem do coco babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.), coletado nos meses de janeiro e fevereiro em Santo Antônio dos Lopes – MA Latitude: 2°31'46"S Longitude: 44°17'49" W. O material foi lavado com uma solução de metabissulfito de sódio (5 g/L de água), na proporção de 1 kg de matéria-prima para 2 L de solução de metabissulfito, a fim de evitar o escurecimento do amido. Após agitação por 10 minutos, o líquido foi filtrado utilizando papel de filtro e funil de Büchner conectado a uma bomba de vácuo.

Para remoção de resíduos orgânicos do amido extraído, foram realizadas lavagens sucessivas com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,05 mol/L e com álcool etílico absoluto. Após cada lavagem, o material foi novamente filtrado e levado à estufa a uma temperatura entre 30°C e 45°C até atingir peso constante. Após totalmente seco, o material foi macerado e extraído por peneiração sucessiva utilizando tamises de malhas finas com aberturas variando entre 0,42 mm e 0,125 mm utilizando uma adaptação da Santos (2009).

4.5.2 Produção dos filmes poliméricos.

Os filmes poliméricos foram preparados de acordo com a metodologia usada por Santana e Kieckbusch (2013), Parada-Hernández et al. (2019), Bueno e Moraes (2018), Pires e Moraes (2015) e Lopes et al. (2020). Foram adicionados em 400 mL de água, alginato e glicerol até 70 °C de acordo com o planejamento experimental mostrado na Tabela 1. Em seguida reduziu-se a temperatura até 40 °C para adição do óleo de copaíba. Usou-se um agitador mecânico tipo “*Turrax*” (Quimis, Modelo Q250-2, São Paulo, Brasil) para fazer a dissolução dos materiais por 30 minutos. Após isto, adicionou-se lentamente 30 mL de solução de cloreto de cloro dihidratado - $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (*crosslinking*) definidas no planejamento experimental. Os filmes foram obtidos através da metodologia de *casting* em placas de acrílico de 15 cm de diâmetro. Em seguida, estes foram secos em estufa (Nova Técnica, modelo 400-1ND, Brasil) por 24h à 40 °C, e acondicionados em dessecadores com $\text{UR} \cong 50\%$ para posteriores caracterizações.

4.5.3 Planejamento experimental

A utilização de um planejamento de experimentos de mistura incorpora as premissas necessárias para o entendimento da relação entre as proporções dos constituintes e suas propriedades. Dessa forma, um planejamento de experimentos de mistura (PEM) com três componentes e superfície de resposta triangular, com “*three-*

factor simplex-lattice design”, com pontos inferiores e centroide geral foi usado para obter modelos e superfícies de respostas e foi utilizado para tentar mapear as proporções ideais entre os constituintes para ter-se obtenção de produto representado pela Equação (3).

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 \quad (3)$$

Onde: Y é a resposta (variável dependente); β_0 é a constante de regressão; β_1 , β_2 e β_3 são os coeficientes de regressão; x_1 , x_2 e x_3 representa os valores codificados das variáveis independentes (concentrações de glicerol, *crosslinking* e óleo de copaíba, respectivamente).

Para a confecção das blendas foi fixado em 6g a concentração de alginato para todas as formulações e foram avaliadas as variáveis independentes: concentrações de glicerol, *crosslinking* e óleo de copaíba seguindo o planejamento experimental apresentado na Tabela 01, que apresenta os quinze formulações do delineamento experimental. Como variáveis de resposta foram estudadas o teor de umidade, solubilidade em água, espessura e permeabilidade ao vapor de água - PVA.

Realizou-se a análise estatística, a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), dos coeficientes de regressão e em seguida foi realizada a análise de variância (ANOVA), que consistiu na avaliação do coeficiente de determinação (R^2) e do teste F, para verificar se o modelo (Equação 3) representava um grau de ajuste adequado aos dados experimentais. Para a análise dos dados experimentais obtidos, bem como para a elaboração dos modelos, utilizou-se o software Statistica 9.0 (Statsoft, Tulsa, EUA). Apenas variáveis com nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$) foram consideradas significativas.

Tabela 01: Planejamento experimental de misturas para os filmes poliméricos variando os parâmetros de concentração de glicerol, concentração de óleo de copaíba e concentração de *crosslinking*.

Formulações	Glicerol (ml)	Crosslinking (%)	Óleo de copaíba (ml)
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1

4	1/3	2/3	0
5	1/3	0	2/3
6	0	1/3	2/3
7	2/3	1/3	0
8	2/3	0	1/3
9	0	2/3	1/3
10*	1/3	1/3	1/3
11	2/3	1/6	1/6
12	1/6	2/3	1/6
13	1/6	1/6	2/3
14*	1/3	1/3	1/3
15*	1/3	1/3	1/3

* As formulações 10, 14 e 15 são iguais. Fonte: Autor, 2025.

4.6 Caracterizações físico-químicas dos biopolímeros

4.6.1 Avaliação subjetiva

Foram realizadas análises subjetivas quanto a continuidade, homogeneidade e manuseabilidade que foram classificadas como excelente (++++), bom (+++), regular (++) e ruim (+) (LOPES et al., 2020).

4.6.2 Conteúdo de umidade (ω)

Utilizou-se o método gravimétrico com auxílio de estufa (Solar, SL-100A, Brasil) a 105 °C por 24h, conforme a AOAC 926.12 (AOAC, 2007). A umidade foi determinada em triplicata para cada formulação e expressa em fração mássica de acordo com a Equação 4:

$$\omega = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) 100 \quad (4)$$

Onde: ω é o conteúdo de umidade (g/100 g, u.b.u), m_i é a massa inicial do material (g) e m_f é massa final do material (g).

4.6.3 Solubilidade em água (S)

A solubilidade em água foi determinada em triplicata como proposto por Irissin-Mangata et al. (2001). Massas determinadas de cada filme (m_i) foram imersas em 50 mL de água destilada e colocadas em seguida sob constante agitação em uma mesa de agitação (modelo 3545-40-EA, Termo Fisher Sci Inc, EUA) por 24h a temperatura ambiente. Em seguida, o material foi colocado para secagem em estufa (Nova Técnica, modelo 400-1ND, Brasil), durante 24h a 105 °C, obtendo-se a massa seca (m_f). Os valores de solubilidade foram encontrados conforme a Equação 5:

$$S = \left\{ \frac{m_i(1 - \omega) - m_f}{m_i(1 - \omega)} \right\} \quad (5)$$

4.6.4 Espessura (δ)

Determinou-se a espessura dos biopolímeros usando-se um micrômetro digital (modelo MDC-25S, Mitutoyo, Japão) com resolução de 0,01 mm e tomando nove medidas em diferentes pontos simétricos.

4.6.5 Permeabilidade a vapor de água (PVA)

Determinou-se a PVA pelo método gravimétrico, de acordo com a metodologia E95-96 (ASTM, 2012) usando potes de acrílico completamente cheios com cloreto de cálcio anidro (Êxodo Científica, São Paulo, Brasil) a fim de se manter a umidade dentro do pote de aproximadamente 0%. O filme foi cuidadosamente colocado sob o pote, que, por sua vez, foi colocado em outro frasco, contendo uma solução de NaCl (Synth, São Paulo, Brasil) no fundo, a fim de se estabelecer uma umidade relativa de 75%, deste modo, obtendo-se uma diferença na pressão de vapor. A taxa de aumento na massa total do filme foi obtida através de medidas monitoradas durante 72h, encontrando-se a taxa de permeabilidade de água através do filme. Os valores de PVA foram obtidos usando a Equação 6:

$$PVA = \left[\frac{G\delta}{A_e\Delta P_a} \right] \quad (6)$$

Onde: δ é a espessura do filme (mm), A_e é a área exposta do filme (m^2), ΔPa é a pressão parcial de água através do filme (kPa), G é a taxa de permeabilidade de água (g/dia), calculada através de regressão linear da relação de massa por tempo.

4.6.6 Microscopia óptica

As fotomicrografias formulações selecionados (otimizados) foram realizadas com auxílio de microscópio óptico (modelo MA 100 Eclipse, marca Nikon), na objetiva 100x com um auxílio de uma lâmina, na qual foram inseridas as amostras de cada filme. As imagens obtidas, em 2D, foram avaliadas como método alternativo para avaliar a miscibilidade óptica das misturas.

4.6.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O aspecto das superfícies e os detalhes das seções fraturadas dos filmes compósitos (fisicamente fraturadas sob nitrogênio) foram examinados usando Microscopia Eletrônica de Varredura (TM3030, Hitachi, Japão) operando em uma tensão de aceleração de 5 kV. Os espécimes foram montados em stubs de alumínio e revestidos com ouro por pulverização catódica (Balzers Union, Balzers, Liechtenstein). A estrutura de cada amostra foi avaliada usando energia dispersiva e espectrometria de deslocamento de densidade para resolver os dados do microscópio.

4.5.8 Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros FTIR dos materiais de partida (alginato, BCM, BCEF) e a mistura foram obtidos usando um espectrofotômetro IR-Prestige (IR-Prestige, Shimadzu, Japão). Todos os espectros foram registrados no modo ATR de absorbância acumulando 128 varreduras à temperatura ambiente de 25 °C (± 2 °C) com uma resolução de 4 cm^{-1} na região espectral de 400 a 4000 cm^{-1} .

4.6.9 Difração de raios X (DRX)

As características estruturais dos filmes foram estudadas por difração de raios X usando um difratômetro Bruker D8 (Alemanha), com uma radiação Cu-K α operando a 40 kV e 40 mA. As amostras foram analisadas por difração de raios X, registrando-se os dados digitalmente na faixa de ângulo de difração 2θ de 5° a 80°

4.7 Análise estatística

Os dados quantitativos são expressos como valores médios $\pm$ desvio-padrão para caracterizações realizadas acima de cinco repetições e médios $\pm$ desvio médio para análises realizadas em triplicata. Foi feita Análise de Variância (ANOVA), falta de ajuste (test F), determinação do coeficiente de regressão e geração de superfícies de respostas, através do *software* Statistica 9.0 (StatSoft, Inc., USA). Foram realizadas também o Teste de Tukey utilizando o mesmo *software*. Somente as variáveis com 95% ($p \leq 0,05$) foram consideradas estaticamente significativas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterizações do óleo de copaíba

5.1.1 Análise de Densidade Relativa, Índice de refração e Índice de Acidez

De acordo com análises realizadas pode-se observar que óleo de copaíba da espécie *C. langsdorffii* apresentou densidade relativa de 0,8722 g/mL, valor abaixo, quando comparado à densidade relativa da espécie *C. officinalis* obtida no estudo de Da Cruz et al. (2021) que foi de 0,9268 g/mL. Dados de densidade relativa de óleo da mesma espécie em estudo, não foi possível obter na literatura. Porém, segundo De Azevedo et al., (2020), os óleos e gorduras vegetais têm densidade entre 0,90 e 0,93 g/mL, no qual o óleo de *C. langsdorffii* apresentou na menor faixa.

O índice de refração do óleo de copaíba da espécie *C. langsdorffii* foi de 1,5133 nD à 25 °C, descartando hipótese de adulteração no óleo de copaíba (BARBOSA; YOSHIDA; SCUDELLER, 2009; SERRA et al., 2019). Resultados aproximados foram encontrados por De Souza et al., (2023) para índice de refração do óleo de copaíba variado de 1,502 a 1,507. Essa diferença pode se dar pela variação única de cada tipo de espécie dos óleos estudados, grau de saturação, processo de oxidação e tratamento térmico (De Souza et al., 2023)

Para essa análise foi obtido valor de 3,02mg/g KOH para o índice de acidez. Esse resultado foi considerado dentro do intervalo ao encontrado nas pesquisas de De Souza et al., (2023), com uma variação de 1,63 a 4,02 mg/g KOH utilizando a variados tipos de óleo de copaíba em seu estudo. Entretanto, os resultados estão em conformidade com os valores estabelecidos pela Anvisa (2023), em que valores de índice de acidez próximos a 4,00 mg de NaOH/mL são considerados aceitáveis para consumo humano.

5.1.2 Análise de Viscosidade e Condutividade

De acordo com a Tabela 02, pode-se observar a redução da viscosidade com relação ao aumento da temperatura. No entanto, o óleo apresentou valor de viscosidade de 24,47 mPa.s, valor abaixo ao encontrado por do encontrado por De Sousa et al. (2019) na mesma temperatura de 40°C que foi de 67,46 mPa.s e de 59,87 mPa.s, bastante acima, aos encontrado por De Souza et al., (2023) que variou de 5 a 11 mPa.s para a mesma temperatura de 20 °C.

Para as propriedades físico-químicas do óleo-resina de copaíba de árvore de duas áreas distintas da Floresta Nacional do Tapajós – FLONA, foram constatadas densidade média de 0,96 g.cm-3 e viscosidade de 82,27 MPa.s-1 (Silva et al., 2012). O valor de densidade obtido na presente pesquisa foi superior ao obtido pelos autores citados e, o de viscosidade, inferior. As características físico-químicas dos óleos podem variar entre e dentre indivíduos, região e período de frutificação das árvores. Segundo Melo et al. (2014), a viscosidade é variável nos óleos vegetais, sendo dependente do grau de insaturação e tamanho das cadeias graxas da sua composição; além de também ser influenciado pela presença de ramificações e posicionamento dessas insaturações. Em estudo realizado por Alves et al. (2015), no qual foram analisadas as características físico-químicas do óleo de copaíba e andiroba, constataram-se valores de densidade de 0,94 e 0,87 g.cm-3 e viscosidade de 45,0 e 18,3 MPa.s-1, respectivamente. A viscosidade do óleo de andiroba (18,3 MPa.s-1) relatada foi, aproximadamente, três vezes menor do que a obtida pela presente pesquisa (65,54 MPa.s-1). Tais diferenças podem estar associadas a fatores já citados anteriormente por Melo et al. (2014). A viscosidade está relacionada à penetração do líquido na madeira, pois quanto maior for seu valor, menor será a penetração, estando relacionada com sua facilidade de impregnar a parede celular. Assim, soluções menos viscosas não necessitariam ser diluídas ou aquecidas para penetrarem e se difundirem no lenho (Paes et al., 2015).

A condutividade encontrada para óleo de copaíba da espécie *C. langsdorffii* foram de 140,99 no tempo inicial (tempo zero), 141,03 com o tempo de 30 min e 140,88 com o tempo de 1h, obtido média de 140,96 μ S/cm. Este resultado superior ao obtido para a espécie *C. officinallis* que foi de 120,02 μ S/cm (De Oliveira NEVES et al., 2018). Entretanto, segundo Alencar et al. (2015), os valores para óleo de copaíba da espécie *C. langsdorffii* está entre 187 a 226 μ S/cm e, os valores encontrados nesta pesquisa é na faixa comparado à essa faixa podendo estar relacionada a variação das espécies estudadas.

Tabela 02: Viscosidade do óleo de copaíba da espécie *C. langsdorffii*.

Temperatura (°C)	Viscosidade (mPas ⁻¹)
10	118,2
20	59,87
25	44,87
30	34,55

40	24,47
50	14,88
60	10,68
70	8,16
80	7,56
90	6,36

Fonte: Autor, 2025.

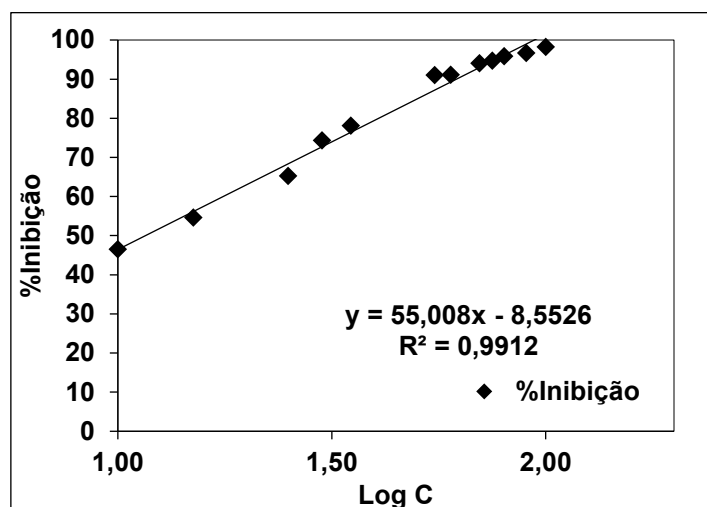
5.1.3 Análise do potencial oxidativo pelo método de DPPH

Para a avaliação da atividade antioxidante pela redução do DPPH, a fixar um H (hidrogênio), abstraído do antioxidante em estudo, observa-se uma diminuição na absorbância, o que permite calcular, após estabelecimento do equilíbrio da reação, a quantidade de antioxidante gasta para reduzir 50% do DPPH (IC₅₀). No gráfico 01, estão apresentados os dados e valores das análises feitas nas amostras para cálculo da Atividade Antioxidante.

Após análise de regressão linear entre as concentrações avaliadas do óleo de copaíba e a sua atividade antioxidante percentual (capacidade em sequestrar radicais livres), o que possibilitou a determinação da equação da reta $y = 55,008x - 8,5526$. Através desta equação, pode-se encontrar a concentração eficiente (IC₅₀), que é a quantidade de antioxidante necessária para decrescer a concentração inicial de DPPH em 50%. A correlação linear $R^2 = 0,9912$ representa a linearidade da reta como mostra na figura 10. Este (R) mostra que a reta teve uma linearidade de aproximadamente 99,12 %.

A capacidade oxidativa do óleo de copaíba apresentou boa capacidade de inibição de radicais de DPPH com IC₅₀ = 11,60 µg/mL. O maior valor de IC₅₀ indica menor atividade de eliminação de radicais ou menor potencial antioxidante (Phuyal et al 2020.) Valores parecidos aos encontrados por Alves da Silva et al., (2020) para óleo de *Murraya paniculata* e possui valor elevado de inibição se relacionado aos encontrados por De Lucena et al., (2024) que foi de 300 µg/mL, analisaram a espécie de copaíba *Copaifera multijuga* (Fabaceae), da mesma família da *C. langsdorffii*, estudada nesse trabalho, sugerindo que o óleo possa estar em alguma situação que diminuiu sua capacidade inibitória de radicais de DPPH.

Gráfico 01: Curva de inibição pelo método DPPH do óleo de copaíba da espécie *C. langsdorffi*.



Fonte: Autor, 2025.

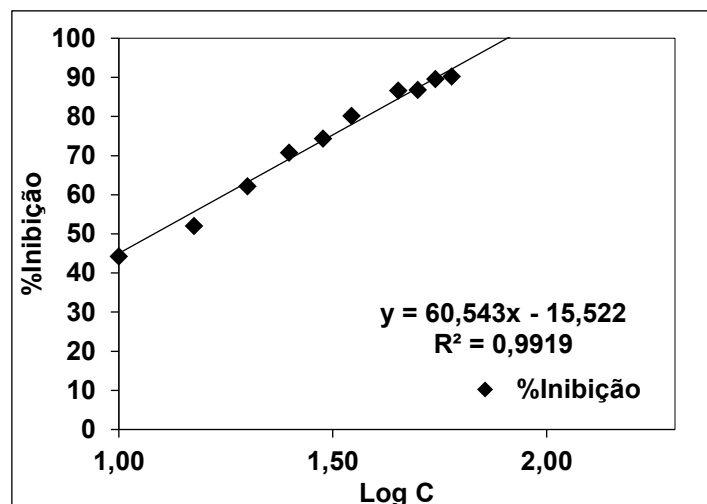
5.1.4 Análise do potencial oxidativo pelo método de ABTS

Em relação à atividade antioxidante pelo método ABTS, quanto maior o valor obtido, mais forte é o potencial antioxidante, sendo uma análise diretamente proporcional, diferente do método DPPH.

Após análise de regressão linear entre as concentrações avaliadas do óleo de copaíba e a sua atividade antioxidante percentual (capacidade em sequestrar radicais livres), o que possibilitou a determinação da equação da reta $y = 60,543x - 15,522$. Através desta equação, pode-se encontrar a concentração eficiente (IC₅₀), que é a quantidade de antioxidante necessária capturar radicais orgânicos em 50%. A correlação linear $R^2 = 0,9912$ representa a linearidade da reta, (R^2), presente no gráfico 02, mostra que a reta teve uma linearidade de aproximadamente 99,12 %.

A capacidade oxidativa do óleo de copaíba apresentou boa capacidade de inibição de radicais de DPPH com IC₅₀ = 12,08 µg/mL. O quanto maior valor de IC₅₀ maior atividade de eliminação de radicais e maior potencial antioxidante (Rosário et al., 2021.) Resultados semelhantes foram encontrados por por Mutlu-Ingok et al., (2021) para óleo de gengibre com 7,72 µg/mL.

Gráfico 02: Curva de inibição pelo método ABTS do óleo de copaíba da espécie *C. langsdorffii*.



Fonte: Autor, 2025.

5.1.5 Avaliação Antibacteriana

De acordo com a Tabela 03, o óleo de copaíba da espécie *C. langsdorffii* não apresentou ação contra as cepas *P. aeruginosa* e *B. cereus*. No entanto, como já era esperado, apresentou boas respostas à *E. coli*, *S. aureus*, *S. epidermis*. Os resultados obtidos foram parecidos ao estudo realizado por Oliveira et al. (2020), utilizando a *C. multijuga* e as cepas *E. coli*, *S. aureus* e os encontrados por Araújo et al 2022, comprovando atividade antibacteriana para as bactérias aqui estudadas dentre outras como *S. mutans* para espécie de copaíba *C. langsdorffii*.

Tabela 03: Dados referentes à ação antibacteriana do óleo de copaíba.

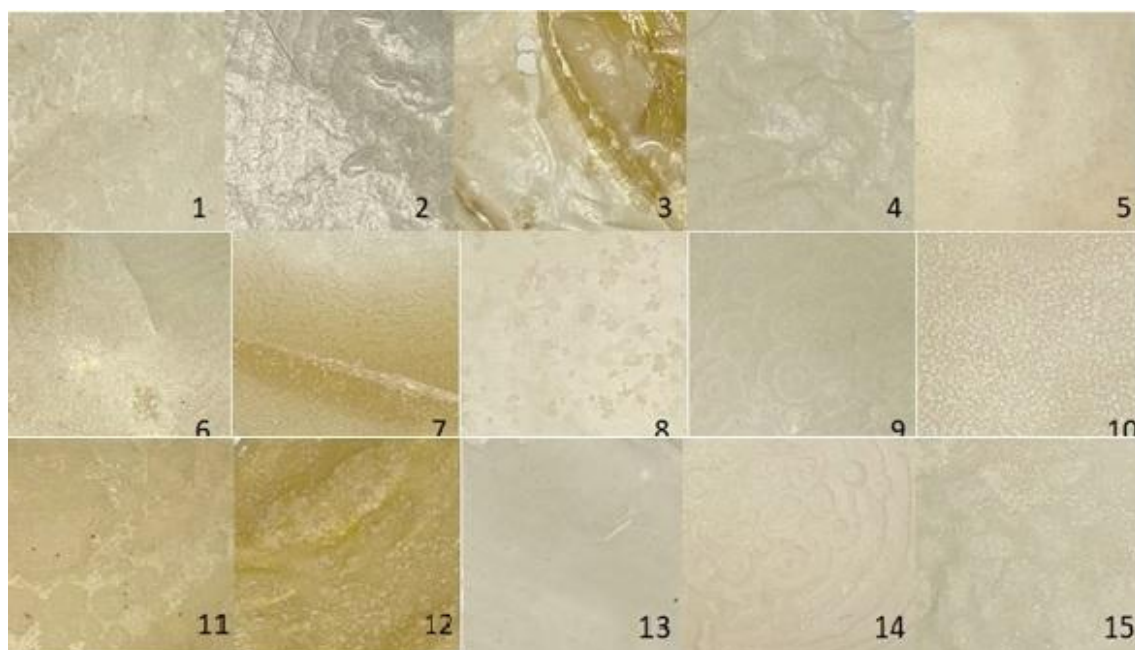
Copaíba ID:250322	Diâmetro dos halos de inibição (mm)	Concentração Inibitória Mínima (CIM $\mu\text{g mL}^{-1}$)	Concentração Bactericida Mínima (CBM $\mu\text{g mL}^{-1}$)
<i>Escherichia coli</i>	12	650	1233,33
<i>Staphylococcus aureus</i>	14	650	650
<i>Staphylococcus epidermis</i>	12	716,66	733,33
<i>Salmonella typhi</i>	9	1233,33	1233,33
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	NA	NA	NA
<i>Bacillus cereus</i>	NA	NA	NA

Fonte: Autor, 2025.

5.2 Propriedades dos filmes com alginato

Os filmes compósitos apresentaram visualmente boa aparência, com formatos homogêneos, variando sua tonalidade em bege claro a escuro, com transparência. A cor mais clara está diretamente relacionada à quantidade de óleo (Figura 9 e Tabela 04). Apresentaram também certa facilidade em desprender das placas de Petri, porém os testes 3, 6 e 9 que não continha em suas formulações o plastificante glicerol, mostraram-se muito quebradiços.

Figura 09: Imagem dos biopolímeros obtidos no planejamento experimental.



Filmes que apresentaram em sua composição maiores quantidades de óleo de copaíba e glicerol em relação a concentração de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ apresentaram melhor flexibilidade e manuseio se comparados aos filmes com baixas concentrações desses compostos. Dessa forma apresentam bom desempenho manual para possível aplicações em superfície irregulares, adequando-se a sim a forma submetida.

Tabela 04: Resultados da avaliação subjetiva para biopolímeros contendo glicerol, óleo de copaíba e crosslinking.

Formulações	Continuidade	Homogeneidade	Transparência	Flexibilidade
1	+++	+++	+++	++++
2	++	++	++	+
3	+	+	++	+
4	+++	+++	+++	++
5	++++	++++	++++	++++
6	+++	+++	++	+
7	++++	++++	++	++++
8	++++	++++	++	++++
9	+++	+++	++	++
10*	++	+++	+++	++++
11	++++	++++	++++	++++
12	+++	++	++	++
13	++	+++	++	+++
14*	++	+++	+++	++++
15*	++	+++	+++	++++

* As formulações 10, 14 e 15 são iguais. ++++ excelente, +++ bom, ++ regular, + ruim. Fonte: Autor, 2025.

De acordo com que está descrito no item 4.4, a confecção dos biopolímeros foi realizada seguindo um Planejamento Experimental de Misturas com três variáveis independentes, totalizando 15 formulações, com três repetições nos pontos centrais. O objetivo deste planejamento foi avaliar a influência das variáveis independentes concentração de glicerol, concentração do crosslinking e concentração de óleo de copaíba, sobre as respostas: conteúdo de umidade, solubilidade em água, espessura e

permeabilidade ao vapor de água. Os resultados estão apresentados na Tabela 05. Estas respostas foram escolhidas por apresentar importância para processamento, armazenamento e embalagem dos biopolímeros.

Analisando a Tabela 05, percebeu-se que para a resposta umidade os valores variaram entre 7,87% a 48,87%, referindo-se aos testes 6 (6g de alginato + 0 ml de glicerol + 1/3% de crosslinking + 2/3 ml de óleo de copaíba) e 1 (6g de alginato + 5 ml de glicerol) respectivamente, mostrando a influência dos componentes. Esses valores foram próximos aos encontrados em filmes de amido de *Xanthosoma mafaffa* Schott incorporado com óleo de copaíba sem identificação da espécie (Rodrigues et al., 2020) e inferiores aos obtidos por Paranhos et al. (2021) para filmes de quitosana com incorporação de óleo de copaíba da espécie *C. officinalis*. Entretanto, os testes 6 (6g de alginato + 0 ml de glicerol + 2/3% de crosslinking + 2/3 ml de óleo de copaíba) e 9 (6g de alginato + 0 ml de glicerol + 1/3% de crosslinking + 1/3 ml de óleo de copaíba) não diferiram estatisticamente ao nível de 95% de confiança, apresentando os menores valores de umidade. Possivelmente, este fato ocorreu em decorrência a ausência de glicerol nas composições. Outro fato que pode ter acontecido, é o fechamento das cadeias poliméricas com o processo de reticulação que fez com que o óleo de copaíba não sobressaísse em relação ao crosslinking, tornando a composição de mistura mais hidrofóbica. Dessa forma torna-se um ponto positivo a baixa umidade para curativos, pois sempre manterá o ambiente propício a cicatrização e a não proliferação de microrganismos como fungos, que advém de umidade.

Tabela 05: Conteúdo de umidade (ω), solubilidade em água (S), espessura (δ) e permeabilidade ao vapor de água (PVA) para os biopolímeros de alginato, glicerol, crosslinking e óleo de copaíba.

Formulações	ω (%)	S (%)	δ (mm)	PVA**
1	48,879±1,953 ^f	44,442±2,069 ^f	0,080±0,010 ^a	4,151±0,887 ^c
2	12,329±0,941 ^b	16,667±1,054 ^a	0,060±0,011 ^a	2,612±0,326 ^b
3	12,857±1,731 ^b	15,385±0,518 ^a	0,060±0,010 ^a	1,784±0,012 ^a
4	17,460±1,470 ^c	25,806±1,602 ^b	0,130±0,001 ^c	4,384±0,655 ^c
5	18,750±2,002 ^{cd}	51,128±0,511 ^g	0,110±0,003 ^{bc}	5,597±0,291 ^d
6	7,874±0,937 ^a	93,128±1,128 ⁱ	0,110±0,008 ^{bc}	4,669±0,154 ^c

7	16,854±1,297 ^c	45,122±2,366 ^f	0,070±0,022 ^a	2,554±0,331 ^b
8	18,919±2,209 ^{cd}	39,149±0,595 ^e	0,100±0,006 ^b	4,647±0,453 ^c
9	8,511±0,754 ^a	19,115±2,836 ^a	0,130±0,004 ^c	4,496±0,298 ^c
10*	22,222±0,898 ^d	34,375±1,949 ^d	0,150±0,007 ^d	4,214±0,663 ^c
11	32,258±1,917 ^e	58,670±2,306 ^h	0,090±0,004 ^b	5,060±0,889 ^c
12	16,667±0,287 ^c	27,397±1,969 ^b	0,165±0,004 ^d	8,018±1,055 ^e
13	17,241±0,447 ^c	35,795±1,705 ^d	0,110±0,003 ^b	5,583±0,020 ^d
14*	21,818±1,193 ^d	29,630±0,422 ^c	0,090±0,003 ^b	4,347±0,306 ^c
15*	19,149±1,038 ^{cd}	35,897±2,564 ^d	0,080±0,005 ^a	4,437±0,074 ^c

* As formulações 10, 14 e 15 são iguais. **[(g.mm)/(m².dia.kPa)]. Média ± desvio padrão das repetições.

Médias com a letra minúscula em cada linha indicam que não há diferença significativa a (p<0,05) de acordo com o teste de Tukey. Fonte: Autor, 2025.

No ensaio 1 (6g de alginato + 5 ml de glicerol) que continha apenas alginato e a maior concentração de glicerol das composições estudadas, apresentou uma umidade consideravelmente alta. O alginato e glicerol são materiais altamente higroscópicos (PAIXÃO et al., 2019), fazendo com que esta umidade apresentasse tão elevada. Segundo Da Costa e De Oliveira (2020) e Tarique e Khalina (2021), filmes que contém grandes quantidades de glicerol em sua formulação apresentaram valores elevados de umidade.

Na Tabela 06 e Figura 10 estão apresentados os dados da análise de variância (ANOVA) e superfície de resposta para umidade dos filmes.

Verificou-se a significância da regressão e não significância da falta de ajuste em relação a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), através do teste F, na ANOVA. O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado com diferentes misturas de glicerol, óleo de copaíba e crosslinking foi de 0,9334, indicando que o modelo explicou 93,34% da variação dos dados observados. O modelo apresentou regressão e falta de ajuste significativa ao nível de 95% de confiança ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$). Isto pode ter ocorrido devido à uma baixa repetibilidade dos pontos centrais, ou seja, quando o erro puro é muito menor que a falta de ajuste.

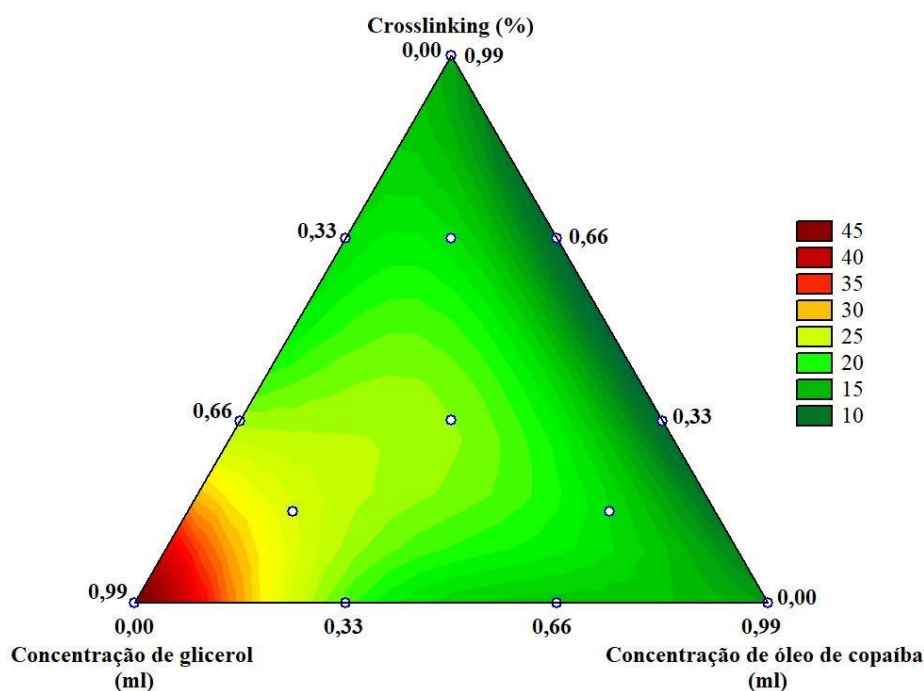
Tabela 06: ANOVA do modelo ajustado para a resposta conteúdo de umidade dos filmes.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	1321,12	9	146,79	7,78	4,77
Resíduos:	94,32	5	18,86		
- Falta de ajuste	88,74	3	29,58	10,61	19,16
- Erro puro	5,58	2	2,79		
Total	1415,44	14	101,10	R ² = 93,34%	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. Fonte: Autor, 2025.

Analisando a Figura 10, observou-se que as menores concentrações de umidade, encontra-se nos filmes que possuía em sua formulação apenas concentrações de crosslinking e óleo de copaíba como nos testes 2 (6g de alginato + 4% de crosslinking), 3 (6g de alginato + 5 ml de óleo de copaíba), 6 (6g de alginato + 0 ml de glicerol + 2/3% de crosslinking + 2/3 ml de óleo de copaíba) e 9 (6g de alginato + 0 ml de glicerol + 1/3% de crosslinking + 1/3 ml de óleo de copaíba). Em contrapartida, os filmes que apresentaram maiores valores de umidade estão presentes nas maiores e menores concentrações de glicerol e óleo de copaíba, respectivamente.

Figura 10: Superfície de resposta para a umidade dos biopolímeros.



Fonte: Autor, 2025.

A solubilidade assume um papel muito importante na permeabilidade ao vapor de água e biodegradação dos filmes, sendo de grande importância para caracterização, pois é possível compreender o comportamento quando entra contato com água (Li, Hu, Li, 2021; Da Silva Brasil et al., 2022). Dessa forma a solubilidade depende da concentração e do tipo de compostos (Do Evangelho et al., 2019), influenciando assim nos índices de hidrofilicidade e hidrofobicidade. Com isso os filmes hidrofóbicos diminuem a solubilidade, enquanto os hidrofílicos aumentam (Da Silva Brasil et al., 2022).

De acordo com a Tabela 07, a solubilidade variou de 15,38% a 93,13%, correspondendo aos testes 3 (6g de alginato + 5 ml de óleo de copaíba) e 6 (6g de alginato + 0 ml de glicerol + 2/3% de crosslinking + 2/3 ml de óleo de copaíba), respectivamente. Dessa forma podemos observar que filmes que possuem em sua composição apenas óleo de copaíba ou apenas $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, possuem baixos valores de solubilidade e, quando combinados, o $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ precisa ser necessariamente maior que a quantidade de óleo de copaíba para este fato permanecer. Já era esperando, uma vez que o crosslinking faz o fechamento da cadeia polimérica e deixa o filme mais difícil de penetração da água. O mesmo pode ter ocorrido com óleo de copaíba. Entretanto, quando o aposto se faz, a solubilidade aumenta, como podemos observar no ensaio 6, no qual obteve-se a maior solubilidade entre os filmes.

Na Tabela 07 e Figura 11 nos mostram os dados da análise de variância (ANOVA) e curva de contorno para resposta solubilidade em água dos filmes. Analisou-se a significância da regressão e não significância da falta de ajuste em relação a 5% de significância ($p \leq 0,05$), através do teste F, na análise de variância. O R^2 para o modelo ajustado foi de 0,7414, indicando que o modelo explicou 74,14% ($R^2 > 70\%$) da variação dos dados observados. O modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$) e falta de ajuste não-significativa a este mesmo nível de confiança ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$). Isto pode ter ocorrido devido à uma boa repetibilidade dos pontos centrais, ou seja, quando o erro puro é muito inferior à falta de ajuste. Portanto, pode-se obter superfície de resposta.

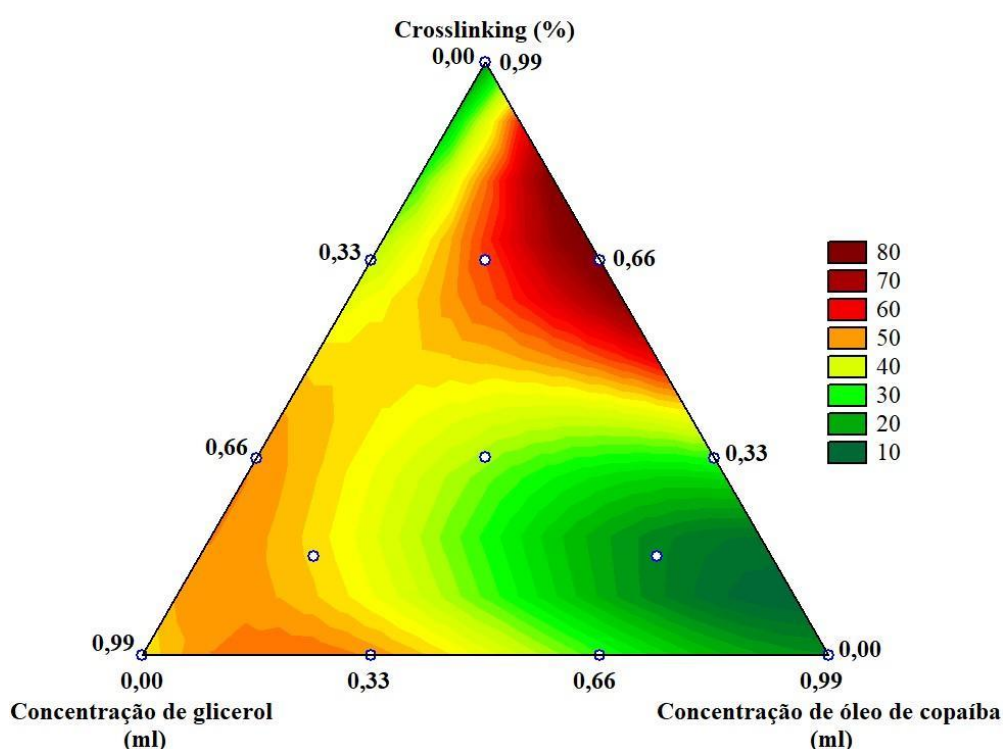
Tabela 07: ANOVA do modelo ajustado para a resposta solubilidade em água dos filmes.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	4010,03	9	445,56	1,59	4,77
Resíduos:	1398,76	5	279,75		
- Falta de ajuste	1377,38	3	459,13	42,96	19,16
- Erro puro	21,37	2	10,69		
Total	5408,79	14	386,34	R ² = 74,14%	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. Fonte: Autor, 2025.

De acordo com a Figura 11, os filmes que apresentaram maior solubilidade foram os filmes que continham alta concentração de crosslinking, com relação a quantidade de óleo de copaíba. A diminuição da solubilidade em água nos filmes que contém óleo de copaíba, se dá pelo fato do óleo possivelmente ser um componente hidrofóbico (Debone et al., 2019; Paranhos et al., 2021). Dessa forma a baixa solubilidade é um bom indicador que o material exposto ao conteúdo exsudado não solubilizara tão rápido, mas levando em consideração a longo prazo, não levará tanto tempo para se solubilizar e desfazer após o descarte.

Figura 11: Superfície de resposta para a solubilidade dos biopolímeros.



Segundo Paixão et al. (2019) a espessura é uma das características do filme mais importante, pois influencia diretamente na permeabilidade ao vapor de água. O controle de espessura torna-se difícil quando utilizado a metodologia *casting* (Da Silva Brasil et al., 2022). Na Tabela 5, pode-se observar a variação dos valores de espessura, com relação as concentrações de óleo de copaíba, crosslinking e glicerol, de 0,060 (testes 2 e 3) e 0,165mm (ensaio 12 - mistura ternária), respectivamente.

A Tabela 08, mostra os dados da ANOVA para resposta espessura dos filmes avaliados. O coeficiente de determinação apresentou valor de apenas 72,20% ($R^2 > 70\%$) para modelo ajustado com diferentes concentrações de glicerol, óleo de copaíba e crosslinking. Constatou-se a significância da regressão e não significância da falta de ajuste em relação a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), através do teste F, na ANOVA.

O modelo apresentou regressão significativa não-significativa ao nível de 95% de confiança ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$) e falta de ajuste significativa a este mesmo nível de confiança ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$). Isto pode ter ocorrido devido à uma não repetibilidade dos pontos centrais, ou seja, quando o erro puro é muito superior à falta de ajuste. Portanto a superfície de resposta (Figura 12), pode ser obtida.

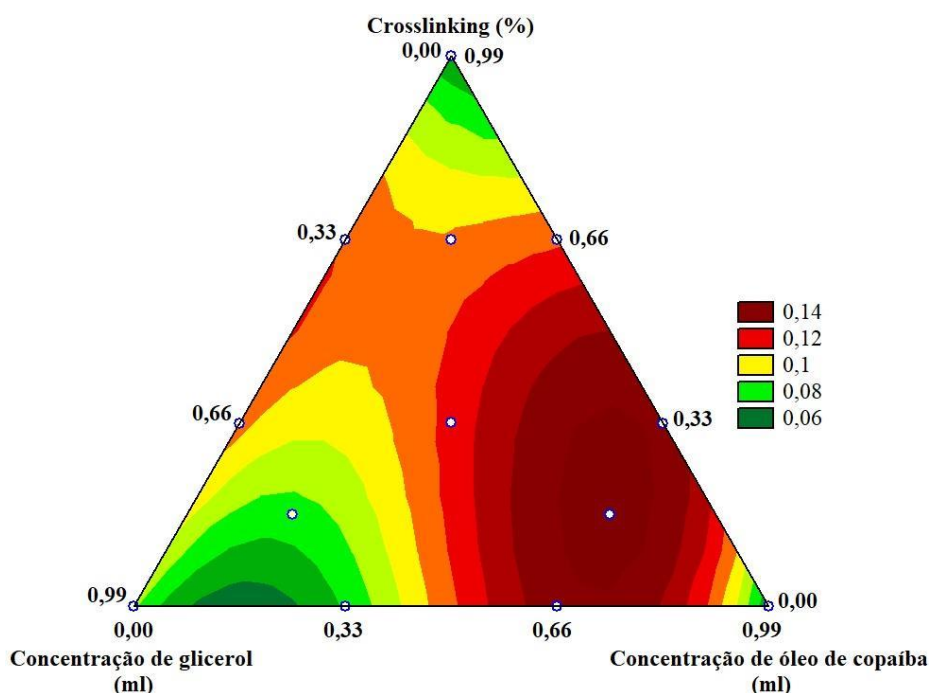
De acordo com a Figura 12 os filmes que apresentaram maior espessura foram os filmes com composição binárias e ternárias e, conseqüentemente, menores espessuras para testes que continha apenas um componente na mistura com alginato. Entretanto, essa espessura (maior ou menor), não desqualifica o filme, uma vez que dependendo da finalidade (aqui no caso para confecção de membranas) o ideal seria obter uma maior espessura.

Tabela 08: ANOVA do modelo ajustado para a resposta espessura dos filmes.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	0,01	9	0,00	1,44	4,77
Resíduos:	0,00	5	0,00		
- Falta de ajuste	0,01	3	0,00	0,23	19,16
- Erro puro	0,00	2	0,00		
Total	0,01	14	0,00	R ² = 72,20%	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. Fonte: Autor, 2025.

Figura 12: Superfície de resposta para a espessura dos biopolímeros.



Fonte: Autor, 2025.

As PVAs dos biopolímeros obtidas neste estudo variaram de 1,784 (ensaio 3) a 8,018 (ensaio 12) (g.mm/m².dia.kPa) (Tabela 5). Estes valores foram inferiores aos obtidos por Raposo et al. (2021) utilizando biopolímeros de alginato, amido do mesocarpo de coco babaçu e fibras submetidas à tratamento alcalino. Neste trabalho, o óleo de copaíba pode ter favorecido a obtenção de menores valores de PVAs, como podemos observar no ensaio 3 (6g de alginato + 5 ml de óleo de copaíba), que apresenta o menor valor. Possivelmente, o que pode ter ocorrido, com a presença do óleo de copaíba, a passagem de água ficou dificultada, devido à mistura entre óleo e os demais componentes, semelhante ao resultado encontrado por Nunes et al. (2018) estudando filmes com óleo essencial limão.

Na Tabela 09 está apresentado os dados da análise de variância para a resposta PVA do planejamento experimental estudando nesta pesquisa. Fazendo a análise dos dados e verificando a significância da regressão e não significância da falta de ajuste em relação a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), através do teste F, pode-se constatar que, o modelo proposto para a predição da PVA apresentou coeficiente de determinação de 75,28% ($R^2 > 70\%$). O $F_{\text{calculado}}$ da regressão e falta de ajuste foram menores que o F_{tabelado} . Sendo assim, o modelo ajustado foi considerado não preditivo, porém sem falta de ajuste.

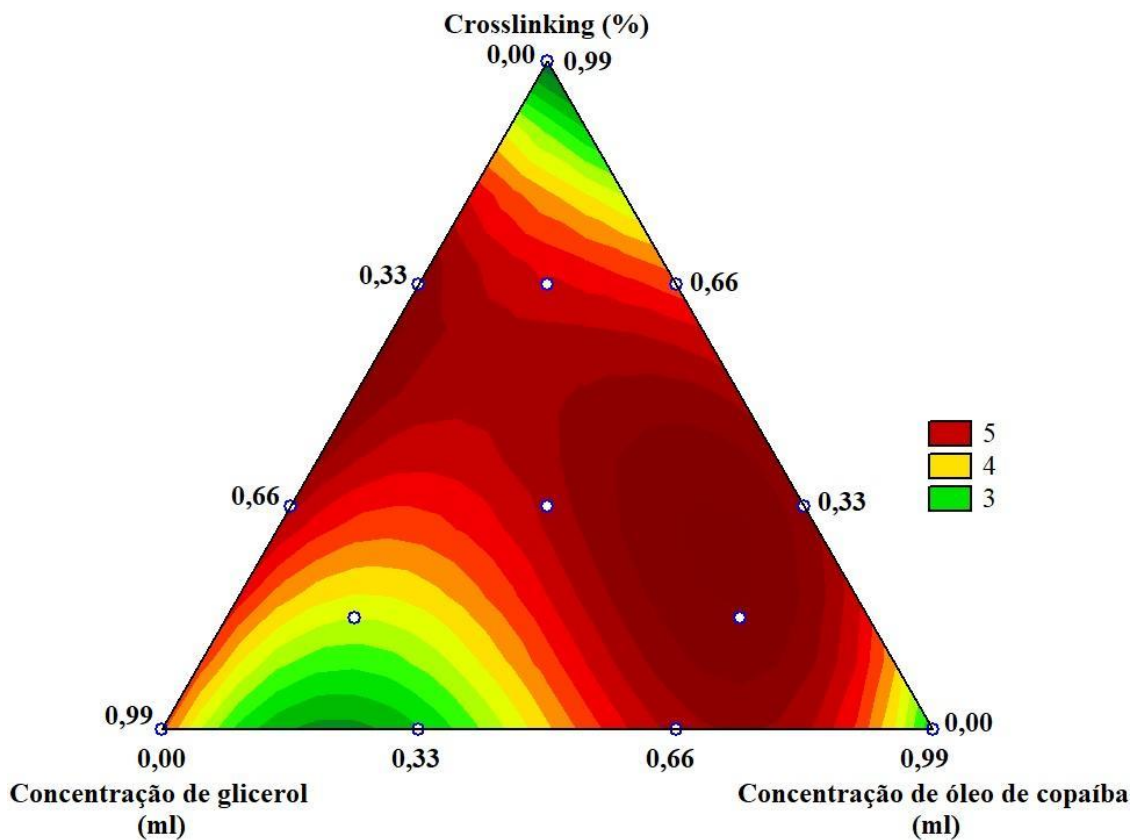
Tabela 09: ANOVA do modelo ajustado para a resposta PVA dos filmes.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	22,60	10	2,26	1,22	5,96
Resíduos:	7,42	4	1,86		
- Falta de ajuste	0,21	1	0,21	0,09	10,13
- Erro puro	7,22	3	2,41		
Total	30,03	14	2,14	R ² = 75,28%	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. Fonte: Autor, 2025.

Na Figura 13 está representada a superfície de resposta para a permeabilidade ao vapor de água dos filmes analisados no planejamento experimental de mistura. Observa-se que as menores PVAs podem ser obtidas nas menores concentrações de glicerol e nas maiores e menores concentrações de crosslinking e óleo de copaíba, respectivamente. Taxas baixas de pva possibilita o não transporte de vapor através da blenda, dessa forma levando em considerações a finalidade de curativo quanto menor o pva menor a possibilidade contaminação advinda do vapor ser permeável.

Figura 13: Superfície de resposta para a PVA dos biopolímeros.



Fonte: Autor, 2025.

5.2.1 Seleção das melhores condições de processo

As melhores condições para a produção de biopolímeros com finalidade de proteção de ferimentos, elaborados a partir de alginato, glicerol, óleo de copaíba e crosslinking foram determinadas a fim de se obter menores valores de conteúdo de umidade, solubilidade em água e permeabilidade ao vapor de água. Assim, foram selecionadas para dar continuidade ao estudo, cinco formulações, correspondentes aos testes 5, 8, 9, 10 e 11 do planejamento experimental, respectivamente:

- 1) 6g de alginato + 1/3 ml de glicerol + 0% de crosslinking + 2/3 ml de óleo de copaíba
- 2) 6g de alginato + 2/3 ml de glicerol + 0% de crosslinking + 1/3 ml de óleo de copaíba
- 3) 6g de alginato + 0 ml de glicerol + 2/3% de crosslinking + 1/3 ml de óleo de copaíba

4) 6g de alginato + $\frac{1}{3}$ ml de glicerol + $\frac{1}{3}\%$ de crosslinking + $\frac{1}{3}$ ml de óleo de copaíba

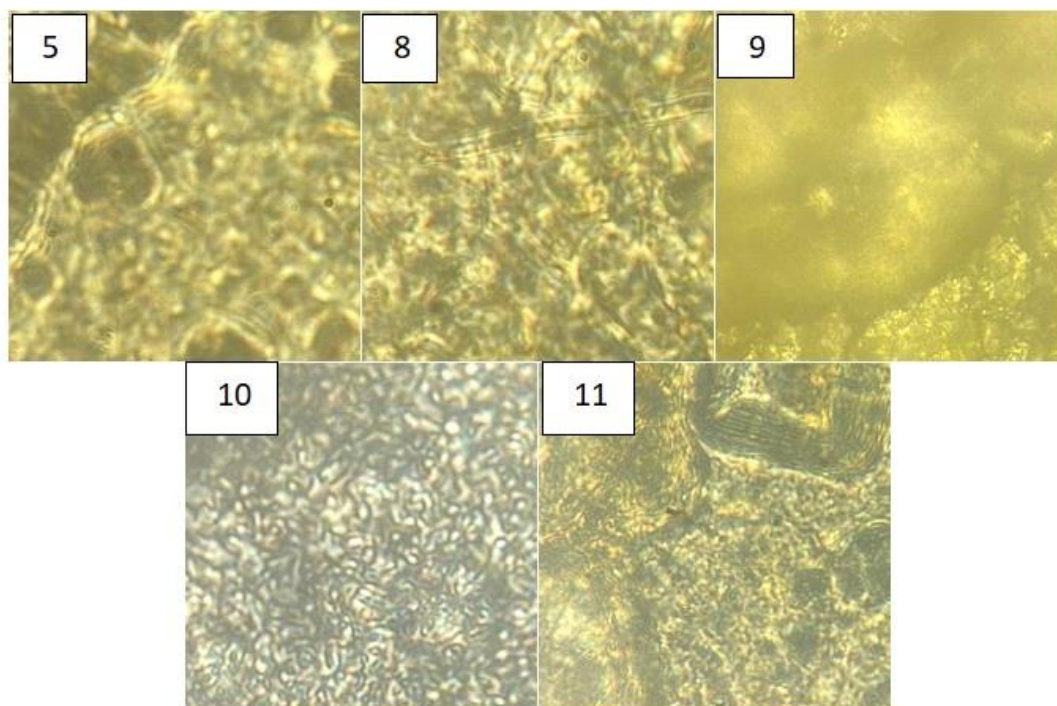
5) 6g de alginato + $\frac{2}{3}$ ml de glicerol + $\frac{1}{6}\%$ de crosslinking + $\frac{1}{6}$ ml de óleo de copaíba

A partir daqui, serão apresentadas outras caracterizações para as cinco formulações selecionadas através do planejamento experimental.

5.2.1.1 Microscopia óptica

Na Figura 14 está apresentado as micrografias ópticas dos filmes selecionados, no qual é possível observar a presença do óleo de copaíba na superfície dos filmes (coloração mais escura) de forma evidente em todos as formulações, apresentados em diferentes tamanhos. Esse óleo presente na superfície acredita-se ser a parte do óleo que não foi envolvida totalmente na mistura, ou seja, a parte saturada.

Figura 14: Microscopia óptica aproximada em 100x dos filmes 5, 8, 9, 10 e 11.



Fonte: Autor, 2025.

Os filmes 9, 10 e 11 apresentaram sua superfície mais uniforme, acredita-se que isso se deva à presença do crosslinking que promovem o fechamento das cadeias. Dessa

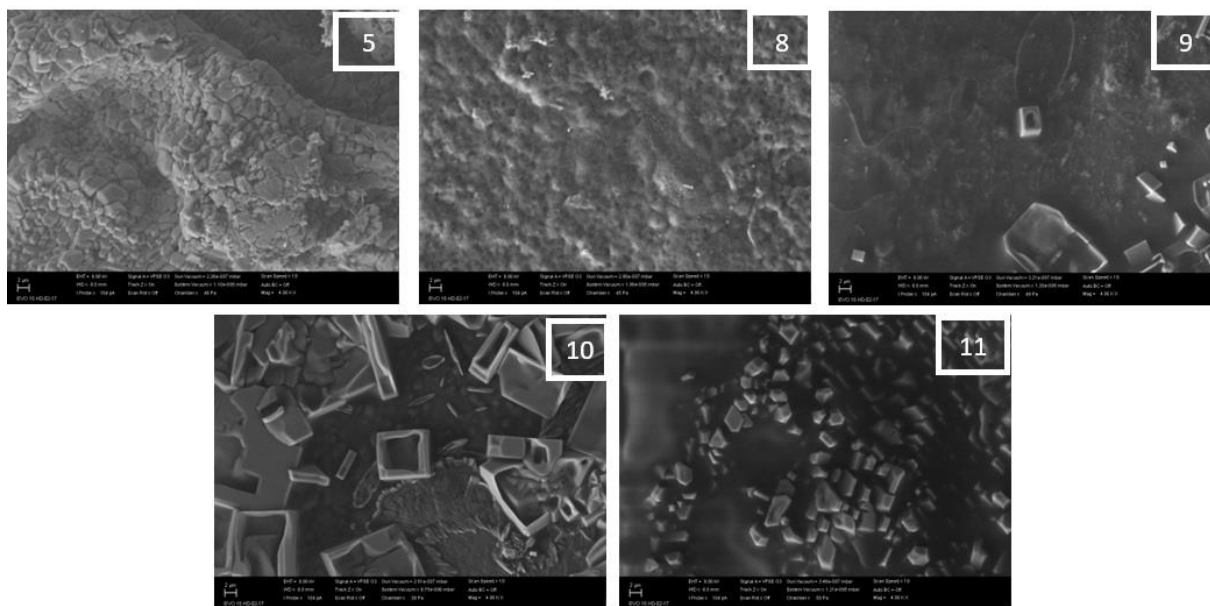
forma podemos observar o contrário, uma certa heterogeneidade nos filmes 5 e 8 que não possuem em sua composição um crosslinking.

Foi possível notar a presença de cristais de cálcio ocorrida pelo processo de reticulação dos filmes de alginato com cálcio (filmes 10 e 11) ficando mais evidente no filme 11.

5.2.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A estrutura dos filmes de alginato e óleo de copaíba foi estudada para obter algum entendimento da organização das gotículas de óleo ao longo da matriz de filmes de biopolímero e sua possível influência nas propriedades do filme, como comportamento mecânico. As micrografias eletrônicas de varredura da superfície dos filmes de alginato incorporados ao óleo de copaíba, plastificado com glicerol e reticulados com cloreto de cálcio dihidratado, são mostradas na Figura 15.

Figura 15: MEV da superfície dos filmes 5, 8, 9, 10 e 11 com aumento em 4000x.



Fonte: Autor, 2025.

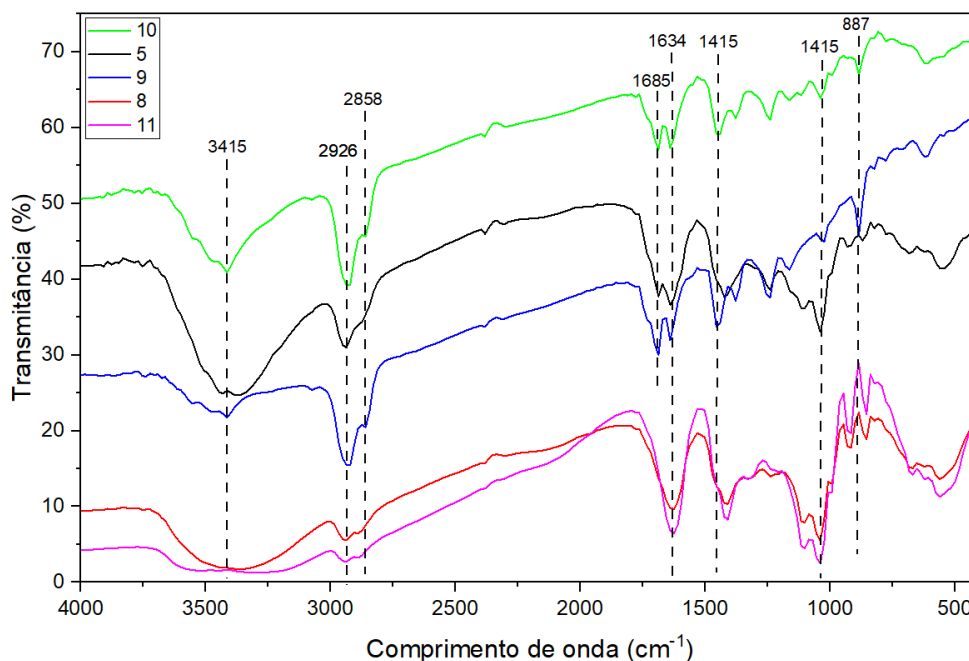
A olho nu os filmes apresentaram superfície lisa, compacta e contínua, além de uma estrutura homogênea e coesa. Entretanto, quando submetido ao MEV pôde-se observar mais afundo que as formulações que continham crosslinking (formulações 9 a 11) apresentaram cristais de formatos e tamanhos diferentes, que pode ter ocasionado pela presença de sais de cálcio no processo de reticulação, o que corrobora com a microscopia óptica.

As micrografias de superfície dos filmes sugeriram que o óleo de copaíba foi completamente assimilado e bem distribuído na matriz e não causou irregularidades. O aumento da rugosidade superficial, como nas imagens dos filmes 5 e 8, com a presença de óleo vegetal já foi observado anteriormente (Norajit, Kim, Ryu, 2010 ; Shojaee-Aliabadi et al., 2013). Sánchez-González et al. (2011), atribuíram esse fato à migração de gotículas de óleo para cima nos filmes e posterior volatilização durante a evaporação da água, resultando em uma estrutura perfurada. Mesmo que a microestrutura de algumas formulações tenha mudado, em geral, o resultado indicou que o óleo de copaíba tinha um sistema de emulsão estável e nenhum colapso de gotas nanométricas ocorreu durante a secagem dos filmes.

5.2.1.3 Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia FTIR foi realizada para elucidar possíveis interações entre óleo de copaíba, glicerol, alginato e cloreto de cálcio. Os espectros são mostrados na Figura 16.

Figura 16: FTIR dos filmes 5, 8, 9, 10 e 11.



Fonte: Autor, 2025.

O espectro dos filmes exibiu bandas de vibração típicas de 3415 cm^{-1} relacionadas ao alongamento O-H de moléculas de água e grupos hidroxila da matriz de alginato. A banda centrada em aproximadamente 2926 cm^{-1} foi atribuída ao alongamento das ligações C-H dos carbonos do anel piranóide. A banda em 1685 cm^{-1} foi observada e está relacionada com a vibração C=O do alongamento de grupos carboxílicos e ésteres. As bandas de vibração abaixo de 1050 cm^{-1} eram de natureza complexa e englobavam a região de “impressão digital” do polissacarídeo. Além disso, duas bandas de vibração adicionais foram observadas relacionadas aos grupos carboxílicos em sua forma carboxilato: alongamento assimétrico em 1634 cm^{-1} e alongamento simétrico em 1415 cm^{-1} . A região espectral de $1200\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$ está relacionada às vibrações de C–O e C–C de ligações glicosídicas e anéis de piranose (Synytsya et al., 2003).

Os espectros de infravermelho mostraram bandas características de componentes presente no óleo de copaíba, destacando a região entre 2926 cm^{-1} , 2858 cm^{-1} e 887 cm^{-1} atribuídas às deformações axiais das ligações C–H em hidrocarbonetos alifáticos, como sesquiterpenos e outros compostos orgânicos encontrados no óleo de copaíba (BONAN et al., 2017). As bandas em 1693 cm^{-1} e 1637 cm^{-1} foram relacionadas à deformação axial do ácido carboxílico. As bandas em 1445 cm^{-1} e 1369 cm^{-1} referem-se às deformações axiais das ligações C–H. As bandas em 1380 e 1365 cm^{-1} foram características da deformação angular do CH_3 .

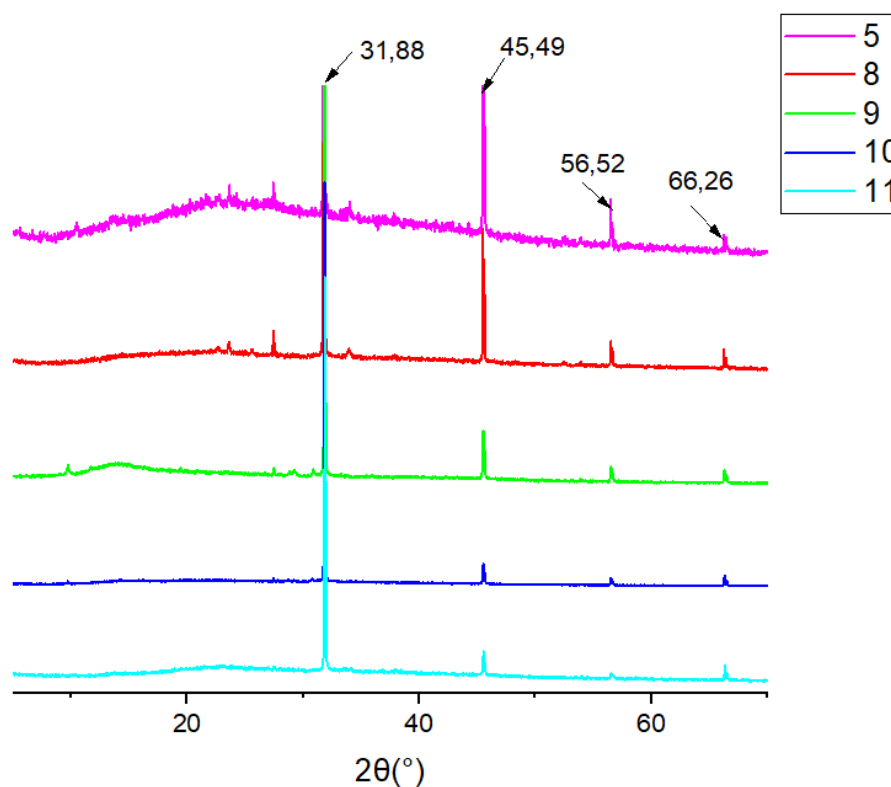
De forma bem destacada, foi observado o aparecimento de um pico em 887 cm^{-1} (β -cariofileno), bem como o aumento da intensidade das bandas 2921 cm^{-1} e 2858 cm^{-1} (sesquiterpenos), sugerindo que os filmes retiveram os componentes que conferem a ação antibacteriana referente ao óleo de copaíba. Resultados semelhantes foram observados por Pelissari et al. (2009).

Os filmes apresentaram passagem de luz, uns com certa dificuldade outros com mais facilidade. Os que apresentaram dificuldade foram as formulações 8 e 11, pois obtiveram transmitância abaixo de 10%, e os que possuíram melhores resultados foram as formulações 10 e 5, como mostrado na Figura 16. Acredita-se que essa diferença se deu pela variação da quantidade dos componentes, principalmente na mistura de quantidade entre glicerol e crosslinking. Os filmes que possuíram boa transmitância apresentaram pouca ou nenhuma interação entre o glicerol e crosslinking.

5.2.1.4 Difração de raios X (DRX)

Através da difração de raio X (DRX), pôde-se observar pouca região cristalina, porém com picos bem definidos na região 2θ de $31,88^\circ$, $45,49^\circ$, $56,52^\circ$ e $66,26^\circ$ como representados na Figura 17, que é característico de cloreto de sódio que pode ter se formado devido as interações dos componentes da mistura ou como impureza. Os filmes não apresentaram diferença significativa entre si, tratando-se de região cristalina, porém existe uma diminuição significativa da região $45,46^\circ$ para os filmes 9, 10 e 11, que possuem crosslinking em sua formulação, quando comparados aos filmes 5 e 8 que não apresentam crosslinking. O oposto pode-se observar na região $31,88^\circ$. A faixa abaixo dos picos variando de aproximadamente 10° a 50° predomina a forma amorfa do material.

Figura 17: Difratoograma dos filmes 5, 8, 9, 10 e 11.



Fonte: Autor, 2025.

5.2.1.5 Propriedades Antioxidantes

A Tabela 10 expõe os resultados do potencial oxidativo avaliado mediante os métodos DPPH e ABTS. Observa-se que o óleo de copaíba em questão demonstrou uma

capacidade oxidativa considerável, que se alinha com as expectativas fundamentadas na literatura, tendo boa capacidade de inibição de bactérias.

Tabela 10: Potencial oxidativo para os filmes selecionados (5, 8, 9, 10 e 11) utilizando os métodos DPPH e ABTS.

IC50 (µg/ml)		
Amostras	DPPH	ABTS
5	49,7	17,6
8	50,6	30,2
9	45,4	15,1
10	29,9	25,0
11	56,0	45,4

Fonte: Autor, 2025.

Com relação as formulações dos filmes, destaca-se que estas exibiram uma inibição satisfatória quando comparadas à inibição observada somente com o uso do óleo. Isso denota um aumento considerável na capacidade de inibição, possivelmente atribuído à presença de outros componentes, como o alginato, que também atua como agente inibidor e é comumente empregado em curativos. Vale ressaltar que as formulações 5, 8 e 11 se destacaram ao apresentar resultados superiores no método DPPH, sugerindo uma possível correlação com a quantidade de crosslinking, uma vez que essas formulações exibem uma baixa ou ausente quantidade de agente reticulante.

De acordo com os resultados expostos na Tabela 11, constatou-se que os filmes exibiram uma redução na capacidade antibacteriana em comparação com os valores documentados na literatura para o óleo correspondente. Este fenômeno, embora possa se mostrar vantajoso para a preservação de lesões dérmicas desprovidas de contaminação bacteriana, revela-se manifestamente ineficaz quando aplicado em feridas já colonizadas por microrganismos patogênicos.

Um aspecto interessante que merece destaque é a ausência de reatividade do óleo em seu estado puro perante as cepas bacterianas *P. aeruginosa* e *B. cereus*. Entretanto, torna-se intrigante observar que, ao combinar o óleo de copaíba com outras formulações, emergiu uma modesta atividade antibacteriana digna de consideração. Essa constatação é de particular relevância, uma vez que o óleo de copaíba isolado não manifestou qualquer efeito antibacteriana discernível. Com isso, pode-se inferir com segurança que as

combinações utilizadas potencializaram as propriedades antibacteriana do óleo de copaíba, como evidenciado na Tabela 05. Dessa forma os filmes possui um bom potencial para proteção de ferimentos dermatológicos com possibilidade de acelerar o processo de cicatrização e com condições de manter o ambiente propício para a recuperação do tecido.

Tabela 11: Ação antibacteriana para os filmes selecionados (5, 8, 9, 10 e 11).

Microrganismos	Formulações				
	5	8	9	10	11
DIB (mm)					
<i>Escherichia coli</i>	8,3	9,3	10,3	12,3	8,3
<i>Salmonella typhi</i>	6,3	7,3	8,3	10,3	6,3
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2,7	3,7	4,7	6,7	2,7
<i>Bacillus cereus</i>	1,7	2,7	3,7	5,7	1,7
<i>Staphylococcus aureus</i>	1,7	2,7	3,7	5,7	1,7
CIM (µg.ml⁻¹)					
<i>Escherichia coli</i>	100,2	111	109	130,1	87,9
<i>Salmonella typhi</i>	67,6	78,5	87,9	109	66,8
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	24,2	35,1	49,2	70,3	28,1
<i>Bacillus cereus</i>	13,4	24,2	38,7	59,8	17,6
<i>Staphylococcus aureus</i>	24,2	35,1	38,7	59,8	17,6
CBM (µg.ml⁻¹)					
<i>Escherichia coli</i>	364,9	404,6	545	650,5	439,5
<i>Salmonella typhi</i>	245,9	285,5	439,5	545	334
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	87,2	126,9	246,1	351,6	140,6
<i>Bacillus cereus</i>	47,5	87,2	193,4	298,9	87,9
<i>Staphylococcus aureus</i>	87,2	126,9	193,4	298,9	87,9

DIB: Diâmetro dos halos de inibição; CIM: Concentração Inibitória Mínima; CBM: Concentração

Bactericida Mínima. Fonte: Autor, 2025.

6. CONCLUSÃO

Ao analisar a capacidade antioxidante do óleo de copaíba por meio dos dois métodos utilizados no estudo, obtiveram-se valores de 11,60 e 12,08 para as análises de DPPH e ABTS, respectivamente. Esses resultados estão dentro do esperado e indicam uma boa capacidade de neutralização de radicais livres.

Nos testes antibacterianos, os índices também foram satisfatórios. Embora o óleo de *C. langsdorffii* não tenha apresentado atividade inibitória contra as cepas de *Pseudomonas aeruginosa* e *Bacillus cereus*, demonstrou eficácia frente às cepas de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Staphylococcus epidermidis*.

A boa atividade antioxidante observada pode contribuir positivamente para o processo de cicatrização, reforçando o potencial terapêutico do óleo. No entanto, a ausência de atividade contra algumas cepas pode estar relacionada não apenas a uma possível armazenagem inadequada, mas também ao fato de se tratar de um óleo de origem comercial. Dessa forma, ressalta-se a importância dos cuidados durante o armazenamento e transporte da matéria-prima, pois esses fatores podem influenciar diretamente suas propriedades físico-químicas.

As formulações filmogênicas selecionadas destacaram-se por apresentarem boa flexibilidade, excelente continuidade e homogeneidade, além de serem transparentes com tonalidade levemente bege, próxima à cor dos componentes utilizados. As formulações que continham óleo de copaíba em sua composição obtiveram resultados satisfatórios nas análises de umidade, solubilidade e permeabilidade ao vapor de água, mostrando-se promissoras para a fabricação de curativos biodegradáveis com ação bioativa.

Dessa forma, a produção de filmes com o potencial terapêutico do óleo de copaíba revela-se viável para aplicação na proteção de feridas, sendo possível, ainda, a adição de outros componentes ativos com o objetivo de potencializar suas propriedades cicatrizantes e antibacteriana.

7. REFERÊNCIA

ABIA - Associação Brasileira da Indústria de Alimentos. Relatório anual 2019 em: https://www.abia.org.br/relatorioAnual_2020.

ALENCAR, Éverton N. et al. Chemical characterization and antimicrobial activity evaluation of natural oil nanostructured emulsions. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 15, n. 1, p. 880-888, 2015.

ALMASI, Hadi; AZIZI, Saeedeh; AMJADI, Sajed. Development and characterization of pectin films activated by nanoemulsion and Pickering emulsion stabilized marjoram (*Origanum majorana* L.) essential oil. **Food Hydrocolloids**, v. 99, p. 105338, 2020.

ALVES, Thâmela; MOREIRA, Maria Aparecida Scatamburlo. Mastite bovina: Tratamento convencional e ação de compostos extraídos de plantas. **Uniciências**, v. 25, n. 1, p. 20-25, 2021.

ALVES, William et al. Características físico-químicas de óleos essenciais de plantas da Região do Vale do Juruá. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, 2015..

ARARUNA, Fernanda Oliveira Sousa et al. Desenvolvimento e caracterização de filmes curativos à base de mesocarpo de *Attalea speciosa* Mart. ex Spreng e extrato glicólico de *Aloe vera* (L.) Burm. f. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e30310212520-e30310212520, 2021.

ARAÚJO JÚNIOR, Francisco Alves de et al. Efeito do óleo de copaíba nas aminotransferases de ratos submetidos à isquemia e reperfusão hepática com e sem pré-condicionamento isquêmico. **Acta Cirurgica Brasileira**, v. 20, p. 93-99, 2005.

BANDEIRA, Maria Fulgência Costa Lima et al. Adhesive resistance of a copaiba oil-based dentin biomodifier. **Brazilian Oral Research**, v. 34, p. e001, 2020.

BARBOSA, Karol de S.; YOSHIDA, Massayoshi; SCUDELLER, Veridiana V. Detection of adulterated copaiba (*Copaifera multijuga* Hayne) oil-resins by refractive index and thin layer chromatography. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, p. 57-60, 2009.

BENALAYA, Ikbel et al. A review of natural polysaccharides: sources, characteristics, properties, food, and pharmaceutical applications. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 2, p. 1322, 2024.

BONAN, Roberta F. et al. Poly (lactic acid)/poly (vinyl pyrrolidone) membranes produced by solution blow spinning: structure, thermal, spectroscopic, and microbial barrier properties. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 134, n. 19, 2017..

BORGES, Augusto Guilherme Feitosa Cacho et al. Preparação e caracterização de filmes de poli (butileno adipato-co-tereftalato) aditivados com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e55511831332-e55511831332, 2022.

BUENO, Cecilia Zorzi; MORAES, Angela Maria. Influence of the incorporation of the antimicrobial agent polyhexamethylene biguanide on the properties of dense and porous chitosan-alginate membranes. **Materials Science and Engineering: C**, v. 93, p. 671-678, 2018.

CARVALHO, Leonardo Olivieri; MILKE, Leidy Teresinha. IMPORTÂNCIA TERAPÊUTICA DO ÓLEO-RESINA DE COPAÍBA: ENFOQUE PARA AÇÃO ANTIINFLAMATÓRIA E CICATRIZANTE. **Revista eletrônica de farmácia**, v. 11, n. 2, p. 12-12, 2014.

CHAICHI, Maryam et al. Preparation and characterization of a novel bionanocomposite edible film based on pectin and crystalline nanocellulose. **Carbohydrate polymers**, v. 157, p. 167-175, 2017.

CHEN, Ruizhan et al. Optimization extraction, characterization and antioxidant activities of pectic polysaccharide from tangerine peels. **Carbohydrate Polymers**, v. 136, p. 187-197, 2016.

CHERMAN, Kamila Alvares et al. Caracterização de cobertura comestível a base de alginato e óleos essenciais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e52911226145-e52911226145, 2022.

CIGERZA, Gabriéle C. et al. Caracterização de microcápsulas contendo óleo de copaíba quanto ao teor de encapsulação e a proteção contra a degradação frente a altas temperaturas. **Anais XXVII Encontro de Química da região Sul**, v. 1, n. 1, p. 79-79, 2021.

COSTA, Fábila et al. Revestimentos comestíveis à base de fécula de mandioca (*manihot esculenta*) em produtos vegetais: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e54511427428-e54511427428, 2022.

COSTA, J.A.S. *Copaifera* in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2021

DA COSTA, Djeson Mateus Alves; DE OLIVEIRA, Raniely Alves. Queratina de penas de frangos nas propriedades de biofilmes de amido de milho-glicerol. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 1, p. 57-61, 2020.

DA CRUZ, Caroline Bomfim Lemos et al. Effect of phonophoresis and copaiba oil on oxidative stress biomarkers after skeletal muscle injury in rats. **Ultrasound in Medicine & Biology**, v. 47, n. 9, p. 2657-2663, 2021.

DA CRUZ, Rayane Monique Sete et al. Atividade alelopática do óleo de copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf) na qualidade das sementes de tomate. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e24710313266-e24710313266, 2021..

DA SILVA BRASIL, Gabrielle Vieira et al. Incorporação de pólen de abelha Tubi (*Scaptotrigona* sp) em filmes biodegradáveis de alginato, pectina e amido. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e11711931603-e11711931603, 2022.

DA SILVA COSTA, Anderson; LAMEIRA, Osmar Alves. Estudo fitoquímico do oleorresina extraído da *Copaifera reticulata* Ducke (Leguminosae-Caesalpinioideae) em uma área de manejo sustentável. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16, p. e154101622305-e154101622305, 2021.

DA SILVA COSTA, Larissa Thália; BRITO, Fernando César Rodrigues; CLEMENTE, Heleni Aires. AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO SOBRE O TRABALHO E VALORIZAÇÃO DOS PROFISSIONAIS DA ÁREA DE NUTRIÇÃO EM ALIMENTAÇÃO COLETIVA. **EFEITOS DA VITAMINA D**, v. 1050, p. 195, 2022

DA SILVA PEREIRA, Jéssica et al. Efeito da quitosana e alginato na cicatrização de feridas: revisão integrativa: Effect of chitosan and alginate on wound healing: integrative review. *Revista Enfermagem Atual In Derme*, v. 84, n. 22, 2018.

DA SILVA, Jadson Mathyas Domingos et al. Utilização de fitoterápicos na Odontologia: revisão integrativa. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e209985370-e209985370, 2020.

DA SILVA, Kaio Germano Sousa et al. Propriedades funcionais da farinha do mesocarpo do coco babaçu: uma alternativa nutricional contra a Covid-19. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e58010212851-e58010212851, 2021.

DA SILVA, Thayanne Gonçalves et al. Desenvolvimento de soluções filmogênicas para a produção de filmes biodegradáveis, comestíveis e com atividade antioxidante:

Revisão Sistemática. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, p. e59511730139-e59511730139, 2022.

DA TRINDADE, Rafaela; DA SILVA, Joyce Kelly; SETZER, William N. Copaifera of the Neotropics: A Review of the Phytochemistry and Pharmacology. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 5, p. 1511, 2018.

DE AGUIAR OLIVEIRA, Tulio Cezar et al. Plásticos no meio ambiente: impacto do descarte inadequado. In: **Congresso Brasileiro de Ciências e Saberes Multidisciplinares**. p. 1-8, 2022.

DE ALCÂNTARA SILVA, Virgínia Mirtes et al. EXTRAÇÃO E ANÁLISE TÉRMICA DO AMIDO DE ARROZ JAPÔNICA SUBMETIDO A DIFERENTES TIPOS DE MOAGEM. **Coleção Grãos & Sementes: Estudos Avançados**, p. 18.2021.

DE ARAÚJO, Larissa Carolina Ramos et al. Atividade do óleo de copaíba sobre radicais livres formados durante a resposta inflamatória. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 53538-53553, 2020.

DE ARAÚJO, Marcello Torres Medeiros et al. As propriedades do óleo Copaifera ssp. em estudos laboratoriais e clínicos: uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e19511527994-e19511527994, 2022.

DE BARROS, Carolina Fernanda; DE LIMA, Isabela Angeli; BUNHAK, Élcio José. Filmes poliméricos no manejo de feridas: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. e10111628757-e10111628757, 2022.

DE CARVALHO SOUZA, Marcus Vinicius et al. Desempenho físico-químico, térmico e mecânico de biopolímero à base do amido do mesocarpo do coco babaçu. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 7, p. e12612742604-e12612742604, 2023.

DE LIMA, Milena Campelo Freitas et al. Chemistry, Biological Activities, and Uses of Copaiba Oil Resins. In: **Gums, Resins and Latexes of Plant Origin: Chemistry, Biological Activities and Uses**. Cham: Springer International Publishing, p. 377-397, 2022.

DE MENEZES FILHO, Antonio Carlos Pereira et al. Avaliação química e atividades antioxidante e antifúngica dos óleos essenciais dos frutos verdes e maduros de *Zanthoxylum rhoifolium* (Lam.). **Revista Arquivos Científicos (IMMES)**, v. 3, n. 1, p. 172-180, 2020.

DE OLIVEIRA MOREIRA, Alessandro César; BRAGA, Jez Willian Batista. Authenticity identification of copaiba oil using a handheld NIR spectrometer and DD-SIMCA. **Food Analytical Methods**, v. 14, n. 5, p. 865-872, 2021..

DE OLIVEIRA NEVES, Jamilly Kelly et al. Microemulsions containing Copaifera multijuga Hayne oil-resin: Challenges to achieve an efficient system for β -caryophyllene delivery. **Industrial crops and products**, v. 111, p. 185-192, 2018.

DE OLIVEIRA, Glauber Palma et al. Citotoxicidade de uma formulação em orabase de Libidibia Ferrea. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e133101018713-e133101018713, 2021.

DE QUEIROZ, Bárbara Brito; TOMAZ, Alecsandra Ferreira. Eficácia do Curativo de Quitosana na Cicatrização: Uma Revisão Integrativa. **TEMA-Revista Eletrônica de Ciências (ISSN 2175-9553)**, v. 21, n. 34, 2021.

DE SOUSA, Sara Freitas et al. ANÁLISE FÍSICA E AVALIAÇÃO DO EFEITO ANTIFÚNGICO DOS ÓLEOS DE ANDIROBA, COPAÍBA E PINHÃO-MANSO. **Floresta**, v. 48, n. 2, 2018.

DE SOUZA, Ruthe Lima et al. Avaliação da Atividade Fungitóxica do Óleo de Copaíba (Copaifera spp.) da Amazônia Ocidental contra a Antracnose (Colletotrichum gloeosporioides (Penz.) Penz. & Sacc.) em Mamoeiros (Carica papaya L.). **Research, Society and Development**, v. 12, n. 12, p. e92121243960-e92121243960, 2023.

DEBONE, Henrique Selli et al. Chitosan/Copaiba oleoresin films for wound dressing application. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 555, p. 146-152, 2019.

DIAS, Thais Almeida. Curativo na ferida operatória para prevenção da infecção de sítio cirúrgico em pacientes adultos oncológicos: revisão sistemática. 2021.

DINI, Vanda Santana Queiroz et al. Ação anti inflamatória do óleo de copaíba em artrite induzida em modelo animal: Uma Revisão Sistemática. **Scientia Amazonia**, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2019.

DO EVANGELHO, Jarine Amaral et al. Antibacterial activity, optical, mechanical, and barrier properties of corn starch films containing orange essential oil. **Carbohydrate polymers**, v. 222, p. 114981, 2019.

DRANCA, Florina; OROIAN, Mircea. Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. **Food Research International**, v. 113, p. 327-350, 2018.

EZATI, Parya; RHIM, Jong-Whan. pH-responsive pectin-based multifunctional films incorporated with curcumin and sulfur nanoparticles. **Carbohydrate Polymers**, v. 230, p. 115638, 2020..

FRANCISCO, Sebastião Geraldo. Uso do óleo de resina de copaíba (*Copaifera Officinalis* L) em inflamação ginecológica. **Femina**, p. 89-93, 2005.

FRAZÃO, Deborah Ribeiro et al. Evaluation of the biological activities of Copaiba (*Copaifera* spp): a comprehensive review based on scientometric analysis. **Frontiers in Pharmacology**, v. 14, p. 1215437, 2023.

FRIEDRICHSEN, Jéssica Souza Alves et al. O uso de amido como proposta para embalagens biodegradáveis–Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. e282111436449-e282111436449, 2022.

GAMA, Dráuzio Correia; DO NASCIMENTO JÚNIOR, José Monteiro. *Copaifera arenicola* [(Ducke) J. Costa e LP Queiroz] Fabaceae-Caesalpinioideae em Regiões do Nordeste da Bahia. **Agroforestalis News**, v. 4, n. 1, p. i-viii, 2019.

GURGEL, Ely Simone Cajueiro et al. Chemical compositions and herbicidal (phytotoxic) activity of essential oils of three *Copaifera* species (Leguminosae-Caesalpinioideae) from Amazon-Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 142, p. 111850, 2019.

HECK, Michele Cristina et al. Antimutagenic effects of copaiba oils (*Copaifera langsdorffii* Desf.) and flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) against the clastogen–cyclophosphamide, in Wistar rat. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. e567111133539-e567111133539, 2022.

HOLLOWAY, Samantha; HARDING, Keith G. Wound dressings. **Surgery (Oxford)**, v. 40, n. 1, p. 25-32, 2022.

HOSSEINI ABARI, Afrouzossadat et al. Investigation of antioxidant and anticancer activities of unsaturated oligo-galacturonic acids produced by pectinase of *Streptomyces hydrogenans* YAM1. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 8491, 2021.

JACOBS, Vanessa et al. Produção e caracterização de biofilmes de amido incorporados com polpa de acerola. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 21, n. 3, p. 107-119, 2020.

LASTRE, Cesar Augusto Guevara. Influencia de la relación amilosa/amilopectina en la resistencia de los adhesivos elaborados a partir de almidones nativos de yuca y ñame. *CITECSA*, v. 12, n. 19, p. 5-17, 2016.

LEE, Min Wook et al. Advances in self-healing materials based on vascular networks with mechanical self-repair characteristics. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 252, p. 21-37, 2018.

LEITE, Airton César et al. Atribuições do enfermeiro na cicatrização de lesões por pressão em pacientes acompanhados no serviço de atenção domiciliar. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 82848-82867, 2020.

LEITE, Filipe Augusto Silva; BRITO, André Senna Araújo. Curativos de prata no tratamento de feridas exsudativas-uma revisão sistemática. **Revista Feridas**, n. 46, p. 1682-1689, 2021.

LI, Cheng; HU, Yiming; LI, Enpeng. Effects of amylose and amylopectin chain-length distribution on the kinetics of long-term rice starch retrogradation. **Food Hydrocolloids**, v. 111, p. 106239, 2021.

LI, Cong et al. An advance review of solid-state battery: Challenges, progress and prospects. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 29, p. e00297, 2021.

LIMA, Carla Aparecida Silva et al. Atualizações sobre as propriedades medicinais do óleo de Copaíba (*Copaifera* spp.): uma Revisão Bibliográfica. **Uniciencias**, v. 25, n. 2, p. 100-106, 2021.

LIMA, Milena CF de et al. Caracterização e controle de qualidade de óleos de copaíba (*Copaifera* sp.) utilizando detecção de marcadores por fator de retenção relativa em HPTLC. **Química Nova**, v. 43, n. 7, p. 878-883, 2020.

LISBOA, Allan Jones Matias et al. Análises fotoquímicas de *Copaifera langsdorffii* DESF. **REVISA (Online)**, p. 208-213, 2018.

LOBO, Alexandre Rodrigues; SILVA, Glória Maria de Lemos. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**, v. 16, p. 219-226, 2003.

LOPES, Ilmar Alves et al. Elaboration and characterization of biopolymer films with alginate and babassu coconut mesocarp. **Carbohydrate polymers**, v. 234, p. 115747, 2020.

MACHADO, Diani de Oliveira et al. Cicatrização de lesões por pressão em pacientes acompanhados por um serviço de atenção domiciliar. **Texto & Contexto-Enfermagem**, v. 27, p. e5180016, 2018.

MARTINS, Vitor Manuel Ramalheira; RODRIGUES, M. A. Produção e tecnologia de cereais: processo de maltagem da cevada. **Livro de atas das Jornadas do Lúpulo e da Cerveja: novas oportunidades de negócio**, p. 37-51, 2015.

MAURMANN, Natasha et al. Avaliação da composição química de um óleo de copaíba (*Copaifera spp*) e seu efeito em células-tronco mesenquimais. **Rev. med.(São Paulo)**, p. e-185868, 2022.

MEDEIROS DE AZEVEDO, Wendell et al. Physicochemical characterization, fatty acid profile, antioxidant activity and antibacterial potential of cacay oil, coconut oil and cacay butter. **PLoS One**, v. 15, n. 4, p. e0232224, 2020.

MELLINAS, Cristina et al. Recent trends in the use of pectin from agro-waste residues as a natural-based biopolymer for food packaging applications. **Materials**, v. 13, n. 3, p. 673, 2020..

MELO, Maria Andrea Mendes Formiga et al. Non-conventional oils for biodiesel production: a study of thermal and oxidative stability. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 117, p. 845-849, 2014.

MENEGUIN, Andréia Bagliotti; CURY, Beatriz Stringhetti Ferreira; EVANGELISTA, Raul Cesar. Films from resistant starch-pectin dispersions intended for colonic drug delivery. **Carbohydrate Polymers**, v. 99, p. 140-149, 2014.

MOMOH, Frederick U. et al. Development and functional characterization of alginate dressing as potential protein delivery system for wound healing. **International journal of biological macromolecules**, v. 81, p. 137-150, 2015.

MORAES, Cinthya Rachel Lopes; SHINOHARA, Neide Kazue Sakugawa. Diversidade frutífera no território da Universidade Federal Rural de Pernambuco–UFRPE Sede. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, p. e240111032628-e240111032628, 2022.

NEHME, Rawan et al. Repurposing of acriflavine to target chronic myeloid leukemia treatment. **Current Medicinal Chemistry**, v. 28, n. 11, p. 2218-2233, 2021.

NETO, Osman José de Aguiar Gerude et al. MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS DA COMPOSTAGEM, COM FIBRA DE PALMEIRA NATIVA E FEZES DE EQUINOS COMO BIOCATALIZADOR. **Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia**, v. 11, n. 3, p. 2799-2809, 2023.

NOGUEIRA, Daiane AR et al. Liberação lenta do óleo de copaíba adsolubilizado em hidróxidos duplos lamelares: um material promissor para pomadas cutâneas. **Química Nova**, v. 45, p. 921-928, 2022.

NORAJIT, Krittika; KIM, Ki Myong; RYU, Gi Hyung. Comparative studies on the characterization and antioxidant properties of biodegradable alginate films containing ginseng extract. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 3, p. 377-384, 2010..

NUNES, Juliana C. et al. Influência da nanoemulsão de óleo essencial de limão em filmes à base de gelatina. **Química Nova**, v. 41, n. 9, p. 1006-1010, 2018.

OUSEY, Karen et al. The importance of hydration in wound healing: reinvigorating the clinical perspective. **Journal of wound care**, v. 25, n. 3, p. 122-130, 2016.

OGUTU, Fredrick Onyango; MU, Tai-Hua. Ultrasonic degradation of sweet potato pectin and its antioxidant activity. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 38, p. 726-734, 2017.

OLIVEIRA, Aline Vitória Lucas de et al. SUSTENTABILIDADE: PEQUENAS MUDANÇAS FAZEM A DIFERENÇA. **Revista Expressão**, n. 2, p. 22, 2020.

OLIVEIRA, DivÂNia FF DE et al. Antimicrobial potential of Copaiba Oil (*Copaifera multijuga* Hayne-Leguminosae) against bubaline mastitis multiresistant isolates. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 4, p. e20200521, 2020.

OLIVEIRA, Geovana Rocha de et al. Adição de óleo de copaíba (*Copaifera langsdorffii*) e sucupira (*Pterodon emarginatus*) na alimentação de poedeiras: qualidade física de ovos armazenados em diferentes temperaturas. **Ciência Animal Brasileira**, v. 19, p. e41508, 2018.

OTHMAN, S. H.; SHAPI'I, R. A.; RONZI, N. D. A. Starch biopolymer films containing chitosan nanoparticles: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 329, p. 121735, 2024.

PAES, Juarez Benigno et al. Rendimento e características físicas dos óleos de nim (*Azadirachta indica*) e mamona (*Ricinus communis*). **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 134-139, 2015.

PAIXÃO, Louryval Coelho et al. Alginate biofilms plasticized with hydrophilic and hydrophobic plasticizers for application in food packaging. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n. 48, p. 48263, 2019.

PANAHIRAD, Sima et al. Applications of carboxymethyl cellulose-and pectin-based active edible coatings in preservation of fruits and vegetables: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 663-673, 2021.

PARADA HERNANDEZ, Natalia L. et al. (Epoxidized castor oil–citric acid) copolyester as a candidate polymer for biomedical applications. **Journal of Polymer Research**, v. 26, p. 1-10, 2019.

PARANHOS, Sheila Barbosa et al. Chitosan membrane containing copaiba oil (*Copaifera* spp.) for skin wound treatment. **Polymers**, v. 14, n. 1, p. 35, 2021.

PASQUEL-REÁTEGUI, José Luis et al. Fractionation of sesquiterpenes and diterpenic acids from copaiba (*Copaifera officinalis*) oleoresin using supercritical adsorption. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 184, p. 105565, 2022.

PELISSARI, Franciele M. et al. Antimicrobial, mechanical, and barrier properties of cassava starch– chitosan films incorporated with oregano essential oil. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 57, n. 16, p. 7499-7504, 2009.

PEREIRA, Debora Linsbinski et al. Antioxidant and hepatoprotective effects of ethanolic and ethyl acetate stem bark extracts of *Copaifera multijuga* (Fabaceae) in mice. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 4, p. 347-357, 2018.

PEREIRA, Nayara Cristine Marchioro et al. Atividade antimicrobiana do óleo-resina de copaíba natural/comercial contra cepas padrão/Antimicrobial activity of natural/commercial copaiba oil-resin against standard strains/Actividad antimicrobiana de aceite-resina de copaiba natural/comercial.. **Journal Health NPEPS**, v. 3, n. 2, p. 527-539, 2018.

PIERI, Fabio Alessandro; MUSSI, Maria Carolina; MOREIRA, Maria Aparecida S. Óleo de copaíba (*Copaifera* sp.): histórico, extração, aplicações industriais e propriedades medicinais. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, v. 11, p. 465-472, 2009.

PIRES, Ana Luiza Resende; MORAES, Ângela Maria. Improvement of the mechanical properties of chitosan-alginate wound dressings containing silver through the addition of a biocompatible silicone rubber. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 132, n. 12, 2015.

PIRES, V. G. A. **Incorporação de nanoemulsões de óleos essenciais de melaleuca, copaiba e limão em filmes de alginato de sódio para utilização como curativo**. Ilha Solteira, SP: Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2016.

QUEMEL, Gleicy Kelly China et al. Propriedades medicinais do óleo da Copaifera Langsdorffii: uma revisão integrativa da literatura. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 4, n. 3, p. 10490-10508, 2021.

RAPOSO, Ana Karoliny da Silva et al. Characterization of biodegradable films produced from mixtures of alginate, starch and babassu fibers. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 29, p. 1212-1226, 2021.

RIBEIRO, Ítalo Felipe Nogueira et al. CRESCIMENTO INICIAL DE PLÂNTULAS DE Copaifera reticulata Ducke APÓS APLICAÇÃO DE ULTRASSOM EM SEMENTES. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 1, n. 2, p. 123-123, 2020.

RODRIGUES, Giovana de Menezes et al. Antimicrobial activity and gc-ms profile of copaiba oil for incorporation into xanthosoma mafaffa schott starch-based films. **Polymers**, v. 12, n. 12, p. 2883, 2020.

RODRIGUES, Maisa Isabela et al. Concessão florestal na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 1299-1308, 2020.

RODRIGUES, Tatyane Silva et al. Eficácia do curativo hidrocolóide em relação ao filme transparente na prevenção de lesões por pressão. **Enfermagem em Foco**, v. 9, n. 1, 2018.

ROY, Swarup et al. Recent progress in pectin extraction, characterization, and pectin-based films for active food packaging applications: A review. **International journal of biological macromolecules**, v. 239, p. 124248, 2023.

SAKAI, Takuo et al. [Pectin, pectinase, and protopectinase: production, properties, and applications. **Advances in applied microbiology**, v. 39, p. 213-294, 1993.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, Laura et al. Effect of essential oils on properties of film forming emulsions and films based on hydroxypropylmethylcellulose and chitosan. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 2, p. 246-253, 2011.

SANTANA, A. A.; KIECKBUSCH, T. G. Physical evaluation of biodegradable films of calcium alginate plasticized with polyols. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 30, p. 835-845, 2013.

SANTOS, Rômulo Freire et al. Propriedades antimicrobianas de extratos da casca de jurema-preta (mimosa tenuiflora (wild.) poir.)/Antimicrobial properties of jurema-preta (mimosa tenuiflora (wild.) poir.) pear extracts. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 16915-16930, 2022.

SAHANA, T. G.; REKHA, P. D. Biopolymers: Applications in wound healing and skin tissue engineering. **Molecular biology reports**, v. 45, p. 2857-2867, 2018.

SERRA, Josilene Lima et al. Alternative sources of oils and fats from Amazonian plants: Fatty acids, methyl tocopherols, total carotenoids and chemical composition. **Food research international**, v. 116, p. 12-19, 2019.

SEN, Chandan K. Human wounds and its burden: an updated compendium of estimates. **Advances in wound care**, v. 8, n. 2, p. 39-48, 2019.

SHOJAEE-ALIABADI, Saeedeh et al. Characterization of antioxidant-antimicrobial κ -carrageenan films containing *Satureja hortensis* essential oil. **International journal of biological macromolecules**, v. 52, p. 116-124, 2013.

SILVA, Antonio Jorge Barbosa da; SEVALHO, Elison de Souza; MIRANDA, Ires Paula de Andrade. Potencial das palmeiras nativas da Amazônia Brasileira para a bioeconomia: análise em rede da produção científica e tecnológica. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 1020-1046, 2021.

SILVA, Ederly Santos et al. Análise físico-química do óleo-resina e variabilidade genética de copaíba na Floresta Nacional do Tapajós. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, p. 1621-1628, 2012.

SILVA, Lorrany Fontenele Moraes da et al. Lesões de pele por Equipamentos de Proteção Individual e medidas preventivas no contexto da COVID-19: revisão integrativa. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 30, p. e3551, 2022..

SIMAN FILHO, Ademir José; SANFELICE, Rafaela Cristina. Estudo bibliográfico sobre polímeros ambientalmente sustentáveis. **Revista brasileira de ciência, tecnologia e inovação**, v. 3, n. 2, p. 131-148, 2018.

SIMÕES, Mylena Medeiros et al. Relato de experiência sobre o uso racional dos fitoterápicos contra a Covid-19 na comunidade redinha. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e8110514497-e8110514497, 2021.

SMIRNOV, Vasily V. et al. The antioxidant properties of pectin fractions isolated from vegetables using a simulated gastric fluid. **Journal of chemistry**, v. 2017, n. 1, p. 5898594, 2017.

SUHAG, Rajat et al. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. **Food Research International**, v. 136, p. 109582, 2020.

SYNYTSYA, A. et al. Fourier transform Raman and infrared spectroscopy of pectins. **Carbohydrate polymers**, v. 54, n. 1, p. 97-106, 2003.

TAMAIIO, Irineu; DA SILVA, Priscilla Castro. Natureza Terapêutica: uma experiência de Educação Ambiental nas trilhas do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros-Goiás. **Educação Ambiental (Brasil)**, v. 2, n. 2, 2021.

TANAKA, Akane; NAGATE, Toshiaki; MATSUDA, Hiroshi. Acceleration of wound healing by gelatin film dressings with epidermal growth factor. **Journal of veterinary medical science**, v. 67, n. 9, p. 909-913, 2005.

TARIQUE, J.; SAPUAN, S. M.; KHALINA, A. Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch biopolymers. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 13900, 2021.

TOBOUTI, Priscila Lie et al. Antimicrobial activity of copaiba oil: A review and a call for further research. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 94, p. 93-99, 2017.

VARAPRASAD, Kokkarachedu et al. Alginate-based composite materials for wound dressing application: A mini review. **Carbohydrate polymers**, v. 236, p. 116025, 2020.

VIDOVIĆ, S. et al. Valorization of Fruit Processing By-Products. 2020.

VIG, Komal et al. Advances in skin regeneration using tissue engineering. **International journal of molecular sciences**, v. 18, n. 4, p. 789, 2017.

WANG, Yansen et al. Shape-adaptive composite foams with high expansion and absorption used for massive hemorrhage control and irregular wound treatment. **Applied Materials Today**, v. 13, p. 228-241, 2018.

XU, Fangzhou et al. Yeast fermentation of apple and grape pomaces affects subsequent aqueous pectin extraction: Composition, structure, functional and antioxidant properties of pectins. **Food Hydrocolloids**, v. 133, p. 107945, 2022.

XU, Ruojiao et al. Recent advances in biodegradable and biocompatible synthetic polymers used in skin wound healing. **Materials**, v. 16, n. 15, p. 5459, 2023.

ZAHARAN, M. K.; AHMED, Hanan B.; EL-RAFIE, M. H. Surface modification of cotton fabrics for antibacterial application by coating with AgNPs–alginate composite. **Carbohydrate polymers**, v. 108, p. 145-152, 2014.

ANEXOS

Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2024 018384 3

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 06279103000119

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: Cidade Universitária Dom Delgado, Av. dos Portugueses, 1966, Vila
Bacanga.

Cidade: São Luis

Estado: MA

CEP: 65080-805

País: Brasil

Telefone: (98) 32728710

Fax:

Email: ageufma.cprp@ufma.br

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de FILMES POLIMÉRICOS A PARTIR DE ÓLEO DE COPAÍBA

Utilidade (54): BIOATIVOS, PROCESSO DE ELABORAÇÃO

Resumo: O presente estudo tem como objetivo a produção de biopolímeros bioativos a partir de óleos essenciais compostos com substâncias terpênicos almejando aplicação na área farmacêutica e/ou cosmecêutica. Óleos essenciais são compostos presentes naturalmente em plantas e, conseqüentemente, nas especiarias, exercendo funções biológicas relacionadas aos seus mecanismos de defesa. Dessa forma, justifica-se o estudo processo que possuem o óleo essenciais como princípio ativo a fim de obter tecnologias mais econômicas e que elevem suas propriedades funcionais. Diversas tecnologias apresentam-se como candidatas promissoras ao desenvolvimento de produtos com óleos essenciais, porém muitas delas podem apresentar alto custo de execução, baixa estabilidade físico-química ou conter substâncias irritativas. O processo da invenção deu-se em submeter o óleo-resina por caracterização físico-química e microbiológica. Dessa forma foram definidas as concentrações adequadas de alginato, óleo essencial, plastificante e agente reticulante adequadas para elaboração das blendas. A formulação apresentada possui características eficientes para a substituição de curativos tradicionais não degradáveis por conseguirem executar com mesma eficiência sua função com acréscimo de benefício no aumento da aceleração de cicatrização e antisséptico.

Figura a publicar: 01

Dados do Inventor (72)

Inventor 1 de 6

Nome: ANA KAROLINY DA SILVA RAPOSO

CPF: 61701278308

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Estudante de Pós Graduação

Endereço: Cond. Ipem Angelim, Q1, B11, AP102, Bairro Angelim

Cidade: São Luís

Estado: MA

CEP: 65063-030

País: BRASIL

Telefone: (98) 991 060255

Fax:

Email: ana.raposo@discente.ufma.br

Inventor 2 de 6

Nome: LOURYVAL COELHO PAIXÃO

CPF: 83382917300

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: RUA 06, Q 16, N 18, Bairro Planalto Vinhais II

Cidade: São Luís

Estado: MA

CEP: 65074-872

País: BRASIL

Telefone: (98) 981 480214

Fax:

Email: louryval.paixao@ufma.br

Inventor 3 de 6

Nome: AUDIRENE AMORIM SANTANA

CPF: 88037274349

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: RUA 06, Q 16, N 18, Bairro Planalto Vinhais II

Cidade: São Luís

Estado: MA

CEP: 65074-872

País: BRASIL

Telefone: (98) 981 417795

Fax:

Email: audirene.santana@ufma.br

Inventor 4 de 6

Nome: ALLAN KARDEC DUAILIBI BARROS FILHO

CPF: 34022589353

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: Av. Nina Rodrigues, N-3333, apt 102, Ponta d'areia

Cidade: São Luís

Estado: MA

CEP: 65067-300

País: BRASIL

Telefone: (98) 988 867131

Fax:

Email: allan.kardec@ufma.br

Inventor 5 de 6

Nome: ADONES ALMEIDA ROCHA

CPF: 60943525306

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Engenheiro, arquiteto e afins

Endereço: Rua da Brasília, N-17, Cruzeiro do Anil

Cidade: São Luís

Estado: MA

CEP: 65060-080

País: BRASIL

Telefone: (98) 982 477161

Fax:

Email: adones.rocha@coppe.ufrj.br

Inventor 6 de 6

Nome: PABLO DANIEL SENA SILVA

CPF: 61301297348

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Estudante de Graduação

Endereço: Condomínio Estoril Sol, B1, Ap202, Bairro Turu

Cidade: São Luís

Estado: MA

CEP: 65066-454

País: BRASIL

Telefone:

Fax:

Email: pablo.daniel@discente.ufma.br

Documentos anexados

Tipo Anexo	Nome
Relatório Descritivo	RELATÓRIO DESCRITIVO (18).pdf
Reivindicação	REIVINDICAÇÕES (17).pdf
Desenho	DESENHOS (4).pdf
Resumo	RESUMO (3).pdf
Comprovante de pagamento de GRU 200	Comprovante de pagamento (6).pdf

Acesso ao Patrimônio Genético

- ☒ Declaração Positiva de Acesso - Declaro que o objeto do presente pedido de patente de invenção foi obtido em decorrência de acesso à amostra de componente do Patrimônio Genético Brasileiro, realizado a partir de 30 de junho de 2000, e que foram cumpridas as determinações da Lei 13.123 de 20 de maio de 2015, informando ainda:

Número da Autorização de Acesso: AE78E0F

Acesso:

Data da Autorização de Acesso: 29/08/2024

Declaração de veracidade

- ☒ Declaro, sob as penas da lei, que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.

**FILMES POLIMÉRICOS A PARTIR DE ÓLEO DE COPAÍBA BIOATIVOS,
PROCESSO DE ELABORAÇÃO**

Campo da invenção

[001] A invenção trata-se de nova formulação para elaboração de biopolímeros bioativos a partir de óleo essencial de copaíba compostos com substancias terpênicos visando aplicação na área cosmética e/ou cosmecêutica. Mais precisamente, a formulação consiste na utilização de óleo essencial de copaíba, alginato de sódio, glicerol e cloreto diHidratado a fim de obter-se uma alternativa farmacológica para uso em ferimentos na pele com atividade cicatrizante, anti-inflamatória, antimicrobiana.

Fundamentos da invenção

[002] Pode-se citar na literatura o trabalho intitulado "Utilização da pele de tilápia liofilizada (*oreochromis niloticus*) como curativo biológico heterólogo e oclusivo em um cão com lesão cutânea traumática". Lesões Cutâneas são interrupções da integridade cutâneo-mucosa que resultam no desequilíbrio da saúde, muitas vezes impedindo ou dificultando atividades básicas do dia a dia, como locomoção e convivência, decorrente de traumas químicos e físicos tais como acidentes e cirurgias que ocasionam ferimentos como cortes, escaras e ulcerações teciduais. Contudo, poucas são as opções destinadas ao tratamento de lesões, o que dificulta o processo de recuperação do ferimento. Dessa forma, se faz

necessário estudo de alternativas para proteção de ferimentos que possa unir eficácia, eficiência, praticidade, viabilidade economicamente, biodegradabilidade do produto e promovam a cicatrização de forma acelerada e seja *eco friendly*.

[003] É de suma importância a pesquisa da funcionalidade e variação composicional eficientes do óleo de copaíba, muito embora seja evidente o problema de baixa absorção e biodisponibilidade. Sua aplicação se justifica uma vez que existem perspectivas favoráveis para tratamentos na área farmacológica. Dessa forma, propõe-se a utilização de óleo essencial de copaíba com princípios ativos, pois essa utilização já é reconhecida cientificamente.

[004] Pode-se citar na literatura o trabalho intitulado "Avaliação da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais contra patógenos alimentares". Os óleos essenciais são compostos presentes naturalmente em plantas, notadamente nas utilizadas como temperos na rotina, as especiarias, que são as partes secas usadas para conferir sabor e efeito pungente aos alimentos. Segundo o trabalho "Óleos essenciais: caracterização, aplicações e métodos de extração" óleos essenciais são aromáticos, voláteis e pouco miscíveis ou imiscíveis em água e atuam em funções importantes relacionadas aos mecanismos de defesa, como a proteção contra excesso de ultravioleta, combate microrganismos como bactérias gram-positiva e gram-negativa, fungos, vírus e protozoários, serve

como repelente para insetos como mosquitos e formigas, serve como cicatrizante para animais.

[005] A Organização Mundial da Saúde (OMS) incentiva desenvolvimentos tecnológicos para que haja o alargamento no arsenal terapêutico e sua maior eficácia para utilização de produtos naturais, cientificamente validados.

[006] O desenvolvimento de biofilme é uma área de pesquisa muito importante nas indústrias alimentícia, química e farmacêutica. A base da plataforma biológica atual para a geração de novos filmes degradáveis e com propriedades cicatrizantes consiste na presença de uma matriz, que pode ser de proteína, lipídio, carboidrato ou uma combinação destes (DA SILVA BRASIL, Gabrielle Vieira et al., 2022).

[007] Das matrizes polissacarídicas, o alginato é o de maior interesse comercial, apresentando potencial para a fabricação de filmes e revestimentos devido às suas desejáveis propriedades hidrocolóides, alto valor nutricional, hidrossolubilidade e capacidade emulsificante como observados nos trabalhos (DA FONSECA SOBRINHO, et al., 2022). Os bioprodutos de alginato são altamente sensíveis à umidade, absorvendo e liberando moléculas de água, o que afeta muito suas propriedades mecânicas e de barreira. Além disso, a maioria é hidrossolúvel (dependendo do plastificante, pode chegar a 100% de solubilidade), o que limita o alcance de suas aplicações (STUBBE et al., 2019). Por outro lado, ao contrário

dos materiais poliméricos sintéticos, os filmes de alginato não plastificados são incapazes de proporcionar boa resistência mecânica ou boa elasticidade (Ben, ZY, Samsudin, H., & Yhaya, MF, 2022).

[008] Algumas patentes estão relacionadas à bioatividade de óleo essencial e biofilmes para diversas finalidades como conservação de alimentos. A patente BR 10 2020 023780 2 B1 descreve a comprovação de atividade óleo essencial de tomilho como antibacteriano e conservante para alimentos. Já a patente BR 10 2016 017854 1 A2 utiliza a microemulsão de óleo de copaíba do Gênero *Copaifera* L. (Família Leguminosae, subfamília Caesalpinoideae) com propriedades anti-inflamatórias e anti-infecciosas, aduzindo a sua eficácia para compor um produto final com finalidades de curativos biodegradáveis. A patente BR102013030303-8 A2 refere-se a uma nanoemulsão aquosa compreendendo agentes farmacológicos apolares em meio aquoso, mais especificamente agentes farmacológicos provenientes do óleo-resina de copaíba (*Copaifera spp.*).

[009] Até o momento não foram encontrados relatos sobre filmes poliméricos a partir de óleo essencial de copaíba bioativos com utilização de alginato de sódio na literatura com finalidade de curativo que acelere o processo de cicatrização. O uso de óleo essencial de copaíba combinado com alginato de sódio, com sugestão de uso de glicerol e cloreto

de cálcio diHidratado é desejável para se obter boa ação cicatrizante e antisséptica quando aplicado na pele, além de serem economicamente viáveis.

Objetivos da invenção

[010] Na presente invenção, é proposto um sistema de incorporação do óleo essencial de copaíba à blenda polimérica de alginato de sódio, a fim de obter produtos de uso tópico transdérmico, como curativo, que apresentem atividade antisséptica, anti-inflamatória, cicatrizante e antimicrobiana para fins de uso humano e veterinário.

[011] Alguns estudos recentes da literatura abordam métodos de obtenção de blendas biopoliméricas ativas, no entanto, em sua maioria utilizam altas concentrações de crosslink e material plastificante o que juntamente com alginato de sódio torna o filme altamente higroscópico. Dessa forma torna-se inviável sua aplicação em bioprodutos devido à grande absorção de água.

Vantagens da invenção

[012] A inovação é de incorporação de óleo essencial de copaíba bioativo, em filmes biodegradáveis de alginato de sódio não alterando suas características de biodegradabilidade e viabilizando a atividade farmacológica. O efeito esperado é positivo no âmbito socio-econômico, curativos mais modernos são, em sua maioria, importados e de alto custo. Logo, existe a necessidade de gerar recursos mais acessíveis à população,

os quais utilizem matérias-primas renováveis e que sejam produzidos através de tecnologias simples, de baixo custo e naturais e bioativo que será o diferencial.

Breve descrição dos desenhos

[013] Na Figura 1 apresenta-se as imagens de microscopia de varredura das formulações 5, 8, 9, 10 e 11, superficialmente.

[014] Na Figura 2 apresenta-se o gráfico de Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) das formulações 5, 8, 9, 10 e 11.

[015] Na Figura 3 apresenta-se o gráfico de Difração de Raios-X (DRX) das formulações 5, 8, 9, 10 e 11.

Descrição da invenção

[016] A invenção poderá ser melhor compreendida através da seguinte descrição detalhada, em consonância com as etapas do processo produtivo dos filmes poliméricos a partir do óleo essencial de copaíba.

[017] A presente invenção, formulações de filmes poliméricos, compreendem óleo essencial de copaíba, alginato de sódio, agente reticulante e plastificante.

[018] Os filmes poliméricos a partir do óleo essencial de copaíba são produzidos pela seguinte quantificação:

- 6 g de alginato de sódio para cada 400 ml de água.
- Variação de quantidade de 0,83 - 3,33 ml de óleo de copaíba;

- Variação na concentração de 0 - 2,66% de cloreto de cálcio diHidratado (agente reticulante);
- Variação 0 - 3,33 ml de glicerol (plastificante).

[019] As quantidades foram baseadas na produção de um filme controle utilizando 6g de alginato, 400 ml de água, 5 ml de copaíba, 5 ml de glicerol e 30 ml de glicerol a 4%.

[020] As melhores combinações de concentrações estão presentes na Tabela 01.

Tabela 1: Composição das melhores formulações.

FORMULAÇÕES	ALGINATO (g)	GLICEROL (5 mL)	ÓLEO DE COPAÍBA (5 mL)	CROSSLINK (4 %)
5	6	1/3	2/3	0
8	6	2/3	1/3	0
9	6	0	1/3	2/3
10	6	1/3	1/3	1/3
11	6	2/3	1/6	1/6

[021] O óleo de copaíba pode ser utilizado de forma isolada ou combinado com Aloe Vera com intenção de potencializar as características.

[022] Com relação às concentrações de obtenção do filme, é utilizado o Método *Casting*, compreendendo:

- Solubilização do alginato de sódio em meio aquoso com adição de material plastificante, conforme concentração presentes na tabela 01;

- b) Submeter a solução resultante à agitação e aquecimento até que ocorra a ativação do material a 70 °C e seja formado o gel;
- c) Submeter o gel ao resfriamento abaixo de 40°C para que seja adicionado óleo essencial de copaíba. Pois acima de 40°C, o óleo de copaíba degrada, perdendo suas propriedades ativas;
- d) Agitar por 30 minutos;
- e) Adição do agente reticulador;
- f) Filmes serão adicionados sugestivamente em plásticas de preti acrílicas e posto em estufa a 30°C em temperatura constante para realização da secagem.

Exemplos de concretizações da invenção

[023] Para a confecção das blendas foi fixado em 6g a concentração de alginato para todas as formulações e foram avaliadas as variáveis independentes: concentrações de glicerol, *crosslinking* e óleo de copaíba seguindo o planejamento experimental apresentado na Tabela 2, que apresenta os quinze ensaios do delineamento experimental. Como variáveis de resposta que foram estudadas o teor de umidade, solubilidade em água, espessura e permeabilidade ao vapor de água - PVA.

[024] Realizou-se a análise estatística, a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), dos coeficientes de regressão e em seguida foi realizada a análise de variância (ANOVA), que consistiu na

avaliação do coeficiente de determinação (R^2) e do teste F, para verificar se o modelo (Equação 3) representava um grau de ajuste adequado aos dados experimentais. Para a análise dos dados experimentais obtidos, bem como para a elaboração dos modelos, utilizou-se o software Statistica 9.0 (Statsoft, Tulsa, EUA). Apenas variáveis com nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$) foram consideradas significativas.

Tabela 2: Planejamento experimental de misturas para os filmes poliméricos variando os parâmetros de concentração de glicerol, concentração de óleo essencial de copaíba e concentração de *crosslinking*.

Ensaio	Glicerol (5ml)	Crosslinking (4%)	Óleo de copaíba (5ml)
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	1/3	2/3	0
5	1/3	0	2/3
6	0	1/3	2/3
7	2/3	1/3	0
8	2/3	0	1/3
9	0	2/3	1/3
10*	1/3	1/3	1/3
11	2/3	1/6	1/6
12	1/6	2/3	1/6
13	1/6	1/6	2/3
14*	1/3	1/3	1/3
15*	1/3	1/3	1/3

* As formulações 10, 14 e 15 são iguais.

[025] A estrutura dos filmes de alginato de sódio e óleo de copaíba foi estudada para obter algum entendimento da organização das gotículas de óleo ao longo da matriz de filmes de biopolímero e sua possível influência nas propriedades do filme, como comportamento mecânico. As micrografias eletrônicas de varredura da superfície dos filmes de alginato de sódio incorporados ao óleo de copaíba.

[026] A olho nu os filmes apresentaram superfície lisa, compacta e contínua, além de uma estrutura homogênea e coesa. Entretanto, quando submetido ao MEV pôde-se observar mais afundo que as formulações que continham crosslink (formulações 9 a 11) apresentaram cristais de formatos e tamanhos diferentes, que pode ter ocasionado pela presença de sais de cálcio no processo de reticulação.

[027] O espectro dos filmes exibiu bandas de vibração típicas de 3415 cm^{-1} relacionadas ao alongamento O-H de moléculas de água e grupos hidroxila da matriz de alginato de sódio. A banda centrada em aproximadamente 2926 cm^{-1} foi atribuída ao alongamento das ligações C-H dos carbonos do anel piranóide. A banda em 1685 cm^{-1} foi observada e está relacionada com a vibração C=O do alongamento de grupos carboxílicos e ésteres. As bandas de vibração abaixo de 1050 cm^{-1} eram de natureza complexa e englobavam a região de "impressão digital" do polissacarídeo. Além disso, duas bandas de vibração adicionais foram observadas relacionadas aos

grupos carboxílicos em sua forma carboxilato: alongamento assimétrico em 1634 cm^{-1} e alongamento simétrico em 1415 cm^{-1} . A região espectral de $1200\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$ está relacionada às vibrações de C-O e C-C de ligações glicosídicas e anéis de piranose.

[028] Através da difração de raio X (DRX), pôde-se observar pouca região cristalina, porém com picos bem definidos na região 2θ de $31,88^\circ$, $45,49^\circ$, $56,52^\circ$ e $66,26^\circ$ como representados na Figura 4, que é característico de cloreto de sódio que pode ter se formado devido as interações dos componentes da mistura ou como impureza. Os filmes não apresentaram diferença significativa entre si tratando-se de região cristalina, porém existe uma diminuição significativa da região $45,46^\circ$ para os filmes 9,10 e 11, que possuem crosslink em sua formulação, quando comparados aos filmes 5 e 8 que não apresentam crosslink, o oposto pode-se observar na região $31,88^\circ$.

[029] A faixa abaixo dos picos variando de aproximadamente 10° a 50° predomina a forma amorfa do material.

[030] A Tabela 3 expõe os resultados do potencial oxidativo avaliado mediante os métodos DPPH e ABTS. Observa-se que o óleo de copaíba em questão demonstrou uma capacidade oxidativa considerável, que se alinha com as expectativas fundamentadas na literatura, tendo boa capacidade de inibição

de bactérias. As análises revelaram resultados favoráveis, onde o valor de IC50 foi determinado em 11,60 µg/ml para o óleo. Este valor foi parecido com os achados de Pereira et al. (2018), os quais realizaram análises semelhantes em relação à espécie de copaíba *Copaifera multijuga* (Fabaceae), pertencente à mesma família da *Copaifera Langsdorffi*, objeto de estudo na presente pesquisa.

Tabela 3: Potencial oxidativo para o óleo essencial de copaíba e para os filmes selecionados utilizando os métodos DPPH e ABTS.

IC50 (µg/ml)		
Amostras	DPPH	ABTS
Óleo de copaíba	11,6	74,1
5	49,7	17,6
8	50,6	30,2
9	45,4	15,1
10	29,9	25,0
11	56,0	45,4

[031] Com relação as formulações dos filmes, destaca-se que estas exibiram uma inibição satisfatória quando comparadas à inibição observada somente com o uso do óleo. Isso denota um aumento considerável na capacidade de inibição, possivelmente atribuído à presença de outros componentes, como o alginato de sódio, que também atua como agente inibidor e é comumente empregado em curativos. Vale ressaltar que as formulações 5, 8 e 11 se destacaram ao apresentar resultados

superiores no método DPPH, sugerindo uma possível correlação com a quantidade de crosslinking, uma vez que essas formulações exibem uma baixa ou ausente quantidade de agente reticulante.

[032] O potencial oxidativo no método ABTS, permaneceu satisfatório, com um IC50 de 74,1 µg/ml para o óleo de copaíba. Entretanto, nota-se uma redução significativa desse potencial quando se trata das formulações dos filmes, o que possivelmente está relacionado com os componentes utilizados.

[033] De acordo com os resultados expostos na Tabela 3, constatou-se que os filmes exibiram uma redução na capacidade antimicrobiana em comparação com os valores documentados na literatura para o óleo correspondente. Este fenômeno, embora possa se mostrar vantajoso para a preservação de lesões dérmicas desprovidas de contaminação microbiana, revela-se manifestamente ineficaz quando aplicado em feridas já colonizadas por microrganismos patogênicos.

[034] Um aspecto interessante que merece destaque é a ausência de reatividade do óleo em seu estado puro perante as cepas bacterianas *Pseudomonas aeruginosa* e *Bacillus cereus*. Entretanto, torna-se intrigante observar que, ao combinar o óleo de copaíba com outras formulações, emergiu uma modesta atividade antimicrobiana digna de consideração. Essa constatação é de particular relevância, uma vez que o óleo de copaíba isolado não manifestou qualquer efeito antimicrobiano

discernível. Com isso, pode-se inferir com segurança que as combinações utilizadas com alginato de sódio potencializaram as propriedades antimicrobianas do óleo de copaíba.

Tabela 4: Ação antimicrobiana para os filmes selecionados.

Microrganismos	Ensaaios				
	5	8	9	10	11
DIB (mm)					
<i>Escherichia coli</i>	8,3	9,3	10,3	12,3	8,3
<i>Salmonella typhi</i>	6,3	7,3	8,3	10,3	6,3
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2,7	3,7	4,7	6,7	2,7
<i>Bacillus cereus</i>	1,7	2,7	3,7	5,7	1,7
<i>Staphylococcus aureus</i>	1,7	2,7	3,7	5,7	1,7
CIM ($\mu\text{g}.\text{ml}^{-1}$)					
<i>Escherichia coli</i>	100,2	111	109	130,1	87,9
<i>Salmonella typhi</i>	67,6	78,5	87,9	109	66,8
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	24,2	35,1	49,2	70,3	28,1
<i>Bacillus cereus</i>	13,4	24,2	38,7	59,8	17,6
<i>Staphylococcus aureus</i>	24,2	35,1	38,7	59,8	17,6
CBM ($\mu\text{g}.\text{ml}^{-1}$)					
<i>Escherichia coli</i>	364,9	404,6	545	650,5	439,5
<i>Salmonella typhi</i>	245,9	285,5	439,5	545	334
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	87,2	126,9	246,1	351,6	140,6
<i>Bacillus cereus</i>	47,5	87,2	193,4	298,9	87,9
<i>Staphylococcus aureus</i>	87,2	126,9	193,4	298,9	87,9

DIB: Diâmetro dos halos de inibição; CIM: Concentração Inibitória Mínima; CBM: Concentração Bactericida Mínima.

REIVINDICAÇÕES

1. FILMES POLIMÉRICOS, caracterizados pelas formulações compreenderem 6 g de alginato de sódio para cada 400 ml de água; 0,83 - 3,33 ml de óleo de copaíba; 0 - 2,66% de agente reticulante; 0 - 3,33 ml de plastificante.

2. FILMES POLIMÉRICOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizados pela formulação compreender 6 g de alginato de sódio para cada 400 ml de água; 3,33 ml de óleo de copaíba; 1,66 ml de plastificante.

3. FILMES POLIMÉRICOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizados pela formulação compreender 6 g de alginato de sódio para cada 400 ml de água; 1,66 ml de óleo de copaíba; 3,33 ml de plastificante.

4. FILMES POLIMÉRICOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizados pela formulação compreender 6 g de alginato de sódio para cada 400 ml de água; 1,66 ml de óleo de copaíba; 2,66% de agente reticulante.

5. FILMES POLIMÉRICOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizados pela formulação compreender 6 g de alginato de sódio para cada 400 ml de água; 1,66 ml de óleo de copaíba; 1,33% de agente reticulante; 1,66 ml de plastificante.

6. FILMES POLIMÉRICOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizados pela formulação compreender 6 g de alginato de sódio para cada 400 ml de água; 0,83 ml de óleo de copaíba; 0,66% de agente reticulante; 3,33 ml de plastificante.

7. FILMES POLIMÉRICOS, de acordo com as reivindicações de 1 a 6, caracterizados por o agente reticulante ser, preferencialmente, o cloreto de cálcio diHidratado.

8. FILMES POLIMÉRICOS, de acordo com as reivindicações de 1 a 6, caracterizados por o plastificante ser, preferencialmente, o glicerol.

9. FILMES POLIMÉRICOS, de acordo com as reivindicações de 1 a 6, caracterizados por o princípio ativo (óleo essencial de copaíba) ser utilizado isolado ou em combinação outros princípios ativos como a Aloe vera.

10. PROCESSO DE OBTENÇÃO DOS FILMES POLIMÉRICOS, definidos nas reivindicações de 1 a 9, caracterizado por compreender as seguintes etapas:

- a) Solubilização do alginato de sódio em meio aquoso com adição de material plastificante, quando for o caso;
- b) Submeter a solução resultante da etapa a) à agitação e aquecimento até que ocorra a ativação do material a 70 °C e seja formado o gel;
- c) Submeter o gel ao resfriamento abaixo de 40°C;
- d) Após o resfriamento, adição do óleo essencial de copaíba;
- e) Agitar a solução resultante da etapa d) por 30 minutos;
- f) Adicionar, quando for o caso, o agente reticulador à solução resultante da etapa e);

- g) Submeter os filmes resultantes da etapa f) à 30°C de temperatura constante para realização da secagem.

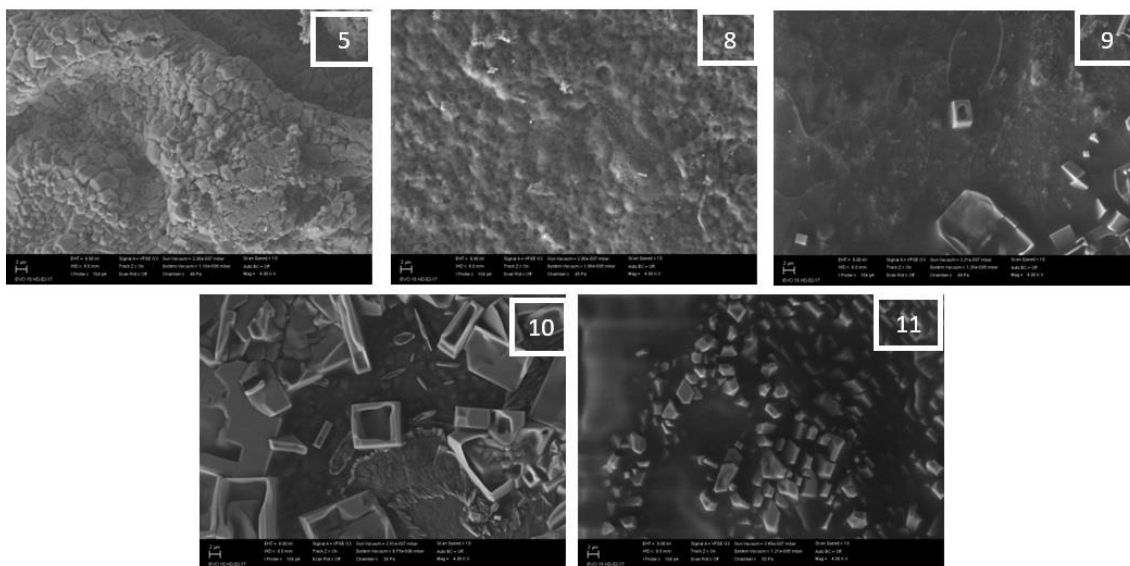


Figura 01

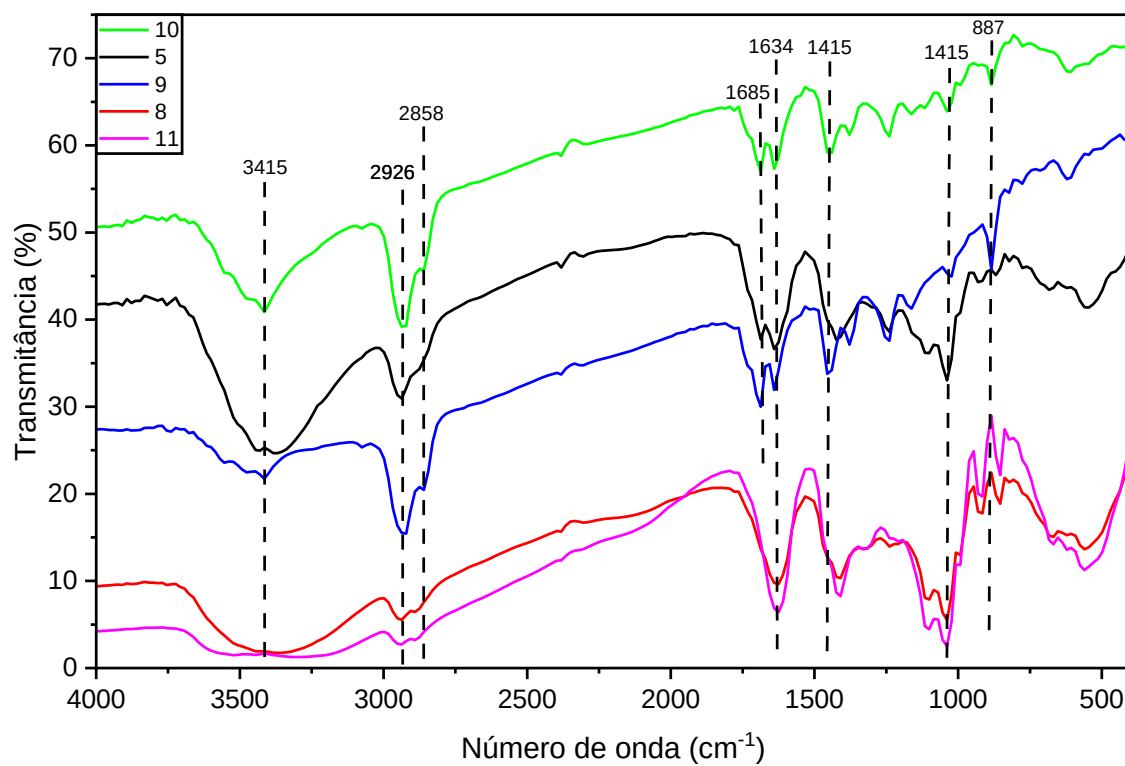


Figura 02

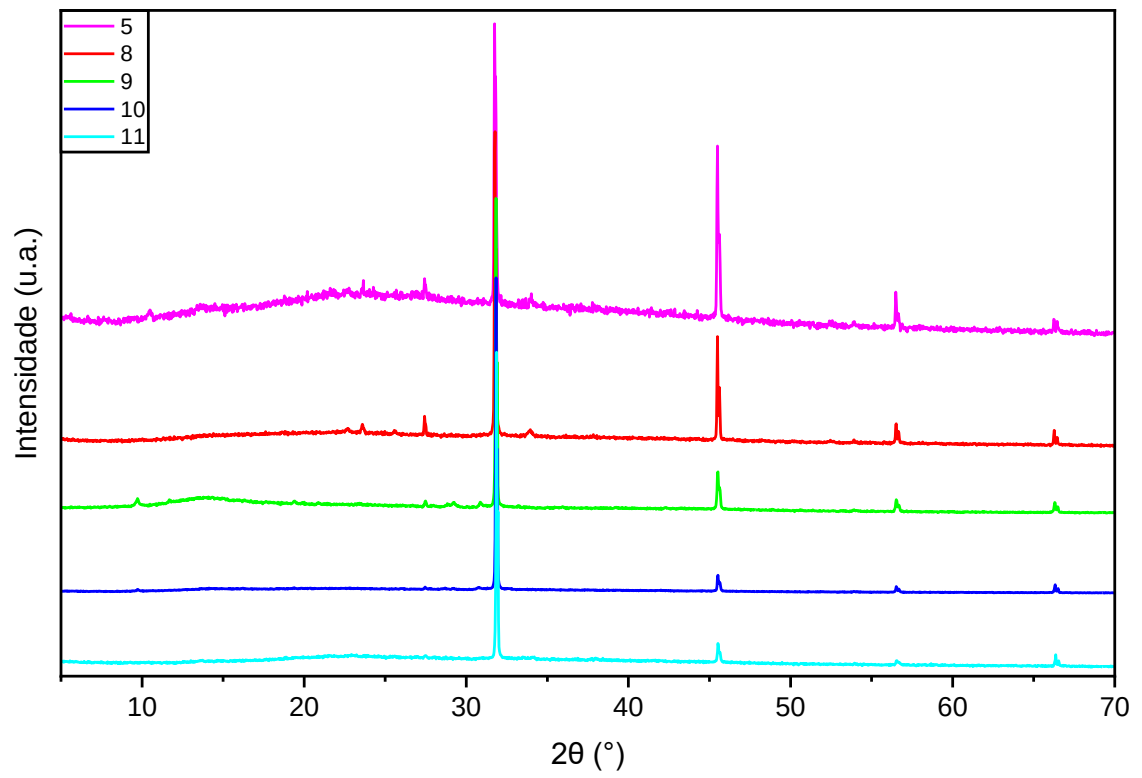


Figura 03

**FILMES POLIMÉRICOS A PARTIR DE ÓLEO DE COPAÍBA BIOATIVOS,
PROCESSO DE ELABORAÇÃO**

O presente estudo tem como objetivo a produção de biopolímeros bioativos a partir de óleos essenciais compostos com substâncias terpênicos almejando aplicação na área farmacêutica e/ou cosmecêutica. Óleos essenciais são compostos presentes naturalmente em plantas e, conseqüentemente, nas especiarias, exercendo funções biológicas relacionadas aos seus mecanismos de defesa. Dessa forma, justifica-se o estudo processo que possuem o óleo essenciais como princípio ativo a fim de obter tecnologias mais econômicas e que elevem suas propriedades funcionais. Diversas tecnologias apresentam-se como candidatas promissoras ao desenvolvimento de produtos com óleos essenciais, porém muitas delas podem apresentar alto custo de execução, baixa estabilidade físico-química ou conter substâncias irritativas. O processo da invenção deu-se em submeter o óleo-resina por caracterização físico-química e microbiológica. Dessa forma foram definidas as concentrações adequadas de alginato, óleo essencial, plastificante e agente reticulante adequadas para elaboração das blendas. A formulação apresentada possui características eficientes para a substituição de curativos tradicionais não degradáveis por conseguirem executar com mesma eficiência sua função com acréscimo de benefício no aumento da aceleração de cicatrização e antisséptico.

05/09/24 13:42 USUARIO : JOSE FILHO
DATA EMISSAO : 05Set24 TIPO : 1 - PAGAMENTO NUMERO : 2024GR800142
UG/GESTAO EMITENTE : 154041 / 15258 - FUNDACAO UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARAN
UG/GESTAO FAVORECIDA : 183038 / 18801 - INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDU
RECOLHEDOR : 154041 GESTAO : 15258
CODIGO RECOLHIMENTO : 72200 - 6 COMPETENCIA: AGO24 VENCIMENTO: 06Set24
DOC. ORIGEM: 154041 / 15258 / 2024NP000932 PROCESSO : 23115.026970/2024
RECURSO : 1
(=)VALOR DOCUMENTO : 70,00
(-)DESCONTO/ABATIMENTO:
(-)OUTRAS DEDUCOES :
(+)MORA/MULTA :
(+)JUROS/ENCARGOS :
(+)OUTROS ACRESCIMOS :
(=)VALOR TOTAL : 70,00
NOSSO NUMERO/NUMERO REFERENCIA : 00029409162325394057
CODIGO DE BARRAS : 89610000000 0 70000001010 3 95523127220 9 00360640000 4
OBSERVACAO
PROCESSO 23115.026970/2024-29 - Pagamento do boleto n°29409162325394057, refer
ente ao pedido de patente FILMES POLIMÉRICOS A PARTIR DE ÓLEO DE COPAÍBA BIOAT
LANCADO POR : 72593199334 - JOSE FILHO UG : 154041 05Set2024 13:42
PF1=AJUDA PF3=SAI PF2=DADOS ORC/FIN PF4=ESPELHO PF12=RETORNA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO ÓLEO
DE COPAÍBA (*Copaifera Langsdorffii*)**

**PHYSICAL-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERIZATION
OF COPAÍBA OIL (*Copaifera Langsdorffii*)**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL
ACEITE DE COPAÍBA (*Copaifera Langsdorffii*)**

Ana Karoliny da Silva Raposo

Doutoranda em Biotecnologia
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
São Luis, Maranhão, Brasil
ana.raposo@discente.ufma.br

Louryval Coelho Paixão

Doutor em Biotecnologia
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
São Luis, Maranhão, Brasil
louryval.paixao@ufma.br

Olivia Nunes de Oliveira Alves

Graduanda em Medicina
Centro Universitário Instituto Superior de Teologia Aplicada
Sobral, Ceará, Brasil
olivianunes@gmail.com

Gustavo Oliveira Everton

Doutorando em Química
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
São Luis, Maranhão, Brasil
gustavo.oliveira@discente.ufma.br

Allan Kardec Duailibe Barros Filho

Doutor em Information Engineering
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
São Luis, Maranhão, Brasil
allan.kardec@ufma.br

RESUMO

O Brasil é um país detentor de grande biodiversidade e destaque mundial por seus recursos. A Amazônia apresenta uma ampla diversidade de espécies florestais com grande potencial à produção de óleos e resinas utilizadas por povos nativos e populações tradicionais para as mais variadas finalidades. O óleo de copaíba muito utilizado pelos nativos, é muito conhecido por suas propriedades anti-inflamatórias, analgésicas, bactericidas e cicatrizantes, sendo considerado como antibiótico natural e possuindo grande eficácia no combate a bactérias e infecções. Este trabalho teve como objetivo caracterizar o óleo de copaíba da espécie *Copaifera langsdorffii* através das análises físico-química e microbiológicas para possíveis usos na produção de filmes poliméricos. Os índices coletados e analisados foram densidade relativa, índice de refração, índice de acidez, viscosidade, condutividade, DDPH, ABTS e avaliação antibacteriana. O estudo referente a análise do óleo de copaíba apresentou resultados dentro do esperado, e que estão de acordo com a literatura disponível.

Palavras-chave: Óleo essencial. Copaíba. Análise.

ABSTRACT

Brazil is a country with great biodiversity and stands out worldwide for its resources. The Amazon has a wide diversity of forest species with great potential for the production of oils and resins used by native peoples and traditional populations for the most varied purposes. Copaiba oil, widely used by natives, is well known for its anti-inflammatory, analgesic, bactericidal and healing properties, being considered a natural antibiotic and highly effective in combating bacteria and infections. This work aimed to characterize copaiba oil from the species *Copaifera langsdorffii* through physical-

chemical and microbiological analyzes for possible uses in the production of polymeric films. The indices collected and analyzed were relative density, refractive index, acid index, viscosity, conductivity, DDPH, ABTS and antibacterial evaluation. The study referring to the analysis of copaiba oil presented results as expected, and which are in accordance with the available literature.

Keywords: Essential oil. Copaiba. Analysis.

RESUMEN

Brasil es un país con gran biodiversidad y se destaca a nivel mundial por sus recursos. La Amazonía posee una amplia diversidad de especies forestales con gran potencial para la producción de aceites y resinas utilizadas por los pueblos originarios y poblaciones tradicionales para los más variados fines. El aceite de copaiba, muy utilizado por los indígenas, es muy conocido por sus propiedades antiinflamatorias, analgésicas, bactericidas y cicatrizantes, siendo considerado un antibiótico natural y altamente eficaz para combatir bacterias e infecciones. Este trabajo tuvo como objetivo caracterizar el aceite de copaiba de la especie *Copaifera langsdorffii* mediante análisis físico-químicos y microbiológicos para posibles usos en la producción de películas poliméricas. Los índices recolectados y analizados fueron densidad relativa, índice de refracción, índice de acidez, viscosidad, conductividad, DDPH, ABTS y evaluación antibacteriana. El estudio referente al análisis del aceite de copaiba presentó resultados como se esperaba y que están de acuerdo con la literatura disponible.

Palabras clave: Aceite esencial. Copaiba. Análisis.

INTRODUÇÃO

A Amazônia, um dos biomas de grande importância mundial, apresenta uma biodiversidade surpreendente. No Brasil, tem-se gerado uma atenção especial a floresta amazônica devido a exploração irracional dos seus recursos florestais (Alves, Moreira, 2021; Lima et al., 2021). Com isso apresenta uma ampla diversidade de espécies florestais com grande potencial à produção de óleos e resinas usados por povos nativos e populações tradicionais para os mais variados fins como óleo de copaíba (Silva, Sevalho e Miranda et al. 2021; Rodrigues et al 2020; De Araújo et al., 2020).

As copaibeiras são árvores comuns à América Latina e África Ocidental, sendo encontradas, no Brasil, nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Amazônica (Lima et al., 2021; Alves, Moreira, 2021). Tais plantas chegam a viver cerca de 400 anos, atingem altura entre 25 e 40 metros, diâmetro entre 0,4 e 4 metros, possuem casca aromática, folhagem densa, flores pequenas e frutos secos, do tipo vagem (Lima et al., 2021; Alves, Moreira, 2021; Ribeiro et al., 2020). As sementes são pretas e ovóides com um arilo amarelo rico em lipídeos (Tamaio, Da Silva 2021).

Da árvore da copaíba é extraído um óleo resina, de cor que varia de amarelo ouro a marrom, dependendo da espécie (Lisboa et al., 2018). Esse óleo resina tem sido utilizado desde a época da chegada dos portugueses ao Brasil na medicina tradicional popular e silvícola para diversas finalidades, e hoje se encontra como um dos mais importantes produtos naturais amazônicos comercializados, sendo também exportado para Estados Unidos, França, Alemanha e Inglaterra (Lima et al 2021).

Há também grande interesse na madeira de algumas espécies de copaíba, pela sua superfície lisa, lustrosa, durável, de alta resistência ao ataque de xilófagos e baixa permeabilidade, que são características desejáveis para o uso na fabricação de peças torneadas e para a marcenaria em geral. A árvore também tem sido utilizada para a fabricação de carvão e pelas indústrias de construção civil e naval (Gama et al., 2018; Gama et al., 2019).

O óleo-resina de copaíba é uma substância natural composta de uma parte sólida (Cigerza et al., 2021; Maurmann et al., 2022), resinosa não volátil (Maurmann et al., 2022) formada por ácidos diterpênicos (De Lima et al., 2020; Maurmann et al., 2022) responsável por 55 a 60 % do óleo, que, segundo Maurmann et al., (2022) é utilizada como bálsamos, diluída na outra parte, um óleo essencial composto de sesquiterpenos (De Lima et al., 2022; Pasquel-Reategui et al., 2022). Estes podem ser divididos em sesquiterpenos oxigenados (álcoois) e hidrocarbonetos sesquiterpênicos que, segundo Pasquel-Reategui et al., (2022), possuem maior atividade antiinflamatória quando comparados aos outros dois grupos presentes.

O óleo de copaíba, obtido a partir da casca do caule da árvore copaibeira (*Copaifera langsdorffii*, pertencente à família Fabaceae Caesalpinioideae), é muito conhecido por suas propriedades anti-inflamatórias, analgésicas, bactericidas e cicatrizantes (De Araújo et al., 2020; Costa, 2020; Da Cruz et al 2021). Essa planta tem sido alvo de vários estudos que buscam comprovar a eficácia das suas propriedades baseados no dito popular

O óleo-resina de copaíba retirado do tronco da *Copaifera Langsdorffii* é um líquido transparente cuja cor varia de amarelo ao marrom, possui cheiro forte, sabor amargo e é composta principalmente sesquiterpenos, quem em alguns casos correspondem à 90% de sua composição e diterpenos (Heck et al., 2022). Com isso é considerado o antibiótico natural com grande potencial de eficácia contra bactérias gram-positivas, sendo muito utilizado como cicatrizante e anti-inflamatório no tratamento de infecções (PEREIRA et al., 2018; Maurmann et al 2022).

Nas últimas décadas, houve um aumento no interesse dos profissionais da área da saúde no uso e conhecimento de medicamentos fitoterápicos (Simões et al., 2021; De Oliveira et al., 2021). O Brasil se destaca por possuir um terço da flora mundial, além de ter em seu território a Amazônia que apresenta a maior reserva de produtos naturais com ação fitoterápica (Da Silva et al., 2020). Esta diversidade vegetal faz com que estudos para o desenvolvimento de medicamentos fitoterápicos ganhem destaque no cenário científico mundial (Araújo et al., 2020)

As árvores de copaíba possuem grande importância pela produção do óleo-resina que é fonte de muitos compostos bioativos e amplamente utilizados principalmente pelas populações do norte e nordeste do Brasil, e pelas indústrias farmacêuticas, devido suas propriedades terapêuticas (Lima et al., 2021). O óleo é um produto de excreção e desintoxicação do organismo vegetal, e serve como mecanismo de defesa da planta contra animais, fungos e bactérias (De Araújo et al., 2022).

O óleo-resina de copaíba é uma substância natural composta de uma parte sólida (Cigerza et al., 2021; Maurmann et al., 2022), resinosa não volátil (Maurmann et al., 2022) formada por ácidos diterpênicos (De Lima et al., 2020; Maurmann et al., 2022) responsável por 55 a 60 % do óleo, que, segundo Maurmann et al., (2022) é utilizada como bálsamos, diluída na outra parte, um óleo essencial composto de sesquiterpenos (De Lima et al., 2022; Pasquel-Reategui et al., 2022). Estes podem ser divididos em sesquiterpenos oxigenados (álcoois) e hidrocarbonetos sesquiterpênicos que, segundo Pasquel-Reategui et al., (2022), possuem maior atividade antiinflamatória quando comparados aos outros dois grupos presentes.

Os principais sesquiterpenos encontrados no óleo-resina da copaíba são β -cariophileno (Dini et al 2019), que possui comprovada ação antiinflamatória, antibacteriana, antifúngica e antiedêmica (Dini et al 2019; Maurmann et al 2022), a β -bisaboleno, com propriedades descritas como antiinflamatórias e analgésicas (Da Silva & Costa, 2021; Maurmann et al 2022), além do α -humuleno, α e β -selineno, α -bisabolol, β -elemeno, γ -cadineno, α -cadinol, entre muitos outros (Carvalho & Milke 2014). Segundo Gurgel et al. (2019), o óleo essencial extraído das folhas da copaibeira possui composição semelhante à da parte volátil sesquiterpênica do óleo-resina, com substâncias como β -cariophileno, cadinol, Germacreno D e B e γ -cadineno.

As espécies *C. langsdorffii*, *C. officinalis* são as árvores que produzem os óleos-resinas de copaíba mais valorizados financeiramente, em função do fato de apresentarem altas concentrações dos compostos supracitados, em sua composição (Lima et al., 2021).

O óleo-resina de copaíba retirado do tronco da *Copaifera Langsdorffi* é um líquido transparente cuja cor varia de amarelo ao marrom, possui cheiro forte, sabor amargo e é composta principalmente sesquiterpenos, quem em alguns casos correspondem à 90% de sua composição e diterpenos (Heck et al., 2022). Com isso é considerado o antibiótico natural com grande potencial de eficácia contra bactérias gram-positivas, sendo muito utilizado como cicatrizante e anti-inflamatório no tratamento de infecções (PEREIRA et al., 2018; Maurmann et al 2022).

4 METODOLOGIA

4.1 Métodos

4.1.1 Obtenção do óleo de copaíba

O óleo será extraído da árvore por meio de incisão no tronco com trado, a uma altura de aproximadamente 1 a 1,5 metros do solo. A perfuração no caule terá uma profundidade de 45 cm e aos poucos o óleo-resina escoará pelo furo. Segundo a Embrapa (2015), o trado é a melhor forma de se extrair o óleo para que não haja perda da árvore

4.2 Caracterização físico-química e microbiológica do óleo de copaíba

Densidade Relativa

A densidade relativa será medida usando um picnômetro. As amostras serão medidas separadamente e removendo excesso de óleo quando necessário. O peso da amostra do óleo-resina será obtido através da diferença de massa do picnômetro cheio e vazio. A densidade relativa será calculada através da razão entre a massa do óleo-resina e a massa da água, ambas à 25°C. Os valores médios de densidade serão relatados como média $\pm$ desvio padrão.

Viscosidade e Condutividade

A viscosidade do óleo, assim como das soluções filmogênicas, serão medidas usando um viscosímetro (NDJ-5S, instrumento científico de Shanghai Pingxuan Co., Ltd, China) a 19°C usando um eixo L-3 a uma velocidade constante de 60 rpm. As

condutividades serão determinadas a 23°C por um medidor de condutividade (DZDS-A, Nanjing DuoZhu Technology Development Co., Ltd, China). Os valores médios da viscosidade e condutividade são relatados como média $\pm$ desvio padrão.

Índice de Acidez

O índice de acidez será medido de acordo com modelo Vasconcelos e Godinho (2002), pesando-se 2 g do óleo em um Erlenmeyer de 125 mL e em seguida adicionando 25 mL da mistura éter etílico: álcool etílico (2:1) acompanhado de agitação. Será adicionado também 2 gotas de solução alcoólica de fenolftaleína e titulando com solução 0,1 N de hidróxido de sódio até que a solução passasse de incolor para uma coloração rósea. O índice de acidez será calculado pela Equação 4:

$$IA = \frac{VN*56*1}{m} \quad (4)$$

Onde: V é o volume de solução de NaOH gasto na titulação em mililitros, N é a normalidade da solução e m é a massa da amostra em gramas.

Potencial Oxidativo (DPPH)

Potencial oxidativo DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) será baseado de acordo com método de Rufino et al. (2010) e Batista et al. (2016), na qual uma alíquota da solução de DPPH (0,06 mm em metanol) será adicionada aos extratos diluídos em água na proporção de 40,4:1. Para determinar o tempo de reação, as leituras cinéticas serão obtidas a cada minuto a 515 nm até a estabilização da absorbância. O tempo de leitura dos extratos de copaíba na análise DPPH será de 10 min. Serão utilizadas cinco concentrações dos extratos (amostras de Abs) para cálculos de inibição e os solventes das extrações serão utilizados como controle (controle de Abs). Após o cálculo da inibição (Equação 1), a concentração de óleo de copaíba necessário, a fim de reduzir o radical DPPH por 50%

(IC50) por meio de regressão linear será calculada. Os resultados serão expressos em g.L⁻¹. Este método será realizado tanto para o óleo de copaíba quanto para os filmes selecionados.

$$\%Inibição = \left[\frac{amostra_{solvente} - concent_{extrato}}{amostra_{solvente}} \right] * 100 \quad (1)$$

Onde: %inibição é o percentual de inibição, $amostra_{solvente}$ é a concentração de extração e $concent_{extrato}$ é o solvente das extrações.

ABTS

A determinação da atividade antioxidante pelo método ABTS [2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)], foi adaptada conforme a metodologia sugerida por Re et al. (1999). A partir das concentrações dos filmes (5 a 1000 mg/mL) preparou-se a mistura reacional com o cátion radical ABTS. Em ambiente escuro foi transferida uma alíquota de 30 µL de cada concentração das amostras contendo 3,0 mL do cátion radical ABTS e homogeneizou em agitador de tubos e após 6 minutos realizou-se a leitura da absorbância da mistura reacional em espectrofotômetro em comprimento de 734 nm. As análises foram realizadas em triplicata. A eliminação de radicais ABTS foi expressa em percentual e a Concentração Eficiente 50% (CE50/IC50) capazes de inibir 50% dos radicais foi expressa em mg/mL.

Avaliação da atividade antibacteriana

As propriedades antibacterianas do óleo de copaíba e dos filmes selecionados serão monitoradas contra *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 (*S. aureus*) e *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228 (*S. epidermidis*) como bactérias gram-positivas e *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 (*P. aeruginosa*) e *Escherichia coli* ATCC 25922 (*E. coli*) como bactérias gram-negativas. Culturas de cada um dos micróbios contendo aproximadamente 10⁸ UFC/mL serão preparadas e cultivadas a 37°C em uma incubadora. A difusão do disco e o método de contagem de colônias serão utilizados para avaliar a atividade antimicrobiana. No método de difusão em disco, as

amostras serão preparadas em discos circulares (com 15 mm de diâmetro) e colocadas em uma placa de ágar nutriente. Após incubação por 24 h em uma incubadora a 37°C, a zona de inibição do diâmetro será medida em intervalos do diâmetro (mm). Para o teste de contagem de formação de colônias, a suspensão de bactérias deverá ter a densidade final de 105 UFC/mL. As amostras de teste serão imersas na suspensão bacteriana (2,5 mL) em um frasco e agitadas a 37°C por 0, 1, 3, 12 e 24 h. Em cada um dos intervalos, a solução (0,1 mL) será retirada e diluída com uma solução tampão de fosfato para preparar uma diluição em série. As suspensões bacterianas serão cuidadosamente descartadas em placas de ágar e contadas para o número de unidades formadoras de colônias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade Relativa, Índice de refração e Índice de Acidez

De acordo com análises realizadas pode-se observar que óleo essencial de copaíba da espécie *Copaifera Langsdorffii* apresentou densidade relativa de 0,8722 g/mL, valor abaixo, quando comparado à densidade relativa da espécie *Copaifera Officinalis* obtida no estudo de Da Cruz et al. (2021) que foi de 0,9268 g/mL. Dados de densidade relativa de óleo da mesma espécie em estudo, não foi possível obter na literatura. Porém, segundo De Azevedo et al., (2020), os óleos e gorduras vegetais têm densidade entre 0,90 e 0,93 g/mL, no qual o óleo de *Copaifera Langsdorffii* apresentou na menor faixa.

O índice de refração do óleo de copaíba da espécie *Copaifera Langsdorffii* foi de 1,5133 nD à 25°C, descartando hipótese de adulteração no óleo de copaíba (BARBOSA; YOSHIDA; SCUDELLER, 2009; SERRA et al., 2019). Resultados aproximados foram encontrados por De Souza et al., (2023) para índice de refração do óleo de copaíba variado de 1,502 a 1,507. Essa diferença pode se dar pela variação única de cada tipo de espécie dos óleos estudados, grau de saturação, processo de oxidação e tratamento térmico (De Souza et al., 2023)

Para essa análise foi obtido valor de 3,02mg/g KOH para o índice de acidez. Esse resultado foi considerado muito dentro do intervalo ao encontrado nas pesquisas de De

Souza et al., (2023), com uma variação de 1,63 a 4,02 mg/g KOH utilizando a variados tipos de óleo de copaíba em seu estudo. Entretanto, os resultados estão em conformidade com os valores estabelecidos pela Anvisa (2023), em que valores de índice de acidez próximos a 4,00 mg de NaOH/mL são considerados aceitáveis para consumo humano.

Viscosidade e Condutividade

De acordo com a Tabela 2, pode-se observar a redução da viscosidade com relação ao aumento da temperatura. No entanto, o óleo apresentou valor de viscosidade de 24,47 mPa.s, valor abaixo ao encontrado por do encontrado por De Sousa et al. (2019) na mesma temperatura de 40°C que foi de 67,46 mPa.s e de 59,87 mPa.s, bastante acima, aos encontrado por De Souza et al., (2023) que variou de 5 a 11 mPa.s para a mesma temperatura de 20°C.

Para as propriedades físico-químicas do óleo-resina de copaíba de árvore de duas áreas distintas da Floresta Nacional do Tapajós – FLONA, foram constatadas densidade média de 0,96 g.cm⁻³ e viscosidade de 82,27 MPa.s⁻¹ (Silva et al., 2012). O valor de densidade obtido na presente pesquisa foi superior ao obtido pelos autores citados e, o de viscosidade, inferior. As características físico-químicas dos óleos podem variar entre e dentre indivíduos, região e período de frutificação das árvores. Segundo Melo et al. (2014), a viscosidade é variável nos óleos vegetais, sendo dependente do grau de insaturação e tamanho das cadeias graxas da sua composição; além de também ser influenciado pela presença de ramificações e posicionamento dessas insaturações. Em estudo realizado por Alves et al. (2015), no qual foram analisadas as características físico-químicas do óleo de copaíba e andiroba, constataram-se valores de densidade de 0,94 e 0,87 g.cm⁻³ e viscosidade de 45,0 e 18,3 MPa.s⁻¹, respectivamente. A viscosidade do óleo de andiroba (18,3 MPa.s⁻¹) relatada foi, aproximadamente, três vezes menor do que a obtida pela presente pesquisa (65,54 MPa.s⁻¹). Tais diferenças podem estar associadas a fatores já citados anteriormente por Melo et al. (2014). A viscosidade está relacionada à penetração do líquido na madeira, pois quanto maior for seu valor, menor será a penetração, estando relacionada com sua facilidade de impregnar a parede celular. Assim, soluções menos

viscosas não necessitariam ser diluídas ou aquecidas para penetrarem e se difundirem no lenho (Paes et al., 2015).

A condutividade encontrada para óleo essencial de copaíba da espécie *Copaifera Langsdorffii* foram de 140,99 no tempo inicial (tempo zero), 141,03 com o tempo de 30 min e 140,88 com o tempo de 1h, obtido média de 140,96 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este resultado superior ao obtido para a espécie *Copaifera Officinallis* que foi de 120,02 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (De Oliveira NEVES et al., 2018). Entretanto, segundo Alencar et al. (2015), os valores para óleo de copaíba da espécie *Copaifera Langsdorffii* está entre 187 a 226 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e, os valores encontrados nesta pesquisa é na faixa comparado à essa faixa podendo estar relacionada a variação das espécies estudadas.

Tabela 2: Viscosidade do óleo essencial de copaíba da espécie *Copaifera Langsdorffii*.

Temperatura (°C)	Viscosidade (mPas ⁻¹)
10	118,2
20	59,87
25	44,87
30	34,55
40	24,47
50	14,88
60	10,68
70	8,16
80	7,56
90	6,36

Fonte: Autor (2025).

DPPH

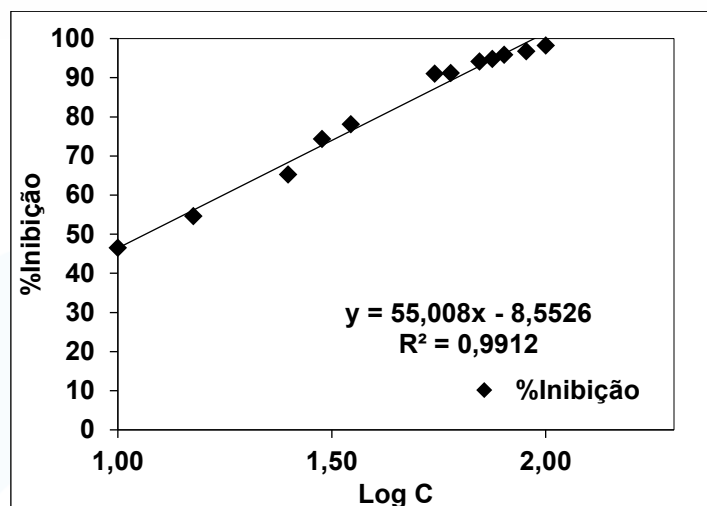
Para a avaliação da atividade antioxidante pela redução do DPPH, a fixar um H (hidrogênio), abstraído do antioxidante em estudo, observa-se uma diminuição na absorbância, o que permite calcular, após estabelecimento do equilíbrio da reação, a quantidade de antioxidante gasta para reduzir 50% do DPPH (IC50). Na figura 10, estão

apresentados os dados e valores das análises feitas nas amostras para cálculo da Atividade Antioxidante.

Após análise de regressão linear entre as concentrações avaliadas do óleo essencial de copaíba e a sua atividade antioxidante percentual (capacidade em sequestrar radicais livres), o que possibilitou a determinação da equação da reta $y = 55,008x - 8,5526$. Através desta equação, pode-se encontrar a concentração eficiente (IC₅₀), que é a quantidade de antioxidante necessária para decrescer a concentração inicial de DPPH em 50%. A correlação linear $R = 0,9912$ representa a linearidade da reta como mostra na figura 10. Este (R) mostra que a reta teve uma linearidade de aproximadamente 99,12 %.

A capacidade oxidativa do óleo essencial de copaíba apresentou boa capacidade de inibição de radicais de DPPH com IC₅₀ = 11,60 µg/mL. O maior valor de IC₅₀ indica menor atividade de eliminação de radicais ou menor potencial antioxidante (Phuyal et al 2020.) Valores parecidos aos encontrados por Alves da Silva et al., (2020) para óleo essencial de *Murraya paniculata* e possui valor elevado de inibição se relacionado aos encontrados por De Lucena et al., (2024) que foi de 300 µg/mL, analisaram a espécie de copaíba *Copaifera multijuga* (Fabaceae), da mesma família da *Copaifera Langsdorffii*, estudada nesse trabalho, sugerindo que o óleo possa estar em alguma situação que diminuiu sua capacidade inibitória de radicais de DPPH.

Figura 10: Curva de inibição pelo método DPPH do óleo essencial de copaíba da espécie *Copaifera Langsdorffii*.



Fonte: Autor (2025).

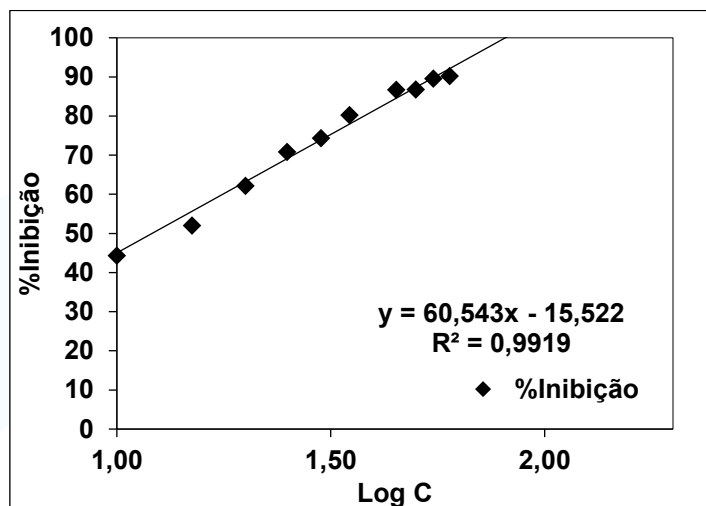
ABTS

Em relação à atividade antioxidante pelo método ABTS, quanto maior o valor obtido, mais forte é o potencial antioxidante, sendo uma análise diretamente proporcional, diferente do método DPPH.

Após análise de regressão linear entre as concentrações avaliadas do óleo essencial de copaíba e a sua atividade antioxidante percentual (capacidade em sequestrar radicais livres), o que possibilitou a determinação da equação da reta $y = 60,543x - 15,522$. Através desta equação, pode-se encontrar a concentração eficiente (IC₅₀), que é a quantidade de antioxidante necessária capturar radicais orgânicos em 50%. A correlação linear $R = 0,9919$ representa a linearidade da reta, (R), presente na figura 11, mostra que a reta teve uma linearidade de aproximadamente 99,19 %.

A capacidade oxidativa do óleo essencial de copaíba apresentou boa capacidade de inibição de radicais de DPPH com IC₅₀ = 12,08 µg/mL. O quanto maior valor de IC₅₀ maior atividade de eliminação de radicais e maior potencial antioxidante (Rosário et al., 2021.) Resultados semelhantes foram encontrados por por Mutlu-Ingok et al., (2021) para óleo essencial de gengibre com 7,72 µg/

Figura 11: Curva de inibição pelo método ABTS do óleo essencial de copaíba da espécie *Copaifera Langsdorffii*.



Fonte: Autor (2025)

5.1.5 Avaliação Antibacteriana

De acordo com a Tabela 5, o óleo essencial de copaíba da espécie *Copaifera Langsdorffii* não apresentou reação as cepas *Pseudomonas aeruginosa* e *Bacillus Cereus*. No entanto, como já era esperado, apresentou boas respostas à *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermis*. Os resultados obtidos foram parecidos ao estudo realizado por Oliveira et al. (2020), utilizando a *Copaifera Multijuga* e as cepas *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e os encontrados por De Araújo et al 2022, comprovando atividade bacteriana para as bactérias aqui estudadas dentre outras como *S. Mutans* para espécie de copaíba *Copaifera Langsdorffii*.

Tabela 5: Dados referentes à ação antimicrobiana do óleo essencial de copaíba.

Copaíba ID:250322	Diâmetro dos halos de inibi- ção (mm)	Concentração Inibi- tória Mínima (CIM $\mu\text{g mL}^{-1}$)	Concentração Bacte- ricida Mínima (CBM $\mu\text{g mL}^{-1}$)
<i>Escherichia coli</i>	12 / 11 / 12	625 / 700 / 625	1250 / 1250 / 1200

<i>Staphylococcus aureus</i>	14 / 13 / 14	625 / 700 / 625	625 / 700 / 625
<i>Staphylococcus epidermis</i>	12 / 12 / 13	700 / 700 / 750	700 / 700 / 800
<i>Salmonella typhi</i>	9 / 7 / 9	1250 / 1250 / 1200	1250 / 1250 / 1200
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	-	-
<i>Bacillus cereus</i>	-	-	-

Fonte: Autor (2025).

CONCLUSÃO

O estudo referente a análise do óleo de copaíba apresentou resultados dentro do esperado, de acordo com a literatura disponível. O índice de acidez apresentou resultados inferiores aos encontrados nas literaturas, podendo isso ocorrer em virtude não apenas da armazenagem incorreta do óleo, mas também por se tratar de um óleo de origem comercial. Verificando-se desta forma que os cuidados com o armazenamento no processo de estocagem e a maneira como a matéria prima foi embalada para envio, podem interferir nessas características físico-químicas.

Ao analisar a capacidade oxidativa do óleo de copaíba nos dois métodos propostos pelo estudo, obtiveram-se resultados compatíveis com o esperado e de acordo com dados encontrados na literatura, possuindo boa capacidade de inibição de bactérias.

A partir da análise antibacteriana obteve-se indicies satisfatórios, levando em consideração que a biorresina de *Copaífera langsdorffi* não apresentou reações de inibição às cepas de *Pseudomonas aeruginosa* e nem *Bacillus Cereus*, o óleo se comportou de forma eficiente no processo de cicatrização lesões cutâneas e apresentou resultados satisfatórios às cepas de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermis*.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, Everton N. et al. Caracterização química e avaliação da atividade antimicrobiana de emulsões nanoestruturadas de óleos naturais. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 15, n. 1, pág. 880-888, 2015.

ALVES, Thâmela; MOREIRA, Maria Aparecida Scatamburlo. Mastite bovina: Tratamento convencional e ação de compostos extraídos de plantas. **UNICIÊNCIAS**, v. 25, n. 1, p. 20-25, 2021.

ARAÚJO JÚNIOR, Francisco Alves de et al. Efeito do óleo de copaíba nas aminotransferases de ratos submetidos à isquemia e reperfusão hepática com e sem pré-condicionamento isquêmico. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 20, p. 93-99, 2005.

BARBOSA, Karol de S.; YOSHIDA, Massayoshi; SCUDELLER, Veridiana V. Detection of adulterated copaiba (*Copaifera multijuga* Hayne) oil-resins by refractive index and thin layer chromatography. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, p. 57-60, 2009.

CARVALHO, Leonardo Olivieri; MILKE, Leidy Teresinha. IMPORTÂNCIA TERAPÊUTICA DO ÓLEO-RESINA DE COPAÍBA: ENFOQUE PARA AÇÃO ANTIINFLAMATÓRIA E CICATRIZANTE. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 11, n. 2, p. 12-12, 2014.

CIGERZA, Gabriéle C. et al. Caracterização de microcápsulas contendo óleo de copaíba quanto ao teor de encapsulação e a proteção contra a degradação frente a altas temperaturas. **Anais XXVII Encontro de Química da região Sul**, v. 1, n. 1, p. 79-79, 2021.

COSTA, J.A.S. *Copaifera in* Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2021

DA CRUZ, Caroline Bomfim Lemos et al. Efeito da Fonoforese e do Óleo de Copaíba sobre Biomarcadores de Estresse Oxidativo após Lesão Muscular Esquelética em Ratos. **Ultrassom em Medicina e Biologia**, v. 47, n. 9, pág. 2657-2663, 2021.

DA SILVA COSTA, Anderson; LAMEIRA, Osmar Alves. Estudo fitoquímico do oleorresina extraído da *Copaifera reticulata* Ducke (Leguminosae-Caesalpinioideae) em uma área de manejo sustentável. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16, p. e154101622305-e154101622305, 2021.

DA SILVA, Jadson Mathyas Domingos et al. Utilização de fitoterápicos na Odontologia: revisão integrativa. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e209985370-e209985370, 2020.

DE ARAÚJO, Marcello Torres Medeiros et al. As propriedades do óleo *Copaifera ssp.* em estudos laboratoriais e clínicos: uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e19511527994-e19511527994, 2022.

ROSÁRIO, Victória Natalia Moura et al. Capsicum annum e Capsicum chinense: características físicas, físico-químicas, bioativas e atividade antioxidante. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 50414-50432, 2021.

DE ARAÚJO, Larissa Carolina Ramos et al. Atividade do óleo de copaíba sobre radicais livres formados durante a resposta inflamatória. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 53538-53553, 2020.

DE ARAÚJO, Marcello Torres Medeiros et al. As propriedades do óleo Copaifera ssp. em estudos laboratoriais e clínicos: uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e19511527994-e19511527994, 2022.

DE AZEVEDO, Wendell Medeiros et al. Caracterização físico-química, perfil de ácidos graxos, atividade antioxidante e potencial antibacteriano do óleo de cacau, óleo de coco e manteiga de cacau. **Plos One**

DE LIMA, Milena Campelo Freitas et al. Chemistry, Biological Activities, and Uses of Copaiba Oil Resins. In: **Gums, Resins and Latexes of Plant Origin: Chemistry, Biological Activities and uses**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 377-397.

DE LIMA, Milena CF et al. Caracterização e controle de qualidade de óleos de copaíba (Copaifera sp.) utilizando detecção de marcadores por fator de retenção relativa em HPTLC. **Química Nova**, v. 43, p. 878-883, 2020.

MUTLU-INGOK, Aysegul et al. Antioxidant and antimicrobial activities of fennel, ginger, oregano and thyme essential oils. **Food Frontiers**, v. 2, n. 4, p. 508-518, 2021.

PHUYAL, Nirmala et al. Total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activities of fruit, seed, and bark extracts of Zanthoxylum armatum DC. **The Scientific World Journal**, v. 2020, n. 1, p. 8780704, 2020.

DE LUCENA, Caio César Oliveira et al. Phytochemical screening and biological activities of Copaifera langsdorffii Desf.(Fabaceae) organic extracts. 2024.

ALVES DA SILVA, Flavia Fernanda et al. 'In vitro'antileishmanial and antioxidant activities of essential oils from different parts of'Murraya paniculata'(L.) Jack: A species of Rutaceae that occur in the'Cerrado'biome in Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 2, p. 347-353, 2020.

DE MENEZES FILHO, Antonio Carlos Pereira et al. Avaliação química e atividades antioxidante e antifúngica dos óleos essenciais dos frutos verdes e maduros de Zanthoxylum rhoifolium (Lam.). **Revista Arquivos Científicos (IMMES)**, v. 3, n. 1, p. 172-180, 2020.

DE OLIVEIRA NEVES, Jamilly Kelly et al. Microemulsões contendo óleo-resina de *Copaifera multijuga* Hayne: Desafios para alcançar um sistema eficiente de liberação de β -cariofileno. **Culturas e produtos industriais**, v. 111, p. 185-192, 2018.

DE OLIVEIRA, Glauber Palma et al. Citotoxicidade de uma formulação em orabase de *Libidibia Ferrea*. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e133101018713-e133101018713, 2021.

DE SOUSA, Sara Freitas et al. Análise física e avaliação do efeito antifúngico dos óleos de andiroba, copaíba e pinhão-mansão. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 153-162, 2018.

DINI, Vanda Santana Queiroz et al. Ação anti-inflamatória do óleo de copaíba em artrite induzida em modelo animal: Uma Revisão Sistemática. **Scientia Amazonia**, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2019.

FRANCISCO, Sebastião Geraldo. Use o óleo de resina de copaíba (*Copaifera officinalis* L) em inflamação ginecológica. **Feminina**, pág. 89-93, 2005.

GAMA, D.C. et al. Propriedades físicas da madeira de *Copaifera arenicola* (Ducke) J. Costa & L. P. Queiroz (Caesalpinioideae/Fabaceae). **Re.C.E.E.F.**, v.31, n.2, p.60-70, 2018.

GAMA, Dráuzio Correia; DO NASCIMENTO JÚNIOR, José Monteiro. *Copaifera arenicola* [(Ducke) J. Costa e LP Queiroz] Fabaceae-Caesalpinioideae em Regiões do Nordeste da Bahia. **Agroforestalis News**, v. 4, n. 1, p. i-viii, 2019.

GURGEL, Ely Simone Cajueiro et al. Chemical compositions and herbicidal (phytotoxic) activity of essential oils of three *Copaifera* species (Leguminosae-Caesalpinioideae) from Amazon-Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 142, p. 111850, 2019.

LIMA, Carla Aparecida Silva et al. Atualizações Sobre as Propriedades Medicinais do Óleo de Copaíba (*Copaifera* spp.): uma Revisão Bibliográfica. **UNICIÊNCIAS**, v. 25, n. 2, p. 100-106, 2021.

LISBOA, Allan Jones Matias et al. Análises fotoquímicas de *Copaifera langsdorffii* DESF. **Revista de Divulgação Científica Sena Aires**, v. 7, n. 3, p. 208-213, 2018.

MAURMANN, Natasha et al. Avaliação da composição química de um óleo de copaíba (*Copaifera* spp.) e seu efeito em células-tronco mesenquimais. **Revista de Medicina**, v. 101, n. 5, 2022.

OLIVEIRA, Divânia FF DE et al. Potencial antimicrobiano do óleo de copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne-Leguminosae) contra isolados multirresistentes de mastite bubalina. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, 2020.

PASQUEL-REÁTEGUI, José Luis et al. Fractionation of sesquiterpenes and diterpenic acids from copaiba (*Copaifera officinalis*) oleoresin using supercritical adsorption. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 184, p. 105565, 2022.

PEREIRA, Debora Linsbinski et al. Efeitos antioxidantes e hepatoprotetores de extratos etanólicos e acetato de etila da casca do caule de *Copaifera multijuga* (Fabaceae) em camundongos. **Acta Amazonica**, v. 48, p. 347-357, 2018.

PIERI, Fabio Alessandro; MUSSI, Maria Carolina; MOREIRA, Maria Aparecida S. Óleo de copaíba (*Copaifera* sp.): histórico, extração, aplicações industriais e propriedades medicinais. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 11, p. 465-472, 2009.

RIBEIRO, Ítalo Felipe Nogueira et al. CRESCIMENTO INICIAL DE PLÂNTULAS DE *Copaifera reticulata* Ducke APÓS APLICAÇÃO DE ULTRASSOM EM SEMENTES. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 1, n. 2, p. 123-123, 2020.

RODRIGUES, Maisa Isabela et al. Concessão florestal na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 1299-1308, 2020.

SERRA, Josilene Lima et al. Alternative sources of oils and fats from Amazonian plants: Fatty acids, methyl tocopherols, total carotenoids and chemical composition. **Food research international**, v. 116, p. 12-19, 2019.

SILVA, Antonio Jorge Barbosa da; SEVALHO, Elison de Souza; MIRANDA, Ires Paula de Andrade. Potencial das palmeiras nativas da Amazônia Brasileira para a bioeconomia: análise em rede da produção científica e tecnológica. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 1020-1046, 2021.

SIMÕES, Mylena Medeiros et al. Relato de experiência sobre o uso racional dos fitoterápicos contra a Covid-19 na comunidade redinha. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 5, p. e8110514497-e8110514497, 2021.

TAMAIÓ, Irineu; DA SILVA, Priscilla Castro. Natureza Terapêutica: uma experiência de Educação Ambiental nas trilhas do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros-Goiás. **Educação Ambiental (Brasil)**, v. 2, n. 2, 2021.

Development of Bioplastics with Essential Oil for Bioactive Applications: Characterization and Evaluation

Ana Karoliny da Silva Raposo

Doutoranda em Biotecnologia
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
São Luis, Maranhão, Brasil
ana.raposo@discente.ufma.br

Louryval Coelho Paixão

Doutor em Biotecnologia
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
São Luis, Maranhão, Brasil
louryval.paixao@ufma.br

Gabrielle Vieira da Silva Brasil

Doutora em Biotecnologia
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
São Luis, Maranhão, Brasil
gabrielle.silva@discente.ufma.br

Alan Silva de Menezes

Doutor em Física
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
São Luis, Maranhão, Brasil
alan.menezes@ufma.br

Geyse Adriana Corrêa Ribeiro

Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
São Luis, Maranhão, Brasil
geyse.correa@ufma.br

Allan Kardec Duailibe Barros Filho

Doutor em Information Engineering
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
São Luis, Maranhão, Brasil
allan.kardec@ufma.br

ABSTRACT

Progress in the development of bioplastics has been widely studied, especially as an alternative to non-biodegradable products derived from petrochemicals, which have significant environmental impacts after disposal. One promising approach is the addition of essential oils of plant origin, aiming to impart bioactive properties to bioplastics and accelerate the healing of skin wounds. In this study, we used the casting method and an experimental design to investigate the characteristics of a bioproduct resulting from the combination of copaiba oil, glycerol alginate and a crosslinking agent. We evaluated parameters such as moisture

content, water solubility, thickness, and water vapor permeability (PVA). The results showed variations in moisture levels (from 7.87% to 48.87%), water solubility (from 15.38% to 93.13%), thickness (from 0.060 to 0.165 mm) and PVA (from 1.784 to 8.018 g·mm/m²·day·kPa). With the use of optical and scanning electron microscopy (SEM) techniques to characterize the morphology of the films, while Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and X-ray diffraction (XRD) were used to identify the presence of sesquiterpenes and caryophyllene, active components of copaiba oil in the selected films. The results showed the formation of crystals observed in the SEM, as well as crystalline peaks detected in the XRD, indicative of the desired structure. The FTIR analysis confirmed the effective incorporation of the bioactive compounds, suggesting that the films maintain the antioxidant and antibacterial properties of copaiba oil.

KEYWORDS: Antioxidant and Microbiological Activity, Bioproduct, Copaiba, Physicochemical

1. INTRODUCTION

Throughout history, preserving skin health has been a central priority of humanity. Skin lesions, whether acute or chronic, are frequent events that require appropriate therapeutic interventions to restore the anatomical and functional integrity of the affected tissues(17). However, the skin's natural ability to regenerate is often insufficient (21,41).

The choice of dressings for the treatment of skin wounds is a dynamic process, depending on the progression through the various stages of healing (13). Currently, the market offers a variety of options taking into account factors such as financial resources of the patient or healthcare facility, the need for continuity of treatment, and the assessment of associated benefits and costs, considering the nature, location, and size of the wound (18).

Most of the dressings available are made from non-biodegradable synthetic polymers, mainly derived from petroleum, raising environmental concerns due to their resistance to degradation. To accelerate healing and improve patients' quality of life, the industry is focused on developing novel materials that are cost-effective, non-toxic, highly effective and bioactive. In this context, formative polymeric films emerge as a promising alternative (10, 39).

The production of biopolymers begins with the preparation of a film-forming solution composed of three essential elements: a film-forming agent, a plasticizer, and a cross-linking agent (11). These components are combined in a variety of ways to impart specific properties to the resulting film (8, 30, 42).

Copaiba oil, extracted from the bark of the *Copaifera Langsdorffii* tree, is recognized for its therapeutic properties (16), being effective as a natural antibiotic against Gram-positive bacteria (3, 14, 25) and possessing anti-inflammatory properties, being the object of study in several medical areas (22, 29).

The incorporation of essential oils in polymeric films acts as a plasticizer, imparting malleability and flexibility to the films (4, 23). With technological advancements and the search for sustainable solutions, the concern about environmental pollution due to waste disposal is a significant challenge. The healthcare industry is adopting more sustainable practices to minimize environmental impacts (1, 24).

Skin lesions are common events in human life (38), entailing significant costs for health systems (37). There is a growing demand for healthy and environmentally responsible products, driving research for the development of biodegradable and bioactive films using biopolymers (23).

In this context, it is essential to carry out research that evaluates the performance of alginate combined with copaiba oil as sources of biodegradable and bioactive polymers. This initiative aims to create products based on natural materials that can replace and significantly reduce dependence on materials derived from the petrochemical industry, promoting the conservation of natural resources and reducing environmental impact.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

Sodium alginate (A2033) with an average molecular weight of 90 kDa and intrinsic viscosity of 690 ml/g at 25°C was used in the preparation of the polymeric films. This alginate is composed of 61% mannuronic acid and 39% guluronic acid (Sigma, Brazil). Glycerol (Dinamica, Brazil), calcium chloride dihydrate (Merck, Germany) and copaiba essential oil from *Copaifera Langsdorffii* and obtained from the Atlantic Forest Express were also used.

2.2. Preparation of biopolymers using experimental design

An experimental design was used to evaluate the mixtures, considering four response variables, mainly related to the lower solubility of PVA and biopolymer. An experimental mixing design and triangular response surface, employing a "three-factor simplex-lattice design" with lower vertices and a central composite, were used to generate models and response surfaces. The independent variables evaluated included the amounts of glycerol and copaiba essential oil, as well as the concentration of calcium chloride dihydrate, each with maximum values of 5 ml, 5 ml and 4%, respectively. Table 2 presents the fifteen experimental design trials, with response variables including moisture content, water solubility, thickness, and PVA.

The polymeric films were prepared with adaptations based on methods established by Santana and Kieckbusch (36), Parada-Hernández et al (28), Bueno and Moraes (7), Pires and Moraes (31) and Lopes et al (20). A 1.5% alginate solution was dissolved in 400 ml of deionized water and stirred at 10,000 rpm at room temperature (27°C±2°C) for 20 minutes. Glycerol, a plasticizer, was then added and stirred for 1 hour at the same speed. After this step, a calcium chloride dihydrate solution was introduced and stirred for 15 minutes, maintaining the temperature at 40°C (20). The resulting heated gel was mixed with the essential oil for about 20 minutes before being deposited in 15 cm diameter Petri dishes. These plates were placed in a natural convection oven at 40°C for 48 hours, using an SP Labor model 1911 in Brazil. Subsequently, the material was removed from the plates and stored in an desiccator at 52% relative humidity for 48 hours before being subjected to new characterizations.

2.3. Physicochemical characterizations

Visual analytics

Subjective evaluations of continuity, homogeneity, and management were categorized as excellent (++++), good (+++), fair (++) and poor (+) [20].

Moisture content (ω)

Determined by the gravimetric method. Molds were heated in an oven at 105°C for 24 hours, following the AOAC 926.12 methodology. The moisture content was determined in triplicate for each formulation and expressed as mass fraction.

Water solubility (S)

Measured in triplicate, adapting to the method proposed by Da Silva et al. (10). The samples were immersed in distilled water at 25±1°C and stirred constantly for 24 hours on a stirring table. After drying in an oven at 105°C for 24 hours, the final dry mass was obtained. The solubility values were found according to Equation 1, below:

$$S = \frac{mi(1 - \omega) - mf}{mi(1 - \omega)} \times 100 \quad (1)$$

Thickness

Measured at nine random positions in each film sample using a digital micrometer with a resolution of 0.01 mm (26).

Water Vapor Permeability (WVP):

Determined by the gravimetric method according to ASTM (2016). The samples were placed on a permeation cell with anhydrous calcium chloride to maintain 0% Relative Humidity (RH). After sealing in a chamber with 75% RH, the water permeability rate was measured over 72 hours. PVA values were obtained using Equation 2, below:

$$PVA = \frac{G\delta}{Ae\Delta Pa} \quad (2)$$

Statistical analysis

Quantitative data will be expressed as mean values ± standard deviation. The Statistica 9.0 software (StatSoft, Inc., USA) was used to calculate the analysis of variance (ANOVA), lack of fit (Test F), correlation of the regression coefficient and generation of response surfaces to evaluate the differences between the means with 95% confidence.

Optical microscopy

The photomicrographs of the optimal assays were performed with the aid of an optical microscope (model MA 100 Eclipse, Nikon), in the 100x objective with the aid of a slide, in which the samples of each

selected film were inserted. 2D images were evaluated as an alternative method to evaluate the optical miscibility of mixtures.

Scanning Electron Microscopy (SEM)

The appearance of the surfaces of the cast strips was also evaluated and the details of the fractured sections of the composite films (physically fractured under nitrogen) were examined using Scanning Electron Microscopy (TM3030, Hitachi, Japan) operating at an acceleration voltage of 5 kV. The specimens were mounted on aluminum tubes and coated with gold by sputtering (Balzers Union, Balzers, Liechtenstein). The structure of each sample was evaluated using energy dispersion and density displacement spectrometry to resolve the microscope data.

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

The FTIR spectra of the starting materials (alginate, BCM, BCEF) and the mixture were obtained using an IR-Prestige spectrophotometer (IR-Prestige, Shimadzu, Japan). All spectra were recorded in ATR absorbance mode, accumulating 128 scans at room temperature of 25 °C (± 2 °C) with a resolution of 4 cm^{-1} in the spectral region of 400–4000 cm^{-1} .

X-ray diffraction

The structural characteristics of the films were studied by X-ray diffraction using a Bruker D8 diffractometer (Germany), with $\text{K}\alpha$ -radiation operating at 40 kV and 40 mA. The samples were scanned in the diffraction angle range of 2θ between 5° - 80°.

Antibacterial activity

Antibacterial activity was evaluated against bacterial strains, including *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 (*S. aureus*) and *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228 (*S. epidermidis*) as Gram-positive bacteria, and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 (*P. aeruginosa*) and *Escherichia coli* ATCC 25922 (*E. coli*) as Gram-negative bacteria. Cultures of each microbe, with a concentration of approximately 108 CFU/mL, were prepared and incubated at 37°C. Two methods were used to evaluate antimicrobial activity: the disk diffusion method and the colony counting method. In the disk diffusion method, the samples were applied to circular discs of 15 mm in diameter and placed on plates containing nutrient agar. After 24 hours of incubation at 37°C, we measured the diameter of the inhibition halo in millimeters (mm).

Antioxidant activity

To evaluate the antioxidant activity, the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil) and ABTS [2,2-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] methods were used. We adapted the determination by the DPPH method according to Brand-Williams, Cuvelier and Berset (1995). 50 μl of the biofilms (ranging from 5 to 150 mg/l) were mixed with 950 μl of ethanol and 2 ml of DPPH radical solution, totaling 4 ml with ethanol, completely homogenized. We let the mixture react in the dark for 30 minutes and measure the absorption of the samples (A_s) at 517 nm using a UV-Vis spectrophotometer. The percentage of DPPH

radical sequestration was expressed, and the Effective Concentration 50% (EC50/IC50), capable of inhibiting 50% of the radicals, was expressed in mg/l.

For the ABTS method (2,2-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)), a reaction mixture with the ABTS radical cation was prepared from the concentrations of the biofilms (ranging from 5 to 1000 mg/ml). In a dark environment, 30 µl of each concentration of the sample containing 3.0 ml of the ABTS radical cation were transferred and homogenized with a tubular stirrer. After 6 minutes, we measured the absorbance of the reaction mixture with a spectrophotometer at the wavelength of 734 nm. The analyses were performed in triplicate. The percentage of ABTS radical sequestration was expressed, and the Effective Concentration 50% (EC50/IC50), capable of inhibiting 50% of the radicals, was expressed in mg/ml.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Physical and Chemical Properties

The films presented a pleasing visual appearance and homogeneity, exhibiting a tonal range ranging from light beige to darker shades, with varying degrees of transparency. The brightness of the films was directly influenced by the amount of essential oil used. In addition, it was observed that the films were easily removed from the petri dishes. However, tests 3, 6 and 9, which did not contain glycerol, proved to be excessively fragile. There was a distinct difference in the flexibility and handling capacity of the films, and the samples with higher proportions of copaiba essential oil and glycerol, in relation to the concentration of CaCl₂·2H₂O, showed superior performance in these aspects, as detailed in Table 1.

Table 1: Results of the subjective evaluation for polymeric films with variations in the parameters: glycerol concentration, cross-linking and copaiba essential oil.

Tests	Continuity	Homogeneity	Transparency	Flexibility
1	+++	+++	+++	++++
2	++	++	++	+
3	+	+	++	+
4	+++	+++	+++	++
5	++++	++++	++++	++++
6	+++	+++	++	+
7	++++	++++	++	++++
8	++++	++++	++	++++
9	+++	+++	++	++
10*	++	+++	+++	++++
11	++++	++++	++++	++++
12	+++	++	++	++
13	++	+++	++	+++
14*	++	+++	+++	++++
15*	++	+++	+++	++++

* Formulations 10, 14 and 15 are the same. ++++ excellent, +++ good, ++ fair, + poor.

As detailed in section 2.2, the preparation of the biopolymers was conducted following an experimental design, and the results were recorded in Table 2. When analyzing the data presented, a

significant variation in moisture content was observed, which ranged from 7.87% to 48.87%. These values correspond specifically to tests 6 (with 6 g of alginate, 0 ml of glycerol, 1/3% of crosslinking agent and 2/3 ml of copaiba oil) and 1 (with 6 g of alginate and 5 ml of glycerol), evidencing the influence of the components used in the formulation of the films.

It is important to highlight that the results obtained in this study showed similarities with the moisture contents found in films composed of *Xanthosoma Mafaffa* Schott starch enriched with copaiba oil, as reported by Rodrigues et al. (35). However, the moisture levels obtained were lower than those reported by Paranhos et al. (27) for chitosan-based films enriched with copaiba oil.

When analyzing the data presented in Table 2, a significant variation in water content is observed, ranging from 7.87% to 48.87%. These values correspond to different tests, specifically, test 6 (comprising 6 g of alginate, 0 ml of glycerol, 1/3% of crosslinker, and 2/3 ml of copaiba oil) and test 1 (containing 6 g of alginate and 5 ml of glycerol). This variation evidences the influence of the components used in the formulation of the film. It is noteworthy that the results obtained in this research showed similarities with the moisture values found in films composed of babassu coconut mesocarp starch, enriched with copaiba oil, as reported by Rodrigues et al (35). However, the moisture levels obtained in this study were lower than those reported by Paranhos et al (27) for chitosan-based films enriched with copaiba oil.

It is noteworthy that tests 6 and 9, which consisted of formulations containing 6 g of alginate, variable amounts of crosslinker and copaiba oil, did not show statistically significant differences in moisture content at the 95% confidence level. This observation can be attributed to the absence of glycerol in the compositions of these tests. In addition, it is reasonable to consider that the crosslinking process of the polymer chains may have contributed to the decrease of hydrophilicity, resulting in more hydrophobic compositions, where the copaiba essential oil did not present a significant difference in relation to the crosslinking agent. This data analysis highlights the complex interaction between formulation components and the resulting effects on the moisture properties of the produced films, emphasizing the importance of precise adjustment of these components to achieve desirable characteristics in polymer films.

In test 1 (consisting of 6 g of alginate and 5 ml of glycerol), which consisted exclusively of alginate with the highest concentration of glycerol among all the formulations examined, a significantly high moisture content was observed. This phenomenon can be attributed to the widely recognized hygroscopic properties of both alginate and glycerol, as reported by Paixão et al (26). According to studies by Da Costa and De Oliveira (9) and Tarique and Khalina (40), polymeric films that incorporate substantial amounts of glycerol tend to exhibit significantly high moisture levels.

The significance of the regression was assessed with a 95% confidence level ($p \leq 0.05$) using the F test in ANOVA, which was statistically significant. In addition, the lack of adjustment was not considered significant at the same confidence level. The coefficient of determination (R^2) corresponding to the adjusted model, which considers various combinations of glycerol, copaiba essential oil and crosslinking, reached a

value of 0.9334. This result indicates that the model satisfactorily explained 93.34% of the variability present in the observed data.

In addition, it is important to note that the model simultaneously demonstrated significance in regression and insignificance in lack of fit when assessed at a 95% confidence level ($F_{\text{calculated}} > \text{tabulated } F$). It's worth noting that a significant lack of fit may, in part, be due to the low repeatability of the center points. In this context, the discrepancy between the experimental error and the lack of fit in the model can be explained by the fact that the experimental error was considerably lower than the identified lack of fit.

Table 2: Moisture content (ω), water solubility (S), thickness (δ) and water vapor permeability (PVA) for polymeric films with variations in the following parameters: glycerol concentration, cross-linking and copaiba essential oil.

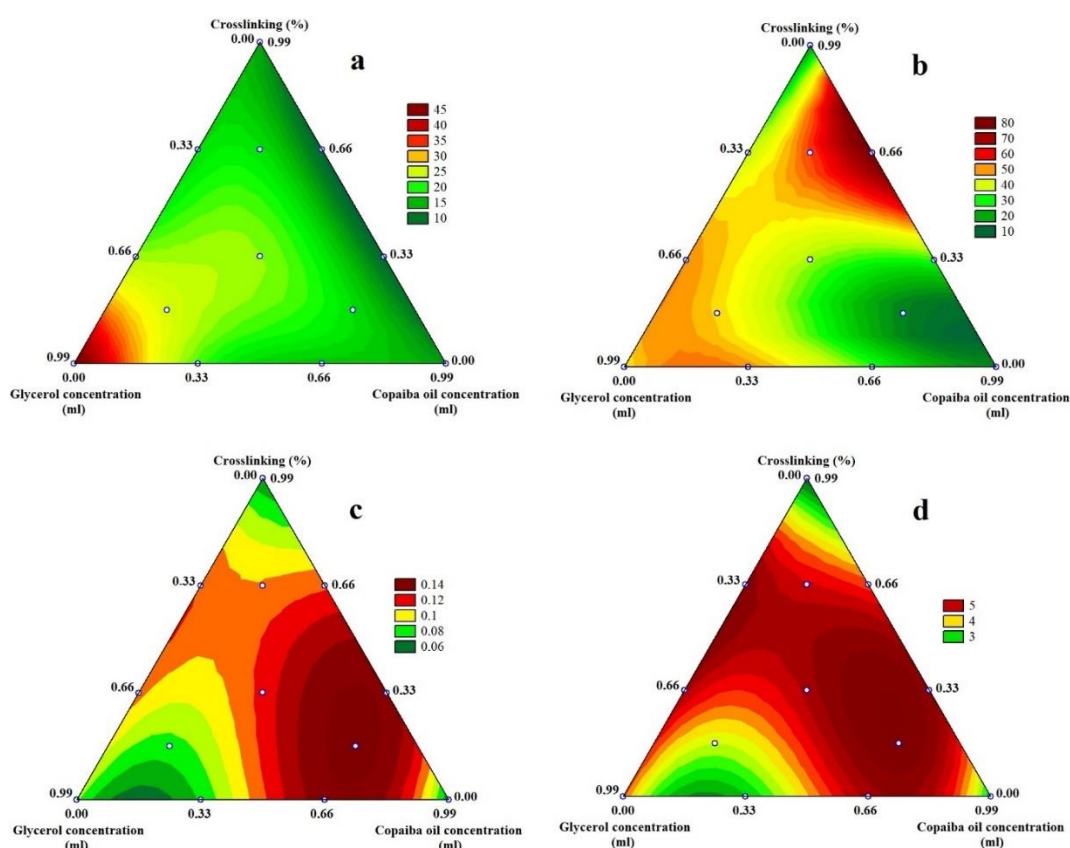
Test	Glycerol (ml)	Crosslink (%)	Copaiba oil (ml)	ω (%)	S (%)	δ (mm)	WVP **
1	1	0	0	48.879 $\pm$ 1.953F	44.442 $\pm$ 2.069f	0.080 $\pm$ 0.010A	4.151 $\pm$ 0.887c
2	0	1	0	12.329 $\pm$ 0.941b	16.667 $\pm$ 1.054a	0.060 $\pm$ 0.011a	2,612 $\pm$ 0,326b
3	0	0	1	12.857 $\pm$ 1.731b	15.385 $\pm$ 0.518a	0.060 $\pm$ 0.010A	1,784 $\pm$ 0.012a
4	1/3	2/3	0	17.460 $\pm$ 1.470c	25.806 $\pm$ 1.602b	0.130 $\pm$ 0.001c	4.384 $\pm$ 0.655c
5	1/3	0	2/3	18.750 $\pm$ 2.002CD	51.128 $\pm$ 0.511g	0.110 $\pm$ 0.003BC	5.597 $\pm$ 0.291d
6	0	1/3	2/3	7.874 $\pm$ 0.937A	93.128 $\pm$ 1.128i	0.110 $\pm$ 0.008 BC	4.669 $\pm$ 0.154c
7	2/3	1/3	0	16.854 $\pm$ 1.297c	45.122 $\pm$ 2.366f	0.070 $\pm$ 0.022a	2.554 $\pm$ 0.331b
8	2/3	0	1/3	18.919 $\pm$ 2.209cd	39.149 $\pm$ 0.595e	0.100 $\pm$ 0.006b	4.647 $\pm$ 0.453c
9	0	2/3	1/3	8.511 $\pm$ 0.754A	19.115 $\pm$ 2.836a	0.130 $\pm$ 0.004c	4.496 $\pm$ 0.298c
10*	1/3	1/3	1/3	22.222 $\pm$ 0.898d	34.375 $\pm$ 1.949d	0.150 $\pm$ 0.007d	4.214 $\pm$ 0.663c
11	2/3	1/6	1/6	32,258 $\pm$ 1,917e	58.670 $\pm$ 2.306h	0.090 $\pm$ 0.004b	5.060 $\pm$ 0.889c
12	1/6	2/3	1/6	16.667 $\pm$ 0.287c	27.397 $\pm$ 1.969b	0.165 $\pm$ 0.004d	8.018 $\pm$ 1.055e
13	1/6	1/6	2/3	17.241 $\pm$ 0.447c	35.795 $\pm$ 1.705d	0.110 $\pm$ 0.003BC	5,583 $\pm$ 0,020d
14*	1/3	1/3	1/3	21.818 $\pm$ 1.193d	29.630 $\pm$ 0.422c	0.090 $\pm$ 0.003b	4.347 $\pm$ 0.306c
15*	1/3	1/3	1/3	19.149 $\pm$ 1.038CD	35,897 $\pm$ 2,564d	0.080 $\pm$ 0.005A	4.437 $\pm$ 0.074c

*Formulations 10, 14 and 15 are the same. Mean $\pm$ standard deviation of repetitions. Means with lowercase letters in each line indicate that there was no significant difference at $p < 0.05$ by Tukey's test. **[(g.mm)/(m 2.dia.kPa)].

Figure 1a shows the response surface for the dependent variable, humidity. When analyzed, it is evident that lower concentrations of moisture were observed in films with formulations consisting only of crosslinking and copaiba oil, as in tests 2 (6 g of alginate + 4% of crosslinking), 3 (6 g of alginate + 5 ml of copaiba oil), 6 (6 g of alginate + 0 ml of glycerol + 2/3% of crosslinking + 2/3 ml of copaiba oil) and 9 (6 g of alginate + 0 ml of glycerol + 1/3% + 1/3 ml of copaiba oil). On the other hand, the films with higher moisture content were found in the highest concentrations of glycerol and lower concentrations of copaiba oil.

Solubility plays a crucial role in water vapor permeability and film biodegradation, making it a significant property for characterization. It helps to understand the behavior of movies when they come into contact with water (5, 19). In this context, solubility is influenced by the concentration and type of compounds present in the formulation (15), directly affecting the hydrophilicity and hydrophobicity indexes. As a result, hydrophobic films have lower solubility, while hydrophilic films have higher solubility (5).

Figure 1: Response surface analysis for: a) moisture content; b) solubility; c) thickness and d) WVP of the biopolymers.



Source: Authors (2024)

As shown in Table 2, solubility ranged from 15.38% to 93.13%, corresponding to tests 3 (6 g of alginate + 5 ml of copaiba oil) and 6 (6 g of alginate + 0 ml of glycerol + 2/3% crosslinking + 2/3 ml of copaiba oil), respectively. It is evident that films composed exclusively of copaiba oil or only $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ showed low solubility values. When these components were combined, the amount of $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ had to be greater than the amount of copaiba oil to maintain this low solubility. This result was expected, since crosslinking promotes the closure of polymer chains, making the film less permeable to water. Copaiba oil can have a similar effect. However, when both components are present, solubility increases, as evidenced in assay 6, which showed the highest solubility among all films evaluated.

The significance of the regression and the lack of adjustment were evaluated at a significance level of 5% ($p \leq 0.05$) using the F test in the analysis of variance. The R^2 coefficient of determination for the adjusted model was 0.7414, indicating that the model was able to explain 74.14% ($R^2 > 70\%$) of the variation observed in the data.

In addition, the model showed statistically significant regression at the 95% confidence level ($F_{\text{calculated}} > F_{\text{tabulated}}$), while the lack of fit was not statistically significant at the same confidence level ($F_{\text{calculated}} > F_{\text{tabulated}}$). This suggests that the good repeatability of the center points may have contributed to the absence of significant mismatch, resulting in a reliable response surface.

Figure 1b shows the response surface for solubility. In this figure, it is evident that films with higher solubility are characterized by a high concentration of crosslinker in relation to the amount of copaiba oil present. The reduction in solubility in aqueous environment of films incorporating copaiba oil can be attributed to its hydrophobic nature, as reported by Debone et al (12) and Paranhos et al (27).

Thickness is one of the most important properties of films, as it directly influences the rate of permeability to water vapor, as mentioned by Paixão et al (26). However, achieving precise thickness control becomes a challenging task when employing the "casting" methodology, as also indicated by Brasil et al. (5). The results obtained, as shown in Table 2, reveal variations in film thickness, ranging from 0.060 mm (tests 2 and 3) to 0.165 mm (test 12, characterized by the presence of ternary mixture).

The coefficient of determination, R^2 , was calculated at 72.20%, exceeding the threshold of 70%, when considering an adjusted model that incorporates different variables, specifically the variable concentrations of glycerol, copaiba oil and crosslinking. In this context, the statistical significance of the regression is emphasized, as well as the insignificance of the lack of adjustment when evaluated at a 95% confidence level, as established by the F test applied in

the analysis of variance. As a result, the R^2 value for the adjusted model reached 0.7220, indicating that this model was able to explain 72.20% of the variation observed in the data.

The model showed significant regression and no significant adjustment to the 95% confidence level, evidenced by the fact that the calculated $F < F_{\text{tabulated}}$. This difference can be attributed, in part, to the lack of reproducibility at the pivotal points, where random error prevailed over systematic mismatch. Based on these results, it is inferred that the construction of the response surface (as presented in Figure 1c) is a valid and justified approach.

As illustrated in Figure 1c, it is observed that the films exhibited variability in thickness in relation to binary and ternary compositions, presenting greater thickness in contrast to those composed of a single component, which is alginate. However, the thickness of the film should not be interpreted as a disqualifying factor, as its applicability may vary depending on the specific purpose, as is the case with membrane manufacturing, where, in many cases, greater thickness is desirable.

In the present study, the water vapor permeability (PVA) of the biopolymers ranged from 1.784 (in trial 3) to 8.018 (in trial 12), expressed in units of $\text{g.mm/m}^2.\text{day.kPa}$ (as shown in Table 2). These values were lower than those obtained by Raposo et al. (32) when using biopolymers of alginate, mesocarp starch, and babassu coconut fibers subjected to alkaline treatment. It is noteworthy that, in this study, the presence of copaiba oil possibly influenced the obtaining of lower PVP values, as observed in test 3 (composed of 6 g of alginate and 5 ml of copaiba oil), which showed the lowest permeability rate. This phenomenon may be associated with the difficulty of water passage caused by the interaction between the oil and the other components, similar to the result obtained by Nunes et al. (23) in their study on films containing lemon essential oil.

Evaluating the data and considering the significance of the regression, as well as the non-significance of the lack of adjustment to the 95% confidence level ($p \leq 0.05$) by means of the F test, it was observed that the proposed model for prediction of PVF reached a coefficient of determination of 75.28% ($R^2 > 70\%$). The values calculated by F for regression and lack of adjustment were lower than the tabulated values ($F_{\text{tabulated}}$). Consequently, although the fitted model is not considered highly predictive, its lack of fit was not statistically significant.

In Figure 1d, the response surface for the WVP of the films is represented. It is noteworthy that lower permeability rates can be achieved in situations where the glycerol concentration is minimized, while the concentrations of cross-linking and copaiba oil reach their maximum and minimum extremes, respectively.

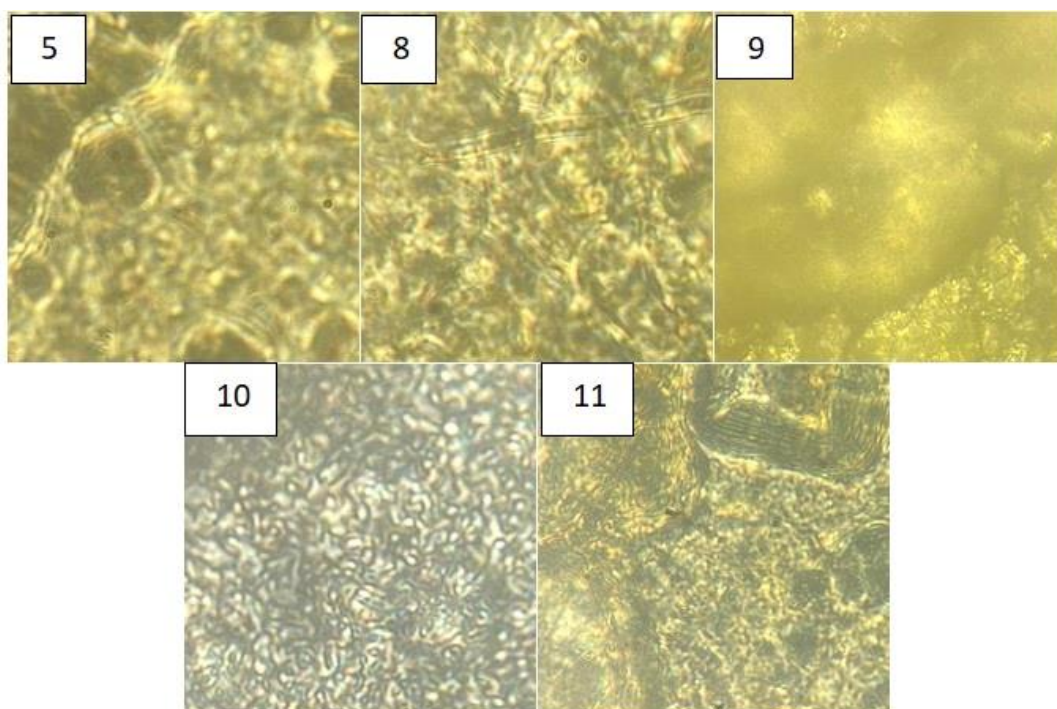
The binary mixtures of formulations 5 (1/3 ml glycerol + 2/3 ml copaiba oil), 8 (2/3 ml glycerol + 1/3 ml copaiba oil), 9 (2/3% crosslink + 1/3 ml copaiba oil) and ternary mixtures of formulation 10 (1/3 ml glycerol + 1/3% crosslink + 1/3 ml copaiba oil) and 11 (2/3 ml glycerol + 1/6% crosslink + 1/6 ml copaiba oil), were selected because they presented a visual aspect with good malleability, flexibility, easy detachment from the support; in addition to presenting low solubility values and moisture and PVA intermediates (according to the optimization obtained by the response surfaces).

The selected formulations were subjected to characterizations and optical microscopy (Figure 2), scanning electron microscopy (SEM) (Figure 3), infrared with Forrier transform (Figure 4), X-ray diffraction (Figure 5), antioxidants (Table 3) and antimicrobials (Table 4). For comparison, the same analyses were also performed with copaiba essential oil.

Optical Microscopy

The optical micrographs shown in Figure 2 illustrate the selected polymeric films, in which the presence of copaiba oil on the surface is highlighted, as evidenced by the darker color. The distribution of the oil is heterogeneous, with variation in the size of the impregnated regions, which suggests a partial incorporation during the film manufacturing process. The surface fraction of the oil is assumed to correspond to the non-emulsified portion, indicating a localized saturation and potentially a controlled release of the oil.

Figure 2: Approximate 100x optical microscopy of films 5, 8, 9, 10 and 11.



Source: Authors (2024)

The films numbered 9, 10 and 11 have a more homogeneous surface, which can be attributed to the presence of the crosslinking agent, which facilitates the connection between the polymer chains, resulting in a more cohesive structure. Films 5 and 8 demonstrate a superficial heterogeneity, suggesting the absence of crosslinking agents in their composition, which may influence the structural integrity and mechanical properties of the films.

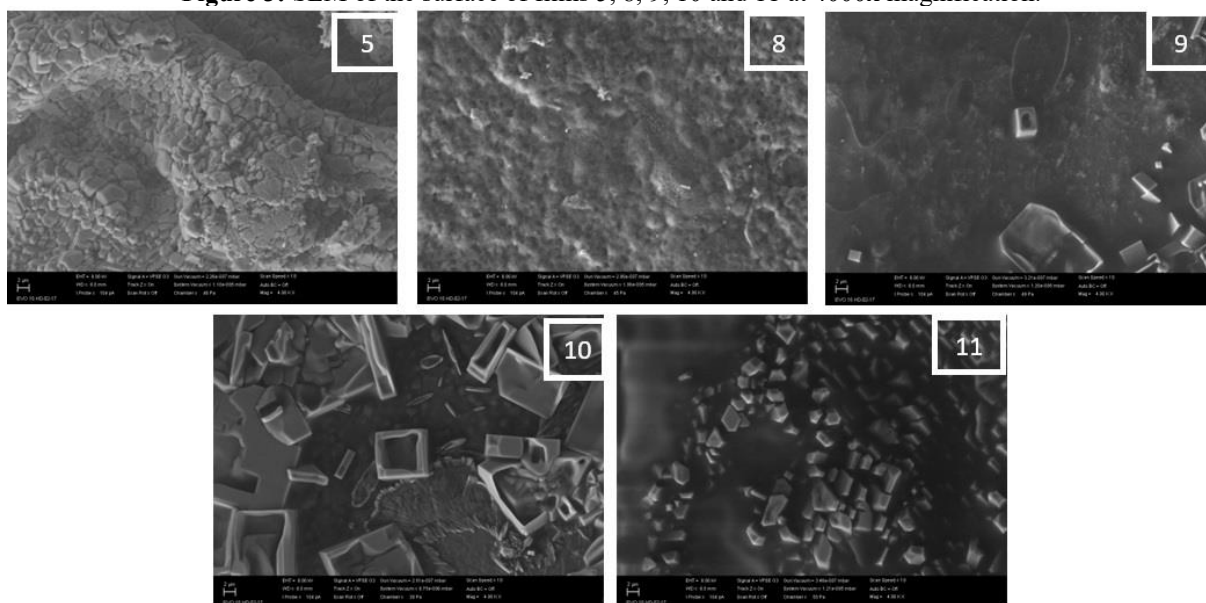
In addition, the formation of calcium crystals is observed in films 10 and 11, a phenomenon associated with the cross-linking process of alginate with calcium ions. Crystallization is particularly prominent in film 11, indicating a more intense interaction between alginate and calcium ions.

Scanning Electron Microscopy (SEM)

The investigation of the structure of alginate and copaiba oil films was studied to understand the distribution of oil droplets in the biopolymer matrix and how this can affect the physical properties of the film. Figure 3 provides a detailed view of the surface morphology of the films, allowing the analysis of the homogeneity of the oil dispersion and the identification of any droplet migration or agglomeration phenomena.

To the naked eye, the films presented a smooth, compact and continuous surface, with a homogeneous and cohesive structure. However, scanning electron microscopy (SEM) inspection allowed us to identify that the cross-linked formulations, specifically formulations 9 to 11, manifested crystals of varying morphologies and dimensions. This characteristic is probably due to the presence of calcium salts used in the crosslinking process, which is in agreement with the observations previously made by light microscopy.

Figure 3: SEM of the surface of films 5, 8, 9, 10 and 11 at 4000x magnification.



Source: Authors (2024).

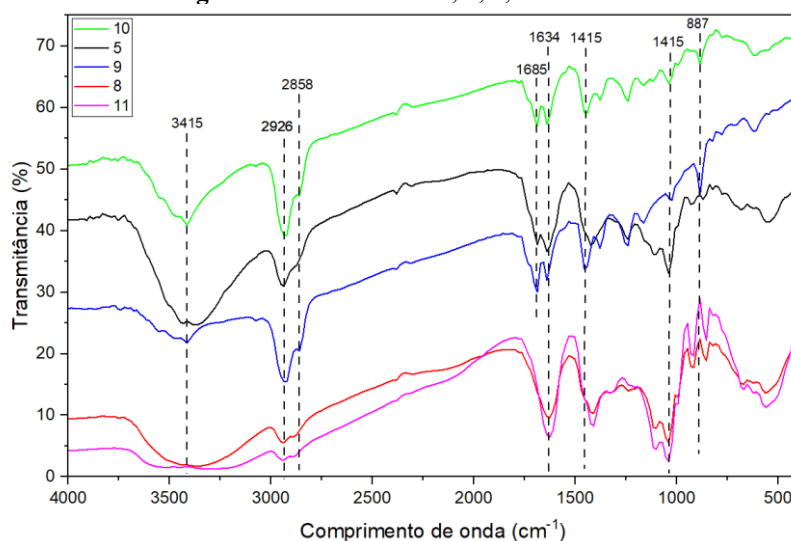
The surface micrographs indicated that the copaiba oil was fully assimilated and uniformly distributed in the film matrix, resulting in no significant irregularities. The presence of surface roughness, observed in the images of films 5 and 8, is a phenomenon already documented in previous studies, such as those by Norajit, Kim, Ryu (43) and Shojaee-Aliabadi et al (44) attributed this increase in roughness to the migration of oil droplets to the surface of the films, followed by volatilization during the water evaporation process, resulting in a structure with porosity.

Despite the variations in the microstructure of some formulations, the results indicate that the copaiba oil formed a stable emulsion system, and there was no collapse of the nanometric droplets during the drying process of the films. This implies that the mechanical and barrier properties of the films can be preserved, ensuring the integrity of the polymer matrix and the efficacy of copaiba oil as a functional agent.

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

Infrared Fourier transform spectroscopy (FTIR) was used to investigate the interactions between copaiba oil, glycerol, alginate, and calcium chloride. The corresponding spectra are shown in Figure 4.

Figure 4: FTIR of films 5, 8, 9, 10 and 11.



Source: Authors (2024).

The FTIR spectra of the polymeric films revealed vibratory bands at 3415 cm^{-1} , associated with the O-H stretching of the water molecules and hydroxyl groups present in the alginous matrix. The band at 2926 cm^{-1} corresponds to the stretch of the C-H bonds of the carbons of the pyranoid ring. Vibration at 1685 cm^{-1} is related to the C=O stretching of carboxylic groups and esters. Vibration bands less than 1050 cm^{-1} make up the "fingerprint" region of the polysaccharide. Two additional bands were also observed at 1634 cm^{-1} and 1415 cm^{-1} , pertinent

to the asymmetrical and symmetrical stretching of the carboxylic groups in the form of carboxylate, respectively. The spectral range of 1200–1000 cm^{-1} is associated with C–O and C–C vibrations, characteristics of glycosidic bonds, and pyranose rings (44).

The infrared spectra highlighted characteristic bands of the components of copaiba oil, emphasizing the regions between 2926 cm^{-1} , 2858 cm^{-1} and 887 cm^{-1} , attributed to the axial deformations of the C–H bonds in aliphatic hydrocarbons, such as sesquiterpenes (45). The 1693 cm^{-1} and 1637 cm^{-1} bands were associated with axial deformation of carboxylic acid, while the 1445 cm^{-1} and 1369 cm^{-1} bands refer to axial deformations of the C–H connections.

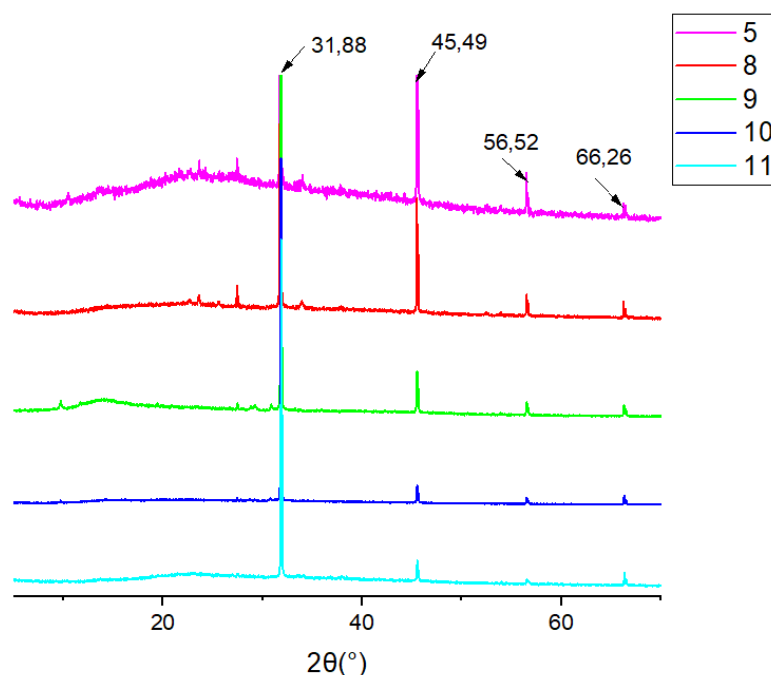
It is noteworthy that the appearance of a peak at 887 cm^{-1} (β -caryophyllene) and the increase in the intensity of the bands at 2921 cm^{-1} and 2858 cm^{-1} (sesquiterpenes) indicate that the films maintained the components responsible for the antimicrobial action of copaiba oil. Similar results were reported by de Lima et al (46).

As for light transmission, it was observed that some films allowed light to pass through more easily than others. Formulations 8 and 11 showed transmittance lower than 10%, while formulations 10 and 5 showed better transmittance results, as illustrated in Figure 4. It is postulated that this difference is due to the variation in the proportion of the components, especially in the relationship between glycerol and crosslinking agent. Films with high transmittance showed minimal or no interaction between glycerol and crosslinker.

X-ray diffraction (XRD)

X-ray diffraction analysis (XRD) revealed the presence of a limited crystalline region in the films, with well-defined diffraction peaks at the 2θ positions of 31.88°, 45.49°, 56.52° and 66.26°, as illustrated in Figure 5. These tips are characteristic of sodium chloride, suggesting that it may have formed due to interactions between the components of the mixture or as an impurity.

Figure 5: Diffractogram of films 5, 8, 9, 10 and 11.



Source: Authors (2024).

No significant difference was observed in the crystalline region between the films. However, there was a decrease in peak intensity at 45.46° for films 9, 10 and 11, which contain crosslinkers in their formulations, compared to films 5 and 8, which do not have crosslinking. The opposite was observed in the region of 31.88° .

The spectral region below the peaks, ranging from approximately 10° to 50° , is dominated by the amorphous form of the material, indicating that most of the film matrix is amorphous. This amorphous characteristic is typical of polymeric materials and can influence the mechanical and barrier properties of films, such as flexibility and permeability.

Table 3 shows the results of the oxidative potential evaluated by the DPPH and ABTS methods. It was observed that the copaiba oil examined showed significant oxidative capacity, which is in accordance with the expectations of the literature, in addition to good inhibitory capacity of bacteria. The analyses revealed favorable results, with an IC_{50} value of $11.60 \mu\text{g/ml}$ for the oil. This value was similar to the results of Pereira et al. (29), who performed similar analyses in relation to the species *Copaifera multijuga* (Fabaceae), belonging to the same family as *Copaifera Langsdorffii*, the object of study of this research.

Table 3: Oxidative potential of copaiba essential oil and films selected by DPPH and ABTS methods.

IC50 (µg/ml)		
Tests	DPPH	ABTS
Copaiba oil	11.6	74.1
5	49.7	17.6
8	50.6	30.2
9	45.4	15.1
10	29.9	25.0
11	56.0	45.4

Source: Authors (2024).

Regarding the formulations of the films, it is important to emphasize that these films showed satisfactory inhibition when compared to the inhibition observed with the isolated use of the oil. This indicates a significant increase in inhibitory capacity, possibly attributed to the presence of other components, such as alginate, which also acts as an inhibitory agent and is commonly used in dressings. Notably, formulations 5, 8 and 11 outperformed the others in the DPPH method, possibly due to their low or absent crosslinking agent content.

The oxidative potential in the ABTS method remained satisfactory, with IC50 of 74.1 µg/ml for copaiba oil. However, there is a notable reduction in this potential when considering the formulations of the films, probably due to the components used.

According to the results in Table 4, the films showed reduced antimicrobial capacity in relation to the values documented in the literature for the corresponding oil. Although this reduction may be advantageous for preserving dermal lesions without microbial contamination, it is ineffective for wounds already colonized by pathogenic microorganisms.

An interesting aspect that deserves to be highlighted is that pure copaiba oil did not show reactivity against the bacterial strains *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus cereus*. However, it is intriguing to note that when copaiba oil is combined with other formulations, modest but noteworthy antimicrobial activity emerges. The importance of this finding lies in the fact that copaiba oil, when used alone, did not demonstrate any noticeable antimicrobial effect. Consequently, it can be safely inferred that the combinations employed in this study increased the antimicrobial properties of copaiba oil, as shown in Table 5.

Table 4: Antimicrobial action for selected films.

Microorganisms	Tests				
	5	8	9	10	11
IHL(mm)					
<i>Escherichia coli</i>	8.3	9.3	10.3	12.3	8.3
<i>Salmonella typhi</i>	6.3	7.3	8.3	10.3	6.3
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2.7	3.7	4.7	6.7	2.7
<i>Bacillus cereus</i>	1.7	2.7	3.7	5.7	1.7
<i>Staphylococcus aureus</i>	1.7	2.7	3.7	5.7	1.7
MIC (μ g.ml ⁻¹)					
<i>Escherichia coli</i>	100.2	111.0	109.0	130.1	87.9
<i>Salmonella typhi</i>	67.6	78.5	87.9	109.0	66.8
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	24.2	35.1	49.2	70.3	28.1
<i>Bacillus cereus</i>	13.4	24.2	38.7	59.8	17.6
<i>Staphylococcus aureus</i>	24.2	35.1	38.7	59.8	17.6
CBM (μ g.ml ⁻¹)					
<i>Escherichia coli</i>	364.9	404.6	545.0	650.5	439.5
<i>Salmonella typhi</i>	245.9	285.5	439.5	545.0	334.0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	87.2	126.9	246.1	351.6	140.6
<i>Bacillus cereus</i>	47.5	87.2	193.4	298.9	87.9
<i>Staphylococcus aureus</i>	87.2	126.9	193.4	298.9	87.9

IHL: Diameter of Inhibition Halos; MIC: Minimum Inhibitory Concentration; CBM: Minimum bactericidal concentration.

Table 5: Antimicrobial action of copaiba essential oil.

Microorganisms	IHL(mm)	MIC (μ g.ml ⁻¹)	CBM (μ g.ml ⁻¹)
<i>Escherichia coli</i>	12 / 11 / 2012	625 / 700 / 625	1250 / 1250 / 1200
<i>Staphylococcus aureus</i>	14 / 13 / 14	625 / 700 / 625	625 / 700 / 625
<i>Staphylococcus epidermis</i>	12 / 12 / 2013	700 / 700 / 750	700 / 700 / 800
<i>Salmonella typhi</i>	09 / 07 / 2009	1250 / 1250 / 1200	1250 / 1250 / 1200
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	-	-
<i>Bacillus cereus</i>	-	-	-

IHL: Diameter of Inhibition Halos; MIC: Minimum Inhibitory Concentration; CBM: Minimum bactericidal concentration.

4. CONCLUSION

Based on the analyses performed, the selected film formulations showed highly promising characteristics for the production of biodegradable dressings with copaiba essential oil as the active ingredient. These formulations stood out for their excellent flexibility,

continuity and homogeneity, as well as an attractive transparency with light beige tones reminiscent of the color of the components used.

Regarding essential properties for biomedical applications, such as moisture, solubility, and water vapor permeability, formulations containing copaiba essential oil have demonstrated high performance. The variation of moisture within these formulations revealed a range of options suitable for different applications, while the solubility in water proved controllable with the right combination of components, highlighting the versatility of these films.

In addition, the results of antioxidant and antimicrobial analyses indicate significant potential for these formulations as dressings with bacterial inhibition and antioxidant properties. It is noteworthy that the combination of copaiba oil with other components increased the antimicrobial properties, even when the oil alone did not show noticeable effects. However, it is important to note that more studies are needed to comprehensively evaluate these biomaterials.

5. REFERENCES

1. ABIA - Annual Report. 2019. Brazilian Association of the Food Industry in: https://www.abia.org.br/relatorioAnual_2020.
2. Azevedo, M. M., Lisboa, C., Cobrado, L., Pina-Vaz, C., & Rodrigues, A. (2020). Hard-to-heal wounds, biofilm, and wound healing: an intricate interrelationship. *British Journal of Nursing*, 29(5), S6-S13. doi:10.12968/bjon.2020.29.5.S6
3. de Figueirado M. J., Lima, G. R., Kimura, T. N. L., de Vasconcellos, M. C., Sampaio, F. C., Toda, C., Conde, N. C. O. & Bandeira, M. F. C. L. (2020). Histomorphometric evaluation of the effect of a dentin biomodifier based on copaiba oil (*Copaifera multijuga* Hayne) on the hybrid layer. *Brazilian Journal of Development*, 6(9), 65445-65458. DOI:10.34117/bjdv6n9-104
4. Borges, A. G. F. C., Pessoa, P. H., de Araújo, T. L., de Souza, K. C., Carneiro, C. N., da Silva, P. B. F. G., Vinhas, G. M., & de Almeida, Y. M. B. (2022). Preparation and characterization of poly(butylene adipate-co-terephthalate) films additivated with *Melaleuca alternifolia* essential oil. *Research, Society and Development*, 11(8), e55511831332-e55511831332. DOI:10.33448/rsd-v11i8.31332
5. da Silva Brasil, G. V., da Silva Raposo, A. K., Ribeiro, G. A. C., Santos, D. M., Firmo, W. D. C. A., Lopes, I. A., da Luz, D. A. Paixão, L. C., Santana, A. A., & Costa, M. C. P. (2022). Incorporation of Tubi bee pollen (*Scaptotrigona* sp) in biodegradable films of alginate, pectin and starch. *Research, Society and Development*, 11 (9), e11711931603-e11711931603. doi:10.33448/rsd-v11i9.31603
6. Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to assess antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. DOI:10.1016/S0023-6438(95)80008-5
7. Bueno, C. Z., & Moraes, A. M. (2018). Influence of the incorporation of the antimicrobial polyhexamethylene biguanide on the properties of dense and porous chitosan-alginate membranes. *Materials Science and Engineering: C*, 93, 671-678. doi:10.1016/j.msec.2018.07.076
8. Cherman, K. A., da Silva Scapim, M. R., Silva, J. F. and Madrona, G. S. (2022). Characterization of edible mulch based on alginate and essential oils. *Research,*

- Society and Development*, 11 (2), e52911226145-e52911226145. doi:[10.33448/rsd-v11i2.26145](https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.26145)
9. da Costa, D. M. A., & de Oliveira, R. A. (2020). Keratin of chicken feathers in the properties of corn-glycerol starch biofilms. *Green Journal of Agroecology and Sustainable Development*, 15(1), 57-61. doi:[10.18378/rvads.v15i1.6683](https://doi.org/10.18378/rvads.v15i1.6683)
 10. da Silva, T. G., Guerra, I. C., de Andrade Mesquita, J., Hernandez, T., & Takeuchi, K. P. (2022). Development of filmogenic solutions for the production of biodegradable, edible films with antioxidant activity: Systematic Review. *Research, Society and Development*, 11(7), e59511730139-e59511730139. doi:[10.33448/rsd-v11i7.30139](https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30139)
 11. de Barros, C. F., de Lima, I. A., & Bunhak, É. J. (2022). Polymeric films in wound management: a review. *Research, Society and Development*, 11(6), e10111628757-e10111628757. doi:[10.33448/rsd-v11i6.28757](https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.28757)
 12. Debone, H. S., Lopes, P. S., Severino, P., Yoshida, C. M. P., Souto, E. B., & da Silva, C. F. (2019). Chitosan/copaiba oleoresin films for dressing application. *International Journal of Pharmacy*, 555, 146-152. doi:[10.1016/j.ijpharm.2018.11.054](https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2018.11.054)
 13. Dias, T. A. (2021). *Surgical wound dressing for the prevention of surgical site infection in adult cancer patients: a systematic review*. (Master's thesis). University of São Paulo, Ribeirão Preto.
 14. Dini, V. S. Q., da Conceição Furtado, S., Barcellos, J. F. M., & da Costa, O. T. F. (2019). Anti-inflammatory action of copaiba oil in induced arthritis in an animal model: A Systematic Review. *Scientia Amazonia*, 8(1), 1-12. Retrieved from <https://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2018/11/v.8-n.1-CB1-CB12-2019.pdf>
 15. do Evangelho, J. A., da Silva Dannenberg, G., Biduski, B., El Halal, S. L. M., Kringel, D. H., Gularte, M. A., Fiorentini, A. M., & da Rosa Zavareze, E. (2019). Antibacterial activity, optical, mechanical and barrier properties of corn starch films containing orange essential oil. *Carbohydrate polymers*, 222, 114981. DOI:[10.1016/j.carbpol.2019.114981](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.114981)
 16. Heck, M. C., Yoshimoto-Higaki, M., de Godoy, M. A. F., de Mendonça, D. E. A., & Vicentini, V. E. P. (2022). Antimutagenic effects of copaiba (*Copaifera langsdorffii* Desf.) and linseed (*Linum usitatissimum* L.) oils on clastogen-cyclophosphamide in Wistar rats. *Research, Society and Development*, 11(11), e567111133539-e567111133539. DOI:[10.33448/rsd-v11i11.33539](https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33539)
 17. Leite, A. C., de Sousa Silva, E., Oliveira, A. C. D., Pereira, R. D. K. A., Barbosa, F. N., Pilar, T. M. I. V., Rocha, E. R. C. S., & de Andrade, T. M. (2020). Nurses' attributions in the healing of pressure ulcers in patients followed up at the home care service. *Brazilian Journal of Development*, 6(10), 82848-82867. DOI:[10.34117/bjdv6n10-642](https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-642)
 18. Leite, F. A. S., & Brito, A. S. A. (2021). Silver dressings in the treatment of exuding wounds - a systematic review. *Wounds Magazine*, (46), 1682-1689. doi:[10.36489/wounds.2021v9i46p1682-1689](https://doi.org/10.36489/wounds.2021v9i46p1682-1689)
 19. Li, C., Hu, Y., & Li, E. (2021). Effects of chain length distribution of amylose and amylopectin on the kinetics of prolonged retrogradation of rice starch. *Food Hydrocolloids*, 111, 106239. doi:[10.1016/j.foodhyd.2020.106239](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106239)
 20. Lopes, I. A., Paixão, L. C., da Silva, L. J. S., Rocha, A. A., Barros Filho, A. K. D., & Santana, A. A. (2020). Elaboration and characterization of biopolymer films with alginate and babassu coconut mesocarp. *Carbohydrate polymers*, 234, 115747. doi:[10.1016/j.carbpol.2019.115747](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115747)
 21. Machado, D. D. O., Mahmud, S. J., Coelho, R. P., Cecconi, C. O., Jardim, G. S., & Paskulin, L. M. G. (2018). Healing of pressure ulcers in patients followed by a home care service. *Text & Context-Nursing*, 27, e5180016. DOI:[10.1590/0104-07072018005180016](https://doi.org/10.1590/0104-07072018005180016)

22. Maurmann, N., Lund, D. G., Pereira, D. P., & Pranke, P. (2022). Evaluation of the chemical composition of a copaiba oil (*Copaifera* spp.) and its effect on mesenchymal stem cells. *Journal of Medicine*, 101(5). doi:10.11606/issn.1679-9836.v101i5e-185868
23. Nunes, J. C., Melo, P. T. S., Aouada, F. A., & Moura, M. R. D. (2018). Influence of lemon essential oil nanoemulsion on gelatin-based films. *New Chemistry*, 41, 1006-1010. DOI:10.21577/0100-4042.20170277
24. Oliveira, A. V. L. D., Tavares, C. M. L., Veríssimo, L. E., Nunes, L. S., Araújo, P. R. D., Sales, T. A. S., & Jesus, S. M. D. O. (2020). Sustainability: Small changes make a difference. *Expressão Magazine*, (2), 22.
25. Oliveira, G. R. D., Lima, C. B. D., Ribeiro, L. M. C. S., Café, M. B., Moreira, J. D. S., Oliveira, E. M. D., & Racanicci, A. M. C. (2018). Addition of copaiba (*copaifera langsdorffii*) and sucupira (*pterodon emarginatus*) oil to the diet of laying hens: physical quality of eggs stored at different temperatures. *Brazilian Animal Science*, 19. doi:10.1590/1809-6891v19e-41508
26. Paixão, L. C., Lopes, I. A., Barros Filho, A. K. D., & Santana, A. A. (2019). Alginate biofilms plasticized with hydrophilic and hydrophobic plasticizers for application in food packaging. *Journal of Science Applied to Polymers*, 136(48), 48263. doi:10.1002/app.48263
27. Paranhos, S. B., Ferreira, E. D. S., Canelas, C. A. D. A., da Paz, S. P. A., Passos, M. F., da Costa, C. E. F., da Silva, A. C. R., Monteiro, S. N., & Candido, V. S. (2021). Chitosan membrane containing copaiba oil (*Copaifera* spp.) for the treatment of skin wounds. *Polymers*, 14(1), 35. DOI:10.3390/polym14010035
28. Parada Hernandez, N. L., Bahú, J. O., Schiavon, M. I. R., Bonon, A. J., Benites, C. I., Jardini, A. L., Maciel Filho, R., & Wolf Maciel, M. R. (2019). Copolyester (Castor Oil Epoxidized Citric Acid) as a polymer candidate for biomedical applications. *Journal of Polymer Research*, 26, 1-10. doi:10.1007/s10965-019-1814-5
29. Pereira, N. C. M., Mariscal, A. G., de Carvalho Nepoceno, K. L. P., Silva, V. C. C. R., Fernandes, H. M., & Vivi, V. K. (2018). Antimicrobial activity of natural/commercial copaiba oil-resin against standard/antimicrobial activity strains of natural/commercial copaiba resin-acceptance. *NPEPS Health Journal*, 3(2), 527-539. DOI:10.30681/25261010
30. Pires, V. G., & Moura, M. R. D. (2017). Preparation of new polymeric films containing nanoemulsions of tea tree, copaiba and lemon oil for application as biomaterial. *New Chemistry*, 40, 1-5. DOI:10.21577/0100-4042.20160130
31. Pires, A. L. R., & Moraes, Â. M. (2015). Improvement of the mechanical properties of silver-containing chitosan-alginate dressings through the addition of a biocompatible silicone rubber. *Journal of Science Applied to Polymers*, 132(12). doi:10.1002/app.41686
32. Raposo, A. K. D. S., Paixão, L. C., Rocha, A. A., Lopes, I. A., Santos, G. A. S., Ribeiro, G. A. C., de Menezes, A. S., Barros Filho, A. K. D., & Santana, A. A. (2021). Characterization of biodegradable films produced from mixtures of alginate, starch and babassu fibers. *Journal of Polymers and the Environment*, 29, 1212-1226. DOI:10.1007/s10924-020-01952-z
33. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity by applying an improved ABTS radical cationic discoloration assay. *Biology and Medicine of Free Radicals*, 26(9-10), 1231-1237. DOI:10.1016/S0891-5849(98)00315-3
34. Rodrigues, G. D. M., Filgueiras, C. T., Garcia, V. A. D. S., Carvalho, R. A. D., Velasco, J. I., & Fakhouri, F. M. (2020). Antimicrobial activity and gc-ms profile of copaiba oil for incorporation into starch-based films of xanthosoma mafaffa schott. *Polymers*, 12(12), 2883. DOI:10.3390/polym12122883

35. Rodrigues, T. S., Almeida, C. A. P. L., Goiano, P. D. D. O. L., Nepomuceno, V. M. S., Sousa, C. D. C. M., & de Carvalho, M. L. (2018). Efficacy of hydrocolloid dressing over transparent film in preventing pressure injuries. *Nursing in Focus*, 9(1). doi:[10.21675/2357-707X.2018.v9.n1.1301](https://doi.org/10.21675/2357-707X.2018.v9.n1.1301)
36. Santana, A. A., & Kieckbusch, T. G. (2013). Physical evaluation of biodegradable calcium alginate films plasticized with polyols. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30, 835-845. DOI:[10.1590/S0104-66322013000400015](https://doi.org/10.1590/S0104-66322013000400015)
37. Santos, R. F., Santos, A. D., Oliveira, L. D., & Ferreira, T. C. (2022). Antimicrobial properties of black jurema bark extracts (*Mimosa tenuiflora* (Wild.) Poir.) Antimicrobial properties of black jurema pear extracts (*Mimosa tenuiflora* (wild.) Poir. *Brazilian Journal of Development*, 8(3), 16915-16930. doi:[10.34117/bjdv8n3-094](https://doi.org/10.34117/bjdv8n3-094)
38. Silva, L. F. M. D., Almeida, A. G. D. A., Pascoal, L. M., Santos Neto, M., Lima, F. E. T., & Santos, F. S. (2022). Skin injuries caused by Personal Protective Equipment and preventive measures in the context of COVID-19: an integrative review. *Latin American Journal of Nursing*, 30, e3551. DOI:[10.1590/1518-8345.5636.3551](https://doi.org/10.1590/1518-8345.5636.3551)
39. Siman Filho, A. J., & Sanfelice, R. C. (2018). Bibliographic study on environmentally sustainable polymers. *Brazilian Journal of Science, Technology and Innovation*, 3(2), 131-148. doi:[10.18554/rbcti.v3i2.3347](https://doi.org/10.18554/rbcti.v3i2.3347)
40. Tarique, J., Sapuan, S. M., & Khalina, A. (2021). Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal and barrier properties of arrowroot starch (*Maranta arundinacea*) biopolymers. *Scientific Reports*, 11(1), 13900. DOI:[10.1038/s41598-021-93094-y](https://doi.org/10.1038/s41598-021-93094-y)
41. Xavier, P. B., de Siqueira Silva, Í., de Andrade Alves, F. P., Almeida, J. L. S., de Negreiros, R. V., Sousa, A. O. B., Crispiniano, E. C., de Araújo, A. B. G., Gouveia Neto, J. R., de Sousa, B. R. B., Soares, L. F., de Oliveira, A. C. L. C., Rodrigues, O. B., Dias, D. E. M., da Silva, S. M., & Cabral, A. M. B. (2022). The use of laser therapy as a technological resource for nursing in the treatment of skin lesions. *Research, Society and Development*, 11(12), e357111235139-e357111235139. DOI:[10.33448/rsd-v11i12.35139](https://doi.org/10.33448/rsd-v11i12.35139)
42. Zahran, M. K., Ahmed, H. B., & El-Rafie, M. H. (2014). Modification of the surface of cotton fabrics for antibacterial application through coating with AgNPs – alginate composite. *Carbohydrate polymers*, 108, 145-152. doi:[10.1016/j.carbpol.2014.03.005](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.005)
43. Norajit, K., Kim, K. M., & Ryu, G. H. (2010). Comparative studies on the characterization and antioxidant properties of biodegradable alginate films containing ginseng extract. *Journal of Food Engineering*, 98(3), 377-384.
44. Synytsya, A., Čopíková, J., Matějka, P., & Machovič, V. J. C. P. (2003). Fourier transform Raman and infrared spectroscopy of pectins. *Carbohydrate polymers*, 54(1), 97-106.
45. Tappin, M. R., Pereira, J. F., Lima, L. A., Siani, A. C., Mazzei, J. L., & Ramos, M. F. (2004). Quantitative chemical analysis for the standardization of copaiba oil by high-performance gas chromatography. *New Chemistry*, 27, 236-240.
46. de Lima, M. C. F., da Silva, L. S., da Veiga Junior, V. F., & Wiedemann, L. S. M. (2020). Quantification of γ -caryophyllene and caryophyllene oxide for the quality control of copaiba (*Copaifera multijuga* Hayne) oils. *Brazilian Journal of Development*, 6(1), 608-623.